

# 湿地松家系生长和材性遗传变异分析\*

宋云民 黄 铨 黄永利

**摘要** 对广西南宁地区林科所引自津巴布韦 10 年生的 10 个湿地松家系的材性和生长因子进行了遗传变异分析。结果如下:(1)湿地松材性和生长因子都具有中等以上的家系遗传力,各因子家系间差异显著,特别是管胞长度、树高和材积指数家系间差异极显著,具有较大的遗传改良潜力。(2)基本密度与晚材率间具有中等程度的正向表型和遗传相关关系,与管胞长度为弱的负向表型相关和遗传相关;晚材率与管胞长度为弱的负向表型和遗传相关。生长性状间存在着极显著的正向表型和遗传型相关关系。基本密度和晚材率与生长因子间为弱的正向遗传相关;管胞长度与生长因子间具有弱的负向表型相关和极显著的负向遗传相关关系。(3)树高对湿地松材性具有较高的间接选择效应。

**关键词** 湿地松、家系、生长因子、材性、遗传变异

湿地松(*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*)原产美国东南部,在我国引种已有 50 多年历史,主要在亚热带中南部的广大地区栽培,是该地区主要的用材树种之一。以往我国湿地松的生产性更新和树木改良计划一般是以生长表现为主,随着我国林产工业的不断发展,人们对木材质量即材性的要求越来越高,这就要求林木育种工作者必须制定包括木材质量在内的湿地松林木改良计划,以对湿地松进行遗传改良和生产性更新,而湿地松材性和生长的遗传变异规律的研究应成为该计划的第一步。

材性包括多种性状,但 Guth<sup>[1]</sup>在对湿地松个体间及个体内木材性状的变异研究认为木材密度、晚材率和管胞长度可以作为早期木材质量的指示性状。本研究通过经选择的湿地松自由授粉家系,在我国广西南宁地区林科所相同立地进行的对比试验,对湿地松的基本密度、晚材率和管胞长度 3 个性状及生长因子进行了遗传变异分析、遗传参数估计、因子间相关分析及生长因子对材性因子的间接选择,为制定我国湿地松林木改良计划提供基础依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地及试验林

试验地位于广西南宁地区林科所,23°10' N,108° E,年均温 21.5 °C,年降水量 1 250 mm,蒸发量为 1 614 mm,年均相对湿度为 79%,土壤为第四纪红土发育形成的中壤厚层赤红壤,pH 值 4.5~5.5,海拔 115~120 m,地势平坦,坡度 5°。

1983 年从津巴布韦(原引自美国东南部墨西哥湾)两个湿地松种子园引进 10 个优良家系

1995-01-04 收稿。

宋云民助理研究员,黄铨(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);黄永利(广西壮族自治区南宁地区林业科学研究所)。

\* 本文系国家“八五”攻关课题“国外松建筑材、纸浆材良种选育”部分内容。

种子,以我国台山湿地松种子园当年混采种子作为对照,建成湿地松家系对比试验林。试验采用随机区组设计,6株单行小区,5次重复,株行距2.75 m×2.75 m。

### 1.2 取样方法

1993年春天,配合优良家系选择,在各家系内随机选择10株样木,在树高1.3 m处用5 mm生长锥取韧皮部至髓心一段木芯作为样品,同时测定胸径、树高,将胸径平方乘以对应的树高作为各取样木的材积指数,代替材积参与分析。

木材基本密度以饱和含水率法测定。晚材率为整个样品晚材的平均值。管胞长度测定采取样品最外一个完整年轮,以常规方法离析,以显微投影器放大,每个样品测50根管胞长度,取其平均值作为样品的管胞长度。

### 1.3 统计分析方法

统计分析模型为:  $x = u + g + e$

式中  $x$  为性状观测值,  $u$  为总体平均值,  $g$  为家系效应,  $e$  为随机误差。

对家系各性状进行方差分析和方差分量的分解,估算各性状的家系遗传参数;对各相关性状进行协方差分析和分解,估算相关性状的相关系数、遗传预测系数、 $i$  性状对  $j$  性状间接选择的预期遗传增益。

$$CGP_{ij}^{[2]} = COV_{g_{ij}} / \sqrt{V_{P_i} \cdot V_{P_j}}; CGS_j^{[3]} = K_i \sqrt{H_i^2 \cdot H_j^2 \cdot R_{g_{ij}} \cdot \sigma_{P_j}}$$

