

杉木自由授粉后代测定及多性状选择

齐明 陈益泰 李恭学 郭学明 刘国龙

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)

(中国林业科学研究院大岗山实验局)

摘要 以八年生54个杉木自由授粉家系为研究材料,分析了杉木主要经济性状在家系间的差异,以及杉木数量性状的遗传变异、遗传相关,进一步为杉木遗传改良提供了证据。运用指数选择法,就生长和形质两个方面综合评定了杉木家系表现,评选出了16个速生优质的杉木家系,供生产实践上推广应用。

关键词 杉木; 后代测定; 生长性状; 形质性状; 指数选择法

杉木遗传改良工作已经进行了几十年,南方各省都选出了许多优树,广泛地开展了后代测定及其遗传变异的研究。但是由于社会经济条件以及人们认识水平的限制,长期以来杉木改良工作的重点一直放在提高生长量上,而对杉木形质、材质、抗性等性状考虑甚少。随着我国国民经济的发展,社会对木材的需求已经发生了巨大的变化。因此,开展杉木多性状改良的任务就十分迫切地摆在林木育种工作者的面前。

这里以杉木初级种子园中的优树无性系自由授粉后代测定试验林为材料,对杉木性状的遗传变异加以研究,试图达到如下几个目的:①了解杉木自由授粉家系间在不同性状上的差异,为家系选择提供依据,为营建生产性种子园提供优良无性系。②了解杉木不同性状间的遗传变异及遗传相关,为杉木多性状改良提供依据。③运用指数选择法,综合评定杉木家系,为杉木的多性状选择提供依据,同时也为进一步开展杉木全同胞测定打下基础。

一、材料与方 法

1980年秋在浙江省龙泉、丽水、开化、临安等地的杉木初级种子园中,从54个杉木无性系(原产于浙南、浙西、闽北、粤北和湘西南)中收集杉木种子,次年在亚林所内(浙江富阳)育苗,1982年春在江西省大岗山实验局山下林场砚里进行造林试验,用当地的杉木苗作对照。

田间试验按随机区组设计,4株小区,重复10次。1988年秋天,就胸径 D 、树高 H 及枝下高 H_0 进行调查。室内计算材积及高径比。对这些性状进行:①方差分析,②相关分析,③指数分析法^[1,2]。

指数分析方法假定选择性状为: $x_1, x_2 \dots x_n$, 则

$$\text{选择指数: } I = \sum_{i=1}^n b_i x_i = B'X = (b_1 b_2 \dots b_n) \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

这里: $B = \text{cov}_P^{-1} \cdot \text{cov}_G \cdot A$ 。而, cov_P 为性状表型方差-协方差矩阵, cov_G 为性状遗传方差-协方差矩阵, A 为选择性状的经济权重阵。

$$\text{cov}_P = \begin{bmatrix} V_P(x_1) & \text{cov}_P(x_1 x_2) & \dots & \text{cov}_P(x_1 x_n) \\ \text{cov}_P(x_1 x_2) & V_P(x_2) & \dots & \text{cov}_P(x_2 x_n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \text{cov}_P(x_1 x_n) & \text{cov}_P(x_2 x_n) & \dots & V_P(x_n) \end{bmatrix}$$

$$\text{cov}_G = \begin{bmatrix} V_G(x_1) & \text{cov}_G(x_1 x_2) & \dots & \text{cov}_G(x_1 x_n) \\ \text{cov}_G(x_1 x_2) & V_G(x_2) & \dots & \text{cov}_G(x_2 x_n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \text{cov}_G(x_1 x_n) & \text{cov}_G(x_2 x_n) & \dots & V_G(x_n) \end{bmatrix}$$

cov_P 、 cov_G 矩阵可由方差-协方差分析求得。 $A = (a_1 a_2 \dots a_n)$, 根据生产发展情况和需要, 人为确定。根据各家系的选择指数 I 值, 由大到小地排列, 评选出优良家系。

二、结果与分析

(一) 杉木自由授粉家系在不同性状上的差异

55个杉木家系(包括一个对照)不同性状方差分析结果列于表1。材积、胸径、树高与生长速度有关, 称之为生长性状; 枝下高及高径比与木材尖削度、出材率有关, 故称之为形质性状。杉木不同家系在生长性状及形质性状上均有显著差异, 其 F 值远远超过 1% 统计水平。这是家系选择的依据。

表1 杉木各性状方差分析结果

变异来源	材积		胸径	树高	枝下高	高径比
	自由度	F值	F值	F值	F值	F值
区组	9					
家系间	54	3.39**	3.22**	3.287**	1.945**	3.018**
家系内	486					

