

# 毛白杨优良无性系(新品种)材性测定研究\*

顾万春 归复 于志民 穆吕钦 孙翠玲 田奇凡

**摘要** 按生长性状预选出毛白杨 13 年生 10 个无性系(另 2 个作对照)用于材质测定。试材取自北京大兴县测定林,每无性系在 3 个重复中各抽样 1 株,伐倒取样。分析表明,毛白杨无性系间纤维长度、宽度和长宽比差异极显著,重复率依次为 0.777、0.537 和 0.676;木材全年密度、早材密度和晚材密度差异极显著,重复率依次为 0.536、0.514 和 0.429。毛白杨无性系纤维长( $Y_L$ )随树龄  $t$  增长呈指数曲线生长模型:  $Y_L = 7.1955 e^{-0.8369(t-1)}$ ; 全年密度( $Y_D$ )随树龄  $t$  增长呈波动生长模型:  $Y_D = 0.5053 + 0.00067t$ 。无性系材积生长量与木材密度、纤维长度之间呈独立遗传。经过材积生长量、木材全年密度、纤维长度、主干通直度性状经济权重分析和指数选择,为北京点选出 8 个优良无性系,平均综合育种增益达 20% 以上。同时,评选出河北、河南 2 个地点的优良无性系。

**关键词** 无性系 木材密度 纤维长度 生长型 选择指数

木材质量是营林最终产品的重要指标,60 年代以来受到国内外广泛重视。已有研究表明,杨树、桉树等阔叶树材质遗传改良表现出规律性的结果<sup>[1-3]</sup>: (1) 木材密度和纤维是影响木材质量的主要因子,是木材生物质产量的重要经济指标。(2) 不同树种材质与环境关系较为复杂,综合环境因子对材质能产生不同程度的影响,但乡土树种在适生区域中材质与环境相关变异较小,同一块试验林中不同处理的材质性状可比性强。(3) 木材密度和纤维两组性状受中度至强度遗传控制,美洲山杨(*Populus tremuloides* Michx.) 等的研究结果说明,木材密度、纤维长度的遗传力(重复率)分别为 0.47~0.70 和 0.36~0.71。

在前人研究基础上,本研究对 13 年生的毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.) 无性系木材密度与纤维长度两组性状进行遗传差异分析,同时进行工业材为目的的指数选择研究,为毛白杨新品种选育提供材质依据。

## 1 材料和方法

试材:3 块毛白杨无性系测定林,分别是北京大兴黄垓苗圃(13 年生),河北临漳县漳河林场(15 年生)和河南西华县西华林场(13 年生)。随机区组设计,4 株单行小区,6 次以上重复,4 m × 4 m 造林密度。各试验林随机抽取 4 次重复,统一采用 13 年生观测数据进行统计分析。

1995 年冬季,于北京市大兴县黄垓苗圃毛白杨无性系测定林伐倒采集试样材,测定林 13 年生,84 个无性系随机区组设计,4 株单行小区,6~8 次重复。10 个预选无性系和 2 个对照

1997—06—09 收稿。

顾万春研究员,孙翠玲(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091);归复,于志民,穆吕钦(北京市林业局);田奇凡(北京市水利局)。

\* 本研究属北京市 1993~1998 年自然科学基金“北京地区主要木本植物遗传资源保存与利用研究”课题内容;前期研究系林业部“八五”和“九五”重点课题“毛白杨无性系选育”研究内容。材性测定得到中国林业科学研究院木材研究所材性室协助。李华同志参加论文撰写。

(001 号和 50 号) 共 12 个无性系。每无性系抽样 3 次重复, 每重复 1 株。在每株树高 1.3 m 处截取 2.5 cm 厚圆盘, 沿半径方向向东、西、南、北四面按年轮取试样作纤维测定, 包括纤维长度、纤维宽度和长宽比。舍去髓心和圆盘外层, 取 3~12 年生共 10 个年轮段作木材密度测定。木材密度测定按国家标准<sup>[4]</sup>的规定进行, 纤维长度测定是在光学显微镜的反光仪下进行的。各项指标每株树木材密度每次重复测定 4 次, 纤维性状每次重复观测 30 个以上。

