

杉木主要材质性状配合力研究*

支济伟 陈益泰 骆秀琴 张寿槐 管宁 张国武

摘要 对杉木7×7半双列杂交试验林进行8个材质性状的测定和配合力分析。结果表明,所有材质性状的一般配合力方差均达到极显著水平;木材径向干缩系数、顺纹抗压强度和纤维长度的特殊配合力方差达到极显著水平。除径向干缩系数和顺纹抗压性状以外,一般配合力方差的分量远大于特殊配合力方差的分量(随机模型),表明基因加性效应对这些性状的表达起主要作用。木材密度、径向干缩系数、顺纹抗压强度和纤维长度的广义遗传力较高(分别为0.86,0.64,0.85,0.80),木材弦向干缩系数和抗弯强度的广义遗传力中等(分别为0.25和0.26),木材体积干缩系数和抗弯强度的广义遗传力较低(分别为0.17和0.13)。木材密度和纤维长度的狭义遗传力较高(分别为0.76和0.73),其余性状表现中等或较低(0~0.26)。亲本龙5的木材密度、抗弯强度和抗弯弹性模量,亲本龙1的木材径向干缩系数和顺纹抗压,亲本高37的木材弦向干缩系数和体积干缩系数,亲本靖70的木材纤维长度,分别具有最好的一般配合力效应值。杂交组合连5×高37和龙1×阳11的木材径向干缩系数,龙1×龙5的木材顺纹抗压强度和纤维长度,靖70×高37的木材纤维长度表现出极显著的超亲优势。

关键词 杉木、材质性状、配合力、遗传力、超亲优势

配合力研究由于能够提供有关亲本选择和数量性状表达的基因效应的本质和大小等信息,因而在杂交育种中变得十分重要和可信赖。有关杉木双列杂交分析已有不少报道^[1,2],但以往的研究多数集中在生长性状方面。有关材质性状配合力研究的系统报道尚未见到。

本文以10年生7×7半双列杂交子代测定林为材料,研究杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.] 8个主要物理、力学以及解剖性状的遗传控制模式、配合力效应、遗传力估算以及超亲优势,为杉木材质性状的遗传改良提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料和性状测定方法

试验材料为位于江西分宜的一片10年生7×7半双列杂交子代测定林。有关试验材料来源的详细情况已有介绍^[1]。杂交亲本为龙1、龙5、靖335、靖70、阳11、连5和高37,共有21个杂交组合(只包含正交,不含亲本自交和反交)。

试验采用完全随机区组设计,重复10次,4株单行小区,株行距为2 m×1.5 m。

1992年底对试验林进行生长调查后,按照生长测定结果,在每个小区内,选取一株亚优势木伐倒。从胸径处往上,截取一段60 cm长的木段作材性测定。各个性状的测定方法参照中华

1993—11—11收稿。

支济伟助理研究员,陈益泰(中国林业科学研究院亚热带林业研究所 浙江富阳 311400);骆秀琴,张寿槐,管宁(中国林业科学研究院木材工业研究所);张国武(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心)。

* 本文内容为受IDRC资助的农林业项目“杉木遗传改良研究”和林业部世界银行贷款国家造林项目科研推广计划材性课题的一部分。

人民共和国《木材物理力学试验方法》(GB1927—1943—80)进行。

1.2 统计分析

以小区数值为单位,按照 Griffing^[3]双列杂交配合力分析方法(方法Ⅳ)进行。把随机区组和配合力合并一起分析^[4](表1)。杂交组合的超亲优势计算分别以中亲值(*MP*)、组合中优势亲本子代平均值(*BP*)为准^[2]。

表1 第四种双列杂交方差分析(以小区为单位)

变异来源	自由度	均方	期望均方	
			模式 I	模式 II
重复	$b-1$	M_b		
一般配合力	$p-1$	M_g	$\sigma_g^2 + [b(p-2)/(p-1)]k\epsilon$	$\sigma_g^2 + b\sigma_e^2 + b(p-2)\sigma_g^2$
特殊配合力	$p(p-3)/2$	M_s	$\sigma_s^2 + [2b/p(p-3)]k\epsilon$	$\sigma_s^2 + b\sigma_e^2$
试验误差	$(a-1)(b-1)$	M_e	σ_e^2	σ_e^2

