

# 枫香优树 14 年生子代遗传变异及选择

陈孝丑

(福建省林业科技试验中心,福建 南靖 363600)

**摘要:**在福建省洋口国有林场,对来自安徽省南部黄山地区的 53 个枫香家系进行子代测定,研究家系的遗传变异规律,开展优良家系及单株选择。结果表明:子代试验林 14 年生时,树高、胸径和单株材积平均值分别为 8.05 m、6.30 cm 和 0.014 93 m<sup>3</sup>,生长性状的家系遗传力为 0.437~0.576,受中强度的遗传控制,单株遗传力为 0.113~0.195,受较弱的遗传控制;木材材性的家系遗传力为 0.507~0.591,单株遗传力为 0.360~0.500,均受中强度的遗传控制。以生长量为主要指标,选出速生优良家系 9 个,其树高、胸径和单株材积平均值分别为 8.85 m、7.22 cm 和 0.021 49 m<sup>3</sup>,遗传增益分别为 2.86%、5.47% 和 13.4%;从木材基本密度大于 0.500 g·m<sup>-3</sup>的家系中选出 7 个生长材性兼优家系,树高、胸径、单株材积和木材基本密度的平均值分别为 8.34 m、6.79 cm、0.018 58 m<sup>3</sup> 和 0.518 g·m<sup>-3</sup>。所选出的速生优良家系和生长材性兼优家系可作为枫香育种材料在生产上推广应用。

**关键词:**枫香;家系;生长性状;材性;遗传变异;选择

中图分类号:S722.3<sup>+</sup>3

文献标识码:A

## Genetic Variation and Selection of 14-year-old *Liquidambar formosana* Progeny

CHEN Xiao-chou

(Forestry Science and Technology Test Center of Fujian Province, Nanjing 363600, Fujian, China)

**Abstract:** A progeny test containing 53 open-pollinated families of *Liquidambar formosana* from Huangshan, southern Anhui Province, was established in Yangkou Forest Farm of Fujian Province. Base on data collected from the progeny test, the genetic variation in growth and wood quality traits of the *L. formosana* families were estimated, and the superior families and individuals were selected. The mean height, DBH and volume of the 14-year-old trees were 8.05 m, 6.30 cm and 0.014 93 m<sup>3</sup>, respectively. The family heritabilities for growth traits were moderate, ranging from 0.437 to 0.576. The heritabilities of individual tree for growth traits were low, ranging from 0.113 to 0.195. The family heritabilities for wood quality traits were moderate, ranging from 0.507 to 0.591. The heritabilities of individual tree for growth traits were moderate, ranging from 0.360 to 0.500. The mean tree growth of height, DBH and volume of 9 selected fast-growing families were 8.85 m, 7.22 cm and 0.021 49 m<sup>3</sup>, respectively, and their genetic gain were 2.86%, 5.47% and 13.4%. Seven families with both fast-growing and good wood properties were selected from families with wood basic density over 0.500 g·cm<sup>-3</sup>. The mean height, DBH, volume and wood basic density of the 7 families were 8.34 m, 6.79 cm, 0.018 58 m<sup>3</sup> and 0.518 g·cm<sup>-3</sup>. The selected fast-growing families and selected families with both fast-growing and good wood properties were superior breeding material of *L. formosana* for plantation establishment on a large scale.

**Key words:** *Liquidambar formosana*; family; growth traits; wood property; genetic variation; selection

枫香 (*Liquidambar formosana* Hance) 属金缕梅科枫香属落叶乔木, 是我国重要的乡土阔叶树种。其树干通直圆满, 枝叶繁茂, 适应性强, 耐干旱瘠薄, 生长较迅速, 抗风抵寒能力强, 耐火烧, 对  $\text{SO}_2$  尤其氯化物有较强的抗性。在湿润肥沃的立地, 生长尤茂盛, 天然更新容易, 有“荒山先锋”树种之称, 广泛分布于南方各省区<sup>[1-2]</sup>。枫香枯落物易腐烂分解, 有利于提高地力; 材质优良, 可作为胶合板工业用材; 秋季叶色五彩缤纷, 是优良的城市园林景观和彩叶树种。开展枫香优良家系的选择, 对改善生态环境、调整林产品结构及提供优质工业用材和景观绿化树种种苗等均具有重要作用<sup>[3]</sup>。

