文章编号:1001-1498(2014)05-0672-05

21 年生杉木无性系生长与遗传评价

段爱国1,张雄清1,张建国1*,钟建德2

(1. 中国林业科学研究院林业研究所,国家林业局林木培育重点实验室,林木遗传育种国家重点实验室,北京 100091; 2. 广西柳州市武宣县六峰山林场,广西 武宣 545904)

摘要:对来源于湖南省的38个杉木无性系在广西柳州市21年生试验林各生长性状进行了调查与分析,发现中林龄杉木无性系间的胸径、树高、单株材积及树冠指标生长量均存在显著或极显著的差异;无性系树高、胸径、材积、枝下高、冠长及冠幅等性状重复力为58.65%~87.19%,均达50%以上,表现为中等以上重复力,说明杉木无性系生长性状及树冠性状具有较高的遗传稳定性;无性系生长性状胸径、树高及材积与树冠性状冠长、冠幅均呈显著或极显著正相关;从38个供试杉木无性系中筛选出88号、68号、300号等3个优良杉木无性系,单株材积分别达0.4948、0.4389、0.4129㎡,较优良种源、改良代种子园种子及优良家系组成的5个实生对照平均值分别高出43.59%、27.37%和19.82%。

关键词:杉木;无性系;生长;遗传;选育

中图分类号: S791.27 文献标识码: A

Growth and Genetic Evaluation of 21-year-old Chinese fir Clonal Plantation

DUAN Ai-guo¹, ZHANG Xiong-qing¹, ZHANG Jian-guo¹, ZHONG Jian-de²

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry
Administration, State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Beijing 100091,

China; 2. Liufengshan Forest Farm, Wuxuan 545904, Guangxi, China)

Abstract: The growth traits of 38 Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) clones introduced from Hu' nan Province and grown in 21-year-old Chinese fir clonal plantation were surveyed and analyzed. The results of statistical analysis showed that there were significant or great significant genetic variations in height, diameter at breast height (DBH), volume, height of live branch, crown height and crown width among these clones. The repeatability of clones for height, DBH, volume, height of live branch, crown height and crown width varied between 58.65% and 87.19%, belonging to median or high genetically control level, indicating the three growth traits and three crown traits had high genetic stability. There were significant phenotypic correlations among height, DBH, volume and crown height or crown width. Three clones were selected from the 38 clones tested. The stem volumes of the three clones arrived at 0.494 8 m³, 0.438 9 m³, and 0.412 9 m³, which were 43.59%, 27.37%, and 19.82% higher than that of five controls comprised of excellent provenances, families and orchards seeds, respectively. The Chinese fir clones showed the best genetic gains and breeding prospect.

Key words: Cunninghamia lanceolata; clones; genetics; breeding

收稿日期: 2013-07-26

基金项目: 国家"十二·五"科技支撑专题"杉木三代育种技术研究与示范(2012BAD01B0201)";国家 863 计划专题"杉木地理种源生长评价及优良无性系选育(2011AA100203-3)";江苏高校协同创新计划

作者简介: 段爱国(1976—)男,博士,副研究员. 主要研究方向:人工林定向培育. E-mail:duanag@ caf. ac. cn.

^{*} 通讯作者.

