

赤桉幼林种源试验*

陶德生

摘要 以赤桉4批试验林的42个种源为研究材料,分析了4~8年生幼林种源间的生长差异,及与原产地地理位置的关系。试验结果表明:(1)种源间树高生长差异极显著,胸径和材积生长除第三批试验林外,均达极显著水平。(2)低纬度种源生长快,高纬度种源生长慢;沿海种源生长好,内地种源生长差。4批试验林种源产地不同,受经纬度影响程度不一样。(3)经指数综合评定,第一批试验林评选出13663、13692,第二批试验林评选出12501、13928、13935,第四批试验林评选出17297、15050共7个速生优质种源,这些种源大部分分布在澳大利亚沿海地区,3个来自昆士兰州北部,2个来自北澳,2个来自西澳州。

关键词 赤桉、种源试验、优良种源、选择、幼林生长

赤桉(*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.)在澳大利亚除塔斯马尼亚外,几乎遍布整个澳洲大陆,在12°30'~38°0'S、海拔20~700m的干旱、半干旱地区沿水系分布。分布区内最热月平均最高温度27~40℃,最冷月平均最低温度3~15℃,年降水量250~600mm,某些地区最小可至150mm,最多则达1250mm。赤桉木材坚硬耐久,木材密度880kg/m³,木材用于建筑、枕木、人造板、纸浆等。目前世界各国已广泛引种栽培^[1]。

我国于1890年引进赤桉,1984年开始进行种源试验。本文对在1984~1988年间建立的4批种源试验林进行分析,旨在为我国中亚热带东部沿海地区选择适生的速生优质种源,为今后适地适树适种源造林提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在浙江省乐清市乐成镇,位于28°07'N,120°57'E,地处我国中亚热带东部沿海地区。年平均气温17.7℃。极端最高气温36.6℃,极端最低温-5.8℃;年平均降水量1506.8mm,蒸发量1276.5mm,年平均相对湿度80.8%;夏季台风频繁,冬季常受强冷空气侵袭。

试验地为低山丘陵和山脚平地,海拔30~100m,前作为桉树或马尾松林地。立地条件如表1。

1.2 试验材料

4批试验的参试种源共42个,其产地地理位置及基本情况见表2。试验种子由林业部桉树研究中心和中国林科院林研所提供。各批均用当地赤桉作对照,在第三、第四批试验林中,还加用当地细叶桉作第二对照(CK₂)。

1993-10-04收稿,1994-04-12收修改稿。

陶德生高级工程师(浙江省乐清市桉树良种繁育站 浙江乐清 325600)。

*本文为“六五”、“七五”国家科技攻关“桉树种源引种研究”的一部分。周方成、吴康安、钱道德、朱蓉霜参加部分工作,特此致谢。

表 1 试验地立地条件

试验批次	地貌	海拔高 (m)	坡度 (°)	坡向	坡位	土壤状况							立地评价
						质地	pH 值	全 N (%)	全 P (%)	速效 P (ppm)	有机质 (%)	盐基饱和度 (%)	
第一批	低山脚	30	15	南	山脚	轻壤	5.53	0.087 2	0.017 1	0.7	2.03	30.0	中
第二批	平地	10			平地	中壤	6.34	0.074 8	0.042	12.6	1.29	76.4	中
第三批	山地丘陵	100	30	北	山腰	轻壤	—	—	—	—	—	—	下
第四批	山地丘陵	100	25	南	山腰	轻壤	—	—	—	—	—	—	下

