

# 火炬松纸浆材优良家系多性状选择\*

姜景民 孙海菁 刘昭息

**摘要** 对6年生火炬松自由授粉子代测定林进行了生长、材性和干形等性状的遗传参数估算和相关关系分析。树高、木材基本密度在家系间存在极显著差异,且具较高的遗传力,胸径、材积、干材干重和管胞长度具中度遗传力,树干通直度和分枝性状未发现显著的家系间差异。干材干重与生长性状呈高度正相关,与木材基本密度呈微弱的负相关,而与管胞长度呈负相关。以纸浆材为选择目的进行家系指数选择,认为包含产量(干材干重)和质量(木材基本密度)两个直接目的性状,并给予前者较大权重的指数较为理想。据此选出了五个产量和材性均较优的家系。

**关键词** 火炬松纸浆材、家系遗传分析、产量—材性性状、指数选择

火炬松(*Pinus taeda* L.)是美国南方松类中最重要的速生纸浆用材树种,我国亚热带地区已广泛引种,将成为今后主要的造纸原料树种之一。国内对其遗传改良工作始自80年代,先后开展了种源试验,建立了一批种子园和测定林,同时生产单位也陆续进口了大批用于造林的商品性种子。由于火炬松属外来树种,目前遗传基础偏窄仍是制约遗传改良的主要因素。从现有群体中选择优树,经测定后用于建立改良代生产群体是拓宽遗传基础的重要途径,但当前大多数子代测定林仍处于幼龄阶段。

单位时间的遗传增益与选择周期的长度成反比,开展早期测定和选择将加速改良进程。有关火炬松的早期选择效果国外已有大量研究。Lambeth等认为火炬松生长性状的幼—成遗传相关非常紧密,早期家系选择极为有效,5年生时选择效果与20年生时无大差异<sup>[1]</sup>。Talbert等发现幼龄材、成熟材和全树加权的木材基本密度之间高度相关<sup>[2]</sup>。Loo等<sup>[3]</sup>发现,木芯各年龄段的基本密度都具较高遗传力,幼龄时对高基本密度个体的选择可导致25年生时的高基本密度,因而可通过早期选择来改良,但管胞长度遗传力差,不易因选择而改进。因此火炬松家系的大多数性状在早期(5~10 a)选择是有效的。

据此,本文对一片6年生火炬松优树子代测定林进行了遗传分析和家系评选,以期在早期选出生长、材质兼优的家系作为纸浆材定向培育或多世代改良的材料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 林分概况

试验林位于浙江省余杭市长乐林场,1989年初造林。参试家系32个,4株方形小区,株行距2.5 m×2.5 m。因造林用苗不足,各家系重复次数不等。本文中采用27个家系,8个区组构

1995-09-06收稿。

姜景民副研究员,孙海菁,刘昭息(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400)。

\* 本文属“八五”国家攻关“国外松短周期工业用材良种选育”和浙江省科技攻关“火炬松纸浆材良种选育”课题的内容。参加试验林营建和调查工作的有本所陈孝英、何礼华、李霞、盛能荣和长乐林场董耀卿、张建忠、俞建新;本文承吕本树先生审阅,一并致谢。

成完全随机区组进行分析。其中 27-30、50-52 几个家系为福建平和天马林场优树,其余为广东英德火炬松种子园无性系自由授粉子代和韶关林科所等的优树子代。

## 1.2 调查方法

1994 年底对林分进行全林调查,因子包括树高、胸径、通直度、分枝角和侧枝粗。单株材积按形数  $f = 0.56$  计算。通直度采用六级目测评分法赋值,分枝角为实测近冠基轮生枝角均值,按五级评分,侧枝粗为近冠基轮生枝粗均值,按主干粗/枝粗评分,统计分析时三因子均作对数转换。

1995 年初在各小区选择一株中上水平植株,于上坡位胸高处用 8 mm 生长锥钻取一树皮至髓心完整无疵的木芯。用饱和含水量法测定木材基本密度,取外层年轮经离析后测定全年轮 40 根管胞长度,计算均值。以该树值作为该小区材性均值。以材积均值和基本密度的乘积作为(树干)木材干重均值。

