

# 油松自由授粉家系分阶段测定与选择的差异分析

李青粉<sup>1</sup>, 马建伟<sup>2</sup>, 王军辉<sup>1\*</sup>, 王亚南<sup>1</sup>, 潘春林<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

2. 甘肃小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741022)

**摘要:**为了分阶段测定油松自由授粉家系间差异和选择油松优良家系,对82个油松家系(22年生)进行生长性状的遗传变异分析,分析树高和胸径的年-年遗传相关、表型相关及历年的遗传方差和环境方差、遗传及表型变异系数、遗传力的同时,研究不同林龄树高和胸径与22年生时材积的相关关系。结果表明:油松家系间树高、材积等生长在极显著差异。结合早期选择效率和选择正确率及去劣错误率,认为油松优良家系选择是可以在早期进行的,其初选年龄应是9年生时。此外,在22年生时以材积育种值为选择指标,筛选出24个油松优良家系,其单株材积实际增益分别较对照28、95和106增加了36.54%、8.92%和18.63%。最终选出速生优良家系和二代优树61株,子代测定林入选二代优树的材积遗传增益分别较对照28、95和106增加了57.74%、25.81%和37.03%。所选出的优良家系和优良单株可作为油松育种材料在生产上推广应用。

**关键词:**油松;家系;生长性状;遗传变异;早期选择

中图分类号:S722.3

文献标识码:A

## Analysis of Stage Test and Height Selection of Open-pollinated *Pinus tabulaeformis* Family

LI Qing-fen<sup>1</sup>, MA Jian-wei<sup>2</sup>, WANG Jun-hui<sup>1</sup>, WANG Ya-nan<sup>1</sup>, PAN Chun-lin<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Xiaolongshan Forestry Research Institute, Tianshui 741022, Gansu, China)

**Abstract:** In order to estimate the differences among *Pinus tabulaeformis* families and to select elite family, 82 *P. tabulaeformis* families with the age of 22 were used to analysis the genetic variation of their growth traits, including the genetic correlation, the phenotype correlation, the genetic variance and environmental variance, the genetic variation coefficient and phenotype variation coefficient, and the heritability. The estimation parameters of early selection were the height and diameters at breast height (DBH). The height of trees was measured at the 5–10th year and the 22nd year, while the DBH was measured at the 22nd year. The results showed that increments of height and volume were very different among *P. tabulaeformis* families. Integrated with selection efficiency, accuracy percentage and mistake percentage, family selection of *P. tabulaeformis* might be carried out at the early stage; the first selection should be at the 9th year. In addition, on the basis of volume breeding value, twenty four families were selected at the 22nd year, whose actual gains of volume were 36.54%, 8.92% and 18.63% higher compared with 3 controls respectively. Total 61 individuals derived from 25 families were selected as the second-generation elite trees by combined selection, and the expected genetic gains of progeny test stands were 57.74%, 25.81% and 37.03%, respectively. The selected elite families and trees were superior breeding materials of *P. tabulaeformis* for plantation establishment on a large scale.

