

马尾松实生种子园自由授粉子代测定及亲本家系选择增益估算

白天道¹, 徐立安^{1*}, 王章荣¹, 林能庆², 张森行²

(1. 南京林业大学林木遗传与基因工程重点实验室, 江苏 南京 210037; 2. 福建省上杭白砂国有林场, 福建 上杭 364200)

摘要:以福建省白砂国有林场的马尾松实生种子园自由授粉子代测定林为材料,分析了5、6年生家系生长量(树高、胸径及材积)及形质指标(通直度、冠幅及侧枝粗度)的遗传变异规律,估算了各性状的遗传力。结果表明,材积、胸径、树高生长性状及冠幅、通直度、侧枝粗度等形质指标在家系间和家系内均存在显著的遗传差异,且家系内变异大于家系间。家系、单株遗传力分别在0.493~0.731、0.080~0.199之间。利用最佳线性预测的单性状(材积)及多性状联合(材积、冠幅、侧枝粗度及通直度)估算了6年生家系育种值。分析了材积单性状选择方式、多形状联合选择以及冠幅约束选择在不同入选率下亲本家系的预测及现实遗传增益(材积及通直度)的变化规律,结果表明,在等权重条件下,联合材积及通直度指标进行亲本家系选择是最佳选择方式,能够获得相对较高的遗传增益。

关键词:马尾松;实生种子园;子代测定;最佳线性预测;遗传增益

中图分类号:S791.248

文献标识码:A

Estimation of Parents Genetic Gain by Open-pollinated Progeny Test of Seedling Seed Orchard of Masson Pine

BAI Tian-dao¹, XU Li-an¹, WANG Zhang-rong¹, LIN Neng-qing², ZHANG Sen-hang²

(1. Key Laboratory of Forest Genetics and Gene Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;

2. Baisha Forestry Farm, Shanghang 364200, Fujian, China)

Abstract: Using the progeny test plantation of *Pinus massoniana* seedling seed orchard located in Baisha Forestry Farm, Fujian province as materials, the genetic variations, heritabilities and increments (height, diameter at breast height, and stem volume) and form (stem straightness, crown width, and branch diameter) traits of *P. massoniana* at age 5 and 6 were estimated and analyzed. The genetic variations differed among traits. Obvious genetic variations possessed among and within families and intra-family variation (85%) was a main source. Family and individual heritabilities ranged from 0.493 to 0.731, and 0.080 to 0.199, respectively. Best linear prediction with stem volume and multi-traits (stem volume, crown width, branch diameter and stem straightness) was used to estimate the aggregated breeding values of families at age 6. Furthermore, realized and predicted genetic gains of female parents with different selection methods and selection rates were presented, in which the even-weighted multi-traits joint selection was the best way for female parent family selection and could get relatively higher genetic gains.

Key words: *Pinus massoniana* Lamb.; seedling seed orchard; progeny test; best linear prediction; genetic gain

种子园作为重要的良种生产基地,长期以来在林业生产中发挥了极其重要的作用。尽管目前大部分针叶树种以营建无性系种子园为主,但实生种子园仍具有其独特的存在价值。实生种子园相比于无性系种子园,具有诸多优势,如实生苗建园相对容易,成活率高;建园成本低,无繁复的嫁接程序和不亲合性问题;遗传基础较宽,存在家系间及家系内两层变异,长期遗传改良潜力较大^[1-2]。同时,实生种子园可与无性系种子园互为参照,作为林木遗传改良的重要载体,为林木遗传改良研究提供更为丰富的实践信息。

福建省是我国马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 优良种源区和人工林主产区之一,遗传改良潜力巨大。本研究试验材料为福建上杭白砂国有林场的马尾松实生种子园自由授粉子代测定林。尽管已通过优树子代测定林对实生种子园建园家系进行了初步评价^[3-4],但种子园的自由授粉子代遗传分析尚未进行。本研究通过对该实生种子园自由授粉子代遗传变异和亲本育种值分析,一是为种子园去劣疏伐提供依据;二是为种子园发展评选优良繁殖材料打基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为建立在福建上杭白砂国有林场的马尾松实生种子园半同胞子代测定林。

