

杉木3种交配设计试验种子品质的遗传分析

杨萍¹, 石志玲², 陈晓阳³

(1 黎平县国营东风林场, 贵州黎平 557300; 2 黎平县国营花坡林场, 贵州黎平 557300;
3 华南农业大学, 广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东广州 510642)

摘要:根据贵州省黎平县国营东风林场杉木无性系3种交配设计试验,对种子检验结果进行了统计分析.结果表明:各交配组合在种子品质各指标上差异极显著.在全双列交配中,自交对涩籽率影响最大,而对空籽率影响不大;正反交效应差异显著,绝大多数指标特殊配合力的方差分量大于一般配合力,但扣除自交组合后,结论与此相反.在不连续半双列交配和测交系交配试验中,多数指标的一般配合力方差分量大于特殊配合力,母本的一般配合力的方差分量大于父本.

关键词:杉木; 交配设计; 种子品质; 遗传分析

中图分类号:S852.65

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2011)04-0067-05

Genetic Analysis of Seed Quality of Chinese-fir in Three Controlled Pollination Tests

YANG Ping¹, SHI Zhi-ling², CHEN Xiao-yang³

(1 Liping Dongfeng Forest Farm, Liping 557300, China; 2 Liping Huapo Forest Farm, Liping 557300, China;
3 South China Agricultural University, Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Seeds of Chinese-fir produced by three kinds of mating design in Dongfeng Forest Farm, Liping county were tested. The quality of seeds originated from various mating crosses differed significantly. Selfing was one of the primary causes producing tannic seeds, but it had no significant effect on the production of empty seeds. For most seed traits, general combining ability (GCA), special combining ability (SCA) and reciprocal effects also differed significantly in various crosses. In the tests of disconnected half-diallel and polycross, GCA is greater than SCA, and more significant for female parents than male. For complete diallel mating design, if selfing crosses were reduced, the result would be similar to partial half-diallel and polycross tests.

Key words: Chinese-fir; controlled pollination; seed quality; genetic analysis

揭示种子品质性状变异规律及其与遗传基础的关系,对于提高林木种子园种子品质具有重要的意义.杉木 *Cunninghamia Lanceolata* (Lamb.) Hook 是我国南方重要的工业用材树种,我国于20世纪60年代开始营造杉木种子园,迄今,种子园仍然是杉木良种繁育的主要途径.然而,杉木种子园种子播种品质不尽人意.据统计,各地杉木种子园的健全种籽率一般在30%左右,另外60%左右的种子是空籽或涩

籽^[1-8].如何改善种子的播种品质一直是杉木种子园经营管理中的重要问题.20世纪80年代初,叶培忠等^[1-2]和陈岳武等^[3]就杉木种子播种品质是否受遗传控制、双亲哪方影响更大等问题进行了研究,后来还有一些相关研究对影响杉木种子播种品质的因素进行了观察分析^[4-8].但由于试验规模、试验设计和亲本不同等原因,结论并不完全一致.为进一步研究不同交配方式对种子品质的影响,本文利用贵州省

收稿日期:2011-05-16

作者简介:杨萍(1965—),女,工程师;通信作者:陈晓阳(1958—),男,教授,博士,E-mail:xychen@scau.edu.cn

黎平县国营东风林场杉木种子园不同交配设计试验的种子检验结果进行统计分析, 试图验证杉木杂交中异交、自交、一般配合力(GCA)、特殊配合力(SCA)对杉木涩粒率、空籽率的影响, 为进一步提高种子播种品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

亲本材料均为贵州省黎平县国营东风林场杉木种子园子代生长优良的无性系。对5×5全双列交配、11个亲本的不连续半双列交配和6×5的测交系交配试验的种子, 采用X线法检验和剖切法检验进行种子涩籽、空籽和健全籽检验。检验重复4次, 每个重复约含种子100~200粒。

1.2 统计方法

在林木交配试验中, 经常遇到组合缺失问题。为了更为客观和精确分析, 本文采用一般线性模型, 通过求解因素效应值, 进而求出各因素的离差平方和(SS)及均方, 并通过一般表型方差分量模型, 求出各因素均方成分^[9-10]。其中, 双列交配设计的方差分析方法适用于该类各种交配试验分析。采用Turbo C 2.0编程软件自编程序计算, 并利用实例进行了检验。对空籽率等百分率数据采取反正弦转换后再进行统计分析。