统计分析: 采用常规统计分析进行数据处理。木材性状重复率( $R$ ) 采用 Falconer R. S.<sup>[5]</sup> 和大庭喜八郎<sup>[6]</sup> 计算式, 选择指数( $I$ ) 估算采用 Namkoong<sup>[7]</sup> 方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 木材密度与纤维在无性系间存在真实遗传差异

10 个预选无性系和 2 个对照无性系(001 号和 50 号) 木材密度与纤维性状测定和分析结果:

(1) 12 个无性系间 1~13 a 的纤维长、纤维宽和纤维长宽比的差异极显著; 无性系  $\times$  年轮的纤维长互作不显著, 而纤维宽和长宽比差异极显著(表 1)。3 个性状重复率分别是 0.777、0.537 和 0.676, 近似地反映出广义遗传力的高低, 表明毛白杨无性系纤维性状受强度遗传控制。

表 1 毛白杨 12 个无性系纤维性状方差分析结果

变 因	自由度	纤 维 长			纤 维 宽			纤维长宽比		
		均方	方差比	重复率	均方	方差比	重复率	均方	方差比	重复率
无性系	11	305 924.0	47.254**	0.777	27.004	17.718**	0.537	686.04	28.981**	0.676
年 轮	12	965 391.0	149.130**	0.925	144.010	94.488**	0.884	134.51	53.739**	0.811
无性系 $\times$ 年轮	132	5 877.2	< 1		2.503	1.665**		4.031	1.610**	
误 差	312	6 473.5			1.524			2.503		

(2) 毛白杨无性系 3~12 年生木材, 无性系间的全年密度、早材密度和晚材密度差异极显著; 在年轮间, 早材密度差异显著, 全年密度差异较显著, 晚材密度差异不显著(表 2)。全年密度和早材密度表现了受较强遗传控制, 晚材密度受中度遗传控制。

(3) 毛白杨无性系平均材积生长量与木材密度之间相关系数  $r = 0.077 6 (n = 36)$ , 材积生长量与纤维长度之间相关系数  $r = 0.094 2 (n = 36)$ , 木材密度与纤维长度之间相关系数  $r = -0.149 6 (n = 36)$ , 表明 3 个性状互为独立遗传, 有利于工业材多性状同步遗传改良。

表 2 毛白杨 12 个无性系木材密度方差分析结果

变 因	自由度	全 年 密 度			早 材 密 度			晚 材 密 度		
		均方	方差比	重复率	均方	方差比	重复率	均方	方差比	重复率
无性系	11	0.028 727	13.804**	0.536	0.029 664	12.982**	0.514	0.028 363	9.302**	0.429
年 轮	9	0.003 937	1.892*		0.004 448	1.945*		0.003 839	1.259	
无性系 $\times$ 年轮	99	0.002 566	1.233		0.002 254	< 1		0.002 347	< 1	
误 差	240	0.002 081			0.002 285			0.003 049		

(4) 无性系间木材纤维长度与密度的差异, 以及生长量与木材密度、纤维长度之间几乎呈独立遗传, 使无性系材质选择育种成为可能。从表 3 看到, 12 个无性系间 3~12 a 平均全年密度变化为 0.483 6~0.554 7 g/cm<sup>3</sup>, 无性系间相对差值达 26%; 1~13 a 平均纤维长度为 1 008

~ 1 352  $\mu\text{m}$ , 无性系间相对差值达 25%。不同无性系的纤维长度和密度的年间极差变化较大。说明毛白杨无性系潜在的改良增益较高, 而且适用于多种材质遗传改良目标的需求。

