

文章编号: 1001-1498(2001)05-0509-06

# 火炬松自由授粉子代多地点试验

黄少伟<sup>1</sup>, 钟伟华<sup>1</sup>, 黄 凯<sup>2</sup>, 姜景民<sup>3</sup>

(1. 华南农业大学林学院, 广东 广州 510642; 2. 广东省遂溪县林业试验场, 广东 遂溪 524300; 3. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 对涉及 3 个地点、52 个自由授粉家系的火炬松子代测定 6 a 的生长性状进行分析, 结果表明: 地点间生长差异极大, 地点间生长量的差异与纬度的变化相对应, 高纬度的富阳试点生长最好, 低纬度的遂溪试点生长最差。家系间生长差异显著, 且与地点存在显著的交互作用, 不同的造林区应选用不同的优良家系。分别为富阳试点和英德试点选出适于各自栽植的优系 9 个和 15 个。本试验结果也为英德火炬松种子园定向供种及去劣疏伐提供依据。根据上述入选率采优系种子供适生地区造林, 材积遗传增益为 5.4% ~ 5.8%, 若对初级种子园去劣疏伐, 保留相应的优系, 则材积增益可达 10.8% ~ 11.6%。

**关键词:** 火炬松; 自由授粉家系; 子代测定; 家系 × 地点互作; 家系选择; 遗传增益

**中图分类号:** S722.3<sup>+</sup>3

**文献标识码:** A

广东省英德市火炬松(*Pinus taeda* L.) 种子园经 10 多年的建设, 已从初级园进入到改良种子园的阶段。联合国开发计划署援助的“湿地松、火炬松改良种子园”项目(CPR/91/153), 已通过验收<sup>[1]</sup>。目前, 火炬松初级种子园部分经过疏伐改造, 生产遗传品质较优良的种子, 火炬松改良种子园已开始产种。火炬松种子园的供种范围较广, 覆盖长江流域到粤北山地的广大地区。为了使初级种子园的去劣疏伐和改良种子园建园材料的选择有充分的依据, 为了有针对性地向不同地区提供优系种子, 作者于 80 年代在多个地点建立了火炬松自由授粉家系子代测验<sup>[2,3]</sup>, 本文对部分多地点子代测定作一总结, 为种子园供种及疏伐改造提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

参试的自由授粉家系共 52 个, 其中 49 个来自广东英德市火炬松初级种子园, 3 个来自中国林科院亚热带林业研究所(浙江富阳), 各家系的试验号与对应的家系号及代号列于表 1。

### 1.2 试验点概况

试验在 3 个地点进行, 分别是: 英德火炬松种子园, 位于 24°15' N, 113°45' E, 年均温 20.7℃, 绝对最低温- 3.6℃, 绝对最高温 38.5℃, 年降水量 1 917.7 mm, 试验地为海拔约 40 m 的低丘, 坡度 5 左右, 土壤为沉积物发育的赤红壤, pH 5.2~ 6.2, 土质粘重瘦瘠。广东遂溪县林业试验场, 位于 21°25' N, 110°15' E, 年均温 22.8℃, 极端低温- 1.4℃, 年平均降雨量 1 175 mm, 土壤为浅海沉积沙壤土, pH 5.4。浙江富阳中国林科院亚热带林业研究所试验地,

