

# 火炬松种源遗传变异研究 及纸浆材优良种源评选\*

## I. 性状的地理变异和相关分析

刘昭息 何玉友 孙海菁 姜景民 吕本树

**摘要** 经过 3 个年度种批的 74 个种源其 9~12 年生试验林的调查研究表明,在浙江地区火炬松种源间于生长、产量、形质和材性方面,主要性状的绝大多数存在着显著或极显著的差异,并受中度或中偏上广义遗传力的控制,干材干物质重的变幅和遗传变异系数较之其它性状更大。分析还表明,主要性状的变化与种源的原产地气候、地理位置重要因子有着复杂且多样的联系;重要性状相互间的简单相关关系亦表现不一,特别是材积和干材干物质重两性状间的各相关系数都在 0.95 以上。木材基本密度与生长、产量方面的性状呈负向相关,与形质方面的性状呈正向相关。

**关键词** 火炬松 种源 地理变异 相关分析

火炬松(*Pinus taeda* L.)原产于美国,20 年代始引入我国。由于它既具有生长快、适应范围广的优点,又是工业用材,特别是造纸材的优良树种,故深受群众喜爱,现已成为我国南方低山丘陵地区重要的造林树种。美国本土进行种源试验最早是在 1926 年,50 年代才开始系统的研究,威尔士<sup>[1]</sup>根据试验结果,将其划分为四个采种造林区,即种源区。继后,研究工作更加广泛、深入。我国开始火炬松种源试验始于 1981 年,潘志刚等<sup>[1]</sup>依据 5~8 年生试验林中各种源的生长性、适应性和稳定性综合评选出我国不同气候带及相应地理类型区的优良种源。但因受种源林年龄限制,对火炬松在新的生境条件下的形质和材性等主要经济性状方面的遗传变异分析尚未涉足,优良造纸材种源的评定工作亦未进行。基此,以 1981、1983、1984 年度三个种批在浙江地区营建的种源林为基础,对造纸材有关的重要性状开展了研究,希冀为该地区定向培育火炬松纸浆材原料林提供科学依据和改良材料。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试材来源和试点概况

试验用种有三个年度的种批,共 74 个产地。1981 年造林用种种源来自美国天然林种子,包括 11 个州、14 个产地;1983 年造林为美国种子园产地无性系的混种,有一般种源 31 个、耐寒种源 21 个,包括美国 13 个州 51 个产地。此两个年度的种批由中国林科院林研所主持的“火炬松种源试验”组提供的种子。1984 年度造林用种是南京林业大学协作造林提供的,来自美国

1996—06—03 收稿。

刘昭息研究员,何玉友、孙海菁、姜景民、吕本树(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400)。

\* 本研究为国家和浙江省“八五”科技攻关“火炬松造纸材良种选育”研究内容之一。参加工作的还有李霞、俞建新、张建忠等同志。

8 个州 22 个产地。各年度种批的原产地气候因子和地理位置概况的详细说明可见参考文献 [2]。试验对照除 1983 年度用湖北武昌母树林混种外,其它年度未专门设置,而是用各种源林各性状平均值作相应的对照。

试验点设在浙江富阳和余杭两地,各点自然条件基本情况见表 1。

表 1 试验点自然概况

地点	经度 (°)E	纬度 (°)N	海拔 (m)	年均温 (°C)	年降水量 (mm)	无霜期 (d)	地形	土壤种类	土层厚度 (m)
亚林所	119 58	30 15	100 ~ 200	15.6	1 478	221	丘陵	红壤	0.80 ~ 1.00
余杭长乐林场	119 50	30 20	60	15.8	1 390	240	丘陵	红壤	0.50 ~ 0.80

## 1.2 试验设计和方法

田间设计均采用随机区组方式,但不同年度及试点间的重复次数、小区株数不等,见表 2。

表 2 种源林设置情况

试点	重复数/小区株数		
	1981 年	1983 年	1984 年
富阳	9/8	7/12	
余杭		4/25	4/25

注:由于富阳点 1981 年度试验林有 3 个重复,设置在另一林地且生长不良,故参加统计分析的只有 6 个重复的材料。

株平均木,在离地面 1.3 m 处用 8 mm 生长锥取由树皮至髓心的完整木芯。木材基本密度用最含水法测定;管胞长度测定取材于最外一个完整年轮,用硝酸离析后在投影镜下对每个样品随机量测 30 根管胞的长度。与此同时,对伐倒样木还进行了中径、枝下高、侧枝粗、盘枝数等性状的实测。