表 3 毛白杨 12 个无性系平均木材密度与纤维长度

无性系	3 ~ 12 a 平均木材密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )			1 ~ 13 a 平均纤维长度( $\mu\text{m}$ )		
	$X_i$	S	年间极差	$X_i$	S	年间极差
351	0.487 5	0.029 4	0.450 ~ 0.630	1 116	215	646 ~ 1 330
9807	0.523 5	0.025 5	0.465 ~ 0.554	1 197	219	726 ~ 1 411
37	0.503 8	0.021 2	0.481 ~ 0.546	1 048	194	649 ~ 1 242
34	0.554 7	0.039 8	0.506 ~ 0.612	1 167	232	612 ~ 1 365
9832	0.499 5	0.034 5	0.445 ~ 0.559	1 121	231	683 ~ 1 401
1011	0.502 6	0.041 3	0.440 ~ 0.592	1 045	213	582 ~ 1 324
2012	0.512 6	0.016 8	0.492 ~ 0.544	1 146	218	650 ~ 1 480
301	0.533 2	0.032 1	0.477 ~ 0.591	1 021	187	626 ~ 1 201
304	0.504 7	0.022 2	0.482 ~ 0.545	1 184	211	730 ~ 1 427
1012	0.495 3	0.024 1	0.453 ~ 0.528	1 017	208	541 ~ 1 274
001	0.490 5	0.063 7	0.429 ~ 0.570	1 008	230	521 ~ 1 284
50	0.438 6	0.034 5	0.405 ~ 0.464	1 352	229	838 ~ 1 586
平均	0.5		0.429 ~ 0.630	1 110		521 ~ 1 586

## 2.2 木材纤维和木材密度的生长不同

(1) 毛白杨无性系纤维长度、宽度及长宽比, 在 1 ~ 13 a 生长过程中都呈现出指数增长趋势。以纤维长度为例, 6 ~ 7 a 及以前为“速生期”, 8 ~ 9 a 为趋于成熟期, 9 ~ 10 a 进入“稳定期”, 10 ~ 12 a 达到最大值。随着树龄( $t$ ) 增加, 毛白杨无性系 1 ~ 13 a 木材纤维平均年生长( $Y_L$ ) 模型为:

$$Y_L = 7.195 5 e^{-0.836 9(t-1)} \quad (1)$$

$$|r| = 0.950 2, r^2 = 0.902 9$$

$$Se(\%) = 0.041 7$$

尽管不同无性系纤维生长过程有所不同, 甚至出现波动(图 1), 但(1)式反映了毛白杨无性系纤维长度随年龄变化的基本模式。这一模型与以往研究结果较为一致<sup>[8,9]</sup>。

(2) 毛白杨木材的全年密度、早材密度和晚材密度随年龄增加的生长过程, 与纤维性状不同。在 3 ~ 12 a, 无性系的 3 种密度围绕平均值呈波动状生长。以全年密度为例, 随着树龄  $t$  增加, 毛白杨无性系 3 ~ 12 a 平均生长  $Y$  模型为:

$$Y_D = 0.505 3 + 0.000 67t \quad (2)$$

$$|r| = 0.168 5, r^2 = 0.028 4 \quad Se(\%) = 0.495 7$$

(2) 式中, 回归系数接近于 0, 回归常数  $a$  几乎等于总平均值  $\bar{X}$ 。3、4、5 a 的平均全年密度与以后各年(6 ~ 12 a) 的平均值进行差异检验, 差异不显著( $\alpha = 0.05$ ) (图 2)。这就是说, 在考虑无性系木材密度早期选择时, 3 ~ 5 年生时即可进行选择。