杉木 (Cunninghamia Lanceolata (Lamb.) Hook.) 无性繁殖及扦插造林历史已有几千年[1], 无 性繁殖与有性繁殖都是杉木栽培的重要方式[2]。随 着世界一些国家无性系造林的兴起和成功,无性系 林业受到各国林学研究人员的重视,并在科研与造 林实践中得到具体体现[3]。与种子的有性繁殖相 比,杉木优良个体的无性扦插繁殖具有保持亲本优 良性状、遗传增益大、选育成本低、林相整齐及收获 期一致等优点[4-7]。杉木优良无性系选育及选用优 良无性系造林对杉木资源培育质与量的提升具有重 要意义。虽然杉木无性扦插造林历史较早,但杉木 无性系广泛且深入的选育与应用研究始于 20 世纪 80 年代。我国于"七·五"攻关时期在杉木育种研 究方面单独设立了杉木无性系选育专题,开启了杉 木无性系研究的步伐,历经"八·五"、"九·五"无 性系早期测定及"十·五"、"十一·五"连续评价与 选育,杉木无性系选育逐步发展到多水平、多目标、 多性状选育阶段,在选育程序、繁殖技术、生长性状、 材性性状、抗逆性状、生长与材质联合性状、早晚相 关性、稳定性等方面取得了系列重要成果[8-17],选 育出了大量优良杉木无性系,促进了杉木无性系林 业的发展;但已有的杉木无性系研究仍需要进一步 深入展开,所研究的无性系测定林的幼龄化难以证 实无性系的后期表现。广西是我国杉木重要产区, 其北部是杉木优良种源区[18]。在柳州武宣县建有 来自全国杉木各主产区选育的杉木无性系资源圃, 并设立了杉木无性系系列测定林。本文以 1993 年 建立的杉木无性系测定林生长调查资料为对象,对 处于中龄林阶段的21年生杉木无性系生长与遗传 参数进行了评价,以筛选适宜于试验区发展的杉木 优良无性系,推动杉木无性系区域发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广西壮族自治区柳州市武宣县六峰山林场,为桂中丘陵地区(23°42′N,109°50′E),年平均气温21.1 $^{\circ}$ 0,年降水量1418.5 mm,年蒸发量1969.1 mm,相对湿度76%,全年日照时数1823.7,试验地海拔210 m,地势平缓。

1.2 试验设计与调查

试验材料为选自湖南省的38个杉木无性系,设置5个对照,分别为湖南优良家系31(CK1)、湖南会同种子园混合种(CK2)、广西融水糠杉(CK3)、广西西山种子园混合种(CK4)和广西优良家系38(CK5)。无性系为1年生扦插苗,对照均为1年生实生苗。1993年春季造林,株行距2m×2m。采用随机区组设计,单行4株小区,重复10次。试验林于10年生时进行间伐作业,隔株间伐,间伐强度50%。2013年春季对试验林进行每木调查,测定所选无性系每个单株的胸径、树高、冠幅和枝下高。

1.3 数据分析

取每重复每无性系各单株的测定指标的平均值进行统计。由于第6重复缺号超过20%,舍去该重复。对另9个重复中的少量缺失数据按(x_i.+x_j.)/2计算出近似值并进行逐个校正^[19]。x_i.及x_j.分别表示同一无性系9个重复测量指标的平均值和同一重复内所有无性系测量指标的平均值。采用杉木部颁二元材积表公式计算单株材积,冠高为树高与枝下高之差,形质指标采用高径比即平均树高与平均胸径无量纲测量值之商描述。方差分析线性模型为:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

式中: μ 为平均值; α_i 为无性系效应; β_j 为重复效应; e_i 为随机误差

无性系重复力计算公式:

$$h^2 = 1 - 1/F$$

式中:F为方差检验值

无性系选择差(S)为中选无性系平均值与所有 无性系平均值的差值,则遗传增益计算公式:

$$\triangle G = S/\overline{X}_{CK} \times h^2$$

式中: \bar{X}_{CK} 为 5 个实生对照的平均值。

数据计算采用 Excel 2003 及 SPSS 11.0 完成。

2 结果与分析

2.1 杉木无性系生长性状差异分析

由表1可知:引自湖南的38个杉木无性系在中龄林阶段的各生长性状均具有显著差异,且达极显著水平,表明这些无性系生长差异较大,这为优良无性系的选择提供了可能。

表 1 38 个杉木无性系 21 年生树高、胸径、材积、枝下高、冠长及冠幅方差分析结果

变异来源	自由度	树高		胸径		材积		枝下高		冠长		冠幅	
		均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值	均方	F 值
无性系	42	18.52	3.34 * *	50.69	7.80 * *	0.06	7.53 * *	18.93	5.41 * *	17.20	2.42 * *	0.52	5.47 * *
重复	8	11.01	1.98 *	12.19	1.88*	0.02	2.40 *	1.87	0.53	15.21	2.14*	0.27	2.84 * *
机误	336	5.55		6.50		0.01		3.50		7.11		0.09	

