

# 集约栽培 13 种白杨无性系幼龄材研究\*

柴修武 黄洛华 陆熙娴

(中国林业科学研究院木材工业研究所)

谢 国 恩

(中国林业科学研究院林产化学工业研究所)

**摘要** 本文研究了集约栽培13种5年生白杨无性系木材解剖、纤维品质、细胞次生壁微纤丝角和纤维素相对结晶度、化学成分、木材密度以及制浆等材性。试验结果表明,白杭1、白杭17、白杭10、灵野、新毛、无名等6种无性系的纤维长度变幅为845~917 $\mu\text{m}$ ;离散系数变幅为0.24~0.28;总纤维比率变幅为62.8%~64.7%;气干密度变幅为0.401~0.519 $\text{g}/\text{cm}^3$ ;化学预处理后得率变幅为87.7%~91.6%;浆张的撕裂指数、耐破指数、抗张指数等性能优于其他无性系,可选为进一步集约栽培品种。

**关键词** 白杨无性系;木材性质;化学机械浆

由于木材的短缺,营造速生丰产杨树林,逐渐被人们所重视。在引进国外杨树优良品系的同时,我国森林遗传改良学家选育了不少优良无性系。这些无性系具有生长快、抗病虫害强、成活率高等特征,深受群众欢迎。20年来,全国杨树人工林已发展到数以千万亩<sup>[1]</sup>。但是,集约栽培的杨树,特别是无性系的材质缺乏品系优劣比较,迄今为止报道甚少,为此立题研究,为杨树无性系良种的引种、栽培提供科学依据(仅限于13种白杨无性系材质比较)。

## 1 试材和方法

### 1.1 试材

采自河南洛阳林科所集约栽培白杨无性系试验林。该地年均气温14 $^{\circ}\text{C}$ ,极端最高气温40 $^{\circ}\text{C}$ ,最低气温-17 $^{\circ}\text{C}$ ,无霜期220天,年日照2280h,年降雨量604~633mm,多集中于7、8月份;土壤为褐土和潮土。1986年开始营造试验林195亩,保留完好只有120亩,经4年观察,选出16个优良无性系。这些优良无性系与毛白杨(*Populus tomentosa* Carr.)相比,树高增加10%以上,胸径增加20%~40%,材积增加50%~200%。再从16个5年生无性系中,选择了13个无性系,每个无性系随机采伐三株作为试验材料。试材无性系概况见表1。

本文于1991年8月27日收到。

\* 本文为林业部“杨树无性系良种木材性质”项目一部分。骆秀琴、张寿槐、丁水汀、相亚明参加部分工作。试材和青林材料由白阳明、刘基尧提供。文章呈成俊卿教授审阅并提出修改意见。特此致谢。

表1 13种白杨无性系概况

无性系名	亲本	树龄 (a)	树高 (m)	胸径 (cm)	材积 (m <sup>3</sup> )
白 杭 1	北京银白杨×临安响叶杨( <i>P. alba</i> × <i>P. adenopoda</i> )	4	9.41	13.30	0.050 0
白 杭 10	北京银白杨×临安响叶杨( <i>P. alba</i> × <i>P. adenopoda</i> )	4	9.09	12.66	0.041 1
白 杭 17	北京银白杨×临安响叶杨( <i>P. alba</i> × <i>P. adenopoda</i> )	4	9.95	13.10	0.053 5
京 贵	北京银白杨×贵州响叶杨( <i>P. alba</i> × <i>P. adenopoda</i> )	4	9.35	13.23	0.051 4
无 名	银白杨×山杨( <i>P. alba</i> × <i>P. davidiana</i> )	4	9.10	13.50	0.052 1
灵 野	山地野生毛白杨( <i>P. tomentosa</i> )	4	8.89	9.74	0.026 5
新 毛	山地野生毛白杨( <i>P. tomentosa</i> )	4	8.48	9.40	0.026 1
东 2	山地野生毛白杨( <i>P. tomentosa</i> )	4	8.28	10.24	0.027 2
地 2	毛白杨选优( <i>P. tomentosa</i> )	4	7.26	9.50	0.020 6
地 7	毛白杨选优( <i>P. tomentosa</i> )	4	7.80	9.77	0.023 4
省 20	毛白杨选优( <i>P. tomentosa</i> )	4	8.41	11.78	0.036 6
省 21	毛白杨选优( <i>P. tomentosa</i> )	4	8.40	11.42	0.034 4
省 42	毛白杨选优( <i>P. tomentosa</i> )	4	8.06	10.35	0.028 1

