

杉木半同胞家系生长和材性遗传变异研究

黄寿先^{1,2}, 周传明², 朱栗琼², 韦立权², 施季森¹, 刘敏锐²

(1. 南京林业大学, 江苏南京 210037; 2. 广西大学林学院, 广西南宁 350001)

摘要: 对10年生杉木半同胞家系的生长和木材品质性状的遗传变异的研究表明, 树高、胸径和材积、管胞长度、管胞宽度在家系间存在显著差异, 木材基本密度和管胞长宽比在家系间差异不显著。树高、胸径、材积、木材基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的家系遗传力分别为0.697、0.841、0.836、0.317、0.462、0.471和0.249, 单株遗传力分别为0.425、0.671、0.716、0.249、0.437、0.145、0.181。木材基本密度与树高、胸径、材积、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比都呈负相关, 只有基本密度与管胞长度的负相关达到显著水平。选出的4个优良家系, 树高、胸径、材积、基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的遗传增益分别为3.96%、4.31%、12.69%、0.12%、-0.65%、-0.69%和-0.03%。

关键词: 杉木; 半同胞家系; 生长; 木材品质; 遗传变异; 遗传增益

中图分类号: S781.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2004)06-0535-05

Study on the genetic variation of growth traits and wood properties for Chinese Fir half-sib families

HUANG Shou-xian^{1,2}, ZHOU Chuan-ming², ZHU Li-qiong², WEI Li-quan², SHI Ji-sen¹, LIU Min-rui²

(1. *Nanjing Forestry University*, Nanjing 210037, China; 2. *Forestry College of Guangxi University*, Nanning 530001, China)

Abstract: There were highly significant differences among families in height, diameter at breast height (DBH), bole volume, tracheid length and tracheid width, but differences among families in wood basic density and the ratio of length to width of tracheid were insignificant. Family heritability were 0.697, 0.841, 0.836, 0.317, 0.462, 0.471 and 0.249, and individual heritability were 0.425, 0.671, 0.716, 0.249, 0.437, 0.145 and 0.181 respectively for height, diameter at breast height, bole volume, wood basic density, tracheid length, tracheid width and the ratio of length to width of tracheid. Wood basic density was negatively related to height, diameter at breast height, bole volume, tracheid length, tracheid width and the ratio of length to width of tracheid, but only the negative correlation of wood basic density with tracheid length was significant. Four families were selected and their genetic gains were 3.96%, 4.31%, 12.69%, 0.12%, -0.65%, -0.69% and -0.03% in height, diameter at breast height, bole volume, wood basic density, tracheid length, tracheid width and the ratio of length to width of tracheid respectively.

Key words: Chinese fir; half-sib family; growth; wood property; genetic variation; genetic gain

收稿日期: 2004-06-09 修订日期: 2004-08-18

基金项目: 广西林业科技项目资助(林科字1996第4号)

作者简介: 黄寿先(1956-), 男, 广西平果人, 副教授, 南京林业大学博士生, 从事林木遗传育种教学和研究工作。

木材的利用效益受生长和材性多性状的综合影响。生长性状决定木材的产量。木材密度既影响木材的力学强度,又直接或间接地决定木材及纤维制品的产量和品质,木材管胞形态性状直接影响木材纤维制品的品质(尹思慈,1990;成俊卿,1995;Miranda等,2001)。多性状的综合遗传改良是林木遗传改良的发展方向。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方的主要用材树种,广西又是我国杉木主要的优良种源区之一,但对广西杉木优良家系材性遗传变异和生长与材性综合遗传改良的研究甚少。本文对广西茶花山林场 1.5 代种子园子代测定林的 19 个半同胞家系的生长和木材品质性状的遗传变异和综合选择进行初步研究,为广西杉木的综合遗传改良提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

试验地位于广西象州县茶花山林场,20°01' N, 109°38' E,海拔 150~200 m,年均气温 20.7 °C,绝对最高气温 40 °C,绝对最低气温-3.4 °C。无霜日 330 d,年降雨量 1 338 mm,年蒸发量 1 721 mm,雨季多集中在 5~8 月,相对湿度 76%,年均日照时数 1 700 h,≥10 °C 的年积温为 6 600~7 000 °C。

田间试验采用随机区组设计,5 株小区,7 次重复,以广西优良种源白云糠杉为对照,试验共 22 个处理(含对照),造林时间为 1994 年 2 月,株行距为 2 m×2 m。2004 年 2 月对树高、胸径和材积进行测定,每个家系每重复取 1 株共 7 株样木,用 0.5 cm 口径的生长锥在每株样木的胸高位置同一方向上钻取过髓心的无疵木芯作材性分析样品。有 3 个家系由于缺株较多,只有 19 个家系(含对照)参与统计分析。

