

湿地松自由授粉家系的早期评定*

姜景民 孙海菁 刘昭息

摘要 对位于浙西北的9年生湿地松自由授粉子代测定林进行了生长性状的逐年观测和7年生时形质调查及材性测定,估算了遗传参数。各家系间的高、径生长和干形、分枝角等性状表现出显著的差异,家系平均遗传力也都达中等程度以上($h^2 > 0.4$)。对生长性状进行了年度相关和早晚期选择效率分析,表明第5~7年是适宜的早期选择年龄。据树高、胸径、树干通直度、分枝角度四种性状建立的多性状选择指数表明,不可能对它们进行同步改良,生长性状应是主要选择因素。在等权重情况下,对通直度和分枝角进行约束,选择出三个以建筑材为目的的优良家系。

关键词 湿地松、自由授粉子代测定、遗传分析、早期选择、指数选择

湿地松(*Pinus elliottii* Engelm)是我国南方重要的建筑材、纸浆材造林树种,因其生长、材性俱佳而备受青睐,各地大规模造林已近20 a。但国产种子遗传基础偏窄,遗传增益不高,造林用种不足,制约了其发展和生产力提高。进行早期选择是利用现有资源,提高选择效率,加快湿地松改良步伐,以解决上述问题的重要手段。本文依据湿地松自由授粉家系子代测定林的观测结果,对各主要生长性状和材性、干形性状进行了遗传变异规律的分析,探讨了早期选择的适宜年龄,并对家系作出综合评价。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与田间设计

该子代测定林包括来自广东台山红岭种子园的15个单亲家系,以本所母树林种子作为对照。1985年育苗,1986年1月造林。造林地位于浙江省余杭市长乐林场,30°15' N,119°58' E,海拔100 m左右;土壤类型为丘陵黄红壤,土层厚60~80 cm;年降水量1478 mm,年均温15.6℃,无霜期221 d。造林前全面整地,块状挖穴。试验林设置采用完全随机区组设计,4株块状小区,12次重复,造林密度1333株/hm²(3.0 m×2.5 m)。

1.2 调查方法

自1986年始,对该林分进行了树高、地径(1989年起测胸径)等生长性状的逐年测量。有关苗期和前5 a的结果已作报道^[1,2]。1992年底按四级目测法进行了树干通直度、分枝角度、侧枝粗等性状的评价(即0=极弯曲式双叉木等,4=树干通直,侧枝近平展,分枝细等)。在10个区组中对每一家系小区各选1株平均木,在胸高处钻取8 mm直径的生长锥木芯,用饱和含水量法测定全木芯的基本密度,用最外侧年轮木芯段经离析和染色后,在投影显微镜下随机测定

1995—01—14 收稿。

姜景民助理研究员,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)。

* 本文系“八五”国家攻关项目“湿地松、火炬松建筑材、纸浆材良种选育”的部分内容。陈孝英、何礼华同志参与试验林的营建,岳水林、李霞等同志参加林分调查,一并致谢。

30 根完整管胞的长度,取其均值作为该试样的管胞长度值。

1.3 分析方法

(1)方差分析利用小区均值计算,方差分析的线性模型为: $Y_{ij} = \mu + F_i + B_j + e_{ij}$,式中: μ 为总平均值, F_i 为第 i 家系的效应, B_j 为第 j 区组的效应, e_{ij} 为剩余误差,变量的期望均方按表 1 计算。

表 1 方差分析的期望均方估算

变 因	自由度(d, f)	期望均方	说 明
区组(B)	$b-1$	$\sigma_e^2 + f\sigma_b^2$	$\sigma_b^2, \sigma_f^2, \sigma_e^2$ 分别为区组间、家系间和误差项的方差; f, b 分别为家系数和区组数
家系(F)	$f-1$	$\sigma_e^2 + b\sigma_f^2$	
剩余误差(E)	$(b-1)(f-1)$	σ_e^2	

(2)按照参考文献[3],单亲子代测定的单株遗传力:

$$h_i^2 = 4\sigma_f^2 / (\sigma_e^2 + \sigma_f^2)$$

家系遗传力:

$$h_j^2 = \sigma_f^2 / (\sigma_e^2 / b + \sigma_f^2)$$

表型标准差:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_e^2}$$

(3)在早期作非直接选择的预期增益效率为^[4]:

$$E = \frac{G_{M/J}}{G_M} = \frac{i_J h_J h_M r_{J \cdot M} \sigma_{pm}}{i_M h_M^2 \sigma_{pm}} \times \frac{T_M}{T_J} = \frac{h_J}{h_M} \cdot r_{J \cdot M} \cdot \frac{T_M}{T_J} \text{ (假定 } i_J = i_M \text{)}$$

