

杉木半双列杂交后代生长性状的配合力分析

张建章

(浙江省龙泉市林业总站, 龙泉 323700)

游昌顺

(浙江省龙泉市山坑林场)

吕锦松

(浙江省龙泉市园林处)

摘要 通过 10.5 年生 9×9 半双列杂交后代试验林的生长差异、配合力效应、遗传方差、遗传力和杂种优势的分析,进一步验证了一般配合力(GCA)效应在杉木生长的遗传效应中起主要作用,特殊配合力(SCA)效应起次要作用的结论。在杉木遗传改良进程的不同阶段,应选择具有 GCA 和 SCA 效应值不同的亲本分别用于育种园和生产性种子园的建设。

关键词 杉木; 半双列杂交; 配合力; 选择育种

中图分类号 S722

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 半双列杂交后代试验的目的是研究待测亲本的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的表现,对现有种子园去劣疏伐,为建立多世代种子园提供理论依据。同时通过对杉木配合力的研究,了解杉木性状遗传控制的式样,估算有关遗传参数,从而有效地制定杉木多世代遗传改良程序和策略。本文就 1980 年开始进行的杉木半双列杂交试验结果进行分析和讨论。

1 试验材料和方法

1980 年春,根据半同胞家系自由杂交授粉初步测定结果,在杉木初级种子园中选择 9 个亲本进行半双列杂交(表 1),当年共取得全部 36 个组合的种子,198 年春分家系育苗。1982 年春在浙江省龙泉市林科所造林。造林时除 36 个杂交组合外还包括 2 个对照——ck₁(龙泉杉木初级种子园混系,简称初级良种苗)和 ck₂(龙泉杉木普通商品种,简称普通苗)。造林采用完全随机区组设计,株方形小区,7 次重复。造林地为低丘缓坡,普通红壤,土层厚 1 m 以上,造林前为马尾松 (*Pinus massoniana*) 残次林,肥力一般。造林前全面劈山炼山,全垦整地。株行距 1.6 m×2.0 m。拉线定点挖大穴(60 cm×60 cm×40 cm)。按常规抚育管理。

1991 年 7 月进行全林(1 064 株)每木的树高和胸径生长量调查。单株树干材积按公式 $V =$

收稿日期: 1997-08-20; 修回日期: 1997-11-24

第一作者简介: 张建章,男,1952 年生,工程师

©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

0.587 704 \times $D^{1.960\ 083}$ \times $H^{0.896\ 461\ 57}$ 估算

有关统计分析及遗传参数的估算参见《林木育种学概论》^[1]。

表1 杉木♀♀半双列交配设计组合编号

Table 1 The mating design of ♀♀ half-diallel cross

亲 本 ♂	亲 本 ♀								
	P ₁ (l ₁)	P ₂ (l ₅)	P ₃ (l ₈)	P ₄ (J ₃₅)	P ₅ (M ₂₅)	P ₆ (J ₀)	P ₇ (Y ₁₁)	P ₈ (G ₃₇)	P ₉ (L _{x5})
P ₁		1	2	3	4	5	6	7	8
P ₂			9	10	11	12	13	14	15
P ₃				16	17	18	19	20	21
P ₄					22	23	24	25	26
P ₅						27	28	29	30
P ₆							31	32	33
P ₇								34	35
P ₈									36
P ₉									

说明: ()内的为亲本代号

2 结果与分析

2.1 不同杂交组合与对照的比较分析

2.1.1 树高 36个杂交组合的平均树高 7.13 m, 大于 ck₁(6.5 m)的 9.7%; 大于 ck₂(5.9 m)的 20.8%。其中大于 ck₁ 5.0%~30.5%有 23个组合, 占 63.9%; 36个组合全部大于 ck₂, 变幅在 3.9%~43.7%之间。29号组合最高, 平均 8.48 m; 3号组合最低, 平均 6.17 m, 但也大于 ck₂ 3.9%。

