林业科学研究 2014,27(3):435～440
Forest Research

文章编号:1001-1498(2014)03-0435-06

粗枝木麻黄在海南的种源试验与早期选择

马 妮[1],张 勇[1],仲崇禄[1],姜清彬[1],陈 羽[1],陈 珍[1],胡 盼[1],王仁卉[2]

(1.中国林业科学研究院热带林业研究所,广东 广州 510520;2.海南省临高县林业局,海南 临高 571800)

关键词:粗枝木麻黄;种源试验;遗传变异;选择

中图分类号:S722.3 **文献标识码**:A

Provenance Trial and Early Selection of *Casuarina glauca* in Hainan

MA Ni[1], *ZHANG Yong*[1], *ZHONG Chong-lu*[1], *JIANG Qing-bin*[1], *CHEN Yu*[1], *CHEN Zhen*[1], *HU Pan*[1], *WANG Ren-kai*[2]

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China; 2. Lin'gao Forest Bureau, Lin'gao 571800, Hainan, China)

Abstract: According to genetic analysis on 6 traits of 4-year-old *Casuarina glauca* in provenance trial which established in Lin'gao County, Hainan Province, there were significantly differences among height (H), diameter at breast height (DBH), individual volume (VOL), stem straightness(SS) and survival percentage (SP) ($p<0.05$ or $p<0.01$), but not in stem axis persistence (SA) ($p<0.05$). The heritability of the six traits varied from 0.02—0.55, of which SS 0.55, SP 0.48, H 0.28, DBH 0.17, VOL 0.10, the lowest one was 0.02 in SA, so the first five traits can be used as single trait selection for *C. glauca* provenances. The genetic correlation among the three growth characteristics, H, DBH and VOL was highly significant, but not among quality traits, SA, SS and SP, which showed that the three quality traits were independent from each other. In another aspect, the coefficient of variation varied from 31.5% (survival percentage) to 91.8% (height). Additionally, the mean genetic gains in the five traits were 2.1%, 1.4%, 2.2%, 0.2%, 0.2% and 6.2% respectively. By means of Smith-Hazel Index Selection and 20% selective ratio, five seedlots, G03, G02, G19, G07 and G25 were screened out as superior provenances for further tree breeding research.

Key words: *Casuarina glauca*; provenance trial; genetic variation; selection

木麻黄科(Casuarinaceae)植物有4属96个种,天然分布于东南亚、大洋洲和太平洋群岛,具有速生、抗风、固沙、耐盐碱和瘠薄等特点,其中,木麻黄属(*Casuarina* Adans.)中的短枝木麻黄(*C. equisetifolia* Forst.)、粗枝木麻黄(*C. glauca* Sieber. ex Spreng.)和细枝木麻黄(*C. cunninghamiana* Miq.)3个种被广泛引种栽培于世界热带和亚热带地区,对海岸生态系统的恢复和退化山地的土壤改良具有重要作用[1]。国内外对木麻黄树种研究最多的是短枝木麻黄,粗枝木麻黄研究甚少。粗枝木麻黄具有抗青枯病、抗寒、耐盐碱、耐水淹、易形成较多根孽、固沙性好等特点[2-3],但生长速度相对较慢[4],它在我

收稿日期:2013-09-06

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(010KJCX009-1和2011KJCX018-01)";"十一·五"林业科技支撑计划专题"热带防台风防护林体系研究与示范(2009BADB2B0303)";福建省林业种苗科技攻关四期项目"木麻黄良种定向选育技术研究与应用"子专题"木麻黄改良种子园营建技术"

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:博士,助研.主要研究方向:林木遗传育种.

