

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2017.04.001

杉木第2代种子园自由授粉子代测定与亲本结实性状联合选择

张 颢¹, 徐清乾¹, 顾杨传², 杨建华², 黄 帆¹

(1. 湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004; 2. 会同县林业科学研究所, 湖南 会同 418300)

摘要: 2011年4月, 采用湖南省会同县第2代杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook 种子园自由授粉子代的1年生裸根苗进行造林, 参试家系共35个, 以种子园混合种为对照, 2012–2015年连续4a进行树高、胸径、球果质量测定, 并根据测定结果进行早期选择。结果表明, 树高、胸径在家系间差异均达显著水平, 6年生时平均树高、胸径、单株立木材积分别为4.17 m, 5.02 cm, 0.005 91 m³; 2012–2015年的树高遗传力为0.344~0.434; 6年生时的胸径、材积遗传力分别为0.466, 0.409。从参试的35个家系中选出9个优良家系, 6年生时其平均树高、胸径、单株立木材积分别为4.90 m, 6.0 cm, 0.008 41 m³, 分别超出群体均值的18.2%, 24.1%, 42.3%, 遗传增益分别为6.36%, 8.95%和17.33%。综合考虑9个优良家系的无性系母株的结实性状, 联合选出4个高产速生的无性系实生子代, 单株平均球果重量达7.7 kg。

关键词: 杉木; 第2代种子园; 子代测定; 结实性状

中图分类号: S791.27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776 (2017) 04-0001-05

Selection by Open-Pollination Progeny Test of the 2nd Generation *Cunninghamia lanceolata* Seed Orchard and Their Parent Cone Traits

ZHANG Xie¹, XU Qing-qian¹, GU Yang-chuan², YANG Jian-hua², HUANG Fan¹

(1. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China; 2. Huitong Forestry Institute of Hunan, Huitong 418300, China)

Abstract: 1-year bare-rooted *Cunninghamia lanceolata* seedlings from open-pollination progenies of the 2nd generation seed orchard in Huitong, Forestry Institute of Hunan province were planted in 2011 in Guangping of Huitong, Hunan province. 35 families were tested with mixed seed and seedling as control. Continuous investigations had been conducted from 2012 to 2015. The result demonstrated that it had great difference of seedling height and DBH among families. Mean seedling height, DBH and single tree volume of 6-year seedlings was 4.17m, 5.02cm and 0.005 91m³. Height growth from 2012 to 2015 of tested families indicated that mean heritability of height was from 0.344 to 0.434. Mean DBH and volume heritability of 6-year seedlings was 0.466, 0.409. 9 families were selected from the tested 35 ones, their mean height, DBH and single tree volume of 6-year seedlings was 4.90m, 6.0cm, 0.00841m³, and was 18.2%, 24.1% and 42.3% higher than that of means of 35 families. The genetic gain of growth traits was 6.36%, 8.95% and 17.33%. Integrated evaluation on cone traits of mother tree of selected 9 families resulted 4 progeny of clones with fast-growing and high-yield characteristics was chosen with their mean cone weight of 7.7kg each tree.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; the 2nd generation seed orchard; progeny test; cone trait

杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook 是我国特有树种, 也是湖南省主要用材树种之一。我国杉木遗传改良研究走在其他树种前列, 杉木在种子园建园技术、子代林主要生长和材性性状遗传变异规律、杂交试

收稿日期: 2017-02-09; 修回日期: 2017-05-29

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划 (2015BAD09B010101)

作者简介: 张颢, 助理研究员, 从事杉木遗传育种研究; E-mail: zhangxie3@163.com。

验林配合力研究等方面已做了大量的工作^[1-6]。在种源试验、第 1、第 2 代遗传改良的基础上,湖南省已开始建立了杉木第 3 代育种群体和生产群体^[7-11]。目前,第 1 代种子园老化、采种不便,而第 3 代种子园尚未进入投产期,导致 2 代良种在生产中供不应求。早期选择可缩短育种世代,提高选择效果,选择材料能及时地用作发展生产群体的亲本或作高世代育种材料^[12-15]。本试验开展杉木第 2 代种子园自由授粉子代测定,根据子代测定结果进行早期选择,综合考虑亲本结实性状,为第 2 代种子园去劣留优提供依据,从而提高杉木第 2 代种子园生产力。

1 材料与方法

1.1 试验点基本情况

试验地位于湖南省杉木中心产区会同县广坪镇蒿圪坪村,109°58'48.32" E, 26°82'27.02" N。年平均气温 16.6℃,全年无霜期 303 d,年均降水量 1 500 mm 左右,平均相对湿度达 83%,土壤类型为山地红壤,土层厚度 70 cm,腐殖质层厚度 10 cm。

