

文章编号: 1001-1498(2001)06-0641-07

# 湿地松半双列子代遗传分析\*

赵奋成<sup>1</sup>, 张应中<sup>1</sup>, 李宪政<sup>1</sup>, 李福明<sup>2</sup>, 何木晋<sup>3</sup>, 黄永权<sup>4</sup>

(1. 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520; 2. 广东省台山市红岭种子园, 广东 台山 529223;

3. 广东省惠来县林业局, 广东 惠来 515200; 4. 广东省林业厅, 广东 广州 510173)

**摘要:** 根据 10 年生湿地松 6×6 半双列子代在两个试验地点的生长量、木材基本密度、树干通直度和抗风性数据, 研究了该树种目的性状的遗传变异规律。结果表明, 地点间存在着显著的生长差异和通直度差异, 但两点的木材基本密度非常一致; 所有研究性状均存在着一定程度的地点与基因型互作, 其中胸径、基本密度均达到了显著以上水平; 在一般配合力(GCA)均方差显著地大于特殊配合力(SCA)均方差的前提下, 胸径、材积、基本密度、通直度、抗风性的加性方差占总遗传方差的 96.41% ~ 100%。但是, 树高性状以非加性方差居优。决定子代表现的遗传因素, 主要是亲本的 GCA, SCA 和反交效应也有影响, 但程度较低; 两块测定林中, 树高、胸径、材积、基本密度、通直度、抗风性的单株狭义遗传力分别为 0.001 和 0.074、0.080 和 0.144、0.068 和 0.137、0.108 和 0.609、0.052 和 0.252、0.058(单地点)。

**关键词:** 湿地松; 生长性状; 木材基本密度; 树干通直度; 配合力分析

**中图分类号:** S718.46      **文献标识码:** A

湿地松(*Pinus elliottii* Engelm) 是我国亚热带南部地区引种成功并广为栽培的短轮伐期用材造林树种之一, 产生了较好的经济效益和社会效益。为改善湿地松的遗传品质, 在湿地松多世代育种的过程中, 既要清楚育种材料内部的遗传变异模式, 又必须培育下一代选择材料, 为继续改良创造条件。因此, 需要开展全同胞制种和遗传测定工作。本文根据一批 10 年生湿地松半双列子代材料, 就生长、材性等性状的遗传变异规律展开研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源与田间设计

1987 年春, 在广东省台山市湿地松初级种子园内, 随机选择 6 个湿地松无性系, 按 Griffing 介绍的不含自交的半双列交配设计(方法 4)<sup>[1]</sup> 配制产生 15 个正交组合, 此外, 还配制 2 个反交组合。

1988 年秋采收上年配制的 17 个组合的种子, 并于 1989 年分别在广东省台山市红岭种子园和广东省惠来县南海农林场播种、育苗、造林。

测定林田间种植采用随机完全区组排列, 以台山湿地松初级种子园混合种作为对照。在台

收稿日期: 2001-02-28

基金项目: 国家“九五”攻关专题“国外松多世代遗传改良及培育技术研究”(96-011-03-02)的部分内容

作者简介: 赵奋成(1963-), 男, 广东海丰人, 高级工程师, 硕士。

\* 参加本研究的还有广东省台山红岭种子园的黄永达、钟穗英、廖树森, 广东省汕头市林科所辛茹茹、林雄、陈名荣等; 广东省林科院谭秋祝工程师测定木材基本密度, 谨此致谢!

山点,采用8株单行小区,5次重复;惠来点则为10株单行小区,4个重复。造林密度为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ ,测定林四周种植2行湿地松树木作保护行。

## 1.2 造林地基本情况

台山点测定林营建于台山市红岭种子园试验区内。该园地处 $22^{\circ}11' \text{ N}$ ,  $112^{\circ}49' \text{ E}$ ;属南亚热带海洋性气候,年均温 $21.8^{\circ}\text{C}$ ,年降雨量 $1\,940\text{ mm}$ ;平均海拔 $30\text{ m}$ ,土壤为花岗岩发育的酸性砖红壤, pH值 $5.0 \sim 5.5$ ,土层深厚。