国东南沿海,特别是浙江省沿海地区的防护林建设中被广泛应用。我国从1984年开始,从国外引进28个粗枝木麻黄种源进行种源试验。试验获得了一些生长表现优良的种源和家系,也发现其天然分布区的北部地区种源生长表现总体上优于南部地区种源[5-6],可惜这些优良种源或家系材料在未得到很好保存和利用前试验林已被砍伐破坏。针对目前我国木麻黄优良新品种缺乏,沿海地区环境恶化和土地退化的问题,引进和筛选木麻黄优良育种材料,开展种内和种间杂交育种,获得兼有优良生长和抗性性状的新品种,对提高华南东南沿海木麻黄防护林的生态和经济效益具有重要意义。为此,笔者从澳大利亚林木种子中心引进新的粗枝木麻黄种源,建立种源试验林进行评价和选择,为下一步木麻黄的杂交育种和长期育种提供材料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验点设在海南省临高县临城镇林木良种场,位于海南省西北部(19° 91′N, 109° 69 E′),海拔5 m,年均气温23.5 ℃,年降水量1 700 mm,土壤类型为砖红壤。

1.2 试验材料

试验材料为粗枝木麻黄23个种源(混合家系),所有种子均由澳大利亚林木种子中心提供(表1)。

表1 粗枝木麻黄国际种源信息表

编号	种批号	采种地点			纬度(S)	经度(E)	海拔/m
G01	13128	E of Singleton	NSW	澳大利亚	32°32′	151°17′	90
G02	13139	8 km N of Woolgoolga	NSW	澳大利亚	30°03′	153°11′	10
G03	13141	22 km S of Coffs Harb.	NSW	澳大利亚	30°26′	153°01′	20
G04	13142	Dawsonr E of Taree	NSW	澳大利亚	31°54′	152°29′	15
G05	13143	Mangrove Creek	NSW	澳大利亚	33°23′	151°09′	20
G06	13144	S of Burril Inlet	NSW	澳大利亚	35°24′	150°26′	20
G07	13146	Tuross Lake N Bodalla	NSW	澳大利亚	36°02′	150°05′	20
G08	13987	Coffs Harbour	NSW	澳大利亚	30°18′	153°08′	1
G10	15218	Caloundra	QLD	澳大利亚	26°48′	153°09′	5
G12	15928	Tomago R, Nossy PT	NSW	澳大利亚	35°41′	150°01′	1
G13	15929	Tuross Lake	NSW	澳大利亚	36°03′	150°07′	1
G14	15930	Jervis Bay	NSW	澳大利亚	35°08′	150°38′	1
G15	15932	Royal NP	NSW	澳大利亚	34°05′	151°05′	1
G16	15934	Myall Lake NP	NSW	澳大利亚	32°25′	152°19′	2
G17	15935	S of Port Macquarie	NSW	澳大利亚	31°30′	152°40′	1
G18	15938	Yurangir NP	NSW	澳大利亚	29°52′	153°15′	2
G19	15939	Tuczean Swamp	NSW	澳大利亚	28°59′	153°23′	30
G20	15941	Burrcm Heads	QLD	澳大利亚	25°12′	152°37′	1
G21	16361	Wagong Inlet	NSW	澳大利亚	36°13′	150°04′	1
G22	16362	Singleton	NSW	澳大利亚	32°34′	151°10′	80
G23	16363	Upper Eawksbury River	NSW	澳大利亚	33°45′	150°47′	40
G24	17200	Aberdare Collieery	QLD	澳大利亚	27°37′	152°51′	63
G25	19242	Kabiruini		肯尼亚	0°23′	36°56′	1 800

注:NSW是新南威尔士州,QLD是昆士兰州。

1.3 试验设计

试验采用随机完全区组设计,每个种源采用单行6株小区,8次重复,株行距为2 m×2 m,基肥施用复合肥和有机肥各100 g,2008年9月台风雨季造林,试验地四周种3行木麻黄无性系A8作为保护行。

1.4 试验观测

造林4 a后对各种源进行每木调查,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(SP,%),通过树高和胸径计算单株材积(V,m^3·株$^{-1}$)。

1.5 数据处理

各生长性状采用平均值统计,保存率为小区存活的总株数除以每种源种植总株数,单株材积计算公式为:

$$V = 3.141\ 592\ 6 \times D_{BH} \times D_{BH} \times H/120\ 000$$ [7]