作为我国一个重要的乡土阔叶树种, 枫香遗传改良方面的研究始于20世纪90年代, 起步较晚, 研究力量相对薄弱。施季森等<sup>[4]</sup>报道了枫香优树选择的标准、方法和步骤, 选出优树90株, 其中, 用材型占60%, 绿化型占5.6%, 用材、绿化兼用型占34.4%; 方乐金等<sup>[5]</sup>对我国第一批枫香优树的选择标准和方法进行了探讨, 对决选的90株优树, 按育种目标对秋叶色泽类型和主要生长指标进行了初步分析; 王洪云等<sup>[6]</sup>报道了枫香下胚轴的离体培养和植株再生实验结果; 成铁龙等<sup>[7]</sup>研究了枫香嫩枝扦插繁殖技术, 表明未经处理的幼年枫香嫩枝具备一定的生根能力, 所用激素以NAA的效果最好, 其最佳浓度为  $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 处理时间为30 min; 成铁龙等<sup>[8]</sup>、方乐金等<sup>[9]</sup>对枫香半同胞子代遗传变异进行了研究, 分析了枫香子代性状的遗传变异规律; 许鲁平<sup>[10]</sup>、叶代全<sup>[11]</sup>开展了枫香优树自由授粉子代测定和优良家系及单株的选择; 陈孝丑<sup>[12]</sup>研究了枫香优树自由授粉家系苗期生长性状变异规律。国外针对林木遗传改良的研究进行了报道<sup>[13-15]</sup>, 但对枫香的长期系统遗传改良研究较少。本文利用14年生优树子代测定林材料, 系统研究其生长和材性的家系遗传变异规律, 并进行生长与材性联合选择, 优选一批速生优质家系和个体。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1996年, 南京林业大学组织人员在安徽省黄山地区, 以人工栽培的公路行道树和枫香树种占较大比例的自然混交林为枫香选优主要群体, 从祁门县城通往赤岭和大观桥2地绵延85 km长的公路上及历口镇境内2个天然林群体内, 选出平均树高18 m, 平均胸

径26 cm, 树龄40~80 a不等的优树135株。1997年冬, 从135株优树中采集到其中53个枫香优树自由授粉家系种子, 1998年在福建省洋口国有林场单系播种育苗并开展子代测定。子代测定林采用完全随机区组设计, 5次重复, 8株单列小区, 参试家系53个, 1个对照(53个家系等量混合种子培育的苗木), 共54个处理。子代试验林株行距为  $2.3 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$ , 采用“挖明穴、回表土”造林技术, 穴规格为  $50 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 。2012年12月调查树高、胸径、地径和树干圆满度等, 并在试验林各小区中选择最大的2个单株钻取木芯, 采用最大饱和含水量法<sup>[16]</sup>测定木芯的基本密度, 并计算树皮率和偏心率。

### 1.2 数据处理及分析方法

对试验林各性状调查观测的数据经反复核对无误后输入计算机, 对树干圆满度、木材偏心率和树皮率等百分率性状经反正弦 ( $\arcsin \sqrt{x}$ ) 数据转换后进行统计分析<sup>[17]</sup>。树干圆满度为胸径与地径的比值。

单株材积 ( $V$ ):

$$V = 0.000\ 087\ 21D^{1.785\ 388\ 6}H^{0.931\ 392\ 37}$$

$$\text{树皮率} = 1 - (D_{1.3} - 2 \times \text{树皮厚})^2 / D_{1.3}^2 \times 100\%$$

$$\text{偏心率} = |\text{木芯半长} / \text{木芯全长} - 0.5| \times 100\%$$

以单株观测值进行方差分析的线性模型为<sup>[18-19]</sup>:

$$Y_{ijk} = \bar{x} + B_i + F_j + (B \times F)_{ij} + E_{ijk}$$

式中:  $Y_{ijk}$  为第  $i$  个区组第  $j$  个家系第  $k$  个观测值, 为群体平均值,  $B_i$  为第  $i$  个区组的固定效应值,  $F_j$  为第  $j$  个家系的随机效应值,  $(B \times F)_{ij}$  为第  $i$  个区组第  $j$  个家系的随机交互作用效应值,  $E_{ijk}$  为机误。

