

巨桉种源试验及其在我国 适生范围的研究*

王豁然 阎洪

(中国林业科学研究院林业研究所)

周文龙

(中国林业科学研究院热带林业研究所)

摘要 1987年在福建省长泰县和海南省琼海县进行了我国首次系统巨桉种源试验。参试种源来自澳大利亚的巨桉自然分布区、巴西的人工林和南非种子园。

当巨桉林龄18个月时,长泰试验点平均高4.51 m,胸径4.2 cm,种源间差异均不显著;琼海试验点平均高4.45 m,胸径3.6 cm,种源间差异显著。地点间平均树高几乎相同,但胸径差异显著。试验发现,基因型与环境之间的交互作用明显。巨桉的种群变异可能是不规则的。

应用 GENSTAT 统计程序进行的生物气候预测分析表明,巨桉在我国的适生范围大致始于温州,沿海岸与南岭平行至黔桂边界,向南经雷州半岛至海南岛东南,以及川、滇境内的一些不连续地区。

关键词 巨桉;种源试验;基因型-环境交互作用;生物气候分析;适生区划

巨桉(*Eucalyptus grandis*)为桉树属双蒴盖亚属横脉组柳桉系中的高大乔木^[8],通常树高45—55 m,胸径1.2—2.0 m。天然林中偶见树高75 m、胸径3 m以上的林木,在南非75年生人工林中最高达85 m^[7]。巨桉生长迅速,造林后10 a内树高年生长量可达2—3 m,干形通直、圆满,枝下高达树高的2/3以上。3年生开始结实,具有较强的萌孽能力。木材较轻软,易劈裂,广泛用于房屋建筑、人造板、造纸、矿柱、电杆和薪炭^[9]。

巨桉自然分布于澳大利亚东海岸,南纬16—33°之间,从昆士兰州和新南威尔士州海岸向内陆延伸,一般不超过100 km。其主要分布区位于南纬26—33°之间,在昆士兰中部和北部有两个间断分布的地理种群。巨桉的垂直分布一般在海拔600 m以内,但在分布区北部的亚瑟顿高原可高达900 m。

巨桉适于温暖湿润的气候。在原产地,最热月平均最高温度为24—30℃,最冷月平均最低温度3—8℃。海滨地带一般无霜。年平均降水量1000—1800 mm,最高可达3500 mm,雨量多集中于夏季。喜欢土层深厚、排水良好的壤土和砂壤土^[2,5,11]。

本文于1988年12月20日收到。

• 中澳合作项目。

漳州市林业局和琼海县林业局予以大力支持,联合课题组的李伯善、苏全兴、王为辉、韩崇禄、梁坤南、杨曾奖等同志参加室内外工作,特此致谢。

在世界热带、亚热带地区，巨桉广泛用于人工造林，是栽培面积最大的一种桉树。据估计，全世界现有桉树人工林面积200多万ha^[3]。巴西、印度、澳大利亚、美国、南非等许多国家早已开展了巨桉种源试验和育种改良工作，国际林联曾组织过15个国家协作的种源试验。我国最近几年才引入，在浙、闽、粤、桂、琼、滇等省(区)有零星栽植。系统的地理种源试验仅仅是开始。

一、材料与方方法

(一) 地理种源试验

15个巨桉种源的试验种子由澳大利亚林研所种子中心提供(表1)。

表1 巨桉地理种源概况

种批号	采种母树株数	地点	纬度(S)	经度(E)	海拔(m)
13431	7	刘易斯山, 北昆士兰	16°36'	145°16'	840
14393	11	马瑞巴, 昆士兰	17°06'	145°33'	900
14849	22	亚瑟顿, 昆士兰	17°06'	145°36'	1050
14420	20	雷温舒, 昆士兰	17°42'	145°28'	860
14210	5	"	17°50'	145°33'	720
14838	7	卡得威尔, 昆士兰	18°14'	143°0'	620
14431	25	比尔绍国有林, 昆士兰	26°52'	152°42'	500
14509	25	厄班威勒, 昆士兰	28°31'	152°30'	600
13020	10	考夫斯港, 新南威尔士	30°10'	153°01'	98
13019	10	"	30°13'	153°02'	135
14519	25	塔瑞, 新南威尔士	31°50'	152°01'	230
14860	—	巴西林研所	—	100°00'	—
14861	—	"	—	100°00'	—
13965	—	南非种子园	—	—	—
13365	—	"	—	—	—

