

## 7年生短枝木麻黄优良无性系选择的研究

马妮<sup>1</sup>, 仲崇禄<sup>1\*</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 姜清彬<sup>1</sup>, 陈羽<sup>1</sup>,  
陈珍<sup>1</sup>, 方法之<sup>2</sup>, 胡盼<sup>1</sup>, 朱德武<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 海南省林业科学研究所,  
海南 海口 570100; 3. 海南文昌市林业科学研究所, 海南 文昌 571300)

**摘要:**以海南2个试验点上各含17个无性系的短枝木麻黄无性系为试验材料,进行树高、胸径、单株材积、主干分叉习性、主干通直度和保存率等6个性状的方差分析,并估算出6个性状的遗传相关和遗传力及指数选择等遗传参数。结果表明:无性系和地点的交互作用除了主干分叉习性有显著差异( $p < 0.05$ )外,其他性状在无性系间差异均极显著( $p < 0.001$ )。当不考虑无性系和地点互作时,无性系间不同性状的重复力均较高,为0.35~0.85,其中,树高重复力最高,主干分叉习性最低。遗传相关分析结果表明:树高、胸径、单株材积和保存率之间的表型及遗传存在极显著的正相关。树高、胸径、单株材积、主干分叉习性、主干通直度和保存率的平均遗传增益分别为6.5%、4.8%、10.9%、3.7%、1.5%和8.1%,筛选可获得明显的遗传增益。通过Smith-Hazel指数选择并按20%的入选率,选育出编号17、21和20三个优良无性系。

**关键词:**短枝木麻黄;无性系;遗传育种;选择

中图分类号:S792.93 文献标识码:A

### Superior Clone Selection of *Casuarina equisetifolia*

MA Ni<sup>1</sup>, ZHONG Chong-lu<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>1</sup>, JIANG Qing-bin<sup>1</sup>, CHEN Yu<sup>1</sup>,  
CHEN Zhen<sup>1</sup>, FANG Fa-zhi<sup>2</sup>, HU Pan<sup>1</sup>, ZHU De-wu<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 2. Hainan Forestry Institute,  
Haikou 570100, Hainan, China; 3. Wenchang Forest Research Institute, Wenchang 571300, Hainan, China)

**Abstract:** 17 casuarina clones grown in two sites in Hainan, viz. Daodong Forest Farm and Wenchang Forest Institute, were assessed for tree height, diameter at breast height, individual volume, axis persistence, stem straightness and survival percentage. The result indicated that genetic variations of those 6 traits were significant differences ( $p < 0.05$  or  $p < 0.001$ ) not only in tree growth indexes at each site but also genotype and site interaction among 17 clones. Meanwhile, the repeatability varied from 0.35 (axis persistence) to 0.85 (height). The genetic correlation was analyzed as well, it was showed that the height, diameter at breast height, individual volume and survival percentage had highly significant correlation. In addition, the mean genetic gains in height, diameter at breast height, individual volume, axis persistence, stem straightness and the survival percentage were 6.5%, 4.8%, 10.9%, 3.7%, 1.5% and 8.1% respectively. Three superior clones were selected from the 17 clones.

**Key words:** *Casuarina equisetifolia*; clone; genetic variation; genetic correlation; selection

收稿日期:2014-01-01

基金项目:“十二·五”林业科技支撑计划专题“抗逆生态树种木麻黄新品种选育(2012BAD01B0603)”;广东省林业科技创新专项资金项目“抗逆木麻黄选育及防护林构建技术研究与示范(010KJXC009-1和2011KJX018-01)”;“十一·五”林业科技支撑计划专题“热带防台风防护体系研究与示范(2009BADB2B0303)”

作者简介:马妮(1984—),女,山东威海人,在读博士研究生.主要研究方向:林木遗传育种.

\* 通讯作者:仲崇禄,博士,研究员.主要研究方向:林木遗传育种.