统计分析应用方差、回归和相关等分析方法<sup>[3,4]</sup>,分析运算借助于南京林业大学“林木遗传改良实用统计应用软件”完成。为满足方差和相关分析的需要,对凡用记分或记数统计的性状均进行了相应的数据转换。

## 2 结果与分析

### 2.1 性状的遗传变异

众所周知,某个性状在种源间的差异,其重要原因是种源的基因型和环境以及两者间交互效应综合作用的结果,了解各重要经济性状和种源水平上的遗传和变异是进行优良种源选择的基础。由于 1983 年度富阳试点参试种源数有 53 个(包括对照),林分管理精细、林木生长正常,故分析时以此种源林为主,辅以其它种源林的调查材料。经统计分析,1983 年度富阳点 11 年生种源林的主要性状在种源间的差异情况及其参数见表 3。

从表 3 中看出,(1)火炬松种源林在新的生境条件下种植,大多数性状依然存在着显著或极显著的差异,材积和干材干物质重较之其它性状在变幅和变异系数方面表现尤为突出,这表明当进行造纸材优良种源选择时,产量上的潜力很大。(2)各性状的方差分量组成中,种源的方差分量与广义遗传力一样,差别很大,表明种源的基因型在各性状上的表现不相同。但是,凡种源方差分量大的性状,其广义遗传力也较高,特别是木材基本密度的表现更明显,这也是选择时相当重要的信息。同时也能看出,各性状的广义遗传力普遍偏高,这可能与估算方法(1-

表 3 种源主要性状遗传变异分析

性状	平均值	F 值	方差分量(%)			遗传参数			变幅		
			种源	区组	机误	GCV	PCV	$h^2$	最大	最小	比率(%)
树高	6.02 m	2.96**	9.45	56.87	33.68	4.13	8.84	0.66	6.58	5.40	121.85
胸径	9.08 cm	3.30**	12.39	49.96	37.65	5.84	11.00	0.70	10.40	7.87	132.15
材积	0.022 m <sup>3</sup>	3.01*	10.18	54.32	35.50	13.37	28.26	0.67	0.030 8	0.015 2	202.63
中径	6.71 cm	2.72**	14.34	43.91	41.75	4.80	9.49	0.63	7.81	5.88	132.83
形数	0.558 3	1.33	1.18	10.82	88.00	0.66	5.74	0.25	0.59	0.52	113.46
通直度	0.310 4	2.52**	8.59	16.33	75.08	8.30	24.93	0.60	0.385 1	0.227 3	169.42
枝下高	2.04 m	1.36	4.64	31.74	63.62	4.32	16.62	0.27	2.45	1.68	146.06
侧枝粗	0.277 2	1.67**	8.03	8.18	83.79	4.32	14.62	0.40	0.316 1	0.201 3	157.03
分枝角	0.171 0	1.86**	9.69	11.37	78.94	13.26	40.09	0.46	0.275 3	0.064 1	329.49
盘枝数	1.906 3	1.55*	6.40	0.24	93.36	3.59	11.18	0.35	2.042 0	1.781 3	114.64
基本密度	0.36 g/cm <sup>3</sup>	4.30**	36.34	8.54	55.12	4.21	6.68	0.77	0.399 7	0.327 1	122.20
管胞长	2.95 mm	1.01	1.85	1.16	97.99	0.88	4.95	0.14	3.119 5	2.814 6	110.83
晚材率	0.311 8	1.27	4.54	9.96	85.50	4.55	20.24	0.21	0.378 9	0.245 1	154.59
干材干重	8.78 kg	2.44**	13.46	49.08	37.46	14.01	29.66	0.59	12.08	5.71	211.76

注: (1) 表中形数、盘枝数、枝下高等和材性方面的性状为 31 个种源的数据。(2) 性状均值中未列出单位的为相应数据转换值。

1/F) 有关。

经对树高、胸径、材积、干材干物质重、通直度和基本密度等性状进行多重比较表明, 上述性状各自前 8 名的种源之间均不存在显著差异, 代表生长和产量指标的性状, 各自前 8 名种源, 除对照(湖北武昌火炬松母树林混种)外, 其它都是来自美国墨西哥湾区和东南沿海种源区的, 而基本密度最大的前 8 名, 大多源自美国密西西比河以西种源区。各性状前 8 名平均值与林分值比较, 表型增益分别为 6.55%、7.49%、20.35%、13.21%、9.34% 和 3.51%。