2.1.2 胸径 36个组合平均胸径 10.5 cm, 大于 ck₁(9.8 cm)的 7.1%, 大于 ck₂(8.5 cm) 23.5%。其中大于 ck₁ 5%以上(5.0%~28.6%)有 20个组合, 占 55.6%; 36个组合也全部大于 ck₂, 变幅在 7.1%~48.2%之间。29号组合最高, 平均 12.6 cm; 3号组合最低, 平均胸径 9.1 cm。

2.1.3 单株材积 36个组合平均单株材积 $3.75 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ (表 2), 大于 ck₁($2.99 \times 10^{-2} \text{ m}^3$)的 25.4%; 大于 ck₂($2.08 \times 10^{-2} \text{ m}^3$) 80.3%。其中大于 ck₁ 5.0%以上(5.0%~105.0%)有 25个组合, 占 69.4%; 36个组合全部大于 ck₂, 变幅在 18.8%~194.7%之间。29号组合最高, 平均 $6.13 \times 10^{-2} \text{ m}^3$; 3号组合最低, 平均单株材积 $2.47 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 。

2.2 方差分析

方差分析(表 3)发现, 树高、胸径和材积在不同的组合间差异均达到极显著水平, 而区间间差异则不显著。这不仅说明各杂交组合间存在着很大的生长差异, 而且还说明本试验林的田间试验设计中的立地条件局部控制工作做得很好。

用最小显著差法进行多重对比, 可以看出 29, 36, 14, 20, 34, 11, 13, 21, 16和 12号等 10个组合的树高生长与 ck₂有极显著差异, 29号组合与 ck₁有极显著差异; 29, 16, 34, 36, 20, 11, 13, 12, 10, 21, 26, 14, 2和 25号等 14个组合胸径生长与 ck₂有极显著差异, 29, 16和 34号组合与 ck₁有极显著差异; 29, 34, 36, 16, 11, 20, 12和 14号等 8个组合的材积生长与 ck₂有极显著差异, 29号组合

与 ck_1 有极显著差异(表 3)。

2.3 配合力分析

配合力方差分析(表 4)发现,树高、胸径和材积的一般配合力方差都达到极显著水平,但特殊配合力方差不显著。

表 2 不同杂交组合与 2 个对照比较分析

Table 2 Comparative analysis between different cross combinations and two checks

顺 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
组 合	5	7	8	3	2	3	2	2	3	2	4	2	3	2	3	4	6	6	5	4
组合编号	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
平均材积 /m ³	8	8	9	4	5	8	6	8	9	7	5	4	5	9	6	9	9	8	6	8
> ck_1 %	29	34	36	16	11	20	12	14	21	13	22	10	17	15	18	26	33	32	27	25
> ck_2 %	6.13	5.33	5.21	5.10	5.09	4.92	4.59	4.59	4.42	4.33	4.11	4.09	4.02	3.95	3.85	3.84	3.61	3.55	3.54	3.53
	105.0	78.3	74.2	70.6	70.2	64.5	52.5	52.5	47.8	44.8	37.5	36.7	34.4	32.1	28.8	28.4	20.7	18.7	18.4	18.1
	194.7	156.3	150.5	145.2	144.7	136.5	120.7	120.7	112.5	108.2	97.6	95.7	92.3	89.9	85.1	84.6	73.6	70.7	70.2	69.7

