

文章编号: 1000-5692(2007)03-0272-07

杉木种子园子代性状相关性研究

付顺华¹, 董汝湘², 吴隆高³, 冯建民², 刘伟宏⁴, 华朝晖⁵, 孙鸿有¹

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业种苗管理总站, 浙江 杭州 310020; 3. 浙江省龙泉市林业局, 浙江 龙泉 323700; 4. 浙江省新安江开发总公司, 浙江 淳安 311700; 5. 浙江省遂昌县林业局, 浙江 遂昌 323300)

摘要: 为进一步了解杉木 *Cunninghamia lanceolata* 种子园子代遗传变异规律, 提高杉木群体良种选育效率, 以浙江省 17 个杉木种子园子代为研究材料, 于 1998—1999 年, 在临安市横畈林场采用 10 区组、3~4 株小区的完全随机区组设计, 营建 2 片子代试验林。自造林后第 2 年起, 连续 6 a 调查测定树高、胸径、材积、冠幅和侧枝性状等, 在数理统计分析的基础上, 研究了种子园子代性状之间的表型相关、遗传相关以及年-年之间的生长相关和秩次相关等。结果表明, 种子园子代树高、胸径和材积之间呈极紧密相关, 相关系数 r_p 和 r_g 达到或近于 1.0, 通过胸径对材积进行间接选择, 选准率 100%。冠幅、盘间距与生长性状之间分别呈中度相关和轻度-中度相关, 盘侧枝数与生长性状之间在遗传上没有相关关系, 每米侧枝数则有负相关关系。不同年龄之间的年-年生长相关, 随着年龄的增长而增大, 其生长秩次变化在 2~3 年生时已逐渐稳定, 5~6 年生时基本稳定, r_s 高达 0.96~0.99。在杉木种子园子代测定中, 早期选择可从造林后第 2 年生长期结束时开始, 但其选择率必须比第 2 次选择增加 1 倍。在此前提下, 如以 6 年生选择作为第 2 次选择, 选准率达 100%, 即在 6 年生选择时能入选的植株, 在此情况下将无一漏选。表 7 参 30

关键词: 林木遗传育种学; 杉木; 种子园; 子代测定; 性状相关; 秩相关; 早期选择
中图分类号: S718.46 **文献标志码:** A

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 是我国南方重要的速生用材树种, 其造林用种已全部采用种子园种子, 初步实现了良种化。进行杉木种子园子代性状相关性研究, 可以进一步摸清种子园子代的遗传变异规律, 对提高育种效率和种子园建园技术等具有重要意义。性状相关性研究一直是国内外林木育种工作者十分关心的一个重要问题。在杉木育种中, 叶培忠、陈岳武、陈晓阳、马常耕、洪菊生、赵承开和莫昭展等^[1-10] 先后研究了杉木无性系、家系以及种源(群体)等的生长性状相关性, 近年有一些研究报道了杉木生长与木材材性性状的相关关系^[11-15]。但是, 作为杉木良种繁育群体的种子园, 其子代生长性状之间的相关性研究至今未见报道。我们曾研究报道了不同世代、类型杉木种子园种子品质性状的相关性^[16]。本研究是在此基础上, 通过种子园子代测验, 进一步研究杉木种子园的子代性状相关性。

收稿日期: 2006-10-08; 修回日期: 2007-03-02

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(393058); 浙江省科学技术重点项目(991102339)

作者简介: 付顺华, 副教授, 硕士, 从事植物遗传育种和种质资源研究。E-mail: fushunhua66@163.com。通信作者: 孙鸿有, 教授, 从事林木遗传育种研究。E-mail: sunhongyou@163.com

1 材料与方 法

参试种子园共有 17 个。其中 1.0 代、1.5 代和 2.0 代种子园各 5 个，优良种源种子园和优良双系种子园各 1 个。种子园子代试验林建立在浙江省临安市横畈林场，共 2 片。第 1 片试验林于 1996 年采种，1997 年育苗，1998 造林，编号为 9801；第 2 片试验林于 1997 年采种，1998 年育苗，1999 造林，编号为 9901。各种子园采种取样见参考文献[17]。2 片试验林皆采用完全随机区组设计，10 个区组，3 株小区(9801)或 4 株小区(9901)。造林株行距为 2.0 m×2.0 m。自造林后第 2 年起，每年进行每木检测，调查测定树高、胸径、冠幅和病虫害等，在最后 1 次生长调查中(2004 年)，增加调查了侧枝性状。鉴于杉木高生长达到 1.5 m 以上时，生长表现已比较稳定，故我们确定在主干离地面 1.5 ~3.5 m 区段内调查侧枝性状，计算平均盘间距离(节间长度)、每盘(节)I 级侧枝数和每米侧枝数(侧枝密度)等。