## 1.3 统计分析

用小区平均值进行统计分析。方差与协方差分析运用简单线性模型。性状的个体遗传力  $h^2 = 4\sigma^2 / (\sigma^2 + \sigma_e^2)$ , 家系遗传力  $h_j^2 = \sigma_j^2 / (\sigma_j^2 + \sigma_e^2 / r)$ 。

家系选择采用指数选择法<sup>[4]</sup>。建立 Smith-Hazel 指数  $I = \sum b_j p_j$ , 计算指数系数  $b$  使得对  $I$  的选择对聚合基因型值  $H$  产生最大的间接增益  $\Delta H = i\sigma_h h^2$ 。指数系数矩阵  $[b] = [P]^{-1} [A] [W]$ 。权重  $W$  的确定按等权重法计算,  $W = 1/\sigma_p$ , 并在此基础上变动以对某些性状予以强调。为避免出现因一性状的增益导致其它性状的负向增益,建立约束指数。比较各性状的预期遗传进展,选择较好的性状和权重组合,构成选择指数式。计算各家系的  $I$  值,从而选出优良的家系。上述  $\sigma^2$ ,  $\sigma_e^2$  和  $r$  分别为家系、剩余误差的方差分量和重复数,  $[P]$  为表型方差-协方差矩阵,  $[A]$  为遗传方差-协方差矩阵,  $\sigma_p$  为表型标准差,  $[W]$  为权重向量,  $i$  为选择强度,  $h^2$  为指数遗传力。

# 2 结果与分析

## 2.1 各主要经济性状的遗传参数估算

如表 1 所示,经方差分析表明,树高、胸径和材积三个性状,在家系间的差异都达到显著水平,均属高度遗传性状,尤以树高遗传力突出。胸径不及树高之显著,可能与林分高度郁闭有关,因为已知树木直径对竞争效应的反应要比树高敏感得多,随株间竞争的增加,遗传效应将下降<sup>[5]</sup>。

木材性状中,基本密度表现出极显著的家系间差异,个体和家系遗传力都比较高,这与以前有关报道是一致的<sup>[2,3,6]</sup>。基本密度对造纸材产量、纸浆得率及纸产品质量至关重要,尽管与其它性状相比,难以对大群体进行测定,但其高度遗传性和大的差异表明对其选择将产生实质性的增益。管胞长度在家系间差异显著,受中度遗传控制。树干木材干重是材积和基本密度两者的复合性状,亦是造纸材产量的直接衡量指标。分析表明家系间差异显著,最大家系比最小家系高 53%,遗传力较高。

该林分树干通直度的遗传力属中等,而通常的结论是火炬松通直度遗传性很强,这可能与林分年龄较小有关。据 Zobel 等指出,通直度的遗传控制似乎随树龄而增强<sup>[6]</sup>。另一方面,该林分通直度总体水平较高,家系间差异不显著,反映出优树初选效果明显。美国北卡火炬松协作

表 1 各性状的方差分量与遗传力

性状	林分表现		方差组分			遗传力	
	均值	变幅	$\sigma_e^2$	$\sigma_b^2$	$\sigma_c^2$	$h_p^2$	$h_g^2$
树高 $H$ (m)	5.87	5.35 ~ 6.67	0.042 15 <sup>*</sup> (3.370)	0.130 15 (25.845)	0.331 28 (65.785)	0.504	0.451
胸径 $D$ (cm)	11.8	11.17 ~ 12.77	0.085 83 <sup>*</sup> (4.239)	0.833 19 (41.155)	1.105 51 (54.606)	0.383	0.288
单株材积 $V$ (m <sup>3</sup> )	0.038 43	0.032 41 ~ 0.048 43	0.704 6 × 10 <sup>-5</sup> <sup>*</sup> (4.450)	6.613 7 × 10 <sup>-5</sup> (41.769)	8.516 5 × 10 <sup>-5</sup> (53.786)	0.398	0.306
基本密度 $WD$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.336 8	0.319 3 ~ 0.362 20	0.535 36 × 10 <sup>-4</sup> <sup>*</sup> (10.758)	0.695 53 × 10 <sup>-4</sup> (13.976)	3.745 57 × 10 <sup>-4</sup> (75.266)	0.533	0.500
干材干重 $SB$ (kg)	12.809	10.846 ~ 16.594	0.829 85 <sup>*</sup> (4.936)	6.707 36 (39.892)	9.276 58 (55.172)	0.417	0.328
管胞长度 $FL$ (mm)	0.258 8	0.248 3 ~ 0.275 1	0.175 18 × 10 <sup>-4</sup> <sup>*</sup> (7.129)	0.074 53 × 10 <sup>-4</sup> (3.033)	2.207 47 × 10 <sup>-4</sup> (89.838)	0.585	0.558
树干通直度 $ST$	0.571	0.494 ~ 0.632	0.000 323 <sup>NS</sup> (3.513)	0.000 615 (6.686)	0.008 258 (89.801)	0.238	0.151
分枝角度 $BA$	0.449	0.381 ~ 0.507	0.000 32 <sup>+</sup> (4.766)	0.000 84 (12.538)	0.005 56 (82.696)	0.316	0.218
分枝粗 $BD$	0.329	0.242 ~ 0.398	- 0.000 040	- 0.000 039	0.010 926	-	-