式中 $G_{M/J}$ 和 G_M 分别为早期非直接选择和轮伐龄直接选择的单位时间增益; i_J, i_M 分别为早期和轮伐期选择强度; h_J, h_M 分别为早期和轮伐期家系遗传力的平方根; σ_{pm} 为轮伐期家系表型标准差; T_J, T_M 分别为早期选择和轮伐期选择的世代间隔,这里设 $T_M = 25 + 3 \text{ a}$, $T_J = J + 10 \text{ a}$; $r_{J \cdot M}$ 为早晚期家系相关系数。

依参考文献[4],不同选择年龄的家系相关系数 $r_{J \cdot M} = a + bLAR$, $LAR = \ln(J/M)$ 。运用早期年龄所推算的 $r_{J \cdot M}$ 可外推至轮伐期龄。据此比较了幼林期不同年龄选择的效果。

此外采用 Lambeth 等^[5]的方法,在每一测定年龄分别据树高和单株材积选出前 5 个家系(称为选择性状),追溯其至最后测定年龄的表现(称为响应性状),计算响应性状超出林分平均值的百分率即优势率:

$$\text{优势率}(\%) = \left(\frac{\text{前 5 个家系的均值}}{\text{林分平均值}} - 1 \right) \times 100$$

比较不同测定年龄所产生的优势率,以确定适宜的选择年龄。

(4)按照综合指数法进行以建筑材为材种的优良家系的评选。家系按其综合指数值排队^[6]: $I_k = \sum b_i P_i$,式中, I_k 为第 k 家系的指数值; b_i 为第 i 性状的指数系数; P_i 为第 i 性状的家系表型值。

求解 b 的矩阵方程为: $b = P^{-1}Ga$, P^{-1} 为家系平均值的表型方差-协方差矩阵; G 为家系遗传方差-协方差矩阵; a 为经济权重的向量,按等权法计算: $a = 1/\sigma_P$ 。

为避免性状间负相关产生的因一性状的增益造成另一性状的增益损失,分别建立了非约束指数和约束指数。上述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。

2 结果与分析

2.1 方差估算与遗传力

根据调查结果(见表2),该林分9年生时树高、胸径和单株材积分别为7.08 m、13.35 cm和0.056 5 m³,年平均生长量分别为0.79 m、1.48 cm和0.006 3 m³,在该立地条件下可认为生长良好。而自第5年后,各生长性状年生长量均大于平均生长量,显示自此后林分进入速生期。

表2 测定林逐年度生长性状林分平均值、方差分量的估算和遗传力

林龄 (a)	林分性状值	区组方差 σ_b^2	家系方差 σ_j^2		机误方差 σ_e^2	单株遗传力 h_i^2	家系遗传力 h_j^2
			树	高 $H(\text{cm})$			
1	37.96±3.99	1.123*(1.56)	2.557** (3.54)		68.474(94.90)	0.144	0.642
2	118.48±9.90	14.992** (2.19)	10.787* (1.58)		657.572(96.23)	0.065	0.441
3	183.15±15.26	34.053** (3.69)	40.559** (4.39)		849.305(91.92)	0.182	0.696
4	260.13±20.05	159.562* (9.58)	73.116** (4.39)		1432.260(86.02)	0.194	0.710
5	335.65±30.48	189.367** (9.05)	199.488** (9.54)		1703.494(81.41)	0.419	0.849
7	511.48±39.61	365.894** (10.36)	332.567** (9.42)		2832.805(80.22)	0.420	0.849
9	707.50±51.82	199.863** (3.59)	358.052** (5.83)		5588.018(90.22)	0.241	0.755
地径(1~3 a)或胸径(4~9 a) $D(\text{cm})$							
1	1.10±0.10	0.003** (5.45)	0.002** (2.72)		0.550(91.83)	0.115	0.587
2	2.64±0.22	0.016** (4.88)	0.005* (1.56)		0.312(93.56)	0.065	0.444
3	4.83±0.28	0.042** (6.26)	0.005 ^{NS} (0.75)		0.629(92.99)	0.032	0.280
4	3.93±0.53	0.049** (5.34)	0.049** (5.35)		0.811(89.31)	0.226	0.742
5	6.809±0.67	0.090** (10.69)	0.099** (11.75)		0.655(77.56)	0.526	0.879
7	10.28±0.85	0.103** (6.25)	0.150** (9.09)		1.395(84.66)	0.388	0.837
9	13.35±0.91	0.048* (2.51)	0.172** (8.95)		1.704(88.54)	0.367	0.829
单株材积 $V(\text{m}^3)$							
4	0.002 0±0.000 6	0.005 7×10 ⁻⁵ ** (4.85)	0.006 5×10 ⁻⁵ ** (5.55)		0.105 5×10 ⁻⁵ (89.6)	0.255	0.748
5	0.005 9±0.001 6	0.044 1×10 ⁻⁵ ** (7.49)	0.050 7×10 ⁻⁵ ** (8.62)		0.493 9×10 ⁻⁵ (83.89)	0.373	0.831
7	0.024 6±0.005 2	0.043 3×10 ⁻⁴ ** (6.70)	0.057 4×10 ⁻⁴ ** (8.87)		0.545 9×10 ⁻⁴ (84.43)	0.381	0.835
9	0.056 5±0.010 9	0.007 3×10 ⁻³ ** (3.05)	0.025 3×10 ⁻³ ** (10.6)		0.206 2×10 ⁻³ (86.35)	0.437	0.955