1.2 方法

木材基本密度的测定用饱和含水量法(中华人民共和国林业部科技司,1996)。

管胞形态性状的测定采用过氧化氢和冰醋酸离析法。在木芯近树皮一端取 1 cm 长作为管胞形态分析试样。用刀片沿弦切面将试样切成薄片,装入试管中。加入浓度为 1:1 的过氧化氢和冰醋酸混合液。然后将装有样品的试管放到水浴锅中进行水浴加热,煮至样品变白。离析后的样品用 2% 的蕃红染色制片。使用高清晰图像分析系统测定管胞的长度和宽度。

根据朱之悌(1990)的方法估算遗传参数。数据处理采用 SAS 统计分析软件进行。

家系遗传力: $h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2/b}$; 单株遗传力: $h^2 = \frac{4\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2}$; 相

关系数: $r = \frac{COV_{xy}}{\sigma_x\sigma_y}$; 遗传增益: $\Delta G = \frac{(\bar{X} - CK)h^2}{CK}$; 选择指

数: $I = \frac{W_1 h_1^2}{S_1} X_1 + \frac{W_2 h_2^2}{S_2} X_2 + \dots + \frac{W_n h_n^2}{S_n} X_n = \sum_{i=1}^n \frac{W_i h_i^2}{S_i} X_i$,

式中: \bar{X} 为入选家系性状平均值; CK 为对照的性状值; I 为选择指数; h_i^2 为第 i 性状的家系遗传力; X_i 为家系第 i 性状值; n 为性状数目; W_i 为家系第 i 性状的权重; S_i 为家系第 i 性状的表型标准差。

表 1 生长性状平均值及家系内变异系数

Table 1 Average of growth traits and coefficients of variability within family

家系 代号 No. of family	树高 Height (m)	变异系数		变异系数		材积 Volume (m ³)	变异系数 Coeffi- cient of variability (%)
		Coeffi- cient of variability (%)	胸径 DBH (cm)	Coeffi- cient of variability (%)			
5	10.04	10.96	12.7	18.82	0.069 37	38.94	
10	9.63	12.47	11.6	21.00	0.056 52	42.84	
11	9.56	15.37	11.5	25.33	0.055 35	51.12	
15	9.22	17.47	11.7	22.42	0.055 24	47.73	
19	9.83	14.59	11.1	21.49	0.053 45	47.31	
28	9.09	23.45	10.3	32.53	0.043 31	65.73	
32	10.81	10.47	14.2	20.20	0.091 43	40.92	
33	10.29	17.36	12.4	20.65	0.068 11	45.61	
41	8.84	17.11	11.1	25.33	0.047 76	50.89	
49	9.98	12.52	12.1	19.36	0.063 77	43.74	
50	10.09	17.20	13.0	25.37	0.072 67	48.72	
54	10.22	13.58	13.1	19.10	0.074 75	35.72	
75	9.84	12.02	12.1	16.42	0.062 52	36.03	
82	9.65	18.59	10.9	27.20	0.050 45	58.99	
85	8.27	21.15	8.8	32.26	0.029 71	72.45	
91	9.48	25.66	12.0	30.22	0.059 51	61.55	
95	9.91	18.04	11.4	22.85	0.056 95	51.44	
96	10.39	10.90	14.1	21.37	0.087 06	43.79	
101(CK)	9.50	17.57	11.7	23.45	0.057 25	51.84	
平均值 Average	9.72	16.13	11.9	23.44	0.060 80	49.23	

2 结果与分析

2.1 性状的变异和遗传控制

表 1 显示,不同家系树高为 8.27~10.39 m,平均 9.72 m;胸径为 8.8~14.2 cm,平均 11.9 cm;材积为 0.029 71~0.091 43 m³,平均 0.060 80 m³。不同家系内的变异系数也有很大的差异,树高家系内变异系数为 10.47%~25.66%,平均 16.13%;胸径家系内变异系数为 16.42%~32.53%,平均

23.44%; 材积的家系内变异系数为 35.72%~72.45%, 平均 49.23%。

17.05%, 平均 10.15%; 管胞长宽比的家系内变异系数为 7.25%~17.52%, 平均 12.99%。

由表 2 可知, 不同家系木材基本密度为 0.315 5~0.377 5 g/cm³, 平均 0.350 7 g/cm³; 管胞长度为 2 533.0~2 973.0 μm, 平均 2 826.7 μm; 管胞宽度为 37.1~44.4 μm, 平均 40.7 μm; 管胞长宽比为 65.1~79.6 μm, 平均 71.8 μm。木材基本密度家系内的变异系数为 3.29%~19.69%, 平均 9.92%; 管胞长度家系内变异系数为 4.84%~16.54%, 平均 9.66%; 管胞宽度家系内变异系数为 5.63%~

