

## 糠椴全树木材密度和纤维形态的研究

杨永强<sup>1,2</sup>, 郭平平<sup>1\*</sup>, 赵西平<sup>1</sup>, 赵鹏辉<sup>1</sup>, 柳子好<sup>1</sup>, 杨紫菲<sup>1</sup>

(1. 河南科技大学园艺与植物保护学院, 洛阳 471000; 2. 平江县林业局, 平江 414500)

**摘要:** 木材密度和纤维尺寸是造纸的重要参考指标。为了给糠椴全树造纸提供理论依据, 以东北地区常见的阔叶树种糠椴 (*Tilia mandshurica*) 为对象, 对树干、树枝和树根之间的密度、纤维尺寸进行比较。结果表明: 糠椴的基本密度、绝干密度和气干密度大小均为树根>树干>树枝, 全树的纤维占比达到 50%以上。树干平均纤维长度、宽度、壁腔比和长宽比分别为 834.13  $\mu\text{m}$ 、31.05  $\mu\text{m}$ 、1.04 和 28.13。树根和树枝的平均纤维长度、宽度、壁腔比、长宽比分别为 978.57  $\mu\text{m}$ 、32.91  $\mu\text{m}$ 、0.89、30.90 和 729.26  $\mu\text{m}$ 、25.47  $\mu\text{m}$ 、0.72 和 30.87。对造纸而言, 糠椴树干和树根的密度指标优于树枝, 树根和树枝的纤维质量优于树干, 树根和树枝属于优质纤维原料, 树干属于中等纤维原料。

**关键词:** 糠椴; 树干; 树根; 树枝; 密度; 纤维

中图分类号: S781.1; S792.36

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2022)05-0730-05

### Study on wood density and fiber size of *Tilia mandshurica*

YANG Yongqiang<sup>1,2</sup>, GUO Pingping<sup>1</sup>, ZHAO Xiping<sup>1</sup>, ZHAO Penghui<sup>1</sup>, LIU Ziyu<sup>1</sup>, YANG Zifei<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000;

2. Pingjiang County Forestry Bureau, Pingjiang 414500)

**Abstract:** Wood density and fiber size are important reference indexes for papermaking. To provide a theoretical basis for papermaking of *Tilia mandshurica*, with a common broad-leaved tree species (*T. mandshurica*) growing in Northeast China as the object, the differences in wood density and fiber size between roots, trunks and branches were compared. The results showed that: the average values of basic density, oven-dried density and air-dried density of roots were the most, followed by the trunks and branches. The fiber proportion of the whole tree was more than 50%. The average values for the trunks, roots and branches were 834.13, 978.57, 729.26  $\mu\text{m}$  of the fiber length, 31.05, 32.91, 25.47  $\mu\text{m}$  of the width, 1.04, 0.89, 0.72 of the thickness-diameter ratio and 28.13, 30.90, 30.87 of the length-width ratio, respectively. For papermaking, the density indexes of *T. mandshurica* trunks and roots were better than those of the branches, and the fiber quality of roots and branches was better than that of trunks, which indicated that the roots and branches of *T. mandshurica* belong to the high quality fiber raw material, and the trunks belong to the medium fiber raw materials.

**Key words:** *Tilia mandshurica*; trunk; roots; branches; density; fiber

木材的树干是制浆造纸的重要原材料<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 70 年代开始, 随着人口增加, 人们对纸张需求逐步扩大, 导致木材供给逐步下降<sup>[2]</sup>。而木材资源紧缺, 成为制约造纸工业生产的瓶颈<sup>[3]</sup>, 寻求更广泛的纤维材料来源就成为目前首要解决的问题。根据吴富桢的研究<sup>[4]</sup>, 树木树干的材积为全树的 2/3, 剩余的树枝和树根材积各占 1/6 左右, 由于缺乏对采伐剩余物科学利用的理念和技术支撑, 部分采伐