表 2 参试种源产地基本情况

批次	种源号	亲本数	地 点	纬度 (° ')S	经度 (° ')E	海拔高 (m)
第一批	13801	27		NT 14 27	132 16	110
	12346 ^①	20		WA 16 08	126 30	430
	13663 ^②	21	Wrotham Park	QLD 16 48	144 10	230
	13662	27		QLD 17 20	144 58	460
	13692	25		QLD 18 12	142 53	150
	12499	3		QLD 26 19	146 06	295
	12498	3		QLD 28 29	150 17	213
	12500 ^①	5		NSW 30 05	145 57	110
	12015			NSW 31 53	141 18	35
	13544 ^③	40		VIC 35 54	142 00	70
	83044		泰国			
	CK ^④		浙江省 浙江乐清	28 07 N	128 57	20
第二批	13923	12		NT 14 29	132 15	95
	13928	10		NT 15 35	131 02	35
	13935	6		WA 17 25	124 07	45
	13931	10		WA 17 28	127 58	280
	13968	20		NT 17 33	133 24	213
	13954	10		NT 19 47	134 30	300
	12501	3		QLD 25 38	146 30	397
第三批	15062	8	Ne of Katherine	NT 14 23	132 21	200
	14918	15	Laura	WQLD 15 34	144 27	90
	14540	10	Pentecost River	WA 15 48	127 53	10
	0137	16		QLD 16 04~29 00	142 37~143 14	60~75
	13941 ^①	5	Uictoria River	NT 16 20	131 07	100
	14917	13	Nw of Mt Carbine	WQLD 16 22	144 43	400
	15050 ^②	7	Gibb River	WA 16 30	126 10	400
	01853	15		QLD 16 35	144 01	180
	15052 ^③	7	Isdell River	WA 16 50	125 32	250
	0191	32		QLD 17 10	145 00	440
	14847	20	Emu ck Petford	QLD 17 10	145 15	500
	12187	16	8 km W Irvinebank	QLD 17 24	145 09	680
	14106 ^④	9	Cilbert River	QLD 18 00	143 00	150
	13933	10	N Fitzyor Crossing	WA 18 06	125 42	110
	0139	89		QLD 18 09	142 51	180
14518	10	Tennant ck	NT 19 34	134 13	335	
15049	10	Bullock Crook	QLD 20 46	143 55	400	
第四批	15235	22	Katherine River	NT 14 20	132 14	120
	15223	20	Petfora	QLD 17 20	144 50	770
	15441	10	De Crey River	WA 20 19	119 15	100
	13703	11	of Maxwellton	QLD 20 38	142 38	155
	17297	15	Mt Benstead ck	NT 23 34	134 21	500
	15029	12	Lake Albacutyan	VIC 35 42	141 57	70

注:①者第 1、2 批试验共有;②者第 1、3 批共有;③者第 1~4 批共有;④者第 3、4 批共有。

1.3 试验方法

田间试验采用随机区组设计,4次重复,25株小区,5×5正方形排列。株行距2 m×2 m,大块状整地,规格60 cm×60 cm×50 cm。穴施基肥第一、二批为猪牛粪2.25 kg,第三、四批为N、P、K复合肥100 g,分别于1984、1986~1988年在各年的7~8月用小苗造林。

1.4 观测和分析

观测项目有树高、胸径、材积、枝下高、干形、冠幅等。观测时间为造林当年每月一次,第二年每季度一次,第三年半年一次,第四年以后每年年终一次。对1991年观测数据进行方差分析、相关分析^[3]和指数分析^[2,4]。

材积计算公式¹⁾: $V = 1/3(D/2)^2 \times \pi \times (H + 3)$,式中: V ——材积(m^3); D ——胸径(m); H ——树高(m)。

2 试验结果与分析

2.1 幼林生长概况

4批种源试验林的总体生长表现如表3。生长表现好的17个种源,9个来自昆士兰州北部,1个来自昆士兰南部,3个来自西澳,3个来自北澳,1个来自维多利亚,这些种源大部分都分布在澳大利亚沿海地区。

表3 4批种源试验林生长总汇 (1991—12)

