

秦白杨系列品种木材材性及纤维形态的研究

陈柳晔, 史小娟*, 樊军锋

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:通过方差分析和多重比较,测试了杨树新品系秦白杨系列 1、2、3 号与对照毛白杨无性系 30 号的物理力学性质和纤维形态特征。结果表明,秦白杨 1 号的物理力学性质与毛白杨无性系 30 号接近,且横纹抗压强度、抗弯强度等指标略优于毛白杨无性系 30 号。秦白杨 2 号和 3 号的物理力学性质次于这两者。秦白杨 1 号、3 号和毛白杨无性系 30 号的纤维长宽比均 >43 ,且秦白杨 3 号纤维长度最大。综合纤维形态和材性测试结果,秦白杨 1、2 和 3 号均可大面积推广,是适宜制造家具等木材工业和造纸工业的优良新种。

关键词:秦白杨;物理力学性质;纤维形态

中图分类号:S781.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)01-0253-06

Study on Properties and Fiber Morphology of Qinbaiyang Series Varieties Woods

CHEN Liu-ye, SHI Xiao-juan*, FAN Jun-feng

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper dealt with the physical and mechanical properties and fiber morphology of new clones of poplar named Qinbaiyang with the comparison group of *Populus tomentosa* clone No. 30. Variance analysis and LSD analysis showed that the physical and mechanical properties of Qinbaiyang No. 1 were in close with *P. tomentosa* clone No. 30, even a little bit better in some indicator tests, such as strength perpendicular and flexure strength. Qinbaiyang No. 2 and No. 3 were a little bit inferior to these two. The fiber ratio of the length to width of Qinbaiyang 1, 3 and *P. Tomentosa* clone No. 30 were greater than 43. Qinbaiyang No. 3 showed the longest fiber length. In summary, Qinbaiyang series varieties can be popularized and applied to furniture making and paper industry.

Key words: Qinbaiyang; physical and mechanical property; fiber morphology

白杨派杨树为西北乡土杨树种,栽植数量很大,其材质优良、抗逆性强但生长较慢,绝大多数种扦插育苗成活率低。鉴于此西北农林科技大学历时 12 a 时间,通过人工杂交、苗期育苗、造林成活率、生长量、抗逆性等多指标选择,最终从 I-101(意大利银白 *P. alba*) \times 84K(南韩银腺 *P. alba* \times *P. glandulosa*)优势杂交组合中选育出 3 个优良白杨新品种,为秦白杨系列品种 1、2、3 号。

秦白杨系列品种于 2014 年春通过了陕西省林木良种审定。其主干通直圆满、顶端优势强。10 年

生对比试验中,抗寒性、抗旱性等均优于关中当地主栽品种毛白杨无性系 30 号^[1-2]。然而对于优势新品种的推广,除了具备良好的集约栽培品质外,其木材也要满足一定的物理力学性能,以用于木材工业的生产加工。因此本试验对这 3 个新品种及对照组毛白杨无性系 30 号进行了木材材性和纤维形态的比较研究。通过比较来对秦白杨系列品种的品质作出评价,为其未来推广栽培和木材加工利用提供理论依据。

收稿日期:2016-04-15 修回日期:2016-05-09
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD01B0302)。
作者简介:陈柳晔,女,在读硕士,研究方向:木材科学。E-mail:chenliuye1990@163.com
* 通信作者:史小娟,女,副教授,研究方向:人造板工艺研究。E-mail:sxj9325@nwsuaf.edu.cn

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料取自西北农林科技大学周至渭河试验站 10 年生对比试验林,其中秦白杨系列品种 1、2、3 号及对照组毛白杨 30 号各 2 株,共 8 株(表 1)。

表 1 样木基本情况
Table 1 Data of the sample trees

树种	胸径/cm	树高/m	树龄/a
秦白杨 1 号	20.3	17.7	10
秦白杨 2 号	21.2	15.9	10
秦白杨 3 号	20.4	17.7	10
毛白杨 30 号	16.7	15.3	10