采用SAS软件对各性状进行方差分析、相关分析和遗传力分析。采用最小显著差异法(LSD)对各种源进行多重比较。

各性状的方差分析模型为:

$$Y_{ij} = B_i + P_j + E_{ij}$$

式中:B_i 为区组效应,P_j 为种源效应,E_{ij} 为

误差。

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,质量性状的分级标准如下[8-9]:

a. 主干分叉习性(AP)分 6 级:

1 级——主干在地表有分叉;

2 级——主干在地表至 1/4 树高之间有分叉;

3 级——主干在 1/4 至 2/4 树高之间有分叉;

4 级——主干在 2/4 至 3/4 树高之间有分叉;

5 级——主干在 3/4 至 4/4 树高之间有分叉;

6 级——主干无分叉;

b. 主干通直度(SS)分 4 级:

1 级——树干有 2 段以上呈明显弯曲;

2 级——树干有 2 段以上稍弯或 1 ～2 段明显弯曲;

3 级——树干有 1 ～2 段稍微弯曲;

4 级——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:

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

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。

$$B' = P_2^{-1} \cdot G_{21} \cdot A$$

式中: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。

遗传增益公式为:

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

式中:ΔG 为遗传增益(%),S 为入选种源均值与种源总均值的离差,$\bar{X}$ 为种源总均值,h_f^2 为家系遗传力。

2　结果与分析

2.1　粗枝木麻黄各性状的遗传变异

据表 2 的方差分析可知:不同种源间的树高、胸径、单株材积和主干通直度都有显著或极显著差异,但主干分叉习性却差异不显著。各种源的多重比较结果(表 3)表明:树高总平均为 5.66 m,树高大于总

表 2　粗枝木麻黄 6 个生长性状的方差分析

变异来源	自由度	总方差	均方	F 值	$Pr > F$
树高	22	52.97	2.41	2.17	0.004
胸径	22	49.47	2.25	1.63	0.048
单株材积	22	0.001 1	0.000 049	1.86	0.009 5
主干分叉习性	22	17.06	0.78	1.67	0.051
主干通直度	22	8.81	0.40	2.42	<0.001
保存率	22	53 583.9	2 435.6	5.42	<0.001

表 3　粗枝木麻黄种源各性状均值、多重比较、标准差及变异系数

种源	树高/m	胸径/cm	单株材积/(m^3 · 株$^{-1}$)	主干分叉习性	主干通直度	保存率/%
G19	6.74	6.18	0.007 9	3.82	2.29	79.2
G02	6.13	5.95	0.007 1	4.07	2.35	85.4
G03	5.99	5.81	0.006 3	4.32	1.95	91.7
G13	5.85	5.64	0.006 4	3.72	2.53	81.3
G10	5.93	5.62	0.006 6	3.95	2.63	72.9
G15	5.83	5.59	0.006 6	4.44	2.02	81.3
G01	6.08	5.54	0.007 0	4.07	2.20	31.3
G23	5.67	5.53	0.005 5	4.40	2.33	85.4
G07	5.56	5.48	0.006 4	3.69	2.50	87.5
G05	5.70	5.48	0.005 6	4.02	2.18	89.6
G06	5.86	5.40	0.005 6	4.23	2.14	89.6
G18	5.76	5.33	0.005 6	4.00	2.17	85.4
G21	5.97	5.28	0.005 3	4.15	2.71	64.6
G25	6.00	5.23	0.006 5	4.47	2.21	83.3
G08	5.37	5.02	0.004 8	4.24	2.05	79.2
G17	5.01	4.95	0.004 5	4.23	2.09	75.0
G22	5.21	4.94	0.004 2	4.03	2.39	70.8
G20	5.35	4.87	0.005 5	4.14	1.94	66.7
G24	4.86	4.84	0.003 6	4.42	2.50	25.0
G16	5.47	4.81	0.004 5	4.40	2.31	85.4
G04	5.15	4.74	0.004 2	4.11	1.89	77.1
G14	4.98	4.62	0.003 6	3.81	2.26	87.5
G12	5.10	4.45	0.003 8	3.69	2.41	56.3
总平均	5.66	5.30	0.005 6	4.10	2.25	75.7
LSD	1.22	1.04	0.003 0	ns	0.49	23.6
标准差	2.17	1.73	0.005 1	1.41	0.86	23.8
变异系数/%	38.4	32.7	91.8	34.3	38.4	31.5