配合力分析采用表型线性方差分量模型:

$$x_{ijl} = \mu + v_{ij} + b_l + e_{ijl}, \quad (1)$$

式(1)中, μ 为总平均; v_{ij} 为组合效应; b_l 为重复效应; e_{ijl} 为机误。

全双列交配的组合效应可按式(2)分解, 包括一般配合力(g_i)、特殊配合力(s_{ij})和正反交效应(r_{ij}):

$$v_{ij} = g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij}. \quad (2)$$

测交系交配试验的组合效应可按式(3)分解, 包括父本一般配合力(g_{Mi})、母本一般配合力(g_{Fi})和特殊配合力(s_{MFij}):

$$v_{ij} = g_{Mi} + g_{Fi} + s_{MFij}, \quad (3)$$

式(1)~(3)模型有如下假设条件:

$$\sum_i \sum_j v_{ij} = 0, \sum_i s_{ij} = 0, \sum_j s_{MFij} = 0, \\ s_{ij} = s_{ji}, \sum_i s_{MFij} = 0, r_{ii} + r_{jj} = 0,$$

据此, 可求出各因素的效应值。

本文配合力方差分析均采用固定模式, 方差分析模式见表1、表2。表1、2中, $K_x = (\text{tr}(\mathbf{U}_x \times \mathbf{C}_x \times \mathbf{A}^{-1}) \times \mathbf{C}_x \times \mathbf{U}_x) / v_x$, σ 为 x 均方成分, x : 分别取6、 v 、 g 、 s 、 r 、 f 和 m ; \mathbf{U}_x : x 因素效应值的设计矩阵; \mathbf{C}_x : x 因素效应值的设计矩阵变换矩阵; \mathbf{C}_x' : \mathbf{C}_x 的转置

矩阵; \mathbf{A}^{-1} : x 因素效应值的系数满秩逆矩阵; v_x : x 因素的自由度; tr : 矩阵求迹。

表1 双列交配设计方差分析表¹⁾

Tab. 1 Variance analysis of sowing traits of seeds derived from diallel mating

变异来源	自由度	平方和	均方	期望均方
重复	$B-1$	$\sum \sum \sum b_l^2$	MS_b	$\sigma^2 e + K_b \sigma_b^2$
组合间	$V-1$	$\sum \sum \sum v_{ij}^2$	MS_v	$\sigma^2 e + K_v \sigma_v^2$
GCA	$P-1$	$\sum \sum \sum (g_i^2 + g_j^2)$	MS_g	$\sigma^2 e + K_g \sigma_g^2$
SCA	$H-1$	$\sum \sum \sum s_{ij}^2$	MS_s	$\sigma^2 e + K_s \sigma_s^2$
正反交效应	$V-P-H+1$	$SS_v - SS_g - SS_s$	MS_r	$\sigma^2 e + K_r \sigma_r^2$
机误	$BV-B-V+1$	SS_e	MS_e	σ_e^2

1) B 为重复数, V 为交配组合数, P 为亲本数, H 为正交组合数(若正交某组合缺失由相应反交组合替代), SS_v 、 SS_g 、 SS_s 和 SS_e 分别为组合、GCA、SCA 和机误的离差平方和。

表2 测交系交配设计方差分析表¹⁾

Tab. 2 Variance analysis of sowing traits of seeds derived from tester mating

变异来源	自由度	平方和	均方	期望均方
重复	$B-1$	$\sum \sum \sum b_l^2$	MS_b	$\sigma^2 e + K_b \sigma_b^2$
组合间	$V-1$	$\sum \sum \sum v_{ij}^2$	MS_v	$\sigma^2 e + K_v \sigma_v^2$
父 GCA	$m-1$	$\sum \sum \sum g_{Mi}^2$	MSg_M	$\sigma^2 e + K_m \sigma_m^2$
母 GCA	$f-1$	$\sum \sum \sum g_{Fi}^2$	MSg_F	$\sigma^2 e + K_f \sigma_f^2$
SCA	$V-m-f+1$	$\sum \sum \sum s_{MFij}^2$	MS_s	$\sigma^2 e + K_s \sigma_{fms}^2$
机误	$BV-B-V+1$	SS_e	MS_e	σ_e^2