试验批次	第一批	第二批	第三批	第四批
林龄(a)	7.5	5.5	4.5	3年4个月
立地	山脚、南向	平地	山腰、北向	山腰、南向
保存率(%)	68.2	86.7	92.0	80.7
$\bar{H}(m)$	9.495	8.601	4.282	4.102
$\bar{D}_{1.3}(cm)$	10.589	8.669	2.664	2.872
$V(m^3)$	0.0506	0.0289	0.0016	0.0020
$V/hm^2(m^3)$	54.7170	41.7375	3.6390	3.4305
$H, D_{1.3}, V_{Ej}$	13663, 13662,	13923, 13928,	01853, 13663,	15235, 15223,
>CK和 \bar{x} 的种源	13692	12346, 13935,	0191, 14106,	14106, 13703
		12501, 13554	13933, 0139	
前3名种源大	H 16.7~24.5	11.8~19.2	31.8~42.5	43.0~47.1
于CK的(%)	D 20.6~26.8	20.6~26.8	21.0~35.9	37.3~43.3
	V 8.2~26.1	68.1~89.9	37.5~93.8	108.3~116.7

树干通直度、枝下高、侧枝粗等都是种源选择重要的形质性状。就第一批试验林而言,各种源树干通直株率平均为51%,最好的13692、83044、13662种源在65%以上,最差的泰国和12500种源在24%以下。各种源平均枝下高为3.1 m,占树高比率32.4%;枝下高占树高38%以上的有12498和13663二个种源,枝下高仅占树高22%以下的是泰国种源。

试验期间,经受了1984、1987、1991年3次特大寒潮和1985、1994年2次强台风袭击,尤

1) 材积计算公式由澳大利亚CSIRO提供。

以 1991 年的冻害和 1994 年的台风最为严重。1991 年 12 月 29 日, 试验地最低气温 -4°C 以上, 过程降温 15°C , 持续时间 3 d, 4 批试验林均受较严重冻害。抗寒性最强的第一批是 12498 和 13663, 57% 的植株受轻微冻害, 第二批是 12501, 全部植株仅顶梢、嫩叶受害, 第四批是 15029、15223 和 13703, 仅 16%~19% 的植株树冠全枯。1994 年 8 月 21 日, 受 94—17 号强台风正面袭击, 风力 12 级以上, 风速 37 m/s, 日降水量 222 mm。据调查, 抗风力最强的第一批是 12498、12500 和 13662, 受害率在 20% 以下, 第二是 12501 和 13928, 受害率为 24% 和 27%。从以上可以看出, 在调查的 3 批试验林中, 13663、12501、15223、13703 四个种源是速生耐寒种源, 13662、12501、13928 三个种源是速生抗风种源。

2.2 树高、胸径、材积生长变异

2.2.1 种源间 赤桉初期生长迅速, 种源间树高生长差异极显著, 胸径和材积生长除第三批试验林外, 差异均极显著(见表 4、5)。最好种源与最差种源树高、胸径和材积的生长比率: 第一批为 1.46 : 1、1.49 : 1 和 2.43 : 1; 第二批为 1.33 : 1、1.25 : 1 和 1.81 : 1; 第三批为 1.42 : 1、1.76 : 1 和 3.88 : 1; 第四批为 1.09 : 1、1.22 : 1 和 1.45 : 1。

表 4 树高、胸径和材积的方差分析

批次	变异来源	自由度	树高		胸径		材积	
			均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值
第一批	重复	3	7.547 1	7.12**	45.616 3	26.65**	0.004 2	10.5**
	种源	12	7.547 8	7.13**	14.567 2	8.51**	0.001 6	4.0**
	机误	36	1.059 3		1.711 9		0.000 4	
第二批	重复	3	0.298 1	0.55	1.452 0	1.94	0.000 068	1.62
	种源	10	4.034 2	7.43**	3.679 4	4.91**	0.000 196	4.67**
	机误	30	0.543 2		0.750 1		0.000 042	
第三批	重复	3	0.592 7	3.51*	0.711 9	2.37	0.000 2	2.99*
	种源	19	0.608 3	3.64**	0.448 2	1.49	0.000 116	1.74
	机误	57	0.1673		0.3004		0.000 067	
第四批	重复	3	1.0668	9.18**	1.331 7	9.17**	0.000 179	4.07*
	种源	11	1.015 2	8.99**	0.678 2	4.67**	0.000 184	4.18**
	机误	32	0.116 2		0.145 3		0.000 044	

