

# 马尾松实生种子园的遗传分析和育种值预测\*

周志春<sup>1)</sup> 林荣联<sup>2)</sup> 兰永兆<sup>2)</sup> 戴德升<sup>2)</sup> 钟德华<sup>2)</sup> 吴吉富<sup>2)</sup>

(1) 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 311400, 浙江富阳; 2) 福建省武平县林业局, 364300, 福建武平;  
第一作者 36 岁, 男, 副研究员)

**摘要** 利用 5 年生 139 个马尾松天然林优树自由授粉家系的测定材料, 研究生长性状和雌、雄球花量的遗传变异, 估算家系和家系内个体的育种值。该子代测定林是实生种子园的一部分。研究结果表明, 高、径生长和雌、雄球花量在家系间存在着极显著的差异, 多数家系的生长量都大于当地的试验对照。性状的家系遗传力较高, 而单株遗传力较低。雌、雄球花量所受的遗传控制与生长性状相近。遗传相关分析表明, 开花性状似独立于生长性状。利用最佳线性预测给出了估算家系亲本和家系内个体育种值的指数方程, 两者的预测精度分别为 0.652 2 和 0.421 5。根据指数方程估算家系和家系内个体的育种值, 以作为实生种子园疏伐去劣的依据。最后就实生种子园的疏伐去劣原则进行了论述。

**关键词** 马尾松; 实生种子园; 遗传分析; 育种值估算

**分类号** S722.83

种子园是一种在世界范围内普遍推行的林木良种生产体系, 主要有实生和无性系种子园两大类, 两者各有特点<sup>[1,2]</sup>。许多学者因无性系种子园可以较早结实这一事实, 将其作为主要形式采用。已有研究证实, 建园方式对种子产量和遗传增益并无影响。多年来的研究发现, 无性系种子园会出现花期不同步、近交存在、随机交配不充分、子代遗传多样性低、建园成本高、世代间隔长等诸多问题。而实生种子园内母树花期较同步、随机交配充分, 从而提高了子代的遗传多样性。实生种子园还可结合子代测定进行, 通过家系和家系内选择进行种子园的去劣疏伐, 减少建园投入和时间, 提高遗传增益。

家系和家系内选择以及疏伐去劣原则的确定是实生种子园研建的关键技术之一。选择的目的是使得入选群体具有最大的遗传值。虽然无法直接观测个体或其亲属的基因型, 观测的仅是表现型, 但可利用最佳线性预测(BLPs) 较精确地估算预测遗传值, 据此作各种选择<sup>[3]</sup>。

马尾松(*Pinus massoniana* Lam b.) 是我国南方重要的乡土造林树种, 其系统遗传改良研究始于 80 年代初。基于地理种源试验, 在马尾松主要产区开展了优树资源收集和种子园营建技术研究。90 年代初, 借鉴无性系种子园的研建经验, 在马尾松中心产区和优良种源区之一的福建省闽西地区, 选优建立实生种子园。实生种子园结合子代测定建立, 初植密度较大, 目前急需疏伐去劣。本文将在生长和开花性状遗传分析的基础上, 利用 BLPs 估算家系和家系内个体的育种值, 以指导实生种子园的去劣疏伐。

\* 本文属“九五”国家科技攻关专题“马尾松优质纸浆用材树种良种选育及培育技术研究”(96-011-01-01) 及中国林业科学研究院亚热带林业研究所与福建省武平县人民政府科技合作内容。参加研究的还有吴荣生、林承梅、练大煌、刘梓富、李贤东等, 敬致谢忱。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实生种子园概况和试验数据采集