试验地点为福建省长泰县岩溪镇附近(24°40' N, 117°50' E, 海拔50 m)和海南省琼海县上涌林场(19°14' N, 110°28' E, 海拔30 m), 立地条件见表2。两处试验的种源相同, 长泰点采用8×8方形格子设计, 16株方形小区, 4次重复, 株行距2×2 m, 穴状整地, 规格为50×40×40 cm, 造林时每穴施NPK复合肥100 g。琼海点采用完全随机区组设计, 18株长方形小区, 4次重复, 株行距3×1.5 m。造林前全垦后挖穴, 规格为40×40×40 cm, 造林时每穴施火烧土4 kg, NPK复合肥120 g, 3个月后追施25 g尿素。

表2 巨桉种源试验点立地条件

地点	气候型	年平均温度(℃)	极端最高温度(℃)	极端最低温度(℃)	年降水量(mm)	年蒸发量(mm)	相对湿度(%)	土壤类型	母质	pH	N(%)	P ₂ O ₅ (%)	K(%)	B(ppm)	有机质(%)
长泰	亚热带	21.0	40.9	-2.1	1533	—	80	赤红壤	花岗岩	6.4	0.111	0.045	1.64	<0.1	1.40
琼海	热带	24.0	39.8	5.0	2044	1828	85	黄红色砖红壤	浅海沉积物	5.5	<0.05	0.03	—	—	0.75 -1.31

本文以 4 次重复的完全随机区组方式对试验结果加以统计分析, 以比较种源差异和基因型与环境的交互作用。

(二) 生物气候预测分析

根据巨桉自然分布区、世界引种栽培成功地区和我国现有栽培地区的气候条件, 选择了 5 个决定巨桉存活和影响其生长的关键气候因子, 具体指标为:

年平均温度 $\geq 14\text{ }^{\circ}\text{C}$; 最冷月平均最低温度 $\geq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$; 最热月平均最高温度 $28\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$; 绝对最低温度 $\geq -8\text{ }^{\circ}\text{C}$; 年平均降水量 $\geq 1000\text{ mm}$ 。

根据上述气候指标, 对我国 650 个气象站近 30 a 的观测记录加以筛选^[16], 确定出有川、滇、赣、桂、闽、黔、台、粤、浙各地 100 个气象站的巨桉适生范围和引种试验地区。大致按每变化一个经纬度取一个气象站共 56 个, 连同巨桉自然分布区内瓦桥堡、亚瑟顿、京比、考夫斯港、厄班威勒 5 个具代表性气象站的记录, 共同进行多变量统计分析。除上述 5 个气候因子外, 还增加了月降水量 $< 25\text{ mm}$ 的月数和年平均雨日。

本研究采用的多变量分析方法, 主要是应用 GENSTAT 统计程序进行的主分量分析和聚类分析^[11, 14]。主分量分析旨在寻找影响巨桉存活与生长的重要气候因素, 并且在样本排序图上直观地表达由气象站所代表的原产地与引种区之间的关系。聚类分析的目的在于综合考虑 7 个气候因子的情况下, 发现引种地点与代表性巨桉地理种源之间亲疏关系, 进一步确定与气候条件相匹配的种源。

二、研究结果

(一) 种源试验

巨桉易于造林, 幼苗高 15 cm 即可出圃。在长泰和琼海两处保存率分别为 82 % 和 85 %。缺株的主要原因是幼茎木质化前受昆虫危害。造林 18 个月后林冠郁闭, 长势旺盛。