1.2 试验材料及处理方法

试验用的苗木为湖南省会同县林业科学研究所杉木第 2 代种子园自由授粉子代。造林试验采用完全随机区组设计(即 RCB 设计)。参试家系 35 个,以第 2 代种子园混合种为对照(CK),重复 5 次,采用 2 株单列小区,顺坡排列。育苗地位于会同县广坪镇四岔路,1 年生裸根苗平均苗高为 25 cm。2011 年 4 月造林,株行距为 2 m×2 m,造林面积 2 hm²。造林后的前 3 a 每年除草除萌 2 次,之后每年除草除萌 1 次,不施肥。2012—2015 年每年 12 月调查每木树高,2015 年 12 月调查每木胸径,单株立木材积根据下列公式计算:

$$V = 0.000\ 058\ 770\ 42\ D^{1.969\ 983\ 1} H^{0.896\ 461\ 57}$$

式中, V —单株材积,单位 m³; D —胸径,单位 cm; H —树高,单位 m。

以单株为单位进行方差分析和遗传参数估算^[16-17],方差分析的线性模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + B_j + FB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

式中, Y_{ijk} 表示第 i 家系在第 j 重复中的第 k 个观测值, μ 表示群体平均值, F_i 表示家系效应, B_j 表示重复效应, FB_{ij} 表示家系×重复效应, ε_{ijk} 表示机误。

家系遗传力:

$$h_f^2 = \delta_f^2 / (\delta_e^2 / NB + \delta_{fb}^2 / N + \delta_f^2)$$

式中, h_f^2 为家系遗传力, δ_f^2 为家系间方差, δ_e^2 为环境方差(为机误方差), N 为小区调和均数, B 为重复数, δ_{fb}^2 为家系×重复的交互作用方差。

遗传增益:

$$\Delta G = h_f^2 S / \mu \times 100\%$$

式中, ΔG 为遗传增益, h_f^2 为家系遗传力, S 为选择差, μ 为所选性状的群体平均值。

在杉木第 2 代种子园每个无性系选 3 株树定点采摘球果,2012—2015 年每年 12 月对无性系球果进行称重并计算无性系亲本的平均球果质量。

统计分析软件采用 SPSS 18.0。

2 结果与分析

2.1 生长性状表型差异分析

验林各年份的家系树高、胸径、单株立木材积的生长情况见表 1。由表 1 可知,试验林生长良好,各年度树高、胸径、单株立木材积变异系数分别为 6.14%~11.79%, 9.18%, 20.35%。其中,6 年生时树高最大值为 6.05

m, 胸径最大值为 6.9 cm, 单株立木材积最大值为 0.013 26 m³, 平均树高 (H), 胸径 (D), 单株立木材积 (V) 分别为 4.17 m, 5.02 cm, 0.005 91 m³。生长性状在各家系间表型变异系数较大, 特别是材积, 变异系数达到了 20.35%, 为选优提供了基础。另外, 各家系树高变异随着林龄增大逐渐减小且稳定。

表 1 杉木生长性状表型变异
Table 1 Growth phenotypic characters of *C. lanceolata* from 2012 to 2015

性状	调查年份/年	极小值	极大值	均值	CK	标准差	变异系数/%
H/m	2012	0.16	1.91	1.03	1.01	0.122	11.79
	2013	1.28	3.37	1.74	1.76	0.152	8.71
	2014	2.90	5.00	2.97	2.81	0.245	8.23
	2015	3.35	6.05	4.17	3.71	0.256	6.14
D/cm	2015	4.26	6.90	5.02	4.83	0.461	9.18
V/m^3	2015	0.003 01	0.013 26	0.005 91	0.004 23	0.002 84	20.35

2.2 生长性状遗传变异分析

杉木第 2 代种子园子代生长性状的方差分析结果见表 2。由表 2 可知, H , D , V 在家系间差异均达显著水平, 这说明参试家系间生长性状均受到遗传因素的显著控制。杉木第 2 代种子园建园无性系虽然经过选择, 但家系间差异仍然较大, 这也为选择优良家系奠定了基础。同时, 各生长性状在重复间也表现出极显著差异, 表明立地因子对生长量有较大影响。在方差分析结果显著的基础上, 对各参试家系生长性状进行遗传力估算, 结果表明各年度树高的遗传力为 0.344 ~ 0.434, 6 年生胸径、材积遗传力分别为 0.466, 0.409。说明生长性状在家系水平上受到中等强度的遗传控制, 早期选择能获得较高的遗传增益。

