

## 秦黑杨新品种木材纤维形态及其材性研究

窦延光<sup>1</sup>, 吕凯良<sup>2</sup>, 赵泾峰<sup>2\*</sup>, 冯德君<sup>2</sup>, 朱盈妍<sup>2</sup>

(1. 陕西省林产品质量检与产业服务保障中心, 陕西 西安 710082; 2. 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,对产于西北农林科技大学渭河试验站9年生的秦黑杨1号、秦黑杨2号、陕林3号的纤维形态及材性进行研究。秦黑杨1号、秦黑杨2号、陕林3号杨木的纤维长度分别为1 317.18、1 201.32、1 317.72  $\mu\text{m}$ ;木纤维长宽比分别为49.08、45.29、47.30;气干密度分别为0.551、0.502、0.623  $\text{g}/\text{cm}^3$ ;体积干缩系数分别为0.541%、0.472%、0.513%;顺纹抗压强度分别为46.258、42.582、53.310 MPa;抗弯强度分别为87.558、85.000、105.336 MPa;抗弯弹性模量分别为10 441.514、10 830.987、13 523.756 MPa。结果表明,木纤维长度秦黑杨1号和陕林3号相近,大于秦黑杨2号;木纤维长宽比秦黑杨1号大于陕林3号,秦黑杨2号最小;2种秦黑杨新品种的气干密度与材性均小于陕林3号,干缩系数秦黑杨1号最大,陕林3号次之,秦黑杨2号最小。为探讨秦黑杨木材的用途,综合分析秦黑杨纤维形态及材性指标,3种杨木均可作为造纸和纤维工业用材,且秦黑杨1号综合性能要优于陕林3号和秦黑杨2号;作为结构用木材,陕林3号性能优于秦黑杨1号和秦黑杨2号新品种。

**关键词:**秦黑杨;纤维形态;木材材性

**中图分类号:**S791.11

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2023)06-0276-06

### Properties and Fiber Morphology of "Qinhei yang" Woods

DOU Yan-guang<sup>1</sup>, LÜ Kai-liang<sup>2</sup>, ZHAO Jing-feng<sup>2\*</sup>, FENG De-jun<sup>2</sup>, ZHU Ying-yan<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Forest Product Quality Inspection and Industrial Service Guarantee Center, Xi'an 710082, Shaanxi, China;

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

**Abstract:** Nine years old trees of Qinheiyang (*Populus deltoides* "I-69"  $\times$  *P. deltoides*) No. 1, No. 2, and Shaanlin No. 3 were collected from "Weihe River Experimental Station of Northwest A&F University" to study the fiber morphology and properties of the woods. Among them, Shaanlin No. 3, a recognized poplar species with good wood quality was used as the control. The data showed that the fiber lengths of Qinheiyang No. 1, No. 2, and Shaanlin No. 3 were 1 317.18, 1 201.32, 1 317.72  $\mu\text{m}$ , respectively. The ratios of length to width of the fibers were 49.08, 45.29, 47.30, respectively. The air dried densities were 0.551, 0.502, 0.623  $\text{g}/\text{cm}^3$ , respectively. The volume shrinkage coefficients were 0.541%, 0.472%, 0.513%, respectively. The longitudinal compressive strengths were 46.258, 42.582, 53.310 MPa, respectively. The bending strengths were 87.558, 85.000, 105.336 MPa, respectively. The flexural moduli were 10 441.514, 10 830.987, 13 523.756 MPa, respectively. The results showed that the fiber length of Qinheiyang No. 1 was close to the fiber length of Shaanlin No. 3, and both of them were longer than Qinheiyang No. 2. The ratio of length to width of Qinheiyang No. 1 was larger than that of Shaanlin No. 3, and Qinheiyang No. 2 was the smallest. The air dried densities and wood properties of Qinheiyang No. 1 and Qinheiyang No. 2 were lower than that of Shaanlin No. 3. The shrinkage coefficients of Qinheiyang No. 1 was the largest, and

收稿日期:2022-10-14 修回日期:2023-03-20

基金项目:国家重点研发计划项目“杨树大径级工业资源材精准高效培育技术研究”(2021YFD2201200)。

第一作者:窦延光,高级工程师。研究方向:林产品质量检验检测及监测。E-mail:35976615@qq.com

\*通信作者:赵泾峰,副教授。研究方向:木材科学与技术。E-mail:zhaojf928@nwafu.edu.cn

followed by Shaanlin No. 3 and Qinheiyang No. 2. The comprehensive analysis of the fiber morphology and wood properties of three polar species indicates that all of them can be used as the materials for paper making and fiber industry, and Qinheiyang No. 1 is the best. Shaanlin No. 3 has a better performance than Qinheiyang No. 1 and Qinheiyang No. 2 while used as structural timber.