1.2 研究方法

按国家标准(GB 1927~1939—2009)《木材物理力学试验方法》^[3]加工试材,并按照该标准测定物理力学性能指标,包括气干密度、基本密度、气干干缩率(弦向、径向、体积)、顺纹抗压强度、横纹抗压强度(全部)、抗弯强度、抗弯弹性模量。其中试样数量以国家标准(GB 1929—2009)《木材物理力学试材锯解及试样截取方法》中所需试样数为准,密度试样各 25 个,干缩率试样各 125 个,顺纹抗压强度试样各 30 个,横纹抗压强度(全部)试样各 65 个,抗弯弹性模量试样各 65 个,抗弯强度试样与抗弯弹性模量采用同一试样。以上力学试验均是由 SANS 电子式万能力学试验机测试完成。

在试验材料 1.3 m 处截取 3 cm 厚的圆盘 1 个,沿南北向截取 3 cm 的中心试条。自髓心沿北向,每一生长轮按早晚材各劈成火柴棍大小的试样。纤维离析方法采用富兰克林离析法^[4],将试样按蒸煮法排除空气,加离析液(99.5%冰醋酸与 30%双氧水,按体积比 1:1),在恒温水箱箱 60℃下离析,直至试样发白,随后洗至无酸,再用番红溶液染色并制成临时切片。在光学显微镜下用 ToupView3.7 系统测量纤维的长度、宽度,随机选取 50 根纤维为样本单位。

1.3 数据分析与处理

用 Excel 2007 软件进行原始数据的处理,SPSS19.0 统计分析软件分别对各品种进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 木材物理性质及比较分析

2.1.1 木材密度 由表 2 可知,所得数据的准确指数 P 均 $<5\%$,故试验数据结果准确可靠。

木材密度指单位体积内木材的重量,其密度指

标主要包括:气干密度、全干密度和基本密度。在木材工业生产中,多使用气干木材,因而常用气干密度估算木材重量、木材性质等。

根据木材材性 5 级分级标准^[5],就气干密度而言,这 4 种无性系均可归类为轻类木材(气干密度均处于 $0.36\sim0.55\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 之间)。这 4 种无性系中,密度的 3 项指标平均值最高的是毛白杨无性系 30 号,秦白杨 1 号次之,秦白杨 2 号的 3 项密度指标均为最低。由方差分析可见 $Sig.$ 均为 0.000,说明 4 个无性系品种间存在显著差异。鉴于木材工业生产多使用气干密度为主要指标,进一步对其多重比较见表 3。其中秦白杨 1 号的气干密度与毛白杨无性系 30 号较为接近,可归为一类。这两者与秦白杨 3 号的差异性为较显著,而与秦白杨 2 号的差异性为极显著。

2.1.2 木材干缩性 由表 2 可知,所得木材干缩性数据的准确指数 P 均 $<5\%$,故试验数据结果准确可靠。

湿材干燥后尺寸和体积的缩减称为木材干缩。在木材生产工业中,木材干缩会导致木制品尺寸收缩,从而产生缝隙、变形和翘曲等。对木材加工影响较大的是横纹干缩。横纹干缩分为径向干缩和弦向干缩,通常弦向干缩为径向干缩的 1~2 倍。

秦白杨 1 号的气干干缩率 4 项指标平均值与毛白杨无性系 30 号接近,秦白杨 3 号略大于这两者。而秦白杨 2 号的气干干缩率 4 项指标均值为最高。其中,按差异干缩分级规定^[6],这 4 种无性系木材的气干差异干缩均处于第 3 级(1.61~2.1),属于中等水平。

表 3 表明,秦白杨 1 号和毛白杨无性系 30 号可归为一类,相互间的气干径向、弦向和体积干缩差异均不明显,且低于秦白杨 2、3 号。但是秦白杨 3 号的气干差异干缩与另 3 种的差异极显著,显著低于另 3 种。因此就气干差异干缩这一指标而言最优的是秦白杨 3 号,其在气干过程中的弦向径向间变形更小。