表 2 生长性状方差分析及遗传力估算
Table 2 Anova on growth characters and estimation of heritability

调查年份/年	性状	误差来源	平方和	自由度	均方	F 值	Sig.	遗传力
2012	H	重复	1.074	4	0.268		0.018	
		家系	5.353	35	0.153	1.766	0.011	0.434
2013	H	重复	8.720	4	2.180		0	
		家系	13.403	35	0.383	1.656	0.021	0.396
2014	H	重复	10.124	4	2.531		0.003	
		家系	32.442	35	0.927	1.524	0.046	0.344
2015	H	重复	14.315	4	2.791		0.002	
		家系	40.212	35	1.342	1.572	0.047	0.364
	D	重复	81.243	4	4.25		0.003	
		家系	253.615	35	4.761	1.873	0.031	0.466
	V	重复	0.000 153	4	0.000 032		0	
		家系	0.000 207	35	0.000 036	1.691	0	0.409

表 3 杉木优良家系 6 年生生长性状及遗传增益
Table 3 Growth characters and genetic gain of selected families of *C. lanceolata*

家系号	H/m	$\Delta G/\%$	D/cm	$\Delta G/\%$	V/m^3	$\Delta G/\%$
30	6.05	16.41	6.90	17.45	0.013 26	50.85
25	5.17	8.73	6.50	13.27	0.010 08	28.88
27	4.90	6.37	6.00	9.38	0.008 42	17.34
35	4.81	5.59	5.90	8.35	0.007 98	14.34
34	4.67	4.36	5.90	7.80	0.007 62	11.83
4	4.72	4.80	5.80	7.33	0.007 56	11.44
1	4.63	4.02	5.80	6.96	0.007 33	9.85
21	4.59	3.67	5.60	5.38	0.006 86	6.58
22	4.55	3.32	5.50	4.64	0.006 62	4.89
均值	4.90	6.36	6.00	8.95	0.008 41	17.33
群体均值	4.17		5.02		0.005 91	
对照	3.71		4.83		0.004 23	

2.3 杉木速生优良家系早期选择

不少学者对杉木早期选择的年龄进行过研究,大部分结果表明早期选择的**是存在的,利用多年数据分析结果进行综合选择是减小这种风险的最佳方案^[18]。据郑仁华等^[19]在杉木优良家系初选年限方面的研究认为,到第5年生时正确入选率可达76%。鉴于此,从参试的35个家系中初步选出30号,25号等9个优良家系(表3),入选率为25.7%。入选优良家系6年生时 H 、 D 和 V 分别为4.90 m, 6.0 cm, 0.008 41m³,分别超出群体均值的18.2%, 24.1%, 42.3%,分别超出CK值的32.1%, 30.0%和98.8%。树高、胸径、材积的平均遗传增益为6.36%, 8.95%和17.33%。

2.4 杉木优良家系与亲本结实性状联合选择

2012–2015年连续4 a对会同县杉木第2代种子园无性系球果进行称重,每个无性系选3株定点采摘。结果表明种子园70%的球果产量来自于30%的无性系。根据25年生杉木初级种子园采种量统计,种子园从第4年开始结实,第4至第6年为上升期,第7至第15年为盛产期,第16至第25年为下降期。种子园结实盛产期在前15 a,大约16 a后产量明显下降,盛产期只有8 a左右。这说明种子园生产群体提质改造还有很大的空间,通过种子园母株内部无性更替,形成双层结构,使母株总保持在结实盛产期,可以达到长期高产稳产的目标。鉴于此,表4列出了9个优良家系亲本的球果质量,综合考虑优良家系的无性系母株的结实性状,联合选出30号,27号,35号,4号的亲本为高产速生无性系,单株球果质量分别为9.7, 8.5, 7.1, 5.6 kg,单株平均球果质量为7.7 kg,这些优良无性系可作为第2代种子园更替的材料。

表4 杉木优良家系亲本单株球果产量
Table 4 Cone yield of fine families parent of *C. lanceolata*

家系号	30号	27号	35号	4号	34号	1号	22号	21号	25号
球果质量/kg	9.7	8.5	7.1	5.6	4.1	3.7	2.6	1.2	0.8