注: b =重复数; p =亲本数; $a=p(p-1)/2$ 组合数。

2 试验结果和分析

2.1 杉木主要材质性状配合力方差分析

杉木主要材质性状配合力方差分析结果列入表2。各个性状的一般配合力方差都达到极显著水平。表明影响这些性状的基因加性效应在亲本之间存在显著差异。木材径向干缩系数、顺纹抗压强度以及纤维长度这三个性状的特殊配合力方差达到极显著水平,说明影响这三个性状的基因非加性效应在 F_1 代的不同杂交组合之间存在显著差异。

表2 杉木8个材质性状配合力方差分析

性状	均方			分量		
	$gca(6)$	$sca(14)$	$error(180)$	σ_{gca}^2	σ_{sca}^2	$\sigma_{gca}^2/(\sigma_{gca}^2 + \sigma_{sca}^2)$
密度	$8.5 \times 10^{-3}^{**}$	9.3×10^{-4}	5.4×10^{-5}	1.5×10^{-4}	4.0×10^{-5}	0.79
弦向干缩系数	$1.2 \times 10^{-2}^{**}$	6.0×10^{-4}	1.2×10^{-3}	2.0×10^{-4}	0	1.00
径向干缩系数	$4.9 \times 10^{-3}^{**}$	$7.8 \times 10^{-3}^{**}$	4.0×10^{-4}	0	7.0×10^{-4}	0
体积干缩系数	$2.7 \times 10^{-2}^{**}$	2.6×10^{-3}	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-4}	0	1.00
抗弯强度	$2.9 \times 10^{-2}^{**}$	2.9×10^1	3.0×10^1	5.2	0	1.00
抗弯弹性模量	5.8^{**}	0.9	1.3	9.4×10^{-2}	0	1.00
顺纹抗压	803.9 ^{**}	538.0 ^{**}	11.4	5.3	52.7	0.09
纤维长度	$3.3 \times 10^6^{**}$	$1.5 \times 10^5^{**}$	3.5×10^4	6.3×10^4	1.2×10^4	0.84

**表示差异极显著; *表示差异显著。

方差的遗传分量能够衡量性状遗传控制的表达方式。根据随机模型的计算结果(表2),除木材径向干缩系数和顺纹抗压外,其它性状的特殊配合力方差分量小于一般配合力方差分量。木材弦向干缩系数、体积干缩系数、抗弯强度、抗弯弹性模量的特殊配合力方差等于零,表明亲本的一般配合力效应对杂交组合的遗传效应等于100%。木材基本密度和纤维长度一般配合力效应方差分量与遗传方差的比值分别为79%和84%。因此,基因加性效应对这些性状的遗传起主要作用。与此相反,对于木材径向干缩系数以及顺纹抗压强度这两个性状,前者的一般配合力方差分量等于零,后者仅占遗传方差的9.0%,表明基因非加性效应对它们的遗传起主要作用。

2.2 杉木主要材质性状遗传力估算

各个性状的狭义以及广义遗传力估算结果列入表 3。就广义遗传力来说,木材密度、径向干缩系数、顺纹抗压和纤维长度表现较高,弦向干缩系数和抗弯强度的遗传力表现中等,体积干缩系数和抗弯弹性模量的遗传力较低。就狭义遗传力来说,木材密度和纤维长度表现较高,弦向干缩系数以及抗弯强度表现中等,而体积干缩系数、径向干缩系数、抗弯弹性模量和顺纹抗压表现较低,其中径向干缩系数的狭义遗传力等于零。

表 3 杉木 8 个材质性状狭义遗传力 (h_n^2)和广义遗传力 (h_b^2)估算

性 状	遗 传 力	
	h_n^2	h_b^2
密 度	0.76	0.86
弦向干缩系数	0.25	0.25
径向干缩系数	0	0.64
体积干缩系数	0.17	0.17
抗弯强度	0.26	0.26
抗弯弹性模量	0.13	0.13
顺纹抗压	0.14	0.85
纤维长度	0.73	0.80