$LSD_{0.05} = 1.25$

$LSD_{0.01} = 1.65$

续表 2

顺 号	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
组 合	6	4	3	5	1	2	4		1	1	5	7	1	1	1	1	1		
组合编号	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×		
平均材积 /m ³	7	6	7	9	6	3	7		5	8	7	9	9	7	2	3	4		
> ck_1 %	31	23	19	30	5	9	24	ck_1	4	7	28	35	8	6	1	2	3	ck_2	
> ck_2 %	3.46	3.29	3.24	3.16	3.16	3.08	2.99	2.99	2.97	2.94	2.92	2.88	2.80	2.71	2.63	2.60	2.47	2.08	3.75
	15.7	10.0	8.4	5.7	5.7	3.0	0	0	-0.7	1.7	-2.3	-3.7	-6.4	-9.4	-12.0	-13.0	-17.4	-30.4	25.4
	66.3	58.2	55.8	51.9	51.9	48.1	43.8	43.8	42.8	41.3	40.4	38.5	34.6	30.3	26.4	25.0	18.8	0	80.3

$LSD_{0.05} = 1.25$

$LSD_{0.01} = 1.65$

说明:平均材积为本数× 10⁻²m³,如 6.13 m 实为 6.13× 10⁻²m³,依此类推;横线栏为材积生长的差异显著性检验结果

表3 生长量方差分析

Table 3 Variance analysis of increment of Chinese fir

变异来源	自由度	树 高		胸 径		材 积	
		均 方	F 值	均 方	F 值	均 方	F 值
组间	35	2.53	1.78*	5.41	1.95*	5.84 × 10 ⁻²	1.88*
区 组	6	8.77	8.54 ^{NS}	3.58	1.26 ^{NS}	2.88 × 10 ⁻²	8.98 ^{NS}
机 误	218	1.42		2.78		3.1 × 10 ⁻²	

表4 配合力方差分析表(模式I)

Table 4 Variance analysis of combining ability(model I)

变异来源	自由度	树 高			胸 径			材 积			F _{0.05}	F _{0.01}	
		均方	F值	方差分量	均方	F值	方差分量	均方	F值	方差分量			
GCA	8	0.97	4.85*	0.11	2.05	5.13*	0.234	2.05 × 10 ⁻²	4.66*	0.225	7 × 10 ⁻²	1.98	2.60
SCA	27	0.187	0.94 ^{NS}	0	0.41	1.03 ^{NS}	0.01	0.47 × 10 ⁻²	1.07 ^{NS}	0.029	5 × 10 ⁻²	1.53	1.82
机 误	210	0.20		0.20	0.40		0.40	0.44 × 10 ⁻²		0.442	× 10 ⁻²		

树高的一般配合力方差分量几乎占配合力总方差分量的100%;胸径的一般配合力方差分量占配合力总方差分量的95.9%;材积的一般配合力方差分量占配合力总方差分量的88.4%;而特殊配合力的方差分量只占配合力总方差分量的0~11.6%,进一步说明在杉木速生这个性状中,一般配合力占主导地位,生长性状主要受加性遗传控制。

表5为各性状一般配合力效应值的多重比较,可以看出,8、2和5号亲本具有较大的正向效应,可作为1、5代种子园亲本之用;10和7号均为负向效应,应予淘汰。

表6列出了各杂交组合特殊配合力的效应值。虽然配合力分析表明特殊配合力的方差不显著,但从表6的进一步分析中可以看出,因杂交组合不同,各生长性状特殊配合力效应值也有一定的差异,具有正向效应的组合(材积)占组合数的近52.8%。树高、胸径和材积的3个性状综合评判,3、4、5、8和7、8杂交组合的特殊配合力效应值应名列前茅,和其他组合相比差异达到5%或1%的显著水平。如从这些优良组合中,选择最优单株,可以作为2代育种的亲本材料。

根据表5和表7进行综合评价,结果表明在试验的9个亲本中,8号和2号亲本的一般配合力较优,说明用它们作为杂交亲本较为理想。但从特殊配合力看,2号亲本是比较好的,它能很整齐地传递其速生的能力给所有的F₁代,而8号亲本的特殊配合力最大,与其他亲本杂交的特殊组合中,可能产生比一般更为速生的F₁代,如本次试验中的5 × 8、7 × 8、8 × 9组合的材积生长量均名列前茅,另外也可能产生比一般更为慢生的F₁代,如本次试验中的1 × 8组合的生长量均排在后列。所以,选择2号亲本对于产生综合的良种育种方案,较其他亲本优越。但如果希望产生某些特殊速生组合的育种方案,则8号亲本比2号优越。