2.2 木材力学性质及比较分析

2.2.1 木材抗压性能 由试验测定数据计算出的 4 种木材的各项力学性质结果见表 4。由表 4 可知,所得数据的准确指数 P 均 $<5\%$,故试验数据结果准确可靠。

木材抗压性能指标主要测试了 2 项,分别是木材顺纹抗压强度和横纹抗压强度(全部)。

木材顺纹抗压强度是木材沿纹理方向的最大荷载压力,与其他的强度指标也存在密切的相关关系。由表 4 可知,毛白杨无性系 30 号的顺纹抗压强度最

大。秦白杨 1 号的测定值与之较为接近,为42.33 MPa。根据木材顺纹抗压强度的分级情况^[7],4 种无性系的顺纹抗压强度值的范围是 35.891~43.050 MPa,属于中等(30~45 MPa 为中等)。方差分析表明,这 4 种无性系品种间存在显著差异。经多重比较可知,秦白杨 1 号和毛白杨无性系 30 号可归为一类,与秦白杨 2、3 号之间存在极显著的差异。

木材横纹抗压强度是指达到比例极限的压缩应力测定值。在横纹抗压强度(全部)试验中,4 种无

性系品种的径向抗压强度均大于弦向,且秦白杨 1 号的径向、弦向的测定值均为最高,分别为 5.33 MPa和 4.01 MPa。表明 4 种无性系径向横纹全部抗压强度差异性不显著(表 5)。而弦向的 *Sig.* 值为 0.000,远小于显著性水平 0.05,说明相互间差异极显著。表 5 多重比较可知,秦白杨 1 号和毛白杨无性系 30 号可归为一类,与秦白杨 2 号和 3 号的差异性为极显著。同时,秦白杨 2 号和 3 号两者之间差异性并不显著。

表 2 木材物理性质测定结果与方差分析

Table 2 Physical properties and variance analyses of the sample trees

无性系	因子	气干密度 (g·cm ⁻³)	全干密度 (g·cm ⁻³)	基本密度 (g·cm ⁻³)	气干干缩率/%			
					径向	弦向	体积	差异干缩
X ₁	<i>M</i>	0.433	0.407	0.348	2.928	6.789	9.420	2.294
	<i>S</i>	0.014	0.013	0.020	0.285	0.506	0.746	0.204
	<i>P</i> /%	1.103	1.138	1.053	1.771	1.356	1.441	1.618
X ₂	<i>M</i>	0.362	0.338	0.286	3.864	8.328	12.462	2.180
	<i>S</i>	0.015	0.015	0.020	0.288	0.511	0.717	0.215
	<i>P</i> /%	1.643	1.732	1.248	1.349	1.113	1.042	1.787
X ₃	<i>M</i>	0.404	0.386	0.312	3.784	7.770	11.456	2.070
	<i>S</i>	0.015	0.014	0.018	0.298	0.468	0.783	0.212
	<i>P</i> /%	1.481	2.031	1.042	1.399	1.068	1.213	1.814
X ₄	<i>M</i>	0.440	0.413	0.362	2.892	6.556	9.346	2.277
	<i>S</i>	0.014	0.014	0.020	0.280	0.482	0.747	0.234
	<i>P</i> /%	1.285	1.339	0.981	1.699	1.289	1.401	1.800
	<i>F</i>	50.116**	49.205**	265.867**	90.760**	115.758**	120.543**	8.015**
	<i>Sig.</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:X₁—秦白杨 1 号,X₂—秦白杨 2 号,X₃—秦白杨 3 号,X₄—毛白杨无性系 30 号;*M*—平均值,*S*—标准差,*P*—准确指数;* * 表示 *Sig.* 值为 0.01 时,存在极显著性;* 表示 *Sig.* 值为 0.05 时,存在显著性。下同。

