

火炬松育种主群体新丰亚群体的评价与选择

刘纯鑫¹, 钟伟华¹, 谭碧霞¹, 黄少伟¹, 赖书文², 胡辉群²

(1 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642; 2 国营华溪林场, 广东 新丰 511176)

摘要:对火炬松 *Pinus taeda* 主群体新丰亚群体测定林按材积作配合选择研究, 结果表明材积增益高于家系选择. 在 4/100 选择率下相应的材积增益为 48.6% 和 21.8%; 在 25/100 选择率下则为 30.3% 和 11.1%; 探讨了六年生时为生产性改良和为育种群体培育而选择的可能性, 并提出要真正达到按核心育种系统组建下一代育种群体要求, 还有待于亚群体试验林多数林木进入开花结实才能实现.

关键词:火炬松; 家系; 主群体; 亚群体; 配合选择; 遗传增益

中图分类号: S722

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2006)04-0064-05

Assessment and Selection to Xinfeng Sub-Population of the Main Breeding Population of *Pinus taeda*

LIU Chun-xin¹, ZHONG Wei-hua¹, TAN Bi-xia¹, HUANG Shao-wei¹, LAI Shu-wen², HU Hui-qun²

(1 College of Forestry, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China;

2 Huaxi State Forest Farm, Xinfeng 511176, China)

Abstract: Test of Xinfeng sub-population of the main breeding population of *Pinus taeda* was assessed for growth traits. Selection was carried out using tree volume. The results showed that genetic gains of combining selection were higher than that of family selection. Giving the selection rate as 4/100, then the genetic gains for combined selection and family selection were 48.6% and 21.8% respectively. For 25/100 of selection rate, the genetic gains were 30.3% and 11.1% respectively. Possibility of selection at the age of six years, aimed at improvement for productive deployment and establishment of breeding population, was discussed. It raised selection for the establishment of the next generation breeding population that could be realized only when most trees in the test stand of sub-population reach the age of fruiting.

Key words: *Pinus taeda*; family; main population; sub-population; combining selection; genetic gain

林木种子园从 20 世纪 40 年代诞生以来, 在林业生产上发挥了积极的作用. 但遗传改良系统一直沿用生产群体与育种群体不分的单一一大群体多世代轮回选择途径, 导致基因资源窄化, 育种成果流失. 1989 年 Cotterill^[1] 提出核心育种系统 (Nucleus Breeding System), 将育种种群划分 2 个部分: 主群体 (Main Population) 和核心群体 (Nucleus Population).

主群体一般包含 300 个优良个体等量的子代, 分 3 个地点栽种, 保障育种群体有较宽的遗传基础, 为长期育种服务; 核心群体仅由 40 个最优良的个体组成, 与主群体隔离栽种, 起到短期提高遗传增益的作用. 第 1 代核心群体全部从主群体中选出, 因其仅含有起始群体的基因成分, 故为“封闭的”, 而后续世代的核心群体, 则 75% 的个体由上一代核心群体亲本

收稿日期: 2006-2-24

作者简介: 刘纯鑫 (1966—), 男, 实验师, 在职硕士研究生; 通讯作者: 黄少伟 (1964—), 男, 教授, E-mail: shwhuang@scau.edu.cn

基金项目: “九五”国家科技攻关专题 (95-011-03-18-3)

配偶子代组成,25%从同一世代的主群体中选出,形成双向基因交流,因此,是“开放的”;同样,起始主群体只从原始林或人工林选择后产生,而到第2代后,则70%选自上一代的主群体,30%选自同一世代的核心群体。可见,随着育种世代的进展,无论主群体还是核心群体,它们的遗传质量得以不断更新、改良和提高,既保持了长期改良不会遗传基础窄化,又保证当前生产存在更大的遗传增益。本试验根据这一理论,旨在探讨火炬松 *Pinus taeda* 培育育种种群的途径和方法等问题。选择300株优树自由授粉种子分为3份,每份100个家系,分别在广东省韶关、英德和新丰开展试验。本文以新丰华溪林场试验点六年生生长量为主,结合苗期、一年生、二年生高生长表现进行选择,以期为下一世代育种群体的培育提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

参试材料包括100株火炬松优树自由授粉家系(含3个对照)。其中编号C的家系来自安徽马鞍山林场优树无性系子代;编号M来自广东英德桥头火炬松母树林的优树子代;编号Q来自广东英德桥头火炬松种子园种子;编号S来自广东兴宁水口的优树无性系子代。3个对照分别是M58(CK₁)、C7(CK₂)、C40(CK₃)。M58是无性系种子园混合种子,C7与C40是经子代测定初步评定为较优的家系。