2.4 遗传方差和遗传分析

从表8中可以看出,杉木生长性状的遗传方差中,树高、胸径和材积的加性遗传方差占主导地位,分别为100%,97.9%和93.9%,而显性方差分别只占0.2.1%和6.1%。说明在杉木

表5 GCA效应值的差异显著性检验

Table 5 The test on GCA differences of various parents

亲本	树 高			亲本	胸 径			亲本	材 积		
	g_i	$LSD_{0.05}$ = 0.47	$LSD_{0.01}$ = 0.47		g_i	$LSD_{0.05}$ = 0.66	$LSD_{0.01}$ = 0.87		g_i	$LSD_{0.05}$ = 0.70	$LSD_{0.01}$ = 0.92
8	0.60			8	0.84			8	0.88		
2	0.32			3	0.20			2	0.33		
5	0.12			2	0.17			5	0.27		
9	0.12			4	0.17			3	0.17		
3	0.08			5	0.16			9	-0.02		
6	0.02			9	-0.04			4	-0.09		
4	-0.30			7	-0.13			6	-0.14		
7	-0.30			6	-0.14			7	-0.31		
1	-0.66			1	-1.22			1	-1.11		

说明:所有的材积 g_i 都应加乘 10^{-2} ,如 0.33×10^{-2}

表6 各杂交组合的特殊配合力效应值

Table 6 SCA effects of various cross combinations

亲本 s_{ij}	P ₂			P ₃			P ₄			P ₅			P ₆			P ₇			P ₈			P ₉				
	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D	V	H	D
P ₁	-0.14	-0.22	-0.35	-0.09	-0.25	-0.22	-0.04	-0.22	-0.09	-0.08	-0.21	0.04	0.27	0.69	0.65	0.43	0.38	0.38	-0.24	-0.39	-0.59	0.16	0.29	0.17		
P ₂				-0.64	-1.04	1.18	0.01	0.09	0.09	0.31	0.71	0.73	0.11	0.51	0.64	0.64	0.59	0.55	-0.01	-0.68	-0.38	-0.28	0.01	-0.11		
P ₃							0.72	1.26	1.26	-0.15	-0.12	-0.18	-0.06	0.18	0.07	-0.41	-0.43	-0.38	0.17	0.09	0.11	0.42	0.28	0.52		
P ₄										0.51	0.01	0.17	-0.11	-0.39	-0.24	-0.32	-0.31	-0.37	-0.81	-0.68	-1.02	0.03	0.31	0.19		
P ₅													-0.05	-0.28	-0.35	-0.67	-0.59	-0.80	0.63	1.14	1.22	-0.52	-0.68	-0.84		
P ₆																0.14	0.11	0.15	-0.53	-0.86	-0.95	0.23	0.02	0.02		
P ₇																			0.51	0.92	1.01	-0.33	-0.69	-0.54		
P ₈																						0.28	0.44	0.60		

$H, LSD_{0.05} = 1.04, LSD_{0.01} = 1.37; D, LSD_{0.05} = 1.48, LSD_{0.01} = 1.95; V, LSD_{0.05} = 1.56, LSD_{0.01} = 2.06$