种子园建园材料:1990—1991年,先后在福建省武平、永定、连城3个县的优良林分中选优采种营建。试验设计采用2种方式:第一种为测定林与种子生产区结合在一起(共56个家系),完全随机区组设计,单株小区,40次重复,初植密度3 m×3 m;第二种为种子生产区和测定区分开(142个家系,包括对照)。完全随机区组设计,2株小区,20次重复,初植密度3 m×3 m。设2个遗传对照(对照1为武平县马尾松一般林分混合种子的苗木,对照2为1980年选优子代测定林混合种子苗木)。种子园于2000年、2004年底分别进行了去劣疏伐。目前部分植株间郁闭度还较大,影响产种量,需进行第三次去劣疏伐。

子代测定林:2001年11月,在马尾松实生种子园内进行单系采种,每家系随机挑选5株,共100个球果,共采集了70个家系,2个对照(其中CK1为种子园混合种子,CK2为当地人工林普通种),分别进

行单系容器育苗(36号及55号家系由于脱粒种子太少,加之育苗成活率低,未上山定植,最终该子代测定林参试家系共68个)。2003年3月上山进行家系苗木定植,采用完全随机区组设计,5株单行小区,20次重复,株行距3 m×2 m。

1.2 试验方法

数据采集:分别于2008、2009年对子代测定林进行了树高(HT)、胸径(DBH)、冠幅(CW)、通直度(SST)、侧枝粗度(BD)等性状的测定。其中侧枝粗度分为4级:1级(4分),侧枝基部直径较小,几乎不影响树干尖削度;2级(3分),侧枝基部直径中等,对树干尖削度增加有一定影响;3级(2分),侧枝基部直径较大,明显导致树干尖削度增加;4级(1分),侧枝基部直径极大,极大地增加了主干的尖削度甚至导致主干生长不明显。通直度分为4级:1级(4分),树干通直圆满,无弯曲;2级(3分),树干通直,几乎无弯曲,圆满意度稍差;3级(2分),树干较直或上部、基部1/6稍有弯曲;4级(1分),树干中及下部有较大弯曲,或树干中部分叉,明显影响出材率。

参数估算:采用Excel2003、SASV8和Mathematica4进行数据整理、统计分析及相关矩阵的运算。侧枝粗度和通直度数据经 $(x+1)^{1/2}$ 转化。

性状方差分析模型: $y_{ijk} = \mu + b_i + f_j + f b_{ij} + e_{ijk}$,式中 y_{ijk} 为单株观测值, μ 为总体平均值, b_i 为重复效应, f_j 为家系效应, $E(f_j) = 0, \text{Var}(f_j) = \sigma_f^2$, $f b_{ij}$ 为重复与家系的互作效应, $E(f b_{ij}) = 0, \text{Var}(f b_{ij}) = \sigma_{fb}^2$, e_{ijk} 为机误效应, $E(e_{ijk}) = 0, \text{Var}(e_{ijk}) = \sigma_e^2$ 。方差分析采用SAS V8/STAT模块进行,分析程序为PROC GLM,方差分量采用PROC VARCOMP中TYPE1计算^[5-6]。

材积计算公式: $V = 0.000\ 062\ 341\ 803 \times D^{1.856\ 149\ 7} H^{0.956\ 849\ 2}$ ^[3-4];遗传力、变异系数估算公式参见文献^[7-8]。

半同胞家系方差分量(σ_f^2)推导:对于真正半同胞,假设无上位效应,则家系效应 f_k 为第 k 个亲本的一般配合力,即 f_k 等于第 k 个亲本育种值(BV)的1/2,因此, $\text{Var}(f_k) = \sigma_f^2 = \text{Var}(1/2BV) = 1/4\sigma_A^2$ 。也就是家系内半同胞子代间的亲缘系数为1/4^[9]。那么,将以上 X 个半同胞植株作为亲本,假设彼此之间无近交,同一植株产生真正半同胞子代,每个植株对子代贡献均等,则所产生的 N 个混合子代两两之间的关系组合数为 $(n^2 - n)/2$;每个亲本的真正半同

胞子代(亲缘系数为 $1/4$)个数为 n/x ,两两间的组合数为 $\{n[(n/x) - 1]\}/2$,不同亲本子代间(亲缘系数为 $1/16$)的组合数为 $n^2(x - 1)/2x$;那么,我们可以通过 N 株半同胞亲本的混合子代的家系方差(σ_x^2)推导出真正半同胞家系方差(σ_f^2),公式为:

$$\sigma_x^2 = \sigma_f^2 \times \frac{n[(n/x) - 1]/2}{n(n - 1)/2} + \frac{1}{4} \times \sigma_f^2 \times \frac{n^2(x - 1)/2x}{n(n - 1)/2}$$