2.3 各个亲本不同材质性状的配合力效应值

在配合力研究中,按照不同的育种目标,对于各种材质性状的配合力效应值有不同的要求。有些性状(如木材密度、抗弯强度等)一般要求正向效应,即效应值越高越好;有些性状(如各种木材干缩系数一类的性状)一般要求负向效应,即效应值越低越好。不同材质性状的各个亲本一般配合力效应值列入表 4。结果表明没有一个亲本的所有材质性状均有最好的表现。亲本龙 5 的木材密度、抗弯强度和抗弯弹性模量表现最好(正向效应)。亲本高 37 的木材弦向干缩系数和体积干缩系数表现最好(负向效应)。亲本龙 1 的木材径向干缩系数(负向效应)以及顺纹抗压(正向效应)表现最好。对于木材纤维长度,一般配合力效应值(正向效应)表现最好的是亲本靖 70。用表 4 给出的标准误 $SE(g_i - g_j)$,还可以进行不同亲本之间一般配合力效应值差异显著性检验。一般配合力效应值表现最好的亲本与其它亲本之间一般存在显著差异(限于篇幅,本文没有列出检验结果)。

表 4 杉木各个亲本不同材质性状的一般配合力效应值

亲 本	密 度	弦向干缩系数	径向干缩系数	体积干缩系数	抗弯强度	抗弯弹性模量	顺纹抗压	纤维长度
龙 1	0.009 34	-0.008	-0.010 4	-0.005 8	1.92	-0.03	5.94	-307.66
龙 5	0.020 30	0.019	0.004 4	0.038 0	4.13	0.74	5.60	-348.86
靖 335	-0.019 70	0.004	-0.005 8	0.008 8	-2.58	-0.10	-3.49	243.94
靖 70	-0.009 26	0.021	-0.003 4	0.018 6	-0.83	-0.02	-2.22	331.34
阳 11	0.001 74	-0.006	0.013 2	-0.012 0	-0.28	-0.29	-1.59	20.54
连 5	0.001 54	-0.010	-0.010 0	-0.018 4	0.15	-0.17	-1.37	102.94
高 37	-0.004 06	-0.019	0.011 8	-0.030 0	-2.25	-0.15	-0.15	-42.26
SE	0.004 60	0.007	0.004 0	0.010 2	1.10	0.23	0.68	37.12

木材径向干缩系数、顺纹抗压强度和纤维长度三种性状,各组合的特殊配合力效应值列入表 5。就径向干缩系数而言,组合连 5×高 37 具有最低的特殊配合力效应值,其次是龙 1×阳 11 和靖 70×阳 11。就顺纹抗压强度而言,组合龙 1×龙 5 的特殊配合力效应值最高。对纤维长度而言,组合龙 1×龙 5 和靖 70×高 37 的特殊配合力效应值最高。利用表中给出的标准差可以进行不同组合间效应值的差异显著性检验。结合前面的一般配合力效应值分析,可以看出,对于径向干缩系数,一般配合力效应值最高和次低的两个亲本的杂交组合其特殊配合力效应值表现最好。对于顺纹抗压强度,特殊配合力效应值最高的杂交组合由两个一般配合力表现

最高的亲本组成。对于纤维长度来说,两个一般配合力效应值最低的亲本的杂交组合,其特殊配合力效应值最高。由此可见,不同的性状,亲本一般配合力效应值的大小对于杂交组合特殊配合力效应值的影响并不相同。

表5 杉木三种材质性状的特殊配合力效应值

亲本	性状	亲本					
		龙5	靖335	靖70	阳11	连5	高37
龙1	CSR ^①	0.014	-0.002	0.007	-0.021	0.015	-0.013
	CSPG ^①	22.03	-5.67	-4.84	-5.73	-2.04	-3.75
	FL ^①	199.5	-162.3	-93.7	101.1	-68.3	23.9
龙5	CSR		0.007	0.011	-0.017	0.005	-0.019
	CSPG		-2.24	-3.81	-6.28	-5.29	-4.41
	FL		-54.1	-136.5	33.3	53.9	-95.9
靖335	CSR			0.010	-0.011	0.014	-0.018
	CSPG			2.50	2.15	1.98	1.27
	FL			-9.3	115.5	43.1	67.3
靖70	CSR				-0.021	0.003	-0.010
	CSPG				3.29	1.17	1.70
	FL				-10.9	75.7	174.9
阳11	CSR					-0.013	0.083
	CSPG					2.79	3.79
	FL					-86.5	152.3
连5	CSR						-0.023
	CSPG						1.40
	FL						-17.7
标准误		CSR	CSPG	FL	限制条件		
SE(S _{ij} -S _{ik})		0.008	1.35	74.2	i≠j,k; j≠k		
SE(S _{ij} -S _{il})		0.007	1.17	64.3	i≠j,k,l; j≠k,l; k≠l		

