

杉木主要生长性状配合力分析 及杂种优势的利用*

王赵民 陈益泰

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)

摘 要

7个杉木亲本按全双列交配设计,对4年生杉木的树高、胸径、枝盘数、分枝数及冠幅的一般配合力、特殊配合力、反交效应、自交效应及杂种优势作了分析和计算。结果表明:①5个数量性状主要受一般配合力效应所控制;②在特定亲本的交配组合间特殊配合力及反交效应也有一定影响;③杉木具有较高的自交率,但衰退是普遍的,在良种繁育及长期育种中应予以注意避免或利用;④在杉木杂交组合中,常出现超亲正向杂种优势,这些杂种优势多与亲本的一般配合力有关。在利用杂种优势的育种中,一般配合力可作为选择亲本的一个标准。

关键词 杉木杂交;配合力;反交效应;自交效应;杂种优势

本研究试图通过测定分析杉木杂交后代的性状表现,完整地估算杉木亲本几个性状的遗传参数——一般配合力和特殊配合力、反交效应、自交效应、杂种优势效应以及性状遗传力,同时研究杂种优势效应的稳定性与配合力效应间的关系,为拟定杉木育种策略提供遗传上的依据。

取得上述遗传参数的交配设计是双列交配。在国外,Kriebel(1972)^[1]、Kraus(1973)^[2]等利用双列杂交对美国东部的白松(*Pinus strobus*)、黑云杉(*Picea mariana*)、长叶松(*Pinus palustris*)和罗得西亚展松(*Pinus patula*)等树种的一些性状作过配合力研究。国内陈岳武、陈益泰等^[3]对杉木也作过类似的研究。但对杂种优势效应以及配合力效应间的关系方面还未见报道。本文仅就7×7全双列杂交后代幼龄阶段试验结果进行分析和讨论。

一、材料及方法

本试验杂交制种工作,于1982年3月在浙江省余杭县长乐林场杉木初级种子园中进行。取7个亲本作7×7全双列杂交,包括福建、江西、湖南、湖北、贵州各1个亲本,广西2个亲本。

本文于1988年4月15日收到。

• 日本村、李恭学同志参加育苗工作,胡炳堂同志参加造林,在此一并致谢。

其中有 2 个亲本的自交种子发芽率较低，成苗很少，实际参加造林试验的只有 7 个亲本的 42 个杂交组合和 5 个亲本的自交后代，另加 7 个亲本自由授粉后代和富阳商品种子作为对照。

供试苗木于 1983 年元月份播种，5 月初将容器苗移入苗圃地，随机区组设计，单行小区，每行 12 个容器，约 20—30 株苗木，重复 4 次，按一般生产措施管理。1984 年 3 月份在浙江省富阳县受降乡四联村的马尾松纯林皆伐迹地上营造对比试验林，采用随机区组设计，4 株顺坡单行小区，重复 10 次。其中 2 个重复的部分小区经常积水，影响树木的正常生长，所以本试验只取 8 个重复的数据进行统计分析。

苗期和造林后每年年底进行树高生长量及 3—4 年生胸径生长量的测定，3 年生时还调查了冠幅、当年分枝轮盘数和分枝总数。苗期观测时因各组合苗木株数不等，故在统计分析前先进行了回归相关分析。结果表明，所观测的苗木高度不随苗木株数多少而变化。苗期只以小区平均数为单位进行统计分析，其他性状的统计分析以单株为基础，根据 Griffing 提出的“双列杂交方法三”^[4]的分析程序分别固定模型(模型 I)及随机模型(模型 II)进行统计分析。并计算了家系和单株遗传力。在配合力方差分析时，模型 I 的误差均方是根据小区内株间的方差减去小区方差单独求算而得的。

自交衰退程度按 Kheradnam^[6]等人的方法。其公式为：

$$D = \frac{F_{Si} - \overline{OP}}{\overline{OP}} \times 100\%$$

式中 D 代表自交衰退程度， F_{Si} 为任一亲本自交 F_1 代家系的平均值， \overline{OP} 为某(任)一自交家系相应亲本的自由授粉子代平均值。

杂交组合的杂种优势用类似 Bahman^[6]等人的方法。其公式为：

$$H = \frac{F_1 - \overline{OP}}{\overline{OP}} \times 100\%$$

式中 H 代表杂种优势程度， F_1 代表任一个杂交组合(家系)的平均值， \overline{OP} 为某(任)一个 F_1 组合中一个优势亲本的自由授粉子代的平均值(简称优亲子代)。

二、结果及分析

(一) 配合力及反交效应

1. 交配组间差异 对组间变量以模型 I(固定模型)和模型 II(随机模型)进行方差分析，结果列于表 1。表明所有观测性状的 F 值均达到了显著和极显著水平。

2. 配合力效应值 各性状基因型的方差分析列于表 2，表明杉木的性状不同，其遗传控制的信息是不同的。所有观测的 5 个性状，其一般配合力，不论在模型 II(随机模型)还是模型 I(固定模型)下，都达到了极显著差异水平，而各性状的特殊配合力及反交效应表现则很不一致。