木麻黄科(Casuarinaceae)植物共4属96种,其天然分布于澳大利亚、东南亚及太平洋群岛,是热带、亚热带地区重要的防护林、用材林和多用途林树种,对海岸带防风固沙和生态系统的恢复及贫瘠退化山地的土壤改良具有重要作用,特别在沿海前缘沙地仍无其他树种可替代<sup>[1]</sup>。我国引种木麻黄100多年来,科研工作者借助国际合作项目,在木麻黄良种选育方面取得了重大进展<sup>[2-7]</sup>。木麻黄的水培扦插生根技术被发明后<sup>[8]</sup>,人们开始从实生林中选择并水培繁殖了一批优良无性系在生产上大规模应用,使得木麻黄人工林的生产力得到显著提高,极大地改善了防护林种植材料的遗传品质和沿海生态环境。20世纪90年代选择的优良无性系如“Bao-9”、“A8”、“A13”、“501”、“701”等仍在生产上大规模应用<sup>[7]</sup>;但这些长期应用的无性系多数已出现长势、保存率和抗逆性显著下降的现象,为此选育木麻黄新品系,增加沿海木麻黄遗传资源多样性显得尤为迫切。

当前,我国沿海木麻黄人工林面临着资源缺乏的问题,使用最频繁的无性系数量只有15个左右,其中,海南有2~3个,但95%以上人工林使用单一无性系“Bao-9”,广东主要有3~5个,福建主要有5~7个<sup>[9]</sup>。大量实践证明,利用无性系造林时,必须保证无性系数量充足,使同一经营单位一般大于10个。无性系单一会导致人工林病虫害发生加剧,林地生产力下降<sup>[10]</sup>。自1994年起,中国林科院热林所的科研人员进行了木麻黄的遗传改良研究,除开展木麻黄国际种源/家系试验外,针对育种目标,从经过遗传选择、具有较高的生产力或适应性的现存无性系中选择出优良的木麻黄杂交育种材料。本试验将从国内收集的17个无性系,利用小枝水培生根后在海南试验点进行测定,开展优良育种材料的系统评价和选择,为以后木麻黄的杂交育种提供材料,对逐步提高华南沿海木麻黄防护林的生态效益和经济效益具有重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验点概况

两试验点分别设在岛东林场和文昌市林科所。岛东点位于海南省文昌市翁田镇岛东林场(19°36'N, 110°42'E),海拔30 m,年均气温23.8℃,年降水量2 022 mm,土壤为滨海沙土,pH=5.86,肥力较低,前茬为西瓜。文昌林科所试验点位于海南省文

昌市迈号镇(19°34'N, 110°40'E),海拔38 m,年均气温23.8℃,年降水量1 721.6 mm,土壤为滨海沙土,pH=5.42,肥力较低,前茬为甘蔗,该试验点属于低洼地,地下水位较高,雨后积水较严重。

### 1.2 试验材料

以选育自海南、广东和福建的17个短枝木麻黄0.5年生无性系为试验材料,各参试无性系的选育地点见表1。

表1 2个试验点17个短枝木麻黄无性系的选育地点

无性系号	选育地点	无性系号	选育地点
3	广东广州	17	福建
4	广东广州	20	福建
6	广东湛江	21	福建
7	广东湛江	27	福建
9	广东湛江	28	福建
10	广东湛江	34	广东湛江
14	福建	36	福建
15	福建	38	海南岛东
16	福建		

### 1.3 试验设计与观测项目

2003年3月各无性系小枝水培育苗生根,2003年9月台风雨季造林,两试验点均采用随机完全区组设计,4次重复。岛东试验点采用每小区8株×2行,株行距1.5 m×3 m;文昌试验点采用每小区4株×5行,株行距2 m×3 m;穴规格均为40 cm×40 cm×40 cm。试验地四周种植2行相思树作为保护行,造林不施基肥,造林后第2年追肥,每株施复合肥100 g。

2010年9月全面观测,对两试验点的无性系进行每木调查。观测性状包括树高( $H$ , m)、胸径( $D_{BH}$ , cm)、主干分叉习性( $AP$ )、主干通直度( $SS$ )和保存率等(%),通过树高和胸径计算树木单株材积( $V$ ,  $m^3 \cdot 株^{-1}$ )。