收稿日期: 2000-07-06

基金项目: “七五”国家攻关课题“湿地松、火炬松种子园营建与经营技术研究”(75-07-01-38) 内容之一

作者简介: 黄少伟(1964-), 男, 广东揭阳人, 副教授

表 1 参试家系试验号与家系号对照表

|     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 试验号 | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |
| 家系号 | Q 13  | W u22 | N 3   | W u32 | 252   | 283   | 287   | 317   | P63   | U 6   | 29    | W 14  | G1    |
| 代号  | 82-33 | 82-40 | 82-45 | 81-44 | 82-52 | 84-36 | 82-87 | 81-12 | 84-63 |       | 81-62 | 83-44 | 83-71 |
| 试验号 | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    |
| 家系号 | G2    | G4    | G6    | G7    | G8    | G9    | G11   | G12   | G13   | G14   | G15   | G16   | 台混 2  |
| 代号  | 83-72 | 83-74 | 83-76 | 83-77 | 83-78 | 83-79 | 83-81 | 83-82 | 83-83 | 83-84 | 83-85 | 83-86 | CK1   |
| 试验号 | 27    | 28    | 29    | 30    | 31    | 32    | 33    | 34    | 35    | 36    | 37    | 38    | 39    |
| 家系号 | YA 3  | YA 6  | YA 8  | YA 9  | 台混 1  | GA 1  | GA 2  | GA 3  | GA 4  | P6-1  | P7    | P8    | P14   |
| 代号  | 87-12 | 87-13 | 87-14 | 87-15 | CK3   | 86-1  | 86-2  | 86-3  | 86-4  | 85-5  | 87-9  | 87-10 | 84-14 |
| 试验号 | 40    | 41    | 42    | 43    | 44    | 45    | 46    | 47    | 48    | 49    | 50    | 51    | 52    |
| 家系号 | P1    | P2    | P3    | P4-1  | P4-2  | P5    | P6    | 马混    | Fu-1  | Fu-2  | Fu-3  | 亚林所   | 亚林所   |
| 代号  | 87-1  | 87-2  | 87-3  | 87-4  | 87-5  | 84-5  | 84-6  | CK2   | 87-16 | 87-17 | 87-18 | 自编号   | 自编号   |

位于 30°15' N, 119°38' E, 年均温 15.8℃, 年雨量 1 478 mm。各试点家系数分别为英德 49, 遂溪 47, 富阳 27 个。

### 1.3 试验方法

采用随机完全区组设计, 6 次重复, 英德、遂溪为 6 株行式小区, 富阳试点为 4 株行式小区。遂溪试点参试家系分成 3 组, 第 2、3 组分别只设 5 次和 2 次重复, 该试点仅第 1 组 25 个家系参加多地点方差分析。1989 年造林, 6 年生(遂溪试点为 6.5 年生)测定每木树高( $H$ )、胸径( $D$ )。计算单株材积( $V$ ), 计算公式:  $V = 0.375H \cdot D^2 / 10\ 000$ 。用 SAS<sup>R</sup> 系统进行统计分析<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 各效应对子代生长量的影响

对存在于两个地点以上的 33 个家系作方差分析, 采用固定模型, 以单株数据为计算单位, 结果见表 2。

表 2 多地点方差分析结果

| 变异来源        | 自由度 | F 值 <sup>1)</sup> |            |            | 概率 P 值 <sup>2)</sup> |         |         |
|-------------|-----|-------------------|------------|------------|----------------------|---------|---------|
|             |     | 树高                | 胸径         | 材积         | 树高                   | 胸径      | 材积      |
| 地点间         | 2   | 2 869.83**        | 1 301.82** | 2 829.73** | 0.000 1              | 0.000 1 | 0.000 1 |
| 地点内区组间      | 15  | 24.73**           | 26.49**    | 39.93**    | 0.000 1              | 0.000 1 | 0.000 1 |
| 家系间         | 32  | 3.70**            | 2.26**     | 3.62**     | 0.000 1              | 0.000 1 | 0.000 1 |
| 地点 × 家系     | 47  | 3.44**            | 1.68**     | 3.38**     | 0.000 1              | 0.002 8 | 0.000 1 |
| 家系 × 地点内区组间 | 388 | 2.23**            | 1.67**     | 2.27**     | 0.000 1              | 0.000 1 | 0.000 1 |

1) “\*\*” 分别表示在 1% 水准上差异显著, 下同。

2) 接受零假设的概率  $P$  值, 当概率  $P$  值 < 0.05 时, 拒绝零假设, 表示差异显著, 下同。

表 2 显示, 各性状各效应均达到极显著水平, 表明家系间存在着极大的遗传差异, 通过选择可得到优良的家系。地点效应的  $F$  值极大, 表明地点间差异极大。

### 2.2 各试点家系生长比较

以 3 个试点共有的 16 个家系为基础, 进行地点间差异显著性检验——Duncan 检验, 结果, 3 个地点间均有显著差异, 3 个生长性状均是富阳最大, 遂溪最小, 排列次序与纬度高低相吻合(见表 3)。