表3 测定林7年生时形质和木材性状林分平均值、方差分量的估算和遗传力

性状	林分性状值	区组方差 σ_b^2	家系方差 σ_j^2	机误方差 σ_e^2	单株遗传力 h_i^2	家系遗传力 h_j^2
树干通直度 ST	1.92±0.15	0.002 7* (1.77)	0.002 2* (1.45)	0.148 5(96.78)	0.060	0.421
分枝角度 BA	2.17±0.21	0.002 9 ^{NS} (1.11)	0.006 2** (2.40)	0.249 2(96.49)	0.097	0.516
侧枝粗度 BD	1.52±0.11	0.000 1 ^{NS} (0.001)	0.000 5 ^{NS} (0.379)	0.131 2(99.54)	0.016	0.164
基本密度 SG	0.388 0±0.009 9	0.014 5×10 ⁻³ * (1.65)	0.002 9×10 ⁻³ ^{NS} (0.28)	0.857 5×10 ⁻³ (98.97)	0.011	0.120
管胞长度 TL	2.688 4±0.098 3	0.000 6 ^{NS} (0.92)	0.000 8 ⁺ (1.26)	0.059 6(97.82)	0.051	0.383

注:表2、3中,括号内为方差分量,单位:%。NS示在 $P=0.10$ 水平不显著;+示在 $P\leq 0.10$ 水平显著;*示在 $P\leq 0.05$ 水平显著;**示在 $P\leq 0.01$ 水平显著。

方差分析结果(表 2、3)表明,在各年度内,树高的家系效应都达显著水平以上,而各年度间的方差分量变化较大,家系方差占表型总变异的 1.58%~9.54%,从第 1 年到第 2 年下降,而后逐渐增加,第 9 年时又有所降低。地径的家系方差分量从第 1 年起逐年下降,到第 3 年时已不显著,胸径的家系方差分量从第 5 年后也有所下降。表明第 1~2 年,林分尚处于不稳定阶段,受外界环境影响较大(机误方差分量占 90%以上);而随林分的郁闭,家系的表现又逐渐受到竞争的影响,部分程度地掩盖了家系效应。区组效应占表型总变异的分量也比较大,且都达显著水平以上,反映出造林地的土壤条件从坡底到坡上部的变化。各年度的单株材积的家系效应都达极显著水平,并逐渐增加。

生长性状的遗传力的年度变化规律和方差分量的变化相似,在第 1 至第 3 年中,树高和地径的遗传力有所下降,而后树高和胸径遗传力又有所上升,到第 7 年时达到最高,第 9 年后又有所降低,这种趋势和以前的报道基本相似^[7~9]。从表中可以看到,生长性状的家系平均遗传力一般都属中等和高等水平,与其它报道相比偏高,原因在于单点试验,且材料来自同一种子园,可能有一些家系间存在着父系联系。

在所评价的三种形质指标中,树干通直度和分枝角度的家系方差都达显著或极显著,家系平均遗传力也达中等水平,侧枝粗度的家系差异不显著,这一结果和 Zobel, van Buijtenan 的讨论是一致的^[10]。因此,通过选择,通直度和分枝角度可以获得较大的改良。大多数报道指出,湿地松的木材基本密度和管胞长度的家系遗传力都在中等程度^[10]。而本文中,木材基本密度的家系效应不显著,管胞长度的家系效应也仅在 10% 水平显著,遗传力仅在中下水平。这点需要我们以后继续研究。因此,在后面的分析中,未将材性因子考虑在内。