**Key words:** Qinheiyang; fiber morphology; wood timber property

美洲黑杨(*Populus deltoides*)是我国南方平原地区栽培面积大、产量较高的速生杨,具有干形优良、材质较好、适应性强等特点,可以作为培育纸浆材与大径材的主要树种<sup>[1]</sup>。秦黑杨 1 号(*Populus deltoides* “I-69” × *P. deltoides*)、秦黑杨 2 号(*Populus deltoides* “I-69” × *P. deltoides*)系西北农林科技大学林学院杨树课题组按照《主要阔叶造林树种良种选育程序与要求》国家标准,以速生、抗逆性强为育种目标,历时 10 a 研究,从美洲黑杨 I-69(*Populus deltoides* “I-69”) × 美洲黑杨(*P. deltoides*)中选育出来的 2 个美洲黑杨杂交新品种<sup>[2]</sup>。秦黑杨 1 号、秦黑杨 2 号其主要特点为树干高大,干型通直圆满,生长迅速,无性繁殖容易,抗逆性强,适宜范围广,是 2 个很好的速生品种。然而在新优势

品种的推广过程中,不仅需要其具有生长优势,其木材材性也要满足工业用材的要求。秦黑杨 1 号和秦黑杨 2 号是新培育的品种,关于其材性和纤维形态尚未见报道。为了更加全面地了解这 2 个秦黑杨杂交新品种材性和纤维形态的优劣,将其与培育较为成熟、材性较稳定的陕林 3 号(*Populus deltoides* “I-69” × *P. deltoides*)进行对比,以期为新品种的推广种植、用途提供科学的理论依据<sup>[3]</sup>。

1 材料与方法

1.1 材料

试验试材取自西北农林科技大学周至渭河试验站 9 年生对比试验林,其中秦黑杨 1 号、秦黑杨 2 号及陕林 3 号各 3 株,共 9 株,试验试材基本情况见表 1。

表 1 样木基本情况

Table 1 Basic situation of sample trees

品种	胸径/cm	树高/m	树龄/a	材积/m <sup>3</sup>
秦黑杨 1 号( <i>P. deltoides</i> “I-69” × <i>P. deltoides</i> )	18.43	20.33	9	0.228
秦黑杨 2 号( <i>P. deltoides</i> “I-69” × <i>P. deltoides</i> )	19.10	21.00	9	0.253
陕林 3 号( <i>P. deltoides</i> “I-69” × <i>P. deltoides</i> )	17.00	19.47	9	0.186

1.2 研究方法

纤维形态分析需要在每个试材高 1.3 m 处截取 5 cm 厚的圆盘 1 个,并将其沿南北向截取为 3 cm 宽的中心试条,然后按年轮劈成火柴棍大小的试样,再用硝酸-氯酸钾法对试样进行纤维离析,并用番红溶液染色,制成临时切片,随机挑选 50 根木纤维在光学显微镜下测定其长度、宽度、双壁厚,最后对所得数据计算并分析。

材性测定根据国家标准 GB/T 1927.2-2021 无疵小试样木材物理力学性质试验方法第二部分:取样方法和一般要求对试材进行初步加工,然后放置阴凉通风处堆放放置,直至达到气干状态,再根据国家标准 GB/T 1927.4-2021 无疵小试样木材物理力学性质试验方法第 4 至第 12 部分<sup>[4]</sup>对处理好的试材进行试样制作,主要测定的指标有气干密度、干缩率及干缩系数(弦向、径向、体积)、顺纹抗压强度、横纹(全部)抗压强度、抗弯强度和抗弯弹性模量。其中所需试样数量根据国家标准要求来确定,密度试样各 20 个,干缩试样各 120 个,顺纹抗压强度试样各 40 个,横纹(全部)抗压试样各 65 个,抗弯