1990 年, 在马尾松优良种源区之一的闽西地区开展天然林优树选择, 建立实生种子园。种子园位于福建省武平县国有十方林场, 116°21' E, 25°41' N, 海拔 200 m 左右, 年均温 19.5℃, 1 月均温 9.4℃, 10 月的年积温 6 263℃, 年均降雨量 1 625 mm。种子园面积 18 hm<sup>2</sup>, 交通便利, 地势较平缓, 光照充足。土壤为山地红壤, 土层厚 100 cm 以上, 肥力中等偏低。种子园建设结合子代测定进行, 子代测定部分为完全随机区组设计, 参试家系 139 个, 另加福建武平和永定两个试验对照(CK<sub>1</sub> 和 CK<sub>2</sub>), 20 次重复, 2 株单列小区, 株行距为 3 m × 3 m。1992 年 4 月利用半年生容器苗上山定植。

在苗木定植后的第 5 个生长季末对种子园中子代测定部分进行全林生长量调查, 包括树高、胸径和冠幅, 同时分别在第 4 个和第 5 个生长季初统计全林的雌、雄球花量, 按多、中、少和无计分为 3、2、1 和 0。由于第 13、15 和 20 重复的调查材料有误, 统计分析时仅用其中 17 个重复的试验数据。

### 1.2 家系遗传分析

性状方差分析按线性模型  $y_{ijk} = u + b_i + f_j + fb_{ij} + e_{ijk}$  进行, 式中  $y_{ijk}$  为第  $i$  重复第  $j$  家系第  $k$  单株的观测值,  $u$  为固定的总体平均值,  $b_i$  为第  $i$  重复的固定效应,  $f_j$  为第  $j$  家系的随机效应,  $E(f_j) = 0$ ,  $\text{Var}(f_j) = \sigma^2$ ,  $fb_{ij}$  为第  $i$  重复第  $j$  家系的随机互作效应,  $E(fb_{ij}) = 0$ ,  $\text{Var}(fb_{ij}) = \sigma^2$ ,  $e_{ijk}$  为第  $ij$  小区第  $k$  植株的随机误差,  $E(e_{ijk}) = 0$ ,  $\text{Var}(e_{ijk}) = \sigma^2$ 。以上所有因子间的协方差为 0,  $\sum b_i = 0$ 。统计分析时, 雌、雄球花量的数据经  $(x+1)^{1/2}$  转化。性状单株和家系遗传力、性状间遗传相关等参数估算参见文献[4]。

### 1.3 家系和家系内个体育种值估算

在马尾松生长的幼龄阶段, 一般根据树高来评判遗传型的生产力<sup>[5]</sup>。本文在高、径和雌、雄球花量遗传分析的基础上, 利用 BLPs 估算家系和家系内个体 5 年生树高的育种值, 用以指导种子园的首次疏伐去劣。估算预测育种值( $g$ )的通用公式如下:

$$g = \tau + \{ \text{Cov}(g, y) / \text{Var}(y) \} (y - \alpha)$$

式中  $\tau = E(g)$ , 为所有候选者的平均遗传值,  $\text{Cov}(g, y)$  为观测值( $y$ )和遗传值( $g$ )的协方差,  $\text{Var}(y)$  为观测值的方差,  $\alpha = E(y)$ , 为所有观测值的期望值。在上述线性模型的基础上, 可推导出逆向选择(亲本选择)和前向选择(家系和家系内选择)的估算公式<sup>[6]</sup>。

预测育种值  $g$  与真实育种值  $g$  间的相关, 也即预测精度为:

$$\text{Corr}(g, g) = \text{Cov}(g, g) / \{ \text{Var}(g) \text{Var}(g) \}^{1/2} = \{ \text{Var}(g) / \text{Var}(g) \}^{1/2}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 生长性状和雌、雄球花量的家系遗传分析

表 1 的方差分析表明, 5 年生树高、胸径、冠幅和雌、雄球花量在 139 个天然林优树自由授粉家系间存在着极显著的差异, 绝大多数家系的高、径生长都大于两个试验对照, 由表 2 可见, 树高和胸径生长大于 CK<sub>1</sub> 10% 的家系分别有 20.1% 和 64.0%, 大于 CK<sub>2</sub> 10% 的家系分别有 66.9% 和 95.0%, 这说明马尾松天然林优树的表型选择效果是显著的, 构建实生种子园的许