表7 不同亲本 2种配合力方差效应比较

Table 7 Effect comparison among two combining ability of various parents

亲 本	树 高				胸 径				材 积			
	e^2_{gi}	位次	e^2_{si}	位次	e^2_{gi}	位次	e^2_{si}	位次	e^2_{gi}	位次	e^2_{si}	位次
8	0.33	2	0.01	1	0.66	2	0.29	1	0.72×10^{-2}	2	0.42×10^{-2}	1
7	0.06	4.5	0.093	2	-0.03	7.5	0.05	5.5	0.04×10^{-2}	4	0.05×10^{-2}	6
4	0.06	4.5	0.072	3	-0.01	3.5	0.05	5.5	0.05×10^{-2}	8	0.08×10^{-2}	5
5	-0.01	6.5	0.065	4	-0.02	5.5	0.09	3.5	0.02×10^{-2}	5	0.17×10^{-2}	2
3	-0.02	8	-0.041	5	-0.01	3.5	0.14	2	-0.03×10^{-2}	6	0.16×10^{-2}	3
2	0.08	3	-0.003	6	-0.02	5.5	0.09	3.5	0.05×10^{-2}	3	0.09×10^{-2}	4

续表 7

亲 本	树 高				胸 径				材 积			
	e_{gi}^2	位次	e_{si}^2	位次	e_{gi}^2	位次	e_{si}^2	位次	e_{gi}^2	位次	e_{si}^2	位次
9	- 0.01	6.5	- 0.037	7	- 0.05	9	- 0.10	8	0.06×10^{-2}	9	$- 0.09 \times 10^{-2}$	8
6	- 0.03	9	- 0.085	8	- 0.03	7.5	- 0.05	7	0.04×10^{-2}	7	$- 0.08 \times 10^{-2}$	7
1	0.41	1	- 0.096	9	0.99	1	- 0.15	9	$- 1.1 \times 10^{-2}$	1	$- 0.17 \times 10^{-2}$	9

生长的遗传效应中,基因的加性效应起主导作用。

另外,无论是树高、胸径还是材积,无论是广义遗传力还是狭义遗传力,都是家系遗传力明显大于单株遗传力。家系遗传力为 48.69% ~ 54.44%;单株遗传力为 12.53% ~ 14.67%。

表 8 杉木生长性状遗传方差和遗传力

Table 8 Genetic variations and heritabilities of growth traits of Chinese fir

项 目		树 高	胸 径	材 积	
各 类 方 差	加性 (e_a^2)	0.22	0.468	0.4514×10^{-2}	
	显性 (e_d^2)	- 0.01	0.010	0.0295×10^{-2}	
	遗传方差 (e_g^2)	0.22	0.478	0.4809×10^{-2}	
	表型方差 (e_p^2)	1.63	3.258	3.5909×10^{-4}	
遗 传 力 / %	广 义	家系 (h_b^2)	53.49	54.44	51.94
		单株 (h_n^2)	14.10	14.67	13.37
	狭 义	家系 (h_b^2)	52.38	51.19	48.69
		单株 (h_n^2)	13.50	14.36	12.53

2.5 杂种优势效应

以表 2 中的材积为例可以看出,各杂交组合与种子园自由授粉子代 (ck_1)之间存在着不同的优势效应,具有正向杂种优势的组合 26 个,占组合数的 72%,负向杂种优势的有 9 个组合,占 25%。杂交组合间的杂种优势效应变异幅度也较大,在 - 17.4% 至 105.0% 之间,生长速度明显高于 ck_1 的组合,基本上都与一般配合力高的亲本有关,如 5 \times 8, 7 \times 8, 8 \times 9, 2 \times 5, 3 \times 8, 2 \times 8 和 2 \times 6 组合都与一般配合力高的 8 号和 2 号 2 个亲本有关。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。

3 结论与讨论

杉木配合力育种,在杉木遗传学和遗传改良实践中具有十分重要的价值。1974 年叶培忠等人首次开展了杉木配合力的育种试验,有关杉木性状遗传控制的研究报道较多。叶培忠等、陈岳武等认为杉木树高生长方面,既受基因的加性效应的影响,也受到了基因的显性效应的影响^[2,3]。而陈益泰、王赵民等认为杉木的遗传控制是基因的加性效应占主导地位,在杉木的遗传改良中,应用建立多系种子园的方法来利用加性效应^[4,5]。