剩余物堆放在林区, 导致剩余的枝和根具有大量纤维材料而没有得到有效利用, 更有甚者会造成火灾等严重危害<sup>[5]</sup>。目前我国对采伐剩余物的利用大多集中在造纸、纤维板等工业用途。

糠椴 (*Tilia mandshurica*) 是椴树属阔叶材, 又名辽椴, 主要分布于我国东北各省及河北、内蒙古等地, 椴属木材是东北地区 7 种重要阔叶树种之一, 在东北地区单位面积的蓄积量在 65.03~385.31

收稿日期: 2021-12-04

基金项目: 国家自然科学基金 (31000265, 32171710) 资助。

作者简介: 杨永强, 硕士研究生。E-mail: yang12710@163.com

\* 通信作者: 郭平平, 讲师。E-mail: guopingping\_1982@126.com

$\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  之间, 比造纸常用木材桦树单位面积的蓄积量稍多, 比杨树的蓄积量略少<sup>[6]</sup>。糠椴的树干木材纹理直, 结构细致而均匀, 重量较轻, 质地软, 是重要的结构材树种和造纸材树种<sup>[7]</sup>。目前, 关于糠椴树根和树枝的木材是否能够用于造纸还尚未可知。木材密度和纤维尺寸是造纸原材料筛选的重要因素, 对它们认识欠缺是制约糠椴广泛应用的一个重要因素。因此, 本研究以糠椴的树干、树根和树枝为研究对象, 比较分析了糠椴各部位的木材密度、纤维尺寸的差异, 探讨了糠椴全树造纸的可行性, 期望为糠椴全树造纸提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

木材样品采自东北林业大学生态系统定位研究站, 在样地选取树体高大、生长状况良好的糠椴样树进行采样, 样品基本情况见表 1。用生长锥在 1.3 m 处钻取从树皮到髓心东西、南北方向的树芯, 用高枝锯采取树冠上生长旺盛的枝条, 直径 5~11 cm, 截取 20~30 cm。对近地表的根部进行挖掘, 直径 5~8 cm, 截取 10~15 cm。

表 1 糠椴基本数据

Table 1 Basic data of *T. mandshurica*

编号	树高/m	胸径/cm	树皮率/%	冠幅/m
1	19	29.1	10.69	4.50
2	21	34.1	10.83	4.75
3	22	32.1	11.46	4.25
4	22	33.5	11.65	3.75
5	21	33.7	11.50	4.00

### 1.2 方法

**1.2.1 木材密度** 树枝和树根样品木材密度通过国家标准《木材密度测定方法》(GB/T1933—2009) 进行测定, 树干木材密度使用东北科学实验室的测量结果<sup>[7]</sup>。

**1.2.2 组织比量** 样品劈出  $1 \text{ cm}^3$  的小木块, 通过水煮排气后用丙三醇和乙醇 1:1 混合溶液对样品进行软化, 通过石蜡切片法使用莱卡切片机切出 14~16

$\mu\text{m}$  横切面, 使用番红染色后制成永久玻片, 对糠椴每个部位的连续 5 个年轮内的组织占比进行测量。

**1.2.3 纤维形态** 样品在心边材分界处劈出火柴棒粗细的小木条, 通过水煮排气后采用 30% 硝酸离析法, 离析成功后制成临时玻片。采用 Mshot (MD6.4) 数字成像系统进行拍照、每棵样树的每个部位用木材解剖测量系统 (TDY-5.2) 随机测量 60 根以上的纤维长度、宽度等。

### 1.3 数据分析

木材密度、组织比量、纤维长度、宽度、长宽比等指标使用 SPSS-23 进行单因素方差分析, 各部位间进行多重比较, Origin 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 木材密度

木材密度是造纸木材原料进行筛选的重要指标之一, 基本密度和绝干密度经常用以科学研究, 气干密度经常被用于工业生产。由表 2 可知, 基本密度在 3 个部位间的差异不显著, 绝干密度和气干密度在 3 个部位间略有差异。糠椴树干的基本密度、绝干密度和气干密度分别为  $0.33$ 、 $0.39$  和  $0.42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 分别比糠椴树根的密度小  $0.06$ 、 $0.05$  和  $0.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 比树枝的密度大  $0.01$ 、 $0.05$  和  $0.05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