多家系遗传品质较理想。然而因参试的 139 个家系变异很大, 遗传品质参差不齐, 可通过疏伐去劣有效地改善实生种子园的遗传结构。

表 1 生长性状和雌、雄球花量方差分析(均方和自由度)

性 状	区 组	家 系	家系 × 区组	机 误
5 年生树高/m	0.916 61 (16)	0.282 46* *(140)	0.162 50* *(2 240)	0.135 44(2 397)
5 年生胸径/cm	20.266 00 (16)	2.554 00* *(140)	1.335 00* *(2 240)	1.036 96(2 397)
5 年生冠幅/m	0.151 08 (16)	0.203 19* *(140)	0.137 31* *(2 240)	0.119 13(2 397)
4 年生雄花量①	1.284 10 (16)	0.220 19* *(140)	0.114 19* *(2 240)	0.098 93(2 397)
4 年生雌花量①	3.483 50 (16)	0.241 76* *(140)	0.091 90* *(2 240)	0.079 06(2 397)
5 年生雄花量①	0.916 61 (16)	0.282 46* *(140)	0.162 50* *(2 240)	0.135 43(2 397)
5 年生雌花量①	3.811 10 (16)	0.260 23* *(140)	0.108 57* *(2 240)	0.086 38(2 397)

注: \* \* 表示在 1% 水平上显著, \* 表示在 5% 水平上显著; ①者为经 $(x+1)^{1/2}$ 转化后的数据。

表 2 139 个参试家系与两个商品对照的比较(家系数和百分比)

性状	变异范围	CK <sub>1</sub> 值	与 CK <sub>1</sub> 的比较			CK <sub>2</sub> 值	与 CK <sub>2</sub> 的比较		
			> 0%	> 5%	10%		> 0%	> 5%	> 10%
树高/m	2.68 ~ 3.46	2.92	132(95.0)	92(66.2)	28(20.1)	2.77	138(99.3)	133(95.7)	93(66.9)
胸径/cm	3.70 ~ 5.32	4.07	135(97.1)	122(87.8)	89(64.0)	3.76	138(99.3)	137(98.6)	132(95.0)

表 3 列出了性状的一些重要遗传参数, 可以看出, 树高、胸径和冠幅的家系遗传力分别为 0.42、0.48 和 0.32, 略低于已有的研究报道<sup>[5,6]</sup>, 单株遗传力分别为 0.09、0.12 和 0.06, 则明显地低于以前的报道。究其原因, 一方面是由于本试验参试的家系数多, 区组内环境条件较难控制, 虽然增加了试验重复数, 但环境方差还是比较大。另一方面, 本文是以小区内个体观测值作为单位进行统计分析的, 而以前的研究则都是以小区均值为统计单位的, 无法将家系 × 区组交互效应从机误中分割出来, 丧失了许多信息, 这是导致单株遗传力估算值偏高、精度较低的主要原因。

表 3 生长性状和雌、雄球花量遗传参数估算

性 状	$u$	$\sigma_a^2$	$\alpha_{0a}^2$	$\alpha_c^2$	$\alpha_a^2$	$\alpha_c^2$	$h_i^2$	$h_t^2$
5 年生树高	3.11	0.003 53	0.013 55	0.135 43	0.014 10	0.152 51	0.09	0.42
5 年生胸径	4.55	0.035 85	0.149 02	1.036 96	0.143 40	1.221 83	0.12	0.48
5 年生冠幅	2.20	0.001 94	0.009 09	0.119 13	0.007 76	0.130 16	0.06	0.32
4 年生雄花量	1.22	0.003 12	0.007 63	0.098 93	0.012 48	0.109 68	0.11	0.48
4 年生雌花量	1.27	0.004 41	0.006 42	0.079 06	0.017 64	0.089 89	0.20	0.62
5 年生雄花量	1.28	0.003 53	0.013 54	0.135 43	0.014 12	0.152 50	0.09	0.42
5 年生雌花量	1.38	0.004 46	0.011 10	0.086 38	0.017 84	0.101 94	0.18	0.58