表 3 木材物理性质多重比较

Table 3 Multiple comparison of physical properties of the sample trees

项目	气干密度 (g·cm ⁻³)	气干干缩率/%			
		径向	弦向	体积	差异干缩
X ₁ -X ₂	0.072**	0.935**	1.539**	3.042**	0.134*
X ₁ -X ₃	0.029**	0.856**	0.98**	2.036**	0.235**
X ₁ -X ₄	0.007	0.043	0.209*	0.054	0.018
X ₂ -X ₃	0.426**	0.079	0.558**	1.006**	0.101*
X ₂ -X ₄	0.079**	0.978**	1.749**	3.096**	0.116**
X ₃ -X ₄	0.036**	0.899**	1.190	2.090**	0.217**

2.2.2 木材抗弯性能 木材承受逐渐施加横向荷载的能力称为木材抗弯强度,也可称为静曲强度。木材抗弯弹性模量表示在比例极限内应力与应变之间关系,能体现木材的刚性或弹性。由表 4 测定结果及方差分析可知,秦白杨 1 号的抗弯强度值为 72.45 MPa,比毛白杨无性系 30 号略大。秦白杨 1 号的抗弯弹性模量值最大,其次为毛白杨无性系 30 号,秦白杨 2 号最低。由表 5 多重比较可知,就抗弯

强度而言,秦白杨 1 号与毛白杨无性系 30 号差异性为不显著,与秦白杨 2、3 号差异性为极显著。就抗弯弹性模量而言,秦白杨 1 号和 3 号之间抗弯弹性模量值的差异性为较显著,而与 2 号之间的差异性为极显著。由所测秦白杨 1 号的抗弯性能表明,其可以在一定程度上作为承受抗弯荷载的构件使用。而秦白杨 2 号的抗弯弹性模量低,说明易弯曲,利于对其进行改性处理,生产曲木家具等。

2.3 纤维形态特征分析

根据国际木材解剖学会的规定,纤维长度在 0.9~1.6 mm 为中级长度。由表 6 测定结果可知,这 4 种无性系品种均为中级长度纤维。其中秦白杨 3 号的种平均纤维长度最大为 1 197.38 μm,其次为毛白杨无性系 30 号,最短为秦白杨 1 号,同时可见早材的纤维长度均小于晚材。表 7 的多重比较可知,秦白杨 3 号与其他品种差异极显著,另 3 个品种间差异不明显。

由表 6 可知,纤维宽度最小的是毛白杨无性系 30 号,秦白杨 1 号与它接近。秦白杨 2、3 号宽度相

较而言大于这两者,平均宽度在 27 mm 以上。表 7 多重比较可知,秦白杨 1 号和毛白杨无性系 30 号可归为一类,与另 2 个品种存在及显著差异。

毛白杨无性系 30 号的纤维长宽比最大,其次为秦白杨 1 号。秦白杨 3 号的长宽比也在 43 以上,最

低为秦白杨 2 号。秦白杨 1 号、3 号的长宽比均在 43 以上,与对照的毛白杨无性系 30 号相比,秦白杨 3 号的纤维长度长得多。因此秦白杨 1 号、3 号均可认为是适宜造纸和生产纤维板的优良杨树新种。

表 4 木材力学性质测定结果与方差分析						
Table 4 Mechanical properties and variance analyses of the sample trees						
无性系	因子	顺纹抗压强度	横纹抗压强度(全部)		抗弯强度	抗弯弹性模量
			径向	弦向		
X ₁	M	42.330	5.326	4.013	72.454	7 344.51
	S	4.424	0.654	0.291	4.645	364.503
	P/%	3.621	3.188	1.776	2.418	1.32
X ₂	M	35.891	4.948	2.932	56.491	5 796.286
	S	2.028	0.656	0.247	4.657	470.761
	P/%	1.846	3.126	1.978	2.555	2.549
X ₃	M	38.567	5.009	2.903	65.439	7 022.041
	S	2.592	0.667	0.285	4.526	469.476
	P/%	2.328	3.390	2.720	2.143	1.613
X ₄	M	43.050	5.010	3.998	72.362	7 333.59
	S	3.563	0.651	0.307	4.771	441.235
	P/%	2.782	3.286	2.441	2.487	1.720
	F	35.341**	3.771	272.729**	90.202**	99.59**
	Sig.	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000