从表 1、2、3 可以看出 3 个特点。一是在三个生长性状中, 材积的变异幅度最大, 变异系数最大, 其次是胸径, 树高的变异系数最小。二是基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的变异系数都小于树高、胸径和材积的变异系数。三是木材品质性状和生长性状家系内的变异系数均大于家系间的变异系数。这说明, 生长性状和木材品质性状都存在不同程度的变异, 具有不同程度的改良潜力, 但生长性

表 2 木材品质性状平均值及家系内变异系数

Table 2 Average of wood properties and coefficients of variability within family

家系代号 No. of family	基本密度 Basic density (g/cm ³)	变异系数 Coefficient of variability (%)	管胞长度 Trechaid length (μm)	变异系数 Coefficient of variability (%)	管胞宽度 Trechaid width (μm)	变异系数 Coefficient of variability (%)	管胞长宽比 The ratio of length to width of trechaid	变异系数 Coefficient of variability (%)
5	0.364 1	16.16	2 934.6	10.91	41.0	8.06	73.3	10.71
10	0.357 1	19.69	2 720.5	5.66	40.0	10.00	70.2	9.48
11	0.351 4	7.17	2 966.6	8.70	41.9	10.30	72.4	11.37
15	0.354 2	9.60	2 780.2	5.40	44.4	12.76	65.1	13.86
19	0.328 4	6.45	2 911.0	11.70	37.6	7.52	79.6	16.03
28	0.366 8	6.21	2 847.7	12.91	38.9	5.63	74.3	13.46
32	0.342 6	7.66	2 953.2	16.54	40.2	6.97	74.9	15.76
33	0.377 5	10.05	2 697.2	7.02	40.3	9.64	69.3	14.56
41	0.345 9	8.25	2 656.5	13.81	40.1	12.88	67.8	7.25
49	0.369 2	13.33	2 723.5	11.62	40.1	6.11	70.9	15.06
50	0.315 5	3.29	2 940.6	6.97	43.4	17.05	70.6	17.52
54	0.324 8	13.14	2 772.8	9.74	41.0	8.45	69.6	10.93
75	0.351 9	7.32	2 949.3	12.57	39.8	14.51	76.9	14.11
82	0.329 2	1.96	2 973.0	8.17	42.4	11.83	72.9	16.48
85	0.368 1	18.21	2 718.0	7.21	37.1	9.36	76.1	10.42
91	0.352 3	10.00	2 878.2	9.57	39.3	8.35	75.0	9.52
95	0.369 1	11.24	2 533.0	9.51	40.0	8.82	64.6	12.38
96	0.330 2	13.51	2 885.3	10.65	44.0	11.69	67.6	14.01
101(CK)	0.364 3	5.31	2 866.6	4.84	40.9	12.86	72.7	13.86
平均值 Average	0.350 7	9.92	2 826.7	9.66	40.7	10.15	71.8	12.99

状的遗传改良潜力要大于木材品质性状的遗传改良潜力。家系内的变异系数大于家系间的变异系数, 说明家系内单株间存在较大的差异, 具有较大的遗传改良潜力, 采用家系选择和家系内选择相结合, 先选出优良家系再从优良家系中选出优良单株能获得更大的遗传增益。

方差分析和遗传力估算的结果表明, 树高、胸径和材积在家系间存在极显著差异, 管胞长度和管胞宽度在家系间存在显著差异, 但木材基本密度和管胞长宽比家系间差异不显著。树高、胸径、材积、基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的家系遗传力分别为 0.697、0.841、0.836、0.317、0.462、0.471、0.249, 单株遗传力分别为 0.425、0.671、

0.716、0.249、0.437、0.145、0.181(表 4)。说明本试验中不同性状受弱至强度的遗传控制。

2.2 性状间的相关分析

从表 5 可见, 树高、胸径和材积间表现极显著的正相关。树高、胸径和材积与管胞长度、管胞宽度表现正相关, 只有胸径与管胞宽度和材积与管胞宽度的正相关达到显著水平, 树高、胸径和材积与管胞长宽比呈不显著的负相关。木材基本密度与树高、胸径、材积、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比间表现负相关, 只有与管胞长度的负相关达到显著水平。说明提高木材基本密度的选择可能会降低树高、胸径和材积的生长量, 同时也可能导致对管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的负向选择。