注: $F_{0.01}(54, 486) = 1.57$ 。

(二) 性状差异分述及其选择效果

根据性状的变异性将参试品种划分为: 速生(或优质)型、慢生(或劣质)型以及过渡中间型三类。在八年生的杉木自由授粉后代试验林中, 材积性状的群体平均值为 33.51 dm^3 , 标准差为 6.53 dm^3 。落在群体均值一倍标准差 ($\bar{x} \pm \delta = 33.51 \pm 6.53$) 范围以外的家系, 正向有 063 等 8 个家系(见表 2), 为

速生型家系。负向亦有 036 等 11 个家系, 为慢生型家系。

对上述正向的 8 个家系加以选择, 则入选群体均值 $\bar{x}_s = 45.10 \text{ dm}^3$, 由此可算出选择响应: $R = s \cdot h_B^2 = 8.17 \text{ dm}^3$, 遗传增益 $\Delta G = R/\bar{x} \times 100\% = 24.38\%$ 。这 8 个家系, 其材积生长超过群体平均水平 34.59%, 超过当地对照 CK 37.45%。

其它性状可依照上述方法进行分析, 其结果汇于表 2。可以发现这些速生(或优质)型家系, 在不同性状上, 不仅家系数目, 而且在家系号上并不同步。这也将为后面相关研究所证

表 2 杉木家系单性状类型划分及其选择效果

类 型	材积(dm ³)		胸 径 (cm)		树 高 (m)		类 型	高 径 比		枝下高(m)	
	家系	性状值	家系	性状值	家系	性状值		家系	性状值	家系	性状值
速生型家系 (材积≥ 40.04 dm ³ , 胸 径≥10.50 cm, 树高≥7.16 m)	063	50.53	061	11.32	063	7.76	优质型家系 (高径比≥73.32; 枝下高≥1.81 m)	028	77.27	008	2.11
	061	47.69	066	11.25	061	7.57		002	76.78	010	2.07
	066	46.46	063	11.18	058	7.53		001	74.48	009	1.91
	058	45.66	012	11.07	057	7.45		010	74.36	062	1.91
	057	45.03	057	10.98	008	7.36		008	74.18	054	1.90
	012	42.73	004	10.83	004	7.34		030	74.21	004	1.85
	004	42.03	058	10.79	017	7.33		065	73.87	055	1.87
	021	40.63	025	10.60	025	7.26				061	1.88
			031	10.58	066	7.27				066	1.85
			021	10.55	012	7.17					
			011	10.54							
慢生型家系 (材积< 26.98 dm ³ , 胸 径<8.94 cm, 树高<6.30 m)	036	26.46	048	8.33	040	6.29	劣质型家系 (高径比<67.46; 枝下高<1.47 m)	011	67.36	021	1.46
	029	25.65	045	8.66	032	6.29		031	61.37	031	1.40
	048	25.54	029	8.61	048	6.26		006	66.82	012	1.43
	051	25.32	001	8.57	003	6.24		012	65.50	043	1.40
	002	24.74	002	8.41	013	6.24		018	66.47	045	1.38
	003	24.56	043	8.09	051	6.09		023	65.68	053	1.33
	030	23.67			043	5.85				048	1.44
	043	20.94									
群体均值 \bar{x}	33.51 dm ³	9.72 cm	6.73 m	群体均值 \bar{x}	70.39	1.64 m					
CK(068)	32.81 dm ³	9.22 cm	6.51 m	CK(068)	65.38	1.38 m					
入选群体>CK	37.45 %	12 %	13.73 %	入选群体>CK	14.75 %	39.63 %					
入选群体> \bar{x}	34.59 %	6.23 %	10.01 %	入选群体> \bar{x}	6.58 %	17.55 %					
选择响应R	8.17 dm ³	0.801 cm	0.469 m	选择响应R	3.19	0.1398 m					
遗传增益ΔG	24.38 %	8.24 %	6.96 %	遗传增益ΔG	4.53 %	8.53 %					

明。但是，我们可以依照研究的结果，将速生型家系与优质型家系交配，根据独立分离法则，有可能选育出速生优质型家系，供生产上利用。

(三) 杉木家系不同性状的遗传分析^[3]

