

文章编号: 100F 1498(2004) 06 071F 06

# 杉木纸浆材无性系选择研究

许忠坤, 徐清乾

(湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 经过 16 a 对杉木无性系材积、单株干物质、单株纤维量、纤维长、纤维宽、纤维长宽比、纤维含量、木材密度的变异规律和各性状间的相关关系进行了研究。结果表明: 无性系间各性状存在极显著差异, 纤维长、宽不受立地影响。材积、纤维含量、木材密度对单株纤维量贡献率分别为 61.7%、22.6%、15.7%。各性状遗传力 0.51~ 0.68。选出了长纤维型造纸材优良无性系 12 个、中纤维型造纸材优良无性系 4 个、适合立地条件较差的造纸材优良无性系 4 个。

关键词: 杉木; 无性系; 造纸材; 材积; 木材性质

中图分类号: S791.27 文献标识码: A

林木遗传改良起先都把生长速度、干形、分枝特性作为改良目标, 后来又突出了抗病虫性育种。随着集约工业人工林的发展, 材性改良和相关研究逐渐受到重视, 但选种目标主要是生长和抗性基础上木材密度改良。杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 纸浆性能相关性状的改良研究, 由于缺乏相应材料、测定成本高、测定技术复杂等而很少开展。无性系育种的发展为专用纸浆材材性遗传控制提供了可能, 所以, 近年来为纸浆及纸张生产服务的林木遗传改良研究有了长足的发展。纤维的形态和化学性状受到重视, 认识到提高制浆材木材密度虽然可提高纸的撕裂和抗张强度, 但耐破度和印刷质量却会下降, 增加制浆时的耗能量。纸浆材性状现已包括生长速度、抗性、密度、纤维含量、纤维得率和纤维(管胞)长度、宽度、厚度等<sup>[1]</sup>。杉木早期速生, 没有灾害性病虫危害, 纤维为 2 mm 以上的长纤维, 化学机械浆得率 87.4%, 撕裂指数  $6.76 \text{ mN} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , 是生产高级印刷纸、高级纸巾和尿不湿的优良材料。中国造纸研究所成功研制杉木漂白化学热磨机械绒毛浆, 杉木绒毛浆价格  $6000 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ , 而普通针叶树木浆  $3500 \sim 3800 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ , 福建省已用杉木作原料建造纸厂投产。本文对湖南省所进行的杉木造纸材无性系选择研究进行报道。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 生长速度测定

调查 11、12、14、15、16 年生(不含苗龄)正规田间设计试验林 2 块、12 块、3 块、3 块、1 块, 参试无性系 600 多系次。每木调查树高、胸径, 并按公式  $V = 0.000058777042 D^{1.9699831} H^{0.8964157}$  计算单株材积。

收稿日期: 2004 04 29

基金项目: 国家十五攻关项目“南方主要针叶用材树种新品种选育及培育技术”

作者简介: 许忠坤(1955—), 男, 湖南慈利人, 研究员。Email 地址: xuzhkn@sina.com.cn

## 1.2 材性测定

1.2.1 野外取样方法 对12年生87-1试验林的29个参试材料5次重复,5株单行小区,3个重复完整取样,重复内每个系取3株,每株在胸高处顺山坡自上至下方向用生长锥取一根木芯。木芯直径5 mm,要求垂直通过树干中心,长度超过1/2胸径。

对其它20块试验林只对材积生长突出的无性系进行取样,取样方法与上面相同。

### 1.2.2 室内测定方法<sup>[2]</sup>

1.2.2.1 木材密度测定 根据Smith提出的饱和含水量法测定,先将木芯长度截至髓心中点,浸入水中至饱和,用滴定管测定水饱和后木芯的体积,再用干燥箱105℃下将其烘至绝干,测定绝干下木芯的质量。

木材密度= 绝干后木芯的质量/水饱和后木芯的体积

1.2.2.2 纤维长、宽、比测定 取木芯的外2个年轮作样品,用硝酸法进行离析并经番红染色后,在投影显微镜(×40)下测量其管胞(纤维)长度、宽度,并计算长宽比,每份样品随机测定30根完整的管胞。