1.2 试验地概况

试验地设在广东新丰县国营华溪林场,23°53'N,113°43'E,属亚热带北缘山地,坡度大,海拔500 m左右,年平均气温20.3℃,年降雨量1563.1 mm,土壤类型主要为红壤。为杉木采伐迹地,植被有芒萁 *Dicranopteris pedata*、白茅 *Imperata cylindrica*、乌毛蕨 *Oriental blechnum* 等。

试验地经炼山、水平带状整地,带宽50 cm,株行距2.5 m×3.0 m,穴大小40 cm×40 cm×40 cm。

1.3 试验及分析方法

1.3.1 试验设计及观测 1990年底,在英德苗圃场

播种育苗,随机区组设计,3次重复。1992年春,在华溪林场定植,随机区组设计,单株小区,40次重复。出圃前测定苗高,1992年和1993年底,每木调查测定树高,1997年底每木调查测定树高及胸径。

1.3.2 数据处理及统计分析 以单株树高(H)及胸径(D)计算单株材积(V),材积计算公式为:

$$V = 0.375HD^2 / 10000.$$

子代林中单株观测值的线性模型:

$$y_{ij} = \mu + B_i + F_j + \varepsilon_{ij},$$

式中, y_{ij} 为第*i*区组第*j*家系的单株表型值, $i=1,2,\dots,b,j=1,2,\dots,f$ (b,f 分别为区组数、家系数); μ 为试验林平均值; B_i 为第*i*区组的固定效应; F_j 为第*j*家系的随机效应,数学期望 $E(F_j)=0$,方差 $\text{Var}(F_j)=\sigma_F^2$; ε_{ij} 为第*ij*个体的随机误差, $E(\varepsilon_{ij})=0$, $\text{Var}(\varepsilon_{ij})=\sigma_E^2$. σ_F^2 和 σ_E^2 分别为家系和误差方差。

遗传力的计算公式^[2,3]如下:

$$\text{单株遗传力} \quad h_s^2 = 4\sigma_F^2 / (\sigma_F^2 + \sigma_E^2),$$

$$\text{家系遗传力} \quad h_F^2 = \sigma_F^2 / (\sigma_F^2 + \sigma_E^2/b),$$

$$\text{家系内遗传力} \quad h_w^2 = 3\sigma_F^2 / [(b-1)\sigma_E^2/b],$$

式中: $\sigma_F^2 = (1/4)\sigma_A^2$, σ_A^2 为加性遗传方差。

遗传增益的预测采用Hodge和White^[2]及黄少伟等^[3]介绍的方法。配合选择下的遗传增益预测公式为 $\Delta G = (R/\bar{X}) \times 100\%$,其中 $\bar{X}$ 为试验林测定性状平均值, R 为选择响应, R 的计算公式如下:

$$R = h_F^2[\bar{y}_j - E(\bar{y}_j)] + h_w^2[(y_{ij} - \bar{y}_j) - E(y_{ij} - \bar{y}_j)],$$

式中 $\bar{y}_j$ 为第*j*家系的表型平均值, $E(\bar{y}_j)$ 为 $\bar{y}_j$ 的期望值, y_{ij} 同上。

对树高、胸径和材积做双因素无重复的方差分析^[4]以检验家系间生长差异,用水平法(Performance Level Analysis)^[5,6]评价各家系生长优劣。

统计分析用SAS®软件^[7,8]进行。

2 结果与分析

2.1 生长性状的差异性分析

分别以各年龄生长性状的单株数据作双因素无重复的方差分析,结果如表1。

表1 各生长性状方差分析结果

Tab. 1 Results of analysis of variance for growth traits

变因 source of variation	ν				F					
	苗期 0a	一年生 1a	二年生 2a	六年生 6a	苗期 0a	一年生树高 H_{1a}	二年生树高 H_{2a}	六年生树高 H_{6a}	六年生胸径 D_{6a}	六年生材积 V_{6a}
区组 block	2	39	39	39	30.39**	16.11**	13.35**	19.76**	11.73**	12.86**
家系 family	99	99	99	99	1.84**	5.51**	2.35**	2.98**	2.98**	3.32**