注: 表中  $\sigma_a^2$  为加性方差,  $\sigma_r^2$  为表型方差,  $h_i^2$  和  $h_t^2$  分别为单株和家系遗传力。

从已有报道来看, 林木开花性状(包括花期和花量)遗传特性的研究较少, 本文是首次研究马尾松雌、雄球花量在家系间的遗传变异。研究发现雌、雄球花量所受的遗传控制与生长性状相近, 或略高于生长性状(表 3)。雌球花量的遗传力高于雄球花量, 两者的家系遗传力分别在 0.58 ~ 0.62 和 0.42 ~ 0.48 之间。从观察结果来看, 马尾松雌球花的始花年份较早, 甚至在 1 ~

2 年生时一些家系和个体就能开雌球花, 而雄球花的始花年份略迟, 在本试验的 2 个观测年份还有一些家系和个体未开雄球花, 性状未得到充分表达, 这或许能解释雄球花量遗传力小于雌球花量的原因。从表 3 还可发现, 在 2 个观测年份, 雌、雄球花量的遗传力估算值相近。

实生种子园经营目的与一般人工林相异, 人工林要求树木生长迅速、单位面积产材量高、材质优异, 而实生种子园除要求建园家系和个体生长快、材质好外, 还要求能大量结实, 以提供大量经过遗传改良的种子。因此研究生长性状与开花结实特性间的关系, 具有重要的现实意义。表 4 列出了生长性状和雌、雄球花量的表型、遗传和环境相关系数, 可以发现除 5 年生胸径与 4 年生雄花量、5 年生冠幅与 4 年生雌、雄球花量相关系数相对较高外, 生长性状与雌、雄球花量间呈微弱的正相关至微弱的负相关, 在家系水平上马尾松生长和开花两类性状似是相互独立的, 在实生种子园中生长量大的家系在遗传上并不意味着花量和球果产量较低, 通过疏伐完全可以使实生种子园的遗传品质得到改善, 球果和种子产量得到提高。从表 4 还发现雌球花量和雄球花量呈显著的正相关, 4 年生和 5 年生时的遗传相关系数分别为 0.478 7 和 0.607 8, 说明在马尾松生长的幼龄期, 雌球花多的家系雄花量也相应较多。不同家系的雌、雄球花量在年份间是非常稳定的, 遗传相关系数大于 0.85。

表 4 生长性状和雌、雄球花量间的表型(P)、遗传(G)和环境(E)相关

性 状		5 年生树高	5 年生胸径	5 年生冠幅	4 年生雄花量	4 年生雌花量	5 年生雄花量
5 年生胸径	P	0.743 1					
	G	0.831 7					
	E	0.659 8					
5 年生冠幅	P	0.630 4	0.534 7				
	G	0.774 3	0.626 7				
	E	0.564 1	0.493 7				
4 年生雄花量	P	0.195 8	0.228 7	0.168 5			
	G	0.283 4	0.401 6	0.335 2			
	E	0.113 4	0.082 3	0.074 9			
4 年生雌花量	P	0.100 3	0.143 7	0.164 8	0.333 6		
	G	0.131 5	0.231 4	0.350 2	0.478 7		
	E	0.061 8	0.047 9	0.035 8	0.180 7		
5 年生雄花量	P	0.095 0	0.050 8	0.038 1	0.656 4	0.192 5	
	G	0.107 8	0.019 6	0.074 9	0.850 2	0.271 1	
	E	0.085 7	0.074 4	0.019 4	0.515 8	0.123 6	
5 年生雌花量	P	0.006 5	0.113 3	0.074 2	0.267 8	0.680 4	0.368 3
	G	- 0.056 3	0.135 0	0.071 6	0.459 6	0.999 9	0.607 8
	E	0.080 1	0.091 6	0.081 1	0.073 9	0.234 2	0.160 5