2.2 生长性状的早晚期相关与早期选择年龄的确定

2.2.1 性状的早晚期相关 对于树高、胸径、单株材积等生长性状,年度间的表型和遗传相关系数都是比较的,尤以遗传相关一般都大于表型相关(表 4)。树高的年度间表型相关和环境相关遵循线性变化,随年度间相距的加大而减小,而遗传相关在 3 年生以前似无明显的变化规律,自第 4 年以后表现出随年度增加而降低的趋势。胸径和材积的三种相关皆符合从高到低的变化,较为紧密的年度间相关表明前期的生长表现可作为后期表现的指示。

表 4 树高、单株材积的年度间表型、遗传相关

	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_7	H_9	V_4	V_5	V_7	V_9
H_1		0.800 7	0.745 7	0.673 4	0.635 1	0.602 5	0.657 8	V_4	0.951 2	0.897 3	0.892 2
H_2	0.914 9		0.887 8	0.870 7	0.802 8	0.728 3	0.743 3	V_5	0.976 2	0.953 7	0.928 8
H_3	0.792 9	0.949 0		0.974 9	0.947 6	0.874 3	0.855 4	V_7	0.951 3	0.980 8	0.966 6
H_4	0.716 6	0.999 9	0.999 9		0.959 3	0.886 3	0.874 4	V_9	0.972 5	0.958 4	0.988 6
H_5	0.691 3	0.999 9	0.999 9	0.987 3		0.942 3	0.916 6				
H_7	0.700 4	0.992 9	0.932 0	0.932 0	0.969 8		0.967 4				
H_9	0.795 1	0.999 9	0.999 6	0.939 0	0.954 9	0.996 2					

注:上三角为表型相关,下三角为遗传相关。

2.2.2 早期选择的预期增益效率 在去除第 1 年的相关因素之后,推导了树高的早晚期相关关系为: $r_{j,M} = 1.072 + 0.277LAR$ 。

据遗传力的变化趋势,设若 $h_M^2 = 0.50$,计算了早期选择相对于轮伐期选择时的效率(表 5)。可见选择效率在开始是逐步增加的,到第 7 年时达到最高值,此后又下降,5~7 a 时选择的

增益效率最高。

表5 早期选择的相对增益效率

选择年龄 $J(a)$	早晚期相关系数 r_{J-M}	家系遗传力 h_J	预期遗传增益 E
3	0.484 1	0.834 3	1.230
4	0.563 9	0.842 6	1.344
5	0.625 8	0.921 4	1.522
7	0.719 2	0.921 4	1.544
9	0.788 9	0.868 9	1.429

100%计,则自第3年起,作早期树高间接选择,对第9年树高的选择效率均在97%以上,材积选择效率均在94%以上,即从第3年起作早期选择的效果已可令人满意。综上所述,认为第5~7年是适宜的早期选择年龄。

表6 早期间接选择5个树高最优家系的效率

选择性状—响应性状	高出平均值 (%)	高出对照 (%)	选择性状—响应性状	高出平均值 (%)	高出对照 (%)
H_9-H_9	8.10	18.48	V_9-V_9	22.43	57.57
H_1-H_9	7.29	13.60	H_1-V_9	17.93	51.77
H_2-H_9	6.51	16.73	H_2-V_9	18.17	52.08
H_3-H_9	8.10	18.48	H_3-V_9	21.28	56.08
H_4-H_9	7.87	18.22	H_4-V_9	22.43	57.57
H_5-H_9	7.87	18.22	H_5-V_9	22.43	57.57
H_7-H_9	7.87	18.22	H_7-V_9	22.43	57.57
			H_9-V_9	21.28	56.08

2.3 湿地松建筑材的家系指数选择

2.3.1 性状间的相关 表7列出了7年生时树高、胸径、单株材积、树干通直度、分枝角、侧枝粗等性状间的表型和遗传相关。三个生长性状之间表现出强的遗传相关和表型相关,表明对个性状的选择可对另一性状产生显著的间接响应。树干通直度与生长性状的遗传相关和表型相关都展示出一定程度的负相关,但未达到显著水平。分枝角度与生长性状之间是微弱的正相关或负相关,表明它们之间是独立遗传的,在相关不显著的情况下,使得我们有机会选出生长快,干形、分枝习性也较好的材料。侧枝粗度与生长性状之间表现为强的正遗传相关,这对于选择生长快而侧枝细小的家系极为有利。