方差分析线性模型 $x_{ijk} = \mu + g_i + y_j + (gy)_{ij} + b_k + e_{ijk}$ ，遗传率(力)估算公式 $h^2_{\text{种子园}} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_{gy}^2 + \sigma_e^2}$ ，相关遗传力 $h_y = \frac{c_g(x,y)}{\sqrt{\sigma_{px}^2 \times \sigma_{py}^2}}$ ，遗传相关 $r_g = \frac{c_g(x,y)}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 \times \sigma_{gy}^2}}$ ，表型相关 $r_p = \frac{c_p(x,y)}{\sqrt{\sigma_{px}^2 \times \sigma_{py}^2}}$ 。秩相关采用 Spearmen 栏式计算。

以上式中 g_i 为种子园遗传效应， y_j 为试验年份(次)效应， $(gy)_{ij}$ 为种子园和试验年份(次)互作效应， b_k 为区组效应， e_{ijk} 为试验误差。 $\sigma_g^2, \sigma_{gy}^2, \sigma_e^2$ 分别为种子园群体遗传方差分量，种子园和试验年份(次)方差分量和试验误差方差分量。 $c_p(x,y), c_g(x,y)$ 分别为种子园子代 x 性状与 y 性状之间的表型协方差和遗传协方差， $\sigma_{px}^2, \sigma_{py}^2, \sigma_{gx}^2, \sigma_{gy}^2$ 分别为种子园子代 x 性状、 y 性状之间的表型方差分量、遗传方差分量。

2 结果与分 析

2.1 种子园子代性状变异分析

分析结果(表 1)，种子园之间在树高、胸径和材积上的差异都达到极显著水平，其遗传变异系数与表型变异系数相差很小，遗传力高达 0.84~0.90。这表明，种子园之间的子代生长差异，基本上是由遗传基础控制的。

种子园和年份的交互作用在这 3 个性状上的差异未达显著水平， F 值仅为 0.5 左右。这反映出种子园在不同年份结实的种子，由于不同年份自由交配、环境条件变化等的不同，其遗传组成虽有所不同，但是，如无特殊因素影响，这种差异并未达到显著水平。

表 1 种子园子代性状变异

Table 1 Genetic variation of progeny characteristics from seed orchard

性状	均值	F 值		方差分量		变异系数		遗传力
		种子园	种子园×年份	σ_p^2	σ_g^2	V_{pe}	V_{ge}	h^2
树高 /m	5.53	5.832**	0.565	0.055 495	0.050 10	4.26	4.05	0.903 2
胸径 /cm	7.75	3.321**	0.529	0.133 706	0.112 40	4.72	4.33	0.840 6
材积 /m ³	0.02	3.665**	0.449	4.414 5E-06	3.873 2E-06	12.08	11.32	0.877 4
冠幅 /m	2.55	2.394**	0.950	0.004 509	0.002 72	2.63	2.05	0.603 3
盘距 /cm	19.23	2.385**	1.282	0.312 610	0.181 58	2.91	2.22	0.580 8
盘枝数	3.53	0.663	1.920*	0.004 956	—0.002 51	1.99	—	—0.507 3
每米侧枝数	18.46	1.551	1.804*	0.343 560	0.122 06	3.18	1.89	0.355 3

种子园之间在冠幅和侧枝性状上的差异，以冠幅和盘间距为最大，达到极显著水平，且在较大程

度上受遗传基础控制；每米侧枝数次之，受遗传基础控制程度也较小；盘枝数差异最小，未达显著水平，且其 σ_g^2 和 h^2 的估值均为负值，表明种子园子代之间在盘枝数上的差异，并非遗传因素造成的。