强度及抗弯弹性模量试样各 65 个。以上力学性能的测试均由经过标定的万能力学试验机测定,所得试验结果均换算为试样含水率为 12% 时的强度。

2 结果与分析

2.1 木材纤维特征

纤维长度是纤维板性能和纸张质量的重要影响因素。具体表现在纤维长度与交联度呈正相关,即在纸张和纤维板生产中,纤维长度越长,纤维与纤维之间的交织力更大,纸张拥有更高的抗拉强度,纤维板有更高的静曲强度<sup>[5]</sup>。秦黑杨 1 号、秦黑杨 2 号及陕林 3 号木纤维测定结果见表 2。

由表 2 可知,就木纤维长度的平均值而言,秦黑杨 1 号为 1 317.18 μm,陕林 3 号杨为 1 317.72 μm,两者相近,且均大于秦黑杨 2 号的 1 201.32 μm。由木材解剖分子分级规定<sup>[6]</sup>可知,900~1 600 μm 称为中等纤维,故以上 3 个品种的木纤维均属于中等长度纤维。仅对木纤维长度分析,在造纸与纤维工业中秦黑杨 1 号与陕林 3 号优于秦黑杨 2 号。

表 2 木材纤维测定结果

Table 2 Wood fiber morphologies

树龄	纤维长度/ $\mu\text{m}$			长宽比			壁腔比		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	773.67	693.07	827.78	36.67	32.40	34.21	0.46	0.37	0.49
2	982.45	935.55	1 110.64	39.54	38.24	42.22	0.49	0.44	0.5
3	1 169.46	1 046.76	1 239.77	43.58	41.16	44.32	0.47	0.44	0.56
4	1 371.11	1 127.09	1 313.42	50.43	42.27	46.56	0.49	0.47	0.57
5	1 426.35	1 261.17	1 391.29	50.94	47.40	49.49	0.51	0.59	0.61
6	1 486.07	1 340.82	1 459.79	54.84	48.53	50.96	0.56	0.61	0.67
7	1 512.95	1 416.30	1 470.13	54.42	52.14	51.85	0.58	0.64	0.64
8	1 541.00	1 478.03	1 513.12	56.16	52.90	52.74	0.6	0.67	0.67
9	1 591.55	1 513.07	1 533.52	55.11	52.55	53.33	0.59	0.67	0.65
平均值	1 317.18	1 201.32	1 317.72	49.08	45.29	47.30	0.53	0.54	0.60

注: $X_1$ —秦黑杨 1 号, $X_2$ —秦黑杨 2 号, $X_3$ —陕林 3 号杨。

木纤维长宽比是影响纤维质量的另一重要因素,一般认为,木纤维长宽比愈大,产品交织愈好,例如纸张的耐折性、耐撕度、强度愈高<sup>[7]</sup>。3 个品种木纤维长宽比依次为:秦黑杨 1 号>陕林 3 号杨>秦黑杨 2 号。根据造纸原料标准要求,3 个品种的木纤维长宽比均>33,且成熟材的平均长宽比均>50,因此秦黑杨 1 号、2 号均能很好地满足造纸原料要求,且就木纤维长宽比而言,秦黑杨 1 号优于陕林 3 号,陕林 3 号优于秦黑杨 2 号。

木纤维壁腔比对纸张性能也有很大影响。壁腔比小的木纤维柔软性好,打浆时容易产生崩解、帚化,有利于木纤维交织,生产的纸张强度大。3 个品

种的平均木纤维壁腔比依次为陕林 3 号>秦黑杨 2 号>秦黑杨 1 号。壁腔比>1 的被列为劣等造纸用材,=1 的为中等造纸用材,<1 的为上等造纸用材<sup>[8]</sup>。本试验所用的 3 个品种壁腔比均<1,因此,仅考虑纤维壁腔比,这 3 个品种均为上等的造纸用材。