八年生的杉木自由授粉家系后代测定林，就方差分析结果，可进一步获得不同性状遗传变异的信息。由表 3 知：杉木家系间不同性状的遗传变异在生长性状及形质性状上是有所差异的。其中生长性状的广义遗传力较高：材积 $H_B^2=70.50\%$ ，胸径 $H_B^2=68.94\%$ ，树高 $H_B^2=69.58\%$ ；而形质性状的广义遗传力略低于生长性状：枝下高 $H_B^2=48.59\%$ ，高径比 $H_B^2=66.87\%$ 。

表 3 杉木不同性状的遗传变异

(单位：%)

性 状	材积	胸径	树高	枝下高	高径比
表型变异系数	19.47	7.98	6.33	10.44	4.17
遗传变异系数	16.39	6.63	5.28	7.28	3.41
广义遗传力	70.50	68.94	69.58	48.59	66.87

表 3 还表明：不同性状在群体中的遗传变异幅度相差甚远。其中材积的遗传变异最大， $GCV=16.39\%$ ；高径比的遗传变异最小， $GCV=3.41\%$ 。而胸径、树高及枝下高的遗传变异范围居中，分别为 6.63%、5.28% 和 7.28%。

根据杉木性状的遗传控制程度及遗传变异范围大小,可以得出:在杉木主要经济性状中,材积这一性状最容易获得改良,而高径比则最难获得改良。胸径、树高及枝下高可以通过轮回选择的途径加以改良。

表4 杉木家系间不同性状之间的相关

	材 积	胸 径	树 高	枝 下 高	高 径 比
材 积	1.000	0.9423**	0.8874**	0.2680	-0.345**
胸 径		1.000	0.8482**	0.2590	-0.4804**
树 高			1.000	0.475**	-0.9733
枝 下 高				1.000	0.3367
高 径 比					1.000

表4是杉木家系间不同性状之间的遗传相关^[4]。由此可知:杉木生长性状之间具有强烈相关;而形质性状中枝下高与高径比具有一定正相关。生长性状与形质性状之间具有复杂的相关:枝下高与树高有明显的正相关,但与材积、胸径相关不明显;高径比与材积、胸径具有明显的负相关,但与树高相关不明显。这些结果既为杉木改良时作相关选择提供了依据,同时也为杉木改良作直接选择提出了问题。

(四) 杉木家系的综合评定与多性状选择

杉木生长性状与形质性状之间具有复杂的相关,那么采用什么选择方法可以获得速生优质的家系呢?在树木遗传改良中,常采用指数选择法。

杉木生长性状彼此之间具有强烈的正相关,亦表明:彼此之间具有较大的代表性。而材积在生长性状中不仅是主要的经济性状,而且也是较容易获得改良的性状。因此,在杉木家系的综合评定中,我们用材积代表生长性状,用枝下高、高径比两性状代表形质性状,从速生及优质的角度评定杉木优良家系。

杉木材积、枝下高及高径比进行方差-协方差分析,可求得杉木性状表型方差-协方差矩阵 COV_P 以及遗传方差-协方差矩阵 COV_G :

$$\text{COV}_P = \begin{bmatrix} 53.3075, & 0.5302, & -12.2645 \\ 0.5302, & 0.0718, & 0.2844 \\ -12.2645, & 0.2844, & 14.1656 \end{bmatrix}$$

$$\text{COV}_G = \begin{bmatrix} 22.3742, & 0.4500, & -6.6739 \\ 0.4500, & 0.0412, & 0.1699 \\ -6.6739, & 0.1699, & 7.6609 \end{bmatrix}$$

杉木性状的经济权重,可根据我国木材工业及木材生产的具体情况,经验地假定:材积:枝下高:高径比 = 3:1:1,即, $A = (3, 1, 1)$,

$$\text{则: } B = \text{COV}_P^{-1} \times \text{COV}_G \cdot A = \begin{bmatrix} 0.8670 \\ 17.1785 \\ -0.4550 \end{bmatrix}.$$

故所求指数选择函数式为:

$$I = 0.8670 x_1 + 17.1785 x_2 - 0.4550 x_3 \quad (1)$$

遗传指数式为:

$$g^* = 0.8670 g_1 + 17.1785 g_2 - 0.4550 g_3 \quad (2)$$

聚合遗传型:

$$H = 3 g_1 + g_2 + g_3 \quad (3)$$

选择指数 I 的表型方差 $V(I) = B' \text{cov}_p \cdot B = 85.213$; 遗传指数 g^* 的方差 $V(g^*) = B' \cdot G \cdot B = 47.44$; 聚合遗传型 H 的方差 $V(H) = A' \cdot G \cdot A = 172.07$; 选择指数 I 与聚合遗传型 H 间协方差 $V(IH) = B' \cdot G \cdot A = V(I) = 85.213$; 选择指数 I 的遗传力 $h_I^2 = V(g^*)/V(I) = 55.67\%$; 选择指数 I 与聚合遗传型 H 的相关 $\gamma_{IH}^2 = V(I)/V(H) = 0.4752 \Rightarrow \gamma_{IH} = 0.7037$; 选择指数 I 的效率 $E_I = h_I^2 \cdot \gamma_{IH}^2 = 27.57\%$ 。