3 结论与讨论

测定结果表明,杉木第2代种子园自由授粉子代林生长良好,6年生时树高、胸径、单株立木材积分别为4.17 m, 5.02 cm, 0.005 91m³, 2012–2015年树高的遗传力为0.344~0.434,6年生时胸径、材积遗传力分别为0.466, 0.409。35个参试家系生长性状在家系间差异均达显著水平。以6年生时单株立木材积为指标,根据连续4 a调查数据,从参试的35个家系中选出9个优良家系,6年生时平均树高、胸径、单株立木材积分别为4.90 m, 6.0 cm, 0.008 41 m³,分别超出群体均值的18.2%, 24.1%, 42.3%,选择效果明显;综合考虑9个优良家系的无性系母株的结实性状,联合选出4个家系亲本为高产速生无性系,单株平均球果重量为7.7 kg。试验研究结果为第2代种子园提质改造提供了依据,同时,也为杉木第3代种子园建园材料选择提供了基础,但选择结果仅基于生长性状表现,新建和改造种子园时还应综合考虑物候期观测结果及无性系结实性状等因素,同时还应严格限制种质资源亲缘关系,综合筛选、确定种子园的组成材料。由于试验林的林龄仅为6年生,尚处于幼龄林阶段,应继续对试验林进行生长量调查及材性测定,开展中期及晚期选择。

本试验选择出的4个无性系可既作为杉木高世代种子园建园材料,也能补充进杉木核心育种群体。目前,湖南省杉木已经进入了高世代遗传改良,但依然是育种群体与生产群体合二为一的简单方式,存在着保持遗传基础多样性与大幅提高遗传增益的矛盾^[20]。在高世代杉木种子园建设中,建议采用如下三种材料:第一代原始优良优树;第二代全同胞优良家系的优良植株;具有特殊性状或特殊育种目的的优良材料。从长远考虑,建园材料在数量上与选择强度上均应较大;另外,在采用逆向选择材料与正向选择材料建立高世代育种群体时,应严格控制亲缘关系。

参考文献:

- [1] 施季森,叶志宏,翁玉榛,等.杉木生长与材性联合遗传改良研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),1993,17(1):1–8.
- [2] 郑仁华.杉木种子园自由授粉子代遗传变异及优良遗传型选择[J].南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(1):8–12.
- [3] 何贵平,陈益泰,张国武.杉木主要生长、材质性状遗传分析及家系选择[J].林业科学研究,2002,15(5):559–563.

- [4] 孙鸿有, 郑勇平, 付顺华, 等. 杉木不同世代、类型种子园种子品质改良效果的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, 27(2): 40–44.
- [5] 欧阳磊, 陈金慧, 郑仁华, 等. 杉木育种群体 SSR 分子标记遗传多样性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(1): 21–26.
- [6] 丘进清. 杉木种子园技术综述[J]. 南京林业大学学报, 2006, 22(5): 103–106.
- [7] 徐清乾, 许忠坤, 程政红. 杉木第二代种子园建立技术研究[J]. 湖南林业科技, 2002, 29(4): 16–19.
- [8] 徐清乾, 许忠坤. 杉木杂交组配与两系种子园建立技术研究[J]. 湖南林业科技, 2004, 31(6): 18–20.
- [9] 徐清乾, 许忠坤, 张颢, 等. 杉木第三代优树选择技术研究[J]. 湖北林业科技, 2010, (05): 8–13.
- [10] 徐清乾, 许忠坤, 程政红, 等. 第二代杉木种子园建立技术研究[J]. 湖南林业科技, 2002, (04): 16–19.
- [11] 许忠坤, 徐清乾. 湖南杉木育种策略[J]. 湖南林业科技, 2002, (04): 45–47.
- [12] Michael S W, Buijtenen J P. Early genetic of loblolly pine[J]. Can J For Res, 1981, 11(2): 351–355.
- [13] 叶培忠, 陈岳武, 阮益初, 等. 杉木早期选择的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 1981, 5(1): 106–116.
- [14] 马常耕, 周天相, 徐金良. 杉木无性系生长的遗传控制和早期选择初探[J]. 林业科学, 2000, 36(专刊1): 62–69.
- [15] 胡德活, 林绪平, 阮梓材, 等. 杉木无性系早晚龄生长性状的相关性及早期选择的研究[J]. 林业科学研究, 2001, (2): 168–175.
- [16] 乔纳森 W 赖特. 森林遗传学[M]. 郭锡昌, 胡承海, 译. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [17] 马育华. 植物育种的量遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1982.
- [18] 曹汉洋. 杉木第 2 代种子园半同胞子代测定及早期选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2011, (01): 19–23.
- [19] 郑仁华, 施季森, 肖晖, 等. 杉木第 3 代种质资源自由授粉子代生长性状遗传变异及早期选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, (06): 38–42.
- [20] 福克纳 R. 林木种子园[M]. 徐燕千, 译. 北京: 中国林业出版社, 1981.