## 2.2 家系和家系内个体的育种值估算

这里主要涉及亲本选择、家系和家系内选择两种选择方式。

亲本选择也称逆向选择(backward selection), 利用半同胞家系均值( $\bar{y}_{.j}$ ) 预测其亲本的育种值  $g_j = \{ \text{COV}(\bar{y}_{.j}, g_j) / \text{Var}(\bar{y}_{.j}) \} (\bar{y}_{.j} - \alpha) = 2\sigma^2 / (\sigma^2 + \sigma_m^2 / b + \sigma_e^2 / bn) (\bar{y}_{.j} - \alpha) = 2h^2(\bar{y}_{.j} - \alpha)$ 。若有  $N$  个亲本入选, 预测增益则为预测育种值的平均值  $\Delta g = \sum g_j / N = 2h^2 S_t$ 。式中  $b$  为试验重复数,  $n$  为小区内株数,  $S_t$  为基于家系均值的选择差, 其它同上。

家系和家系内选择也称前向选择(forward selection), 利用家系均值( $\bar{y}_{\cdot j}$ ) 和个体观测值( $y_{ijk}$ ) 预测不同个体的育种值  $g_{ijk} = C V^{-1}(y - \alpha)$ ,

$$\text{其中 } y = \begin{bmatrix} y_{ijk} \\ \bar{y}_{\cdot j} \end{bmatrix}, \quad E(y) = \begin{bmatrix} E(y_{ijk}) \\ E(\bar{y}_{\cdot j}) \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \text{Var}(y_{ijk}) & \text{Cov}(y_{ijk}, \bar{y}_{\cdot j}) \\ \text{Cov}(y_{ijk}, \bar{y}_{\cdot j}) & \text{Var}(\bar{y}_{\cdot j}) \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} \text{Cov}(y_{ijk}, g_{ijk}) \\ \text{Cov}(\bar{y}_{\cdot j}, g_{ijk}) \end{bmatrix}$$

$$\text{Var}(y_{ijk}) = \sigma^2 + \sigma_b^2 + \sigma_e^2$$

$$\text{Cov}(y_{ijk}, \bar{y}_{\cdot j}) = \sigma^2 + \sigma_b^2/b + \sigma_e^2/bn = \text{Var}(\bar{y}_{\cdot j})$$

$$\text{Cov}(y_{ijk}, g_{ijk}) = 4\sigma^2 = \sigma_a^2$$

$$\text{Cov}(\bar{y}_{\cdot j}, g_{ijk}) = \sigma^2 + (3/bn)\sigma^2 = 1/4\sigma_a^2 + (3/4bn)\sigma_a^2$$

根据表 3 给出的遗传参数, 建立了 5 年生树高的预测育种值指数方程, 估算了预测精度和预测增益(表 5)。利用半同胞家系均值预测亲本育种值的精度为 0.652 2, 而利用家系均值和个体观测值预测个体育种值的精度则为 0.421 5。根据表 5 给出的选择指数方程可以重复地预测每一家系亲本和家系内每一株树木的育种值, 以作为实生种子园去劣的依据。表 6 列出的 20 个最优家系和家系内最佳植株的表型值和育种值, 可供参考。在前向选择的预测育种值估算公式中, 可以看出家系均值的权重远大于个体表型值的权重。2 株表型值相同的个体, 其育种值会因所属家系的不同而不一样, 所属家系的育种值高, 那么个体的育种值也相应较高。表 5 列出的逆向选择预测增益值为 0.849 4 $S_t$ , 这是双亲本选择的情形, 即根据亲本育种值对种子园进行去劣。若种子园不去劣, 仅从其优良亲本上采收种子用于生产, 这是单亲本选择, 预测增益值则为 0.424 9 $S_t$ 。前向选择的预测增益为所有入选个体的平均育种值  $\Sigma g_{ijk}/N$ 。