表1显示,家系间树高(苗高)、胸径和材积均有极显著差异,表明家系间在苗期至幼林期间存在着遗传上的差异。要指出的是,区组间均方比也存在极显著差异,说明设计和分析结果的正确性,即剔除了环境方差,家系间差异是真实的。从材积水平法得分排名最前的4个家系(I类)、处于中间水平的4个家系(II类)和排名末尾的4个家系(III类),在各区

组中的生长性状表现说明了这一点,具体见表2。从表2可见,I类水平家系有近2/3的株数超过区组平均值,III类水平家系也有近2/3的株数低于区组平均值,而II类水平家系大于或小于平均值的株数比例都接近1/2,这说明各类家系表现水平其遗传基础是主要的,不因区组间环境差别而异。这就为家系选择提供了理论基础。

表2 三类表现水平家系六龄生长性状在各区组的表现

Tab. 2 Growth of 3 classes of family in the blocks by means of performance level

类别 class	家系 family	$\bar{V}$ 排名 rank by $\bar{V}$	$\bar{H}/m$	$\bar{D}/cm$	$\bar{V}/m^3$	$> \bar{B}_i$ 的比例 ¹⁾			$< \bar{B}_i$ 的比例		
						rate of family $> \bar{B}_i$ /%			rate of family $< \bar{B}_i$ /%		
						H	D	V	H	D	V
I	M3	1	5.04	10.34	0.021 7	62.5	75.0	65.6	37.5	25.0	34.4
I	C17	2	5.17	10.14	0.020 7	75.6	79.4	73.5	29.4	20.6	26.5
I	C80	3	5.07	10.15	0.020 7	69.7	81.8	75.8	30.3	18.2	24.2
I	M10	4	5.13	9.83	0.020 3	71.4	68.6	65.7	28.6	31.4	34.3
II	C32	49	4.62	8.97	0.015 1	46.9	46.9	40.6	53.1	53.1	59.4
II	M16	50	4.56	8.93	0.015 1	45.2	48.4	38.7	54.8	51.6	61.3
II	Q1	51	4.69	9.04	0.015 0	48.6	54.1	40.5	51.4	45.9	59.5
II	M52	52	4.49	9.02	0.014 9	48.5	51.5	39.4	51.5	48.5	60.6
III	M53	97	4.24	8.29	0.012 1	24.3	35.1	29.7	75.7	64.9	70.3
III	M40	98	4.33	8.09	0.011 5	34.3	22.9	20.0	65.7	77.1	80.0
III	C142	99	4.24	8.12	0.011 3	18.2	12.1	12.1	81.8	87.9	87.9
III	M54	100	4.44	7.96	0.011 3	31.0	17.2	13.8	69.0	82.8	86.2

1) $\bar{B}_i$ 表示区组各生长性状的平均值

2.2 生长性状的遗传力

计算六年生各生长性状效应的方差分量及遗传力,结果见表3。

从表3首先可看到,树高等3个性状的遗传力以家系为最大,单株次之,家系内最小;其次,每一类遗传力在不同性状上的数值大小差异不大;第三,当这些遗传力值用于预测选择效果时,则可以预见,以

表3 六年生各生长性状的遗传力

Tab. 3 Heritabilities for growth traits at the age of 6 years

项目 item	H	D	V
家系方差 family variance	303.224 2	0.149 3	3.268 2E-6
环境方差 environment variance	5 285.700 0	2.597 7	4.866 0E-5
家系遗传力 family heritability	0.696	0.697	0.729
家系内遗传力 within-family heritability	0.176	0.177	0.207
单株遗传力 single-tree heritability	0.217	0.217	0.252

家系选择效果最好,并应在此基础上进行家系内的单株选择,才能取得较理想的结果。

2.3 家系选择与后续育种群体

采用水平法得分,同时辅以简单 t 检验,以判别入选家系差异是否得分高又达到 t 显著水平,以提高选择的可靠性。一般将试验林的总平均值定为50分,大于50分者为优或较优家系,小于50分者为较差或劣家系。根据六年生材积生长计算结果,得55分以上,且 t 值极显著的家系25个(表4)。表4中的家系及其优株,既可以满足当前生产需要,用于建立生产性种子园,又可以将这些优株投入组建下一代核心育种系统的主群体和核心群体,促进育种群体的发展。

2.4 配合选择下的遗传增益

根据 Hodge 和 White^[2] 的方法,对六年生树高等3个性状进行配合选择下的遗传增益估算,结果如表5。由表5可见,树高与胸径的遗传增益比较接近,材积较高,这是受材积公式所支配的。表中数据还显示,配合选择的遗传增益明显地高于家系和家系内选择,充分展示出配合选择的优越性。