立地条件的好坏, 对种源生长影响很大, 以第一批试验林为例, 由于试验设置在二个不同地段上, I~III 区为山脚坡地, IV 区为山脚苗圃地, 7.5 年生时, 较好立地条件的 IV 区平均树高 10.489 m, 平均胸径 13.201 cm, 平均单株材积 $0.035 5 \text{ m}^3$, 与较差立地的山脚坡地(3 个区组平均值)比较, 树高大 14.4%, 胸径大 35.8%, 材积大 82.4%。

2.2.2 年度间 赤桉各种源树高、胸径、材积的年生长趋势, 以第一批试验林为例进行分析。可以看出, 树高生长第 3 年开始各种源间出现明显差异, 5 年生前生长迅速, 以后生长减缓, 13662、13663、13692 三个种源速生期持续至后一年, 第 6 年后生渐趋减缓, 胸径生长 3 年后种源间差异明显, 1~5 年生生长迅速。5 年后, 除 13662、13663、13692 种源外, 其余种源生长减缓; 12346 种源 5 年生、12015 种源 6 年生时, 生长趋势明显变慢, 但以后又复上升。材积生长 4 年生前生长缓慢, 7 年后明显加快, 呈直线上升趋势。

表5 种源间树高、胸径、材积生长差异比较

批次	种源号	平均树高 (m)	0.05		0.01		种源号	平均胸径 (cm)	0.05		0.01		种源号	平均材积 (m ³)	0.05		0.01	
第 一 批	13662	11.825					泰国	14.460					泰国	0.0935				
	13663	11.338					13662	12.560					13662	0.0719				
	13692	11.085					13663	12.332					13663	0.0655				
	83044	10.318					13692	11.944					13692	0.0617				
	CK	9.917					12346	10.929					CK	0.0570				
	泰国	9.766					83044	10.859					83044	0.0567				
	12346	9.456					13554	10.435					12346	0.0502				
	13801	8.963					13801	10.419					13554	0.0442				
	12498	8.843					CK	9.905					13801	0.0405				
	13554	8.450					12498	9.081					12498	0.0352				
	12500	8.096					12499	8.585					12015	0.0283				
	12499	7.896					12015	8.477					12500	0.0269				
12015	7.485					12500	7.673					12499	0.0268					
第 二 批	13928	10.156					13928	9.926					13928	0.0393				
	13935	10.001					13935	9.634					12501	0.0363				
	13923	9.105					13554	9.361					13935	0.0348				
	12501	8.968					12501	9.264					13554	0.0346				
	13554	8.878					12346	9.224					12346	0.0315				
	12346	8.790					13923	9.123					13923	0.0308				
	12500	8.488					13931	8.496					13931	0.0256				
	13931	8.322					12500	7.933					12500	0.0240				
	13968	7.426					13968	7.916					13968	0.0212				
	CK	7.352					13954	7.514					CK	0.0207				
13954	7.162					CK	6.967					13954	0.0194					
第 四 批	15223	4.849					17297	3.314					13703	0.0031				
	14106	4.712					15223	3.328					14106	0.0026				
	13703	4.631					13703	3.301					15223	0.0025				
	15235	4.360					14106	3.189					17297	0.0025				
	15050	4.341					15050	3.083					15235	0.0024				
	15052	4.309					15235	3.054					13941	0.0020				
	17297	3.927					13941	2.991					15050	0.0020				
	13941	3.924					15052	2.961					15052	0.0020				
	15029	3.641					15441	2.391					15441	0.0013				
	15441	3.604					CK ₂	2.351					CK	0.0012				
CK ₂	3.590					CK	2.322					15029	0.0011					
CK	3.296					15029	2.264					CK ₂	0.0010					

以第一批试验林为例,生长变异程度:材积>胸径>树高。生长性状年度间的变异,树高呈不规则性(0.5~7.5年生, CV27.2%~34.1%);胸径和材积,从变异系数平均值来看,随着林龄的增长而逐年变小(1.5~7.5年生 CV69.9%→39.2%;2.5~7.5年生 CV122.7%→90.6%)。年度间的生长差异,表明种源生长的整齐度,也反映了种源自身的遗传特性,说明种源间具有广泛的遗传变异基础和选择潜力。