表 5 5 年生树高两种选择方式的预测育种值估算公式、预测精度和预测增益

选择方式	预测育种值的估算公式	预测精度	预测增益
逆向选择	$g_j = 0.849 4\{\bar{y}_{\cdot j} - E(\bar{y}_{\cdot j})\}$	0.652 2	0.849 4 $S_t$
前向选择	$g_{ijk} = 0.071 2\{y_{ijk} - E(y_{ijk})\} + 0.390 9\{\bar{y}_{\cdot j} - E(\bar{y}_{\cdot j})\}$	0.421 5	$\Sigma g_{ijk}/N$

表 6 20 个最优家系和家系内最佳株 5 年生树高的表型值和育种值

家系号	家 系		家系内最佳株		家系号	家 系		家系内最佳株	
	表型值	育种值	表型值	育种值		表型值	育种值	表型值	育种值
202	3.46	0.30	4.50	0.21	179	3.28	0.14	4.73	0.17
39	3.39	0.24	4.40	0.18	110	3.28	0.14	4.43	0.15
139	3.36	0.21	4.16	0.15	12	3.28	0.14	4.30	0.14
9	3.35	0.20	4.80	0.20	54	3.28	0.14	4.85	0.18
28	3.35	0.20	5.52	0.25	45	3.27	0.14	3.98	0.11
161	3.32	0.18	4.32	0.15	165	3.27	0.14	4.04	0.12
17	3.31	0.17	4.95	0.19	35	3.27	0.14	4.00	0.11
170	3.30	0.16	4.31	0.15	201	3.25	0.12	3.95	0.10
34	3.29	0.15	4.56	0.16	19	3.25	0.12	4.23	0.12
135	3.29	0.15	4.50	0.16	CK <sub>1</sub>	2.92	-0.16		
127	3.29	0.15	4.16	0.13	CK <sub>2</sub>	2.77	-0.29		

### 3 问题与讨论

实生种子园结合遗传测定林建立可以同时起到种子生产和测定两大作用,然而实生种子园和测定林的管理标准是不同的。实生种子园要求树冠充分发育,接受光照而大量结实;遗传测定林则要求有一定的竞争环境,子代评价应待生长发生强烈竞争后才能进行。鉴于此,结合子代测定林营建实生种子园,须同时考虑这两方面的作用。马尾松是速生树种,特别是在其中心产区和优良种源区之一的闽西地区,水热资源丰富,树木生长迅速,人工林在第3~4年就郁闭。福建省武平县马尾松实生种子园设计的初植密度为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ (1 111株· $\text{hm}^{-2}$ ),为最终保留密度的3~4倍,以兼顾种子生产和测定两大功能。

提高实生种子园种子产量和遗传品质的技术关键是疏伐去劣,而疏伐去劣的依据则是对建园遗传材料的精确评价。White和Hodge利用BLPs推导出的估算预测育种值的通用公式,适用于所有的选择方法,从个体的混合选择到多性状的间接选择<sup>[3]</sup>。采用BLPs技术不仅使育种学家可利用所有适用的信息,而且能克服其它方法一些固有的缺点,如能调整数据间的不平衡性等。La Farce基于火炬松5年生树高的不平衡数据利用BLPs进行全同胞家系选择<sup>[7]</sup>,White和Hodge利用BLPs预测湿地松生长和抗锈病的育种值以作家系选择<sup>[8]</sup>,而Klein则利用BLPs技术对斑克松自由授粉家系测定中的个体进行多性状联合选择<sup>[9]</sup>。本文在马尾松生长和雌、雄球花量遗传分析的基础上,尝试利用BLPs预测家系亲本和家系内个体的育种值,指导实生种子园的去劣疏伐。