1.2.2.3 纤维含量测定 将纤维形态观测留下的内节木芯作为样品,采用硝酸乙醇法进行测定。按800 mL乙醇(95%)加200 mL硝酸(比重1.42)配液,将样品置于25 mL配液中水浴加热1 h后滤干,以上重复4次后,残渣烘至绝干称质量。

纤维含量= (绝干残渣质量/绝干样品质量) × 100%

## 1.3 统计分析方法

1.3.1 方差分析 87-1完整试验按双因素无重复模型进行方差分析。树高、胸径、材积按29处理5次重复分析;木材密度、纤维长、纤维宽、纤维长宽比、纤维含量、单株干物质质量、单株纤维量,按29处理3次重复分析;

树干平均密度=  $0.04498 + 0.80895 \times \text{胸径处木材密度}$ <sup>[3]</sup>

单株干物质质量= 材积 × 65% × 树干平均密度

单株纤维量= 单株干物质 × 纤维含量

1.3.2 回归分析 上述因子之间两两进行简相关分析,研究因子之间的相关性。再将木材密度、材积、纤维含量、单株纤维量数据标准化转换。数据标准化公式为:

$$X_{\text{标准化}} = (X_{\text{原始}} - \bar{X}) / \sigma_x$$

上式中:  $X_{\text{标准化}}$  为木材密度、材积、纤维含量、单株纤维量标准化转换后数据,  $X_{\text{原始}}$  为木材密度、材积、纤维含量、单株纤维量原始数据,  $\bar{X}$  为全试验中木材密度、材积、纤维含量、单株纤维量的平均值,  $\sigma_x$  为全试验中木材密度、材积、纤维含量、单株纤维量的标准差。

用标准化以后的29组数据拟合单株纤维量的三元回归预测方程:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3$$

上式中:  $Y$  为单株纤维量,  $B_0$  为常数,  $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  为系数,  $X_1$  为木材密度,  $X_2$  为单株材积,  $X_3$  为纤维含量。

1.3.3 贡献率 由标准化回归各自变量的系数占系数和的百分比计算各自变量的贡献率,研究纤维含量、木材密度、材积对无性系单株纤维量贡献的大小。

1.3.4 优良纸浆材无性系选择 以无性系平均单株纤维量多少为主要依据,参考纤维形态指

标,对整个21块试验的参试无性系进行排队选择。

## 2 结果与分析

### 2.1 无性系性状变异

表1结果表明,无性系间各性状差异极显著,变异系数排列顺序为:材积(29.97%)>单株纤维量(28.9%)>单株干物质(28.14%)>纤维长(21.09%)>纤维宽(14.61%)>纤维长宽比(13.13%)>纤维含量(11.41%)>木材密度(7.74%)。说明造纸材无性系选择中,材积的遗传变异最大,其选择效果最好,而木材密度的遗传变异小,其选择效果较差,木材密度的改良效果不明显。

表1 无性系性状统计

项目	纤维长/ mm	纤维宽/ mm	长宽比	纤维含量/ ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )	基本密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	材积/ $\text{m}^3$	单株干物质 ( $\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$ )	单株纤维量 ( $\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$ )
F值	7.39**	4.17**	3.38**	—	4.48**	7.30**	6.15**	6.46**
变异系数/%	21.09	14.61	13.13	11.41	7.74	29.97	28.14	28.90
平均值	1.949	0.0367	55.16	591.6	0.319	0.1204	24.797	14.59

### 2.2 单株纤维量与材积、纤维含量、木材密度的关系

用标准化以后的29组数据拟合单株纤维量的三元回归预测方程为:

$$y = 1.1020x_1 + 0.4052x_2 + 0.2804x_3 + 0.000235$$

式中: $y$ 为单株纤维量( $\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$ )、 $x_1$ 为单株材积( $\text{m}^3$ )、 $x_2$ 为纤维含量(%)、 $x_3$ 为木材密度( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )。