长泰试验点的巨桉平均高 4.51 m, 平均胸径 4.2 cm, 各种源之间在高、径生长上均无显著差异。从表 3 看出, 树高生长在平均水平之上的种源有 14860 和 14861 号, 是巴西改良种源; 14509、14431 和 13019 来自昆士兰南部和新南威尔士北部; 14393、14849 和 14210 均来自昆士兰北部海拔 720—1 050 m 的亚瑟顿高原, 属巨桉垂直分布的上限。该点巨桉直径变动范围在 3.8—4.6 cm 之间, 生长均匀整齐。

琼海试验点巨桉种源间的高径生长差异均显著。平均树高为 4.45 m, 有 6 个种源的树高在平均值之上, 除 14861 来自巴西外, 其余 14421、14420、13431、14849 和 14838 均来自昆士兰北部热带地区。

方差分析表明, 长泰和琼海两处的树高无显著差异, 但胸径差异显著(表 4)。在树高生长排序中, 两试验点种源次序变化较大, 说明存在显著的基因型与环境间的交互作用^[13]。如 14509 和 14393 在长泰生长表现最好, 但在琼海却较差; 反之, 14420 和 13431 在琼海表现最好, 但在长泰却较差。在国外表现较好的种源 13019 和 13020 在长泰和琼海均处于中等水平。两地表现均好的是 14849 和 14861; 表现最差的是南非种源。

(二) 巨桉在我国的适生范围

巨桉在我国的适生范围分布在 10 个省(区)内, 北起浙江玉环, 沿海岸经平阳、福鼎偏向

表3 不同地点巨桉种源试验的生长比较(18个月)

长 泰				琼 海			
种批号	树高 (m)	种批号	胸径 (cm)	种批号	树高 (m)	种批号	胸径 (cm)
14509	4.81	14393	4.6	14420	5.92	14420	4.8
14393	4.80	13019	4.4	13431	5.39	13431	4.4
14849	4.78	14509	4.3	14849	5.12	14849	4.2
14431	4.73	14431	4.3	14210	4.74	14210	3.7
14210	4.66	14210	4.3	14838	4.65	14838	3.7
14861	4.65	14860	4.2	14861	4.51	14861	3.7
13019	4.60	14861	4.2	13020	4.39	13020	3.4
14860	4.58	14519	4.2	13019	4.38	14019	3.4
13431	4.47	13965	4.2	14431	4.20	14431	3.4
14519	4.39	13431	4.2	14860	4.08	14509	3.3
14420	4.33	14420	4.2	14393	4.08	14860	3.2
14838	4.23	13365	4.1	14509	3.89	13965	3.2
13020	4.22	14849	4.0	14519	3.88	14393	3.1
13965	4.21	13020	3.9	13965	3.84	13365	3.1
13365	4.20	14838	3.8	13365	3.74	14519	2.9
平均	4.51		4.2		4.45		3.6

注:多重范围检验显著性水平为0.05。

表4

两试验点综合方差分析结果

变 量	方 差 来 源	自 由 度	平 方 和	平 方 和 %	均 方	F
树 高	地点×重复					
	地 点	1	0.099 8	0.18	0.099 8	0.274
	剩 余	6	2.182 4	4.04	0.363 7	
	地点×重复×种源					
	种 源	14	12.449 1	23.05	0.889 2	2.784**
	地点×种源	14	12.458 0	23.06	0.889 9	2.786**
	剩 余	84	26.827 4	49.67	0.319 4	
胸 径	地点×重复					
	地 点	1	11.725 0	21.74	11.725 0	27.577***
	剩 余	6	2.551 0	4.73	0.425 2	
	地点×重复×种源					
	种 源	14	7.257 9	13.45	0.518 4	1.959*
	地点×种源	14	10.178 6	18.87	0.727 0	2.747**
	剩 余	84	22.230 6	41.21	0.264 6	