种子园现已郁闭,去劣疏伐原则的确定主要依据树种生长特性、遗传变异规律和实生种子园自身的特点,并借鉴无性系种子园营建的经验和教训。根据这一原则,对马尾松实生种子园可考虑3次去劣疏伐。第1次去劣疏伐旨在使树冠发育不受大的影响,设计疏伐强度为30%,保留密度为778株· $\text{hm}^{-2}$ ,疏伐年龄为6~7年生,这是马尾松家系的初选年龄<sup>[5]</sup>。疏伐则依据家系和个体的树高育种值。由于树木年龄尚幼,对家系淘汰的风险较大,因此仅伐去10%的最劣家系,主要作家系内的个体选择,疏伐对象还包括那些病、弱和畸形株。第2次去劣疏伐设计强度为40%,伐去20%的最劣家系,保留密度为467株· $\text{hm}^{-2}$ ,设计疏伐年龄为10年生,此时种子园已进入投产期,作为子代测定林也已达到了1/3~1/2轮伐期。去劣主要依据对材积生长、木材密度和球果产量的综合考虑,包含木材密度这一指标则是针对以纸浆材为主要培育目标。第3次去劣疏伐设计强度为30%~40%,最终保留密度为300株· $\text{hm}^{-2}$ ,疏伐年龄为15年生,种子园将进入盛产期,这时的疏伐依据为树木生长量和球果产量,仅淘汰10%的最劣家系,以尽量保留较多的家系数,维持宽广的遗传基础。

### 参 考 文 献

- 1 Toda R. Special issue of *Silvae Genetica*, on vegetative and seedling seed orchards. *Silvae Genetica*, 1964, 13(1).
- 2 Zobel B J, Talbert J T. Applied forest tree improvement. Wiley and Sons, Inc., New York, 1984. 505.
- 3 Hodge G R, White T L. Concepts of selection and gain prediction. In: Fins L, et al., ed. Handbook of quantitative forest genetics. Kluwer Academic Pub., 1992. 403.
- 4 Falconer D S. Introduction to quantitative genetics, second edition. New York: Longman Press. 1981. 340.
- 5 秦国峰,周志春,金国庆,等.马尾松天然林优树自由授粉家系生产力评价.林业科学研究,1997,10(5):472~477.
- 6 秦国峰,周志春,金国庆,等.马尾松遗传参数估算和优良家系评选.林业科学研究,1992,5(2):127~133.

- 7 La Farce T. Application of best linear predication to the analysis of five full-sib loblolly pine progeny tests. In: Charleston S C, ed. Proc. 20th South. For. Tree Improve. Conf., June 26 ~ 30, 1989. 315 ~ 322.
- 8 White T L, Hodge G R. Best linear prediction of breeding values in a forest tree improvement program. Theor. Appl. Genet., 1988, 76: 719 ~ 727.
- 9 Klein J I. Multiple-trait combined selection in jack pine family-test plantation using best linear prediction. Silvae Genetica, 1995, 44(5 ~ 6): 362 ~ 375.

## Genetic Analysis and Breeding Value Predication of Seedling Seed Orchard of Masson Pine

Zhou Zhichun<sup>1)</sup> Lin Ronglian<sup>2)</sup> Lan Yongzhao<sup>2)</sup> Dai Desheng<sup>2)</sup>  
Zhong Dehua<sup>2)</sup> Wu Jifu<sup>2)</sup>

( 1) The Research Institute of Subtropical Forestry CAF, 311400, Fuyang, Zhejiang, China;

2) Forestry Bureau of Wuping County, Fujian Province, 364300, Wuping, Fujian, China)

**Abstract** The data from a masson pine progeny test with 139 open-pollinated families was used to study inheritance and variation of growth and female/male flower amount and predicate breeding value of families and individuals within families. The results show that there are significant differences in height, *DBH* and female/male flower amount between the families at age five. The growth of most families tested are greater than those of the two controls. Family heritabilities of the traits were found to be higher and the individual heritabilities lower. Female/male flower amount was under nearly the same genetic control as growth traits. The genetic correlation analysis indicates that flowering traits seem to be independent of growth. Using best linear predication approach, the selection index equations for parent selection and family and within family selection are established with prediction precision of 0.652 2 and 0.421 5 respectively. The selection index equations, which could be used repeatedly to predicate the breeding value of each family and each individual tree, are the scientific basis for removing the rogue in the seedling seed orchard. Finally the principle about roguing and thinning in seedling seed orchard was discussed.

**Key words** masson pine; seedling seed orchard; genetic analysis; estimation of breeding value