为揭示这种差异在生长过程中的变化趋势, 我们利用同一种源林的高、粗生长逐年调查数据进行了分析, 结果见表 4。由表 4 可以看出: 高、径生长在种源间的差异自第二年开始出现, 随着林龄的递增, 差异一直保持下去并始终达极显著水平; 遗传变异系数、种源间变幅与林分

表 4 种源林逐年生长量方差分析

林龄	性状	平均值	F 值	PCV	GCV	变幅/平均值(%)	$h^2$
2 年生	树高	0.59	4.07**	10.88	9.11	46.15	0.74
	地径	1.35	3.53**	11.48	8.80	55.47	0.65
3 年生	树高	1.28	4.08**	9.41	7.19	45.24	0.78
	地径	2.98	2.89**	9.08	6.85	45.38	0.65
4 年生	树高	2.07	3.15**	8.58	8.41	35.84	0.74
	地径	4.93	3.28**	7.90	5.79	39.33	0.71
5 年生	树高	2.90	3.08**	6.51	4.78	25.86	0.69
	胸径	3.82	3.49**	11.56	8.29	49.49	0.74
6 年生	树高	3.63	2.45**	5.68	4.04	19.83	0.65
	胸径	5.54	3.37**	9.02	6.39	38.11	0.74
8 年生	树高	4.77	3.31**	5.01	3.16	19.31	0.72
	胸径	7.50	3.58**	6.83	4.28	27.72	0.75
9 年生	树高	5.10	2.96**	4.96	2.23	18.63	0.70
	胸径	8.05	3.57**	18.61	3.86	25.92	0.77
11 年生	树高	6.05	3.60**	9.01	4.69	19.64	0.72
	胸径	9.08	4.49**	12.47	7.19	30.50	0.78

注: PCV 为表型变异系数, GCV 为遗传变异系数。

均值的比率以及广义遗传力随着年龄增加虽有波动现象,但基本上呈现在逐渐缩小差异的过程中趋向相对稳定,这表明种源的遗传潜力在得到不断发挥,适应环境的能力在不断加强;树高生长在种源间的差异自第6年趋于稳定状态,而径生长则要在8年生以后才出现。

## 2.2 性状的地理变异模式

气候因子和地理位置对种内变异的压力是相当大的,了解各种源重要经济性状在新的生境条件下与原产地自然因子的关系及变化规律,对进一步定向选择和引种至关重要。经对1983年富阳点种源林的分析,结果见表5。

表5 主要性状与气候、地理因子相关分析

因 子	相 关 系 数						
	树高	胸径	材积	干材干物质重	干通直度	木材基本密度	
气候因子	年均温	0.468**	0.515**	0.513**	0.515**	-0.404	-0.0012
	年降水量	0.202	0.159	0.161	0.229	-0.287	-0.0622
	无霜期	0.358*	0.424**	0.425**	0.413*	-0.589**	-0.1385
地理位置	经度	0.257	0.108	0.138	0.353	0.026	0.3965
	纬度	-0.438**	-0.487**	-0.483**	-0.528**	0.468*	0.1536

注:树高、胸径、材积、通直度为53个种源数据,其它的为31个。

表5说明:(1)主要生长、产量性状与原产地的热量因子间呈极显著的正相关,但与纬度表现为极显著的负相关。(2)木材基本密度与主要气候因子的关系相当微弱;与经度的关系较之与纬度显得密切些,但均未达到显著的水平。这是因为火炬松在原产地的自然分布受到特殊区域范围的影响所致。当作进一步复相关分析时,基本密度与经度、纬度的复相关系数为0.6574,达到显著水平。据B. J. Zobel等在《木材变异——成因与控制》一书中报道<sup>[5]</sup>,“试验表明,在北方种植的种子来自于高木材基本密度的南方群体的树木,与用当地天然林分的种子种植的火炬松相比,所生产的木材一样,甚至基本密度还要低。将南部的高木材基本密度林分种子调到北部,并没有带来木材基本密度的增加”。(3)通直度受无霜期和纬度的影响较大,方向虽相反,但变化趋势则一致。(4)主要性状与年降水量和经度的关系虽然呈现的紧密程度不一,但均未达显著水平。综合上述现象说明,火炬松种源在浙江地区引种,来自美国墨西哥湾区和东南沿海地区的种源在生长和产量上比来自美国西北、内陆地区的较高,变化以纬度为主、经度为辅呈双向倾群渐变型式;木材基本密度虽然受气候、地理位置主要因子的影响较小,但也表现出由东向西、由南向北、由东南向西北呈逐渐增加的趋势;通直度由南向北逐步变优些。