从 3 个杨树木材纤维长度,长宽比,壁腔比总体分析可知,秦黑杨 1 号优于陕林 3 号,陕林 3 号优于秦黑杨 2 号。

## 2.2 木材物理性质

根据试验结果,秦黑杨 1 号、2 号及陕林 3 号木材各项物理性质指标见表 3;木材物理性质多重比较分析见表 4。

表 3 木材物理性质与方差分析

Table 3 Physical properties and variance analyses of the sample woods

品种	因子	气干密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	干缩率(%)			干缩系数(%)		
			弦向	径向	体积	弦向	径向	体积
秦黑杨 1 号	M	0.551	2.856	1.679	4.702	0.309	0.175	0.541
	S	0.030	0.254	0.216	0.482	0.028	0.023	0.058
	$C_V$	0.054	0.089	0.129	0.103	0.090	0.131	0.107
秦黑杨 2 号	M	0.502	2.652	1.458	4.351	0.275	0.151	0.472
	S	0.031	0.240	0.219	0.539	0.024	0.022	0.061
	$C_V$	0.062	0.090	0.150	0.124	0.088	0.146	0.129
陕林 3 号	M	0.623	2.850	1.675	4.670	0.298	0.173	0.513
	S	0.028	0.230	0.184	0.340	0.023	0.019	0.038
	$C_V$	0.045	0.081	0.110	0.073	0.079	0.110	0.075
	Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:M—平均值,S—标准差, $C_V$ —变异指数,Sig.一显著性 P。下同。

2.2.1 木材密度 木材密度是影响木材产品质量的重要指标,密度越大,木材强度越大<sup>[9]</sup>。由表 3 可知,3 个品种的平均气干密度依次为陕林 3 号>秦黑杨 1 号>秦黑杨 2 号。由木材材性分级规定<sup>[6]</sup>可知,秦黑杨 2 号属于小密度木材,而秦黑杨 1 号和陕林 3 号属于中等密度木材。变异系数大小依次为秦黑杨 2 号>秦黑杨 1 号>陕林 3 号,因此秦黑杨 1

号、2 号气干密度的变异程度大于陕林 3 号。由方差分析可知 3 个品种 Sig. 均为 0.000,表明 3 个品种间差异性显著。通过多重比较分析(表 4),对 3 个品种间两两比较,发现其均存在显著性差异。

从结构用木材角度分析,仅考虑气干密度,陕林 3 号性能优于秦黑杨 1 号、2 号。从造纸原料所用木材角度分析,3 个品种的气干密度基本在 0.4~0.6

g/cm<sup>3</sup>,而气干密度在此范围内的木材能制作出质量优等的纸张,故 3 个品种均适用于造纸工业。

2.2.2 木材干缩性 由表 3 可知,3 种杨木弦向、径向、体积干缩系数大小依次为秦黑杨 1 号>陕林 3 号>秦黑杨 2 号;根据我国木材材性分级规定<sup>[6]</sup>,体积干缩系数在 0.46%~0.55%为中等干缩,故这 3 个品种均为中等干缩。弦向、径向、体积干缩系数的变异系数陕林 3 号小于秦黑杨 1、2 号,因此秦黑杨 1、2 号的干缩性变异程度大于陕林 3 号。由方差分析可知 3 个品种 Sig. 均为 0.000,表明 3 个品种间在干缩性能方面差异性显著。通过多重比较分析(表 4)对 3 个品种间两两比较,发现弦向、体积干缩系数均存在显著性差异,径向干缩系数中秦黑杨 1 号和秦黑杨 2 号、秦黑杨 2 号和陕林 3 号存在显著性差异,秦黑杨 1 号与陕林 3 号无显著性差异,可归为一个级别。

干缩性能是评价木材材性的重要指标,而木材干缩是不良性能,对木材及其制品的稳定性有直接影

响<sup>[10]</sup>。从结构用木材角度分析,干缩系数越小,制品尺寸稳定性越好。因此秦黑杨 2 号所制产品的尺寸稳定性最优,其次是陕林 3 号,最后是秦黑杨 1 号。

2.3 木材力学性质

木材力学性能是木材抵抗使其改变大小和形状的外力能力,即木材适应外力作用的能力。3 种秦黑杨木材主要力学性能结果见表 5;木材力学性质多重比较见表 6。

表 4 木材物理性质多重比较

Table 4 Multiple comparison of physical properties of the sample woods

品种	气干密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	干缩系数(%)		
		弦向	径向	体积
秦黑杨 1 号	B	A	A	A
秦黑杨 2 号	C	C	B	C
陕林 3 号	A	B	A	B

注:A、B、C 表示为多重分析结果,无明显差异用相同字母表示,存在显著差异则用不同字母表示。下同。

表 5 木材力学性质与方差分析

Table 5 Mechanical properties and variance analyses of the sample woods

品种	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		
秦黑杨 1 号	M	46.258	5.328	3.574	87.558	10 441.514
	S	4.383	1.190	0.278	6.995	1 910.363
	C <sub>v</sub>	0.095	0.223	0.078	0.080	0.183
秦黑杨 2 号	M	42.582	4.895	3.433	85.000	10 830.987
	S	2.859	1.498	0.441	5.160	1 376.534
	C <sub>v</sub>	0.067	0.306	0.128	0.061	0.127
陕林 3 号	M	53.310	6.202	4.194	105.336	13 523.756
	S	5.326	1.387	0.456	10.927	2 525.760
	C <sub>v</sub>	0.100	0.224	0.109	0.104	0.187
	Sig.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 6 木材力学性质多重比较