收稿日期:2013-10-17

项目基金:“十二·五”国家科技支撑计划课题“北方针叶树种高世代育种技术与示范”课题(2012BAD01B01)。

作者简介:李青粉(1987—),女,河南人,博士研究生,主要从事云杉体细胞胚胎发生技术研究。

\* 通讯作者:研究员,博士生导师,主要从事云杉、榧树遗传育种和基因组分子进化方面研究。

**Key words:** *Pinus tabulaeformis* family; growth traits; genetic variations; early selection

油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.) 是我国北方 14 省(区)的重要针叶乡土造林树种,自然分布区广,生态适应性强<sup>[1-3]</sup>。20 世纪 70 年代末开始,在全国范围内以优树为材料建立了多处林木良种基地,以供应遗传品种优良的种子<sup>[2]</sup>。子代测定是林木种子园建立中的重要环节,不仅为优良家系的评选和种子园的留优去劣提供依据,而且对探明性状的遗传控制机理、遗传相关以及制定林木育种方案至关重要。子代测定的目标是根据子代的表现估计亲本的相对遗传值。根据子代测定结果后向选择优良亲本和前向选择高世代优树是树种改良的重要工作。甘肃小陇山从 20 世纪 70 年代末开始进行油松选优和无性系种子园营建工作,并开展了子代测定。本文对 1989 年营建的油松优树子代测定林进行研究,以了解其生长性状的家系遗传变异及早晚期相关关系。由于早期子代测定林管理和保存均好,而晚期由于管理原因,植株的保存率不足 50%,许多家系失去测定价值。利用 10 年生和 22 年生树高分别进行早期选择,不同阶段测定与选择的遗传与环境因素,客观评价不同阶段的选择效率、效益和可靠性,为相关选择育种提供参考;此外,通过估算各年龄油松家系和单株的育种值,并进行选择分析,选出优良家系及优良家系内优良个体,进而为建立油松高改良周期种子园提供优良种子材料。

## 1 试验地概况

试验地设在小陇山沙坝落叶松、云杉国家林木良种基地,105°54'E、34°07'N,海拔 1 560~2 019 m,坡向南,坡长 280 m,坡位下,年均气温 7.2℃、极端最高气温 32℃、极端最低气温 -27℃、年均降水量 1 012.2 mm,≥10℃的有效积温 2 480℃;初霜期 10 月 16 日,晚霜期 5 月 4 日,无霜期 154 d。造林地母岩为花岗岩,土质为森林棕土,土壤厚度为 40 cm,适合落叶松的生长。

## 2 研究方法

参试家系 139 个,均来自基地 1981—1986 年在小陇山、迭部林区选择的优树;此外,还包括迭部优良林分种子(28<sup>#</sup>)、沙坝油松初级种子园混合种子(106<sup>#</sup>)、小陇山林区张家林场天然林混合种子(95<sup>#</sup>) 3 个对照。

### 2.1 田间试验设计

1987 年利用 1986 年采集的优树自由授粉家系种子,在沙坝林木良种基地苗圃采用常规大田方式育苗,1989 年春季用 2 年生裸根苗营造家系测定林。田间采用完全随机区组设计,4 次重复,单列小区 16 株,水平阶整地,密度为 2 m×2 m。2008 年 10 月调查了 1~3 重复中所有家系全部保留株的树高、胸径。数据分析中采用了孩子代林 5~10 年生时的树高以及 22 年生时的胸径调查数据,并计算 22 a 时的单株材积( $V$ )。

$$V = 0.000\ 062\ 341\ 803\ D^{1.855\ 149\ 7} H^{0.956\ 849\ 2}$$

式中:树高( $H$ )和胸径( $D$ )的单位分别为 m 和 cm

对 139 个家系进行 5~10 a 的树高方差分析及遗传参数估算,而 22 a 的分析仅针对保存率较高的 82 个家系进行。

### 2.2 统计分析方法

性状方差分析、遗传相关、表型相关均以小区平均值为统计单元,利用单株数据估算单株育种值。方差分析利用 SAS9.2 的 GLM 模块 type3,方差分量的估算利用 REML 法通过 SAS9.2 的 proc varcomp 过程算得。所用的模型及公式:

$$(1) \text{ 方差分析模型: } Y_{ij} = \mu + b_i + f_j + \varepsilon_{ij}$$

式中: $Y_{ij}$  为第  $i$  个家系第  $j$  个区组的观察值; $\mu$  为性状的总体平均效应; $b_i$  为第  $i$  个区组的效应; $f_j$  为第  $j$  个家系的效应; $\varepsilon_{ij}$  为第  $j$  个家系第  $i$  区组的观察值的随机误差,其中区组为固定效应,家系为随机效应。

$$(2) \text{ 早期选择效率公式: } E = R \cdot T_m / T_j$$

式中: $R$  为早晚期性状间的相关系数; $T_m$  和  $T_j$  分别为晚期选择年龄和早期选择年龄。

$$(3) \text{ 树高遗传力的估算公式}^{[4]}:$$

家系遗传力( $h_j^2$ ):