。化简为: $\sigma_x^2 = \sigma_f^2 \times \frac{(n/x) - 1}{(n - 1)} + \frac{1}{4} \times \sigma_f^2 \times \frac{n(x - 1)}{x(n - 1)}$,那么: $\sigma_f^2 = \frac{4x(n - 1)}{4(n - x) + n(x - 1)} \times \sigma_x^2$ 。本试验中共测定15个重复,每重复5株,即 $n = 15 \times 5 = 75$,又有 $x = 5$,代入上式有: $\sigma_f^2 \approx 2.55 \times \sigma_x^2$

亲本育种值及增益估算采用 White 和 Hodge^[10-12]推导的(BLP)公式。

2 结果与分析

2.1 遗传变异分析

表1为种子园半同胞家系子代5、6年生性状遗传变异分析结果。由表1可知:5、6年生时,该子代林树高、胸径和单株材积平均年增长量分别为0.94 m、1.4 cm和0.007 m³。5、6年生树高、胸径和单株材积的表型变异系数依次为材积 > 胸径 > 树高,5

年生时稍高于6年生。6年生子代形质性状的变异系数为冠幅 > 通直度 > 侧枝粗度。从变异层次看,变异主要存在于家系内。5~6年生各性状家系内变异约占85%。

将参试家系与对照进行比较,5(6)年生树高、胸径和单株材积高于CK1(改良种子园混合种)的家系分别约占29.4%(32.4%)、44.1%(25.0%)和32.4%(29.4%),高于CK2(普通林混合种)的家系分别约占67.6%(50.0%)、79.4%(77.9%)和73.5%(67.6%)。6年生形质性状与对照比较:冠幅高于CK1、CK2的家系分别约占35.7%、61.4%;侧枝粗度高于CK1、CK2的家系约占51.4%、70.0%;通直度高于CK1、CK2的家系约占52.9%、22.9%。初步表明种子园子代大部分家系在生长量上明显优于普通林分。侧枝粗度也有明显改良,侧枝粗度的减小意味着树干尖削度的下降,实际出材率提高。通直度亦有一定程度改良。方差分析结果(表1)进一步表明家系间具有极显著差异,说明进行家系选择有望获得更大的遗传增益。从性状遗传力来看,各性状单株遗传力与以往研究^[3-4,13]基本相当,家系遗传力处于中等偏上水平,且6年生时高于5年生。

表1 半同胞子代5、6年生性状变异

性状	均值 ± 标准差	家系内/家系间 CV/%	CK1 均值	CK2 均值	家系 DF	家系 F 值	h_i^2	h_f^2
HT ₅ /m	4.73 ± 0.13	14.95/2.70	4.82	4.70	69	2.51 **	0.089	0.523
DBH ₅ /cm	6.93 ± 0.29	24.03/4.15	7.02	6.73	69	2.57 **	0.114	0.598
VOL ₅ /m ³	0.011 1 ± 0.001 0	51.95/8.91	0.011 5	0.010 5	69	2.52 **	0.081	0.493
HT ₆ /m	5.67 ± 0.15	12.73/2.63	5.73	5.69	69	3.94 **	0.168	0.638
DBH ₆ /cm	8.33 ± 0.33	21.40/3.93	8.49	8.12	69	3.18 **	0.199	0.731
VOL ₆ /m ³	0.018 0 ± 0.001 6	46.79/8.80	0.018 9	0.017 4	69	3.36 **	0.186	0.696
CW ₆ /m	2.64 ± 0.10	22.07/3.72	2.68	2.62	69	2.43 **	0.111	0.608
BD ₆	1.85 ± 0.03	9.68/1.64	1.85	1.83	69	1.96 **	0.096	0.613
SST ₆	1.89 ± 0.04	12.11/2.31	1.88	1.91	69	2.15 **	0.080	0.547

注:CV表示变异系数;下标5、6为树龄; h_i^2 、 h_f^2 分别表示单株、家系遗传力; **表示在0.01水平。

2.2 家系育种值及遗传增益估算

2.2.1 育种值估算 育种值是指个体数量性状表型值中遗传效应的加性效应部分,能反映家系的综合遗传型优劣,可据此选择优良家系或单株,获得遗传增益。育种值的估算包括后向估算和前向估算,其中后向估算是利用子代表现估算亲本育种值;前向估算是利用当前测定群体预测其家系或家系内个