各性状一般配合力及其差异显著性测验列于表3。从表中看到不同亲本各性状(除冠幅外)的一般配合力效应值大小有很大差异,都达到了显著或极显著水平。4、6号亲本属枝叶浓密窄冠速生型亲本,8号亲本为分枝稀疏宽冠速生型亲本。这三个亲本的树高及胸径的一般配合力效应值均排在各年度之首位,其秩次亦比较稳定,可作为第一代种子园的亲本之用。而1、7号亲本树高和胸径的一般配合力效应值均为负向效应,应予以淘汰。

表4为在固定模型下树高各交配组合特殊配合力效应值。结果表明因杂交组合不同其效应值有较大的差异,其中正向效应占组合数的42.86—52.38%。树高组合6×8、5×7、2×5、4×7、1×4和胸径组合5×7、6×8、2×5、1×8、4×7组合的特殊配合力效应值较高,在历年生长中其排列秩次也比较稳定。

在固定模型下树高各交配组合的反交效应值列于表5。表明各亲本杂交组合后代树高具有明显的正负向效应的差异,对树高生长影响较大。1—4年生树高正反交极差幅度分别为10.5—10.1 cm、19.0—19.0 cm、25.0—29.0 cm、31.0—38.0 cm。正反交效应较大的2×4、4×8、4×5、6×8组合,其效应在历年中所处秩次有一定的稳定性。

表6为各性状基因型方差分量及其相对效应。在随机模型下,一般配合力、特殊配合力、反交效应方差分量的相对比例,随着性状的不同而不同。如3年生树高的一般配合力方差分量相对比例为100%,而3年生冠幅的一般配合力方差分量只占总方差的29.87%。随着年龄的增加,一些性状的一般配合力方差分量越来越大,特殊配合力方差和反交效应方差分量

表1 各性状方差分析结果

性 状	变 异 来 源	自 由 度	均 方	F 值		性 状	变 异 来 源	自 由 度	均 方	F 值	
				(II)	(I)					(II)	(I)
苗 高	组合间	41	13.388 0	2.68**		三 年 生 胸 径	组合间	41	2.383 2	1.88**	4.81**
	机 Ⅱ	123	4.990 9				机 Ⅱ	287	1.326 1		
	误 Ⅰ						误 Ⅰ	992	0.495 1		
一 年 生 树 高	组合间	41	1296.884 2	3.33**	8.76**	四 年 生 胸 径	组合间	41	10.529 3	6.64**	11.14**
	机 Ⅱ	287	389.342 5				机 Ⅱ	287	1.587 3		
	误 Ⅰ	977	147.977 3				误 Ⅰ	992	0.945 1		
二 年 生 树 高	组合间	41	4149.834 5	2.43**	12.36**	三 年 生 轮 盘 数	组合间	41	9.131 6	4.17**	5.70**
	机 Ⅱ	287	1722.888 0				机 Ⅱ	287	2.192 1		
	误 Ⅰ	994	339.557 9				误 Ⅰ	991	1.603 3		
三 年 生 树 高	组合间	41	0.532 4	1.68**	3.89**	三 年 生 分 枝 数	组合间	41	136.788 5	2.87**	5.15**
	机 Ⅱ	287	0.315 6				机 Ⅱ	287	47.636 0		
	误 Ⅰ	992	0.136 8				误 Ⅰ	991	26.532 8		
四 年 生 树 高	组合间	41	0.938 7	1.51*	4.21**	三 年 生 冠 幅	组合间	41	0.483 0	6.54**	9.11**
	机 Ⅱ	287	0.621 9				机 Ⅱ	287	0.073 8		
	误 Ⅰ	992	0.222 9				误 Ⅰ	992	0.050 7		