## 1.2 方法

采用常规方法测定导管、纤维长度、宽度和化学成分；在切片的横切面上测定细胞比量；X射线衍射法测定木材细胞次生壁S<sub>2</sub>层微纤丝角和纤维素相对结晶度；木材气干密度、顺纹抗压强度参考国家标准《木材物理力学试验方法》有关内容；制浆采用化学机械浆制浆(CMP)程序。

## 2 结果与分析

### 2.1 纤维形态

2.1.1 长度 采用数均值的计算方法计算纤维长度反映不出纤维实际长度。Clark<sup>[2]</sup>提出，除非纤维特别均匀可用重量平均纤维长度计算方法，否则无大的意义。木材纤维是一组非均匀的集合体，由于数均值统计出的纤维长度偏低，故采用双重值法统计。所测结果表明，种间差异显著(A因子)；同一种无性系，在固定的高度上纤维长度由髓心向外逐渐增加，差异显著(B因子)(表2)。

表2 方差分析

因 子	自由度	离差平方	均 方	F 值	F临界值	检验结果
A	12	221 120	18 426.67	0.91	1.96	差异不显著
B	4	1 819 572	454 893.00	22.39	2.57	差异显著
剩 余	48	975 140	20 315.00			
总 和	64	3 015 832				

2.1.2 离散系数 系纤维长度的标准差与数量平均纤维长度之比。比值愈小，表示纤维长度均匀性愈好。在13种白杨无性系中，以无名、新毛最小，地2、地7最大(表3)。

2.1.3 频率分布 见表4。

表3 13种白杨无性系纤维长度、宽度和离散系数

(长度单位:  $\mu\text{m}$ )

无性系名	年轮纤维长度					数均纤维长度	重均纤维长度	离散系数(%)	数均纤维宽度	导管数均长度
	1	2	3	4	5					
白杭1	581	807	879	985	1103	890	955	0.27	21.5	465
白杭10	507	763	887	996	1131	857	936	0.27	21.7	420
白杭17	624	805	951	1040	1164	917	993	0.28	21.5	465
京贵	638	760	854	972	1048	850	914	0.27	20.7	467
无名	482	721	865	1050	1111	845	895	0.24	21.7	432
灵野	556	808	821	1014	1078	856	920	0.28	20.2	431
新毛	601	741	892	971	1049	850	909	0.26	21.1	433
东2	565	721	817	914	1039	810	852	0.28	21.8	411
地2	509	667	835	976	1136	824	912	0.33	22.1	441
地7	520	699	840	960	1070	820	898	0.31	21.6	400
省20	556	783	801	1014	1078	831	895	0.27	21.6	451
省21	554	717	886	990	1093	848	911	0.27	23.4	429
省42	508	733	815	989	1103	850	920	0.28	22.0	437

表4 纤维长度频率分布(%)

组号	组距	白杭1	白杭10	白杭17	京贵	无名	灵野	东2	新毛	省20	省21	省42	地2	地7
1	0.2~0.4	1.4	3.8	1.6	1.2	4.6	1.6	1.0	1.2	4.0	2.0	1.6	5.0	2.8
2	0.4~0.6	13.6	17.0	11.6	15.4	18.0	17.0	19.2	16.4	17.6	15.0	17.0	17.6	21.8
3	0.6~0.8	24.4	25.8	21.6	26.4	22.6	24.2	31.6	26.6	32.2	25.0	24.2	25.2	25.6
4	0.8~1.0	30.0	27.6	29.8	31.6	24.2	29.2	27.6	30.0	31.0	33.6	29.2	29.0	24.2
5	1.0~1.2	21.0	15.4	20.0	17.4	21.4	18.8	14.8	17.4	10.4	17.0	18.8	14.2	17.8
6	1.2~1.4	6.2	8.6	10.8	5.6	7.8	7.2	5.0	7.0	4.0	7.0	7.2	5.4	6.2
7	1.4~1.6	2.4	1.6	3.6	2.0	1.4	1.8	0.6	1.4	0.6	0.4	1.8	3.0	1.6
8	1.6~1.8	0.4		11.0	0.4		0.2			0.2		0.2	0.6	