表 3 家系间的变异系数
Table 3 Coefficients of variability between families

性状 Trait	树高 Height	胸径 DBH	材积 Volume	基本密度 Basic density	管胞长度 Length of trechaid	管胞宽度 Width of trechaid	管胞长宽比 the ratio of length to width of trechaid
标准差 Standard deviation	0.59	1.3	0.014 56	0.017 89	125.3	1.9	4.0
平均值 Average	9.72	11.9	0.060 80	0.350 66	2 826.8	40.7	71.8
变异系数 Coefficient of variability (%)	6.06	10.64	23.94	5.10	4.43	4.75	5.52

表 4 性状方差分析和遗传力估算
Table 4 Analysis of variance and Estimation of heritability

性状 Trait	自由度 DF	家系间方差 Variance between families	F 值 F value	家系遗传力 Heritability of families	单株遗传力 Individual heritability
树高 Height	18	123 291.1	7.486**	0.697	0.425
胸径 DBH	18	55.538 7	9.172**	0.841	0.671
材积 Volume	18	0.007 3	9.716**	0.836	0.716
基本密度 Basic density	18	0.002 2	1.463	0.317	0.249
管胞长度 Length of trechaid	18	125 630.4	1.858*	0.462	0.437
管胞宽度 Width of trechaid	18	29.648 6	1.890*	0.471	0.145
管胞长宽比 The ratio of length to width of trechaid	18	109.442 9	1.332	0.249	0.181

注:*,** 分别表示 5%、1% 显著水平。 Significant at 5% and 1% level, respectively.

表 5 性状间的相关系数
Table 5 Coefficients of correlation between traits

性状 Trait	树高 Height	胸径 DBH	材积 Volume	基本密度 Basic density	管胞长度 Length of trechaid	管胞宽度 Width of trechaid	管胞长宽比 The ratio of length to width of trechaid
树高 Height	1						
胸径 DBH	0.883 7**	1					
材积 Volume	0.919 8**	0.988 1**	1				
基本密度 Basic density	-0.297 4	-0.380 5	-0.372 3	1			
管胞长度 Length of trechaid	0.283 1	0.294 2	0.300 5	-0.493 8*	1		
管胞宽度 Width of trechaid	0.345 3	0.536 1*	0.473 8*	-0.394 2	0.252 7	1	
管胞长宽比 The ratio of length to width of trechaid	-0.093 1	-0.245 9	-0.187 5	-0.088 5	0.592 0**	-0.614 2**	1

注:*,** 分别表示 5%、1% 显著水平。 Significant at 5% and 1% level, respectively.

2.3 多性状综合选择及其遗传增益

树高、胸径和材积是构成木材产量的最重要因子,木材品质的遗传改良只在较好生长量的基础上进行才有意义。木材基本密度是影响木材品质的最主要因子之一,管胞形态性状主要影响木材纤维制品的质量。根据各性状的相对重要性,设定材积、树高、胸径、基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的权重分别为 4、2、2、2、1、1、1。构建的选择指数方程如下:

$$I=229.670 3X_1+2.362 7X_2+1.293 8X_3+35.438 8X_4+0.003 7X_5+0.247 9X_6+0.062 3X_7$$

式中: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 和 X_7 分别为材积、树高、胸径、基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比。

按上述指数方程计算每个家系的选择指数。根据选择指数,按 20% 的人选率选出 5 号、33 号、49

号和 75 号 4 个优良家系,与对照比较,树高、胸径、材积、基本密度、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比的平均遗传增益分别为 3.96%、4.31%、12.69%、0.12%、-0.65%、-0.69% 和 -0.03% (表 6)。在材积获得 12.69% 的遗传增益的情况下,4 个木材品质性状中,木材基本密度微弱上升,管胞形态性状也未表现明显下降。选择结果说明,在杉木多性状的综合选择中,在保持木材品质性状基本不下降的条件下,仍可以使生长量获得较大的遗传增益。

3 讨论

本研究中,木材基本密度与树高、胸径、材积、管胞长度、管胞宽度和管胞长宽比之间表现负相关。研究结果与施季森等(1987)、叶志宏等(1999)和胡

伯智等(1999)的研究相一致。在生长性状与木材品质性状呈负相关的情况下,仅对生长性状进行强度选择可能会导致木材品质的下降。Barnes 等(1994)的研究表明展叶松全同胞家系的基本密度与年轮宽度呈负相关,生产率的一代选择增加子代的

生长率而间接导致低的木材密度。Hysten(1997)报道,挪威云杉的总密度和其组成都与高生长呈负相关($rg=-0.51\sim-0.68$),仅对树高进行选择将降低总密度的 3.7%,而仅对木材密度进行选择将降低高生长的 1%。