Table 6 Multiple comparisons of the mechanical properties of the sample woods

品种	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		
秦黑杨 1 号	B	B	B	B	B
秦黑杨 2 号	C	B	B	B	B
陕林 3 号	A	A	A	A	A

2.3.1 木材抗压性能 木材抗压性能主要通过顺纹抗压强度与横纹(全部)抗压强度来评价。顺纹抗压强度与其他强度指标存在相关关系,是最重要的木材力学性质指标。秦黑杨 1 号、2 号的平均顺纹抗压强度分别为 46.258、42.582 MPa,均小于陕林 3 号的 53.310 MPa,根据木材强度的分级情况<sup>[11]</sup>,秦黑杨 1 号、秦黑杨 2 号的顺纹抗压强度属于低强度,陕林 3 号属于中等强度;就顺纹抗压强度的变异系数而言,秦黑杨 1 号与陕林 3 号相近,均在

0.095~0.1,远高于秦黑杨 2 号的 0.067,因此秦黑杨 1 号与陕林 3 号顺纹抗压强度的变异程度大于秦黑杨 2 号。

横纹(全部)抗压强度对设计房屋的各种横梁以及搁栅等结构具有重要的参考意义。由表 5 可知,3 种杨木的弦向全部抗压强度均明显低于径向抗压强度,3 种杨木径向和弦向的横纹(全部)抗压强度大小排序为陕林 3 号>秦黑杨 1 号>秦黑杨 2 号。从变异系数来看,径向抗压强度全部大于弦向抗压强



度,秦黑杨 2 号的变异系数在径向和弦向均明显大于另外 2 个品种,因此在 3 个品种当中,秦黑杨 2 号的横纹(全部)抗压强度变异程度较大。由方差分析可知,3 个品种 Sig. 均为 0.000,表明 3 个品种间在横纹(全部)抗压强度方面差异性显著。通过多重比较分析对 3 个品种间两两比较,发现秦黑杨 1 号与陕林 3 号、秦黑杨 2 与陕林 3 号在横纹(全部)抗压强度方面均存在显著性,而秦黑杨 1 号与秦黑杨 2 号在该方面未表现出显著性,可归为一个级别。

从结构用木材角度分析,陕林 3 号的顺纹抗压强度比秦黑杨 1 号高出 15%,比秦黑杨 2 号高出 25%,陕林 3 号的横纹(全部)抗压强度比秦黑杨 1 号高出 16%~17%,比秦黑杨 2 号高出 22%~26%,因此,陕林 3 号比秦黑杨 1 号、2 号更适宜作为结构用木材。

**2.3.2 木材抗弯性能** 木材的抗弯弹性模量表示木材抵抗弹性形变的程度,是木材力学性能的代表性指标<sup>[12]</sup>。由表 5 可知,3 个品种中陕林 3 号的抗弯弹性模量明显大于秦黑杨 1 号和秦黑杨 2 号,高出 35%,而 2 个秦黑杨新品种间差距相对较小。根据木材物理力学性质分级表<sup>[11]</sup>,秦黑杨 1 号和秦黑杨 2 号的抗弯弹性模量属于中等,陕林 3 号的抗弯弹性模量属于高强度。从变异系数来看,陕林 3 号>秦黑杨 1 号>秦黑杨 2 号,因此陕林 3 号抗弯弹性模量的变异程度大于秦黑杨 1、2 号。由方差分析(表 5)可知 3 个品种 sig. 均为 0.000,表明 3 个品种间在抗弯弹性模量方面差异性显著。通过多重比较分析(表 6)对 3 个品种间两两比较,发现秦黑杨 1