## 2.2 木材组织比率

见表5。

表5 木材组织比率

(单位%)

无性系名	导管	木射线	纤维			轴向薄壁组织	合计
			正常纤维	胶质纤维	总纤维		
白杭1	26.4	7.9	40.7	24.9	65.7	0.1	100
白杭10	26.9	9.0	32.1	31.8	63.9	0.2	100
白杭17	26.5	8.6	29.9	34.8	64.7	0.2	100
京贵	22.2	10.3	42.7	24.6	67.3	0.2	100
无名	27.5	9.6	20.9	41.9	62.8	0.1	100
灵野	24.8	9.4	44.7	20.9	65.6	0.2	100
新毛	29.4	7.4	36.4	26.6	63.0	0.2	100
东2	28.9	9.0	21.2	40.7	61.9	0.2	100
地2	28.9	8.0	36.0	26.9	62.9	0.2	100
地7	25.6	7.8	11.7	54.7	66.4	0.2	100
省20	28.9	9.5	33.1	28.4	61.5	0.1	100
省21	25.3	10.4	31.7	32.4	64.1	0.2	100
省42	26.0	8.3	37.1	28.4	65.5	0.2	100

2.2.1 导管率 13种白杨无性系间的导管率变幅范围为22.2%~29.4%，其中京贵、灵野最少，新毛最多。Cheng 等人<sup>[9]</sup>认为杨属木材中导管比率在树干同一高度上，从髓心向树皮减少。试验认为白杨无性系树干同一高度导管比率的变化，从髓心向树皮不具规律变化模式。

2.2.2 射线率 射线细胞比率变幅范围为7.4%~10.3%。其中无性系新毛为最低，省21、京贵最高。在树干一定高度上，不同年轮内射线细胞分布比较均匀，射线细胞在杨树木材中是很低的，主要原因是单列射线所致。

2.2.3 纤维率 总纤维均在60%以上。纤维包括正常纤维和胶质纤维。杨树木材胶质纤维含量常高于其他阔叶树材。胶质纤维的存在，常常严重影响木材机械加工和利用，但能增加纤维素含量。正常纤维高的有灵野、京贵、白杭1，低的有地7和东2；胶质纤维高的有地7、东2、无名三个无性系。

2.2.4 轴向薄壁组织率 在杨属木材中，轴向薄壁组织很少，且呈分散状或断续单列排于年轮边缘，此项指标工业生产上不予以考虑。

### 2.3 微纤丝角和纤维素相对结晶度

2.3.1 微纤丝角 微纤丝角小，则木材强度大。微纤丝角在20度以下者，木材密度大，顺纹抗压强度高，浆张的物理性能好，所以此项指标是提高木材品质的关键。新毛、白杭10、白杭17、京贵、灵野、省20的微纤丝角 $<20^\circ$ ；地2、地7和东2的微纤丝角 $>20^\circ$ 。

2.3.2 纤维素相对结晶度 试验以新毛、灵野、白杭17为最高，地7为最低(表6)。

表6 13种白杨无性系木材细胞微纤丝角和相对结晶度

项 目	银白杨杂种					山地野生毛白杨			毛白杨选优				
	京贵	白杭17	白杭10	白杭1	无名	灵野	东2	新毛	省42	省21	省20	地7	地2
微纤丝角(度)	18.5	18.5	18.1	18.8	20.3	19.5	23.9	17.0	21.5	23.0	19.4	24.8	23.9
相对结晶度(%)	56.3	56.4	53.7	54.3	55.4	56.4	54.7	57.0	54.9	54.1	55.8	52.8	55.3

### 2.4 木材化学成分

纤维素、半纤维素和木素是构成木材的主要成分，浸提物(包括无机物、果胶质、蛋白质、油脂、精油、腊等)是木材的次要成分。13种白杨无性系木材主要成分差异不大，但次要成分却有很大差异(表7)。浸提物主要存在于木材细胞腔内或特殊组织中，有的渗透到细胞壁中。对木材性质和利用有很大影响。由于木材主要成分变异不大，13种白杨无性系可以混合蒸煮制浆。