注: * 示显著性水平0.05; ** 示显著性水平0.01; *** 示显著性水平0.001。

内陆, 又由南平经永安、龙岩、寻乌, 与南岭平行至桂林, 向西南经河池、百色至那坡, 南至雷州半岛、台湾和海南岛大部。此外西南诸省尚有一些不连续的适生地区。

主分量分析结果见表5和图1。第1主分量所表示的是温度的综合因子, 特别是年平均温度、最冷月平均最低温度和绝对最低温度。第2主分量表示的是降水的综合因子, 主要反映旱季(降水量<25 mm)的月数和年平均降水量。第1主分量表示决定巨桉存活的因子, 而第2主分量表示影响巨桉生长的气候因素。

表5 特征向量及特征根

	特 征 向 量						
	1	2	3	4	5	6	7
1. 年平均温度	0.5445	-0.1435	-0.1360	0.0340	0.1414	0.4689	0.6507
2. 年平均降水量	0.2624	-0.5387	-0.2408	-0.2580	-0.6885	-0.2047	0.0225
3. 1月平均最低温度	0.5619	-0.0653	-0.0209	-0.0334	0.1669	0.3158	-0.7422
4. 7月平均最高温度	0.0567	-0.4561	0.7205	0.4032	0.0576	-0.3123	-0.0905
5. 极端最低温度	0.4923	0.1879	-0.3097	0.1625	0.3011	-0.7024	0.1264
6. 年平均雨日	-0.1873	-0.3796	-0.5399	0.6922	0.0942	0.2027	-0.0169
7. 雨量<25mm月数	0.2004	0.5456	0.1288	0.5129	-0.6126	0.0809	-0.0263
	特 征 根						
	1	2	3	4	5	6	7
	2.9968	1.8770	0.9064	0.7337	0.2982	0.1486	0.0392
	贡 献 率 (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
	42.8113	26.8143	12.9487	10.4815	4.2603	2.1234	0.5605

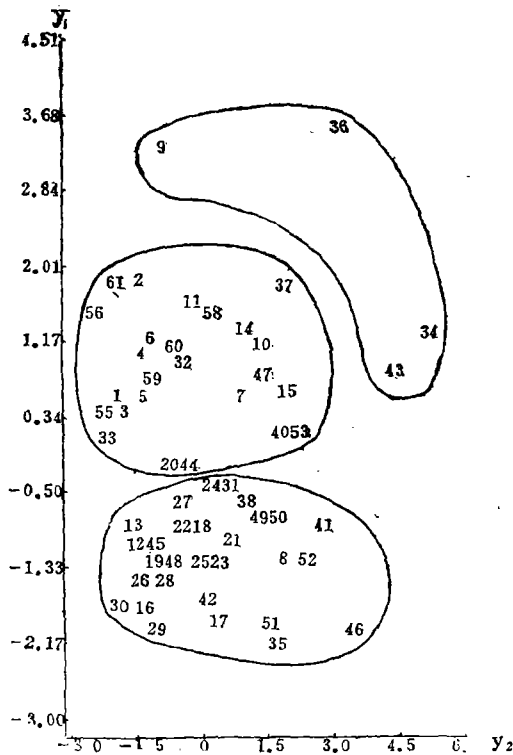


图1 主分量分析坐标

(图中点39、54、57分别与坐标内点38、12和2重合)

聚类分析采用类平均法。当相似程度为0.6时，全部地点可聚成一类(图2)。由于点9、34、36、43的温度高、旱季长，巨桉不能正常生长，因此从适生范围中剔除(图2中编号表示：1—6依次为四川乐山、南充、彭水、万县、宜宾、重庆；7—11依次为云南耿马、河口、景东、景洪、瑞丽；12—13为江西赣州、寻乌；14—25依次为广西百色、北海、桂林、桂平、河池、贺县、桂西、灵山、柳州、龙州、南宁、梧州；26—31依次为福建福鼎、福州、龙岩、南平、永安、漳州；32—33为贵州望谟、榕江；34—37依次为台湾恒春、台北、台南、台中；38—53依次为广东高要、广州、海丰、海口、河源、陵水、梅县、南雄、琼海、汕头、韶关、台山、信宜、阳江、詹县、湛江；54—56依次为浙江温州、玉环、平阳；57为瓦桥堡，58为亚瑟顿，59为京比，60为考夫斯港，61为厄班威勒)。