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

式中: $\sigma_f^2$  和  $r$  分别为家系内方差分量和试验重复数;

$$\text{单株遗传率}(h_i^2): h_i^2 = \frac{4\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_e^2}$$

式中: $\sigma_f^2$  和  $\sigma_e^2$  分别为家系内方差分量和环境方差分量。

$$(4) \text{ 遗传增益: } \Delta G = S \times H^2 \cdot \bar{X}^{-1}$$

相关系数<sup>[5]</sup>:

$$R = [ \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) ] \cdot [ \sum (x - \bar{x})^2 \times \sum (y - \bar{y})^2 ]^{1/2}$$

式中: $S$ 为选择差, $H$ 为广义遗传力, $\bar{X}$ 为树高平均值。

(5)各单株树高的相对育种值( $A_{Ch}, A_{Cd}$ )用其家系平均值估测<sup>[6]</sup>:

$$Ac = 2 (Y_i - M) / M$$

式中: $A_C$ 为各单株相对育种值; $Y_i$ 为各单株观测项平均值; $M$ 为所有家系平均值。

### 3 结果与分析

#### 3.1 树高遗传变异分析

由表1可知:油松树高的家系方差分量和遗传

变异系数均随林龄的增长而增大,家系遗传力变化则基本稳定在一个较高水平(0.6左右),属于中至强度遗传控制范围;但当树龄至22年生时,树高家系遗传力和遗传变异系数较10年生时均有所降低,家系方差分量较10年生时均升高。单株遗传率在5~10年生时比较稳定(0.1左右),而在22年生时只有0.05。图1所示:油松树高的家系遗传方差分量随着林龄的增长持续增大,表明树高随着林龄的增长越来越受遗传控制。值得注意的是,随着年龄的增长,树高的遗传变异系数越来越大,而在22年生时,变异系数有些降低,表明不同家系的树高生长变异较大,存在着显著的家系遗传变异,油松优良家系的选择具有很大潜力。

表1 油松家系树高的方差分析和遗传参数估计

林龄/a	平均值/m	家系(自由度)	区组(自由度)	机误(自由度)	家系遗传力	单株遗传率	遗传变异系数/%	方差分量/%
5	0.50	0.018 9(81)	0.007 6(2)	0.036(162)	0.60	0.151	0.75	33.1
6	0.82	0.036 1(81)	0.014 6(2)	0.159(162)	0.60	0.140	0.88	32.9
7	1.15	0.061 3(81)	0.025 1(2)	0.406(162)	0.59	0.129	1.05	32.5
8	1.56	0.052 4(81)	0.017 4(2)	1.046(162)	0.61	0.119	1.29	34.3
9	2.01	0.099 2(81)	0.038 7(2)	2.088(162)	0.61	0.110	1.67	34.4
10	2.49	0.164 3(81)	0.063 8(2)	3.387(162)	0.60	0.101	1.90	33.3
22	7.58	0.236 7(81)	0.094 7(2)	19.400(162)	0.36	0.051	1.57	35.9

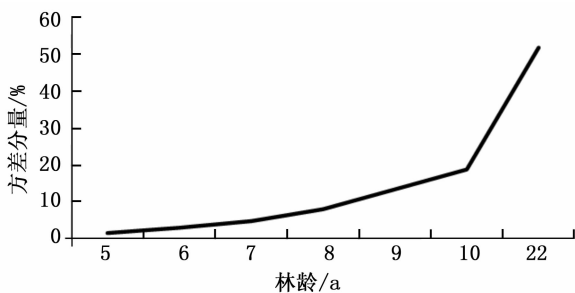


图1 油松家系遗传方差分量随林龄的变化

传相关来反映家系年度树高生长的内在联系(表2),为早期选择提供更充分的依据<sup>[7]</sup>。由表2可知:油松家系树高的年-年遗传相关和表型相关都强度相关,且遗传相关较表型相关的强度高。这种在早期就出现的树高生长性状年-年显著相关,表明油松优良家系早期选择强度比晚期的大;但值得注意的是,虽然22年生时的树高、胸径及材积与5~10年生时树高的遗传相关较5~10年生树高之间的遗传相关低,但相关性也均达显著水平。