表 6 入选家系遗传增益
Table 6 Genetic gain of selected families

入选家系 Selected family	树高 Height	胸径 DBH	材积 Volume	基本密度 Basic density	管胞长度 Length of trechaid	管胞宽度 Width of trechaid	管胞长宽比 The ratio of length to width of trechaid
5	10.04	12.7	0.069 37	0.364 1	2 934.6	41	73.3
75	9.84	12.1	0.062 52	0.351 9	2 949.3	39.8	76.9
49	9.98	12.1	0.063 77	0.369 2	2 723.5	40.1	70.9
33	10.29	12.4	0.068 11	0.377 5	2 697.2	40.3	69.3
平均值 Average	10.04	12.3	0.065 94	0.3657	2 826.15	40.3	72.6
101(CK)	9.50	11.7	0.057 25	0.3643	2 866.6	40.9	72.7
遗传增益 Genetic gains(%)	3.96	4.31	12.69	0.12	-0.65	-0.69	-0.03

采用选择指数选出的 4 个优良家系,在材积获得 12.69% 的遗传增益的情况下,木材基本密度上升,管胞形态性状也未表现明显下降。选择结果说明,在杉木多性状的综合选择中,在保持木材品质性状基本不下降的条件下,仍可使生长量获得较大的遗传增益。何贵平等(2002)对杉木的研究也有类似的结果。Vargas 和 Adams(1991)对花旗松、Valencia 等(2001)对展叶松的研究也认为,在木材密度与生长量呈负相关时,应用选择指数可以避免木材密度的变化,在材积和生物量上获得较大的提高。这些研究结果说明,即使在生长与材性性状呈弱负相关的情况下,生长性状与木材品质性状同时改良仍然是可能的。

参考文献:

- 中华人民共和国林业部科技司. 1996. 林业标准汇编(五): 木材密度测定方法(国家标准 GB1933-91)[S]. 北京: 中国标准出版社, 188-190.
- 尹思慈. 1990. 木材品质和缺陷[M]. 北京: 中国林业出版社, 6-21.
- 成俊卿. 1995. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 463-482.
- 朱之梯. 1990. 林木遗传学基础[M]. 北京: 中国林业出版社, 163-191.
- Barnes RD, Birks JS, Battle G, et al. 1994. The genetic control of ring width, wood density and tracheid length in the juvenile core of *Pinus patula* [J]. *South African Forestry Journal*, 169: 15-20.
- He GP(何贵平), Chen YT(陈益泰), Zhang GW(张国武). 2002. Genetic analysis and family selection for main traits of growth and wood quality of Chinese fir(杉木主要生长、材质

- 性状遗传分析及家系选择)[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 15(5): 559-563.
- Hu BZ(胡伯智), Li RL(厉荣良), Feng JG(冯建国). 1999. Comparison of plantations established by seedlings and clones of Chinese fir(杉木优良家系实生苗与扦插苗造林效果比较)[J]. *J Nanjing Forest Univ*(南京林业大学学报), 23(4): 74-75.
- Hysten G. 1997. Genetic variation of wood density and its relationship with growth traits in young Norway spruce [J]. *Silvae-Genetica*, 46(1): 55-60.
- Miranda I, Almeida MH, Pereira H. 2001. Provenance and site variation of wood density in *Eucalyptus globulus* Labill. at harvest age and its relation to a non-destructive early assessment [J]. *Forest Ecology and Management*, 149(1-3): 235-240.
- Shi JS(施季森), Ye ZH(叶志宏), Chen YW(陈岳武), et al. 1987. Inheritance and variation of the wood properties of Chinese Fir(木材材性的遗传和变异研究 II. 杉木种子园自由授粉子代间木材密度的遗传变异和性状之间的相关性)[J]. *J Nanjing Forest Univ*(南京林业大学学报), 11(4): 15-24.
- Valencia Manzo S, Vargas Hernandez JJ, Valencia Manzo S, et al. 2001. Genetic correlations and simultaneous selection for growth and wood density in *Pinus patula* [J]. *Agrociencia*, 35(1): 109-120.
- Vargas Hernandez J, Adams WT. 1991. Genetic variation of wood density components in young coastal Douglas-fir: implications for tree breeding [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(12): 1 801-1 807.
- Ye ZH(叶志宏), Shi JS(施季森), Weng YZ(翁玉榛), et al. 1991. Geographic variation and inheritance, correlation and selection of traits of provenances of Chinese fir(杉木地理种源变异的影响因子及性状遗传、相关和选择)[J]. *J Nanjing Forest Univ*(南京林业大学学报), 15(2): 7-10.