三、问题讨论

长泰和琼海两处的巨桉种源试验表现出明显的基因型与环境之间的交互作用，同时也反映了基因型各不相同的地理种源对不同生态环境的适应程度。环境差异愈大，出现交互作用的可能性愈大。在气候条件适宜的范围内，生态差异主要是由土壤因子造成。而长泰与琼海两地不仅所处气候带不同，而且土壤类型和营养元素含量也有很大差异，再加上造林和营林措施亦不完全一样，因而基因型与养分之间交互作用的影响就大，预计各种源在两地间的差异还会更大。

两处试验还表明，巨桉在种源之间的遗传变异是不规律的，与澳大利亚、赞比亚和美国的一些试验结果相类似^[3]。这意味着巨桉的引种不可局限于一个或几个种源，在环境条件变化大的引种栽培区，种源试验是必要的。育种战略应以多种源的引种试验为基础，形成尽可能广泛的基因基础，通过单株选择和无性繁殖来获取大量的繁殖材料，以加速巨桉人工林的发展。因此，研究和确定巨桉适生范围、开展多点引种试验、进行综合分析和合理规划是首要的步骤。

生物气候预测分析是选择外来树种和确定引种栽培范围的重要研究方法。随着计算技术的发展应用，其精确性和可靠程度亦越来越大。但关键在于准确选择影响外来树种在新环境中正常生长发育的气候因子。正如许多学者所指出的^[10,13]，极端最低温度尤为重要。栽培在堪培拉的2年生巨桉可耐-8.8℃^[4]，Schonan和Webb等^[9,12]在确定巨桉适生范围时并未对此加以注意。我国冬季气候虽受西伯利亚寒潮影响，但南下到达巨桉适生地理范围时已是强弩之末，故绝对最低温度未出现过-8℃以下的记录。

根据聚类分析树状图，可将适生范围以内的各点分成两组(相似度0.7)。左边一组包括巨桉自然分布区内的5个代表性气象站，说明该组内我国气象站的气候条件与巨桉原产地更为相似，属最适范