表 2 糠椴木材密度

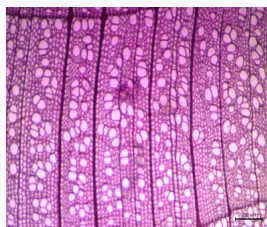
Table 2 Wood density of *T. mandshurica* ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )

密度	树干	树根	树枝
基本密度	$0.33 \pm 0.03^a$	$0.39 \pm 0.08^a$	$0.32 \pm 0.02^a$
绝干密度	$0.39 \pm 0.04^b$	$0.44 \pm 0.06^b$	$0.34 \pm 0.03^a$
气干密度	$0.42 \pm 0.04^{ab}$	$0.45 \pm 0.06^b$	$0.37 \pm 0.03^a$

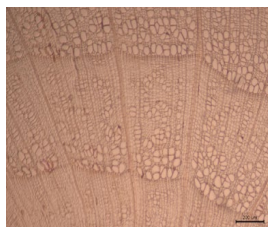
注: 字母相同代表不同部位间差异性不显著 ( $P > 0.05$ ), 字母不同代表不同部位间差异性显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 木纤维

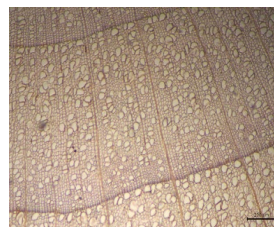
木纤维在木材中起支撑的作用。从图 1 中可以看出, 糠椴为散孔材, 木质部是由木纤维、管孔、薄壁组织、木射线等木材组织组成, 其中木纤维的含量非常丰富。



糠椴树干



糠椴树根



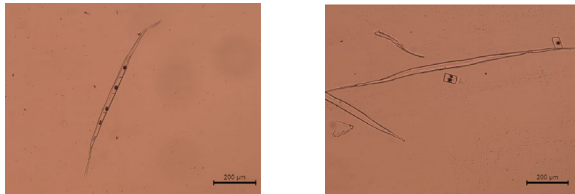
糠椴树枝

图 1 糠椴的显微构造

Figure 1 Microstructure of *T. mandshurica*

表 3 糠椴的组织比量

组织比量	树干	树根	树枝
管孔	27.16±5.26 <sup>ab</sup>	21.39±8.48 <sup>a</sup>	32.30±7.66 <sup>b</sup>
木射线	12.20±2.79 <sup>a</sup>	15.94±3.51 <sup>b</sup>	17.00±3.78 <sup>b</sup>
薄壁组织	5.38±1.71 <sup>a</sup>	4.13±2.48 <sup>a</sup>	9.24±2.43 <sup>b</sup>
木纤维	60.58±4.01 <sup>b</sup>	51.94±6.06 <sup>a</sup>	50.65±4.67 <sup>a</sup>



纤维状管胞

韧型纤维

图 2 糠椴的纤维形态

Figure 2 Fiber morphology of *T. mandshurica*

由表 3 可知, 糠椴的管孔占比、木射线占比、

薄壁组织占比、纤维组织占比在树干、树根和树枝木材中均为显著性差异。与糠椴树干、树根木材相比, 树枝木材的管孔占比、木射线占比、薄壁组织占比均为最多, 纤维组织占比最少, 树干木材的木纤维占比最多, 占比达到 60.58%, 树根和树枝木材的木纤维占比均达到一半以上。

糠椴木材的纤维有纤维状管胞和韧型纤维两种, 从图 2 中可以看出, 纤维状管胞的壁上有具缘纹孔, 长度略短, 细胞壁厚, 两端稍尖。韧型纤维长于纤维状管胞, 木纤维两端尖锐, 细胞壁较厚, 呈纺锤型。纤维状管胞在糠椴木纤维中所占比例非常小, 而且在制浆造纸工艺中, 韧型纤维与纤维状管胞形态差异对制浆的影响几乎可忽略不计<sup>[8]</sup>。因此, 本研究对韧型纤维和纤维状管胞的木纤维尺寸和分布并未加以区分。