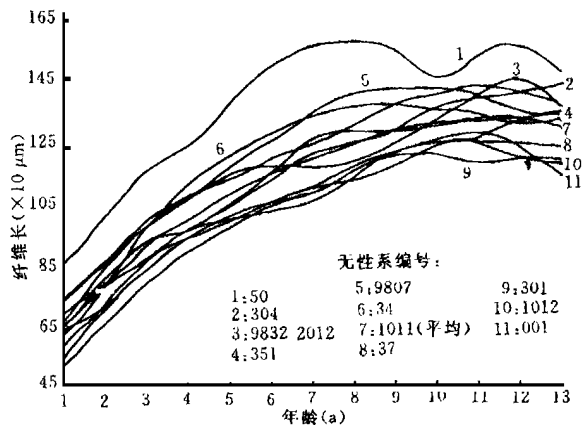


图 1 毛白杨无性系纤维长逐年生长曲线

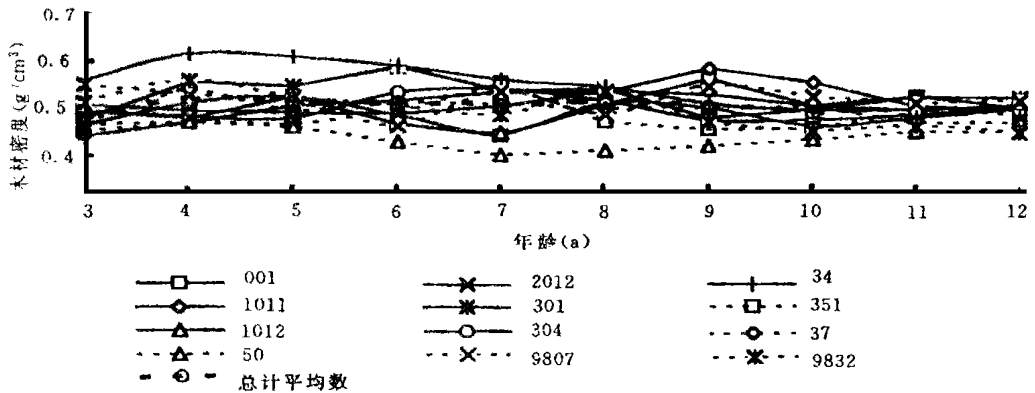


图2 全年密度 12个无性系平均值对比

### 2.3 木材纤维与密度的重复率的年度变化

木材性状遗传的重复率随年龄增加表现出波动趋势。纤维长度 1~13 a 的重复率较纤维宽、长宽比的稳定,纤维长重复率在 1~7 a 中处于增长趋势,8~10 a 呈递减趋势,11~13 a 趋于稳定;纤维长重复率随年龄的变化与纤维生长过程的变化趋势大体一致。这表明性状遗传参数与性状早期选择存在内在联系。1~13 a 各年,纤维长、纤维宽、纤维长宽比平均重复率分别为 0.741、0.646、0.666(图 3)。平均重复率与两因素方差分析求算的重复率(表 1)相比较,除纤维宽相差稍大外,其它两性状重复率相差小于 5%。综合考虑毛白杨无性系纤维年度生长型和重复率年变化,纤维性状早期选择宜为 7~8 a。研究结果与山杨等树种的材质性状研究结果相类似<sup>[8~10]</sup>。

全年密度重复率在前 7 a 为逐渐增长,7~12 a 呈现波动增长。早材密度重复率 3~5 a 下滑后类似于全年密度的变化;晚材密度重复率年变幅很大,起落明显(图 4)。5~12 a 的各年全年密度与早材密度的重复率几乎是同步增长,这种变化与木材密度生长波动模型不对应,反映出两种参数的差别。3~12 a 的各年全年密度、早材密度、晚材密度平均重复率分别为 0.557、0.546、0.404,与两因素方差分析估算的重复率(表 2)大体吻合。前面指出木材密度稳定值年度变化在 3~5 a 即可早期选择;考虑到无性系木材密度重复率年度变化稳定性,7~8 a 时选择能提高毛白杨无性系的选择效益。