以单株值估算的遗传力和遗传增益如下<sup>[20]</sup>:

家系遗传力 ( $h_f^2$ ):

$$h_f^2 = \sigma_f^2 / (\sigma_e^2 / NB + \sigma_\beta^2 / B + \sigma_f^2)$$

$$\text{单株遗传力} (h_s^2): h_s^2 = 4\sigma_f^2 / (\sigma_e^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_f^2)$$

$$\text{遗传增益} (\Delta G): \Delta G = S h_f^2 / \bar{x} \times 100\%$$

式中,  $\sigma_f^2$  为家系间方差分量,  $\sigma_\beta^2$  为家系与区组的交互作用方差分量,  $\sigma_e^2$  为环境方差分量,  $N$  为小区简单调和平均株数,  $B$  为区组数,  $S$  为选择差, 为群体平均值。

数据统计分析采用 SAS6.12 国际通用统计分析软件<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 家系性状遗传变异

2.1.1 家系生长与材性性状表现 表1表明: 树

高、胸径、地径、单株材积和树干圆满度的平均值分别为 8.05 m、6.30 cm、9.36 cm、0.014 93 m<sup>3</sup>、0.68；皮厚、偏心率、树皮率和木材基本密度的平均值分别为 0.230 cm、4.1%、12.2%、0.504 g·cm<sup>-3</sup>。各性状变异系数均较大,为 9.90%~75.72%,其中,单株材积的变异系数最大,为 75.72%;木材基本密度的变异系数最小,为 9.90%。分析表明,枫香生长与材性性状在家系间表现差异均较大,表型变异丰富,为速生优质材料的选择提供了依据。

2.1.2 家系生长性状遗传变异 方差分析和遗传力估算结果(表 2)表明:树高、胸径、地径、单株材积和树干圆满度在重复、家系、重复和家系交互作用间的差异均达极显著。立地条件、遗传因素、立地条件

表 1 14 年生枫香子代试验林生长及材性表现

性状	均值	家系变异系数/%
树高/m	8.05	26.33
胸径/cm	6.30	30.46
地径/cm	9.36	26.04
单株材积/m <sup>3</sup>	0.014 93	75.72
树干圆满度	0.68	11.85
皮厚/cm	0.230	30.90
偏心率/%	4.1	73.90
树皮率/%	12.2	44.60
木材基本密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.504	9.90

和遗传因素的交互作用对枫香的生长均具有显著的影响。因此,通过开展枫香家系区域测定选择速生优良家系,评判不同家系对立地条件的适应性要求。

表 2 14 年生枫香子代测定林生长性状的方差分析与遗传力估算

性状	变异来源	自由度	均方	F 值	家系遗传力	单株遗传力
树高	重复	4	854.73	187.18 **		
	家系	53	19.90	4.36 **	0.456	0.165
	重复×家系	212	11.19	2.45 **		
胸径	重复	4	498.869	116.06 **		
	家系	53	17.686	4.11 **	0.548	0.195
	重复×家系	212	8.176	1.90 **		
地径	重复	4	996.475	128.51 **		
	家系	53	29.033	3.74 **	0.576	0.193
	重复×家系	212	12.544	1.62 **		
单株材积	重复	4	0.013 535	131.78 **		
	家系	53	0.000 490	4.77 **	0.437	0.167
	重复×家系	212	0.000 282	2.74 **		
树干圆满度	重复	4	0.928 79	31.66 **		
	家系	53	0.050 90	1.74 **	0.449	0.113
	重复×家系	212	0.039 58	1.35 **		

注: \*\* 表示在 0.01 水平上显著。

由表 2 还可知:树高、胸径、单株材积和树干圆满度的家系遗传力分别为 0.456、0.548、0.437 和 0.449,单株遗传力分别为 0.165、0.195、0.167 和 0.113,说明树高、胸径、单株材积和树干圆满度在家系水平遗传变异的 45.6%、54.8%、43.7% 和 44.9% 可稳定遗传至家系后代,单株水平遗传变异的 16.5%、19.5%、16.7% 和 11.3% 可稳定遗传至单株后代。树高、胸径、单株材积和树干圆满度在家系水平上均受中强度的遗传控制,而在单株水平上受较弱的遗传控制。因此,开展枫香优树子代测定,进行速生优良家系的选择对遗传改良工作尤为重要。