表 4 糠椴的纤维尺寸

变量	树干	树根	树枝
纤维长度/ $\mu\text{m}$	834.13±225.26 <sup>b</sup>	978.57±245.50 <sup>c</sup>	729.26±169.48 <sup>a</sup>
纤维宽度/ $\mu\text{m}$	31.05±6.61 <sup>b</sup>	32.91±7.83 <sup>c</sup>	25.47±8.01 <sup>a</sup>
壁腔比	1.04±0.42 <sup>c</sup>	0.89±0.36 <sup>b</sup>	0.72±0.37 <sup>a</sup>
长宽比	28.13±10.01 <sup>a</sup>	30.90±9.29 <sup>b</sup>	30.87±10.72 <sup>b</sup>

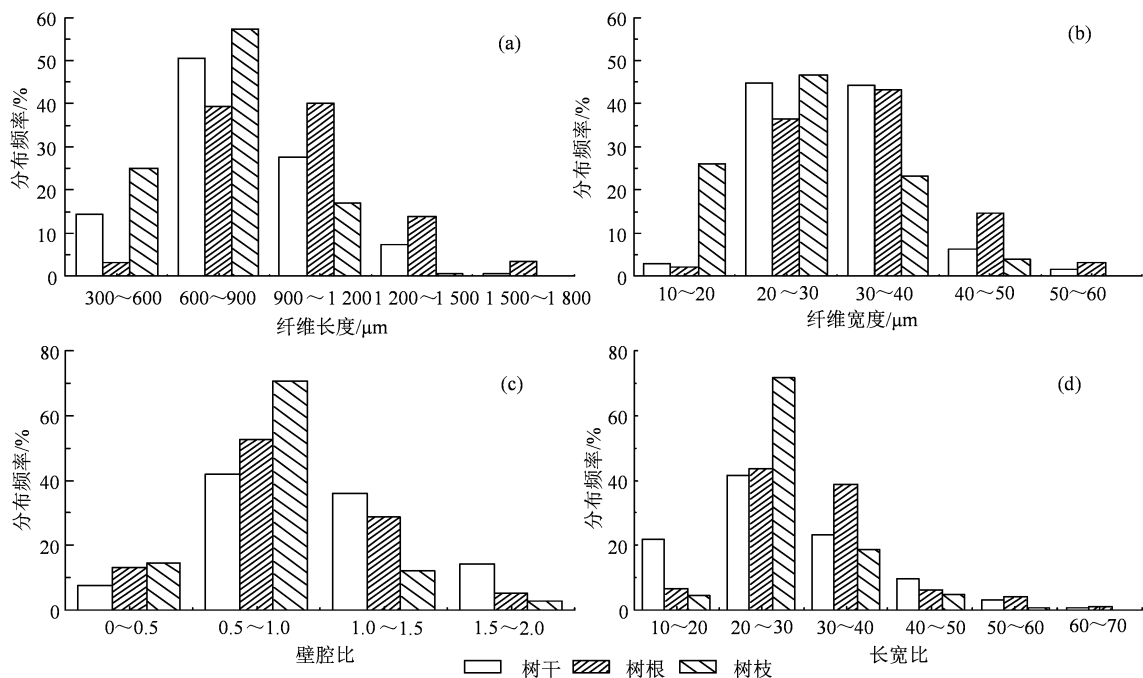


图 3 糠椴木材的纤维分布

Figure 3 Fiber distribution of *T. mandshurica*

木纤维的含量和尺寸对纸浆性能和造纸潜力有很大影响<sup>[9-10]</sup>。由表 4 可知, 糠椴树干、树根、树枝木材的纤维长度、宽度、壁腔比、长宽比关系呈