1) B 为重复数, V 为交配组合数, m 为父本数, f 为母本数, SS_e 为机误的离差平方和。

2 结果与分析

2.1 完全双列交配试验

从表3可以看出, 不同交配组合种子在健全籽率、空籽率、涩籽率和种子千粒重上的差异很大。例如, 交配组合4×4的种子平均健全籽率仅0.5%, 而4×74高达48.4%, 两者相差95.8倍; 96×74的空籽率为0.4%, 而4×96高达60.3%, 两者相差150.8倍; 4×96的涩籽率仅10.0%, 而4×4高达88.4%, 两者相差7.8倍; 88×74的千粒重2.925g, 而96×88为5.940g, 两者相差1.03倍。不同母本间的种子品质也有明显的差异。96等无性系的种子品质较好, 而89等较差。同一母本不同组合间的差异也很大。如无性系4与其他4个父本交配, 健全籽率为8.7%~48.4%, 空籽率为8.6%~60.3%, 涩籽率为10.0%~82.7%。这说明种子播种品质在很大程度上取决于具体的交配组合。从表3还可看出, 正交与反交的差异也很大。如4×74和88×89的健全籽率分别为48.4%和21.4%, 而74×4和89×88的健

全籽率分别为16.6%和14.8%。

表3 全双列交配种子检验结果

Tab.3 Sowing traits of seeds derived from complete diallel mating

交配组合	健全籽率/%	空籽率/%	涩籽率/%	千粒重/g
4×4	0.5	11.1	88.4	4.335
4×88	45.1	14.4	40.5	4.703
4×89	8.7	8.6	82.7	2.955
4×96	29.8	60.3	10.0	3.780
4×74	48.4	9.0	42.0	4.973
88×4	36.3	3.7	60.0	3.778
88×88	16.8	15.8	67.4	3.445
88×89	21.4	4.6	74.0	3.615
88×74	1.2	29.1	69.7	2.925
89×4	11.7	11.4	76.9	3.175
89×88	14.8	33.9	51.4	3.300
89×89	8.7	12.5	78.8	3.273
89×96	22.9	0.9	76.2	3.418
89×74	16.2	1.7	82.1	3.100
96×4	28.2	10.1	61.7	5.033
96×88	38.4	4.6	57.0	5.940
96×89	16.3	4.6	79.1	4.908
96×96	20.0	16.7	63.4	5.238
96×74	32.1	0.4	67.5	5.040
74×4	16.6	8.5	75.0	4.065
74×88	33.4	13.6	53.0	4.553
74×89	30.8	0.4	68.8	5.288
74×74	8.2	14.8	77.0	4.048

经方差分析(表4),组合间在各指标上的差异达到极显著水平,亲本间GCA和SCA的差异均达到了极显著水平,从方差分量来看,两次试验各指标的SCA都高于GCA.正反交差异达到了显著或极显著水平,尤其是空籽率和千粒重,除遗传原因外,还可能与授粉状况有关。

2.2 不连续半双列交配试验

不连续半双列交配试验结果也表明,不同组合差异也非常大,健全籽率、空籽率、涩籽率和千粒重分别变动于4.4%~33.2%、13.2%~68.0%、21.3%~61.9%和0.492~1.156g.种子品质与母本有明显的关系.例如无性系63作母本,健全籽率为20.8%,明显高于其他无性系,无性系93和121种子品质较差,健全籽率平均只有8.5%和9.4%.经方差分析(表5),种子品质各指标在交配组合、GCA和SCA都达到极显著水平,GCA的F值大于SCA.除涩籽率外,GCA的方差分量比SCA的大,这与全双列交配试验结果有所不同。

2.3 测交系交配试验

由表6可以看出,30个组合间健全籽率、空籽率、涩籽率和200粒重的变动幅度分别为11.0%~45.3%、14.0%~58.8%、24.5%~57.0%和0.681~1.497g.母本间的差异更明显,如593无性系的健全籽率平均为18.82%,而594无性系平均为37.1%,两者相差18.3%。