注: 括号内为方差分量百分值。\* \* \*, \* \* + 分别示显著度大于  $F_{\alpha=0.01, 0.05, 0.10}$  “NS” 示不显著。

改良中, 第一代育种即能使该性状达到较满意水平。分枝角度的家系间差异在 10% 水平上显著, 属中度遗传性状。而侧枝粗, 家系和区组的效应近为零, 反映出在高度郁闭状态下, 侧枝正常发育受到影响, 该性状的遗传特性未能表现出来。

## 2.2 各性状间的相关关系

性状间的相关关系影响到多性状同步改良的后果, 因而具有重要意义。表 2 列出了家系间差异达显著水平的各性状之间的表型和遗传相关。生长性状间, 材积与树高和胸径紧密相关, 而树高与胸径之间为中度相关, 这与前述胸径受竞争效应的影响有关。三性状与树干材干重高度遗传相关。

表 2 性状间的表型和遗传相关系数

	树高 $H$	胸径 $D$	材积 $V$	密度 $WD$	干材干重 $SB$	管胞长度 $FL$	分枝角 $BA$
$H$		0.540 7 <sup>**</sup>	0.793 7 <sup>**</sup>	- 0.002 6	0.798 3 <sup>**</sup>	- 0.193 6	0.036 2
$D$	0.425 4 <sup>*</sup>		0.922 9 <sup>**</sup>	- 0.314 1	0.854 0 <sup>**</sup>	- 0.106 2	- 0.003 4
$V$	0.763 8 <sup>**</sup>	0.924 1 <sup>**</sup>		- 0.261 0	0.937 3 <sup>**</sup>	- 0.125 2	0.013 0
$WD$	0.074 8	- 0.447 5 <sup>*</sup>	- 0.360 1		- 0.000 5	0.033 9	0.109 6
$SB$	0.832 8 <sup>**</sup>	0.859 5 <sup>**</sup>	0.967 6 <sup>**</sup>	- 0.006 11		- 0.093 7	0.103 9
$FL$	- 0.693 7 <sup>**</sup>	- 0.486 2 <sup>*</sup>	- 0.592 8 <sup>**</sup>	0.165 7	- 0.435 9 <sup>*</sup>		- 0.043 7
$BA$	0.146 0	- 0.024 7	- 0.089 2	0.185 3	- 0.332 5	0.081 9	

注: 上三角为表型相关系数, 下三角为遗传相关系数。  $r_{(0.05)} = 0.38$ ,  $r_{(0.01)} = 0.49$ 。

基本密度与胸径呈中度负相关, 与材积的负相关虽不显著, 但其水平不可忽视, 因此在对生长性状改良时应防止造成对密度的削减。基本密度虽是干材干重的构成因素之一, 但两者却存在微弱的负相关, 与实质上两者应属正向关系相悖, 究其原因是材积与基本密度的负相关造

成了基本密度大的家系生物量较小这种一般性趋势。但这种趋势并不意味着速生高产家系必然属低密度,有些高产家系同时具较高的木材基本密度。通过合理的选择方法,两性状同时获得提高是可能的。