经贡献率计算,材积、纤维含量、木材密度对单株纤维量的贡献率分别为61.7%、22.6%、15.7%。说明无性系单株纤维量的改良中,材积的改良是第一位、其次是纤维含量、第三是木材密度。

### 2.3 木材纤维含量与木材密度、纤维长、纤维宽、纤维长宽比的关系

2.3.1 木材纤维含量与木材密度的关系 经相关分析,木材纤维含量与木材密度相关不显著,在造纸无性系选育时,不能用木材密度指标代替木材纤维含量。将木材密度从大到小排队,分组求平均值,相应的纤维含量也求平均值,两组数据作图(图1),其结果表明中等密度的无性系纤维含量高(杉木的纤维实际为管胞,纤维含量较高)。在木材密度相同的情况下,不同无性系间纤维含量相差20%以上,一般说来,在同样的条件下,纤维素含量高的原料质量较好,成浆得率较高<sup>[4]</sup>。造纸企业采购木材应以单位体积或单位质量纤维量为指标(在一个树种内可以用纤维素含量来预测纸浆产量<sup>[5]</sup>,木质素对纸张也有影响,但不同的纸张对木质素要求不同,因此未加考虑。),才能降低原材料成本。在不少情况下纸浆的得率确与木材密度之间存在某种联系,却并不是密切相关关系<sup>[6]</sup>。

2.3.2 木材纤维含量与纤维长、纤维宽、纤维长宽比的关系 木材纤维含量与纤维长、纤维宽、纤维长宽比呈显著负相关,相关系数分别为-0.5029、-0.4464、-0.5203。

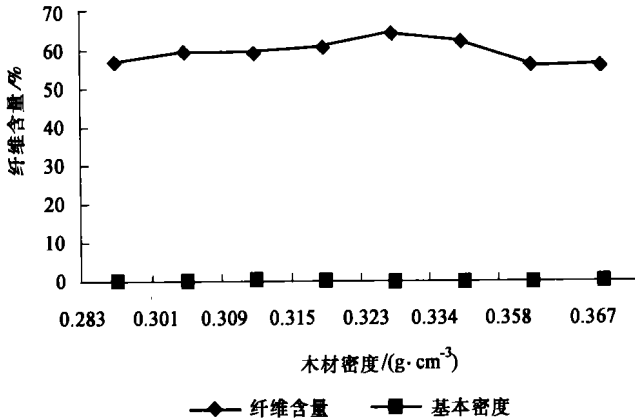


图1 木材密度与纤维含量分布

2.3.3 纤维长与纤维宽的关系 纤维长与宽呈显著正相关 ( $R=0.8444$ ), 即纤维长的无性系, 其纤维也宽; 纤维长与纤维长宽比呈显著正相关 ( $R=0.7099$ ), 长宽比最大的无性系, 其纤维较长, 纤维宽与试验林平均值相当。但也出现长宽比较大, 而纤维长、宽值均小的无性系。

#### 2.4 单株材积与木材纤维性状的关系

经相关分析单株材积与木材纤维含量、纤维长、宽及长宽比相关不显著, 说明纤维性状是独立的, 在造纸材无性系选育时应分别考虑。

#### 2.5 单株干物质与木材纤维含量的关系

单株干物质与木材纤维含量相关不显著, 由于纤维含量与木材密度不相关, 单株干物质取决于非纤维量的大小。

#### 2.6 木材密度与单株材积的关系

经相关分析木材密度与单株材积呈显著负相关 ( $R=-0.383$ ), 一般木材密度大材积生长量小, 但也有例外, 如无性系 C212 在 29 个无性系中, 木材密度排名第一 ( $0.365\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), 29 个无性系平均值  $0.319\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), 材积排名第十一位 ( $0.1424\text{ m}^3$ , 29 个无性系平均值  $0.129\text{ m}^3$ )。