表 5 木材力学性质多重比较					
Table 5 Multiple comparison of mechanical properties of the sample trees					
项目	顺纹抗压强度	横纹抗压强度(全部)		抗弯强度	抗弯弹性模量
		径向	弦向		
X ₁ -X ₂	6.424**	0.378	1.081**	15.963**	1384.748**
X ₁ -X ₃	3.763**	0.216	1.110**	7.015**	158.99
X ₁ -X ₄	0.720	0.316	0.013	0.092	258.001*
X ₂ -X ₃	2.661**	0.161	0.029	8.948**	1225.755**
X ₂ -X ₄	7.144**	0.062	1.068**	15.871**	1642.750**
X ₃ -X ₄	4.483**	0.099	1.097**	6.923**	416.994*

表 6 木材纤维测定结果								
Table 6 Wood fiber morphology of the sample trees								
因子	无性系	早材			晚材			种平均
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	
纤维长度/ μm	X ₁	1 207.44	567.57	955.85	1 327.23	605.96	1 044.65	1 000.25
	X ₂	1 172.32	488.58	969.60	1 261.20	671.93	1 034.08	1 001.84
	X ₃	1 275.03	765.92	1 102.65	1 582.91	791.74	1 293.64	1 197.38
	X ₄	1 192.93	693.90	1 029.17	1 205.02	786.19	1 083.58	1 038.23
纤维宽度/ μm	X ₁	23.66	19.97	22.42	23.30	19.76	21.95	22.19
	X ₂	31.85	21.87	27.67	31.98	23.43	27.12	27.46
	X ₃	30.88	21.50	27.66	30.88	23.19	27.54	27.60
	X ₄	22.63	19.19	21.12	24.69	19.72	21.45	21.29
长宽比	X ₁	51.51	27.46	42.91	60.31	30.67	47.27	45.08
	X ₂	40.31	21.73	35.45	51.06	28.68	37.90	36.48
	X ₃	34.50	45.26	42.26	60.33	34.14	46.09	43.39
	X ₄	55.05	34.55	49.40	57.98	39.87	50.79	48.77

表 7 木材纤维测定结果多重比较

项目	纤维长度/ μm	纤维宽度/ μm
X_1-X_2	1.589	5.274 * *
X_1-X_3	197.133 *	5.408 * *
X_1-X_4	37.979	0.902
X_2-X_3	195.544 *	0.134
X_2-X_4	36.390	6.176 * *
X_3-X_4	159.154 *	6.310 * *

3 结论与讨论

4 个无性系品种间的气干密度、基本密度、气干干缩率、顺纹抗压强度、弦向横纹全部抗压强度、抗弯强度、抗弯弹性模量的差异性为极显著,径向横纹全部抗压强度的差异性为不显著。秦白杨 1 号的密度指标均值在秦白杨系列品种中为最高,而秦白杨 2 号的密度指标均为最低。秦白杨 1 号和毛白杨无性系 30 号的气干干缩率均值低于秦白杨 2、3 号。秦白杨 3 号的气干差异干缩与另 3 种间的差异为极显著,显著低于另 3 种。秦白杨 1 号的顺纹抗压强度仅次于毛白杨无性系 30 号,而横纹全部抗压的径向和弦向强度均为最大。秦白杨 1 号的 2 项抗弯性能指标均为最高,秦白杨 2 号均为最低。

秦白杨 3 号的纤维长度与其他品种间差异为极显著,另 3 个品种间差异不显著。4 个无性系品种间的纤维宽度差异为极显著。秦白杨 3 号的纤维长度最大,秦白杨 1 号的纤维宽度仅次于毛白杨无性系 30 号。秦白杨 1 号和 3 号的纤维长宽比均>43,最低为秦白杨 2 号。