表4 全双列交配种子检验数据方差分析¹⁾

Tab.4 Variance analysis of sowing traits of seeds derived from complete diallel

差异来源	自由度	空籽率		涩籽率		健全籽率		千粒重	
		F	方差分量/%	F	方差分量/%	F	方差分量/%	F	方差分量/%
交配组合	22	26.92**		19.13**		18.17**		55.33**	
重复	3	3.94**	1.41	0.89 ^{ns}	0.00	0.17 ^{ns}	0.00	0.72 ^{ns}	0.00
GCA	4	8.97**	1.51	23.23**	9.73	24.76**	10.40	88.09**	14.76
SCA	10	23.22**	43.14	18.03**	45.59	21.16**	57.95	49.23**	34.43
正反交	8	37.36**	43.98	18.33**	35.54	10.37**	19.23	2.20*	42.06
机误	66		10.08		9.14		16.41		8.73

1) 表中**为0.01显著性水平;*为0.05显著性水平;ns为不显著。

表5 不连续半双列交配试验种子检验数据方差分析¹⁾

Tab.5 Variance analysis of sowing traits of seeds derived from disconnected half-diallel mating

差异来源	自由度	空籽率		涩籽率		健全籽率		千粒重	
		F	方差分量/%	F	方差分量/%	F	方差分量/%	F	方差分量/%
交配组合	19	14.18**		14.18**		23.43**		89.87**	
重复	3	0.46 ^{ns}	0.00	0.46 ^{ns}	0.00	1.05 ^{ns}	0.05	1.72 ^{ns}	0.223
GCA	10	22.14**	38.32	19.93**	29.34	43.05**	57.50	40.87**	59.86
SCA	9	7.03**	36.90	7.80**	42.99	5.77**	23.25	26.13**	33.85
机误	57		24.78		27.67		19.19		6.06

1) 表中**为0.01显著性水平;*为0.05显著性水平;ns为不显著。

表6 测交系交配试验种子检验

Tab.6 Sowing traits of seeds derived from tester mating

交配组合	健全籽率/%	空籽率/%	涩籽率/%	200粒重/g	交配组合	健全籽率/%	空籽率/%	涩籽率/%	200粒重/g
593 × 125	19.3	40.5	40.5	1.305	41 × 125	27.8	32.5	35.8	1.063
593 × 127	11.0	52.8	36.3	1.184	41 × 127	26.8	42.3	31.0	1.120
593 × 8	29.3	30.0	40.8	1.484	41 × 8	38.8	21.0	40.3	1.202
593 × 19	12.5	55.3	32.3	1.145	41 × 19	42.0	19.0	35.0	1.215
593 × 24	22.0	39.3	38.8	1.497	41 × 24	18.5	55.8	25.8	0.936
586 × 125	21.5	22.8	55.0	1.037	594 × 125	45.3	23.3	32.3	1.015
586 × 127	36.8	28.3	35.0	0.964	594 × 127	36.5	30.0	33.5	0.873
586 × 8	28.5	20.8	50.8	1.045	594 × 8	23.5	31.3	45.3	1.051
586 × 19	23.0	31.5	45.5	1.007	594 × 19	40.8	20.3	39.0	0.976
586 × 24	11.3	36.0	52.8	1.092	594 × 24	39.5	21.8	38.8	1.021
12 × 125	29.0	14.0	57.0	0.901	582 × 125	31.5	24.3	44.3	1.210
12 × 127	27.8	35.0	37.5	0.912	582 × 127	30.8	23.0	46.3	0.970
12 × 8	27.0	24.8	48.3	0.770	582 × 8				1.071
12 × 19	39.0	22.5	38.5	0.866	582 × 19	43.8	19.0	37.3	1.020
12 × 24	38.8	23.8	37.5	0.843	582 × 24	16.8	58.8	24.5	0.681

方差分析(表7)表明,种子品质各指标在交配组合、父本和母本的GCA以及SCA间的差异都达到了极显著水平.从方差分量可知,母本的GCA均大于父本的GCA,父本和母本的GCA方差分量总和大于SCA.