上式  $CGP_{ij}$ 、 $CGS_j$ 、 $COV_{g_{ij}}$ 、 $R_{g_{ij}}$  分别示  $i$  性状对  $j$  性状的遗传预测系数、预期遗传增益、遗传协方差和遗传相关系数,  $V_{P_i}$ 、 $V_{P_j}$  表示  $i$  性状和  $j$  性状的表型方差,  $K_i$ 、 $H_i$ 、 $H_j$ 、 $\sigma_{P_j}$  依次表示  $i$  性状的选择强度、 $i$  性状的遗传力、 $j$  性状的遗传力和  $j$  性状的表型标准差。

## 2 研究结果

### 2.1 家系变异

从表1看,来自津巴布韦的10个优良家系分化很大。各性状测定值变动范围(及表现较好家系)为:基本密度0.390 2~0.447 g/cm<sup>3</sup>(S<sub>3</sub>、S<sub>5</sub>和S<sub>10</sub>);晚材率35.0%~44.0%(S<sub>3</sub>、S<sub>5</sub>和S<sub>10</sub>);管胞长度3 528~3 785 μm(S<sub>1</sub>、S<sub>5</sub>和S<sub>8</sub>);树高6.9~8.5 m(S<sub>6</sub>、S<sub>9</sub>和S<sub>10</sub>);胸径12.5~15.3 cm(S<sub>3</sub>、S<sub>6</sub>、S<sub>8</sub>和S<sub>9</sub>);材积指数0.112 6~0.205 3 m<sup>3</sup>(S<sub>3</sub>、S<sub>6</sub>、S<sub>8</sub>、S<sub>9</sub>和S<sub>10</sub>)。来自我国广东

表1 参试家系因子测定

家系	基本密度 (g/cm <sup>3</sup> )	晚材率 (%)	管胞长度 (μm)	树高 (m)	胸径 (cm)	材积指数 (m <sup>3</sup> )
S <sub>1</sub>	0.390 2	36.2	3 795	7.6	14.2	0.160 6
S <sub>2</sub>	0.421 6	38.1	3 743	7.3	12.5	0.119 8
S <sub>3</sub>	0.439 2	40.0	3 570	7.6	14.5	0.166 6
S <sub>4</sub>	0.431 8	35.0	3 567	7.1	13.4	0.131 8
S <sub>5</sub>	0.441 7	44.0	3 785	7.7	13.5	0.147 1
S <sub>6</sub>	0.405 0	39.0	3 573	8.2	14.7	0.181 4
S <sub>7</sub>	0.420 4	36.8	3 910	6.9	12.7	0.112 6
S <sub>8</sub>	0.431 3	35.6	3 753	7.9	14.7	0.176 1
S <sub>9</sub>	0.430 7	35.2	3 600	8.5	15.3	0.205 3
S <sub>10</sub>	0.447 4	43.9	3 528	8.3	14.4	0.177 8
S <sub>11</sub>	0.432 3	37.8	3 740	7.5	13.2	0.136 1
平均	0.426 5	38.4	3 688	7.7	13.9	0.155 9

台山种子园的对照家系尽管基本密度具有较好表现,但从各性状综合表现来看,在试验中仍处于中下水平。从表 1 还可以看出,一些家系在材性的主要性状(基本密度)及树高、胸径、材积生长方面都有良好表现,如  $S_3$ 、 $S_8$ 、 $S_9$  和  $S_{10}$  4 个家系。这表明在林木遗传改良中对湿地松生长和材性同时进行家系选择改良是可能的。

方差分析结果(表 2)表明,湿地松材性及生长各因子家系间差异显著,说明在家系水平上对湿地松的材性及生长因子进行改良有很大的潜力,特别是管胞长度、树高和材积指数 3 个性状家系间差异达到极显著水平,进行家系选择,将取得良好的效果。