2.3 优良种源的多性状综合选择

赤桉生长性状之间具有强烈正相关,表明彼此间具有较大的代表性。材积是生长性状中的

主要经济性状,也是最易获得改良的性状,干形是赤桉重要的形质性状,是良种选育的主要指标。因此在赤桉种源的综合评定中,用材积代表生长性状,用枝下高、干形代表形质性状,从速生优质二方面来综合评定赤桉优良种源。

据对材积(放大 100 倍)、枝下高及干形进行方差-协方差分析,求得第一、二、四批试验林性状表型方差-协方差矩阵(COV_p)及遗传方差-协方差矩阵(COV_g),经验地假定赤桉材积、枝下高和干形经济权重的指数系数响量为 $a=3,1,1$,故指数选择的方程式为:

第一批: $I=3.254 2x_1+14.812 4x_2+0.368 5x_3$,第二批: $I=2.674 1x_1+2.276 4x_2+0.914 0x_3$,第三批: $I=2.909 4x_1-0.465 2x_2+0.955 9x_3$,(x_1, x_2, x_3 分别表示材积、枝下高、形数)。

按上式评定各批试验林种源,结果汇列于表 6。参试种源的 I 值落在群体均值一倍标准差范围以外的种源,正向的第一批为 13663、13692 二个,第二批为 12501、13928、13935 三个,第四批为 17297、15050 二个,它们生长快、形质好,在我国中亚热带东部沿海地区值得推广。

表 6 赤桉各批试验林种源的选择指数

第一批		第二批		第四批	
种源号	I 值	种源号	I 值	种源号	I 值
13663	87.90	12501	70.20	17297	95.09
13692	85.16	13928	66.26	15050	94.65
13662	77.96	13935	62.28	15235	93.37
CK	76.64	CK	46.99	15223	91.87
83044	75.25	13931	46.07	13703	91.56
12498	71.32	13923	42.18	CK	90.72
12346	62.49	12500	39.77	15052	89.23
13801	59.80	12346	35.59	15441	87.14
12015	53.14	13554	30.11	14106	85.17
12499	52.15	13954	27.78	CK ₂	84.76
13554	49.90	13968	23.19	13941	81.17
12500	44.63			15029	72.10
泰国	40.32				
均值	64.42	均值	44.58	均值	87.91

2.4 种源表现与其原产地地理位置的关系

4 批试验林种源原产地的纬度 $14^{\circ}27' \sim 35^{\circ}54' S$, 经度 $119^{\circ}15' \sim 150^{\circ}17' E$, 海拔高度 $10 \sim 770 m$, 其中第三批纬度范围变化较小, 第一、二批海拔高范围变化较小。参试种源的树高、胸径、材积生长与原产地地理位置有很大关系, 以第一、第二批试验林为例(见后页表 7), 澳大利亚昆士兰州北部种源生长最好, 新南威尔士州南部种源生长最差; 沿海种源生长快, 内地种源生长慢; 低纬度种源生长较快, 高纬度种源生长较慢。

相关分析(表 8)表明: 第一批试验林种源树高、胸径和材积与原产地纬度显著负相关, 与

表 8 种源树高、胸径、材积与原产地地理位置的相关关系

试验批次	项目	纬度	经度	海拔高
第一批	树高	-0.707 7*	0.015 1	0.526 0
	胸径	-0.689 1*	-0.224 9	0.459 5
	材积	-0.701 4*	-0.106 4	0.500 9
第二批	树高	-0.096 8	-0.206 3	-0.483 6
	胸径	-0.093 6	-0.237 2	-0.293 0
	材积	0.050 1	-0.033 5	-0.261 9