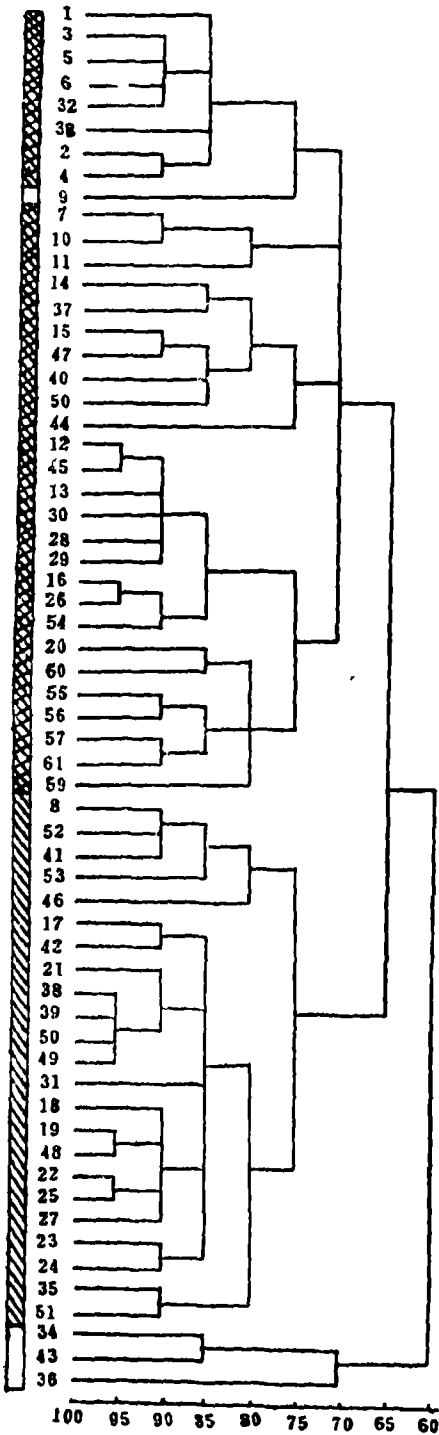


图2 根据7个气候因子对代表性气象站聚类分析所得树状图 (编号示意见P.415)

围。但目前除温州附近的乐清有巨桉栽培外，其余各地尚未引种。而乐清桉树良种站近 5 年生巨桉(11891, 昆士兰)平均高 13.5 m, 平均胸径 15.7 cm, 说明其余各点也具有引种成功的可能性, 值得试验。图 2 右侧一组中, 虽无澳大利亚气象站, 但包括我国目前栽培巨桉的试验点, 并且生长良好。但由于这些地区最热月平均最高温度较高, 月降水量 < 25 mm 的旱季明显, 因此与巨桉原产地的气候有所差别, 是巨桉的适生范围(图 3)。

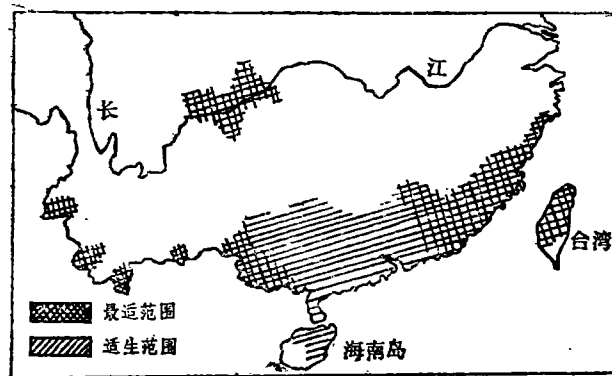


图 3 巨桉在我国的适生范围

我国热带、亚热带地区地形复杂, 各气象站所反映的气象因子有很大局限性。因此在预测适生范围内营造大面积巨桉人工林之前, 应进行必要的引种试验。除气候因素之外, 还必须考虑海拔、地形和土壤条件等其它因子。同时, 从生物气候预测分析本身而言, 尚须建立一个能克服气象站稀疏而预报任一地理坐标上的各种气候因子的计算机软件系统。这些有待今后进一步研究完善。

参 考 文 献

- [1] Alvey, N. et al., 1982, An Introduction to GENSTAT, Academic Press, 152.
- [2] Boland, D.J. et al., 1984, Forest Trees of Australia, 4th ed. Nelson-CSIRO, 362-363.
- [3] Burgess, I. P., 1987, Provenance trials of *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* in Australia, *Silvae Genetica*, in press.
- [4] Burgess, I.P., 1985, Tolerance of two years old *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* to winter frost in Canberra, *Colloque international Sur Les Eucalyptus resistants Au Froid*, IUFRO, 358-365.
- [5] Chippendale, G. M. et al., 1981, The natural distribution of *Eucalyptus* in Australia, Special publication No. 6, Aust. Nat. Parks and Wildlife Service, 125.
- [6] Hillis, W.E., 1984, Wood quality and utilization, in *Eucalyptus for wood production*, CSIRO-Academic Press, Chp., 12, 259-289.
- [7] Poynton, R. J., 1979, The Eucalypts tree planting in Southern Africa, Dept. of Forestry, Republic of South Africa, 2, 350-378.
- [8] Pryor, L.D. et al, 1971, A classification of the eucalypts, Aust. National University Press, Canberra, 102.
- [9] Schonan, A.P.G., 1985, Basic silviculture for the establishment of eucalypt plantations with special reference to *Eucalyptus grandis*, *South African For. J.*, 4-9.