表 2 各性状方差分析

变异来源	自由度	均 方					
		基本密度	晚材率	管胞长度	树高	胸径	材积指数
家系间	10	0.002 77	0.010 1	155 059.203 1	2.576 7	8.231 4	0.008 4
家系内	99	0.001 13	0.005 1	33 845.011 7	0.647 0	3.820 4	0.003 1
F 值		1.94*	2.03*	4.58**	3.98**	2.15*	2.71**

注: \* 示 5% 水平显著; \*\* 示 1% 水平显著。

## 2.2 家系遗传参数估计

从家系遗传力  $H_j^2$ (表 3)来看,各性状都达到了中等以上的水平,材性的家系遗传力分别为:基本密度 0.48,晚材率 0.51,管胞长度 0.78,以管胞长度遗传力最大,基本上与国外报道的湿地松材性性状的遗传力估计值一致<sup>[4~6]</sup>。生长性状的家系遗传力为 0.49~0.75,以树高遗传力最高。家系遗传力的分析表明,湿地松材性和生长性状受着中至较强的遗传控制,这对确定湿地松工业用材的育种改良计划具有重要意义。

表 3 各性状遗传参数

性 状	基本密度	晚材率	管胞长度	树高	胸径	材积指数
遗传方差 $V_g$	0.000 134	0.000 53	12 121.419 1	0.192 97	0.441 1	0.000 53
环境方差 $V_e$	0.000 143	0.000 51	3 384.501 2	0.061 7	0.382 04	0.000 31
表型方差 $V_p$	0.000 277	0.001 04	15 505.920 3	0.257 67	0.823 14	0.000 84
家系遗传力 $H_j^2$	0.48	0.51	0.78	0.75	0.54	0.63
遗传变异系数 $GCV(\%)$	2.71	6.00	2.99	5.72	4.76	14.77
遗传增益 <sup>①</sup> (%)	3.29	7.50	4.62	8.67	6.12	20.52

① 示中选率为 10% 的遗传增益。

从遗传变异系数  $GCV$  来看,以材积指数变异最大,与材积有关的生长性状树高和胸径的变异度也较高;木材性状以晚材率的遗传变异度最高,基本密度、管胞长度次之。说明该群体(家系对比试验林)中材积和木材晚材率均表现出有较丰富的遗传变异度,如进行材积和木材晚材率的直接选择,在中选率为 10% 的情况下,预期遗传增益分别为 20.52% 和 7.5%,具有良好的选择效应。

管胞长度的遗传力很高,但由于在群体中遗传变异度很低,致使预期遗传增益较低。如果能扩大其遗传基础,将会获得良好的选择效应。基本密度遗传力仅为中等水平,再加上其在群体中遗传变异度较低,因此,在本研究中预期遗传增益最低,如果也能不断地增加育种材料,增大其遗传变异度,通过选择和育种技术,获得中等程度的遗传增益是可能的<sup>[5]</sup>。

### 2.3 各性状的相关分析

数量性状的遗传往往受到多基因的遗传控制,由于基因之间的相互作用和多因一效和一因多效的作用,使得性状间彼此关联,相互影响,只有弄清性状间的相关程度,才能在育种改良中权衡取舍性状,提高林木改良效率。

表4对角线以上列出了湿地松各因子间的表型相关、遗传相关和环境相关系数。遗传相关比表型相关高许多,有时还出现大于1.0的情况,这可能是方差和协方差分量估计中的偏向。性状间的环境相关分析表明了环境在性状间表型相关中的重要作用,说明只进行表型相关分析,不足以解释性状间的遗传关系,必须进行表型相关组成的分解,才能发现性状间的本质联系。