2 2 种子园子代性状相关与相关选择

2.2.1 种子园子代性状相关 试验结果表明(表 2)，种子园子代的树高、胸径和材积三者相互之间在表型上和遗传上都是极紧密相关，相关系数 r_p 和 r_g 分别为 0.95~0.99 和 1.00，相关遗传力为 0.86~0.89。这说明在一个特定的共同环境里，三者的表型相关是受遗传基础高度控制的。其中，胸径与材积的相关系数大于树高与材积的相关系数。

冠幅与树高、胸径和材积之间，在表型上具有中等程度相关，在遗传上相关较紧密，表明冠幅与生长之间的遗传影响要大于环境的影响。

盘间距与杉木生长具有轻度到中度相关，其遗传相关明显大于表型相关。盘枝数与生长在表型上或遗传上基本上没有相关关系。每米侧枝数(侧枝密度)与生长在表型上和遗传上均呈负相关。每米侧枝数与冠幅之间，在表型上和遗传上，均有中度以上的负相关，表明宽冠型的植株，其侧枝密度大多较小。

表 2 杉木种子园子代性状相关系数与相关遗传力

Table 2 Correlation and heritability of progeny characteristics from seed orchard

	树高	胸径	材积	冠幅	盘间距	盘枝数	每米侧枝数
树高		0.946 3 **	0.962 6 **	0.557 0 * *	0.305 6	-0.018 8	-0.257 3
		1.000 0 * *	1.000 0 *	0.699 7 * *	0.461 0 *	0	-0.379 7
胸径	0.889 0		0.995 3 * *	0.740 0 * *	0.359 7	-0.103 4	-0.373 5
			1.000 0 * *	0.881 2 * *	0.554 6 *	0	-0.748 8 * *
材积	0.889 0	0.861 8		0.712 5 * *	0.343 8	-0.074 0	-0.335 0
				0.847 7 * *	0.537 5 * *	0	-0.633 3 * *
冠幅	0.642 9	0.685 4	0.687 6		0.459 5	-0.193 7	-0.541 2 *
					0.571 1	0	-0.670 9 * *
盘间距	0.407 6	0.364 6	0.378 7	0.230 4		0.268 5	-0.633 1 * *
						0	-0.989 9 * *
盘枝数	0.026 7	-0.115 6	-0.063 6	0.056 1	0.064 9		0.388 8
							0
米枝数	-0.334 7	-0.411 3	-0.378 8	-0.168 1	-0.386 3	-0.422 8	

说明：对角线右上方为相关系数，其中第 1 行为表型相关系数 r_p ，第 2 行为遗传相关系数 r_g ；对角线左下方为相关遗传力。

2.2.2 树高、胸径与材积秩相关 为进一步探讨树高、胸径与材积三者的相关关系，分析了三者之间的秩相关。结果表明(表 3)，三者之间的秩相关都为极紧密，其中胸径与材积的秩相关系数大于树高与材积的秩相关系数，高达 0.99。这不仅进一步凸现了胸径对材积的影响大于树高对材积的影响，而且反映出杉木种子园子代胸径生长的大小排序与材积的大小排序基本上没有差异。

2.2.3 树高、胸径与材积相关选择 材积是子代生长测定与选择最主要的性状指标，一般都是直接选择。但从树高、胸径与材积的生长相关、秩相关分析来看，有可能通过胸径或树高对材积进行间接选择。试验表明(表 4)，在选择率为 10%~30% 时，通过胸径对材积进行选择的选准率达 100%，而通过树高对材积进行选择的选准率为 50%~100%。这说明，

通过胸径对材积进行间接选择可取得与材积间接选择的同样效果。因此，在子代测验中，如果不是决选，可以通过只测定胸径进行选择，而不必每次测定树高，从而减少最困难的每株树高测定工作。

表 3 树高、胸径和材积之间的秩相关系数

Table 3 Rank correlation among height, diameter and volume

试验林	相关系数		
	树高-材积	胸径-材积	树高-胸径
9801	0.928 7	0.987 6	0.926 6
9901	0.931 7	0.993 3	0.912 6
两者综合分析	0.973 2	0.995 9	0.958 7

表 4 树高、胸径对材积相关选择的选准率

Table 4 Accurate selection rate of volume by height and diameter

相关选择 类别	选择率/%	中选率/%			相关选择 类别	选择率/%	中选率/%		
		9801	9901	两者综合分析			9801	9901	两者综合分析
树高	10	50 0	50. 0	50. 0	胸径	10	100	100	100
↓	20	75 0	75. 0	75. 0	↓	20	100	100	100
材积	30	100	83. 3	83. 3	材积	30	100	100	100