体在下一代建园中的遗传表现(育种值)。本研究只涉及后向育种值估算。

由于材积是生产用材林的主要评价指标,同时,冠幅、侧枝粗度和树干通直度又会直接或间接影响树干出材率^[14],所以本研究根据6年生半同胞子代生长表现,利用最佳线性预测对其亲本家系分别进行了单性状(材积)、多性状(材积、冠幅、侧枝粗度

和主干通直度)综合育种值估算。多性状选择的性状权重参考 Bos 和 Caligari^[15] 书中最后一类权重确定方法等权法 ($W_i = 1/\sigma_{pi}$), 即以各性状表型标准差的倒数作为该性状权重。另外, 由于冠幅过大会占据较大的空间, 进而减少单位面积上的木材产量, 因此本研究还导入约束方程^[16], 拟合了在冠幅增益为 0 时其他因子随选择强度变化的方程。

亲本育种值预测方程见表 2。由表 2 可知仅考虑材积性状时的预测精度介于多性状联合预测时两无约束方程(等权重和材积权重 $\times 10$) 和对应的冠幅约束方程之间。在预测增益上, \hat{H}^1 预测的材积增益系数稍低于 \hat{H}^2 , 但冠幅和侧枝粗度的增益系数均

有所增大(注:本研究中侧枝粗度越小评分越高), 且值得注意的是, 通直度有所改良; 当材积权重 $\times 10$ (\hat{H}^2) 后, 材积增益系数虽有所提高, 但冠幅和侧枝粗度均相应增大, 通直度也明显下降。而 \hat{H}_R^1 、 \hat{H}_R^2 方程尽管约束了冠幅, 但材积增益系数显著低于无约束方程。总之, 无论在等权重还是在材积权重 $\times 10$ 情况下, 无约束方程的预测精度及所获得的材积增益均远高于约束方程。因此, 综合考虑各性状, 宜采用 \hat{H}^1 预测家系亲本育种值。

根据表 2 中 \hat{H}^1 估算的前 20 位优良家系表型及育种值见表 3。

表 2 6 年生材积及多性状联合预测亲本综合育种值方程、预测精度和预测增益

类型	育种值预测方程	预测精度	预测增益			
			VOL	CW	BD	SST
材积	$\hat{g}_f = 1.3924 \{ \bar{y}_{.j} - E(\bar{y}_{.j}) \}$	0.590 0	1.392 4 S_f			
	$\hat{H}^1 = 166.388 5A - 0.159 2B - 1.888 7C + 4.830 3D$	0.783 6	0.002 6 i_s	0.127 9 i_s	-0.031 4 i_s	0.018 6 i_s
多性状	$\hat{H}^2 = 1562.779 1A - 1.723 2B - 17.728 2C + 2.114 6D$	0.838 7	0.003 1 i_s	0.142 9 i_s	-0.036 5 i_s	-0.004 3 i_s
联合	$\hat{H}_R^1 = 126.698 0A - 1.129 8B + 2.902 7C + 4.375 6D$	0.495 6	0.000 9 i_s	0.000 0	0.006 9 i_s	0.030 0 i_s
	$\hat{H}_R^2 = 1191.817 2A - 10.794 4B + 27.054 1C - 2.135 4D$	0.420 2	0.001 5 i_s	0.000 0	0.006 9 i_s	-0.007 7 i_s

注: A、B、C、D 分别表示材积、冠幅、侧枝粗度及通直度的家系均值与对应总体均值的离差。¹ 采用等权法估算,² 材积权重 $\times 10$; R 表示拟合该方程时约束冠幅增益为 0。 S_f 表示选择差; i_s 表示选择强度。

表 3 6 年生半同胞子代多性状联合选择最优 20 个家系表型及育种值 (BV)