平均的种源有13个;胸径总平均为5.30 cm,胸径大于总平均的种源有12个;树高和胸径的平方与单株材积成正比,所以对单株材积进行选择便可兼顾树高和胸径指标,单株材积生长表现比平均值好的种源有G19、G02、G01、G10、G15、G13、G07、G25、G03。23个种源的主干通直度平均得分为1.89～2.63,多数种源间差异不大;各种源的保存率为25.0%～91.7%,但除个别种源的保存率较低外,多数种源的保存率差异不大。粗枝木麻黄各性状的变异系数除了单株材积达到91.8%外,其他性状的变异系数都较接近(31.5%～38.4%)。各性状的遗传力除主干通直度(0.55)和保存率(0.48)外都相对较低,说明种源内仅根据其表型性状进行种源选择,选择效果会较差。在各性状的表型和遗传相关关系上(表4),除树高和胸径、树高和单株材积及胸径和单株材积具极显著的表型和遗传相关关系外,其他性状间都无显著的表型和遗传相关关系。

表4 粗枝木麻黄表型相关(左下角)与遗传相关(右上角)及性状遗传力

性状	树高	胸径	单株材积	主干分叉习性	主干通直度	保存率	遗传力
树高		0.887**	0.919**	0.044ns	0.107ns	0.250ns	0.28
胸径	0.776**		0.913**	-0.043ns	0.106ns	0.185ns	0.17
单株材积	0.812**	0.902**		0.084ns	0.030ns	0.222ns	0.10
主干分叉习性	0.173ns	-0.101ns	0.003ns		0.364ns	-0.048ns	0.02
主干通直度	0.202ns	0.061ns	0.130ns	0.170ns		-0.250ns	0.55
保存率	0.151ns	0.185ns	0.123ns	-0.048ns	-0.150ns		0.48

2.2 粗枝木麻黄多性状指数选择

鉴于粗枝木麻黄不同种源主干分叉习性间的差异不显著,采用单株材积、主干通直度和保存率3个性状对粗枝木麻黄种源进行指数选择,按等权重法计算获得的指数选择方程为:

$$I = 292.20\ V - 0.006\ 8\ SS + 0.038\ 4\ SP$$

式中:V为单株材积;SS为主干通直度;SP为保存率。

根据指数方程计算各种源的选择指数值,并对指数值进行排列(表5)。按20%的入选率,综合性状表现最好的5个种源是G03、G02、G19、G07和G25。

表5 粗枝木麻黄种源的选择指数值及排名

种源	选择指数值	排名	种源	选择指数值	排名
G03	5.35	1	G16	4.58	13
G02	5.34	2	G08	4.43	14
G19	5.33	3	G14	4.40	15
G07	5.21	4	G17	4.18	16
G25	5.08	5	G04	4.18	17
G06	5.06	6	G20	4.16	18
G15	5.04	7	G21	4.01	19
G05	5.06	8	G22	3.93	20
G13	4.97	9	G01	3.23	21
G23	4.87	10	G12	3.26	22
G18	4.90	11	G24	1.99	23
G10	4.71	12			

2.3 粗枝木麻黄的遗传增益估算

利用已获得的种源遗传力及入选种源均值和总均值的选择差,计算粗枝木麻黄选择后的遗传增益。粗枝木麻黄通过单性状选择和多性状指数选择后,获得的遗传增益比较结果(表6)表明:由单性状选择获得的遗传增益高于由多性状指数选择获得的遗传增益。2种选择方法获得的粗枝木麻黄主干通直度性状的遗传增益差异较大,这是由该性状与单株材积性状相关性很低(0.130)且和保存率呈负相关(-0.250)造成的,同时因为主干分叉习性在各种源间差异不显著(表2),因此,通过单性状选择方法获得的增益也很低(0.16%)。