## 2.3 性状间相关

分析重要性状间的相关性,对估算相关遗传进展以及评定种源具有重要的作用。因此,我们在性状遗传变异研究的基础上,又利用1983年度富阳点种源林的资料进行了这方面的分析,其简单相关结果见表6。表中显示:(1)生长、产量方面的重要性状相互间在表型、遗传和环境上均呈极显著的正相关。就生长和产量两类性状而言,胸径与材积的关系较之树高与材积间显得更密切些。中径的情况与胸径的表现雷同。代表产量指标的材积和干材干物质重之间的各种相关系数值都在0.95以上,几乎达到择其一即可代表另一性状的表现水平。(2)表示形质优劣的通直度、分枝角和侧枝粗三者之间虽然呈现正向相关,但紧密程度则很微弱,说明它们之间相互独立性较强。形质方面的性状与生长、产量性状间的关系大多呈负相关,只有分枝角与所有性状(除通直度外),以及侧枝粗与材积、通直度与中径之间在遗传上表现为极显著相关。特别应指出的是,通直度与干材干物质重的关系较之与材积更微弱,与树高的关系也比与

表 6 富阳点 11 年生种源林性状相关分析

性 状		树高	胸径	材积	干材干重	中径	通直度	分枝角	侧枝粗
胸 径	<i>P</i>	0.828 4 <sup>*</sup>							
	<i>G</i>	0.853 3 <sup>*</sup>							
	<i>E</i>	0.797 1 <sup>*</sup>							
材 积	<i>P</i>	0.896 3 <sup>*</sup>	0.967 7 <sup>**</sup>						
	<i>G</i>	0.927 9 <sup>*</sup>	0.989 9 <sup>*</sup>						
	<i>E</i>	0.852 4 <sup>*</sup>	0.928 6 <sup>*</sup>						
干 材 干 重	<i>P</i>	0.912 3 <sup>*</sup>	0.900 0 <sup>*</sup>	0.961 8 <sup>**</sup>					
	<i>G</i>	0.971 6 <sup>*</sup>	0.894 6 <sup>*</sup>	0.955 6 <sup>**</sup>					
	<i>E</i>	0.830 4 <sup>*</sup>	0.916 7 <sup>*</sup>	0.973 7 <sup>**</sup>					
中 径	<i>P</i>	0.540 7 <sup>*</sup>	0.722 2 <sup>*</sup>	0.702 4 <sup>**</sup>	0.604 6 <sup>**</sup>				
	<i>G</i>	0.556 3 <sup>*</sup>	0.815 5 <sup>*</sup>	0.785 2 <sup>**</sup>	0.658 1 <sup>**</sup>				
	<i>E</i>	0.519 8 <sup>*</sup>	0.548 5 <sup>*</sup>	0.558 9 <sup>**</sup>	0.521 4 <sup>**</sup>				
通直度	<i>P</i>	-0.062 0	-0.301 9	-0.218 6	-0.095 3	-0.431 5 <sup>*</sup>			
	<i>G</i>	-0.026 4	-0.418 7 <sup>*</sup>	-0.261 4	-0.053 8	0.613 8 <sup>*</sup>			
	<i>E</i>	-0.107 8	-0.124 0	-0.158 3	-0.150 8	-0.166 4			
分枝角	<i>P</i>	-0.256 7	-0.374 4 <sup>*</sup>	-0.338 7	-0.297 3	-0.262 5	0.166 9		
	<i>G</i>	-0.524 0 <sup>*</sup>	-0.673 6	-0.661 1 <sup>**</sup>	-0.612 0 <sup>**</sup>	-0.504 9 <sup>*</sup>	0.223 1		
	<i>E</i>	0.085 9	0.085 9	0.124 7	0.119 7	0.091 4	0.097 8		
侧枝粗	<i>P</i>	0.053 8	-0.280 7	-0.209 1	-0.055 2	-0.443 9	0.583 4 <sup>*</sup>	0.167 9	
	<i>G</i>	-0.006 4	-0.675 8 <sup>**</sup>	-0.603 1 <sup>**</sup>	-0.249 7	-1.000	1.000	0.293 2	
	<i>E</i>	0.099 5	-0.006 6	0.060 8	0.074 6	0.038 5	0.181 1	0.100 7	
基 本 密 度	<i>P</i>	-0.112 0	-0.412 2 <sup>*</sup>	-0.302 4	-0.037 2	-0.430 8 <sup>*</sup>	0.473 6 <sup>*</sup>	0.310 5	0.532 9 <sup>**</sup>
	<i>G</i>	-0.095 9	-0.525 0 <sup>*</sup>	-0.368 0 <sup>*</sup>	-0.075 1	-0.521 6 <sup>*</sup>	0.701 5 <sup>*</sup>	0.479 2 <sup>**</sup>	1.000
	<i>E</i>	-0.154 3	-0.130 8	-0.157 5	0.043 9	-0.225 6	0.048 9	-0.005 7	0.075 6