注:有1株呈轮生状分枝,未统计分枝数和轮盘数,所以固定模型的机误自由度为991。

表 2 各性状基因型方差分析

变异来源	自由度	均 方	F 值		变异来源	自由度	均 方	F 值	
			模 型 II	模 型 I				模 型 II	模 型 I
苗 高					三 年 生 胸 径				
<i>gca</i>	6	11.7293	9.40**		<i>gca</i>	6	0.2341	5.56**	14.90**
<i>sca</i>	14	0.9065	0.73		<i>sca</i>	14	0.0311	0.74	1.98**
<i>rec</i>	21	1.9829	1.59		<i>rec</i>	21	0.0535	1.27	3.41**
误差 (II)	123	1.2477			误差 (II)	287	0.0421		
误差 (I)					误差 (I)	992	0.0157		
一 年 生 树 高					四 年 生 胸 径				
<i>gca</i>	6	149.9001	11.43**	31.30**	<i>gca</i>	6	0.3312	6.57**	11.04**
<i>sca</i>	14	11.5228	0.88	2.41**	<i>sca</i>	14	0.0453	0.90	1.51
<i>rec</i>	21	20.8865	1.59*	4.36**	<i>rec</i>	21	0.1109	2.20**	3.70**
误差 (II)	287	13.1086			误差 (II)	287	0.0504		
误差 (I)	978	4.7894			误差 (I)	992	0.0300		
二 年 生 树 高					三 年 生 分 枝 轮 盘 数				
<i>gca</i>	6	543.1276	9.57**	50.48**	<i>gca</i>	6	0.8426	9.88**	16.55**
<i>sca</i>	14	60.8253	1.07	5.65**	<i>sca</i>	14	0.0933	1.09	1.83**
<i>rec</i>	21	68.8170	1.21	6.40**	<i>rec</i>	21	0.0948	1.11	1.86**
误差 (II)	287	56.7566			误差 (II)	287	0.0853		
误差 (I)	994	10.7591			误差 (I)	991	0.0509		
三 年 生 树 高					三 年 生 分 枝 总 数				
<i>gca</i>	6	0.0709	5.58**	16.49**	<i>gca</i>	6	16.5543	18.39**	19.64**
<i>sca</i>	14	0.0086	0.68	2.00**	<i>sca</i>	14	2.6131	2.92**	3.10**
<i>rec</i>	21	0.0114	0.89	2.65**	<i>rec</i>	21	1.6500	1.84*	1.96**
误差 (II)	287	0.0127			误差 (II)	287	0.9001		
误差 (I)	992	0.0043			误差 (I)	991	0.8431		
四 年 生 树 高					三 年 生 冠 幅				
<i>gca</i>	6	0.11795	5.96**	16.67**	<i>gca</i>	6	0.0643	27.96**	37.84**
<i>sca</i>	14	0.01246	0.63	1.76**	<i>sca</i>	14	0.0166	7.22**	9.79**
<i>rec</i>	21	0.01718	0.87	2.43**	<i>rec</i>	21	0.0122	4.33**	5.98**
误差 (II)	287	0.0198			误差 (II)	287	0.0023		
误差 (I)	992	0.00708			误差 (I)	992	0.0017		

注: *gca* 代表一般配合力; *sca* 代表特殊配合力; *rec* 代表反交效应。

表3 各亲本诸性状一般配合力效应值差异显著性测定

苗 期		树 高							
		一 年 生	二 年 生	三 年 生	四 年 生				
亲本	\hat{g}_i	亲本	\hat{g}_i	亲本	\hat{g}_i				
4	1.4243	4	4.1624	8	7.3273	8	0.0957	8	0.1444
5	0.5143	8	3.5844	4	6.7670	6	0.0687	4	0.1124
8	0.3843	5	2.7348	6	6.6973	4	0.0667	6	0.0374
2	0.2143	6	0.8124	5	2.4080	5	0.0067	2	-0.0126
6	0.1743	2	-1.3672	2	-2.5860	2	-0.0243	5	-0.0166
7	-0.7057	7	-4.6956	1	-9.5470	7	-0.0843	7	-0.1206
1	-2.0057	1	-5.2526	7	-9.5488	1	-0.1283	1	-0.1446
$LSD_{0.05} = 0.9790$		$LSD_{0.05} = 1.5149$		$LSD_{0.05} = 2.8751$		$LSD_{0.05} = 0.0575$		$LSD_{0.05} = 0.0737$	
$LSD_{0.01} = 1.2867$		$LSD_{0.01} = 1.9910$		$LSD_{0.01} = 3.7787$		$LSD_{0.01} = 0.0755$		$LSD_{0.01} = 0.0969$	

胸 径		三年生分枝轮盘数		三年生分枝数		三年生冠幅			
三 年 生	四 年 生								
亲本	\hat{g}_i	亲本	\hat{g}_i	亲本	\hat{g}_i	亲本	\hat{g}_i		
4	0.2023	4	0.2828	1	0.3107	1	1.5869	8	0.1080
6	0.1262	6	0.1428	6	0.2274	4	0.8202	5	0.0450
8	0.1223	8	0.0528	4	0.1857	6	0.7452	2	0.0410
5	0.0407	5	-0.0172	5	-0.0143	5	-0.0881	4	0.0390
2	-0.0527	2	-0.0472	7	-0.2226	7	-0.9298	7	-0.0350
1	-0.1657	7	-0.1471	8	-0.2393	8	-1.0464	6	-0.7800
7	-0.1918	1	-0.2671	2	-0.2476	2	-1.0881	1	-0.1200
$LSD_{0.05} = 0.1091$		$LSD_{0.05} = 0.1519$		$LSD_{0.05} = 0.1980$		$LSD_{0.05} = 0.8048$		$LSD_{0.05} = 0.2108$	
$LSD_{0.01} = 0.1435$		$LSD_{0.01} = 0.1995$		$LSD_{0.01} = 0.2602$		$LSD_{0.01} = 1.0577$		$LSD_{0.01} = 0.2653$	