表6 粗枝木麻黄单性状选择和多性状指数选择遗传增益的比较 %

选择方法	树高	胸径	单株材积	主干分叉习性	主干通直度	保存率
单性状选择	2.61	1.73	2.57	0.16	7.92	8.55
指数选择	2.10	1.38	2.21	--	0.24	6.16

注:按20%的入选率进行选择。

3 结论与讨论

粗枝木麻黄种源的遗传变异首先表现在生长性状上,不同种源间的树高、胸径、单株材积存在显著差异,其遗传力分别为0.28、0.17和0.10,受稍弱强度遗传控制;而不同种源间的主干通直度和保存率存在极显著差异,其遗传力分别为0.55和0.48,受中等强度遗传控制。各性状的遗传相关分析表明,

除树高和胸径、树高和单株材积及胸径和单株材积间的相关性达极显著外,其他性状间相关性均不显著。因此,对 3 个性状中的任一性状进行正选择,都将提高其他 2 个性状的正选择效应。粗枝木麻黄种源选择无论从单性状选择还是多性状指数选择,在树高、胸径和单株材积方面都只获得较低的遗传增益。通过指数选择,树高、胸径、单株材积、主干通直度和保存率的平均遗传增益分别是 2.10%、1.38%、2.21%、0.24% 和 6.16%,这与种源间遗传变异较小有关;但也有研究发现,种源间变异只是自然遗传变异的一部分,在种源内的家系间、家系内的个体间仍存在着巨大的变异,如在杨树中,发现树高的变异 33% 与种源有关,27% 与种源的家系有关,40% 与家系内的无性系有关[10]。因此,通过种源内家系间、家系内个体间的遗传变异选择,还能获得很大的遗传增益。

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[11]结合了性状遗传力、经济价值和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,近年来在林木育种选择中得到广泛的应用[12-13]。指数选择结果表明,入选的家系、种源在单株材积、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,育种工作者可根据工作需要,综合考虑待选种源的具体数量确定入选率。本试验中粗枝木麻黄的种源数较少(23 个),因此,把入选率定为 20%,使更多的种源入选,但其选择差和遗传增益会相应降低。也有研究者在确定入选标准时,把选择指数的平均值加一个选择指数标准差定为入选标准值[14]。按照这个入选标准,粗枝木麻黄的入选标准为大于 5.31 的选择指数值,达到入选标准的种源有 3 个,入选率为 13%,低于本试验中 20% 的入选率。因此,作者认为入选率的确定应综合考虑种源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等因素,如种源数量多可加大选择强度,种源数量少则适当降低选择强度,保证有较宽的遗传基础用于进一步的杂交育种。

国内短枝木麻黄速生用材林约为 7 ~ 15 年[15]。据调查,短枝木麻黄在海南的轮伐期一般为 7 ~ 12 a,且在同一环境下,粗枝木麻黄平均生长速度(4 年生树高和胸径分别为 5.66 m 和 5.30 cm)和短枝木麻黄(4 年生树高和胸径分别为 6.83 m 和 5.41 cm)接近[16],推断粗枝木麻黄的轮伐期应与短枝木麻黄接近,而 4 年生种源试验已经达到或接近粗枝木麻黄的 1/2 轮伐期。也有研究表明,林木早期选择的年龄可在 1/3 个轮伐期进行[17],因此,在 4 年生的种源试验进行种源和单株选择是完全有效的。本试验中,粗枝木麻黄国际种源试验只在一个试验点开展,没有获得种源与环境交互作用的结果,使得进行选择时存在漏选或误选部分优良种源的可能,在筛选过程中应选择合适的入选率,选择更多优良种源的优良单株。