惠来点测定林在惠来县南海农林场境内。该场位于 $22^{\circ}54' \text{ N}$ ,  $116^{\circ}07' \text{ E}$ ;属南亚热带海洋性季风气候,年均温 $21.8^{\circ}\text{C}$ ,年降雨量 $1\,800\text{ mm}$ ;土壤为风积砂土,地势平坦, pH值 $5.0 \sim 5.5$ 。砂质土壤肥力低、保土保水能力较差,对造林成活率和林木生长均有一定的影响。

## 1.3 研究性状的调查与观测

2000年春,分别对台山、惠来2块测定林作了每木树高( $h/\text{m}$ )、胸径( $d/\text{cm}$ )测量,并计算单株材积( $v/\text{m}^3$ ): $v = 0.125 \times \pi \times h \times d^2$ ;利用 $5\text{ mm}$ 内径生长锥在每木胸高处南向钻取一根自表皮至髓心的完整无疵木芯;目测评价树干通直度。惠来点测定林,因受1996年15号台风的严重影响,部分树木被风吹倒或倾斜(保存率 $81\%$ )。根据台风对湿地松树体的影响情况,评价了每木的抗风性。

根据Smith介绍的最大饱和含水量法<sup>[2]</sup>测定木芯的基本密度。采用4级标准评价树干通直度。其等级与得分为:完全通直,4分;轻度弯曲,3分;弯曲,2分;严重弯曲,1分。抗风性的评价,分4个等级。抗风性等级与得分为:树干基本不偏离垂直线,4分;树干方向与垂直线的夹角小于 $30^{\circ}$ ,3分;夹角介于 $30 \sim 60^{\circ}$ 之间,2分;夹角大于 $60^{\circ}$ ,1分。

## 1.4 统计分析

以单株数据为基础,采用SAS软件的GLM过程<sup>[3]</sup>作多地点和单地点方差分析。参照Griffing等<sup>[1,4,5]</sup>介绍的方法作单地点配合力方差分析和估算各项配合力值、方差分量和遗传力等。树干通直度、抗风性的数据在方差分析前作平方根转换。

# 2 结果与分析

## 2.1 两地点材料综合方差分析

台山、惠来两块全同胞测定林数据综合方差分析结果表明(表1),地点间树高、胸径、材积、通直度均存在着显著或极显著的差异,台山、惠来两点树高、胸径、材积、通直度的平均值分别为 $99\text{ dm}$ 与 $71\text{ dm}$ 、 $156\text{ mm}$ 与 $136\text{ mm}$ 、 $98\text{ dm}^3$ 与 $55\text{ dm}^3$ 、 $1.68$ 分与 $1.79$ 分,差异明显。但木材基本密度是例外,在两个地点间表现出非常一致,其平均值分别为 $0.4504\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 与 $0.4502\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。表明对于一个混合群体而言,环境差异对生长量、树干通直度的影响非常明显,但对木材基本密度的影响极小。

地点内区组间的差异情况与地点间的基本一致。组合间树高差异没有达到显著水平(无效假设概率 $p = 0.18$ ),其它性状的差异都达到显著以上的水平,说明存在着一定的遗传差异和选择潜力。

组合与地点的相互作用,木材基本密度、胸径的达到显著以上水平,树高、材积和树干通直度的虽然没有达到显著水平,但差异仍然存在,其无效假设概率按顺序分别为 $0.12$ 、 $0.20$ 、 $0.13$ 。组合与地点内区组的相互作用,则以树高、通直度的最为显著,基本密度的次之,胸径、材

表 1 两地点综合方差分析(随机模型)

变异来源	自由度	均 方 差				
		树高/dm	胸径/mm	材积/dm <sup>3</sup>	基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	通直度/分
地点间	1	190 270.51* <sup>*</sup>	90 070.44* <sup>*</sup>	454 887.26* <sup>*</sup>	0.000 01 <sup>ns</sup>	3.08* <sup>*</sup>
地点内区组间	7	795.01* <sup>*</sup>	3 372.54* <sup>*</sup>	8 984.99* <sup>*</sup>	0.002 31* <sup>*</sup>	0.35* <sup>*</sup>
组合间	14	283.02 <sup>ns</sup>	2 307.84* <sup>*</sup>	3 597.51* <sup>*</sup>	0.010 92* <sup>*</sup>	0.35* <sup>*</sup>
地点×组合	14	172.27 <sup>ns</sup>	865.71* <sup>*</sup>	1 143.44 <sup>ns</sup>	0.003 19* <sup>*</sup>	0.12 <sup>ns</sup>
地点内区组×组合	98	116.46* <sup>*</sup>	477.35 <sup>ns</sup>	858.52 <sup>ns</sup>	0.001 16* <sup>*</sup>	0.08* <sup>*</sup>
误差	1 034	71.11	454.87	769.75	0.000 92	0.05
总 和	1 168					