木材密度的大小对木材其他物理力学性质以及木材加工质量有直接的影响^[8],也有研究表明密度与力学性能之间存在正相关关系^[9]。由此,选育出的秦白杨系列品种中秦白杨 1 号的密度指标均值较大,适宜用作家具制造和结构用材。而气干密度较小的秦白杨 2、3 号是优良的刨花板、胶合板用材。气干差异干缩受木材弦向和径向间的变形影响^[10-11],这一指标测定值最优的是秦白杨 3 号,意味着其在木材气干过程中的弦向径向间变形更小。秦白杨 3 号的这一优良特性能表明其在气干干燥过程中翘曲变形也更小,适宜于制造对变形等有要求的平板类板材,如抽屉板、家具装板等。秦白杨 1 号的物理力学性质与毛白杨无性系 30 号较为接近,横纹抗压强度和抗弯强度略优于毛白杨无性系 30 号。其力学指标在秦白杨系列品种中表现最好,适宜用作家具制造和结构用材,能作为优良新种进行推广栽培。

本试验中纤维形态特征研究主要包含 3 个方面:纤维长度、纤维宽度和纤维长宽比。其中纤维长度是影响纸张质量的主要因素之一,通常纤维越长,纤维强度越大^[12]。纤维宽度对纤维板工业、造纸有一定的影响,一方面体现在直径大壁薄的纤维对纤维交织有利,另一方面是影响纤维长宽比^[13-14]。纤维长宽比则影响造纸时单位面积纤维之间交织次数^[15],分布越细密,成纸或制成纤维板时强度更高。一般而言,纤维长宽比值<35 的纤维不适合造纸^[16],秦白杨 1 号和 3 号的纤维长宽比均>43,表明其是优良的造纸原料。秦白杨 3 号纤维长度最长,纸张强度因而可能更大。纤维长度等纤维性状会随着林木生长量的增大得到一定程度的改良^[17],而秦白杨系列品种的材积生长量大,因此其未来的应用发展广阔,均可作为优良的造纸、纤维用材栽培。

参考文献:

[1] 王情世,樊军锋,周永学,等. 2 个杨树新无性系叶片的旱生结构研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(5): 45-49.

WANG Q S, FAN J F, ZHOU Y X. Research on drought resistance on anatomical structure of leaves of two new poplar clones[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Sciences Edition, 2012, 40(5): 45-49. (in Chinese)

[2] 王情世. 2 个杨树新无性系抗寒性与叶片旱生结构研究[D]. 陕西杨陵:西北农林科技大学,2012.

[3] 国家质检总局,国家标准化委员会. 木材物理力学性质试验方法[M]. 北京:中国标准出版社,2009.

[4] DONALDSON L A. Within and between tree variation in microfibril angle in *Pinus radiata* [J]. New Zealand Journal of Forestry Sci., 1992, 22(1): 77-86.

[5] 吴敏,吴立勋,汤玉喜,等. 南方型黑杨无性系木材材性的研究[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(4): 21-31.

[6] 韦鹏练,黄腾华,符韵林. 观光木人工林木材物理力学性质的研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 221-225.

WEI P L, HUANG T H, FU Y L. Physical and mechanical properties of *Tsoongidendron odorum* woods [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(6): 221-225. (in Chinese)

[7] 李清芸,林金国,卞丽萍,等. 马尾松人工林木材主要材性家系间的变异[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(5): 209-213.

LI Q Y, LIN J G, BIAN L P, et al. Variation of main properties for *Pinus massoniana* plantation wood from different families [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(5): 209-213. (in Chinese)

[8] 吴敏,吴立勋,汤玉喜,等. 南方型黑杨无性系木材材性的研究[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(4): 21-31.

[9] 潘彪,王丰,连彩萍,等. 美洲黑杨新无性系主要物理力学性能研究[J]. 安徽农业学报, 2014, 41(6): 928-933.