序号	家系	VOL/m ³	CW/m	BD	SST	BV	序号	家系	VOL/m ³	CW/m	BD	SST	BV
1	3	0.020 8	2.79	1.82	1.96	0.94	11	57	0.020 4	2.61	1.86	1.88	0.44
2	52	0.020 7	2.65	1.88	1.97	0.85	12	44	0.018 4	2.61	1.80	1.92	0.37
3	19	0.021 1	2.71	1.79	1.88	0.68	13	43	0.019 1	2.72	1.86	1.91	0.37
4	35	0.020 6	2.71	1.88	1.94	0.68	14	10	0.015 9	2.63	1.91	2.03	0.33
5	24	0.020 4	2.70	1.84	1.9	0.56	15	38	0.020 0	2.73	1.82	1.86	0.32
6	27	0.019 9	2.64	1.83	1.92	0.56	16	54	0.020 3	2.71	1.84	1.86	0.32
7	31	0.020 4	2.72	1.88	1.91	0.52	17	68	0.019 2	2.82	1.79	1.88	0.30
8	8	0.019 6	2.69	1.82	1.92	0.52	18	16	0.019 0	2.59	1.81	1.92	0.29
9	66	0.019 1	2.76	1.84	1.94	0.51	19	29	0.018 4	2.66	1.85	1.92	0.29
10	69	0.019 5	2.65	1.81	1.90	0.48	20	64	0.018 7	2.74	1.86	1.91	0.26

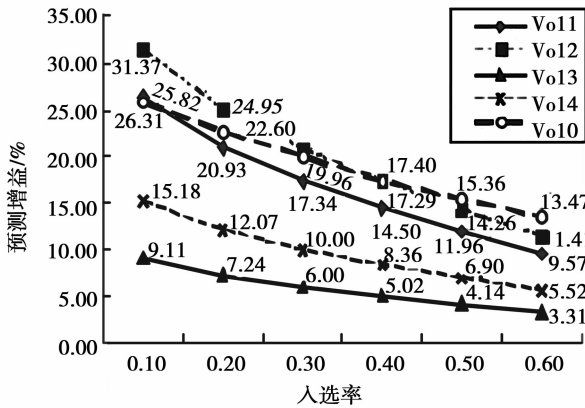
注: 育种值 (breeding value, BV) 采用表 2 中 \hat{H}^1 估算。

2.2.2.2 增益估算 由于多性状选择时并不能有效改善冠幅和侧枝粗度, 因此主要考虑材积和树干通直度增益情况。利用表 3 中的方程所预测的材积和树干通直度相对于 CK2 的增益百分数(图 1、图 2)表明: 在材积上, 各方程所获得的相对增益随入选率的减小依次增加, 且增幅逐步加大。值得注意的是, 仅对材积进行预测 (\hat{g}_f) 获得的增益随入选率变化的趋势比多性状联合选择平缓。在入选率为 0.1 时, \hat{H}^1 估算的预测增益与 \hat{g}_f 预测增益相

当, 但随入选率加大, \hat{H}^1 增益下降趋势更为明显。说明在相同入选率下降幅度下, 多性状联合选择能够获得更高的遗传增益。在选择强度较高(入选率小于 37%) 时, \hat{g}_f 获得的材积增益要低于 \hat{H}^2 , 这主要是由于所设材积权重偏大导致的。冠幅约束方程获得的材积预测增益均较低。相同入选率下, 不同方程所预测的材积遗传增益的高低依次为: $\hat{H}^2 > \hat{H}^1 > \hat{H}_R^2 > \hat{H}_R^1$ 。在通直度上, 单性状预测获得的增益最高, 而联合选择方程在相同入选率下获

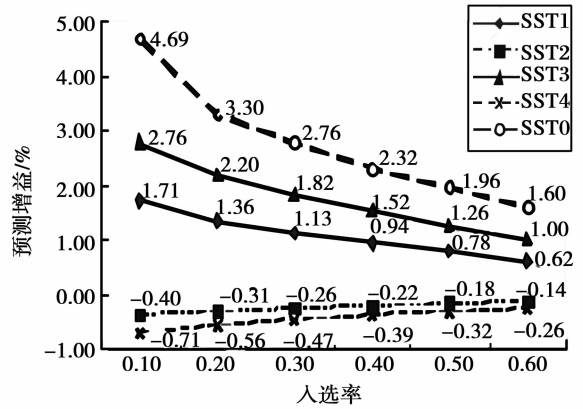
得的相对增益依次为 $\hat{H}_R^1 > \hat{H}^1 > \hat{H}^2 > \hat{H}_R^2$ 。同时,在材积权重 $\times 10$ 情况下,获得的通直度增益均为