注: \*<sup>\*</sup>、\*、<sup>ns</sup> 分别示极显著、显著、不显著。下同。

积的不显著。表明在立地条件差异较大的地区,不同种植材料的生长量和基本密度等将发生明显的变化,分立地条件研究试验材料目的性状的遗传变异和选择、利用优良材料是必要的。

## 2.2 双列材料的遗传分析

台山、惠来两块测定林的双列材料配合力方差分析结果如表 2。比较两块测定林组合间研究性状的均方差可知,多数性状在台山点表现出较大的遗传方差和较为显著的差异程度。组合间胸径的均方差值以在惠来点较大,但显著程度却以台山点的为高。

把组合均方差分解为一般配合力方差和特殊配合力方差(表 2),以进一步剖析控制遗传变异的遗传因素。在台山点,除树高性状外,胸径、材积、木材基本密度和树干通直度的一般配合力(GCA)方差极显著地高于特殊配合力(SCA)方差,以基本密度和通直度的最大,  $F$  值达到 18.73 以上。而所有性状的 SCA 方差却接近于误差项方差;在惠来点, GCA 方差和 SCA 方差的差异程度明显降低,仅基本密度和抗风性的 GCA 达到显著水平。

综合而言,在表 1 中显示出来的组合间遗传变异主要来源于台山点的变异,而且 GCA 是决定遗传变异的主要遗传因素。

表 2 台山、惠来点测定林配合力方差分析(随机模型)

地点	变异来源	自由度	均 方 差					抗风性
			树高	胸径	材积	基本密度	通直度	
台山	组合间	14	6.86* <sup>*</sup>	34.40* <sup>*</sup>	81.10* <sup>*</sup>	0.281 3* <sup>*</sup>	0.007 6* <sup>*</sup>	—
	一般配合力	5	10.91 <sup>ns</sup>	81.09* <sup>*</sup>	178.10* <sup>*</sup>	0.751 0* <sup>*</sup>	0.019 4* <sup>*</sup>	—
	特殊配合力	9	4.61 <sup>ns</sup>	8.47 <sup>ns</sup>	27.27 <sup>ns</sup>	0.020 4 <sup>ns</sup>	0.001 0 <sup>ns</sup>	—
	误差项	56	2.98	10.26	25.86	0.022 3	0.001 4	—
惠来	组合间	14	5.62 <sup>ns</sup>	47.19* <sup>*</sup>	41.32* <sup>*</sup>	0.087 6* <sup>*</sup>	0.109 0 <sup>ns</sup>	0.002 9 <sup>ns</sup>
	一般配合力	5	5.66 <sup>ns</sup>	72.82 <sup>ns</sup>	63.71 <sup>ns</sup>	0.168 5* <sup>*</sup>	0.006 7 <sup>ns</sup>	0.005 1* <sup>*</sup>
	特殊配合力	9	5.60 <sup>ns</sup>	32.95 <sup>ns</sup>	28.88 <sup>ns</sup>	0.042 9 <sup>ns</sup>	0.004 0 <sup>ns</sup>	0.001 2 <sup>ns</sup>
	误差项	42	3.14	16.20	16.61	0.043 9	0.003 2	0.001 7

注:表中基本密度、通直度的均方差为原值×1 000。

比较台山、惠来两点各个研究性状的加性方差与非加性方差的相对大小(见表 3)可以发现,除木材基本密度在两个地点均表现出一致的加性方差优势外,其它性状都有较大的变化。在台山点,胸径、材积、树干通直度均以加性方差占绝对优势,树高的加性方差与非加性方差值接近于 1:1。但在惠来点,树高的加性方差极低,以非加性方差占主导地位。胸径、材积和通直度也以非加性方差占较大比例,但抗风性为加性效应控制。可见该批材料在台山点主要以加性遗传的特点出现,而在惠来点则在一定程度上表现出非加性遗传的特性。从效应的显著性考虑