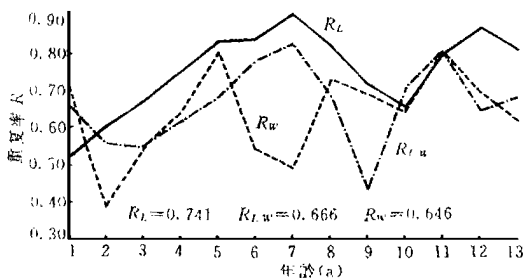


图3 毛白杨 12 个无性系纤维性状重复率随年龄的变化

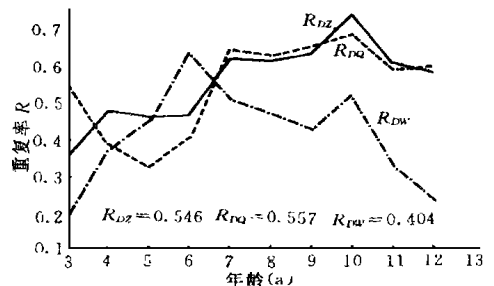


图4 毛白杨 12 个无性系木材密度重复率随年龄的变化

## 2.4 毛白杨无性系兼用型工业材品种的选择

以胶合板材和造纸材兼用型无性系选择为目标,改良性状采用构成生物质产量和质量的目的性状,包括材积生长量、全年密度、纤维长度和树干通直度,综合组成选择变量。用重复率代替广义遗传力;4个性状重复率依次为0.580、0.536、0.741和0.390;性状选择的经济权重用生物质产量(木材生物量)<sup>[1,6,8]</sup>标准化复回归系数代替, $y = bx$ ,取大值,依次为 $b_1 = 0.45$ , $b_2 = 0.30$ , $b_3 = 0.15$ , $b_4 = 0.10$ 。各变量数据规范化后,建立选择指数(表4)。

采用1987年选育的优良无性系001号作材质选择对照,选择指数比对照的综合增益 $BG = (I_i - I_{ck}) / I_{ck} \times 100\%$ ,并以 $BG > 15\%$ 作为选择优良胶合板和造纸材兼用型新品种的定量依据。为北京点选育出8个优良无性系351、9807、37、34、9832、2010、304、1012,平均综合育种增益20.2%;为河北点选育出5个优良无性系9807、37、9832、304、1012,平均综合育种增益20.4%;为河南点选育出6个无性系351、37、34、9832、301、1012,平均增益22.0%。3地点都中选3个“广适型”优良无性系37、9832、1012的平均综合育种增益24.9%(表4)。

表4 毛白杨工业材兼用型无性系选择指数与综合育种增益

无性系	选 择 指 数				指数选择的综合育种增益(%)			
	北京	河北	河南	平均	北京	河北	河南	平均
351	0.629	0.539	0.556	0.567	26.2	7.0	18.8	17.5
9807	0.587	0.637	0.540	0.580	17.7	26.4	14.3	19.1
37	0.618	0.623	0.592	0.597	24.0	23.7	26.5	25.4
34	0.596	0.561	0.572	0.565	19.6	11.5	22.2	18.7
9832	0.583	0.592	0.580	0.595	17.0	17.6	22.5	25.1
1011	0.535	0.566	0.541	0.534	7.4	12.4	14.6	12.3
2012	0.590	0.537	0.529	0.561	18.4	6.7	12.9	18.1
301	0.537	0.525	0.564	0.527	7.6	4.1	20.7	10.7
304	0.594	0.590	0.520	0.569	20.3	17.2	11.1	19.6
1012	0.589	0.589	0.568	0.591	18.2	16.9	21.3	24.3
001	0.498	0.503	0.468	0.475	0	0	0	0
50	0.526	0.508	0.469	0.482	5.5	0.9	0.1	1.5

## 3 结论和讨论

毛白杨无性系间在木材密度、纤维长度等性状方面存在极显著差异,无性系育种潜力较大。7~12 a的木材全年密度和早材密度的改良增益达4%~7%,提高木材密度0.020~0.036 g/cm<sup>3</sup>;木材纤维长度改良综合育种增益达5%~11%,提高纤维长度55~220 μm。