负值,说明过度强调材积权重是不可取的。总体来看, \hat{H}^1 相对能够较好地兼顾材积和通直度的改良。



Vo10、Vo11、Vo12、Vo13 和 Vo14 分别表示利用方程 \hat{g}_f 、 \hat{H}^1 、 \hat{H}^2 、 \hat{H}_R 和 \hat{H}_R^2 所预测的材积遗传增益。

图1 6年生半同胞子代多性状联合选择材积(Vol)预测遗传增益



SST0 为单性状预测增益;SST1、SST2、SST3 和 SST4 分别表示利用方程 \hat{H}^1 、 \hat{H}^2 、 \hat{H}_R 和 \hat{H}_R^2 所预测的通直度遗传增益。

图2 6年生半同胞子代多性状联合选择通直度(SST)预测遗传增益

种子园现实增益是通过在恰当的试验条件下,将下一代已改良材料与未改良的遗传对照进行比较^[17],是反映种子园遗传改良效果的直接指标。其计算方式为改良材料与对照之差占对照的百分数^[18-19]。本研究通过将种子园半同胞子代材积与对照进行比较(表4),结果表明在6年生时:CK1(第一次去劣疏伐后的种子园家系混合种子)相对

于CK2(本地普通林分混合种子)的现实遗传增益为8.54%;而种子园自由授粉子代所对应亲本家系在不同的入选率下,获得的增益不同,当0.1时,随着入选率的降低,获得的增益相应增大。尽管相对于5年生时增益有所下降,但总体来说该马尾松种子园在种子遗传品质改良方面是具有明显效果的。

表4 马尾松实生种子园材积现实增益(RG)

项目	种子园半同胞子代亲本选择收获入选率											
	CK2	CK1	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
平均值(6a)/m ³	0.017 4	0.018 9	0.018 0	0.018 3	0.018 6	0.018 8	0.019 1	0.019 2	0.019 5	0.019 8	0.020 1	0.020 6
RG/%	0	8.54	3.58	5.34	6.69	8.25	9.50	10.62	12.26	13.80	15.90	18.32
平均值(5a)/m ³	0.010 6	0.011 7	0.011 2	0.011 4	0.011 5	0.011 7	0.011 8	0.011 9	0.012 1	0.012 2	0.012 4	0.012 8
RG/%		10.39	5.20	7.16	8.58	9.92	11.09	12.34	13.63	15.14	17.04	20.30

3 结论与讨论

本研究表明马尾松实生种子园半同胞子代家系间存在极显著的遗传差异,进行亲本家系选择可以获得较大的遗传增益。将CK1与CK2比较,CK1生长均显著优于CK2,而从种子园140个家系中随机挑选出68个家系5、6年生子代有近70%大于CK1,100%大于CK2,证明该实生种子园具有明显改良效果,初步证实营建实生种子园生产遗传品质改良的造林种子是切实可行的。从变异层次上看,家系间约占15%,家系内变异较大(85%),这与Michael Stoehr等^[20]对不列颠哥伦比亚白云杉(*Picea glauca*

(Moench) Voss.)种子园子代研究结果一致,其研究表明家系内方差分量占90%以上。对此,其理由是种子园母树来自不同地域的不同林分,亲缘关系较远,当共祖系数较小的多个父本向同一母本授粉时,必然导致该母本子代家系内存在较大的遗传变异。相反,家系间由于有较多共同的授粉父本,进而缩小了家系间的遗传差异。另外,将实生与无性系种子园子代家系方差(σ_f^2)与家系内方差分量(σ_e^2)的比值进行比较^[21],发现实生种子园显著低于无性系种子园,原因是实生种子园子代家系单株间的遗传差异不仅来自于父本,还来自于母本家系内单株间的遗传差异,因此与无性系种子园子代比较, σ_e^2 所占

比重更大,即家系内遗传分化更大。这也是实生种子园单株(狭义)遗传力偏低的重要原因。但是,较大的遗传分化为新一轮种子园营建时优良单株的选择(家系及家系内选择)提供了重要基础。同时,在进行种子园去劣疏伐时,家系内劣株的疏伐应是主要考虑因素,以提高每个家系的整体遗传品质,同时结合少量家系疏伐,去除表现较差的家系,提高种子园的整体改良效果。