①径向干缩系数,顺纹抗压强度和纤维长度分别用 CSR、CSPG 和 FL 表示。

2.4 子代表型平均值和超亲优势

在杉木杂交育种研究中,除特殊配合力效应值以外,有关杂交组合子代的超亲优势研究也很重要。按照子代平均值,特殊配合力效应值,表6列出对于3个材质性状超亲优势检验表现显著的4个组合的各个指标值。

表6 杉木4个杂交组合3个性状超亲优势的表现

性状	组合	平均值	特殊配合力效应值	超亲优势	
				MP	BP
径向干缩系数	连5×高37	0.104	-0.023	-16.8**	-10.3*
	龙1×阳11	0.106	-0.021	-15.87**	-8.6*
顺纹抗压强度	龙1×龙5	62.08	22.02	86.36**	85.57**
纤维长度	龙1×龙5	2420.00	199.47	67.09**	57.22**
	靖70×高37	3341.00	174.90	285.06**	68.01**

3 讨论

(1)有关杉木材质性状配合力分析到目前为止很少有报道。本次研究的8个材质性状,除木材径向干缩系数和顺纹抗压强度外,其余性状都显示出近乎一致的性状控制方式,即基因加

性效应对材质性状起主导作用。叶志宏等^[5]报道了杉木 11 个亲本双列交配遗传分析结果,认为木材基本密度和其它另外三个生长性状的一般配合力效应十分显著,而特殊配合力则较为次要。陈益泰等^[1]对与本次研究相同试验材料的早期树高生长的配合力分析也表明一般配合力方差的比例较大,并且随年龄增大而增加,与本次对于材质性状研究的结果相一致。这种由一般配合力效应起主导作用的性状表达方式,对杉木种子园营建的意义是十分明显的。我们知道,为了生产高质量遗传品质的杉木种子,在选择建园亲本时,有两种方式可供选择:对于特殊配合力效应起主要作用的性状,为了获得较高的遗传增益,必须选择最好的杂交组合,这需要通过全同胞遗传测定进行。在亲本无性系数量较大的情况下,所需的工作量和费用是较大的。如果性状控制主要是由一般配合力效应即基因加性效应决定,那么,为了确定建园亲本的遗传测定可以通过自由授粉家系测定进行。跟前者相比,工作量可以大为减少。目前,生产种子园亲本选用主要是依据自由授粉家系测定结果。因此,我们的研究结果为当前种子园营建提供了理论依据。

(2)有关材质性状的遗传力估算,到目前为止多数研究限于木材密度和管胞这两个性状。本次研究结果表明,这两种性状的广义或狭义遗传力都较高($h_B^2 > 0.80$, $h_N^2 > 0.70$)。其它性状的广义遗传力变化范围为 0.13~0.85;狭义遗传力为 0~0.26。根据 Burley^[6]报道,美国南方松木材密度的狭义遗传力变化范围为 0.20~0.70,管胞长度为 0.3~0.9,其它解剖性状的狭义遗传力变化范围为 0.13~0.84。根据 Zobel^[7]报道,针叶树或阔叶树木材密度的广义遗传力变化范围为 0.5~0.8。本次研究结果与这些报道相一致。对于杉木材质性状的遗传力估算表明,木材基本密度和管胞长度在材性改良时应首先考虑。杉木无性繁殖容易,对于象顺纹抗压和径向干缩系数性状,由于广义遗传力较高,也不容忽视。