表4 湿地松家系各因子相关及遗传预测系数

性 状	基本密度	晚材率	管胞长度	树 高	胸 径	材积指数
基本密度		0.404**	-0.164	0.023	-0.090	-0.064
		0.557	-0.556	0.315	0.260	0.274
		0.397**	-0.128	-0.008	-0.165	-0.094
晚材率	0.276		-0.220*	-0.054	-0.183	-0.176
			-0.202	0.554	0.250	0.321
			-0.231*	-0.162	-0.230*	-0.242
管胞长度	-0.34	-0.127		-0.056	-0.49	-0.075
				-0.797**	-0.900**	-0.872**
				0.186	0.122	0.122
树 高	0.189	0.297	-0.610		0.646**	0.796**
					1.037**	1.033**
					0.585**	0.748**
胸 径	0.132	0.131	-0.584	0.660		0.961**
						1.001**
						0.958**
材积指数	0.151	0.182	-0.611	0.710	0.584	

注:对角线以上,各组相关性状的上数为表型相关系数 $r_p$ ,中数为遗传相关系数 $r_g$ ,下数为环境相关系数 $r_e$ ;对角线以下数值为相关性状遗传预测系数CGP。

从表4还可以看出,湿地松基本密度与晚材率的表型间、环境型间显著正相关,遗传型间为中等程度的正相关;基本密度与管胞长度的表型间、环境型间皆为弱的负相关,遗传型间为中等程度的负相关;晚材率与管胞长度的表型间、环境型间为弱的但显著的负相关,遗传型间为微弱负相关。生长性状树高、胸径、材积指数间皆为极显著的正相关关系。基本密度与生长性状间为弱的正遗传相关。晚材率与树高间为中等程度的正遗传相关,与胸径和材积指数皆为弱的正遗传相关和微弱但显著的负环境相关。管胞长度与各生长性状间为极显著的负遗传相关。

关于湿地松材性因子间及其与生长因子间的相关关系研究,国外有很多报道,如 Squilance et al.<sup>[5]</sup>认为,湿地松木材密度与晚材率只有微弱正相关( $r=0.30\sim 0.37$ );Strickland and Goddard<sup>[7]</sup>报道湿地松管胞长度与生长速率和木材密度间呈负相关;Sohn and Goddard<sup>[8]</sup>提出湿地松木材密度与生长有微弱或中度正遗传相关。这些报道与本研究具有相似的结论。

### 2.4 相关性状的遗传预测系数

Baradat<sup>[2]</sup>提出的遗传预测系数(CG P)与遗传相关系数一样,是处理所谓的性状间相关反应的另一种最有用的统计方法。正如遗传力反映了在单一性状内选择强度与增益的关系,遗传

预测系数  $CGP$  显示了一个性状的选择强度在相关性状中的相关反应,或者说如果按高于一个性状平均值的一个标准差选择一个群体,所导致的相关性状的变化将以  $CGP$  乘以相关性状的一个标准差。表 4 的对角线以下列出了湿地松家系对比试验林家系水平上各相关性状的遗传预测系数  $CGP$ ,可以很方便地了解对湿地松任一性状的选择将如何影响另一性状。

从  $CGP$  分析(表 4)可以看出,各性状的单一选择对木材基本密度的影响依次为管胞长度、晚材率、树高、材积指数、胸径;对晚材率的影响依次为树高、基本密度、材积指数、胸径、管胞长度;对管胞长度的影响依次为材积指数、树高、胸径、基本密度、晚材率;对材积的影响依次为树高、管胞长度、胸径、晚材率、基本密度。

## 2.5 生长性状对材性的间接选择

与生长性状相比,材性测定具有一定的复杂性,如果能用容易测定的生长性状对材性进行间接选择,将节约大量的人力、物力,降低育种改良的成本。表 5 列出了湿地松家系对比试验林从生长性状选择所得材性相关遗传增益与直接进行材性选择的遗传增益比较百分数。

从表 5 可以看出,生长性状对湿地松木材的基本密度和晚材率具有正向的间接选择效应,对木材管胞长度则具有负向的间接选择效应,树高对湿地松材性具有较高的间接选择效应。

## 3 结 论

(1)湿地松材性和生长各因子家系间差异显著,特别是管胞长度、树高和材积指数 3 个性状家系间差异达到了极显著水平,在家系水平上对其进行选择,将取得良好的改良效益。根据表型分析,一些家系(如  $S_3$ 、 $S_8$ 、 $S_9$  和  $S_{10}$  4 个家系)在材性和生长上都有良好的表现,表明在遗传改良中对湿地松的材性和生长同时选择是可行的。