毛白杨无性系木材纤维长度增长随年龄呈指数模式,木材全年密度呈波动变化模式,考虑年度增加变化和重复率稳定程度,拟定于7~8年生进行木材密度与纤维的联合选择,能提高选择可靠性和选择效率。

以胶合板材和造纸材为双重改良目标,选用“兼用型品种”,为北京、河北、河南3地点分别选出8、5和6个优良无性系,平均综合育种增益达20%以上,3地皆优良的“广适型”优良无性系37、9832、1012,生物质产量平均综合育种效益24.9%。

本研究只对北京测定林进行了主要性状测定,缺乏材质性状与地点的交互作用研究。但根据Zobel B. J.等人研究<sup>[1~3,9]</sup>,作为乡土树种例如杨树、栎类等,在同一适生栽培区内材质与环境相关变异较小,即便缺少多点材质测定,也能基本反映实际。

## 参 考 文 献

- 1 Zobel B, Buijtenen J P. Wood variation its cause and control. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 34 ~ 74.
- 2 鲍浦成, 江泽慧. 短周期工业用材林木材性研究. 世界林业研究, 1994, 7(专集): 65 ~ 119, 191 ~ 260.
- 3 鲍浦成, 江泽慧. 短周期工业用材林木材性研究. 世界林业研究, 1995, 8(专集): 64 ~ 109, 289 ~ 388.
- 4 国家技术监督局发布. 中华人民共和国国家标准 GB1927-1943-91, 木材物理力学性质试验方法. 北京: 中国标准出版社, 1991. 1 ~ 17.
- 5 Falconer R S. Introduction to quantitative genetics. New York: Longman Inc, 1981. 11 ~ 58.
- 6 大庭喜八郎, 腾田征. 林木育种学. 东京: 文永堂出版, 1991. 70 ~ 104.
- 7 Namkong G. Introduction to quantitative genetic in forestry. London: Castle House, 1981. 32 ~ 145.
- 8 Zobel B J, Talbert. Applied forest tree improvement. New York: John Wiley Sons, 1984. 22 ~ 136.
- 9 顾万春, 李斌, 张立飞, 等. 山杨材性个体内遗传变异的研究. 林业科学研究, 1994, 7(5): 561 ~ 566.
- 10 顾万春, 李斌, 张立飞, 等. 山杨材性群体变异趋势及个体遗传差异的研究. 林业科学研究, 1995, 8(1): 101 ~ 106.

## Study on the Measurement of Wood Properties for Excellent Clones (New Variety) of *Populus tomentosa*

Gu Wanchun Gui Fu Yu Zhimin Mu Luqin Sun Cuiling Tian Qifan

**Abstract** 13-year poplar clonal stand in the 3 sites of Beijing, Hebei, Henan are observed for their growth character. 12 clones including 10 clones and 2 CK are tested for their wood properties. The test material comes from the test stands from Daxing, Beijing by sampling one tree from each of the 3 repeats for each clone. The analysis result shows significant variation of fiber length, fiber width and length/width ratio among the poplar clones, their repeatability is 0.777, 0.537, 0.676 respectively. The poplar clones, timber total density, spring wood density, fall wood density have significant variation, their repeatability is 0.536, 0.517, 0.429 respectively. Fiber length ( $Y_L$ ) with age assumes exponential curve growth model:  $Y_L = 7.1955 e^{-0.8369(t-1)}$ . Total density ( $Y_D$ ) with age assumes fluctuated growth model:  $Y_D = 0.5053 + 0.00067t$ . The heritability is independent among the properties of fiber length, fiber width. 8 excellent clones are selected for Beijing, through the economical weights analysis and index selection of industrial timber properties such as volume increment, timber total density, fiber length and stem straightness. The comprehensive breeding gain of industrial timber can be higher than 20%. According to the conclusion of wood properties resulting from Beijing, excellent clones for two sites including Hebei and Henan are chosen.

**Key words** clone timber density fiber length growth model selection index