表 3 地点间生长差异显著性检验

| 性状       | 树高/m |      |      | 胸径/cm |      |      | 单株材积/m <sup>3</sup> |         |         |
|----------|------|------|------|-------|------|------|---------------------|---------|---------|
|          | 富阳   | 英德   | 遂溪   | 富阳    | 英德   | 遂溪   | 富阳                  | 英德      | 遂溪      |
| 地点       | 富阳   | 英德   | 遂溪   | 富阳    | 英德   | 遂溪   | 富阳                  | 英德      | 遂溪      |
| 平均值      | 5.97 | 3.99 | 3.52 | 12.16 | 8.28 | 7.51 | 0.034 7             | 0.011 4 | 0.008 1 |
| Duncan 组 | a    | b    | c    | a     | b    | c    | a                   | b       | c       |

很明显, 英德和遂溪试点的生长量远远不及富阳试点, 6 年生的总平均单株材积生长量分别不及富阳试点的 1/3 和 1/4。尤其是遂溪试点, 林分测量时的实际年龄是 6.5 a, 因此其生长速度比表上反映的更差。郑永光对广东省火炬松引种栽培区气候生态区划的研究结果, 将英德划为火炬松引种栽培次适宜区, 遂溪为火炬松不宜引种栽培区<sup>[5]</sup>。即从实际生长量证明遂溪是不适宜发展火炬松丰产林的, 气候是制约火炬松生长的主要因子。英德属于火炬松适宜生长区的南缘, 其试验林生产力低的主要原因可能是具体试验点的立地条件较差。

鉴于地点 × 家系互作效应极显著(表 2), 有必要对不同地点分别选择优良家系。由于火炬松在遂溪试点表现不良, 因此优良家系的选择只对富阳和英德两个试点进行。

### 2.3 不同试点子代生长差异及优良家系选择

富阳、英德两试点家系生长的差异显著性检验(方差分析, 固定模型)见表 4。

表 4 各试点家系生长方差分析结果

| 试验点 | 变异来源    | 自由度 | F 值     |         |         | 概率 P 值  |         |         |
|-----|---------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|     |         |     | 树高      | 胸径      | 材积      | 树高      | 胸径      | 材积      |
| 英德  | 区组间     | 5   | 46.00** | 39.52** | 42.75** | 0.000 1 | 0.000 1 | 0.000 1 |
|     | 家系间     | 48  | 2.86**  | 2.40**  | 2.35**  | 0.000 1 | 0.000 1 | 0.000 1 |
|     | 家系 × 区组 | 240 | 2.25**  | 1.80**  | 1.99**  | 0.000 1 | 0.000 1 | 0.000 1 |
| 富阳  | 区组间     | 5   | 25.00** | 34.13** | 35.81** | 0.000 1 | 0.000 1 | 0.000 1 |
|     | 家系间     | 26  | 4.03**  | 3.11**  | 3.18**  | 0.000 1 | 0.000 1 | 0.000 1 |
|     | 家系 × 区组 | 130 | 1.90**  | 1.47**  | 1.66**  | 0.000 1 | 0.002 5 | 0.000 1 |

由表 4 可见, 两试点子代生长在家系间均存在极显著差异, 据此可进行家系生长比较及优良家系的选择。采用 Duncan 检验, 以材积生长量为选择指标, 两试点家系 Duncan 分组结果见表 5。

表 5 显示, 英德试点 3 号及其前面的家系, 与最后 3 个 Duncan 组的家系间差异显著, 共 16 个, 除去对照 47 号(CK2), 为 15 个家系, 占该点参试家系的 1/3 弱; 富阳试点第一组 9 个家系, 占参试家系数的 1/3, 这些家系可视为各自试点的优良家系。13、16、27 和 28 号 4 个家系在两地点均表现良好, 是共同的优良家系, 可属于广谱型家系。2、4、19、37 号 4 个家系在英德试点名列前茅, 在富阳试点则处于中后位置; 1、10、24 和 32 号 4 个家系的情形正相反, 在富阳试点名列前茅, 在英德试点排名较后, 这类各自表现优良的家系可视为局地适应型。在英德试点名列前茅或排名较前的 3、25、33、39、42、43、45 号在富阳试点没有参试, 无法确定它们在该地区的表现。