表7 测交系交配试验种子检验数据方差分析¹⁾

Tab.7 Variance analysis of sowing traits of seeds derived from tester mating

差异来源	自由度	空籽率		涩籽率		健全籽率		200粒重	
		F	方差分量/%	F	方差分量/%	F	方差分量/%	F	方差分量/%
交配组合	28	6.31**		26.45**		11.37**		67.01**	
重复	3	0.20 ^{ns}	0.00	1.05 ^{ns}	0.00	1.39 ^{ns}	0.05	2.29 ^{ns}	0.1
父GCA	4	6.86**	9.55	45.47**	20.69	10.94**	9.97	20.05**	15.4
母GCA	5	18.49**	34.16	45.74**	24.93	29.15**	33.78	248.52**	53.5
SCA	19	2.98**	18.66	17.37**	43.84	6.78**	33.39	31.03**	3.3
机误	84		37.79		10.54		22.86		27.6

1) **为0.01显著性水平;*为0.05显著性水平;ns为不显著.

2.4 自交对种子品质的影响

表8数据表明:A组试验中,自交的平均健全籽

率比异交的低15.4%,平均空籽率比异交的高

4.4%,平均涩籽率比异交的高11.6%.B组试验也反

表8 自交与异交的种子品质

Tab.8 Sowing traits of seeds derived from selfing and outcrossing

试验组	无性系	健全籽率/%			空籽率/%			涩籽率/%		
		自交	异交	差值	自交	异交	差值	自交	异交	差值
A组	88	25.7	24.3	1.4	17.3	27.5	-10.2	49.2	40.8	8.4
	89	4.5	28.2	-23.7	33.2	46.2	-13.0	62.3	25.6	36.7
	123	19.4	33.4	-14.0	31.4	25.9	5.5	57.0	48.2	8.8
	119	3.1	23.2	-20.1	35.3	20.5	14.8	61.6	53.2	8.4
	120	2.8	26.5	-20.6	56.2	31.3	24.9	41.0	45.3	-4.3
	平均		11.1	26.5	-15.4	34.7	30.3	4.4	54.2	42.6
B组	4	0.5	33.0	-32.5	11.1	23.1	-12.0	88.4	43.8	44.6
	88	16.8	19.6	-2.8	5.8	12.6	-6.8	77.4	66.8	10.6
	89	8.7	16.4	-7.7	12.5	12.0	0.5	76.9	71.7	5.2
	96	20.0	28.8	-8.8	16.7	4.9	11.8	63.4	66.3	-2.9
	74	8.2	26.9	-18.7	14.8	7.5	7.3	77.0	65.3	11.7
	平均		10.8	24.9	-14.1	12.2	12.0	0.2	76.6	62.8

映异交的种子品质比自交好。不同无性系自交能孕性是有差异的。如在两组试验中,无性系 88 健全籽率均高于 89 无性系。由表 8 还可看出,自交的涩籽率明显高于异交,但在空籽率上,两种交配方式相差明显。

对 18 和 19 无性系做了本系花粉不同比例的授粉试验,结果(表 9)表明,本系花粉比例与种子千粒重、

空籽率关系不明显,而与健全籽率和涩籽率相关紧密,随着本系花粉比例增高,健全籽率降低,涩籽率提高,自交是通过产生涩籽来影响种子的播种品质。由表 9 还可看到,自由授粉的健全籽率和涩籽率十分接近本系花粉占 20% 的授粉试验结果。据此可以估计,3 年生 1.5 代种子园的自交率达 20% 左右。

表 9 本系花粉比例与种子播种品质

Tab.9 Quality evaluation of seeds pollinated with various proportions of self-pollen

本系花粉 比例/%	无性系 18				无性系 19			
	健全籽率/%	空籽率/%	涩籽率/%	千粒重/g	健全籽率/%	空籽率/%	涩籽率/%	千粒重/g
0	33.4	22.8	43.8	4.1	26.9	7.5	65.6	4.6
20	22.4	0.1	77.5	3.3	23.8	0.4	75.8	4.9
50	11.1	3.4	85.5	3.4	30.0	0.0	69.8	5.2
80	12.2	1.7	86.1	3.8	20.5	0.8	78.8	4.0
100	0.5	11.1	88.4	4.0	8.2	4.8	87.0	4.0
自由授粉	23.7	2.9	73.2	4.3	22.5	2.5	75.0	4.9