2 3 种子园子代不同年龄之间生长相关与早期选择

2.3.1 年-年之间生长相关 从表 5 可以看出，种子园子代生长，相邻 2 a 之间的年-年表型相关系数，随着年龄的增长而逐级上升，其中树高相关系数由 1~2 年生之间的 0.888 7 上升到 5~6 年生之间的 0.976 6，胸径由 0.616 2 上升到 0.965 2，在 3 年生以下的年-年相关系数(1~2 年生，2~3 年生)基本上在 0.900 0 以下，而 3 年生以上的年-年相关系数(3~4 年生，4~5 年生，5~6 年生)都在 0.900 0 以上。而不相邻的年-年间相关系数，6 年生或 5 年生与 1 年生或 2 年生之间生长相关系数基本上在 0.800 0 以下，与 3 年生或 4 年生的相关系数在 0.800 0 以上。年-年相关这种变化趋势表明，在 3 年生以下，因为植株较小，受环境条件影响较大，生长不稳定，而在 3 年生以上，随着植株长大，抗不良环境条件能力逐渐增强，生长趋于稳定。显然，对于杉木来说，3 年生是一个转折点。年-年间的生长相关，大都是遗传相关系数大于表型相关系数，这表明在一个特定的共同的环境里，年-年间的生长相关主要是受遗传因素控制。

表 5 树高和胸径生长年-年相关系数

Table 5 Correlation between year to year of height and diameter

树龄	9801 相关系数					树龄	9901 相关系数				
	6 年生	5 年生	4 年生	3 年生	2 年生		5 年生	4 年生	3 年生	2 年生	1 年生
6 年生		0.976 6	0.957 1	0.904 2	0.730 9	5 年生		0.966 7	0.861 3	0.793 0	0.509 2
		0.965 2	0.833 1	0.754 0	0.678 7			0.969 6	0.900 2	0.870 0	0.495 9
5 年生	0.983 0		0.980 9	0.939 5	0.776 5	4 年生	0.992 1		0.912 3	0.860 8	0.829 2
	0.977 9		0.918 4	0.837 2	0.733 1		0.992 7		0.959 0	0.893 7	0.622 1
4 年生	0.983 1	0.999 6		0.969 9	0.829 2	3 年生	0.871 4	0.930 1		0.939 0	0.806 2
	0.731 7	0.910 8		0.902 0	0.815 2		0.940 6	0.988 3		0.856 3	0.672 2
3 年生	0.943 2	0.972 6	0.988 8		0.880 9	2 年生	0.829 2	0.910 9	0.970 2		0.888 7
	0.690 3	0.850 9	0.902 5		0.888 4		0.994 5	0.984 7	0.903 8		0.616 2
2 年生	0.756 8	0.801 7	0.855 6	0.931 9		1 年生	0.517 8	0.647 0	0.878 6	0.958 4	
	0.650 1	0.787 8	0.898 3	0.985 0			0.564 5	0.740 3	0.809 1	0.655 8	

说明：对角线右上方为表型相关，左下方为遗传相关。各年第 1 行为树高相关系数，第 2 行为胸径相关系数。

2.3.2 年-年之间生长秩相关 秩相关分析表明(表 6)，在 3 年生以下，树高和胸径在相邻年份之间的秩相关系数，基本上为 0.850 0~0.900 0。在 3 年生以上，相邻年份的秩相关系数在 0.900 0 以上，其中，4~5 年生、5~6 年生的秩相关系数高达 0.950 0 以上。这意味着 5~6 年生时生长已相当稳定，相邻 2 a 之间的种子园子代生长排名变化已经很小。

2.3.3 早期选择可行性 年-年之间子代生长相关和秩相关分析都表明，种子园子代在造林后的当年，由于植株很小，且处于恢复期，极易受环境条件影响，生长很不稳定，因而，其生长大小排序与其后各年相差较大。第 2 年适应环境条件能力已大大增强，生长渐趋稳定，其生长大小排序与其后各年差异迅速减小。第 3 年植株已较大，生长已比较稳定。这意味着，杉木早期选择可以在造林后 2~3 年生开始。为此，试验对 2 年生选择结果与 6 年生选择结果进行了比较。分析表明(表 7)，相对于 6 年生选择而言，如果两者选择率相同，则 2 年生选择的选准率一般为 50.0%~75.0%，最高仅 88.3%。