越来越小。如作为主要经济性状的树高生长,其一般配合力方差分量由1年生的78.06%上升到3—4年生的100%,根本不存在特殊配合力方差和反交方差效应。其他性状一般配合力方差分量基本上都占总方差的50%以上。在固定模型下,各性状的一般配合力方差分量相对来讲比随机模型小一些,特殊配合力方差和反交效应方差分量从无到有。这主要是由于在固定模型下所得的试验结论是指参试的几个亲本的本身,而在随机模型下所得的试验结论是针对杉木亲本群体而言,这两个模型方差期望值的数学模型是不同的。但是随着年龄的增加,一般配合力方差分量比例变大,而特殊配合力方差和反交效应方差分量变小的总趋势没有改变,这与我们以往的试验结论是相吻合的。

表 4 各杂交组合特殊配合力效应值比较

树		高		胸		径	
三年生		四年生		三年生		四年生	
组合	\hat{S}_{ij}	组合	\hat{S}_{ij}	组合	\hat{S}_{ij}	组合	\hat{S}_{ij}
2×5	0.1137	6×8	0.1230	6×8	0.2083	5×7	0.2433
6×8	0.0967	5×7	0.1170	2×5	0.1653	6×8	0.2333
5×7	0.0907	2×5	0.0990	5×7	0.1293	2×5	0.1433
1×4	0.0437	4×7	0.0580	1×2	0.0953	1×8	0.0933
4×7	0.0327	1×4	0.0520	4×7	0.0613	1×6	0.0533
1×8	0.0227	5×6	0.0390	1×4	0.0603	4×7	0.0433
4×8	0.0157	1×8	0.0250	2×8	0.0573	1×7	0.0433
1×6	0.0147	1×7	0.0250	4×5	0.0353	2×8	0.0233
1×2	0.0127	1×2	0.0210	1×6	0.0263	1×4	0.0133
1×7	-0.0053	4×8	0.0130	1×7	0.0193	5×6	0.0033
4×6	-0.0123	1×6	-0.0130	5×6	0.0063	4×8	-0.0067
5×6	-0.0143	2×8	-0.0170	4×6	-0.0067	2×4	-0.0067
2×8	-0.0153	2×4	-0.0250	1×8	-0.0147	2×7	-0.0267
2×7	-0.0233	4×6	-0.0300	4×8	-0.0377	4×5	-0.0367
4×5	-0.0253	2×6	-0.0300	2×7	-0.0587	4×6	-0.0467
2×6	-0.0333	2×7	-0.0470	7×8	-0.0637	2×6	-0.0667
7×8	-0.0433	7×8	-0.0640	6×7	-0.0877	1×2	-0.1067
6×7	-0.0513	4×5	-0.0660	2×4	-0.1127	7×8	-0.1267
2×4	-0.0543	5×8	-0.0780	2×6	-0.1467	1×5	-0.1367
5×8	-0.0763	6×7	-0.0870	5×8	-0.1497	6×7	-0.2167
1×5	-0.0883	1×5	-0.1090	1×5	-0.1867	5×8	-0.2567
$L.S.D_{0.05}=0.1007$		$L.S.D_{0.05}=0.1270$		$L.S.D_{0.05}=0.1901$		$L.S.D_{0.05}=0.2630$	
$L.S.D_{0.01}=0.1324$		$L.S.D_{0.01}=0.1669$		$L.S.D_{0.01}=0.2493$		$L.S.D_{0.01}=0.3457$	

表 5 树高正、反交效应比较

一 年 生		二 年 生				三 年 生				四 年 生					
组合	\hat{r}_{ij}	组合	\hat{r}_{ij}	组合	\hat{r}_{ij}	组合	\hat{r}_{ij}	组合	\hat{r}_{ij}	组合	\hat{r}_{ij}	组合	\hat{r}_{ij}		
2×4	5.26	1×8	-1.59	2×4	9.42	7×8	-3.39	2×4	12.55	1×8	-5.40	2×4	15.5	2×5	-4.0
4×7	4.24	1×6	-1.66	4×8	8.55	1×8	-3.92	4×8	8.00	1×2	-5.95	4×5	13.0	2×6	-4.5
4×5	3.13	5×6	-2.92	6×8	7.55	2×7	-4.22	4×5	5.80	7×8	-6.00	4×8	10.0	5×8	-7.0
6×8	2.76	2×7	-3.41	4×7	4.33	2×8	-5.49	6×8	5.50	2×7	-6.60	6×8	7.5	1×2	-7.5
1×7	2.75	5×8	-3.73	4×6	4.29	2×5	-6.26	4×6	1.50	2×8	-8.20	6×7	2.0	5×7	-11.0
4×8	2.64	1×2	-3.86	5×6	2.91	2×6	-6.85	5×6	0.55	2×6	-8.55	4×6	0	1×5	-11.0
4×6	1.65	1×4	-4.05	4×5	1.95	1×2	-6.90	1×7	0.50	5×7	-11.05	1×7	0	7×8	-12.0
2×5	0.21	2×8	-4.30	6×7	0.21	1×4	-7.25	4×7	-0.30	2×5	-11.30	5×6	-1.0	2×8	-12.5
6×7	0.05	2×6	-4.90	1×7	-0.65	1×5	-9.25	6×7	-1.50	1×4	-11.65	4×7	-1.0	2×7	-13.0
1×5	-0.09	5×7	-5.05	5×8	-2.68	5×7	-9.51	5×8	-1.85	1×5	-14.30	1×8	-1.5	1×4	-19.0
7×8	-0.72			1×6	-3.05			1×6	-5.00			1×6	-4.0		
$L.S.D_{0.05}=3.03$				$L.S.D_{0.05}=4.55$				$L.S.D_{0.05}=4.69$				$L.S.D_{0.05}=5.95$			
$L.S.D_{0.01}=3.99$				$L.S.D_{0.01}=5.97$				$L.S.D_{0.01}=6.63$				$L.S.D_{0.01}=8.41$			