#### 3.2 家系树高年度间的表型相关和遗传相关

在遗传变异分析的基础上,进一步用表型和遗传

表2 子代测定林82个家系间历年性状的表型和遗传相关

	5 a 树高	6 a 树高	7 a 树高	8 a 树高	9 a 树高	10 a 树高	22 a 树高	22 a 胸径	22 a 材积
5 a 树高	1.000	0.901	0.817	0.744	0.679	0.630	0.213	0.292	0.250
6 a 树高	0.982	1.000	0.936	0.883	0.830	0.785	0.282	0.312	0.293
7 a 树高	0.950	0.980	1.000	0.963	0.924	0.884	0.341	0.353	0.358
8 a 树高	0.927	0.970	0.992	1.000	0.970	0.939	0.412	0.394	0.406
9 a 树高	0.941	0.988	0.992	1.008	1.000	0.978	0.449	0.395	0.423
10 a 树高	0.930	0.983	0.980	1.003	1.000	1.000	0.466	0.389	0.426
22 a 树高	0.521	0.720	0.829	0.880	0.822	0.805	1.000	0.727	0.843
22 a 胸径	0.617	0.751	0.875	0.910	0.844	0.806	0.889	1.000	0.948
22 a 材积	0.680	0.831	0.969	1.001	0.913	0.881	0.962	1.001	1.000

注:上三角为表型相关,下三角为遗传相关,历年性状的遗传和表型均在0.05水平上显著相关(相关系数大于0.2)。

### 3.3 早期选择评价

对油松家系的早期选择效率进行估算,根据早期树高与20年生树高的相关系数,使用早期选择效率公式,计算各年的选择效率(表3)。根据相关系数和选择效率确定适宜的选择年龄。在6年生时进行选择时的选择效率均大于等于1,这表明早期选择优于成龄期的选择。

表3 油松家系不同林龄的选择效率

林龄/a	5	6	7	8	9	10
选择效率	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0

从表4看到:以20%的入选率和20%的淘汰率为衡量早期选择的指标,将不同树高排序的结果分别与1996年及2008年家系单株树高的排序结果进行比较,总体看,早期选优的正确率比早期淘汰的正确率高,且随着林龄的增长,选优的正确率会增加,去劣错误率会降低。如果根据10年生时随着林龄的增长,优选的正确率会增加,但去劣错误率则一直在减少,9年生时的选择正确率最高,去劣错误率则最低,因此,初选时间应定在9年生时;而与22年生时的树高相比,9年生时的入选正确率较高(62.5%),去劣错误率最低,仅56.3%,正确率高于

8年生时,但错误率与之相同。由此可见,油松早期选择的初选应定于9年生时。

表4 不同树龄早期选择的正确率和淘汰错误率

林龄/a	10年生		22年生	
	入选 正确率/%	去劣 错误率/%	入选 正确率/%	去劣 错误率/%
5	71.4	46.4	37.5	62.5
6	75.0	32.1	43.8	62.5
7	82.1	21.4	75.0	62.5
8	92.9	14.3	50.0	56.3
9	96.4	14.3	62.5	56.3

### 3.4 优良家系选择

依据树高估算10年生和22年生时的育种值,分别从139个家系和82个家系中筛选出27个和24个优良家系,其对应的单株树高、保存率、现实增益和单株树高育种值见表5。入选家系10年生时树高育种值实际增益分别比对照28、95和106平均增加了28.57%、27.56%和17.07%,而22年生时树高育种值实际增益分别比对照28、95和106增加了24.13%、15.79%和31.76%,且这些优良家系的平均保存率为44.27%。