- [10] Turnbull, J.w. et al., 1983, The natural environment of *Eucalyptus* as the basis for selecting frost resistant species, Colloque International Sur Les *Eucalyptus* Resestants Au Froid, IUFRO, 43—62.
- [11] Turnbull, J.w. et al., 1984, Choice of species and seed sources, in *Eucalypts for wood production*, CSIRO-Academic Press, 21—24.
- [12] Webb, D.B. et al., 1980, A guide to species selection for tropical and subtropical plantations, Tropical Forestry Dept. of For. Commonw. For. Inst. Uni. of Oxford, (15), 342.
- [13] Zobel, B. et al., 1984, *Applied Forest Tree Improvement*, John Wiley & Sons, 104—111, 57—58, 258—264.
- [14] 唐守正, 1986, 多元统计分析方法, 中国林业出版社, 20—90。
- [15] 中央气象局, 1984, 中国地面气候资料(1951—1980), 气象出版社。

PROVENANCE TRIALS AND PREDICTION OF SUITABLE PLANTING AREA BASED ON BIOCLIMATIC ANALYSIS FOR *EUCALYPTUS GRANDIS* IN CHINA

Wang Huoran Yan Hong

(The Research Institute of Forestry CAF)

Zhou Wenlong

(The Research Institute of Tropical Forestry CAF)

Abstract Two trials of species/provenance of eucalypts have been carried out by the collaborated research between Chinese Academy of Forestry and Australian Centre for International Agriculture Research in the tropical and subtropical regions of China. The trial sites were chosen in Changtai County with 24°40' N, 117°50' E and in Qionghai County with 19°14' N, 110°28' E, in Fujian and Hainan Provinces respectively. Of the species tested on the both sites, *Eucalyptus grandis* was examined for the growth rates of height and diameter over 15 provenances.

It was found that there were not any significant differences in the growth of height and diameter among provenances on Changtai site with mean height of 4.51 m and mean diameter of 4.2 cm; and there were significant differences on Qionghai site with average values of 4.45 m for height and 3.6 cm for diameter.

The 8 provenances with values of height higher than the trial mean on Changtai site were 14860 and 14861, both from EMBRAPA, Brazil, 14509 (Urbenville, Qld), 14431 (Belthorpe, Qld) and 13019 (Coffs Harbour, NSW)

from the main range of the species, the rest three, 14393 (Mareeba), 14210 (Ravenshoe) and 14431 (Belthorpe) all from higher county in Queensland.

The top 6 provenances in ranking on Qionghai site were 14420 (Ravenshoe), 13431 (Mt. Lewis), 14849 (Atherton), 14210 (Ravenshoe), 14838 (Cardwell) and 14861 (EMBRAPA, Brazil) were all from the tropical part of Queensland except the Brazilian. Two seedlots of South Africa, 13965 and 13365 performed the poorest on both sites.

It was found that the results of both trials gave very different rank in height and diameter for provenances so that a marked genotype \times environment interaction existed. The reason for this could be due to the two sites under different climate zones and soil types.

Using GENSTAT programme, bioclimate analysis outlined a geographic area into which *E. grandis* could be introduced successfully. This area would cross over 10 provinces from Wenzhou in Zhejiang Province down to south along the eastern coast and to the regions in the south of Nanling Range, Hainan Id. and some separate parts in Sichuan and Yunnan included. The climatic factors used for multivariate analysis were annual mean temperature ($>14^{\circ}\text{C}$), minimum temperature on record (-8°C), mean of minimum temperature of the coldest month ($>4^{\circ}\text{C}$), mean of maximum temperature of the hottest month ($28-35^{\circ}\text{C}$), annual mean rainfall ($>1000\text{ mm}$), the number of rain days per year and the number of month with precipitation less than 25 mm.

Key words *Eucalyptus grandis*; provenance; $g \times e$ interaction; bioclimate analysis; zoning