3 讨论与结论

自交降低种子品质和产量已在花旗松 *Pseudotsuga menziesii*、欧洲云杉 *Picea abies*、欧洲赤松 *Pinus sylvestris*、火炬松 *Pinus taeda*、湿地松 *Pinus elliottii*、油松 *Pinus tabulaeformis* 等树种中得到证实^[11]。叶培忠等^[1]通过杉木 3 × 3 全双列交配试验表明,各亲本自交时,其健全籽率比异交降低 20% ~ 60%,比自由授粉降低 50% ~ 90%,其涩籽率比异交增高 40% ~ 100%,比自由授粉增高 34% ~ 110%,空籽率与交配方式关系不明确。本研究也表明,自交的涩籽率明显高于异交,但在空籽率上,两种交配方式差异不大。由于自交是通过生成涩籽来影响种子的播种品质,因此降低自交率可以显著提高种子的播种品质。

叶培忠等^[1]根据杉木交配试验分析认为,杉木种子活力主要受基因的显性作用,陈益泰等^[4]研究显示,杉木近交使得种子发芽率和苗木高生长量大幅度下降。近交衰退随着近交系数的增加而加大。Johnsson^[11]对欧洲赤松空籽率研究得出,特殊配合力是主要的。本文的 3 个试验结果分析均表明,GCA、SCA 和正反交效应都显著。但是,加性效应与非加性效应哪个更大,不同交配试验的结论不一致。全双列交配试验反映 SCA 方差分量大于 GCA 方差分量,即非加性效应大于加性效应。而测交系交配试验结果显示,GCA 方差分量较大,加性效应更明显。为了解释这个问题,将全双列交配试验自交组合剔除后,再作统计分析,结果表明,空籽率 GCA 和 SCA 的 *F* 值分别为 29.86 和 10.33,方差分量分别为 35.87% 和 24.38%,涩籽率 GCA、SCA 的 *F* 值分别为 38.14 和 4.08,方差分量分别为 25.14% 和 8.92%。这表明,GCA 的方差分量大于 SCA。由于全双列交配设计试验中包含了自交,而自交组合种子品质较差,因而

SCA 的方差分量相对较大,但当剔出自交组合后,结论恰好相反,即 GCA 的方差分量大于 SCA。此外,由于不同试验用不同的亲本,而不同亲本选择受精的状况有一定差异,因而结论也有所差别。

参考文献:

- [1] 叶培忠,陈岳武,蒋恕,等.杉木种子生活力变异的研究[J].南京林产工业学院学报,1981,5(3):22-32.
- [2] 叶培忠,陈岳武,刘大林,等.配合力分析在杉木数量遗传研究中的应用[J].南京林产工业学院学报,1981(3):1-21.
- [3] 陈岳武,施季森,刘大林,等.杉木种内杂种优势及亲本配合力的分析[J].南京林产工业学院学报,1982(2):1-20.
- [4] 陈益泰,何贵平,李恭学.杉木种子发芽率和苗木高生长的近交效应[J].林业科学研究,1989,2(5):420-426.
- [5] 刘仁东,陈晓阳,秦向华.气象因子差异对杉木种子质量的影响[J].四川林业科技,2007,28(3):78-79.
- [6] 吴承祯,洪伟,林思祖.杉木种子涩籽的空间特征分析[J].山地学报,2006,24(1):117-122.
- [7] 刘芳.无性系、立地、郁闭度对杉木种子园产量和质量的影响[J].林业科技开发,2002,16(5):24-26.
- [8] 孙鸿有,郑勇平,翁春媚,等.杉木种子园种子品质性状变异及遗传参数[J].浙江林学院学报,2005,22(1):61-65.
- [9] NAMKOONG G. Introduction to quantitative genetics in forestry[M]. [S. l.]:Castle House, 1981.
- [10] 王松桂.线性模型的理论及应用[M].合肥:安徽教育出版社,1987:348-444.
- [11] JOHSSON H. Contributions to the genetics of empty grains in the seed of pine (*Pinus sylvestris*)[J]. Silvae Genetica, 1976,25(1):10-15.

【责任编辑 李晓卉】