杨树“红心材”普遍存在，从幼林开始，随林龄增加而逐渐加大。它严重影响着木浆白度和胶合板的质量，对此，生产部门有强烈反映。“红心材”是林木自身生理作用产生？还是由于病虫害腐变形成？众说纷纭，建议设专题研究，摸清杨树“红心材”产生的机理和预防消除的办法，以利生产上使用。

### 2.5 木材气干密度

试验对13种白杨无性系的木材气干密度进行单因素多重比较和方差分析，无性系种间差异是显著的(表8、9)。

表7 13种白杨无性系木材化学成分

(单位: %)

项 目	银 白 杨 杂 种					山 地 野 生 毛 白 杨			毛 白 杨 选 优				
	京贵	白杭17	白杭1	白杭10	无名	灵野	东2	新毛	省20	省21	省42	地2	地7
水 分	6.54	8.31	7.76	7.51	8.34	7.06	7.20	7.79	7.59	7.80	7.99	7.35	7.68
灰 分	0.49	0.56	0.51	0.49	0.54	0.52	0.52	0.48	0.53	0.50	0.46	0.60	0.56
冷水浸提物	3.03	2.87	2.26	3.17	3.74	3.24	2.49	3.07	3.10	3.24	2.74	3.23	2.67
热水浸提物	4.61	4.41	4.27	4.02	4.76	4.87	4.30	4.87	4.43	4.47	4.81	4.34	4.45
苯-乙醇浸提物	4.15	3.94	3.56	3.33	3.15	3.94	3.07	3.27	2.85	3.06	3.49	3.25	3.04
1%NaOH浸提物	22.63	22.65	21.18	18.81	20.96	19.20	20.81	20.80	17.00	16.06	20.22	16.70	20.99
木 素	18.90	19.78	20.08	19.59	17.56	19.13	20.83	18.89	19.70	20.11	22.10	20.44	21.68
多缩戊糖	25.91	23.55	23.75	24.87	23.70	23.71	22.63	22.78	23.88	24.51	23.98	25.62	23.70
$\alpha$ -纤维素	42.61	42.24	42.96	42.90	43.05	45.09	44.52	45.27	43.07	43.58	42.70	43.94	42.79
综纤维素	74.17	73.31	72.17	73.29	72.66	73.12	73.36	72.24	74.01	74.79	70.85	71.66	71.25
H 值	4.37	4.10	4.09	4.17	4.28	4.45	4.43	4.39	4.35	4.19	4.31	4.42	4.42

表8 方 差 分 析

离差来源	平方和	自由度	均 方	方 差 比
组 间	0.268 88	12	0.022 41	38.306 5
组 内	0.108 80	186	0.000 58	
合 计	0.377 67	198		

表9 13种白杨无性系木材气干密度

组号 <sup>①</sup>	样本数 (个)	平均数 (g/cm <sup>3</sup> )	方 差	标准差S	标准误Sr	变动系数 (V%)
1	16	0.456 94	0.000 30	0.017 20	0.004 30	0.038
2	16	0.421 31	0.000 32	0.017 75	0.004 44	0.042
3	16	0.401 50	0.000 65	0.025 50	0.006 38	0.064
4	14	0.487 07	0.000 81	0.028 42	0.007 59	0.058
5	18	0.420 56	0.000 57	0.023 86	0.005 62	0.057
6	16	0.519 69	0.000 31	0.017 62	0.004 40	0.034
7	12	0.468 83	0.000 53	0.023 03	0.006 65	0.049
8	15	0.394 67	0.000 20	0.014 22	0.003 67	0.036
9	16	0.437 38	0.001 25	0.035 37	0.008 84	0.081
10	16	0.420 44	0.000 09	0.009 46	0.002 37	0.023
11	12	0.485 50	0.000 29	0.017 16	0.004 95	0.035
12	16	0.487 81	0.001 91	0.043 70	0.010 93	0.090
13	16	0.453 88	0.000 29	0.017 09	0.004 27	0.038
	199	0.448 96	0.001 91	0.043 67		