#### 2.7 无性系性状遗传力

性状遗传力分析表明: 纤维长遗传力最高, 达 0.68, 其次材积为 0.58, 木材密度、单株纤维量、干物质、纤维宽的遗传力分别为 0.54、0.52、0.51、0.51。方差分析结果表明, 不同重复(立地)间纤维长、宽差异不显著, 说明纤维长、宽是不受立地影响的性状。

#### 2.8 造纸材优良无性系选择

由于单株纤维量一方面能综合反映出生长和材性情况, 并包含了材积、纤维含量、木材密度性状, 另一方面作为造纸材单株纤维量是纸浆得率的重要指标, 因此, 优良无性系选择以单株纤维量为主要依据, 材积、纤维含量为参考依据。考虑纸张的力学性能, 以纤维长作为选择依据。考虑无性系与立地的交互作用, 无性系对立地反应作为选择适合特殊立地的依据。

2.8.1 长纤维型造纸材优良无性系 以纤维长大于 2.1 mm、单株年纤维量大于 1.5 kg、纤维含量大于 50%、材积大于试验林平均值 20%、大于 CK50% 为标准选出 12 个优良无性系(见表 2)。

表2 长纤维型造纸材优良无性系性状

无性系号	年龄 a	木材密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	纤维含量/ %	纤维长/ mm	纤维量/ (kg·a <sup>-1</sup> ·株 <sup>-1</sup> )	材积/ m <sup>3</sup>	材积> 试验 平均值/%	材积> CK/%
C318	12	0.2887	80.07	2.248	1.495	0.1194	33.71	93.52
C41	12	0.2910	60.62	2.143	1.509	0.1579	31.20	67.80
C399	11	0.3298	67.08	2.409	1.520	0.1163	40.80	69.04
Z47	12	0.3052	68.64	2.189	1.658	0.1461	21.39	55.26
C263	12	0.2973	54.10	2.445	1.664	0.1910	58.70	102.98
D4	11	0.2650	63.27	2.243	1.690	0.1706	42.05	131.48
Y76	15	0.2988	62.02	2.402	1.696	0.2112	56.91	77.03
Y15	15	0.2620	50.55	2.503	1.752	0.3052	63.12	62.17
C472	11	0.2937	62.90	2.602	1.793	0.1643	36.80	122.93
C285	11	0.2970	62.92	2.221	1.837	0.1664	38.55	125.78
F18	13	0.2986	57.97	2.410	1.839	0.2289	65.39	54.25
C461	11	0.3069	57.77	2.622	1.893	0.1807	50.46	145.18

2.8.2 纤维型造纸材优良无性系 以纤维长 1.2~ 2.0 mm、单株年纤维量大于 1.5 kg、纤维含量大于 50%、材积大于试验林平均值 20%、大于 CK50% 为标准选出 4 个优良无性系(见表 3)。

表3 中纤维型造纸材优良无性系形状

无性系号	年龄 a	木材密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	纤维含量/ %	纤维长/ mm	纤维量/ (kg·a <sup>-1</sup> ·株 <sup>-1</sup> )	材积/ m <sup>3</sup>	材积> 试验 平均值/%	材积> CK/%
C106	12	0.3025	64.80	1.600	1.548	0.1458	21.14	54.94
C361	12	0.3187	64.44	1.938	1.595	0.1434	19.15	52.39
C6	12	0.3673	54.83	1.612	1.628	0.1493	24.05	58.66
C167	12	0.3184	67.65	1.200	2.094	0.1795	49.14	90.75

2.8.3 适合立地条件较差的造纸材优良无性系 以纤维含量大于 60%、材积大于试验林平均值 20%、大于 CK50%、单株年纤维量大于 1.1 kg 为标准选出 4 个优良无性系,详细情况见表 4。