### 1.4 数据处理

各生长性状以单株测定数据进行统计分析,通过GenStat和SAS统计软件,利用混合线性模型对各性状的数据进行方差分析、相关分析和重复力估算。采用最小显著差异法(LSD)进行多重比较。保存率为小区存活的总株数除以种植总株数,单株材积( $V$ ,  $m^3 \cdot 株^{-1}$ )计算公式为:

$$V = 3.141\ 592\ 6 \times D_{BH} \times D_{BH} \times H / 120\ 000^{[11]}$$

6个性状的方差分析模型为:

$$Y_{ij} = B_i + S_k + PS_{jk} + E_{ijkl}$$

式中: $B_i$ 为区组效应, $S_k$ 为地点效应, $PS_{jk}$ 为无性系与立地间互作效应, $E_{ij}$ 为误差效应<sup>[12]</sup>。

在方差分析前,对质量性状数据进行平方根转换,使其符合正态分布特点,质量性状分级标准如下<sup>[2,13]</sup>:

a. 主干分叉习性分6级:

- 1——主干在地表有分叉;
- 2——主干在地表至1/4树高之间有分叉;
- 3——主干在1/4至2/4树高之间有分叉;
- 4——主干在2/4至3/4树高之间有分叉;
- 5——主干在3/4至4/4树高之间有分叉;
- 6——主干无分叉;

b. 主干通直度分4级:

- 1——树干有2段以上呈明显弯曲;
- 2——树干有2段以上稍弯或1~2段明显弯曲;
- 3——树干有1~2段稍微弯曲;
- 4——整个树干通直;

多性状选择采用 Smith-Hazel 指数选择法进行选择,指数选择函数公式为<sup>[14]</sup>:

$$I = \sum_{i=1}^n b_i x_i = B'x$$

式中: $I$ 为选择指数值, $b_i$ 为*i*性状的指数系数,

$x_i$ 为*i*性状的表型值; $B' = P_2^{-1} \cdot G_{21} \cdot A$ , $P_2$ 为选择性状的表型协方差矩阵, $G_{21}$ 为选择性状的遗传协方差矩阵, $A$ 为选择性状的相对经济权重,各性状的经济权重采用等权重法进行估算。

遗传增益的公式如下<sup>[15-16]</sup>:

$$\Delta G = h_f^2 \cdot S \cdot \bar{X}^{-1}$$

式中: $\Delta G$ 为遗传增益(%), $S$ 为入选无性系均值与无性系总均值的离差, $\bar{X}$ 为无性系总均值, $h_f^2$ 为无性系重复力。

## 2 结果与分析

### 2.1 无性系各性状的遗传变异

由表2可知:无性系间的6个性状差异均极显著,说明测定的无性系间存在真实的遗传差异,开展无性系选择试验是有效可行的。通过选择,能从中获得显著的遗传增益。生长性状在无性系间、无性系与试验点互作方差估算结果显示:除主干分叉习性呈显著差异( $p < 0.05$ )外,其余性状均呈极显著差异( $p < 0.01$ ),说明除不同无性系各性状存在显著差异外,相同无性系在不同环境的生长表现也具有较大差异。

表2 木麻黄无性系6个性状的方差分析

性状	变异来源	自由度	总方差	均方	F值	Pr > F
树高	无性系	16	2 375.29	148.46	18.36	<0.000 1
	无性系 × 地点	16	1 196.63	74.79	9.93	<0.000 1
胸径	无性系	16	2 712.29	169.52	16.28	<0.000
	无性系 × 地点	16	1 267.469	79.217	8.05	<0.000 1
单株材积	无性系	16	0.425	0.026 5	15.99	<0.000 1
	无性系 × 地点	16	0.194	0.012 1	7.72	<0.000 1
主干分叉习性	无性系	16	98.42	6.15	2.04	0.000 2
	无性系 × 地点	16	599.36	37.46	1.57	0.035
主干通直度	无性系	16	65.73	4.11	9.42	<0.000 1
	无性系 × 地点	16	774.4	48.40	3.54	<0.000 1
保存率	无性系	16	1 698.5	106.16	8.76	<0.000 1
	无性系 × 地点	16	2 632.32	164.52	4.52	<0.000 1

由表3可知:文昌试验点表现最好的无性系(21号)的树高、胸径和单株材积比最差无性系(38号)分别增大69.9%、68.8%和444.4%,比平均值分别提高12.7%、15.3%和46.3%;岛东试验点生长表现最好的无性系(4号)的树高、胸径和单株材积比最差无性系(3号)分别增大29.1%、51.2%和147.5%,比平均值分别提高5.3%、11.0%和22.2%。由于无性系在两试验点存在显著的互作关系,各无性系在两试验点的表现并不完全相同,如在文昌试验点,单株材积高于平均值的8个无性系由