表 6 年-年秩相关系数

Table 6 Rank correlation between year to year of height and diameter

树龄	9801 秩相关系数					树龄	9901 秩相关系数				
	6 年生	5 年生	4 年生	3 年生	2 年生		5 年生	4 年生	3 年生	2 年生	1 年生
6 年生		0.959 6	0.918 9	0.874 9	0.721 0	5 年生		0.955 9	0.852 0	0.774 0	0.448 7
5 年生	0.965 4		0.974 1	0.897 8	0.809 1	4 年生	0.987 6		0.912 0	0.835 1	0.898 6
4 年生	0.864 0	0.950 9		0.959 7	0.854 5	3 年生	0.930 7	0.939 5		0.898 6	0.737 3
3 年生	0.784 0	0.858 4	0.910 1		0.898 7	2 年生	0.868 2	0.867 2	0.886 8		0.855 6
2 年生	0.716 1	0.795 2	0.852 6	0.909 6		1 年生	0.326 2	0.397 5	0.444 6	0.449 8	

说明：对角线右上方为树高秩相关系数，左下方为胸径秩相关系数(1 年生胸径为地径)。

选择率越小，选准率越低，甚至为 0。但是，如果 2 年生的选择率比 6 年生选择率大 1 倍，无论是树高→树高、胸径→胸径，或树高(2 年生)→材积(6 年生)、胸径(2 年生)→材积(6 年生)的选择，选准率都达到 100%，即：在 6 年生选择时的入选植株，全部中选，无一漏选。2 年生对 5 年生的选择情况也是同样如此。所以第 1 次选择可以从 2 年生(即造林后第 2 年生长长期结束)开始，但其前提必须是：选择率应比 6 年生或 5 年生时的选择率增大 1 倍。

表 7 早期选择在不同选择率下的选准率

Table 7 Accurate rate of early selection under different selecting rates

相关	2 年生与 6 年生的选择(9801)						2 年生时与 5 年生的选择(9801, 9901)					
选择	6 年生选	2 年生选择率/%					5 年生选	2 年生选择率/%				
性状	择率/%	10	20	30	40	50	择率/%	10	20	30	40	50
树高	10	50.0	100	100	100	100	10	50.0	100	100	100	100
↓	20	—	75.0	75.0	100	100	20	—	50.0~75.0	50.0~75.0	50.0~100	75.0~100
树高	30	—	—	66.7	83.3	100	30	—	—	50.0~83.3	50.0~100	66.7~100
胸径	10	0	100	100	100.0	100	10	50.0	100	100	100	100
↓	20	—	75.0	100	100	100	20	—	75.0~100	75.0~100	100	100
胸径	30	—	—	66.7	83.3	100	30	—	—	83.3~100	100	100
树高	10	0	100	100	100	100	10	50.0~100	100	100	100	100
↓	20	—	75.0	100	100	100	20	—	75.0	75.0	100	100
材积	30	—	—	66.7	83.3	100	30	—	—	66.7~83.3	83.3~100	100
胸径	10	0	100	100	100	100	10	50.0	100	100	100	100
↓	20	—	75.0	100	100	100	20	—	75.0~100	75.0~100	100	100
材积	30	—	—	66.7	83.3	100	30	—	—	66.7~100	83.3~100	100

3 结论与讨论

杉木种子园子代树高、胸径和材积三者之间，无论是在表型上或是在遗传上都是极紧密相关，而且胸径与材积的相关大于树高与材积的相关，遗传相关大于表型相关。通过胸径对材积进行相关选择，选准率达 100%。今后在子代测定中，可以通过胸径对材积进行间接选择，特别是在非决选的选择中，更可以通过胸径进行选择。在杉木侧枝性状上，盘枝数、每米侧枝数(侧枝密度)与树高、胸径、材积之间，在遗传上没有相关性。这表明，侧枝数虽是杉木良种选育中的一个选项(一般选择浓密型)，但是这种选择，对于群体来说，效果可能是很小的。