表5 入选家系的树高、保存率、实际增益及其育种值

入选家系	育种值	10年生时			树高/m	入选家系	育种值	20年生时			保存率/%	树高/m
		实际增益优势比/%	对照28	对照95				对照106	实际增益优势比/%	对照28		
13	0.598 0	44.32	43.32	32.82	3.286 5	78	0.405 5	56.14	47.80	63.77	43.75	9.116 7
128	0.558 1	41.80	40.80	30.30	3.236 0	116	0.378 2	52.39	44.04	60.02	68.75	9.013 3
135	0.536 8	40.45	39.45	28.95	3.209 0	121	0.270 9	37.63	29.28	45.25	62.50	8.606 7
85	0.523 7	39.63	38.63	28.13	3.192 5	29	0.237 5	33.03	24.68	40.66	52.08	8.480 0
70	0.504 5	38.41	37.41	26.91	3.168 2	51	0.221 6	30.86	22.51	38.48	45.83	8.420 0
34	0.498 3	38.02	37.02	26.52	3.160 3	60	0.219 9	30.61	22.26	38.24	43.75	8.413 3
79	0.497 9	37.99	36.99	26.49	3.159 8	75	0.201 4	28.07	19.72	35.69	60.42	8.343 3
116	0.421 5	33.16	32.16	21.66	3.063 2	83	0.191 7	26.74	18.39	34.36	54.17	8.306 7
91	0.412 2	32.57	31.57	21.07	3.051 4	13	0.186 5	26.02	17.67	33.64	50.00	8.286 7
14	0.379 6	30.51	29.51	19.01	3.010 2	84	0.183 8	25.65	17.30	33.28	45.83	8.276 7
109	0.319 1	26.68	25.68	15.18	2.933 6	19	0.180 3	25.17	16.82	32.79	43.75	8.263 3
47	0.318 5	26.64	25.64	15.14	2.932 9	12	0.168 0	23.47	15.13	31.10	52.08	8.216 7
16	0.317 7	26.60	25.60	15.10	2.931 9	55	0.146 0	20.45	12.10	28.07	20.83	8.133 3
51	0.311 7	44.32	43.32	32.82	2.924 3	34	0.141 6	19.84	11.50	27.47	45.83	8.116 7
19	0.297 5	41.80	40.80	30.30	2.906 4	127	0.127 5	17.91	9.56	25.53	41.67	8.063 3
29	0.294 4	40.45	39.45	28.95	2.902 4	21	0.119 6	16.82	8.47	24.44	43.75	8.033 3
82	0.281 6	39.63	38.63	28.13	2.886 2	30	0.112 6	15.85	7.50	23.47	31.25	8.006 7
27	0.276 9	38.41	37.41	26.91	2.880 2	102	0.108 2	15.25	6.90	22.87	45.83	7.990 0
55	0.259 7	38.02	37.02	26.52	2.858 5	126	0.102 9	14.52	6.17	22.14	45.83	7.970 0
60	0.253 9	37.99	36.99	26.49	2.851 2	68	0.097 6	13.79	5.44	21.42	56.25	7.950 0
86	0.248 2	33.16	32.16	21.66	2.844 0	54	0.092 3	13.07	4.72	20.69	47.92	7.930 0
24	0.245 9	32.57	31.57	21.07	2.841 0	26	0.086 2	12.22	3.87	19.84	45.83	7.906 7
118	0.235 8	30.51	29.51	19.01	2.828 2	64	0.086 2	12.22	3.87	19.84	52.08	7.906 7
2	0.215 5	26.68	25.68	15.18	2.802 6	57	0.081 8	11.62	3.27	19.24	45.83	7.890 0
111	0.206 0	26.64	25.64	15.14	2.790 0							
21	0.205 5	26.60	25.60	15.10	2.790 0							
4	0.200 9	44.32	43.32	32.82	2.784 2							