显著相关, 糠椴木材的平均纤维长度为树根>树干>树枝, 树根木材的平均纤维长度为 978.57  $\mu\text{m}$ , 分别比树干、树枝木材的平均纤维长度长 144.44 和

249.30  $\mu\text{m}$ 。糠椴木材的平均纤维宽度为树根 > 树干 > 树枝, 按照《中国木材志》木纤维宽度的分级定义<sup>[11]</sup>, 糠椴树枝木材的纤维属于中等纤维, 树干和树根木材的纤维属于甚粗纤维。树干木材的纤维壁腔比大于 1, 树根和树枝木材的纤维壁腔比小于 1。纤维的结合程度还与纤维长宽比有关, 糠椴树干木材的平均长宽比是 28.13, 树根和树枝木材的平均长宽比均在 30 以上。

仅仅明确木纤维的平均尺寸对制浆造纸来说还不够, 还需要了解木纤维的尺寸分布范围。纤维长度决定纤维制品质量, 国际木材解剖学会 (IAWA) 对纤维长度的分级标准分别以 900 和 1 600  $\mu\text{m}$  为短中级长度分界线、中长级长度分界线<sup>[12]</sup>。糠椴树干木材的纤维长度分布在 350~1 600  $\mu\text{m}$  之间, 属于短、中级纤维, 纤维长度以 600~900  $\mu\text{m}$  为主, 900~1 200  $\mu\text{m}$  为辅, 短级纤维占比 64.78%, 中级纤维占比 35.22%。树根木材的纤维长度分布为 400~1 700  $\mu\text{m}$ , 短、中、长纤维各有分布, 纤维长度以 900~1 200  $\mu\text{m}$  为主, 600~900  $\mu\text{m}$  为辅, 短级纤维占比 42.5%, 中级纤维占比 53.7%, 长纤维占比小于 4%。树枝木材的纤维长度分布为 350~1 400  $\mu\text{m}$ , 属于短中级纤维, 纤维长度以 600~900  $\mu\text{m}$  为主, 300~600  $\mu\text{m}$  为辅, 短级纤维占比 82.3%, 中级纤维占比 17.7%, 无长纤维 (图 3 (a))。糠椴各部位的纤维宽度在 10~60  $\mu\text{m}$  之间, 树干木材的纤维以 20~30  $\mu\text{m}$  为主, 30~40  $\mu\text{m}$  为辅, 约占总体的 89.04%。树根木材的纤维以 30~40  $\mu\text{m}$  为主, 20~30  $\mu\text{m}$  为辅, 约占总体的 79.5%, 树枝木材的纤维宽度以 20~30  $\mu\text{m}$  为主, 10~20  $\mu\text{m}$  为辅, 约占总体的 72.6% (图 3 (b))。壁腔比的分布范围是 0~2, 树干木材的纤维壁腔比小于 1 的约占 49.50%, 树根木材的纤维壁腔比小于 1 的约占 65.8%, 树枝木材的纤维壁腔比小于 1 的约占 85.2% (图 3 (c))。长宽比的分布范围是 10~70, 树干木材的纤维长宽比小于 30 的约占 63.45%, 树根木材的纤维长宽比小于 30 的约占 50%, 树枝木材的纤维长宽比小于 30 的约占 76% (图 3 (d))。

### 3 讨论与结论

木材密度是评价木材性质的重要指标, 木材密度与木纤维的联系非常密切<sup>[13]</sup>。在相同条件下, 密度越大的木材强度与硬度越大, 木纤维排列也越紧密, 若密度过大, 则木材纤维排列比较紧密, 这将增加打浆过程机械的损耗率; 反之若密度小, 木材纤维排列比较松散, 虽然能顺利打浆但是会影响木

浆质量<sup>[14]</sup>。糠椴树干、树根、树枝的密度分布范围分别是 0.33~0.42  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 、0.39~0.45  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  和 0.32~0.37  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 常见的优良造纸树种杨树可以制作出优质的纸浆, 它的密度分布范围是 0.33~0.51  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ <sup>[15]</sup>。结合对比糠椴密度范围, 发现糠椴树干和树根的密度属于以上范围, 树枝的密度略超出这个范围。