不同年龄之间的生长性状表型相关、遗传相关、秩相关随着年龄的增长而增长，其年-年之间的秩次变化，在 2~3 年生时已渐趋稳定，5~6 年生时已基本稳定，秩相关系数高达 0.96~0.99。这种变化趋势为确定杉木早期选择年龄提供了重要的科学依据。

早期选择一直是树木育种工作者十分关心的重要问题^[19-31]。早在 20 世纪 80 年代初期，叶培忠和

陈岳武等率先开展了杉木早期选择的研究, 最后得出杉木种子园子代测定可在造林后第 3 年进行第 1 次选择, 第 6~7 年进行第 2 次选择(决选)的结论。但在此后, 陈晓阳、胡德活、马常耕和赵承开等的研究则分别提出杉木早期选择应在造林后第 3~4 年、第 4~6 年、第 5~6 年, 甚至更高的年龄段进行。而我们的研究结果不仅重新肯定了叶培忠和陈岳武的研究结论, 并且进一步得出, 如果将第 1 次选择(早期选择)的选择率比第 2 次选择增加 1 倍, 则杉木早期选择可以从 2 年生开始(即: 在选林后第 2 年生长期结束后进行)。相对于 6 年生选择(第 2 次选择)而言, 如果 2 年生时的选择率增加 1 倍, 其选准率达 100%, 即 6 年生选择时将入选的植株在此时无一漏选。无论是树高对树高、胸径对胸径或是树高对材积、胸径对材积的选择, 均为如此。这个结论与 Borralho 等^[25] 在蓝桉 *Eucalyptus globulus* 研究中取得的结果相一致。Borralho 等^[25] 在研究中证实, 在二阶段选择中, 第 1 阶段选择的入选株数必须为第 2 阶段选择的入选株数的 2 倍, 才能保证第 1 阶段选择的可靠性。

根据上述, 我们认为, 在杉木子代测定中, 只要造林设计合理, 栽培抚育得当, 幼株生长正常, 如果选择率比第 2 次选择时增加 1 倍, 在 2 年生进行早期第 1 次选择应是可行的。

参考文献:

- [1] 叶培忠, 陈岳武, 阮益初. 杉木早期选择的研究[J]. 南京林产工业学院学报, 1981, 5(1): 106—116.
- [2] 陈岳武, 施季森. 杉木遗传改良中的若干基本问题(续)[J]. 南京林学院学报, 1984, 8(1): 1—15.
- [3] 陈晓阳, 黄智能, 郑永寿, 等. 杉木家系生长选择的适宜年龄[M] // 沈熙环. 种子园优质高产技术. 北京: 中国林业出版社, 1994: 217—224.
- [4] 莫昭展. 杉木性状的遗传相关分析[J]. 广西林业科学, 2001, 30(1): 23—27.
- [5] 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): 62—69.
- [6] 洪菊生, 陈建新. 杉木种源生长早期选择研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(专刊): 93—100.
- [7] 洪菊生, 杨宗武. 杉木种源遗传参数的估计和应用[J]. 林业科学研究, 1994, 7(专刊): 101—116.
- [8] 赵承开. 杉木优良无性系早期选择年龄和增益[J]. 林业科学, 2002, 38(4): 53—60.
- [9] 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, 14(2): 168—175.
- [10] 何贵平, 陈益泰, 关志山, 等. 杉木无性系生长与分枝习性的遗传变异[J]. 林业科学研究, 1997, 10(5): 556—559.
- [11] 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.
- [12] 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: 自然科学版, 2005, 29(5): 21—24.
- [13] 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.
- [14] 蔡武华. 杉木第 2 代种子园子代测定效果分析[J]. 福建林业科技, 2002, 29(3): 56—58.
- [15] 胡德活, 阮梓材, 钱志能, 等. 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.
- [16] 孙鸿有, 郑勇平, 翁春媚, 等. 杉木种子园种子品种性状变异及遗传参数[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(1): 61—65.
- [17] 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.
- [18] 赵剑斌, 何桢样. 杉木第 2 代种子园子代测定效果分析[J]. 云南林业科技, 1996(4): 41—45.
- [19] 陈益泰. 林木早期选择研究新进展[J]. 林业科学研究, 1994, 7(专刊): 13—22.
- [20] 梁一池. 杉木幼、成熟龄生长性状相关性及早早期选择的研究[J]. 林业科技通讯, 1984(2): 1—3.
- [21] 杨秀艳, 季孔庶. 林木育种中的早期选择[J]. 世界林业研究, 2004, 17(2): 6—8.
- [22] 王章荣, 陈天华, 周志春, 等. 福建华安马尾松生长早晚期相关及早早期选择[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 1987, 7(3): 41—47.