注:  $r_{0.01} = 0.456$ ,  $r_{0.05} = 0.355$ 。

胸径、中径的关系微弱,这是进行通直度单性状选择和改良时值得重视的信息。(3)木材基本密度与生长、产量性状之间的关系虽然紧密程度有异,但都呈负向相关;它与形质方面的性状之间表现为正相关。这表明,当考虑在种源水平且侧重木材基本密度指标进行选择时,必须注意到给其它重要性状造成的不同影响。

### 3 结论与讨论

(1)火炬松在浙北地区引种,其重要经济性状在种源间的差异绝大多数呈现显著或极显著水平,并受中等强度广义遗传力控制,特别是生长、产量方面的性状尤为明显。

(2)种源各类性状的变异与原产地的重要气候、地理位置因子有关。生长、产量性状变化以纬度为主、经度为辅呈双向倾群渐变型式;木材基本密度美国西北地区种源比东南地区的要高些。

(3)种源的重要经济性状之间存在着复杂的多样性关系。生长、产量方面的重要性状间无论在表型,还是在遗传、环境上都呈极显著的正相关,尤其是材积和干材干物质重之间的各种相关系数值均在 0.95 以上。

(4)由于种源林仍处于中龄林阶段,以及某些性状采用较粗放的等级进行评分,所以有些变异现象尚需继续或进一步研究,以便为造纸材种源选择提供更科学的依据。

## 参 考 文 献

- 1 潘志刚. 湿地松、火炬松种源试验研究. 北京: 科学技术出版社, 1992.
- 2 潘志刚, 游应天. 湿地松、火炬松、加勒比松引种栽培. 北京: 科学技术出版社, 1991.
- 3 马育华. 植物育种的数量遗传学基础. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984.
- 4 沈熙环. 树木育种学. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- 5 Zobel B J, Buijtenen van J P. Wood variation: its causes and control. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1989.

**Genetic Study and Pulpwood Selection  
of Loblolly Pine Provenances  
· Geographical Variation and Correlation  
Analyse of Economic Traits**

*Liu Zhaoxi He Yuyou Sun Haiqing Jiang Jingmin Lu Benshu*

**Abstract** The 3 provenance tests of 9 a, 11 a, 12 a in Zhejiang Province, including 74 loblolly pine seed sources, were studied. Many variables of growth, yield, tree form and wood property showed there were more significant difference among provenances with above moderate heritability, the variation of stem dry weight was more significant than that of the other traits. There was complex relationship between the provenance variation of variables and the climatic factors and geographical position of seed sources. The intercorrelations between important traits were also diversified, every correlation coefficient of stem volume and dry weight was above 0.95, wood density were negatively correlated with growth and yield traits, and positively correlated with tree form traits.

**Key words** loblolly pine provenance test geographical variation correlation analyse

---

Liu Zhaoxi, Professor, He Yuyou, Sun Haiqing, Jiang Jingmin, Lu Benshu (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF Fuyang, Zhejiang 311400).