管胞长度与各生长性状及干材干重均呈中度以上负相关,而与基本密度呈弱度正相关,亦即对产量的改良必将造成管胞长度的下降。但火炬松本身即属长纤维树种,因此这种下降不足以对产品的质量造成大的影响。分枝角与各性状的相关微弱,可认为是一个相对独立遗传的性状。

### 2.3 优良纸浆材家系的生长—材质联合选择

适于纸浆材的家系选择涉及到多个目标性状,指数选择方法是在相关关系复杂的多性状之间取得较好的平衡,使得主要性状有大的改良,其它性状损失较少的最有效方法。在对选择性状的选取中,生长和产量性状应是首要的因子,但因它们属高度相关性性状,依据指数选择的原则<sup>[4]</sup>,这里只选取反映纸浆材产量的直接衡量指标树干材干重参与指数的构建。基本密度既影响纸浆得率也影响纸产品质量,是材性改良的主要因子。其它性状或因遗传力不高,差异不显著,或基于前述与主要性状的关系的考虑,不纳入指数中,因此,选择干材干重和基本密度两个性状,构建指数。其结果如表 3。

表 3 各选择指数的遗传参数  $(i = 1.40)$

编号	相对经济权重		期望遗传进展		指数遗传力	聚合基因型遗传进展 $\Delta H$	指数与聚合遗传型值相关系数 $r_{IH}^2$	指数效率 $E_r(\%)$
	$SB$	$WD$	$SB(\text{kg})$	$WD(\text{g}/\text{cm}^3)$	$h_i^2$			
1	0.066	1.000	0.317 80	0.000 11	0.414	0.054 09	0.710 3	29.389
2	0.660	1.000	0.825 55	-0.000 81	0.421	0.544 05	0.700 3	29.877
2 <sub>a</sub>	0.660	1.000	0.823 64	0	0.417	0.543 21		

注: a 为对  $WD$  增益约束指数。

指数 1 和 2 相比,  $r_{IH}^2$  无差异,将干材干重扩大 10 倍的指数 2 遗传力、指数效率和干材干重的期望遗传进展有所增加。但木材基本密度出现负向增益。将木材基本密度的预期增益约束为 0,干材干重和聚合基因型增益及指数遗传力均略有降低,但程度很小,仍高于指数 1 的参数值。因此,在以纸浆材产量为首选目标的情况下,指数 2<sub>a</sub> 较为理想。据此选出了五个优良家系如表 4。

表 4 入选家系的性状表现及指数值

家系	树高 (m)	胸径 (cm)	材积 (m <sup>3</sup> )	基本密度 (g/cm <sup>3</sup> )	干材干重 (kg)	管胞长 (mm)	分枝角	$I_{2a}$
6	6.67	12.69	0.048 43	0.347 3	16.594 4	0.258 0	0.414	0.002 88
9	6.20	12.77	0.045 79	0.334 8	15.187 4	0.248 3	0.483	0.002 63
17	6.05	12.58	0.044 43	0.330 3	14.551 0	0.249 9	0.481	0.002 53
18	5.98	12.68	0.044 40	0.327 0	14.386 1	0.262 0	0.458	0.002 50
27	6.36	12.14	0.042 70	0.339 0	14.343 2	0.256 4	0.446	0.002 49
林分均值	5.87	11.8	0.038 43	0.336 8	12.809 3	0.258 8	0.449	0.002 23
平均表型增益(%)	6.51	6.54	17.49	-0.33	17.20	-1.50	1.65	16.86
平均遗传增益(%)	3.28	2.50	6.96	-0.18	7.14	-0.58	0.52	7.03

### 3 结论与讨论

(1) 通过对幼龄火炬松自由授粉子代的测定分析发现, 在诸多重要的经济性状上如生长、产量和材性等因子, 都存在显著的变异, 且具中等以上程度的遗传力, 表明选择将有良好的选择响应, 通过早期测定在较短时期内选出优良的材料是有较大潜力的。当前国内火炬松初级种子园遗传品质尚未经过全面的测定, 而且种子产量在需求中所占份量很小, 每年造林用种仍以从国外进口大批商品种子为主。另外, 引进高品质的遗传材料以期加速我国国外松改良进程有许多困难。因此, 各地应重视从现有那些用进口种子营造的人工林中开展高强度的优树选择, 丰富种质资源库, 扩大国外松的遗传基础。