采用 BLP^[10-12,14] 估算家系亲本的单株材积及多性状综合育种值。从预测增益上看,多性状联合选择所获得的单株材积增益随入选率变化的梯度比仅考虑材积性状时明显(图 1),说明在相同的选择幅度下,多性状联合选择能获得相对更大的增益量。在进行多性状联合选择时,各性状经济权重的确定是个非常困难的问题^[13]。对于马尾松用材林来讲,材积应是主要考虑指标,因此本研究考虑了等权重及材积 $\times 10$ 时的预测增益变化情况。在材积 $\times 10$ 情况下,获得的预测增益在入选率小于 37% 时超过了仅考虑材积时的增益,同时树干通直度增益也为负值,说明所设定的材积权重偏大,使材积预测增益偏高。而等权重方程能够较好地兼顾材积和通直度的改良,相对较为合理。通过对冠幅进行约束并未获得理想的增益效果,主要可能是冠幅与材积呈强正相关^[22-23],材积增加必然导致冠幅增大。另外,本研究中的种子园为初级种子园,家系间在树干通直度上差异较大,因此在进行亲本优良家系选择时,综合考虑材积和通直度性状,选择可能更为准确。

现实遗传增益是反映种子园改良成果的最直接指标。通过将该种子园自由授粉混合子代(CK1)与普通林自由授粉混合子代(CK2)比较(表 5),6 年生时 CK1 相对于 CK2 的材积现实遗传增益百分数达 8.54%,这与火炬松(*Pinus taeda* Linn.)^[24](5.0%~13.0%)第一代种子园改良结果相当,稍高于短叶松(*Pinus banksiana* Lamb.)^[25](4.4%)的报道。将子代总体均值与 CK2 比较,材积现实增益为 3.58%,低于 CK1,主要原因可能是用于子代测定的家系中有少部分家系表现相对较差,未达种子园平均水平(CK1)。如对种子园进行选择收获(种子),随着入选率的缩小,获得的增益将更大。6 年生材积在入选率为 0.1 时的增益达到了 18.32%。而且,这仅是在种子园第一次去劣疏伐后获得的遗传增益,随着二、三次遗传去劣疏伐的进行,获得的增益将会更高。

期望遗传增益是在理想的假设条件下(比如:植

株间随机交配,无近交衰退,无外来花粉污染,等等)估算出来的。但事实上这些条件很难满足,所以常常会出现期望遗传增益高于现实遗传增益的情况。将本研究亲本选择(单性状选择)的材积期望遗传增益(相对于 CK2)(图 1)与现实增益(表 3)进行比较,在同等入选率下,期望遗传增益平均高于现实增益约 5.7%。这与短叶松^[25]的研究结果较为一致,其结果表明 10 年生材积预测增益高于现实增益约 5%。主要原因可能是外来花粉的污染^[26]及父本贡献不均导致部分近交。需要指出的是,这仅是对子代林 5.6 年生时的初步评价,更为准确的评估有待进一步跟踪观测。

参考文献:

- [1] Nanson A. The provenance seedling seed orchard[J]. *Silvae Genetica*, 1972, 21(6):243-249
- [2] Varghese M, Lindgren D, Nicodemus A. Fertility and effective population size in seedling seed orchards of *Casuarina equisetifolia* and *C. junghuhniana*[J]. *Silvae Genetica*, 2005, 53(4-5):164-168
- [3] 范林元, 赖焕林, 季孔庶, 等. 马尾松实生种子园建园家系遗传值估算与优良家系评选[J]. *东北林业大学学报*, 2004, 32(4):3-5, 11
- [4] 毛桃. 马尾松优树子代测定林生长和材质的遗传分析及联合选择[D]. 南京:南京林业大学, 2007
- [5] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2001
- [6] 高惠璇. 实用统计方法与 SAS 系统[M]. 北京:北京大学出版社, 2001
- [7] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 2002:60-62
- [8] 王明麻. 林木遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 2001
- [9] Hodge G R, Volker P W, Potts B M, et al. A comparison of genetic information from open-pollinated and control-pollinated progeny tests in two eucalypt species[J]. *Theor Appl Genet*, 1996, 92: 53-63
- [10] Hodge G R, White T L. Concepts of Selection and Gain Prediction [M]. *Handbook of Quantitative Forest Genetics*, Springer, 1992: 140-190
- [11] White T L, Hodge G R. Best linear prediction of breeding values in a forest tree improvement program[J]. *Theor Appl Genet*, 1988, 76: 719-727
- [12] White T L, Hodge G R. Best Linear Prediction of Breeding Values in Forest Tree Improvement [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Pub, 1989
- [13] 周志春, 秦国峰, 李光荣, 等. 马尾松遗传改良的成就、问题和思考[J]. *林业科学研究*, 1997, 10(4):435-442
- [14] Klein J I. Multiple-trait combined selection in jack pine family-test plantation using best linear prediction[J]. *Silvae Genetica*, 1995, 44: 362-375
- [15] Bos L, Caligari P. Selection Methods in Plant Breeding [M]. 2nd