2.2 杉木无性系生长性状遗传变异分析

674

由表 2 可知:供试杉木无性系各生长性状存在 不同程度的遗传变异。单株材积的变异系数远大于 胸径和树高,而胸径变异程度略大于树高;枝下高、 冠长、冠幅变异系数依次降低。供试无性系各生长 性状重复力为 58.65% ~ 87.19%,均在 50% 以上, 其中,树高、材积、胸径的重复力依次降低;枝下高、 冠长、冠幅的重复力依次降低。这表明杉木无性系 各生长性状受到中等或较高水平的遗传控制,具有 较高的遗传稳定性。

表 2 38 个杉木无性系 21 年生各生长性状遗传变异情况

性状	均值	最小值	最大值	标准差	变异系数/%	重复力/%
胸径/cm	19.18	14.81	24.69	2.33	12.15	70.02
树高/m	15.86	13.39	22.82	1.50	9.43	87.19
枝下高/m	6.55	3.99	10.12	1.53	23.34	86.71
冠长/m	9.37	7.08	14.12	1.46	15.59	81.53
冠幅/m	2.70	2.27	3.25	0.25	9.12	58.65
单株材积/m³	0.26	0.14	0.49	0.08	30.50	81.71

2.3 杉木无性系各生长性状的相关分析

由表 3 可知:供试无性系胸径、树高及材积生长量呈极显著正相关关系,胸径与材积相关最紧密,相关系数达 0.982 7,树高与材积、胸径的相关系数分别

达 0.830 0 和 0.745 0;冠幅与冠长相关最紧密,相关系数达 0.562 4,冠幅与枝下高相关不显著,而冠长与枝下高则达显著负相关;值得注意的是,胸径、树高及材积与冠长、冠幅均具有显著或极显著正相关关系。

表 3 38 个杉木无性系生长性状两两间的相关系数

性状	胸径	树高	单株材积	枝下高	冠长	冠幅
胸径	1.000 0					
树高	0.745 0 * *	1.000 0				
单株材积3	0.982 7 * *	0.830 0 * *	1.000 0			
枝下高	0.3319	0.527 2 * *	0.376 2*	1.0000		
冠长	0.4627*	0.540 5 * *	0.508 8 * *	-0.424 1 *	1.000 0	
冠幅	0.898 8 * *	0.6787**	0.8704**	0.1601	0.562 4 * *	1.000 0

2.4 杉木无性系生长性状评比

对于用材林而言,材积较胸径及树高更能反映树木的生产力。由表4可知:来源于湖南省的38个无性系中,88号、68号、300号平均单株材积排在前3位,多重比较结果表明这3个无性系显著高于5个实生对照,说明这3个无性系表现出了较优的选育前景;无性系101号、46号、115号、70号单株材积均高于0.3 m³,与5个实生对照平均值(CK)接近;其余无性系单株材积均低于5个实生对照,表明经过

遗传改良后的引进优良家系及种子园种子或当地选育的优良家系及优良种源、种子园种子实生苗生长普遍表现较好,而无性系亦只有经过进一步的选择测定才能充分发挥其高的生产潜能。此外,5个实生对照中,广西当地优良家系 CK5 显著优于其他对照,广西西山改良代种子园种子显著优于当地种源混合种子,这表明产地种源种子、种子园种子、优良家系种子在改良进程中获得了逐步提升的材积增益。

表 4 38 个杉木无性系及 5 个实生对照的平均单株材积生长量大小排序结果

无性系号	单株材积/m³	排名	无性系号	单株材积/m³	排名	无性系号	单株材积/m³	排名	无性系号	单株材积/m³	排名
88	0.494 8	1	幼 84	0.3123	12	幼7	0.248 8	23	354	0.197 2	34
68	0.438 9	2	70	0.3083	13	96	0. 247 4	24	466	0.1908	35
300	0.4129	3	245	0.2827	14	237	0.243 0	25	180	0.190 5	36
CK5	0.390 1	4	幼6	0.2820	15	幼 76	0.2268	26	375	0.1729	37
101	0.3717	5	243	0.2700	16	453	0. 225 6	27	47	0.169 6	38
CK4	0.3566	6	40	0.262 7	17	211	0.224 3	28	504	0.1694	39
46	0.343 0	7	幼 15	0.2597	18	砧 40	0. 223 3	29	213	0.159 0	40
CK1	0.336 0	8	276	0.2594	19	幼 18	0.2200	30	42	0.142 1	41
CK2	0.329 0	9	地 93	0.253 2	20	117	0.2198	31	165	0.1177	42
CK3	0.315 3	10	378	0.2518	21	266	0.213 6	32	伐15	0.094 1	43
115	0.314 6	11	幼 69	0.2513	22	324	0.2126	33	CK	0.344 6	