大到小的排列为:21 > 4 > 17 > 36 > 20 > 27 > 34 > 16;而在岛东试验点单株材积高于平均值的10个无性系由大到小的排列为:4 > 34 > 9 > 36 > 16 > 21 > 20 > 17 > 10 > 6;在无性系的干形性状上,除个别无性系的得分特别低外(如9号无性系的主干通直度在2个试验点分别是1.80和1.42),多数无性系的没有显著差异;在保存率方面,文昌试验点无性系的保存率最高为95.0%,最低仅为35.0%,而岛东试验点无性系的保存率最高达100.0%,最低为48.4%,总体上比文昌试验点的高。

表3 2个试验点木麻黄无性系各性状的均值、多重比较、标准差及变异系数

无性系	文昌试验点						岛东试验点					
	树高/ m	胸径/ cm	单株材积/ (m <sup>3</sup> ·株 <sup>-1</sup> )	主干通 直度	分叉 习性	保存率 /%	树高 /m	胸径 /cm	单株材积/ (m <sup>3</sup> ·株 <sup>-1</sup> )	主干通 直度	分叉 习性	保存率 /%
21	16.46	14.28	0.098	5.23	3.41	87.5	16.05	14.46	0.093	5.80	3.85	85.9
4	15.17	13.60	0.082	4.80	3.23	88.8	15.98	15.04	0.099	4.52	3.80	82.8
17	15.91	13.40	0.081	4.82	3.85	95.0	15.25	14.46	0.087	5.86	3.76	98.4
34	15.21	13.37	0.076	5.44	3.64	93.8	16.19	14.85	0.099	4.25	3.64	95.3
36	15.54	13.36	0.081	4.65	3.12	85.0	15.98	14.09	0.096	5.85	3.84	48.4
27	15.03	13.35	0.077	3.23	2.74	73.8	15.25	13.65	0.079	3.26	3.76	89.1
20	15.83	13.17	0.079	5.87	2.23	92.5	16.70	14.06	0.091	5.26	3.50	82.8
16	15.03	13.13	0.068	4.86	3.65	88.8	15.97	14.74	0.095	4.52	3.26	92.2
7	13.88	12.61	0.064	4.20	2.32	87.5	14.94	12.13	0.062	5.68	3.64	96.9
14	14.63	12.12	0.061	5.88	2.53	95.0	14.55	12.01	0.061	3.45	3.54	100.0
15	13.00	11.89	0.062	4.62	3.70	55.0	10.39	10.14	0.043	2.16	3.80	65.6
28	14.86	11.46	0.056	5.25	2.22	77.5	15.60	12.99	0.078	5.50	3.62	54.7
9	13.37	11.19	0.048	4.36	1.80	75.0	15.14	15.33	0.098	4.52	1.42	93.8
6	13.07	10.62	0.042	5.64	3.34	72.5	15.56	13.98	0.084	5.65	3.20	96.9
3	13.38	10.36	0.044	5.47	3.82	85.0	12.38	9.95	0.040	5.82	3.45	68.8
10	13.73	10.18	0.042	4.58	3.24	50.0	15.26	14.00	0.087	4.53	2.41	78.1
38	9.69	8.46	0.018	5.82	3.52	35.0	15.52	12.93	0.077	5.90	3.68	81.3
总平均	14.61	12.39	0.067	5.04	3.08	78.7	15.17	13.55	0.081	4.85	3.54	83.0
LSD	1.05	1.48	0.016	1.34	0.68	25.4	1.14	1.68	0.020	1.68	0.54	21.6
标准差	2.45	3.17	0.039	0.76	0.65	17.3	2.50	3.04	0.041	1.10	0.35	15.5
变异系数/%	16.78	25.55	57.23	15.14	20.98	21.9	16.46	22.42	50.01	22.68	9.86	18.7

2.2 无性系表型与遗传的相关性

由表4看出:各性状的重复力都相对较高,为0.35~0.85,其中,树高的重复力最高,主干分叉习性的重复力最低。因此,在木麻黄无性系的早期选择过

程中应以树高选择为主。在各性状的表型和遗传相关关系上,树高、胸径、单株材积和保存率两两之间都存在极显著的正相关关系,而主干分叉习性、主干通直度分别与树高、胸径和材积的相关性均不显著。