① 组号栏内:1.白杭1, 2.白杭10, 3.白杭17, 4.京贵, 5.无名, 6.灵野, 7.新毛, 8.东2, 9.地2, 10.地7, 11.省20, 12.省21, 13.省42。

## 2.6 制浆试验<sup>1)</sup>

2.6.1 制浆工艺 选用化学机械浆(CMP)制浆: 原料→化学预处理→磨浆→漂白→纸页成

1) 造纸材料由天津轻工业学院胡惠仁提供。

型。

2.6.2 制浆特征 13种白杨无性系化学预处理后的得率均高达87%。其中白杭10高达91.6%，打浆亦最好；白度、漂白浆和未漂浆均以无名为最好(表10)。

表10 制 浆 特 征

项 目	银 白 杨 杂 种					山 地 野 生 毛 白 杨			毛 白 杨 选 优				
	白杭1	白杭10	白杭17	京贵	无名	灵野	新毛	东2	地2	地7	省20	省21	省42
化学预处理后得率(%)	87.7	91.6	88.7	88.8	90.0	89.0	88.6	89.0	88.9	88.8	91.6	89.3	88.4
废液中Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 含量(g/l)	1.99	3.99	2.94	3.46	4.27	3.70	3.12	2.33	3.71	3.22	3.80	3.83	2.19
磨浆后打浆度(*SR)	33.5	47.0	38.0	35.0	35.5	38.0	43.0	33.0	35.0	33.5	42.5	39.5	31.0
未漂浆白度(SBD)(%)	46.8	44.2	42.5	45.3	51.2	41.5	46.7	46.8	46.3	45.4	47.6	47.4	45.3
漂白浆白度(SBD)(%)	64.7	61.2	61.2	62.5	70.2	60.7	63.9	62.6	66.5	62.5	65.8	67.2	60.8

2.6.3 浆张物理性质 从表10看出，抗张指数以灵野、白杭17、新毛、白杭1为最高，京贵、地2、地7、省20、省21最低；撕裂指数以白杭1为最高，地2、地7为最低(表11)。

表11 13种白杨无性系化学机械浆浆张物理性质

项 目	银 白 杨 杂 种					山 地 野 生 毛 白 杨			毛 白 杨 选 优				
	白杭1	白杭10	白杭17	京贵	无名	灵野	新毛	东2	地2	地7	省20	省21	省42
打 浆 度 (*SR)	33.5	47.0	38.0	35.0	35.5	38.0	43.0	33.0	35.0	33.5	42.5	39.5	31.0
定 量 (g/m <sup>2</sup> )	49.6	50.1	49.3	48.8	50.9	48.9	49.6	48.2	50.6	49.0	49.9	50.3	48.4
厚 度 (mm)	0.119	0.138	0.120	0.131	0.146	0.130	0.120	0.130	0.128	0.123	0.134	0.135	0.105
表 观 密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.42	0.36	0.41	0.37	0.35	0.38	0.41	0.37	0.40	0.40	0.37	0.37	0.46
抗 张 指 数 (N.m <sup>2</sup> /g)	44.01	39.65	44.96	32.94	34.28	43.86	43.48	34.06	33.98	38.26	37.35	31.46	38.09
耐 破 指 数 (kPa.m <sup>2</sup> /g)	2.11	1.78	1.93	1.61	1.81	2.35	2.04	1.91	1.47	1.52	1.42	1.33	2.05
撕 裂 指 数 (mN.m <sup>2</sup> /g)	5.65	3.97	4.46	4.55	4.84	5.14	5.01	4.48	4.32	4.17	4.37	3.90	4.98
耐 折 度 (双折次)	16	16	14	9	10	16	18	10	8	9	10	10	13

综上所述，无性系灵野、白杭17、新毛，白杭10、白杭1浆张强度最好；省21、京贵、东2、地2、省20最低。

2.6.4 制浆特征综合评估 影响制浆原料性能的因素很多，本项研究采用综合坐标法，对下列11个因素判断13种白杨无性系制浆性能的优劣，按各因素影响程度人为设定权重。各自的权重为：气干密度0.15，材积0.15，预处理后得率0.10，打浆度0.10，未漂浆和漂浆白度取0.05，紧度、抗张指数、耐破指数、耐折度4项强度指标0.05。根据 $\sqrt{\sum K_i(1-a_i)^2}$  [ $K_i$ 为权重因子； $(1-a_i)^2$ 为性状因子]值来比较综合性能优劣，平方根越小，则性能越好(表12)。