2.1.3 家系木材基本材性遗传变异 表 3 表明:偏心率在重复与家系的互作效应达显著水平,树皮率在重复间的差异达极显著水平,木材基本密度在家系、重复与家系的互作效应达显著水平。表明不同

立地条件下,木材基本材性在重复、家系及重复与家系互作效应的显著性不同,家系的偏心率、树皮率和木材基本密度对立地条件的敏感性不同。因此,在开展优良家系选择时,需因地制宜,选择适合不同立地条件的木材基本材性表现优异的家系。

为进一步阐明枫香家系木材基本材性受遗传因素控制的程度,在方差分析的基础上对差异显著的性状进行方差分解,并估算遗传分量。材性性状遗传参数估算结果(表 4)表明:皮厚、偏心率、树皮率、木材基本密度的家系遗传力分别为 0.518、0.507、0.554 和 0.591,单株遗传力分别为 0.413、0.360、0.444 和 0.500,表明枫香在家系和个体水平上均受中强度的遗传控制,且家系水平上所受的遗传控制更强,其中,木材基本密度在家系水平遗传变异的 59.1% 可稳定遗传给后代。可见,按木材基本材性

指标进行优良家系选择可以取得较好的改良效果。

表3 14年生枫香子代测定林木材基本材性的方差分析

性状	变异来源	自由度	均方	F值
皮厚	重复	4	0.054 453	0.66
	家系	53	0.057 950	0.71
	重复×家系	212	0.040 271	0.49
偏心率	重复	4	0.006 204	0.84
	家系	53	0.005 134	0.69
	重复×家系	212	0.009 214	1.24*
树皮率	重复	4	0.041 215	6.20**
	家系	53	0.008 992	1.35
	重复×家系	212	0.004 391	0.66
木材基本密度	重复	4	0.001 985	0.92
	家系	53	0.003 345	1.55*
	重复×家系	212	0.002 812	1.31*

注: \*\*表示在0.01水平上显著, \*表示在0.05水平上显著。

表4 14年生枫香子代测定林材性性状遗传参数的估算

性状	方差分量			家系	单株
	家系	重复×家系	误差	遗传力	遗传力
皮厚	0.011 843	0.021 020	0.081 940	0.518	0.413
偏心率	0.000 824	0.000 910	0.007 417	0.507	0.360
树皮率	0.000 970	0.001 131	0.006 643	0.554	0.444
木材基本密度	0.000 355	0.000 329	0.002 155	0.591	0.500

## 2.2 家系性状相关性分析

从表5可知:子代测定林14年生时,胸径与皮厚呈极显著正相关,与偏心率和树皮率呈极显著负相关,与木材基本密度呈负相关,但相关不显著。由此可见,胸径越大,树皮厚度越大,树皮率和偏心率越小,而胸径和木材基本密度具有相对独立性,为选择生长材性兼优的家系提供了依据。树皮率与皮厚、偏心率呈极显著正相关,相关系数分别为0.555 3、0.699 2。木材基本密度与皮厚、树皮率、偏心率的相关均不显著,相关系数均很小,说明木材基本材性具有相对独立性,进行枫香生长材性兼优家系选择是可行和有效的。

表5 14年生枫香子代测定林胸径和材性性状间的表型相关系数

性状	胸径	皮厚	偏心率	树皮率	木材基本密度
胸径					
皮厚	0.346 3**				
偏心率	-0.172 0**	0.107 0*			
树皮率	-0.381 5**	0.555 3**	0.699 2**		
木材基本密度	-0.000 1	0.046 8	0.005 5	0.031 9	

## 2.3 优良家系及单株选择

根据家系单株材积遗传增益排名,选出单株材积遗传增益在9%以上的枫香速生优良家系9个

(表6),家系号分别为5、58、102、108、110、111、113、131、135,入选率16.7%。入选家系树高、胸径和单株材积的平均值分别为8.85 m、7.22 cm、0.021 49 m<sup>3</sup>,平均遗传增益分别为2.68%、5.47%、13.40%。