(3)树木超亲优势的遗传解释目前尚不完备。现有的理论都可以归结于生理促进作用(如等位基因相互作用)和显性有利生长因素二种解释。前者认为杂合性本身是产生超亲优势的原因,是一种非孟德尔遗传。后者,把超亲优势归结于各个位点显性有利因子的积累,可以用孟德尔遗传加以解释^[5]。目前,有关杉木材质性状超亲优势的研究报道尚未见到。根据本次研究结果,某些性状的超亲优势与特殊配合力效应值有一定的相关,特殊配合力表现好的杂交组合其超亲优势也较显著。这也许可以归结于生理促进作用解释。由于有关林木超亲优势的研究尚处于起始阶段,我们的研究结果仅供参考。从理论上说,杂交组合的超亲优势是可以通过建立双系种子园或通过 F_1 代的无性繁殖加以固定的。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 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. 南京林产工业学院学报, 1982, (2): 1~16.
- 3 Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel cross system. Aust. J. Biol. Sci., 1956, 9: 463~493.
- 4 Hallauer A R, Miranda J B. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa: The Iowa State University, 1981.
- 5 叶志宏,施季森,翁玉榛,等. 杉木十一亲本双列交配遗传分析. 林木遗传改良讨论会文集, 1991, 69~73.
- 6 Burley J. Genetic variation in wood properties. Wood Sci. Technol., 1982, 4: 223~242.
- 7 Zobel B. Inheritance of wood properties in conifers. Silvae Genetica, 1961, 10: 65~70.

Combining Ability for Main Characters of Wood Qualities in Chinese Fir

Zhi Jiwei Chen Yitai Luo Xiuqin Zhang Souwai Guang Ning Zhang Guowu

Abstract The 7×7 dialled analysis in F_1 generation without reciprocals and selfed-parents in 10-year-old Chinese fir plantation revealed that the variances due to *gca* were highly significant for all the eight traits. The variances due to *sca* were also highly significant for three characters (compression strength parallel to grain, coefficient of radial shrinkage, fibre length). The estimated components of *gca* variances were higher in magnitude for most of the traits, indicating the predominance of additive gene action for these traits. The range of broad heritability for these eight wood traits was 0.13~0.86 and for narrow heritabilities 0~0.73. Parent Rong 5 of density, bending strength of wood and modulus of elasticity for bending strength, Parent Rong 1 for coefficient of radial shrinkage and compression strength parallel to grain, Parent Gao 37 for coefficient of tangential shrinkage and coefficient of volume shrinkage, Parent Qing 70 for fibre length were best general combiners respectively. The crosses Lian 5 \times Gao 37, Rong 1 \times Yan 11 for coefficient of radial shrinkage, the cross Rong 1 \times Rong 5 compression strength parallel to grain and the crosses Rong 1 \times Rong 5 and Qing 70 \times Gao 37 for fibre length were significant for heterosis.

Key words Chinese fir, wood trait, combining ability, heritability, heterosis

Zhi Jiwei, Assistant Professor, Chen Yitai (The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF Fuyang, Zhejiang 311400); Luo Xiuqin, Zhang Souwai, Guang Ning (The Research Institute of Wood Industry, CAF); Zhang Guowu (The Research Centre of Subtropical Forestry, CAF).

《林产化学与工业》1995年征订启事

《林产化学与工业》由中国林学会林产化学化工学会、中国林科院林产化学工业研究所联合主办,是供国内外有关林业、林产化学工业、轻工、化工等方面从事科研、教学、设计和生产工作的科技工作者和专家阅读的专业学术刊物。主要反映我国林产化学化工科学技术水平、报道学术研究成果,评述国际国内发展趋势动向。刊登有关林产品的化学加工和利用的基础理论、加工工艺和设备、资源、经济等方面的学术论文、研究报告、综述评论、科研简报、学术动态等内容。美国《化学文摘》、英国《林产品文摘》等均已摘录报道。

本刊为季刊,季末月底出版,16开本,每期约84页,定价4元,全年订费共16元。公开发行。国际刊名代码(CODEN):LHYGD7;国内统一刊号:CN32-1149/S;邮发代号:28-59,欢迎广大读者到当地邮局(所)订阅,如县以下邮局不收订本刊,可直接汇款至本编辑部订购。地址:南京市龙蟠路林产化工研究所内。邮政编码:210037

《林产化学与工业》编辑部