表4 适合立地条件较差的造纸材优良无性系性状

无性系号	年龄 a	木材密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	纤维含量/ %	纤维长/ mm	纤维量/ (kg·a <sup>-1</sup> ·株 <sup>-1</sup> )	材积/ m <sup>3</sup>	材积> 试验 平均值/%	材积> CK/%
C388	12	0.2877	62.39	2.442	1.134	0.1167	42.84	57.49
C300	12	0.2621	70.59	2.640	1.203	0.1201	47.00	62.08
C279	12	0.2849	63.02	2.488	1.300	0.1337	50.90	113.58
C399	11	0.2738	61.07	2.442	1.445	0.1462	21.73	98.37

### 3 小结

(1) 无性系性状变异系数规律是: 材积(29.97%) > 单株纤维量(28.9%) > 单株干物质(28.14%) > 纤维长(21.09%) > 纤维宽(14.61%) > 纤维长宽比(13.13%) > 纤维含量(11.41%) > 木材密度(7.74%)。

(2) 无性系材积、纤维含量、木材密度对单株纤维量的贡献分别为 61.7%、22.6%、15.7%。

说明无性系单株纤维量的改良中,材积的改良是第一位、其次是纤维含量、第三是木材密度。

(3) 木材纤维含量与木材密度没有相关关系;木材纤维含量与纤维长、纤维宽、纤维长宽比呈显著负相关。

(4) 纤维长与宽呈显著正相关;纤维长与纤维长宽比呈显著正相关。

(5) 单株材积与木材纤维含量、纤维长、宽及长宽比相关不显著;单株干物质与木材纤维含量相关不显著;木材密度与单株材积呈显著负相关。

(6) 纤维长、材积、木材密度、单株纤维量、干物质、纤维宽的遗传力分别为 0.68、0.58、0.54、0.52、0.51、0.51。纤维长、宽不受立地影响。

(7) 选出纤维长大于 2.1 mm、单株年纤维量大于 1.5 kg、纤维含量大于 50%、材积大于试验林平均值 20%、大于 CK50% 长纤维型造纸材优良无性系 12 个;选出纤维长 1.2~2.0 mm、单株年纤维量大于 1.5 kg、纤维含量大于 50%、材积大于试验林平均值 20%、大于 CK50% 的中纤维型造纸材优良无性系 4 个;选出纤维含量大于 60%、材积大于试验林平均值 20%、大于 CK50%、单株年纤维量大于 1.1 kg、适合立地条件较差的造纸材优良无性系 4 个。

#### 参考文献:

- [1] 陆亚明. 杉木速生无性系制浆性能的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 1991
- [2] 林媛. 制浆造纸分析与检验[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 20~43
- [3] 施季森, 叶志宏, 翁玉榛, 等. 杉木生长与材性遗传改良研究[J]. 南京林业大学学报, 1993, 17(4): 1~8
- [4] 王树力, 吴济生, 仲崇淇. 长北落叶松纸浆林木材性及纸浆特性的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(3): 283~287
- [5] 马常耕. 国外制浆材性状的测定技术[J]. 世界林业研究, 1998, 11(5): 38~43
- [6] 马常耕. 国外制浆材树种遗传改良研究[J]. 世界林业研究, 1999, 12(3), 13~17

## Study on Selection of Pulpwood Clone of Chinese Fir

XU Zhong-kun, XU Qing-qian

(Forestry Academy of Hunan Province, Changsha 410004, Hunan, China)

**Abstract:** Based on 16 years' studies, this paper explored and made clear the change laws of volume, dry matter of individual tree, fibre weight of individual tree, fibre length, fibre width, ratio of fibre length to width, fibre content and density of timber and the correlation of these properties. There were greatly obvious discrepancies among the properties of different clones, both fibre length and fibre width were not affected by site. The contribution rates of volume, fibre percentage and density of timber to fibre capacity of individual tree were respectively 61.7%, 22.6%, 15.7%. The hereditary capacity was in the range of 0.51~0.68. By comparison, 12 clones of long-fibre, 4 of medium-fibre and 4 clones suitable for poor site condition were selected.

**Key words:** Chinese fir; pulpwood; clone; selection; trunk volume; wood property