表7 测定林7年生时生长、干形、材性性状间的相关

性状	H	D	V	ST	BA	DB
H		0.914 7**	0.966 7**	-0.325 7	-0.090 2	0.916 1**
D	0.877 4**		0.985 2**	-0.330 3	0.085 8	0.808 0**
V	0.949 7**	0.970 7**		-0.304 7	0.071 2	0.961 3**
ST	-0.222 7	-0.046 3	-0.230 4		-0.224 4	0.449 8 ⁺
BA	-0.072 6	0.055 4	0.042 6	-0.062 7		0.950 5**
BD	0.352 0	0.297 6	0.356 2	0.302 0	0.510 4*	

2.3.2 家系指数选择 根据建筑材作为目的材种的要求,选取树高、胸径、树干通直度和分枝

2.2.3 选择响应的比较 从表6可以看出,从早期树高最大的5个家系(选择性状)推算至最后一次观测时其树高和材积的表型(响应性状),以第9年作直接选择,5个树高最优家系大于全林树高平均值8.1%,大于对照18.48%,材积最优家系大于全林材积平均值22.43%,大于对照57.57%。以此为

角度 4 个性状建立综合选择指数。按等权重法计算了 4 个性状的相对经济权重,并以此为基准来扩大某一类性状的权重,建立了 5 套经济权重(表 8)。同时建立了约束指数,以防止由于负相关所产生的某些性状的负向增益。

表 8 不同经济权重下不同指数选择产生的性状遗传增益 ($i = 1.44$)

项 目	相对经济权重				细 目	期望遗传增益				指数遗传力 h^2
	H	D	ST	BA		$H(m)$	$D(cm)$	ST	BA	
等权重	1	0.5	1.5	1	非约束 A_1	0.45	0.92	-0.039	0.021	0.814
					约 束 A_2	0.27	0.66	0	0.125	0.653
					约 束 A_3	0.41	0.80	0	0	0.727
生长为主	10	5	1.5	1	非约束 B_1	0.47	0.93	-0.048	-0.000 1	0.838
					约 束 B_2	0.41	0.80	0	0	0.727
	100	50	1.5	1	非约束 C_1	0.47	0.93	-0.049	-0.002 1	0.839
					约 束 C_2	0.41	0.80	0	0	0.727
形态为主	1	0.5	15	10	非约束 D	0.004 5	0.178	0.039	0.112	0.466
	1	0.5	150	100	非约束 E	-0.203	-0.238	0.058 6	0.107	0.527

按等权重建立的非约束选择指数,可产生 0.45 m 的树高增益和 0.92 cm 的胸径增益,分枝角提高 0.021,树干通直度则下降了 0.039;如果强调生长性状,树高与胸径的增益与等权重法相比略有增加,而通直度愈加降低,分枝角基本无增益或有所下降。强调形态性状,通直度和分枝角度质量提高了,而树高和胸径仅有很小的增益甚或为负向增益。因此,无论强调生长性状或是形态性状,都是不可取的。

从非约束指数选择的预期遗传增益看,在现有群体中要同时取得生长性状和干形的同步改良是不可能的。在此情况下,生长性状应是首要考虑的。我们建立了将树干通直度或(和)分枝角度的预期遗传进展约束为零的情况下的选择指数,在等权重时,树干通直度增益约束为零,树高和胸径的增益下降至 0.27 m 和 0.66 cm,而分枝角的增益提高为 0.125。当将形态性状的遗传进度均限制为零,则获得 0.41 m 和 0.80 cm 的树高和胸径增益。再扩大生长性状的权重,收效甚微。

通过上述比较,我们认为选择指数 $A_3[I=1.531H+0.187D+2.329ST+0.590BA]$ 是比较适当的指数。据此计算了各个家系的综合指数值(表 9)。从表中可以看到,家系 4-25、8-16、6-20 的指数值最高,是入选的优良家系,其 4 种性状的平均值分别高出林分均值 9.83%、10.25%、6.13%和 6.04%。