表4 六年生平均材积排前25名的家系

Tab.4 The top 25 families by performance level of volume at the age of 6 years

排名 rank	家系 family	$\bar{V}/\text{m}^3$	得分 score	t 值 ¹⁾ t value	排名 rank	家系 family	$\bar{V}/\text{m}^3$	得分 score	t 值 ¹⁾ t value
1	M3	0.021 7	73.04	18.45 ***	14	M42	0.017 5	58.20	14.88 ***
2	C17	0.020 7	69.62	24.06 ***	15	C143	0.017 4	57.65	7.87 ***
3	C80	0.020 7	69.51	20.95 ***	16	Q3	0.017 3	57.58	8.17 ***
4	M10	0.020 3	68.33	16.03 ***	17	C117	0.017 3	57.43	10.02 ***
5	M17	0.019 1	64.01	16.07 ***	18	C146	0.017 3	57.34	8.99 ***
6	M37	0.019 1	64.00	16.93 ***	19	M9	0.017 3	57.31	8.92 ***
7	M13	0.018 9	63.03	17.21 ***	20	M26	0.017 1	56.86	8.57 ***
8	C100	0.018 0	59.95	10.04 ***	21	C16	0.016 9	56.04	7.20 ***
9	M47	0.018 0	59.78	9.20 ***	22	C72	0.016 9	55.83	9.24 ***
10	C73	0.018 0	59.76	11.18 ***	23	C92	0.016 7	55.36	5.17 ***
11	C89	0.017 8	59.19	11.38 ***	24	C40	0.016 7	55.17	8.42 ***
12	M43	0.017 8	59.14	9.91 ***	25	C71	0.016 6	55.00	6.60 ***
13	C123	0.017 7	58.77	10.59 ***					

1) *** 表示 0.001 水平上差异显著

表5 六年生各性状遗传增益

Tab.5 Genetic gains for growth traits at the age of 6 years

入选家系 choosed family	株/系 trees/family	<i>H</i>			<i>D</i>			<i>V</i>		
		家系 family	家系内 within-family	配合 combining	家系 family	家系内 within-family	配合 combining	家系 family	家系内 within-family	配合 combining
前 4 个家系										
preceding	1	6.13	7.51	13.64	7.45	5.62	13.07	21.79	26.82	48.61
four families										
前 25 个家系										
preceding	3	3.25	4.67	7.92	4.06	5.02	9.08	11.08	19.25	30.33
twenty-five families										

3 讨论与结论

在山地坡度大、地形复杂多变下,按坡度均匀、变化比较小划分区组,以单株为单位,是开展家系多、规模大、保证试验结果正确的一种好办法。

试验林生长正常,六年生林分总平均生长量:树高为 4.63 m、胸径为 9.0 cm、材积为 0.015 2 m³。参试 100 个家系在树高、胸径和材积 3 个性状上,家系间存在极显著差异,表明它们之间真实地存在遗传差异,从中选择可以获得改良效果。

生长性状遗传力,以家系为最高,单株次之,家系内为最小。因此,选择必需在家系选择的基础上开展,无论组建生产群体,还是组建下一代育种群体均应如此。

入选率以多大为好,这主要取决于选择目的和要求,本研究有 2 种:一是家系入选率为 4/100,优株入选率为 1/40(总入选率为 1/1 000),预期材积增

益高达 48.6%;二是家系入选率为 25/100,优株入选率为 3/40(总入选率为 18.75/1 000),预期材积增益高达 30.3%。这主要是满足本项试验的 3 个目的要求:一是培育良种,需要选择最优家系最优单株用于建立新一代种子园,生产遗传增益更高、更优良生产用种;二是与此同时,这最优家系最优单株又可用于建立下一代核心系统的核心育种群体,按核心育种系统要求,本亚群体只需提供 3/40~4/40 的精英个体即可满足,这就是只着眼于选择最优 4 个家系的原因;三是选择 25/100 的家系和每系选 3 株时,可选出 75 个优株,以满足组建下一代主群体时对本亚群体需提供 70/210 优良个体的要求^[1,9]。必须指出,同一家系的 2~3 个优株,应该分别安置到下一代主群体的不同亚群体中去,以避免近交,或将选择线下调至选队列 2/3 以内的家系的优株。