(2)湿地松生长和材性性状都具有中等以上的家系遗传力,材积和晚材率均表现出较丰富的遗传变异度,10%入选率的预期遗传增益分别为 20.5%和 7.5%,具有良好的选择效应。

(3)湿地松基本密度与晚材率表型显著正相关,遗传型间为中等程度的正相关;基本密度与管胞长度表型间为弱的负相关,遗传型间为中等程度的负相关;晚材率与管胞长度具有弱的负表型相关和负遗传相关关系。生长性状间为极显著的正的表型和遗传相关。基本密度和晚材率与生长性状间为不显著的正遗传相关,管胞长度与各生长因子间为负的极显著的遗传相关,但表型相关极为微弱。

(4)生长性状对湿地松木材的基本密度和晚材率具有正向的间接选择效应,对木材管胞长度则具有负向的间接选择效应。树高对湿地松材性具有较高的间接选择效应。

## 参 考 文 献

- 1 Guth EB-de. Variation in wood characters both within and between individuals of *Pinus elliottii*. *Idia*, 1973/1974, Supplement Forestal, (8):8~17.
- 2 Baradau P H. Use of juvenile mature relationships and information from relatives in combined multitrait selection. Proc IUFRO Joint Meet Genetic Work Parties Advan Breed. Bordeaux, France, 1976, 121~138.
- 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, 1982, 347.

表 5 湿地松材性直接选择、间接选择增益比较

(单位:%)

项 目	树高	胸径	材积指数
基本密度	39.2	27.4	31.3
晚材率	58.2	25.7	35.7
管胞长度	-78.1	-74.7	-78.2

注:以材性直接选择的遗传增益为 100 进行比较。

- 4 Einspahr D W, Goddard R E, Gardner H S. Slash pine wood and fiber property heritability study. *Silvae Genet.* 1964, 13:103~109.
- 5 Squillace A E, Echols R M, Dorman K W. Heritability of specific gravity and summerwood percent and relation to other factors in slash pine. *Tappi.* 1962, 45(7):599~601.
- 6 Goddard R E, Cole D E. Variation in wood production of six-year-old progenies of select slash pine. *Tappi.* 1966, 49(8):359~362.
- 7 Strickland R K, Goddard R E. Correlation studies of slash pine tracheid length. *For. Sci.* ,1966, 12:54~62.
- 8 Sohn S I, Goddard R E. Genetic study of wood specific gravity in slash pine. *Proceedings, 22nd Northeastern Forest Tree Improv. Conf.* ,1974, Syracuse, New York. 1975. 61~64.

## Genetic Variation Analysis of Growth and Wood Properties of Slash Pine on the Family Level

*Song Yunmin Huang Quan Huang Yongli*

**Abstract** Analysis was conducted on genetic variation with 7 factors of the growth and wood properties for 10 families of slash pine which were introduced from Zimbabwe and planted in Nanning Prefecture Forest Research Institute(Guangxi)10 years ago. The results are as follows: (1)each factor of the growth and wood property of slash pine has a heritability ranging from 0.48 to 0.78 and there is a significant difference among families, especially the most significant difference was found among families related to the factors of tracheid length, whole height and volume index respectively with a potential to be more genetically improved; (2)for slash pine, basic density has a moderate, positive correlation with latewood percentage, and has a weak, negative correlation with tracheid length, both phenotypically and genetically. Weak and negative phenotypic and genetic correlation was found between latewood percentage and tracheid length. Among growth factors, the most significant positive phenotypic, and genetic correlation were found. Both the basic density and latewood percentage are weakly, positively and genetically correlated with each growth factor. Weak negative phenotypic correlation and the most significant negative genetic correlation were found between tracheid length and each growth factor; (3)whole height can make good indirect selection for the wood properties of slash pine.

**Key words** slash pine, family, factor of growth, wood property, genetic variation

---

Song Yunmin, Assistant Professor, Huang Quan(The Research Institute of Forestry, CAF Beijing 100091); Huang Yongli(Nanning Prefecture Forest Research Institute of Guangxi Zhuang Nationality Autonomous Region).