纤维含量超过 50% 的材料就能制造出优良的纸浆<sup>[16]</sup>, 糠椴树干、树根、树枝的纤维含量分别达到 60.58%、51.94% 和 50.65%, 均达到制造纸浆的要求。木纤维的尺寸决定着木材纤维的适用范围<sup>[17]</sup>。据研究发现纤维长度大于 330  $\mu\text{m}$  用于造纸就不会对纸张强度造成影响, 并且长纤维和短纤维的结合更能提高纸张抗撕裂能力<sup>[18-19]</sup>。糠椴树干和树枝木材的纤维长度为短、中级纤维, 树根木材的纤维长度则短、中、长级各有分布, 树干、树根、树枝的短、中级纤维总占比在 90% 以上, 树干、树根和树枝木材的平均纤维长度都在 700  $\mu\text{m}$  以上, 造纸常用木材杨树短、中级纤维占比在 95% 以上, 纤维平均长度在 1 000  $\mu\text{m}$  左右, 所以糠椴树干、树根和树枝都可以做纤维长度为 600~1 000  $\mu\text{m}$  的吸墨纸等, 树干和树根还可以做纤维长度为 800~1 000  $\mu\text{m}$  的打字纸等<sup>[20-21]</sup>。糠椴树干、树根和树枝的纤维宽度主要集中在 20~40  $\mu\text{m}$  之间, 纤维宽度又分成细胞壁厚和细胞腔宽, 细胞腔大而细胞壁薄的纤维柔韧性好。纤维壁腔比是决定纤维原料质量的重要指标, 糠椴树干木材纤维壁腔比小于 1 的纤维占 50%, 树根木材纤维壁腔比小于 1 的纤维占 65.8%, 树枝木材纤维壁腔比小于 1 的纤维占 85%, 树干木材纤维平均壁腔比等于 1, 树枝和树根木材纤维平均壁腔比均小于 1, Runkel 认为壁腔比等于 1 为衡量纤维原料的标准, 对壁腔比小于 1 的纤维进行打浆就可以使纤维之间结合更加紧密, 形成高强度的纸张, 壁腔比等于 1 的是中等纤维原料, 大于 1 是劣质原料<sup>[22]</sup>。造纸常用木材杨树纤维的平均壁腔比在 0.5 以下, 属于优等材料, 虽然糠椴树干、树根、树制的纤维壁腔比均大于杨树, 但是, 糠椴树根和树枝的纤维同样属于优质范畴, 树干的纤维也在中等范畴。纤维结合程度还与纤维长宽比有关<sup>[23]</sup>, 糠椴树干木材纤维长宽比大于 30 的纤维占 36.55%, 树根木材纤维长宽比大于 30 的纤维占 50%, 树枝木材纤维长宽比大于 30 的纤维占 23%, 国内一般认为阔叶树材纤维长宽比在 30~45 最适合造纸<sup>[24]</sup>, 但是纤维在打浆过程中会发生纤维润胀效应, 所以对长宽比作为造纸打浆的一项标准要理性看待<sup>[25]</sup>。

基于木材密度和纤维尺寸分析结果, 糠椴全树的纤维占比达到 50%以上, 有作为优质纤维原料的潜质, 树干木材密度满足生产优质木浆的需求, 纤维属于中等造纸原料, 可以做吸墨纸、打字纸等。树根木材密度满足生产优质木浆的需求, 纤维均属于优质造纸原料, 可以做吸墨纸、打字纸等。树枝木材密度不满足生产优质木浆的需求, 纤维属于优质造纸原料, 可以做吸墨纸等。