表 5 英德和富阳试点各家系平均单株材积 Duncan 多重检验

|                    |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|--------------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| 家系 <sup>1)</sup>   | 45    | 27 | 39 | 28 | 25 | 4  | 19 | 37 | 2  | 47 | 13 | 43 | 42 | 16 | 33 | 3 | 31 | 6  | 10 | 40 | 49 | 1  | 32 | 20 | 24 | 29 | 44 |  |
| 英 分组 <sup>2)</sup> | _____ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 德 家系               | _____ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 德 分组               | _____ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 富 家系               | 16    | 10 | 27 | 28 | 1  | 13 | 32 | 52 | 24 | 4  | 35 | 29 | 17 | 6  | 19 | 2 | 30 | 37 | 26 | 5  | 47 | 20 | 18 | 22 | 50 | 51 | 14 |  |
| 富 分组               | _____ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

- 1) 指试验号。
- 2) 指 Duncan 组, 位于同一直线上的家系间差异不显著。

### 2.4 家系选择的遗传增益估算

以英德和富阳试点共有的 24 个家系的单株观测数据作方差分析估算各生长性状的家系遗传力, 采用混合模型, 地点、区组为固定效应, 其它因子为随机效应。同时以家系平均材积为选择指标作亲本选择, 估算不同入选率下的遗传增益。估算公式为  $\Delta G = (\bar{x} - \bar{X})h^2/\bar{X}$ , 其中  $\bar{x}$  为入选亲本子代家系材积平均值,  $\bar{X}$  为所有家系的材积加权平均值,  $h^2$  为家系遗传力。结果如表 6。

表 6 两试点各生长性状家系遗传力及不同入选率下的材积遗传增益

| 试点 | 遗传力   |       |       | 不同入选率下的材积遗传增益/% |            |          |            |
|----|-------|-------|-------|-----------------|------------|----------|------------|
|    | H     | D     | V     | 前 1/3 的家系       | 前 1/10 的家系 | 4 个广谱型优系 | 广谱型+ 局地型优系 |
| 英德 | 0.524 | 0.543 | 0.363 | 5.74            | 8.26       | 5.95     | 5.94       |
| 富阳 |       |       |       | 5.41            | 9.29       | 6.94     | 5.78       |

亲本选择的遗传增益与选择方式有关, 表 6 中的遗传增益是在未疏伐种子园中采用相应的优系种子造林时的增益, 若对种子园进行去劣疏伐, 保留相应的优系, 则遗传增益的估算公式应为  $\Delta G = 2(\bar{x} - \bar{X})h^2/\bar{X}$ <sup>[6]</sup>, 即相应的遗传增益增加一倍。

## 3 结论与讨论

(1) 火炬松家系生长在不同地点间存在着极大的差异, 在高纬度的长江流域地区的生长明显优于低纬度的粤北和粤西地区, 表明我国火炬松适宜生长的地区应为 24°N 至 30°N, 甚至更北一些<sup>[7]</sup>, 粤西的湛江地区不适宜发展火炬松。

(2) 家系生长与地点间存在着显著的互作, 相同家系在不同地点的相对表现不同。因此, 不同造林区应选择各自的优良家系。本试验为富阳试点所代表的长江流域地区选出优系 9 个, 为英德试点所代表的粤北地区选出优系 15 个。其中, 87-12、87-13、83-71 和 83-76 共 4 个家系在两地均表现优良, 为广谱型的优良家系; 家系 82-40、81-44、83-79 和 87-9 在英德表现良好, 在

富阳表现不佳,家系 82-33、U 6、83-85 和 86-1 的表现正好相反,这类家系属于局地适应型的优良家系。

(3) 优良家系的来源:4 个广谱型优系分别来源于广东韶关(83-71、83-76),浙江富阳(87-12, 87-13)。仅在富阳表现优良的 4 个局地型优系分别来源于广东英德(82-33)、广东台山(U 6)、广东韶关(83-85)、广东遂溪(86-1),均为南部优树后代。仅在英德表现优良的 4 个局地型优系分别来源于湖北武汉(82-40, 81-44)、广东韶关(83-79)、湖北荆州(87-9),4 个中有 3 个是北部优树后代。英德试点前 15 个家系有 9 个(60%)为北部优树的后代,富阳试点前 9 个家系有 6 个(66.7%)为南部优树的后代。这种南部(北部)优树后代在北部(南部)局部表现优良的现象是耐人寻味的,但由于两个试点的参试家系不完全相同,无法比较所有优良家系在两地的表现,故这种现象暂不足以规律性看待。