号与陕林 3 号、秦黑杨 2 与陕林 3 号在抗弯弹性模量方面均存在显著性,而秦黑杨 1 号与秦黑杨 2 号在该方面未表现出显著性,可归为一个级别。

抗弯强度也是木材性能中的主要性能之一,在实际生活中运用广泛,例如房梁、木质地板、隔板等需要具备良好的抗弯强度的木材制成的产品<sup>[13]</sup>。根据测定结果,抗弯强度大小排序为陕林 3 号>秦黑杨 1 号>秦黑杨 2 号,其中陕林 3 号高出秦黑杨 1 号 20%、高出秦黑杨 2 号 24%,而秦黑杨 1 号与秦黑杨 2 号相近。根据木材物理力学性质分级表,秦黑杨 1 号和秦黑杨 2 号为低强度等级,陕林 3 号为中等强度等级;从变异系数来看,陕林 3 号>秦黑杨 1 号>秦黑杨 2 号,因此陕林 3 号抗弯强度的变异程度大于秦黑杨 1、2 号。通过多重比较分析(表 6)对 3 个品种间两两比较,发现秦黑杨 1 号与陕林 3 号、秦黑杨 2 与陕林 3 号在抗弯强度方面均存在显著性,而秦黑杨 1 号与秦黑杨 2 号在该方面未表现出显著性,可归为一个级别。

综合抗弯强度和抗弯弹性模量的数据进行分析,陕林 3 号在抗弯方面性能方面最佳,能够作为承重构件,更适合作为承受抗弯荷载的结构件使用,而秦黑杨的 2 个新品种刚度较低,质地相对松软,可以用于家具中一些弯曲部件的生产等。

**2.3.3 木材综合强度** 木材作为承重构件时,必须考虑其顺纹抗压强度和抗弯强度,所以通常用顺纹抗压强度和抗弯强度之和来表示木材的综合强度,以表明木材强度品质等级。3 种秦黑杨木材综合强度测定结果见表 7。

表 7 3 种秦黑杨木材的综合强度

Table 7 Comprehensive strength of the timber of three poplar species tested

MPa

木材综合强度 分级标准	甚低	低	中	高	甚高
	≤94.2	94.3~149.5	149.6~199.4	199.5~243.7	>243.7
秦黑杨 1 号		133.8			
秦黑杨 2 号		127.6			
陕林 3 号			158.7		

由表 7 可见,秦黑杨 1 号的木材综合强度为 133.8 MPa,秦黑杨 2 号的综合强度为 127.6 MPa,均小于陕林 3 号的综合强度 158.7 MPa,依据木材材性分级标准<sup>[6]</sup>,2 种秦黑杨杂交新品种木材的综合强度均<149.6 MPa,属于强度低的范围,陕林 3 号杨木的综合强度在 149.6~199.4 MPa,属于中等强度范围。作为结构用木材来讲,2 种秦黑杨杂交新品种木材的综合强度与陕林 3 号相比还有一定差距。

### 3 结论与讨论

木材利用主要在结构用木材和纤维工业用木材

2 个方面。从结构用木材方面考虑,密度大、干缩小、强度大者为好<sup>[14]</sup>。木材密度的大小对木材物理力学性质以及木材加工工艺性质有直接影响<sup>[15]</sup>,同时木材密度与力学性质之间存在正相关系<sup>[16]</sup>。

通过试样基本情况可知,秦黑杨 2 号的胸径和树高为 3 个品种中最大,分别为 19.10 cm 和 21.00 m。3 个品种 9 a 材积生长量大小排序为秦黑杨 2 号>秦黑杨 1 号>陕林 3 号。秦黑杨 2 号和秦黑杨 1 号材积生长量分别比对照组陕林 3 号大 36%、23%。

从结构木材利用角度来看,陕林 3 号在物理及力学性能方面的各项指标表现优异,具体表现在气

干密度、顺纹抗压强度、横纹(全部)抗压强度、抗弯弹性模量、抗弯强度较大,干缩系数适中,可作为承重构件;秦黑杨2号物理及力学性能稍差,气干密度较小,干缩最小,质地柔软且稳定,可用作家具中的弯曲件制作;秦黑杨1号物理及力学强度与秦黑杨2号相近,但整体高于秦黑杨2号,用途与秦黑杨2号类似。且秦黑杨1号、秦黑杨2号比陕林3号更适合刨花板制作。

从纤维工业利用角度来看,纤维长度越长、长宽比越大、壁腔比越小的木材是比较好的纤维用材料,所以秦黑杨1号的总体性能最佳,其次是陕林3号,最后是秦黑杨2号。当纤维长度 $>800\ \mu\text{m}$ ,长宽比 $>35$ ,壁腔比 $<1$ 时,该木材适宜作为制浆造纸原料<sup>[7]</sup>。3个品种均为上等造纸用材,且作为造纸用材秦黑杨1号综合性能要优于陕林3号和秦黑杨2号。