选择年龄以多大为适当,本项试验选择对象为六年生幼林,从林龄看已达到早期选择的阶段,这已

为 Lambeth^[10]、黄少伟等^[11]和陈炳铨等^[12](广东省研究成果,登记号:99235)的早-晚相关研究所证实,我们国家标准也规定六年生可作家系选择.从改良目的、加快世代周转、缩短选择周期、增加遗传增益来看,可以作早期选择,已为许多研究所证明^[10-11].前面提到的作为培育下一代育种群体的家系材料,或育种资源,只能看作是一个初步的动态选育的一个探讨,因为真正要提供给组建下一代育种群体材料,只能期待全林多数个体开花结实时才能行之有效,只有那时所选择的优株才能提供种子,才具有新的基因重组,达到新的基因在主-核心育种群体中的双向交流^[9].要缩短育种周期,促进试验林早结实、多结实是关键.其有效途径是降低林分郁闭度,即要及时对试验林实施去劣疏伐,伐去弱株、劣株,列入劣系的优势木应尽可能保存,以利于长期遗传改良,维持试验林有较宽遗传基础,保证在新的循环选择中永保遗传基础长盛不衰,持续利用.

参考文献:

- [1] COTTERILL P P. The nucleus breeding system[C]//The Southern Forest Tree Improvement Committee of USA. Proceeding of 20th Southern Forest Tree Improvement Conference. Charleston, South Carolina; The 20th Southern Forest Tree Improvement Conference, 1989:36-42.
- [2] HODGE G R, WHITE T L. Concepts of Selection and Gain Prediction[K]//FINS L, FRIEDMAN S T, BROTSCHOL J V. Handbook of Quantitative Forest Genetics. Dordrecht;

Kluwer Academic Pub., 1992: 168-178.

- [3] 黄少伟,钟伟华,陈炳铨. 火炬松半同胞子代配合选择的遗传增益估算[J]. 林业科学,2006,42(4):33-37.
- [4] 北京林学院. 数理统计[M]. 北京:中国林业出版社,1991: 186-191.
- [5] 钟伟华,何昭珩,周达,等. 火炬松自由授粉子代测定研究[J]. 林业科学研究,1984,7(3):277-285.
- [6] 何昭珩,钟伟华. 应用水平法和 t 检验评选火炬松半同胞家系[J]. 华南农业大学学报,2001,22(1):9-12.
- [7] SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide: Version 6[M] 4th ed. Cary, NC: SAS Institute Inc, 1990: 891-996, 1661-1673.
- [8] 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,2001:214-276.
- [9] 钟伟华. 国外种子园及多世代改良的研究[G]//涂忠虞,沈熙环. 中国林木遗传育种进展. 北京:科学技术文献出版社,1993:129-137.
- [10] LAMBETH C C. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implication early selection[J]. For Sci, 1980, 26(4):571-580.
- [11] 黄少伟,钟伟华,李远球. 火炬松自由授粉家系年度生长相关与早期选择研究[J]. 广东林业科技, 2000, 16(4):1-5.
- [12] 陈炳铨,钟伟华,黄少伟,等. 火炬松种源试验林16年生长表现[G]//华南农业大学火炬松系统遗传改良研究协作组. 火炬松系统遗传改良研究:火炬松改良种子园营建技术研究. 广州:华南农业大学,1999:26-32.

【责任编辑 李晓卉】

(上接第61页)

- [13] 董鸣. 缙云山马尾松种群数量动态初步研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1986, 10(4):283-293.
- [14] 李明佳,莫江明,王铸豪. 鼎湖山木荷种群若干生态学 and 生物学特性研究[J]. 热带亚热带森林生态系统研究, 1989(5):55-62.
- [15] 孙谷畴. 木荷树叶片的气体交换对某些环境因子的反应[J]. 林业科学, 1987, 23(4):436-442.
- [16] 丁圣彦,宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林演替前期的群落生态学特征[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2):97-107.
- [17] 吴承祯,洪伟,陈辉,等. 万木林中亚热带常绿阔叶林

物种多样性研究[J]. 福建林学院学报, 1996, 16(1): 33-37.

- [18] 高峻,郑群瑞,杨斌生,等. 福建万木林自然保护区植被研究[J]. 上海师范大学学报:自然科学版,1998,27(1):77-82.
- [19] 郑群瑞. 万木林自然保护区珍稀特有野生植物[J]. 福建林学院学报, 1999, 19(1):69-72.
- [20] 何建源,兰思仁,刘初钿,等. 武夷山研究[M]. 厦门:厦门大学出版社,1994:33-38.

【责任编辑 李晓卉】