(4) 不同来源参试家系的优劣评价对种子园进一步建设及轮回选择工作中育种材料的合理使用有指导意义。据对火炬松 6 批自由授粉子代测定,149 个家系(含本试验英德及遂溪试点的参试家系)5~8 年生数据的分析结果,来源于江西武功山及湖北荆州彭场林场的后代优系比例较大<sup>[3]</sup>,而从本试验结果中却看不到明显的规律,武功山优树后代无突出表现,彭场优树后代仅在英德试点前 1/3 的家系中占有较大的比例,但无明显优势。由此看来,对火炬松次生产地的评价,尚需做更多、更系统的子代测定,才能得到更稳妥的结论。

(5) 广谱型和局地适应型优良家系的存在和选择,可作为种子园分类供种和初级园进一步疏伐改造的依据。为了充分发挥不同类型优良家系的作用,种子园应分区经营,以便有针对性地为不同的造林区提供合适的优系种子。若取 4 个广谱型优系,材积遗传增益为 6%~7%;分别取 4 个广谱型优系加上 4 个局地型优系,或各取前 1/3 的系定向供种,材积遗传增益为 5.4%~5.8%;分别取前 1/10 的系定向供种,则材积遗传增益为 8.3%~9.3%。如果对种子园进行去劣疏伐,保留相应的优系,则上述遗传增益均可成倍增加,分别达到 12%~13%、10.8%~11.6% 和 16.6%~18.6%。必须指出,这样的增益是在初级种子园有一定遗传增益的基础上取得的,因此有更重要的意义。

## 参考文献:

- [1] 钟伟华,陈炳铨,黄少伟,等.火炬松改良种子园营建技术报告[R].CPR/91/153 项目办公室,1997.
- [2] 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,1994,7(3):277~285.
- [3] 钟伟华,周达,何昭珩,等.149 个火炬松自由授粉家系的生长表现[J].华南农业大学学报,1998,19(1):82~87.
- [4] SAS Institute Inc SAS/STAT user's guide [M], version 6: vol 1, vol 2 fourth ed Cary,NC: SAS Institute Inc, 1990 891~996,1661~1673.
- [5] 郑永光.我省火炬松引种栽培区气候生态区划的研究[J].广东林业科技,1995,11(2):1~4.
- [6] Hodge G R, White T L. Concepts of selection and gain prediction [A]. In: Fins L, Friedman S T, Brotschol J V, eds Handbook of Quantitative Forest Genetics [M]. Kluwer Academic Pub., Dordrecht, 1992 141~194.
- [7] 潘志刚.火炬松、湿地松种源试验研究总报告[A].见:潘志刚主编.湿地松、火炬松种源试验研究[M].北京:北京科技出版社,1992 58~59.

## Progeny Test for the Open-pollinated Families of Loblolly Pine with Multiple Site

HUANG Shaowei<sup>1</sup>, ZHONG Wei-hua<sup>1</sup>, HUANG Kai<sup>2</sup>, JIANG Jing-min<sup>3</sup>

(1. Forestry College, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China;

2. Forestry Experimental Farm of Suixi County, Guangdong Province, Suixi 524300, Guangdong, China;

3. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** Fifty-two open-pollinated families of loblolly pine involved in a three-site progeny test were analyzed on their growth traits at the age of 6 years. Extremely significant differences were found among sites, with the largest amount of growth in Fuyang, the high latitude site, and the least amount of growth in Suixi, the low latitude site. Growth differences among families and effect of family  $\times$  site interaction were both significant. Therefore, different superior families should be selected for different forestation areas. We selected 15 and 9 superior families respectively for Yingde and Fuyang. Result of the test provided a basis for directional seeds supply and roguing of the primary seed orchard. With the above-mentioned selection rate, when seed from the superior clones were collected for suitable forestation area, the genetic gain of volume was estimated to be 5.4% ~ 5.8%. If the primary seed orchard was rogued and these superior clones were preserved, then the genetic gain of volume would be doubled, amount to 10.8% ~ 11.6%.

**Key words:** loblolly pine; open-pollinated family; progeny test; family  $\times$  site interaction; family selection; genetic gain