(见表 2), 胸径、材积、基本密度、通直度、抗风性的遗传控制以加性效应占优势的结论应该较为可靠些。

表型变异系数是比较性状间变异程度和选择潜力大小的重要依据。考察所有研究性状的变异系数可知(表 3), 就性状间的相对大小而言, 两块测定林均呈现近似的趋势, 以材积的最大, 胸径与通直度的居中, 树高和木材基本密度的最小。这种情况预示对生长量的选择潜力较大, 而基本密度选择潜力较小。根据 Sohn 等<sup>[6]</sup>发表的 18 个湿地松自由授粉家系 9 年生时的木材基本密度(原文为容重 specific gravity)、胸径、树高数据, 分别计算了这 3 个性状的表型变异系数, 其值分别为 6.64%、13.78%、10.41%, 与本研究列出的结果基本一致。反映出研究性状变异程度的一般规律。

表 3 双列材料的遗传参数估计

地点	性状	平均值	$V_a/\%$	$V_{na}/\%$	$CV_p/\%$	$h_{ni}^2$	$h_{bi}^2$	$h_{mf}^2$	$h_{if}^2$	$h_{bf}^2$
台山	树高/dm	99.12	49.22	50.78	19.28	0.074	0.151	0.039	0.406	0.616
	胸径/mm	156.20	100.00	0	14.19	0.144	0.144	0.078	0.775	0.775
	材积/dm <sup>3</sup>	98.50	96.41	3.59	33.68	0.137	0.142	0.074	0.734	0.748
	基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.450 4	100.00	0	7.68	0.609	0.609	0.438	0.942	0.942
	通直度/分	1.68	100.00	0	15.95	0.252	0.252	0.144	0.864	0.864
	抗风性/分	-	-	-	-	-	-	-	-	-
惠来	树高/dm	70.98	10.66	99.34	12.17	0.001	0.132	0.039	0.006	0.441
	胸径/mm	136.84	37.30	62.7	16.29	0.080	0.215	0.043	0.377	0.694
	材积/dm <sup>3</sup>	54.99	41.51	58.49	41.13	0.068	0.164	0.036	0.376	0.641
	基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.450 2	100.00	0	7.55	0.108	0.108	0.057	0.587	0.587
	通直度/分	1.79	46.21	53.79	12.76	0.052	0.113	0.027	0.257	0.406
	抗风性/分	1.77	100.00	0	13.77	0.058	0.058	0.030	0.505	0.505

注:  $V_a$  为加性方差,  $V_{na}$  为非加性方差。  $V_a(\%) = V_a/(V_a + V_{na}) \times 100$ ,  $V_{na}(\%) = V_{na}/(V_a + V_{na}) \times 100$ ;  $CV_p(\%)$  为单株表型变异系数;  $h_{ni}^2$ 、 $h_{bi}^2$ 、 $h_{mf}^2$ 、 $h_{if}^2$  和  $h_{bf}^2$  分别为单株狭义遗传力、单株广义遗传力、家系内单株狭义遗传力、家系狭义遗传力和家系广义遗传力。

根据台山点材料估计的胸径、材积、木材基本密度的单株狭义遗传力(表 3), 与一些文献<sup>[6,7]</sup>报道的近似。木材基本密度具有较大的遗传力, 显示出对该性状选择的可靠性较大。但由于其表型变异较小(表 3), 将限制选择规模和选择增益的提高; 本文估计的树高遗传力低于胸径、材积的, 该结果与多篇文献<sup>[5-7]</sup>报道的不同, 这可能是研究群体偏小出现了较大的取样误差所致。树干通直度虽然是采用了 4 级目测评分, 但还是反映出一定的遗传变异, 所估计的单株狭义遗传力为 0.252, 该值与文献[8]列出的接近, 比 Cotterill 等<sup>[5]</sup>报道的略高; 在惠来点, 所有研究性状的单株、家系狭义遗传力均偏低(表 3), 显然在这种测定林中作育种材料的选择效果欠佳。但是, 较高的家系广义遗传力预示作家系选择可取得较大的增益。考虑到惠来点测定林的土壤水肥条件差、风力较大的特点, 因此, 可从中选择一些生长量较大、耐瘠薄、抗风的组合, 通过重复制种或无性繁殖, 在类似地区推广应用。