Edition, Springer, 2008:289-323

- [16] Cerón-Rojas J J, Sahagún-Castellanos J, Castillo-González F, *et al.* A restricted selection index method based on eigenanalysis[J]. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2008,13(4): 440-457
- [17] Zobel B, Talbert J, *Applied Forest Tree Improvement*[M]. New York John Wiley and Sons, 1984
- [18] Nirsatmanto A, Leksono B, Kurinobu S, *et al.* Realized genetic gain observed in second-generation seedling seed orchards of *Acacia mangium* in South Kalimantan, Indonesia[J]. *J For Res*, 2004, 9: 265-269
- [19] Leksono B, Kurinobu S, Ide Y. Realized genetic gain observed in second generation seedling seed orchards of *Eucalyptus pellita* in Indonesia[J]. *J For Res*, 2008, 13: 110-116
- [20] Stoehr M, O' Neill G, Hollefreund C. *et al.* Within and among family variation of orchard and wild-stand progeny of interior spruce in British Columbia[J]. *Tree Genet Genomes*, 2005, 1: 64-68
- [21] White T L, Adams W T, Neale D B. *Forest Genetics*[M]. CAB International, 2007:140-148
- [22] 季孔庶, 樊民亮, 徐立安. 马尾松无性系种子园半同胞子代变异分析和家系选择[J]. *林业科学*, 2005, 41(6):43-49
- [23] 周志春, 林荣联, 兰永兆, 等. 马尾松实生种子园的遗传分析和育种值预测[J]. *林业科学研究*, 1999, 12(2): 132-138
- [24] Li B, McKeand S, Weir R. Tree improvement and sustainable forestry-impact of two cycles of loblolly pine breeding in the U. S. A. [J]. *Forest Genetics*, 1999, 6(4): 229-234
- [25] Weng Y H, Tosh K, Adam G. , *et al.* Realized genetic gains observed in a first generation seedling seed orchard for jack pine in New Brunswick, Canada[J], *New Forests*, 2008, 36: 285-298
- [26] 赖焕林, 王明麻. 马尾松人工交配群体交配系统研究[J]. *林业科学*, 1997, 33(3):219-224

《林产化学与工业》征订启事

《林产化学与工业》(双月刊)由中国林业科学研究院林产化学工业研究所、中国林学会林产化学化工分会共同主办,为全国林产化工行业的学术类期刊。报道范围是可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等,主要包括松脂化学、生物质能源化学、生物质炭材料、生物基功能高分子材料、胶黏剂化学、森林植物资源提取物化学利用、环境保护工程、木材制浆造纸为主的林纸一体化和林产化学工程设备研究设计等方面的最新研究成果。

本刊自1981年创刊以来,被美国《化学文摘》(CA)核心期刊、美国“乌利希国际期刊指南”、英国《英联邦农业和生物科学文摘》(CAB Abstracts)、英国《林产品文摘》(FPA)、英国《全球健康》、英国《皇家化学学会系列文摘》(RSC)、俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)、“中国科学引文数据库(CSCD)”、“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”、“RCCSE中国核心学术期刊(A)”、“中国期刊全文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“中文科技期刊数据库”、“中国核心期刊(遴选)数据库”、《中国学术期刊文摘》来源期刊、《中国农业核心期刊概览2010》等10多种大型刊库收录,2008、2011年连续两届被评为“中国精品科技期刊”。

本刊为双月刊,逢双月月末出版,大16开,定价:国内¥15.00元/期,全年90.00元;国外\$15.00元/期,全年\$90.00元。本刊刊号:ISSN 0253-2417,CN 32-1149/S。国内外公开发行,国内邮发代号:28-59;国外发行代号:Q5941。

地址:210042 江苏省南京市锁金五村16号林化所内 电话:(025)85482493
 传真:(025)85482493 E-mail: cifp@vip.163.com http://www.cifp.ac.cn