表7 不同地理分布的种源生长比较

项 目	第一批(7.5年生)			第二批(5.5年生)					
	种源数	平均树高 (m)	平均胸径 (cm)	平均材积 (m ³)	种源数	平均树高 (m)	平均胸径 (cm)	平均材积 (m ³)	
原 产 地	昆士兰州 北部	3	11.42	12.28	0.066 1				
	昆士兰州 南部	2	8.37	8.83	0.031 0	1	8.97	9.26	0.036 3
	北 澳	1	8.96	10.42	0.045 0	4	8.45	8.62	0.027 7
	西 澳	1	9.46	10.93	0.050 2	3	9.04	9.12	0.030 6
	维多利亚	1	8.45	10.44	0.044 2	1	8.88	9.36	0.034 6
	新南威尔士	2	7.79	8.08	0.027 6	1	8.49	7.93	0.024 0
地 理 位 置	沿 海	6	10.19	11.44	0.055 7	6	9.21	9.29	0.032 8
	内 地	4	8.08	8.45	0.029 3	4	8.0	8.16	0.025 2
纬 度 (°)S	10~20	5	10.53	11.64	0.058 0	7	8.70	8.83	0.028 9
	21~35	5	8.15	8.85	0.032 3	3	8.78	8.85	0.031 6

经度负相关不密切,与海拔高呈正相关;第二批试验林种源树高、胸径和材积与原产地纬度、经度和海拔高均呈负相关且不密切。这说明两批试验林由于种源产地和造林地立地条件不同,受经纬度影响程度不一样。因此,在我国中亚热带东部沿海地区应选择低纬度种源为宜。

3 结论

(1)参试的4批赤桉种源试验林,种源间树高生长差异极显著,胸径和材积生长除第三批差异不显著外,其余3批均达极显著水平。生长性状年度间的生长变异,树高呈现不规则性,胸径和材积生长均随着林龄的增长而逐年变小。

(2)运用指数选择法,评选出速生且形质优良的种源:第一批是13663、13692,第二批是12501、13928、13935,第四批是17297、15050共7个,它们是遗传改良的选育对象,可在我国中亚热带东部沿海地区因地制宜推广发展。第一批泰国种源胸径、材积生长特好,但形质性状极差,干形弯曲,分枝粗,无明显主干,枝下高又低,在综合评定中被落选,而第四批的17297和15050种源生长性状居中,但形质性状特好,在综合评定中被选为速生优质种源。

(3)种源树高、胸径、材积生长与原产地地理位置有很大关系。以纬度影响最大,经度次之。试验结果表明,低纬度种源生长快,高纬度种源生长慢;沿海种源生长好,内地种源生长差;昆士兰州北部和西澳种源生长好,新南威尔士种源生长差。相关分析表明,各批试验林由于参试种源产地不同和造林地立地条件的差别,受经纬度影响程度不一样,在我国中亚热带东部沿海地区应选择低纬度种源为宜。

参 考 文 献

- 1 M. R. 杰科布斯. 桉树栽培. 罗马:联合国粮农组织,1979. 442~457.
- 2 马育华. 植物育种的数量遗传学基础. 南京:江苏科技出版社,1982.
- 3 北京林学院主编. 数理统计. 北京:中国林业出版社,1980.
- 4 齐明,陈益泰,李恭学. 杉木自由授粉后代测定及多性状选择. 林业科学研究,1990,3(6):537~543.

Provenance Test on Young Plantation of *Eucalyptus camaldulensis*

Tao Desheng

Abstract According to the data of provenance tests of 42 *Eucalyptus camaldulensis* provenances, growth of the young plantations of 4~8-year-old and their relation with the geographical location of the origins were analyzed. The results show: (1) among the different provenances, the height growth is obviously different, the *DBH* and volume growth are different, too, with only one exception; (2) the seeds from low latitude show a quick growth, but those from high altitude show a slow growth, and those from the coast show a good growth but those from the inland area show a bad growth; (3) after a comprehensive index, judgement, provenance No. 13663, 13692, 12501, 13928, 13935, 17297 and 15050 were selected, most of them come from the coastal area of Australia, 3 of them from Queensland, 2 of them from North Australia, and the other 2 from West Australia.

Key words *Eucalyptus camaldulensis*, provenance test, selection of fine provenance, growth of young plantation