## 2.4 组合平均值与亲本配合力的关系

在对双列材料作配合力方差分析的基础上, 估算了亲本的 GCA 和 SCA, 分别计算了 GCA、SCA 与组合平均值的简相关系数, 结果列于表 4。在台山点, 5 个研究性状的 GCA 与平均值的相关系数均达到极显著水平。除树高性状的 SCA 与平均值的相关系数为 0.66, 达极显著水平外, 其它性状的相关值均较低, 为不显著水平; 在惠来点, 所有性状的 GCA、SCA 与组

合平均值都存在显著以上的正相关。总体上, 子代的表现很大程度上决定于亲本的 GCA 和 SCA, 以 GCA 的影响更大。最为突出的情况是, 在树高的加性方差仅占总遗传变异的 0.66% 的情况下(见表 3), GCA 与组合平均值的相关系数仍然达到接近极显著的水平。

表 4 一般配合力、特殊配合力与组合平均值的关系

地点	树高		胸径		材积		基本密度		通直度		抗风性	
	GCA	SCA	GCA	SCA	GCA	SCA	GCA	SCA	GCA	SCA	GCA	SCA
台山	0.75**	0.66*	0.92**	0.40 <sup>ns</sup>	0.89**	0.46 <sup>ns</sup>	0.98**	0.22 <sup>ns</sup>	0.96**	0.30 <sup>ns</sup>	—	—
惠来	0.60*	0.80**	0.74**	0.67**	0.74**	0.67**	0.83**	0.56*	0.70**	0.72**	0.83**	0.55*

注:  $df=13$ 。

## 2.5 正、反交效应差异比较

对正、反交 2 组材料分地点、分组作方差分析和差异显著性检验(表 5), 结果表明, 第 1 组的所有研究性状均没有显著的差异, 第 2 组的所有研究性状在台山点均达到极显著差异水平, 在惠来点组合间的基本密度也达极显著差异。初步反映出部分湿地松无性系存在着明显的正反交效应, 这与作者的另一个分析结果<sup>[9]</sup>基本一致。因此, 为较全面地研究湿地松的遗传变异规律和挖掘优异的全同胞组合, 有必要考虑正、反交组合的配制和测定。

表 5 正、反交组合的差异比较

交配组	地点	树高/dm	胸径/mm	材积/dm <sup>3</sup>	基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	通直度/分	抗风性/分
第 1 组	台山	3.42	0.44	2.86	0.007	0.10	—
	惠来	1.88	7.99	9.35	0.004	0.28	0.14
第 2 组	台山	9.79**	17.99**	30.96**	0.029 0**	0.86**	—
	惠来	4.10	0.24	2.78	0.041 0**	0.06	0.04

注: 表中数据为正、反交组合研究性状观测值之差。

## 3 结论与讨论

(1) 同一批材料的生长量和树干通直度在不同立地表现出极为显著的差异; 木材基本密度例外, 两点间差异极小; 所有研究性状均反映出一定程度的组合与地点交互, 其中胸径和木材基本密度均达到显著水平以上。

(2) 在已见的文献中<sup>[5,9,10]</sup>, 湿地松生长性状、通直度主要受基因的加性效应控制。在本研究中, 湿地松生长、基本密度、通直度、抗风性等性状总体上同样显示出加性遗传特性。因此, 对这些性状采用多世代轮回选择、育种是可行和有效的。

(3) 在台山湿地松初级种子园营建初期, 建园材料的选择主要是根据个体的健康状况和生长性状, 其次是干形等形质指标, 木材基本密度还未纳入评选内容。本研究结果表明, 生长量、干形经过一代选择后仍然存在较大的遗传变异和选择潜力; 相反, 虽然木材基本密度还未作选择, 但其变异程度不大, 选择潜力也较小。因此认为, 湿地松的改良, 可以采取生长量改良为主、基本密度为次的方案。

(4) 本研究的台山、惠来两点测定林的研究性状遗传变异程度存在较大的差异, 这种情况固然与两块测定林的田间设计不同有关, 但立地差异也不容忽视。优良组合或个体在较好立地