表6 各性状基因型方差分量的相对效应

性状	分量	模 型 II			模 型 I		
		σ_g^2	σ_s^2	σ_r^2	$\frac{1}{6} \sum \hat{g}_i$	$\frac{1}{14} \sum \hat{s}_{ij}$	$\frac{1}{21} \sum \hat{r}_{ij}$
树 高	一年生	均方 13.8377	0.0	3.889	14.5111	3.3667	8.0486
	%	78.06	0.0	21.94	55.97	12.98	31.04
树 高	二年生	均方 48.2302	2.0344	6.0302	53.2369	25.0331	29.0289
	%	85.67	3.61	10.71	49.61	23.33	27.05
树 高	三年生	均方 0.00623	0.0	0.0	0.00666	0.00215	0.00355
	%	100	0.0	0.0	53.88	17.39	28.72
树 高	四年生	均方 0.01055	0.0	0.0	0.01109	0.00269	0.00505
	%	100	0.0	0.0	58.89	14.29	26.82
胸 径	三年生	均方 0.0192	0.0	0.0057	0.02184	0.0077	0.0189
	%	77.11	0.0	22.89	45.09	15.90	39.01
胸 径	四年生	均方 0.02859	0.0	0.0294	0.03012	0.00765	0.03965
	%	49.30	0.0	50.70	38.90	9.88	51.21
三 年 生	轮盘数	均方 0.07493	0.004	0.0048	0.07917	0.0212	0.02195
	%	89.49	4.78	5.73	64.72	17.33	17.95
三 年 生	分枝数	均方 1.39412	0.8565	0.3765	1.57112	1.12875	0.5588
	%	53.07	32.60	14.33	48.21	34.64	17.15
三 年 生	冠幅	均方 0.00477	0.0072	0.004	0.00626	0.00745	0.00435
	%	29.87	45.08	25.05	34.66	41.25	24.09

注: σ_g^2 、 σ_s^2 、 σ_r^2 分别为一般配合力、特殊配合力、反交的方差;

$\frac{1}{6} \sum \hat{g}_i$ 、 $\frac{1}{14} \sum \hat{s}_{ij}$ 、 $\frac{1}{21} \sum \hat{r}_{ij}$ 分别为一般配合力、特殊配合力、反交的期望分量。

以上结果表明,就杉木群体整体而言(随机模型),树高及胸径生长在遗传上主要受一般配合力控制,特殊配合力及反交的效应较小,分枝习性及其冠幅除仍以一般配合力效应为主外,特殊配合力及反交效应亦不可忽视,但就这次参试的亲本来看(固定模型),所有观测性状虽都以一般配合力效应占主导地位,而特殊配合力及反交效应也均有明显的影响。

3. 遗传力估算 各性状遗传力计算结果见表7。遗传力不是常数,同一性状在不同试验中会产生不同值。本项试验所得结果与以往相同性状遗传力的计算结果比较,略为偏低,其原因可能是由于8个重复分在两个不同立地条件,从而增大了表型总方差所致,但不失其参考价值。

表7 性状遗传力比较

遗传力	H_1	H_2	H_3	H_4	D_1	D_2	三年生分枝轮盘数	三年生分枝数	三年生冠幅
h^2 (单株)	0.2423	0.2608	0.1323	0.1260	0.1051	0.0980	0.1632	0.1615	0.2629
h^2 (家系)	0.4525	0.4298	0.3839	0.3482	0.2038	0.2620	0.4887	0.3367	0.2711

注: H 代表树高, D 代表胸径,下标1、2、3、4代表年龄。

(二) 自交效应

本试验 7 个亲本的自交中只有 2 个亲本自交种子发芽率很低或成苗较少, 说明杉木可能有较高的自交率, 从表 8 可以看到自交衰退是普遍的, 而且凡是亲本一般配合力高的, 其自