表6 14年生枫香子代测定林速生优良家系的生长性状

排名	家系	树高		胸径		单株材积	
		值/m	增益/%	值/cm	增益/%	值/m <sup>3</sup>	增益/%
1	58	8.93	2.93	7.91	9.06	0.026 03	21.64
2	108	9.52	4.90	7.46	6.52	0.023 40	16.87
3	131	9.31	4.18	7.31	5.68	0.022 12	14.55
4	5	8.58	1.78	7.12	4.62	0.021 98	14.28
5	111	8.63	1.93	7.15	4.80	0.020 54	11.69
6	135	8.65	2.01	7.34	5.86	0.020 47	11.56
7	110	8.94	2.96	7.10	4.48	0.020 38	11.39
8	102	8.43	1.25	6.60	4.57	0.019 27	9.38
9	113	8.70	2.16	6.96	3.68	0.019 22	9.28
平均值		8.85	2.68	7.22	5.47	0.021 49	13.40

选择优良家系的同时,从子代试验林中筛选出28株优良单株,树高、胸径、单株材积的平均值分别为12.03 m、11.36 cm、0.063 38 m<sup>3</sup>,单株遗传增益的平均值分别为4.2%、8.42%、24.34%,其中,18株为入选优良家系中的优良单株,占总入选优良单株的64.3%,说明优良家系中优良单株的入选率较高。

以木材基本密度大于0.500 g·m<sup>-3</sup>,且生长量和木材基本密度均排在54个参试家系的前20名内为标准,选择出7个生长材性兼优家系(表7),家系号分别为113、62、127、116、132、67、134。从表7可知:树高、胸径、单株材积和木材基本密度的平均值分别为8.34 m、6.79 cm、0.018 58 m<sup>3</sup>和0.518 g·m<sup>-3</sup>,平均遗传增益分别为0.95%、2.73%、8.13%和0.99%,表现出较好的增益水平。

## 3 结论与讨论

(1)14年生枫香优树子代试验林各生长性状变异系数均较大,单株材积的变异系数达75.72%,树高、胸径、地径、单株材积和树干圆满度在家系间均差异极显著,表明枫香家系间存在着丰富的表型变异,开展枫香优良家系选择具有极大潜力。树高、胸径和单株材积等生长性状的家系遗传力达0.437以上,说明家系生长受中强度遗传控制;单株遗传力均在0.2以下,说明单株生长受较弱的遗传控制。同时,木材皮厚、偏心率、树皮率、木材基本密度等木材材性的家系遗传力在0.507以上,单株遗传力在0.360以上,均受中强度的遗传控制。因此,从生长性状和木材材性

表7 14 年生枫香子代测定林生长材性兼优家系的生长性状与木材基本密度

家系号	密度排名	单株材积排名	树高		胸径		单株材积		木材基本密度	
			值/m	增益/%	值/cm	增益/%	值/m <sup>3</sup>	增益/%	值/(g·m <sup>-3</sup> )	增益/%
113	6	8	8.70	2.16	6.96	3.68	0.019 22	9.28	0.524	1.39
62	17	9	8.48	1.45	6.87	3.19	0.018 78	8.48	0.513	0.64
127	19	10	8.74	2.30	6.92	3.47	0.018 76	8.45	0.509	0.35
116	9	11	8.23	0.59	6.82	2.90	0.018 66	8.26	0.520	1.16
132	14	12	8.17	0.40	6.78	2.67	0.018 56	8.08	0.516	0.84
67	3	14	7.96	-0.32	6.53	1.32	0.018 36	7.72	0.531	1.91
134	16	18	8.08	0.08	6.64	1.91	0.017 76	6.64	0.513	0.64
平均值			8.34	0.95	6.79	2.73	0.018 58	8.13	0.518	0.99

等方面进行优良家系的选择在实践上是可行的,在选出的优良家系中再进行优良单株选择,将获得更大遗传增益。

(2) 枫香优树子代试验林 14 年生时,胸径与皮厚呈极显著正相关,与偏心率和树皮率呈极显著负相关,而胸径和木材基本密度虽然呈负相关,但相关性很小,接近于零。因此,胸径越大,树皮厚度也越大,树皮率和偏心率则越小,木材基本密度具有相对独立性。可见,通过对生长性状进行测定选择出的优良家系,其树皮率和偏心率相对较小,可以同时解决材性的缺陷问题,提高出材率,但还要从测定林后期的采伐利用中来验证。从木材基本密度相对独立性的角度,说明生长与材性兼优家系选择的可行性,对生长量选择的同时可以注重材质指标的选择,为枫香等阔叶树种的遗传改良开辟了一条新的途径。