PAN B, WANG F, LIAN C P, et al. Physical and mechanical

properties of new *Populus deltoides* clones[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2014, 41 (6): 928-933. (in Chinese)

[10] 戴芳天,郭明辉,陈广胜. 红松人工林幼林材与成熟材干缩性的比较[J]. 东北林业大学学报,2003,31(3):29-31.
DAI F T, GUO M H, CHEN G S. Shrinkage of juvenile wood and mature wood of *Pinus koraiensis* plantation[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2003, 31 (3): 29-31. (in Chinese)

[11] 任世奇,罗建中,谢耀坚,等. 不同桉树无性系及树干高度木材的干缩特性研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(1):232-237.
REN S Q, LUO J Z, XIE Y J, *et al.* Dry shrinkage properties of different eucalypt clones and stem herghts[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (1): 232-237. (in Chinese)

[12] 方红,刘善辉. 造纸纤维原料的评价[J]. 北京木材工业,1996,16(2):19-22.

[13] 张耀丽,徐永吉,徐柯,等. 不同施肥处理对尾叶桉纤维形态的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2000,24(1):41.
ZHANG Y L, XU Y J, XU K, *et al.* A study on effects of fertilization of fiber formation of *Eucalyptus urphylla*[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2000, 24(1): 41. (in Chinese)

[14] 刘主凰,王水英,林金国,等. 不同海拔人工林毛竹材纤维形态和化学成分的差异[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):196-199.
LIU Z H, WANG S Y, LIN J G, *et al.* Difference in fiber morphology and chemical composition of *Phyllostachys heterocy-cla* cv. *Pubescens* from plantation of different altitudes[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(2): 196-199. (in Chinese)

[15] 张平冬,吴峰,康向阳,等. 三倍体白杨杂种无性系的纤维性状遗传变异研究[J]. 西北林学院学报,2014,29(1):78-83.
ZHANG P D, WU F, KANG X Y, *et al.* Genetic variation of fiber properties of triploid hybrid clones of white poplar[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29 (1): 78-83. (in Chinese)

[16] 邱坚,闭梅松,伍建玲,等. 巨桉人工林木材纤维形态特征及其变异[J]. 东北林业大学学报,2009,37(1):67-68.
QIU J, BI M S, WU J L, *et al.* Morphological feature of wood fiber of *Eucalyptus grandis* and its variation[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37 (1): 67-68. (in Chinese)

[17] YANCHUK A D, DANKIK B P, MICKO M M. Variation and heritability of wood density and fiber length of trembling aspen in Alberta, Canada[J]. Silvae Genetica, 1984, 33: 11-16.

(上接第 228 页)

[10] KIM M G. Examination of selected synthesis parameters for typical wood adhesive-type urea-formaldehyde resins by ¹³C-NMR spectroscopy. I [J]. Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry, 1999, 37: 995-1007.

[11] KIM M G. Examination of selected synthesis parameters for typical wood adhesive-type urea-formaldehyde resins by ¹³C-NMR spectroscopy. II [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2000, 75(10): 1243-1254.

[12] 杜官本. 尿素与甲醛加成及缩聚产物¹³C NMR 研究 [J]. 木材工业, 1999(4): 9-13.
DU G B. ¹³C NMR study of urea-formaldehyde adducts and resins [J]. China Wood Industrial, 1999 (4): 9-13. (in Chinese)

[13] KIM M G. Examination of selected synthesis parameters for wood adhesive-type urea - formaldehyde resins by ¹³C-NMR spectroscopy. III [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2001, 80(14): 2800-2814.

[14] GU J, HIGUCHI M, MORITA M, *et al.* Synthetic conditions and chemical structures of urea - formaldehyde resins I. Properties of the resins synthesized by three different procedures [J]. Mokuzai Gakkaizhi, 1995, 41(12): 1115-1121.

[15] SOULARD C, KAMOUN C, PIZZI A. Uron and uron-urea-formaldehyde resins [J]. Journal of Applied Polymer Science, 1999, 72(2): 277-289.