对式(1)进一步简化:

$$I = 1.9057 x_1 + 37.7594 x_2 - x_3 \quad (4)$$

按式(4)评定各家系, 结果汇于表5。又群体平均材积 $V = 33.51 \text{ dm}^3$, 枝下高1.64m, 高径比70.39, 故群体平均选择指数 $\bar{I} = 55.40$, 其标准差 $\delta_I = \sqrt{V(I)} = 9.23$ 。

表5 杉木各家系的选择指数

家系编号	I 值	家系编号	I 值	家系编号	I 值
001	39.91	021	64.93	048	31.11
002	35.31	023	60.43	049	54.10
003	34.88	025	71.19	050	56.65
004	81.32	026	39.44	051	40.39
005	58.04	027	52.34	053	34.47
006	49.01	028	45.45	054	60.27
007	49.23	029	33.51	055	67.97
008	77.14	030	34.33	056	58.50
009	60.93	031	62.59	057	81.67
010	67.83	032	50.32	058	78.27
011	68.69	033	51.85	059	45.09
012	69.93	034	45.91	061	93.87
013	52.12	035	53.19	062	83.06
014	50.60	036	38.28	063	86.41
015	47.17	037	58.88	065	45.23
017	67.64	038	48.81	066	85.25
018	60.80	040	47.25	CK	49.25
019	45.79	043	19.93		
020	65.41	045	34.26		

参试家系 I 值落在群体均值一倍标准差 ($\bar{I} \pm \delta_I$) 范围以外的家系, 负向 ($\bar{I} - \delta_I = 46.17$) 的有: 001等共17个家系, 遗传品质差, 在杉木遗传改良时应给予淘汰。正向 ($\bar{I} + \delta_I = 64.63$) 共有: 061、063、066、062、057、004、058、008、025、012、011、055、010、017、020、021共16个家系, 它们生长快, 形质优良, 是杉木遗传改良的选育对象。对这16个家系加以选择, 则入选群体均值 $\bar{I}_s = 75.47$; 选择进展 $R = S \cdot h_I^2 = 11.18$; 相对遗传进展 $\Delta G = R/\bar{I} \times 100\% = 20.17\%$ 。指数 I 值在群体均值一倍标准差范围以内分布的家系, 多为生长表现一般、形质居中的家系, 它们是杉木遗传改良的参考对象, 可以用来丰富群体遗传基础。

在种子园营建时, 可以提高速生优质型杉木亲本无性系在种子园中的频率, 而用参考家

系的亲本无性系进行点缀,防止近交以及窄化群体的遗传基础。当然,最好是建园材料都使用那种速生优质型的杉木无性系。

三、小结与讨论

(一) 运用指数选择法评定杉木各家系,评选出16个速生且形质优良的家系,它们是:061, 063, 066, 062, 057, 004, 058, 008, 025, 012, 011, 055, 010, 017, 020, 021。这些家系的入选,其选择指数这一综合性状可望获得20.17%遗传进展。这些家系的种子值得在江西分宜及与之具有相似立地条件和气候条件的地区大力推广。

(二) 多性状选择与单性状选择的比较

在本次研究中,运用指数选择法进行多性状选择,共选16个优良家系,选择强度为16:54,此时材积、枝下高及高径比三个性状获得的改良结果见表6。

如果采用直接选择法,对该试验的家系进行单性状选择,在同等的选择压力作用下,选择性状及其它性状相应获得的改良效果见表7。

下面从遗传增益、改良花费的成本以及历经时间三个方面,对多性状改良及单性状改良粗略地进行比较,试图得出一些有益的结果。

表6 采用多性状选择杉木材积、枝下高及高径比的改良效果

项 目 \ 性 状	选择指数 I	材 积	枝下高	高 径 比
入选群体均值	75.47	41.362 5	1.766 9	69.879 4
遗传进展	11.18	5.536 0	0.061 0	-0.338 1
改良效果 ^①	20.17 %	16.52 %	3.72 %	-4.80 %