上能够较为充分地发挥自身的遗传优势,因而加大了优良立地测定林的遗传变异。可见为客观地估计研究树种目的性状遗传变异规律,选择合适的造林地和作好田间设计是必要的。

(5)在本研究群体内,全同胞子代的表现与其亲本的一般配合力有密切的联系,与特殊配合力也有一定的关系,对于某些无性系,还存在较大的正、反交效应。为取得优异的交配组合,可行的途径是:首先选择一批一般配合力高的无性系,然后利用入选无性系作较为广泛的交配。理论上认为,能够作世代传递和累积的是基因的加性效应<sup>[4]</sup>。所以,新一代的育种材料,应该从育种值较高的组合中选择产生。如果是当代利用,则应该根据表型值作选择。

#### 参考文献:

- [1] Griffing B. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system[J]. Australia Journal of Biology Science, 1956, 9: 463 ~ 493.
- [2] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985. 466 ~ 467.
- [3] 董大钧. SAS——统计分析软件应用指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 1993. 122 ~ 128.
- [4] 马育华. 植物育种的量遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1982. 334 ~ 349, 376 ~ 436.
- [5] Cotterill P P, Dean C A, G van Wyk. Additive and dominance genetic effects in *Pinus pinaster*, *P. radiata* and *P. elliotii* and some implications for breeding strategy[J]. Silvae Genetica, 1987, 36(5 ~ 6): 221 ~ 232.
- [6] Sohn S I, Goddard R E. Genetic study of wood specific gravity in slash pine[C]. In: Proceedings of 22nd Northeastern Forest Tree Improvement Conference[C], 1975. 61 ~ 72.
- [7] Zhao F, Li X. Genetic Analysis and index selection for growth and wood traits of slash pine[A]. In: Xihuan Shen, ed. Forest Tree Improvement in the Asia-Pacific Region[C]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995, 161 ~ 167.
- [8] 马常耕. 工业人工林发展与材性育种[J]. 世界林业研究, 1991, (4): 31 ~ 37.
- [9] 赵奋成, 李宪政, 廖树森. 湿地松双亲本子代生长研究[A]. 见: 沈熙环主编. 种子园技术[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1992. 125 ~ 133.
- [10] Kraus J F. Estimates of General and specific combining ability for height and rust resistance from single crosses of slash pine[J]. Silvae Genetica, 1973, 22(4): 121 ~ 124.

## Genetic Analysis of Half Diallel Progeny of Slash Pine

ZHAO Fen-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Ying-zhong<sup>1</sup>, LI Xian-zheng<sup>1</sup>, LI Fu-ming<sup>2</sup>,  
HE Mu-jin<sup>3</sup>, HUANG Yong-quan<sup>4</sup>

(1. Guangdong Forestry Research Institute, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Taishan Hongling Seed Orchard, Guangdong Province, Taishan 529223, Guangdong, China;

3. Forestry Bureau of Huilai County, Guangdong Province 515200, Guangdong, China;

4. Forestry Department of Guangdong Province, Guangdong 510173, Guangdong, China)

**Abstract:** Data from 10-year-old  $6 \times 6$  half-diallel progeny test of slash pine (*Pinus elliottii*), across two test sites, were used to estimate the genetic parameters for height, diameter at breast height, volume, wood density, stem straightness, and wind resistance. There was greatly significant difference between test sites for all traits examined, except wood density. Interaction effect between sites and crosses also existed to a certain extent for all traits, and the effect was significant for diameter at breast height and density, the ratios of additive variance to total genetic variance were from 96.41% to 100% for diameter at breast height, volume, straightness, density, and resistance, when mean square of general combining ability (GCA) was significantly greater than that of specific combining ability (SCA). But the result was not similar for height. GCA effects were the main genetic factor to control the performance of full-sib families. SCA and reciprocal effects affected the performance of full-sib families as well, but the degree was lower. The individual heritabilities of narrow sense were 0.001 and 0.074, 0.080 and 0.144, 0.068 and 0.137, 0.108 and 0.609, 0.052 and 0.252, and 0.058 for height, diameter at breast height, volume, density, straightness, wind resistance (only single site), respectively, across two sites.

**Key words:** *Pinus elliottii*; growth traits; wood density; straightness; combining ability analysis