齐明利用 2 类不同的遗传测定材料,以说明杉木育种一般配合力与特殊配合力的相对重要性,并举了异花授粉作物与玉米的配合力育种结果,认为对经过一般配合力测定评选出的材料,施行杂交育种,其一般配合力方差小于特殊配合力方差,对未经一般配合力测定的材料施行杂交育种,其一般配合力方差则大于特殊配合力方差^[6]。其实两者并不矛盾,因为一般配合

力的测定与评选和特殊配合力的测定与评选之间具有相对的独立性

本试验 9×9 半双列杂交亲本材料来自浙江省龙泉市初级种子园中的待测优树无性系。亲本选择时,要求不是很严格,尽量要求其形状特征有所不同,它们分别来自浙江龙泉、福建、湖南和广东。10.5 年生的试验结果表明,在杉木生长的遗传变异中,一般配合力的遗传效应占主导地位,树高、胸径和材积的一般配合力方差分量分别占配合力总方差分量的 100%、95.9% 和 88.4%,加性遗传方差分别占总遗传方差的 100%、97.9% 和 93.9%,进一步证实了齐明的研究结果,即用未经一般配合力测定的材料进行杂交育种,一般配合力占主导地位^[6]。

本试验进一步验证了杉木选择育种的效果。以材积为例,36 个杂交组合平均大于初级种子园良种 (ck_1) 25.4%,大于普通商品种子 (ck_2) 80%。 ck_1 又大于 ck_2 43.8%。36 个杂交组合中选出的最优组合 29 号 (5×8) 大于 ck_1 105%,大于 ck_2 194.7%,其杂种优势非常显著。

特殊配合力效应虽然在杉木生长性状的遗传效应中起次要作用,但在杉木遗传改良程序中也不应忽视。当为了建立高世代的育种园需要更速生的基因型时,就需要选择一般配合力和特殊配合力效应值都高的无性系作为亲本进行交配,以提高取得新的更速生基因型的机率,从中再选择优良单株建立高世代的育种园。当建立高世代的无性系生产性种子园时,则应选择一般配合力效应值高、特殊配合力效应值低的无性系。

参 考 文 献

- 1 王明麻主编. 林木育种学概论. 北京: 中国林业出版社, 1988. 376- 426
- 2 叶培忠, 陈岳武, 刘大林等. 配合力分析在杉木数量遗传学中的应用. 南京林产工业学院学报, 1981, (3): 1- 21
- 3 陈岳武, 施季森, 刘大林. 杉木种内杂种优势及亲本配合力分析. 南京林产工业学院学报, 1982, (2): 1- 18
- 4 陈益泰, 吕本树, 王赵民等. 杉木双列杂交配合力分析. 亚林科技, 1986, (1): 7- 20
- 5 王赵民, 陈益泰. 杉木主要生长性状配合力分析及杂种优势的利用. 林业科学研究, 1988, 1(6): 614- 623
- 6 齐明. 杉木育种中 GCA 和 SCA 的相对重要性. 林业科学研究, 1996, 9(5): 498- 503

Zhang Jianzhang (General Station of Forestry of Longquan City, Longquan 323700, Zhejiang, PRC), You Changshun, and Liu Jinsong. **Combining ability analysis on growth traits of half-diallel cross progeny of Chinese fir.** *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1998, 15 (2): 138- 144

Abstract The growth difference, combining ability effect, genetic variation, heritability and heterosis were studied and analyzed by use of 10.5 years old Chinese fir progeny crossed 9×9 half-diallel. The results proved further that GCA played a leading role and SCA a secondary role in genetic effect of growth traits of Chinese fir. During the different stages of Chinese fir genetic improvement, the various parents with different GCA and SCA should be selected as genetic materials of breeding orchard and productive seed orchard.

Key words *Cunninghamia lanceolata* (Chinese fir); half-diallel cross; combining ability; selection breeding