表4 木麻黄无性系表型相关(左下角)与遗传相关(右上角)及性状重复力

性状	树高	胸径	单株材积	主干分叉习性	主干通直度	保存率	重复力
树高		0.897**	0.910**	-0.165 <sup>ns</sup>	-0.095 <sup>ns</sup>	0.806**	0.85
胸径	0.583**		0.983**	-0.294 <sup>ns</sup>	-0.027 <sup>ns</sup>	0.758**	0.62
单株材积	0.712**	0.933**		-0.248	-0.015 <sup>ns</sup>	0.714**	0.57
主干分叉习性	0.189 <sup>ns</sup>	-0.012 <sup>ns</sup>	0.012 <sup>ns</sup>		0.169 <sup>ns</sup>	0.074 <sup>ns</sup>	0.35
主干通直度	-0.041 <sup>ns</sup>	-0.034 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	0.079 <sup>ns</sup>		-0.134 <sup>ns</sup>	0.41
保存率	0.561**	0.556**	0.483**	-0.035 <sup>ns</sup>	-0.126 <sup>ns</sup>		0.69

注: \*\*表示极显著相关;ns表示无相关性

2.3 无性系多性状指数选择

采用单株材积、主干分叉习性、主干通直度和保存率4个性状对17个木麻黄无性系进行指数选择,按等权重法计算得到4个性状的经济权重向量为25.00、1.08、2.00、0.061。无性系选择指数方程为:

$$I = 10.606 V + 0.694 AP + 0.116 SS + 0.040 SP$$

式中:V为单株材积,AP为主干分叉习性,SS为主干通直度,SP为保存率。

根据指数方程计算各无性系的选择指数值并对指数值进行排列(表5)。按20%的入选率,无性系17、21和20是4个性状综合表现较好的无性系。

表5 木麻黄无性系的选择指数值及排名

无性系	选择指数值	排名	无性系	选择指数值	排名
17	8.94	1	3	7.88	10
21	8.76	2	36	7.67	11
20	8.63	3	9	7.44	12
34	8.52	4	28	7.44	13
6	8.38	5	38	7.33	14
16	8.17	6	10	6.75	15
14	8.17	7	27	6.74	16
7	8.16	8	15	5.77	17
4	8.06	9			

2.4 无性系选择的遗传增益估算

利用已获得的无性系的重复力及入选无性系的

均值和总均值的选择差,计算出各木麻黄无性系选择后的遗传增益。利用木麻黄无性系通过单性状选择和多性状指数选择后,获得的遗传增益进行比较(表6)可知:单性状选择获得的遗传增益高于多性状指数选择获得的遗传增益,但指数选择可以同时进行多性状选择,达到更理想的选择效果。

表6 木麻黄单性状选择和多性状指数选择的遗传增益

选择方法	树高/%	胸径/%	单株材积/%	主干分叉性/%	主干通直度/%	保存率/%
单性状选择	7.91	7.09	15.83	5.70	6.04	13.13
多性状指数选择	6.53	4.79	10.91	3.74	1.53	8.11

注:按20%的入选率进行选择。

### 3 结论与讨论

木麻黄不同无性系各生长性状间存在极显著差异,与其它无性系测定结果相似<sup>[8-9,17-18]</sup>。本试验中,木麻黄不同无性系的各生长性状存在极显著差异。树高、胸径、单株材积和保存率的重复力均较高,说明从这些性状开展无性系选择均能获得较高的遗传增益。在表型和遗传相关方面,树高、胸径、单株材积三者间存在极显著的表型和遗传相关关系,说明只需选其中的一个性状便可达到选择效果,通常采用单株材积作为指数选择的指标。