### 3.5 单株育种值预测和二代优树选择

由于油松现存的子代测定林较少有控制授粉的全同胞家系测定材料,所以为了更快的为二代育种提供材料,作者利用油松半同胞子代测定林进行二代育种亲本的选择。在进行二代优树选择时不仅要考虑单株的表现,还要考虑其所在家系的遗传表现。根据单株树木的树高测定值与家系平均值,计算了

1 799 个单株的育种值。为了尽可能保持较为广泛的遗传多样性,同时保证较高的遗传增益,最终依据单株育种值的大小和同一子代测定林中同一家系入选优树总数不超过 5 株的原则<sup>[8]</sup>。以子代林总株数的 10% 的入选比例,共选出优良单株 61 株(表 6),分别来自 25 个不同家系(平均每家系入选 2.4 株),单株入选率为 3.39%,家系入选率为 30.49%。

表 6 优良单株材积的育种值和实际增益

单株号	育种值	实际增益优势比/%			单株号	育种值	实际增益优势比/%		
		对照 28	对照 95	对照 106			对照 28	对照 95	对照 106
34-6	0.085 9	95.49	55.97	69.87	89-3	0.071 0	61.52	28.91	40.41
13-4	0.085 9	95.45	55.97	69.87	82-12	0.070 8	61.26	28.55	40.01
21-5	0.081 7	85.89	48.34	61.57	13-6	0.070 8	61.24	28.55	40.01
68-2	0.078 2	78.11	41.99	54.65	78-2	0.070 4	60.27	27.82	39.22
34-7	0.077 9	77.43	41.44	54.05	51-3	0.070 4	60.15	27.82	39.22
13-1	0.077 9	77.34	41.44	54.05	34-10	0.070 3	59.97	27.64	39.02
34-2	0.077 4	76.29	40.53	53.06	84-4	0.070 2	59.84	27.46	38.83
116-9	0.077 4	76.13	40.53	53.06	34-1	0.070 1	59.59	27.28	38.63
29-10	0.075 8	72.52	37.63	49.90	116-2	0.070 0	59.30	27.10	38.43
13-8	0.075 8	72.49	37.63	49.90	78-4	0.069 7	58.73	26.55	37.84
13-5	0.075 3	71.41	36.72	48.91	127-1	0.069 6	58.33	26.37	37.64
29-1	0.074 8	70.36	35.81	47.92	78-6	0.069 4	57.93	26.01	37.24
21-7	0.074 4	69.39	35.09	47.13	55-4	0.069 4	57.91	26.01	37.24
29-1	0.074 1	68.72	34.54	46.54	121-1	0.069 3	57.82	25.83	37.05
83-9	0.073 7	67.76	33.82	45.75	51-2	0.069 2	57.43	25.64	36.85
45-3	0.073 5	67.36	33.45	45.35	64-3	0.069 2	57.42	25.64	36.85
51-6	0.073 2	66.56	32.91	44.76	34-3	0.069 1	57.40	25.46	36.65
116-8	0.073 1	66.36	32.73	44.56	78-7	0.069 1	57.29	25.46	36.65
57-1	0.072 9	65.97	32.36	44.17	55-4	0.069 0	57.16	25.28	36.45
29-4	0.072 8	65.82	32.18	43.97	69-3	0.069 0	57.08	25.28	36.45
116-7	0.072 7	65.46	32.00	43.77	45-7	0.068 9	56.75	25.10	36.25
51-1	0.072 6	65.37	31.82	43.57	26-3	0.068 6	56.23	24.56	35.66
34-4	0.072 1	64.15	30.91	42.58	78-1	0.068 5	55.99	24.37	35.46
21-4	0.071 8	63.48	30.37	41.99	47-7	0.068 5	55.92	24.37	35.46
116-1	0.071 8	63.35	30.37	41.99	54-3	0.068 2	55.32	23.83	34.87
4-1	0.071 5	62.74	29.82	41.40	121-7	0.068 2	55.30	23.83	34.87
19-3	0.071 5	62.74	29.82	41.40	51-2	0.068 1	55.12	23.65	34.67
116-4	0.071 5	62.74	29.82	41.40	21-3	0.068 0	54.88	23.47	34.48
39-5	0.071 5	62.66	29.82	41.40	121-5	0.067 9	54.57	23.28	34.28
60-2	0.071 1	61.78	29.09	40.61	54-2	0.067 9	54.51	23.28	34.28
29-4	0.071 0	61.59	28.91	40.41					