对 23 个粗枝木麻黄种源的 6 个性状遗传分析表明,除主干分叉习性外,种源间的树高、胸径、单株材积和主干通直度间都有显著或极显著差异。6 个性状的广义遗传力为 0.02 ~ 0.55,其中,主干通直度的遗传力为 0.55、保存率的遗传力为 0.48、树高的遗传力为 0.28、胸径的遗传力为 0.17、单株材积的遗传力为 0.10,主干分叉习性的遗传力最低,为 0.02,因此,除主干分叉习性外,其他性状可以以单性状进行种源选择。遗传相关分析表明,树高和胸径、树高和单株材积及胸径和单株材积均具有极显著的表型和遗传相关关系,而主干分叉习性、主干通直度和保存率 3 个性状分别与其他性状间均差异不显著,说明这 3 个性状是相对独立的性状。种源间各性状的变异系数相差较大,单株材积的变异系数最大,达 91.8%,其他都接近 31.5% ~ 38.4%,其中,保存率的变异系数最低。上述结果表明,粗枝木麻黄除了各性状的广义遗传力外,与其他种木麻黄种源试验的性状遗传变异特点表现类似[18-19];但实践证明,木麻黄仅依据表型性状进行种源选择效果会较差,因此,需要依据遗传分析结果进行综合选择。通过 Smith-Hazel 指数选择并按 20% 的入选率,G03、G02、G19、G07 和 G25 共 5 个种源的综合表现优良,可从中选择优良的家系或单株,作为下一步开展种内和种间杂交育种的材料。

参考文献:

[1] Midgley S J, Turnbul L, Johnston R D. Casuarina Ecology[M]. Canberra: CSIRO, Management and Utilization, 1983

[2] El-Lakany M H, Shepherd K R. Variation in seed germinability, seedling growth, and biomass between provenances of *Casuarina cunninghamiana* Miq. and *C. glauca* Sieber ex Spreng[J]. Forest Management and Ecology, 1983, 6:201-216

[3] Goel V L, Behl H M. Growth and productivity assessment of *Casuarina glauca* Sieb. ex. Spreng on sodic soil sites[J]. Bioresource Technology,2005, 96: 1399 - 1404

[4] William S. C. Field guide to identify the common Casuarina Species in Florida[R]. Technical report IFAS Extension, University of Florida,2008: 1 - 8

[5] 潘一峰,李炎香,谭天泳. 木麻黄种源试验[J]. 林业科学研究,1996,9(2):138 - 145

[6] Zhong C L, Zhang Y, Chen Yu, *et al*. Casuarina research and applications in China [J]. Symbiosis,2010, 50:107 - 114

[7] 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

[8] Pinyopusarerk K, Williams E R, Wasuwanich P, *et al*. International provenance trials of *Casuarina equisetifolia*: assessment manual[M]. CSIRO Division of Forestry, Canberra,1995

[9] 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

[10] 马常耕. 我国杨树育种中的若干问题商榷[J]. 青海农林科技,2004(增刊):1 - 8

[11] Cotterill P P, Dean C A. Successful tree breeding with index selection[M]. Melbourne: National Library of Australia Cataloguing, Australia,1990

[12] 姜 静,杨 光,祝泽兵,等. 白桦强化种子园优良家系选择[J]. 东北林业大学学报,2011,39(1): 1 - 4

[13] 孙晓梅,张守攻,李时元,等. 日本落叶松纸浆材优良家系多性状联合选择[J]. 林业科学,2005,41 (4):48 - 54

[14] 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

[15] 徐燕千, 劳家骐. 木麻黄栽培[M]. 北京:中国林业出版社,1984

[16] 张 勇. 三种木麻黄的遗传改良研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2013

[17] 洪 舟,吴建辉,杨立伟,等. 杉木8×8双列杂交子代树高遗传分析及早期选择[J]. 林业科技开发,2009,23 (4):20 - 24

[18] 许秀玉,王明怀, 陈建新,等. 木麻黄树种及种源试验研究[J]. 广东林业科技,2010,26 (2):22 - 29

[19] 叶功富,罗美娟,林金木. 短枝木麻黄在福建东山试点的种源试验结果分析与选择[J]. 北京林业大学学报,2004,26 (6) :6 - 11