注:CK 为 5 个实生对照的平均值。

2.5 杉木优良无性系遗传增益评价

由表 5 可知:中选无性系树高、胸径及冠幅高于 5 个实生对照;21 年生 3 个中选杉木优良无性系 68 号、88 号、300 号平均胸径分别达 24. 69、24. 59、24. 23 cm,平均树高分别达 17. 01、22. 82、16. 87 m,单株材积分别达 0. 438 9、0. 494 8、0. 412 9 m³,3 个无性系胸径年平均生长量均在 1 cm 以上,88 号树高年平均生长量达 1. 09 m;就形质指标而言,88 号无性系优于 68 号和 300 号;3 个优良无性系 88 号、68

号、300 号平均单株材积较 5 个实生对照平均值分别高43.59%、27.37%和19.82%。

若仅选择 88 号、68 号、300 号为优良无性系,则无性系入选率为 7.89%,中选无性系平均生长量与所有无性系平均胸径、树高、单株材积的选择差分别为 5.32 cm、3.04 m、0.193 7 m³,优良无性系平均胸径、树高及单株材积遗传增益分别达 19.93%、14.81%、45.94%。显然,中选无性系具有较高的遗传增益。

性状	68	88	300	中选无性系	无性系	CK1	CK2	CK3	CK4	CK5	CK
胸径/cm	24.69	24.59	24.23	24.50	19.18	21.59	21.21	20.62	22.40	23.33	21.83
树高/m	17.01	22.82	16.87	18.90	15.86	16.93	16.75	16.51	16.98	16.59	16.75
枝下高/m	8.16	8.70	6.70	7.85	6.55	6.87	6.86	6.34	7.68	7.32	7.01
冠长/m	8.72	14.12	10.17	11.00	9.37	10.06	9.90	10.17	9.30	9.24	9.73
冠幅/m	3.12	3.25	3.10	3.16	2.70	2.89	2.91	2.81	2.92	2.92	2.89
单株材积/m³	0.438 9	0.494 8	0.412 9	0.448 9	0.255 2	0.336 0	0.325 1	0.315 3	0.3566	0.390 1	0.344 6
高径比	0.69	0.93	0.70	0.77	0.83	0.78	0.79	0.80	0.76	0.71	0.77

注:中选无性系为3个优良无性系的平均值,无性系为所有38个无性系的平均值,CK为5个实生对照的平均值。

3 结论与讨论

不同无性系具有不同的基因型,无性系来源的 材料基础、选育背景及水平对无性系的生长都影响 很大。对引自湖南省的 38 个杉木无性系在广西柳 州市的 21 年生测定林生长性状研究发现,中龄期杉 木无性系间胸径、树高、单株材积及树冠指标生长量 均存在显著或极显著差异,绝大部分生长性状在重 复间亦差异显著。这与以前有关胸径、树高、材积等 生长性状在无性系间差异显著的研究结果一 致^[9,11,15],说明杉木无性系存在良好的选择潜力。 不同无性系可能具有不同的营养型特征^[12],在生产 中推广应用时应考虑到其生长稳定性问题,实施适 地适无性系造林。

有关杉木无性系幼龄期生长性状遗传参数估算的研究均表明,杉木无性系胸径、树高及心材率、木材密度等具有中等以上重复力[12,16,20-21]。供试无性系中龄期胸径、树高、材积、枝下高、冠长及冠幅等性状重复力达 58.65%~87.19%,均在 50%以上,亦表现为中等以上重复力,说明杉木无性系生长性状具有较高的遗传稳定性,这无疑再次证实了杉木无性系选育的有效性。遗传相关分析表明,供试无性系胸径、树高及材积生长量呈极显著正相关关系,这与以前研究亦相一致;