## 4 结论与讨论

本研究结果与前人的研究结果相似,均认为油松家系子代测定试验林生长早期,油松家系间在树高,胸径等性状上均存在显著差异<sup>[3,9-14]</sup>,受较强遗传控制<sup>[15-16]</sup>。由于生长性状在家系间具有丰富的遗传变异以及受较强的遗传控制,更证实了油松家系选择具有较大潜力。

油松 22 年生时树高家系遗传力较 5~10 年生时的低,表明早期选择的效果更好。当树龄在 6~10 年生时进行早期选择的选择效率为 1.0~1.1,这表明早期选择优于成龄期的选择;然而,由于油松一般生长较慢,个体间的生长节律差异较大,提前进

行早期选择自然存在漏选和误选的风险;所以,结合不同林龄的正确选择效率和去劣错误率,油松的早期选择应在 9 年时,此结果较卢国美等<sup>[17]</sup>和陈伯望等<sup>[14]</sup>的研究结论有所提前,前者经过秩次相关分析认为,油松早期选择的可靠年龄为 15 年生时,后者认为为了尽可能多地保留“速生期晚”的个体,又能得到较大的增益,油松人工林的选择年龄宜在 12~15 a 后,在此之前只能淘汰最落后的个体。与国外的早期选择研究相比,油松的早期选择时间较晚。Gwaze 等<sup>[18]</sup>以火炬松(*Pinus taeda*)木材密度与树龄之间的相关关系为依据,认为其最佳选择时间为 5 a 甚至更早。Xiang 等<sup>[19]</sup>则发现如果以树高为选择指标,火炬松的早期选择最早可在 3 年生时进行,而以

材积为选择指标时最佳选择时间为4年生时。Fukatsu等<sup>[20]</sup>对日本落叶松(*Larix kaempferi*)在6年生时进行早期选择其遗传增益占28年生时的69%。Fujimoto等<sup>[21]</sup>研究表明,根据木材密度对杂种落叶松(*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*)进行早期选择的最佳年龄为8~14年生。由此可见,不同物种不同选择指标均对早期选择的时间有影响。

根据10年生的树高和22年生的树高进行早期选择的时间均为9年生时,但二者具有显著的差异,前者筛选出27个优良家系,而后者只筛选出24个,且其中只有9个家系是相同的;此外,22年生时的家系遗传力和单株遗传率均低于5~10年生时,早期一直比较稳定,10年生时筛选出的优良家系的遗传增益显著比22年生时的高。由此可见,如果测定林的保存状况不太好,加上大龄植株林分的郁闭竞争也会对测定效果产生较大影响,仍坚持用大龄植株测定数据来说明问题,会导致测定结果出现一定的偏差;所以,早期选择应该建立在测定林良好的保存状况的基础上,仅就一定数量的测定群体进行连年观测即可。

油松种源及优良家系选择方面研究较多,并且已选择出较多数量的优良家系和单株<sup>[8,11,19,22-23]</sup>。二代育种亲本的精确评价与选择直接影响到高改良周期种子园的产量与遗传品质。由于表型数据含有环境效应,仅以表型数据很难精确地选择出遗传品质优良的改良材料,而育种值剔除环境影响,反映了真实的遗传效应,提高了选择的精确性<sup>[22-24]</sup>。对22 a油松天然林优树子代进行长期的观测研究结果表明:其在树高、胸径、材积上存在明显差异,以树高为主要指标,从最后保存率较高的82个油松自由授粉子代家系中选出生长性状优异的优良家系24个,并筛选出61株二代优树,这些入选的优良家系和二代优树是非常宝贵的种质基因资源,可作为油松高改良周期的种子园建设的材料。根据子代测定的评价结果,可为油松种子园的去劣疏伐提供参考依据。除此之外,还应对所选二代优树的木材性状和开花结实特性等作进一步研究,以精选二代建园亲本无性系。