表 8 亲本自交效应比较

亲本	性 状 代	苗 高	树 高 (cm)				胸 径 (cm)		三年生 轮盘数	三年生 分枝数	三年生 冠 幅 (cm)
			一年生	二年生	三年生	四年生	三年生	四年生			
P_1	F_{si}	13.0	47.0	126	241	355	2.5	4.3	6.2	24.8	155
	\overline{OP}_1	15.4	50.0	157	283	411	3.3	4.9	7.4	30.1	181
	$D_1(\%)$	-15.6	-7.8	-19.7	-14.8	-13.6	-24.2	-12.2	-16.2	-17.6	-14.4
	\overline{OP}_2	15.9	50.9	144	259	372	2.9	4.9	6.9	28.0	168
	$D_2(\%)$	-18.2	-7.7	-12.5	-7.0	-4.6	-13.8	-12.2	-10.1	-11.4	-7.7
P_4	F_{si}	14.6	43.0	121	216	309	2.1	3.5	6.0	23.0	153
	\overline{OP}_1	15.7	56.0	156	288	383	3.4	5.3	6.5	25.4	186
	$D_1(\%)$	-7.0	-23.2	-22.4	-25.0	-19.3	-38.2	-34.0	-7.7	-9.5	-17.7
	\overline{OP}_2	18.9	61.9	166	284	405	3.4	5.7	6.8	27.2	186
	$D_2(\%)$	-22.8	-30.5	-27.1	-23.9	-23.7	-38.2	-38.6	-11.7	-15.4	-17.7
P_5	F_{si}	19.3	62.0	167	289	400	3.3	5.4	7.2	27.9	195
	\overline{OP}_1	17.5	57.0	162	281	368	3.2	5.2	6.3	24.6	165
	$D_1(\%)$	+10.3	+8.1	+3.0	+2.8	+8.0	+3.1	+3.9	+14.3	+13.4	+18.2
	\overline{OP}_2	17.5	56.5	160	278	387	3.1	5.2	6.7	26.8	173
	$D_2(\%)$	+10.3	+9.7	+4.4	+4.0	+3.4	+6.5	+3.9	+7.5	+4.1	+12.7
P_6	F_{si}	12.3	41.0	117	215	306	2.0	3.6	6.1	22.8	141
	\overline{OP}_1	18.1	59.0	164	296	384	3.5	5.8	7.2	28.0	181
	$D_1(\%)$	-32.0	-30.5	-28.7	-27.4	-20.3	-40.9	-37.9	-15.3	-18.6	-22.1
	\overline{OP}_2	19.1	59.2	165	285	397	3.3	5.5	6.9	27.3	175
	$D_2(\%)$	-35.6	-30.7	-29.1	-24.6	-22.9	-39.4	-34.6	-11.6	-16.5	-19.4
P_8	F_{si}	9.6	40.0	119	195	277	1.7	2.6	4.6	17.7	137
	\overline{OP}_1	18.0	62.0	164	278	413	3.4	5.5	6.2	26.5	200
	$D_1(\%)$	-46.7	-35.5	-27.4	-29.8	-32.9	-50.0	-52.7	-25.8	-33.2	-31.5
	\overline{OP}_2	18.5	60.5	163	286	406	3.3	5.4	6.5	25.6	191
	$D_2(\%)$	-48.1	-33.9	-27.0	-31.8	-31.8	-48.5	-51.9	-29.2	-30.9	-28.3

注: \overline{OP}_1 、 \overline{OP}_2 分别为自由授粉和杂交平均值; D_1 、 D_2 分别为与自由授粉平均值和杂交平均值比较的衰退程度; F_{si} 为自交子代平均值。

交衰退程度就较大。但也有个别的亲本自交未出现衰退现象, 如 5 号亲本的自交后代在树高生长等 5 个性状均正向超过其自由授粉子代。因此杉木自交问题, 无论在良种繁育上如何避免近交, 以及在长期育种中如何利用, 都是值得重视而有待研究的问题。

(三) 杂种优势效应

树高生长杂种优势分析见表 9。从表中可以看到, 各杂交组合与优亲自由授粉子代之间存在着不同的优势效应, 1—4 年生正向超亲优势分别为 35.71%、35.71%、21.43% 和 33.33%。杂交组合间超亲优势的变异幅度也较大, 如 4 年生时为 7.81—14.11%。由整体来看, 一些正反交组合历年生长速度明显高于优亲自由授粉子代, 基本上都与一般配合力高

的亲本有关。如正交组合 2×4 、 4×8 、 6×8 和反交组合 8×2 、 8×6 、 4×1 都与一般配合力高的 4、6、8 号 3 个亲本有关。在 12 个最优组合中，以这 3 个亲本作父本或母本的就有 11 个(见表 10)。可以设想，以一般配合力高的亲本进行交配将会提高得到杂种优势后代的机率。