综上,秦黑杨1号在纤维形态分析中比对照组陕林3号性能更优,秦黑杨2号次之。但在综合物理力学性能方面陕林3号优于秦黑杨1号和秦黑杨2号。因此在未来培育杨树新品种时,可将二者优势结合,以期培育出生长快且木材材性良好的新品种。

## 参考文献:

- [1] 严艳兵,潘惠新.美洲黑杨无性系木材材性与生长性状遗传相关分析[J].中南林业科技大学学报,2021,41(5):74-81.  
YAN Y B, PAN H X. Genetic correlation analysis of wood property and growth traits in *Populus deltoides* clones[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2021, 41(5): 74-81. (in Chinese)
- [2] 巫明会,樊军锋,高建设,等.秦黑杨1号等美洲黑杨指纹图谱构建及遗传关系分析[J].西北林学院学报,2019,34(4):91-95.  
WU M H, FAN J F, GAO J S, et al. Construction of fingerprints and analysis of genetic relationship among *Populus deltoides* hybrids Qinheiyang No. 1[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(4): 91-95. (in Chinese)
- [3] 冯德君,赵泾峰,陈卫华.秦黑杨杂交新品种木材纤维形态及物理力学性质[J].西北林学院学报,2021,36(2):198-201,212.  
FENG D J, ZHAO J F, CHEN W H. Properties and fiber morphology of "Qinhei Yang" woods[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(3): 232-236, 272. (in Chinese)
- [4] GB/T 1927.1—4—2021. 无疵小试样木材物理力学性质试验方法[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [5] 陈爽,金小飞,杨庆.秦白杨、西北杨木材材性及纤维形态研究[J].西北林学院学报,2021,36(3):232-236,272.  
CHEN S, JIN X F, YANG Q. Properties and fiber morphology of the woods of the poplar cultivars Qinbaiyang and Xibei Yang[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(3): 232-236, 272. (in Chinese)
- [6] 成俊卿,杨家驹,刘鹏.中国木材志[M].北京:中国林业出版社,1992:758-761.
- [7] 方红,刘善辉.造纸纤维原料的评价[J].北京木材工业,1996,16(2):4.
- [8] 张黎,赵荣军,费本华.欧美杨107杨木材纤维形态分析[J].中国造纸,2008(5):28-31.  
ZHANG L, ZHAO R J, FEI B H. Morphological analysis of the fibers of *Populus × euramericana* cv. "74/76" [J]. China Pulp & Paper, 2008(5): 28-31. (in Chinese)
- [9] 赵林峰,邱向英.不同林龄杉木实生林物理力学性质变异研究[J].安徽农业大学学报,2021,48(5):726-732.  
ZHAO L F, QIU X Y. Study on the variation of physical and mechanical properties of Chinese fir seedling forest in different standages[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2021, 48(5): 726-732. (in Chinese)
- [10] 杨秀淦,郑会全,胡德活,等.杉木无性系木材干缩性与吸水性的变异[J].林业科技开发,2012,26(1):33-35.  
YANG X G, ZHEG H Q, HUA D H, et al. Variation analysis on the wood shrinkage and hygroscopicity in *Cunninghamia lanceolata* clones[J]. Journal of Forestry Engineering, 2012, 26(1): 33-35. (in Chinese)
- [11] 中国林业科学研究院木材工业研究所.中国主要树种的木材物理力学性质[M].北京:中国林业出版社,1982:106.
- [12] 金广然.层板与层板胶合木抗弯弹性模量的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [13] 童再康,俞友明,郑勇平.黑杨派新无性系木材物理力学性质研究[J].林业科学研究,2002,15(4):450-456.  
TONG Z K, YU Y M, ZHENG Y P. A study on timber physical and mechanical properties of new *Aigeiros* clones[J]. Forest Research, 2002, (4): 450-456. (in Chinese)
- [14] 周海宾,吕建雄,徐伟涛.我国结构用木材标准体系构建[J].木材工业,2012,26(3):44-47.  
ZHOU H B, LV J X, XU W T. Establishing a standard system for structural wood products in China[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2012, 26(3): 44-47. (in Chinese)
- [15] 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):21-25,31.  
WU M, WU L X, TANG Y X, et al. Study on the wood characteristics of southern *Populus nigra* clone species[J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2005, (4): 21-25, 31. (in Chinese)
- [16] 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].安徽农业大学学报,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)