## 参考文献:

[1] 张华新. 油松种子园生殖系统研究[M]. 北京:中国林业出版社, 2000: 1-5.  
 [2] 沈熙环. 种子园技术[M]. 北京:科学技术出版社, 1992: 169-176.  
 [3] 刘永红,樊军锋,杨培华,等. 油松高世代种子园建立技术研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 70-73.  
 [4] 秦国峰,王培蒂,周志春. 马尾松苗期生长性状遗传分析[J]. 林

业科学, 1989, 25(6): 559-563.  
 [5] 李春喜,王文林,陈士林,等. 生物统计学[M]. 北京:科学出版社, 1997.  
 [5] 李悦,张春晓. 油松无性系群体育种值与遗传多样性研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 12-17.  
 [7] Lambeth C C. Juvenile-mature correlation in Pinaceae and implications for early selection[J]. Forest Science, 1980, 26(4): 571-580.  
 [8] 马常耕. 高世代种子园营建研究的进展[J]. 世界林业研究, 1994, 1(6): 32-38.  
 [9] 杨培华,郭俊荣,谢斌,等. 油松生长早期选择的研究[J]. 西北林学院学报, 1997, 12(1): 17-22.  
 [10] 李军,李悦,李国锋,等. 油松优树子代遗传变异与选择的初步研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(3): 19-24.  
 [11] 刘永红,杨培华,韩创举,等. 油松优良家系的遗传变异及其综合选择[J]. 中南林业科技大学学报:自然科学版, 2007, 27(6): 21-25.  
 [12] 刘永红,樊军锋,杨培华. 油松种子园子代变异和遗传稳定性的分析[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(1): 6-7.  
 [13] 陈建中,李悦,李国锋,等. 油松优树半同胞家系子代遗传变异与选择[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(2): 147-151, 160.  
 [14] 陈伯望,沈熙环. 油松生长性状早期选择的研究[J]. 林业科学, 1992, 28(5): 450-455.  
 [15] Balocchi C E, Bridgwater F E, Bryant R. Selection efficiency in a nonselected of Loblolly pine[J]. Forest Science, 1994, 40(3): 452-473.  
 [16] Balocchi C E, Bridgwater F E, Zobel B J, et al. Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of Loblolly pine[J]. Forest Science, 1993, 39(2): 231-251.  
 [17] 卢国美,李国锋,侯振中,等. 油松生长力早期选择的研究[J]. 河南林业科技, 1994(2): 12-14.  
 [18] Gwaze D P, Harding K J, Purnell R C, et al. Optimum selection age for wood density in loblolly pine[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2002, 32(8): 1393-1399.  
 [19] Xiang B, Li B, McKeand S. Genetic gain and selection efficiency of loblolly pine in three geographic regions[J]. Forest Science, 2003, 49(2): 196-208.  
 [20] Fukatsu E, subomura M T, Fujisawa Y, et al. Genetic improvement of wood density and radial growth in *Larix kaempferi*: results from a diallel mating test[J]. Annals of Forest Science, 2013, 70(5): 451-459.  
 [21] Fujimoto T, Kita K, Uchiyama K, et al. Age trends in the genetic parameters of wood density and the relationship with growth rates in hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) [J]. Journal of Forest Research, 2006, 11(3): 157-163.  
 [22] 杨培华,樊军锋,刘永红,等. 油松优良家系及单株配合选择研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2006, 34(10): 67-71.  
 [23] 杨培华,樊军锋,刘永红,等. 油松优树子代遗传变异及稳定性分析[J]. 种子, 2011, 30(3): 16-21.  
 [24] 杨秀艳,张守攻,孙晓梅,等. 北亚热带高山区日本落叶松自由授粉家系遗传测定与二代优树选择[J]. 林业科学, 2010, 46(8): 45-50.