表 9 各杂交组合树高年生长杂种优势分析

亲本		正 反 交 差 (cm)				杂 种 优 势 (%)							
P_1	P_2	H_1	H_2	H_3	H_4	正 交 F_1				反 交 F_1			
						H_1	H_2	H_3	H_4	H_1	H_2	H_3	H_4
1	2	-7.7	-13.8	-11.9	-15.0	-21.91	-12.45	-9.36	-10.00	-9.03	-3.86	-5.16	-6.33
	4	-8.1	-14.5	-23.3	-38.0	-6.27	-3.06	-8.85	-9.00	8.24	6.17	-0.76	0.24
	5	-1.1	-18.5	-28.6	-22.0	-9.81	-21.02	-14.91	-14.11	-7.88	-9.91	-4.81	-8.76
	6	3.3	-6.1	-10.0	-8.0	-13.57	-5.99	-9.76	-8.76	-8.04	-2.26	-6.39	-6.81
2	5	0.4	-12.6	-22.6	-8.0	0.17	-4.68	-2.31	2.60	-0.50	2.88	5.73	4.69
	6	-9.8	-13.7	-17.1	-7.0	-13.21	-0.12	-9.22	0.52	3.18	0.98	-3.45	2.86
	7	-4.0	-8.4	-13.2	-26.0	-21.57	-14.07	-7.81	-10.22	-14.21	-8.84	-3.04	-3.74
4	2	10.5	18.8	25.1	31.0	1.84	2.68	-0.17	7.81	-15.72	-9.03	-8.89	-0.26
	7	8.5	8.6	-0.6	-2.0	8.06	1.41	-3.47	-1.50	-7.17	-4.11	-3.26	-1.00
	8	5.3	17.1	25.0	20.0	10.84	12.86	4.79	3.63	2.27	2.34	-0.59	-1.21
5	4	6.2	3.9	11.6	26.0	21.37	1.08	-0.42	6.27	10.51	-1.26	-0.04	-0.52
	6	-5.8	5.8	1.1	-2.0	-7.76	2.28	-4.39	3.13	2.02	-1.20	-4.76	3.65
	7	-10.1	-19.0	-22.1	-22.0	-7.53	-1.89	-5.19	-5.74	10.16	0.06	2.67	-0.25
6	4	3.3	8.6	3.0	0	5.40	6.17	-2.20	4.95	-0.17	0.92	-3.21	4.95
	7	0.1	0.4	-3.0	4.0	-12.98	-7.94	-2.60	-6.23	-13.15	-8.19	-8.34	-9.48
	8	5.5	15.1	10.5	15.0	8.41	10.87	3.99	3.87	-0.49	1.65	0.44	0.24
7	1	6.0	-1.3	1.0	0	-8.63	-11.39	-10.04	-10.71	-19.06	-10.57	-10.38	-10.71
	8	-1.4	-6.7	-11.6	-24.0	-15.63	-8.43	-3.81	-9.20	-13.20	-4.31	0.36	-3.39
8	1	-3.2	-7.8	-10.8	-3.0	-14.87	-8.00	-4.66	-5.08	-9.71	-3.20	-0.85	-4.36
	2	-8.6	-10.9	-16.4	-25.0	-9.71	-2.33	-1.47	-5.57	4.21	4.37	4.32	0.48
	5	-7.5	-5.3	-3.7	-14.0	-7.61	-4.80	-1.21	-5.81	4.53	-1.62	0.11	-2.42

注: H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 分别为 1—4 a 的树高。

利用一般配合力较高的亲本进行控制授粉，可以得到具有显著效应的杂交组合。那么这种杂种优势是否持续稳定下去，以达到预期的目的，这是林木育种工作者尤为关心的一个问题。从表 10 可以看到，以造林后 4 年的高度为基准所选出的 12 个优势组合，在苗期选择时只有 50% 的选中率，造林 1 a 及 2 a 进行选择时有 75%，到第 4 年仍能保持其优势，说明杂种优势在 1—4 a 幅度内有一定的相对稳定性。特别是 6×8 、 4×8 、 8×2 、 8×6 、 2×4 五个杂交组合，在 2—4 a 时，分别排在各年的 1—5 位，其秩次比较稳定，显示出其杂种优势的稳定性。这种趋势随着年龄的增长是否持续稳定下去，有待于以后进一步观测研究。

三、结语及讨论

1. 从本项试验的结果来看，4 年生杉木的 5 个性状的表现：树高生长及轮盘数主要受一般配合力的控制，树高的一般配合力相对效应占 100% (随机模型) 及 58% (固定模型)，轮盘数的一般配合力相对效应占 89% (随机模型) 及 64% (固定模型)；径向生长一般配合力及反

表10 树高杂种优势稳定性分析

组 合	树 高(cm)				
	苗 期	一年生	二年生	三年生	四年生
2 × 4	22.4(1)	61(12)	—	288(8)	414(5)
4 × 1	—	—	167(8)	286(12)	412(6)
4 × 2	20.2(6)	69(1)	168(7)	287(9)	407(8)
4 × 6	20.7(3)	63(7)	174(3)	290(6)	403(11)
4 × 8	—	69(2)	183(1)	311(1)	428(2)
5 × 2	—	—	171(4)	297(4)	402(12)
6 × 4	21.7(2)	—	—	287(10)	403(9)
6 × 8	—	67(3)	182(2)	308(2)	429(1)
8 × 2	—	64(5)	170(6)	290(5)	415(3)
8 × 4	20.5(5)	63(6)	166(11)	286(11)	408(7)
8 × 5	20.5(4)	65(4)	—	—	403(10)
8 × 6	—	62(11)	166(10)	297(3)	414(4)
选中数 (个)	6	9	9	11	12
选中率 (%)	50	75	75	92	100