## 参考文献:

- [1] SALEM M Z M, ABO ELGAT W A A, TAHA A S, et al. Impact of three natural oily extracts as pulp additives on the mechanical, optical, and antifungal properties of paper sheets made from *Eucalyptus camaldulensis* and *Meryta sinclairii* wood branches[J]. *Materials* (Basel), 2020, 13(6): 1292.
- [2] 陈水合. 木材加工业促进我国林业生态全面大发展[J]. *中国人造板*, 2021, 28(5): 35-37.
- [3] 管若伶, 负子平, 张立晨, 等. 椰衣原料造纸可行性探究[J]. *绿色科技*, 2021, 23(10): 196-199.
- [4] 吴富桢. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [5] 杨春梅, 蒋婷, 马岩, 等. 自走式林业剩余物削片机设计与试验[J]. *林产工业*, 2018, 45(8): 9-13.
- [6] 曾伟生, 孙乡楠, 王六如, 等. 东北林区 10 种主要森林类型的蓄积量、生物量和碳储量模型研建[J]. *北京林业大学学报*, 2021, 43(3): 1-8.
- [7] 东北林学院木材学实验室, 吉林省林科所林产工业研究室. 小兴安岭林区七种重要阔叶树木材物理力学性质试验报告[J]. *东北林学院学报*, 1978, 6(1): 119-142.
- [8] 刘一星, 赵广杰. 木质资源材料学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [9] JOCHEM D, BÖSCH M, WEIMAR H, et al. National wood fiber balances for the pulp and paper sector: an approach to supplement international forest products statistics[J]. *For Policy Econ*, 2021, 131: 102540.
- [10] SUN C Y. An investigation of China's import demand for wood pulp and wastepaper[J]. *For Policy Econ*, 2015, 61: 113-121.
- [11] 成俊卿, 杨家驹, 刘鹏. 中国木材志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [12] 刘亚梅, 王传文, 方长华, 等. I-69 杨应拉木生长应力及纤维形态特征的研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2007, 34(4): 534-539.
- [13] 李权, 林金国, 齐文玉, 等. 酸枣人工林木材基本密度和纤维形态径向变异研究[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(2): 276-279.
- [14] 薛崇昀, 贺文明, 聂怡, 等. 竹柳材性、纤维质量及制浆性能的研究[J]. *中华纸业*, 2009, 30(15): 60-63.
- [15] 石传喜, 于英良, 朱莹琦, 等. 6 个杨树无性系木材密度及干缩性能差异[J]. *林业工程学报*, 2020, 5(5): 57-62.
- [16] 温道远, 韩晓雪, 杨金橘, 等. 泡桐纤维变化及其制浆造纸研究[J]. *林产工业*, 2020, 57(2): 41-45.
- [17] 陈铭, 郭琳, 郑笑, 等. 中国 15 个主产区毛竹纤维形态比较[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, 42(6): 7-12.
- [18] CHAUHAN V S, KUMAR N, KUMAR M, et al. Weighted average fiber length: an important parameter in papermaking[J]. *Taiwan J For Sci*, 2013, 28(2): 51-65.
- [19] 王鹏程, 代永刚, 汪佑宏, 等. 竹龄对梁山慈竹纤维形态特征的影响[J]. *安徽农业大学学报*, 2018, 45(5): 853-860.
- [20] 任海青, 周海滨. 三倍体毛白杨木材化学成分和纤维形态的分析[J]. *安徽农业大学学报*, 2006, 33(2): 160-163.
- [21] 翁文源. 杨树木材纤维长度变异及其在造纸中的应用[J]. *湖北林业科技*, 2007, 36(2): 31-33.
- [22] VERVERIS C, GEORGHIOU K, CHRISTODOULAKIS N, et al. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production[J]. *Ind Crops Prod*, 2004, 19(3): 245-254.
- [23] 齐锦秋, 池冰, 谢九龙, 等. 慈竹纤维形态及组织比量的研究[J]. *中国造纸学报*, 2013, 28(3): 1-4.
- [24] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [25] HANIF M P M, ROZYANTY A R, KAHAR A W M, et al. Effect of carbonized wood fiber and carbon black loading on density, tensile properties, electrical conductivity and swelling of ethylene vinyl acetate copolymer composites[J]. *Mater Today Proc*, 2019, 16: 2016-2022.