表 9 参试家系 7 年生树高、胸径、通直度和分枝角平均值及综合指数

家系号	树高 (m)	胸径 (cm)	树干通 直度	分枝 角度	指数值	家系号	树高 (m)	胸径 (cm)	树干通 直度	分枝 角度	指数值
4-25	5.9	11.48	1.973	2.319	17.14	8-9	5.25	10.46	1.819	1.854	15.31
8-16	5.488	11.16	2.132	2.375	16.85	4-28	4.91	9.45	2.015	2.243	15.29
6-20	5.449	11.36	2.008	2.209	16.44	8-18	4.84	10.08	1.944	2.396	15.23
8-10	5.34	10.68	2.165	2.074	16.43	4-5	4.92	10.08	1.688	2.069	14.56
1-1	5.44	11.45	1.841	2.466	16.20	6-17	4.45	8.88	2.022	1.812	14.25
4-23	5.48	10.83	1.917	2.180	16.16	6-11	4.51	8.99	1.791	2.257	14.08
3-15	5.09	10.06	1.917	2.125	15.39	CK	4.69	9.25	1.681	1.909	13.94
8-7	4.96	10.18	2.048	1.930	15.39	平均值	5.11	10.28	1.92	2.17	
8-23	5.15	10.13	1.763	2.473	15.34						

3 结论与讨论

(1)各家系间在高、径生长和干形及分枝角度等性状方面表现出极显著的变异,家系平均遗传力也都达到中等程度以上,表明受到较强的遗传控制。以生长和干形等性状为目标,通过家系选择可获得较显著的改良效果。与其它研究结果相比较,材性性状的家系间差异不显著,遗传力偏低,需作进一步探讨。

(2)经分析证明,在造林后第5~7年可作生长性状的早期选择,这与其它研究结果是一致的。Lambeth^[4]认为除极年幼(1~3 a)外的早晚年度相关(5~8 a)可相当精确地预测轮伐期时的家系表现。Hodge and White^[9]通过对50多个湿地松自由授粉子代林的分析认为,在10年生之间可以进行选择。当然,由于本文材料属单点试验,无法了解基因型与环境的互作效应,有待对多点试验的结果作综合分析,以提高预测的可靠性。

(3)在用树高、胸径、干形、分枝角4种性状建立的选择指数中,本次研究强调了以生长性状为主要选择因子,将干形的预期增益进行约束,选择出3个优良家系,其生长较优,干形和分枝角也都在平均水平以上。比较几种指数的遗传力,发现以形质为重的指数遗传力低于等权重或以生长为重的指数遗传力,表明生长性状是决定指数选择效果的主要因素。

参 考 文 献

- 1 何礼华,陈孝英,赖发兴,等.湿地松种子园自由授粉子代苗期试验.林业科学研究,1991,4(1):106~110.
- 2 何礼华,陈孝英,李锦清,等.湿地松种子园自由授粉子代幼年期测定选择.林业科学研究,1992,5(5):518~523.
- 3 Zobel B, Talbert J. Applied forest tree improvement. New York, 1984. 511.
- 4 Lambeth C C. Juvenile-mature correlation in Pinaceae and implications for early selection. Forest Science, 1980, 26(4): 571~580.
- 5 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.
- 6 Cotterill P P, Jackson N. On index selection I. Methods of determining economic weight. Silvae Genetica, 1985, 34(2~3): 56~63.
- 7 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.
- 8 Franklin E C. Model relating levels of genetic variance to stand development of four North American conifers. Silvae Genetica, 1979, 28(5~6): 207~212.
- 9 Hodge G R, White F L. Genetic parameter estimates for growth at different ages in slash pine and some implications for breeding. Silvae Genetica, 1992, 41(4~5): 252~262.
- 10 Zobel B J, van Buijtenen J P. Wood variation: Its causes and control. New York, 1989. 360.

The Early Selection of Open Pollinated Families of Slash Pine

Jiang Jingmin Sun Haiqing Liu Zhaoxi

Abstract Analyses was conducted based on the data from a 9-year-old open-pollinated progeny test of *P. elliottii* in northwestern Zhejiang. The measurement of growth traits were taken annually for the first 5 years and at the 7th and 9th year, while the form traits were assessed visually at the 7th year. There were significant family variations in height, stem diameter, stem straightness and branch angle, and middle to high level family-mean heritabilities. The age trends of growth traits in family variances, juvenile-mature correlations and response to early selection were examined, 5 to 7 years old was the optimum age for early indirect selection. Genetic gains were examined on the height, stem diameter, stem straightness, and branch angle in selection indices. The results suggested that it is impossible to achieve substantial simultaneous improvement in both growth and form. Based on restricted indices constructed by using equal emphasis weights, three superior families were selected.

Key words slash pine, open-pollinated progeny test, genetic analysis, early selection, index selection

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