从38个供试杉木无性系中筛选出88号、68号、300号等3个优良杉木无性系,单株材积分别达

0.494 8、0.438 9、0.412 9 m³, 平均胸径、树高及单 株材积遗传增益分别达 19.93%、14.81%、45.94%。 与 4 年生调查结果相比, 无性系 88 号由排名第 6 升 至第1,88号由第5升至第3,均入选优良无性 系[22],早期未入选的68号在21年生时升至第2,这 一现象表明杉木无性系早期选择具有一定的可靠 性,但需提高入选率,同时亦应加强无性系中龄期乃 至成熟期的选择评价,避免漏选和错选。筛选出的 3个杉木优良无性系单株材积高于试验地优良种 源、改良代种子园种子及优良家系,这表明杉木无性 系具有表现出最高遗传增益的选育潜力。有研究发 现,杉木优良无性系选育性状中,树高、材积等数量 性状因具有相对大的遗传变异宜先展开选择,进而 进行木材密度等遗传变异相对较小的质量性状的选 择,以实现生长与材质的同时改良。高产、优质、多 抗等多性状联合选育已成为杉木无性系定向培育的 重要策略,今后可进一步结合杉木无性系测定的不 同发育阶段,展开中龄期或成熟期杉木无性系生长 与材质综合评价与选择,并适时进行抗性选育及其 机制研究。

参考文献:

- [1] 吴中伦. 杉木[M]. 北京:中国林业出版社,1984.
- [2] 沈国舫. 森林培育学[M]. 北京:中国林业出版社,2001.
- [3] 盛炜彤. 杉木建筑材优化栽培模式研究总报告[J]. 世界林业研究,1996,9(专辑):32-53.
- [4] 马常耕. 无性系林业与无性系育种[J]. 湖南林业科技,1986

- (3):280-290.
- [5] 王明庥. 论无性系林业——概念和应用[J]. 林业科技开发,1992 (1):2-4.
- [6] 洪菊生,陈伯望. 试论杉木无性系选育策略[J]. 世界林业研究, 1993,6(3):86-91.
- [7] 施季森,何祯祥. 林木无性繁殖及其在遗传改良中的地位[J]. 世界林业研究,1994,7(1):25-29.
- [8] 张建国."九五"国家攻关专题"杉木建筑材树种遗传改良及大中径材培育技术研究"报告[C].北京:中国林业科学研究院,2000.
- [9] 曾志光,肖复明,沈彩周,等. 江西省优质速生杉木无性系选育研究[J]. 林业科学研究,2006,19(5):561-566.
- [10] 许忠坤,徐清乾. 杉木纸浆材无性系选择研究[J]. 林业科学研究,2004,17(6):711-716.
- [11] 广东省杉木无性系选育协作组. 广东省杉木无性系选育研究 [J]. 广东林业科技,2003,19(3):1-5.
- [12] 许忠坤,徐清乾. 杉木速生、耐瘠薄营养高效型无性系选育技术[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(6):1-9.
- [13] 张贵云,王 欣,陈瑞生,等.贵州省杉木无性系材性选择技术

- 研究[J]. 种子,2008,27(2):72-74.
- [14] 张晓珊. 杉木优良无性系选择研究[J]. 种子,2007,26(8):24 -26
- [15] 何贵平,骆文坚,金其祥,等. 杉木无性系主要生长、材质性状遗传差异及无性系选择[J]. 江西农业大学学报,2009,31(1):91-93.
- [16] 胡德活,阮梓材,钱志能.杉木无性系木材密度遗传变异及其与 生长性状的相关性[J].中南林学院学报,2004,24(5):24-27.
- [17] 许忠坤,徐清乾,张 勰,等. 杉木无性系木材尺寸稳定性研究 [J]. 湖南林业科技,2010,37(5):20-21.
- [18] 洪菊生. 全国杉木种源试验专刊[J]. 林业科学研究,1994,7(专刊):1-23.
- [19] 顾万春. 统计遗传学[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [20] 黄寿先,施季森,李 力. 杉木无性系纤维角遗传变异研究[J]. 南京林业大学学报,2005,29(1):11-14.
- [21] 骆秀琴,管 宁,张寿槐. 32 个杉木无性系木材密度和力学性 质的变异[J]. 林业科学研究,1994,7(3):259-262.
- [22] 张文峤,陈代喜,韦孟琼,等. 杉木无性系区域化试验的初步研究[J]. 广西林业科学,1996,25(4),201-205.