林木多性状选择的方法很多,包括单项排列选择法、独立淘汰法、主成分遗传分析法、综合评分法和指数选择法等,这些选择方法各有利弊,其中,Smith-Hazel 指数选择法<sup>[19]</sup>结合性状,按照遗传力、经济价值及相互间的表型和遗传相关关系等因素,构成一个总指数作为选择的唯一指标,是动植物育种中较为理想的多性状综合选择方法,在林木育种中得到广泛应用。指数选择结果表明,入选的无性系在单株材积、干形和保存率方面均获得了明显的增益。在选择强度的确定上,一般育种工作者根据需要确定入选率。本试验中,木麻黄无性系数量较少,只能加大入选率至20%,从而获得更多的优良育种材料,但其选择差和遗传增益会相应降低。也有的研究者在确定入选标准时,把选择指数的平均值加上一个选择指数标准差定为入选标准值<sup>[20]</sup>。按照这个入选标准,无性系的入选标准为大于8.64,达到入选标准的无性系仅有2个,入选率为11.8%,远低于本试验中20%的入选率。因此,确定入选率应综合考虑无性系的具体数量和选择差及优良育种材料的遗传多样性和期望遗传增益,可供选择数量多时可加大选择强度,量少则宜适当降低选择强度。

综上所述,木麻黄无性系的单性状选择获得的遗传增益高于多性状指数选择获得的遗传增益。通过 Smith-Hazel 指数选择法,编号为17、21和20的3个木麻黄无性系被选为综合性状表现较好的育种材料,可推广或用于下一步育种工作。

### 参考文献:

- [1] Midgley S J, Turnbull L, Johnston R D. *Casuarina Ecology* [M]. Canberra: CSIRO, Management and Utilization, 1983.
- [2] 仲崇禄,白嘉雨. 山地木麻黄家系遗传参数估算与家系选择[J]. 林业科学研究, 1998, 11(4): 361-369.
- [3] 林什全,仲崇禄,白嘉雨. 广东省电白县5年生山地木麻黄种源试验及评选[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 506-510.
- [4] 王明怀,陈建新,殷祚云,等. 五种木麻黄的种源引种初报[J]. 林业科学研究, 2002, 15(6): 751-755.
- [5] 仲崇禄,施纯淦,王维辉,等. 华南地区短枝木麻黄种源试验[J]. 林业科学研究, 2001, 14(4): 408-415.
- [6] 叶功富,玛泽幸,潘惠忠,等. 木麻黄国际种源苗期生长及抗盐性试验[J]. 福建林学院学报, 1995, 15(4): 301-306.
- [7] Zhong C L, Zhang Yong, Chen Y, et al. *Casuarina research and applications in China* [J]. *Symbiosis*, 2010, 50: 107-114.
- [8] 梁子超,岑炳沾. 木麻黄抗青枯病植株的无性系繁殖法[J]. 林业科学, 1982, 18(2): 199-202.
- [9] 聂森,张勇,仲崇禄,等. 福建沿海木麻黄速生抗性无性系选育[J]. 福建林学院学报, 2012, 32(4): 300-304.
- [10] 仲崇禄,白嘉雨,张勇. 我国木麻黄种质资源引种与保存[J]. 林业科学研究, 2005, 18(3): 345-350.
- [11] 仲崇禄. 木麻黄遗传变异规律的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2000.
- [12] 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.
- [13] Pinyopasarek K, Williams E R. Range-wide provenance variation in growth and morphological characteristics of *Casuarina equisetifolia* grown in Northern Australia [J]. *For Ecol Manag*, 2000, 134: 219-232.
- [14] Cotterill P P, Jackson N. On index selection I. methods of determining economic weight [J]. *Silvae Genetica*, 1985, 34(2/3): 56-63.
- [15] 赵承开. 杉木优良无性系早起选择年龄和增益[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 53-60.
- [16] 陈晓阳,沈熙环. 林木育种学[M]. 北京:高等教育出版社, 2005: 19-20.
- [17] 黄寿先,施季森,李力,等. 杉木纤维用材优良无性系的选择[J]. 南京林业大学学报, 2005, 29(5): 21-24.
- [18] 胡德活,伍伯良,阮梓材,等. 杉木无性系生长与材性测定的适宜无性系株数与小区株数[J]. 林业科学研究, 2002, 15(2): 212-218.
- [19] Cotterill P P, Dean C A. *Successful tree breeding with index selection* [M]. Melbourne: National Library of Australia Cataloguing, Australia, 1990.
- [20] 陆钊华,徐建民,卢国桓,等. 尾叶桉无性系多性状综合选择方法的研究[J]. 林业科技开发, 2009, 23(4): 24-29.