综合性能最优是白杭1；其次为白杭17、白杭10、新毛、灵野、无名；较差的是地2、

地7和东2。按无性系类别分, 银白杨杂种列第一, 山地野生毛白杨列第二, 毛白杨选优列第三。根据上述结果, 银白杨杂种, 山地毛白杨的灵野、新毛和毛白杨选优的省42等无性系, 可推荐作为短期人工林的重点推广供造纸原料需要的无性系

### 3 结论

(1) 13种白杨无性系幼龄材的重量平均纤维长度变幅为852~993 $\mu\text{m}$ , 数量平均纤维宽度为20.2~23.4 $\mu\text{m}$ , 在阔叶材中属中等。各无性系间纤维长度差异不显著, 不同年轮间纤维长度差异显著, 总纤维含量61.5%~67.3%。

(2) 微纤丝角变幅范围为17.0~24.8度, 以新毛、京贵、白杭1、白杭10、白杭17的微纤丝角小, 其纤维素相对结晶度变幅范围52.8%~57.0%, 属正常范围。

(3) 化学成分除浸提物有一定差别外, 其主要成分相差不大, 综纤维素含量高对制浆有益。由于化学成分较均匀, 各无性系可混合蒸煮制浆。

(4) 木材气干密度变幅为0.394~0.519 $\text{g}/\text{m}^3$ , 品种差异显著; 反映生产量的材积指标差异很大, 最大值为最小值的2.6倍。

(5) 根据木材密度、年生长量、制浆得率、动力消耗、漂白性能和浆张强度综合判断, 白杭1、白杭17、白杭10、新毛、灵野、无名6种为制浆原料的优良无性系。

表12 13种白杨无性系平方根名次

种 类	无性系	平方根	名次
银 白 杨 杂 种	白杭1	0.1192	1
	白杭10	0.1822	3
	白杭17	0.1616	2
	京 贵	0.2406	8
	无 名	0.2193	6
山 地 野 生	灵 野	0.1939	5
	新 毛	0.1838	4
毛 白 杨	东 2	0.2787	11
	省 42	0.2258	7
	省 21	0.2786	10
毛 白 杨 选 优	省 20	0.2439	9
	地 2	0.3257	13
	地 7	0.3033	12

### 参 考 文 献

- [1] 王沙生等, 1991, 杨树栽培生理研究, 北京农业大学出版社。
- [2] Jamesd', A. Clark, 1978, *Pulp Technology and Treatment for Paper*, Miller Freeman Publications, Inc., USA., 402~437.
- [3] Cheng W. W. et al., 1979, Anatomical properties of selected *Populus* clones grown under intensis culture, *Wood Science*, 11(3), 182~187.

*Study on the Young-aged Wood of 13 Clones  
of White Poplar in Intensive Cultivation*

Chai Xiuwu Huang Luohua Lu Xixian

*(The Research Institute of Wood Industry CAF)*

Xie Guoen

*(The Research Institute of Forest Products of Chemical Industry CAF)*

**Abstract** Wood anatomy, fibre quality, microfibrillar angle of S<sub>2</sub> layer of the secondary wall of the wood cell and the degree of relative crystallinity of the wood cellulose, chemical composition, wood density and pulp-making wood properties of 13 5-year-old White Poplar clones in intensive cultivation have been studied. The results show that for the 6 clones: Baihang 1, Baihang 17, Baihang 10, Linye, Xinmao and Wuming, the fibre length range is 845~917 μm, the  $C_v\left(\frac{\delta}{L_N}\right)$  range 0.24~0.28, the total fibre ratio range 62.8%~64.7%, air-dried density range 0.41~0.519 g/cm<sup>3</sup>, the high yield pulp 87.7%~91.6% and the other properties, such as tear index, burst index, tensile index etc., all of which are superior than those of the other clones. The above mentioned 6 poplar clones may be selected for further cultivation.

**Key words** White Poplar clone; wood property; chemical mechanical pulp