①高径比的改良效果为-4.8%,这可能与性状的变异性及经济权重系数大小有关。

表7 采用单性状选择杉木各性状的改良效果(16:54)

选择性状	项 目	入选群体均值	选择响应	遗传增益	入选家系号
A 栏	直接选,材积	41.480 6	5.619 9	16.77 %	063, 061, 066, 058, 057, 012,
	间接选 { 枝下高	1.694 4	0.025 8	1.57 %	004, 021, 025, 017, 062, 011,
	高径比	69.073 7	-0.876 9	-1.25 %	008, 031, 018, 005
B 栏	直接选,枝下高	1.854 9	0.103 8	6.33 %	008, 010, 009, 062, 054, 004,
	间接选 { 材积	35.860 7	1.657 8	4.95 %	055, 061, 020, 066, 028, 032,
	高径比	71.129 0	0.497 7	7.07 %	049, 057, 056, 014
C 栏	直接选,高径比	73.702 5	2.258 4	3.21 %	028, 002, 065, 001, 010, 008,
	间接选 { 材积	30.800 7	-1.909 5	-5.70 %	030, 005, 066, 029, 043, 026,
	枝下高	1.671 2	0.014 5	8.86 %	036, 034, 059, 050

1. 可以认为,多性状选择改良与单性状选择改良,从采条建园到种子园投产,所花费的人力、物力、财力以及性状改良时所历经的时间是大致相同的,这也是我们比较的前提条件。那么,它们之间的比较将集中在遗传增益上。①将表6与表7的A栏比较可以发现:虽然单独选择生长性状材积时,材积增益高达16.77%,比多性状改良时材积增益提高了0.27%,但在枝下高、高径比这两个性状上分别下降了2.15%及7.7%。这种选择的结果是速生但不乏劣质的家系入选。②将表6与表7 B栏结果比较,可以发现:虽然单独选择枝下高时,其

增益6.33%比多性状选择时枝下高的获益3.72%提高了2.61%，高径比遗传增益提高了11.87%，但材积的增益却下降了11.57%。这种决策的结果，选择家系多半是生长中等偏上但形质优良的家系。③最后将表6与表7C栏结果进行比较，可以发现：以高径比为主要改良目标时，优先选择高径比大的家系，该性状增益3.21%比多性状改良时高径比获益-4.8%提高了3.69%；但此时，与多性状改良相比，材积获益却降低了22.22%，枝下高获益降低了2.83%。如此决策，选择的家系显然是生长缓慢而形质一般的造林材料。

2. 假定每个性状改良时，改良所花费的时间、财力及人力大致相同。采用单性状改良时，为了达到多性状改良大致相同的效果，同时展开对材积、枝下高及高径比的改良，其育种成本将大致是多性状改良的三倍。

3. 假定每个性状改良时，改良所花费的时间、财力及人力大致相同。为了达到多性状改良效果，而采用单性状选择的方法，逐个地对目标性状进行改良，其花费的时间将是多性状选择改良的三倍。

综上所述，运用指数选择法对杉木进行多性状改良，比单性状改良要优越。这种决策经济、合算，同时又能达到杉木改良的要求。

参 考 文 献

- [1] 马育华, 1982, 作物育种的数量遗传学基础, 江苏科技出版社。
 [2] King, J. N. et al., 1988, Selection of wood density and diameter in controlled crosses of coastal Douglas-Fir, *Silval Genetic*, 3~4。
 [3] 陈岳武等, 1984, 树木良种选育方法, 中国林业出版社。
 [4] 刘垂珂等, 1983, 多数性状遗传分析的数据结构, 遗传, 7(4):12~14。

OPEN POLLINATION PROGENY TESTING AND MULTIPLE-TRAITS SELECTION ON CHINESE FIR

Qi Ming Chen Yitai Li Gongxue

Guo Xueming Liu Guolong

(The Research Institute of Subtropical Forestry CAF) (Da Gang Shan Experimental Bureau CAF)

Abstract Open pollination progeny testing of 54 families of 8-year-old Chinese Fir was conducted. The main economic traits including growth development and trunk-shape were measured in order to find out: ① the differences between different traits of Chinese Fir families; ② genetic variation of quantitative traits among the families; ③ and at last, by using of Index Selection Method, 16 fast-growing families with higher qualities were assessed. The genetic gain in the selective index values reached 20.17%. The results also show that Index Selection Method is very effective.

Key words Chinese Fir; progeny testing; growth trait; form trait; index selection method