- [23] 谭碧霞, 钟伟华. 火炬松早期性状鉴定技术的研究[J]. 林业科学研究, 1992, 5(3): 304—310.
- [24] 陈伯望, 沈熙环. 油松生长性状早期选择的研究[J]. 林业科学, 1992, 28(5): 450—455.
- [25] BORRALHO N M G, COTTERILL P P, KANOWSKI P J. Genetic control of growth of *Eucalyptus globulus* in Portugal (II) Efficiencies of early selection [J]. *Silvae Genetica*, 1992, 41(2): 70—77.
- [26] GARTER K K, ADAMS G W, GREENWOOD M S. Early family selection in jack pine [J]. *Can J For Res*, 1990, 20(3): 285—291.
- [27] MCKEAND S E. Optimum age for family selection for growth in genetic tests of loblolly pine [J]. *For Sci*, 1988, 34(2): 400—411.
- [28] BAILLIAN L, WILLIAMS C G, CARLSON W C, *et al.* Gain efficiency in short-term testing: experimental results [J]. *Can J For Res*, 1992, 22(3): 290—297.
- [29] LAMBETH C C. Juvenile-mature correlations in Pinaceae and implications for early selection [J]. *For Sci*, 1980, 26: 571—580.
- [30] MULLIN J J, PARK Y S. Genetic parameters and age-age correlations in clonally replicated test of black spruce after 10 years [J]. *Can J For Res*, 1994, 24: 2 330—2 341.

Correlations in progeny trials of *Cunninghamia lanceolata*

FU Shun-hua¹, DONG Ru-xiang², WU Long-gao³, FENG Jian-min²,
LIU Wei-hong⁴, HUA Chao-hui⁵, SUN Hong-you¹

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;
2. Zhejiang General Station of Forest Tree Seed and Seedling, Hangzhou 310020, Zhejiang, China; 3. Forest Enterprise of Longquan County, Longquan 323700, Zhejiang, China; 4. Zhejiang Xin'an River Development Corporation, Chun'an 311700, Zhejiang, China; 5. Forest Enterprise of Suichang County, Suichang 323300, Zhejiang, China)

Abstract: The objective is to find the regularity of hereditary variations in *Cunninghamia lanceolata* (Chinese fir) seed orchard and improve the stock breeding efficiency. Data were analyzed from two progeny trials of 17 *Cunninghamia lanceolata* seed orchards that were surveyed continuously over 6 years for phenotype and genetic correlations among growth traits, age, and rank correlation. Results indicated a close correlation ($P < 0.05$, r_p and r_g near or equal to 1.0) among growth traits of height, diameter, and stem volume. Crown width was significantly correlated to growth traits of height ($P < 0.01$, $r_p = 0.557\ 0$, $r_g = 0.699\ 7$), diameter ($P < 0.01$, $r_p = 0.740\ 0$, $r_g = 0.881\ 2$), and stem volume ($P < 0.01$, $r_p = 0.712\ 5$, $r_g = 0.847\ 7$), whereas two growth rings was significantly correlated to growth traits of height ($P < 0.005$, $r_s = 0.461\ 0$), diameter ($P < 0.05$, $r_p = 0.554\ 6$), and stem volume ($P < 0.01$, $r_p = 0.537\ 5$). Branch number per meter was negatively correlated to growth traits ($P > 0.01$). The correlation coefficients of the growth traits between different years increased with age. The growth sequence tended to be stable when 2—3 years old, and became steady-state after 6 years. Within a progeny trial of *C. lanceolata*, the first selection from the orchard can begin after afforestation at the end of the second year of growth. The selection rate should be twice that of the second selection. With this selection criteria, the accuracy rate of the selection should be close to 100%. Also, when stem volume is selected indirectly by diameter, accuracy rate of the selection should be close to 100%. [Ch, 7 tab. 30 ref.]

Key words: forest breeding; *Cunninghamia lanceolata*; seed orchard; progeny trial; trait correlation; rank correlation; early selection