注: (1)、(2)、(3)……为各年的秩次。

3. 杉木树高生长, 亲本间杂交后代与优亲自由授粉子代相比较, 存在明显的正向及负向超亲的杂种优势, 超亲的正负向及程度与亲本的一般配合力有关。因此, 在利用杂种优势的育种时, 首先以简易方法对大量亲本的一般配合力进行筛选(如自由授粉或多父本授粉等), 预计会大大提高得到优良杂交组合及优良杂种个体的机率。

4. 杉木育种目前即将进入多世代长期育种及无性系育种阶段, 遗传改良的目标亦将由过去的高生长单一性状向多性状综合目标发展。为了制订出合理的育种策略, 迫切需要了解更多的有关遗传信息作为依据。本项研究限于供试材料的年龄, 所得结论有的尚难作最后定论, 有待进一步观察。有些重要性状如材质、抗性等尚未涉及, 但通过本项研究可以清楚地看出, 不同性状基因型的基因分量的相对效应是不同的, 有必要逐个加以分析测定, 而且这项工作动手愈早愈能提早取得必要的信息。考虑到目前杉木初级种子园在杉木产区已经普遍建立, 收集到大量优树材料, 而且多数已达到性成熟阶段, 可以进行控制授粉。如果在此基础上, 以地区及单位共同协作的方式开展这项工作, 无论在提高育种效果取得更大经济效益上, 还是开创育种途径充实育种理论上, 均有重要意义。

参 考 文 献

- [1] Kriebel, H. B. et al., 1972, Analysis of genetic variation in 1-, 2-, and 3-year old eastern White Pine in incomplete diallel cross experiments, *Silvae Genetica*, 21(1-2): 44-47.
- [2] Kraus, J. F., 1973, Estimates of general and specific combining ability for height and rust resistance from single-crosses of Slash Pine, *Silvae Genet.*, 22(4): 121-123.
- [3] 陈益泰等, 1986, 杉木双列杂交试验配合力分析, *亚林科技*, (1): 7-20.
- [4] 马育华, 1982, 植物育种的数量遗传学基础, 江苏科学技术出版社, 383-426.
- [5] Kheradnam, M. et al., 1975, *Crop Sci.*, 15(9-10): 689-691.
- [6] Bahman Yazdi-Samadi, A. S. et al., 1975, *Crop Sci.*, 15(1-2): 81-83.

交效应均有较大作用, 其中反交的相对效应竟占基因型总方差的 50% 左右, 这可能与母本效应有关; 分枝数及冠幅的一般配合力、特殊配合力, 及反交的相对效应大体接近, 可以推论控制这两个性状的遗传因素, 除加性基因方差外, 显性基因方差和基因交互作用方差也有明显的作用。因此, 若以这两个性状作为选择目标时, 其后代表现很难预测。

2. 杉木有较高的自交率, 自交衰退十分明显, 而且在苗期即可显示出来。因此, 在利用自由授粉后代良种繁育中, 应在苗期将生长不良的苗木淘汰; 在控制授粉时则应尽可能地防止自交。另一方面, 杉木自交后代有一定的成苗率, 也有可能成长到性成熟, 并且其中也还有不呈自交衰退的少数个体, 这在杉木今后长期育种中如何加以利用是值得进一步研究的课题。

AN ANALYSIS ON THE COMBINING ABILITY OF MAIN GROWTH CHARACTER IN CHINESE FIR AND THE APPLICATION OF ITS HETEROSIS

Wang Zhaomin Chen Yitai

(The Research Institute of Subtropical Forestry CAF)

Abstract

A diallel crossing design which contained seven parents of *Cunninghamia lanceolata* was carried out. From statistical analysis of general and special combining ability, effect in back and self crossing, and heterosis of five characters—height, breast-diameter, numbers of knot and branch, crown-diameter in four year's *Cunninghamia lanceolata*, the results obtained are as follows: ① These five quantitative characters are mainly controlled by the effect of general combining ability; ② There are also some effect of special combining ability and back crosses among the definite parent's combinations; ③ Chinese Fir has considerable self-crossing rate but its failing effect is common, which we should pay attention to avoid or apply in the practice of breeding good strains and in the study on long term breeding; ④ It appears frequently the super-parent positive heterosis. These heterosis often related to general combining ability which could be acted as a standard of selecting parent when we make use of heterosis to breeding.

Key words: Chinese fir crossing; combining ability; effect of back-cross; effect of self-cross; heterosis