(3) 根据遗传变异分析结果,选择出 9 个枫香速生优良家系和 28 株优良单株。28 株优良单株中有 18 株来自 9 个优良家系的子代,占总入选优良单株的 64.3%,说明开展优良家系选择是优良单株选择的重要基础,是提高育种效率的有效手段。家系遗传变异和相关性分析表明,生长性状和木材基本性状具有相对独立的遗传性,为生长与材性兼优家系的选择提供了理论依据。根据枫香优树子代试验林生长量和木材基本密度的表现,选择出 7 个生长材性兼优的优良家系在生产上推广,但这些家系目前只在福建省进行了子代测定,其适应性表现还有待通过进一步的区域测定来评价。

## 参考文献:

- [1] 陈有民. 园林树木学[J]. 北京: 中国林业出版社, 1988: 394-395.
- [2] 刘增荣. 枫香的多种用途和适应能力[J]. 湖南林业科技, 1990(2): 32-33.
- [3] 施季森, 成铁龙, 王洪云. 中国枫香育种研究现状[J]. 林业科技开发, 2002, 16(3): 17-19.
- [4] 施季森. 朱胜利. 中国枫香多目标育种的研究(I): 中国枫香优树

选择[J]. 林业科技通讯, 1997(10): 15-16.

- [5] 方乐金, 施季森. 不同林龄枫香子代性状变异与家系选择[J]. 林业科技开发, 2010, 24(1): 50-52.
- [6] 王洪云, 诸葛强, 何祯祥, 等. 枫香下胚轴的离体培养和植株再生[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(2): 136-137.
- [7] 成铁龙, 施季森. 中国枫香嫩枝扦插繁殖技术[J]. 林业科技开发, 2003, 17(1): 36-37.
- [8] 成铁龙, 施季森. 枫香半同胞子代遗传变异研究[J]. 南京林业大学学报, 2005, 29(1): 29-32.
- [9] 方乐金, 施季森, 李力, 等. 枫香子代性状的遗传变异分析[J]. 林业科学, 2003, 39(3): 148-152.
- [10] 许鲁平. 枫香优良家系和单株选择研究[J]. 福建林业科技, 2002, 29(2): 26-30.
- [11] 叶代全. 枫香优树自由授粉子代测定与速生优良家系选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(8): 79-82.
- [12] 陈孝丑. 中国枫香优树自由授粉家系苗期生长性状变异[J]. 林业勘察设计, 2008(1): 83-85.
- [13] Yarghese M, Lindgren D, Nieodemus A. Fertility and effective population size in seedling seed orchards of *Casuarina equisetifolia* and *C. junghuhniana*[J]. *Silvae Genetica*, 2005, 53(4-5): 164-167.
- [14] Huber D A, White T L, Littell R C, et al. Ordinary least squares estimation of general and specific combining abilities from half-diallel mating designs[J]. *Silv Genet*, 1991, 41(4/5): 263-273.
- [15] King J N, Carson M J, Johnson G R. Analysis of disconnected diallel mating designs II: Results from a third generation progeny test of the new Zealand radiata pine improvement programme[J]. *Silv Genet*, 1997, 47(2/3): 80-87.
- [16] Smith D M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples[J]. USDA, For Serv, For Prod Lab, 1954, 2: 14.
- [17] 叶培忠, 陈岳武. 杉木早期选择的研究[J]. 南京林产工业学院学报, 1981(3): 22-32.
- [18] 叶志宏, 施季森, 翁玉榛, 等. 杉木十一个亲本双列交配遗传分析[J]. 林业科学研究, 1991, 4(4): 380-385.
- [19] 戴君惕, 杨德. 相关遗传力及其在育种上的应用[J]. 遗传学报, 1983, 10(5): 375-383.
- [20] 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.
- [21] 惠大丰, 姜长鉴. 统计分析系统 SAS 软件实用教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.