(2) 定向培育以达高效利用是用材林发展的方向。火炬松的主要利用方向将是作为造纸原料树种, 其干物质重量是林分所能生产纸浆产量的主要决定因子, 而基本密度同时关系到纸浆的得率和纸产品的质量, 两者应是良种选育中的首要直接目的性状。与大多数对国外松类研究结果相同, 火炬松的材积与木材基本密度呈负相关, 这种关系造成密度与干材干重呈微弱负相关的结果, 因为干材干重是由材积和基本密度两者控制的。Bridgwater 等对火炬松控制授粉子代林的研究结果发现, 基本密度与材积呈微弱的负相关, 而与干物质重量呈弱的正相关<sup>[7]</sup>。管胞长度与产量因子均呈负相关, 指数选择结果表明两者无法同步改良。因此在选择过程中, 应在产量和材性之间取得较好的结合。

(3) 在指数选择中, 以干材干重和基本密度作为选择性状, 在给予干物质重以较大重视, 对基本密度的负向增益进行约束的条件下, 选出了五个产量、材质兼优的家系, 五家系的单性状均值与林分均值相比, 干材干重的平均遗传增益提高 7.17%。对几种指数构建的结果比较发现, 扩大干材干重的权重, 使得聚合基因型和干材干重获得较大的遗传进展, 但对干材干重的重视导致基本密度的下降, 有必要对此进行约束。在指数中纳入材积对提高聚合基因型和干材干重期望进展及指数遗传力和选择效率效果不明显, 这符合 Cotterill 等<sup>[4]</sup>所述, 在一个指数中包含多个高度相关的性状只能对基因型值带来很小的额外增益。

### 参 考 文 献

- 1 Lambeth C C, van Buijtenen J P, Duke S D, et al. Early selection is effective in 20-year-old genetic tests of loblolly pine. *Silvae Genetica*, 1983, 32(5~6): 210~215.
- 2 Talbert J T, Jett J B, Bryant R L. Inheritance of wood specific gravity in an unimproved loblolly pine population: 20 years of results. *Silvae Genetica*, 1983, 32(1~2): 33~37.
- 3 Loo J A, Tauer C G, van Buijtenen J P. Juvenile-mature relationships and heritability estimates of several traits in loblolly pine (*Pinus taeda*). *Can. J. For. Res.*, 1984, 14(6): 822~825.
- 4 Cotterill P P, Dean C A. Successful tree breeding with index selection. CSIRO Australia, 1990.
- 5 Foster G S. Trends in genetic parameters with stand development and their influence on early selection for volume growth in loblolly pine. *Forest Science*, 1986, 32(4): 944~959.
- 6 Zobel B J, van Buijtenen J P. Wood variation—its causes and control. New York: Springer-Verlag, 1989.
- 7 Bridgwater F E, Talbert J T, Jahromi. Index selection for increased dry weight in a young loblolly pine population. *Silvae Genetica*, 1982, 32(5~6): 157~161.

## Multitraits Selection of Loblolly Pine Families for Pulpwood

*Jiang Jingmin Sun Haiqing Liu Zhaoxi*

**Abstract** Estimates of genetic parameters and correlation analyses are presented for growth, wood properties and form traits of a 6-years-old open-pollinated progeny test of *P. taeda*. There are very significant differences in stem height, and wood basic density between families and with higher family heritabilities and in stem diameter, volume, bole biomass and fiber length, there are moderate heritabilities. As for stem straightness, branch angle and diameter no difference has been found. Bole biomass have strong genetic correlation with growth traits and weak correlation with basic density, and adverse correlation with fiber length. Take pulpwood production as the breeding goal, the comparison of several multiple trait index selections showed that the index should be incorporating bole biomass and basic density and placing more emphasis upon biomass is more ideal. Five elite families have been selected according to the index.

**Key words** loblolly pine pulpwood, family genetic analysis, yield-wood property traits, index selection

---

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