

文章编号:1001—7380(2025)01—0015—05

兴安县不同产地毛竹纤维形态和组织比量研究

梁名娟¹,常邦国^{1*},周涵蕾²,韦在祥³,陈泽裕³,李雪蓓³,黎庆龙³

(1. 广西兴安县林业局,广西 兴安 541300;2. 广西大学林学院,广西 南宁 530004;3. 广西西大检测有限公司,广西 南宁 530009)

摘要:为促进兴安县毛竹的开发利用,采用离析法和显微镜观察法对兴安县华江锐炜、江头林场、龙潭江、洞上、白花岭林场、反壁江6个不同产地毛竹纤维形态和组织比量展开研究,评价其作为造纸原料的优劣,结果表明:兴安县6个产地毛竹纤维长度范围为2.21—2.51 mm,纤维宽度范围为16.35—17.87 μm ,纤维长宽比均超过100,;纤维壁厚范围为9.67—13.07 μm ;纤维腔宽范围为4.80—7.49 μm ;长纤维(>1.6 mm)占比范围为81%—89%;维管束密度范围为2.09—2.83 个/ mm^2 。兴安县6个产地毛竹均达到优质造纸原料的要求。

关键词:不同产地;毛竹;纤维形态;组织比量;兴安县

中图分类号:Q949.71⁺4.2;S718.3;S795.7;S722.1⁺2 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2025.01.003

Fiber morphology and tissue proportion of *Phyllostachys edulis* from different producing areas in Xing'an

Liang Mingjuan¹, Chang Bangguo^{1*}, Zhou Hanlei², Wei Zaixiang³, Chen Zeyu³, Li Xuebei³, Li Qinglong³

(1. Xing'an Forestry Bureau, Xing'an 541300, China; 2. Forestry College of Guangxi University, Nanning 530004, China; 3. Guangxi Xida Testing Co., Ltd, Nanning 530009, China)

Abstract: To facilitate the development and utilization of moso bamboo in Xing'an County and enhance its economic value, the morphology and tissue proportion of the fibers from 6 producing areas, i.e. Huajiang Ruiwei, Jiangtou Forest Farm, Longtanjiang, Dongshang, Baihualing Forest Farm and Fanbijiang in Xing'an County, were studied by using the method of isolation and microscopic observation, and the advantages and disadvantages of fibers as papermaking materials were evaluated. The results indicated that the fiber length of moso bamboo from six areas in Xing'an County ranged from 2.21 mm to 2.51 mm, the fiber width ranged from 16.35 μm to 17.87 μm , the length-to-width ratio exceeded 100; the fiber wall thickness ranged from 9.67 μm to 13.07 μm ; the fiber lumen width ranged from 4.80 μm to 7.49 μm ; the proportion of long fiber (>1.6 mm) ranged from 81% to 89%; the vascular bundle density ranged from 2.09 to 2.83 per mm^2 . To sum up, the moso bamboo from six production areas meets the requirement of high-quality papermaking raw material.

Key words: Different producing area; *Phyllostachys edulis*; Fiber morphology; Tissue proportion; Xing'an

竹类植物属禾本科,常见于热带、亚热带地区,我国竹资源丰富,据统计,我国竹类植物共70余属1000种以上,竹林面积达672.74万 hm^2 ,集中分布在福建、江西、广西等地。2017年广西大径材毛竹出产量为44992万根,居全国第2位^[1-2]。除本身蓄积量大外,竹类的生长周期较短,通常认为4年生以上毛竹即达到工艺成熟年龄,同时竹材的伐后再生能力远超木材,在合理的营林管理措施下,可多

次采伐,具有良好的可持续发展前景。

兴安县位于广西东北部,属中亚热带季风气候,是我国的毛竹主产区之一,种植面积超3.3万 hm^2 ^[3-4]。虽然兴安县的毛竹产量高,但兴安县毛竹资源的开发利用还没有得到充分发挥,毛竹自用率低,经济效益差^[5]。当前,我国造纸原料短缺,木浆供给不足,而竹材生长迅速、蓄积量大、纤维长,是理想的造纸原材料^[6-9]。鉴于此,对兴安县6个产地毛竹

收稿日期:2024-12-08;修回日期:2025-01-06

基金项目:大学生创新训练项目(S202210593321)

作者简介:梁名娟(1982-),广西兴安人,工程师,大学本科毕业。主要从事林产品加工综合利用工作。E-mail:Liangmj2000@163.com

*通信作者:常邦国(1990-),广西兴安人,工程师。主要从事林产品加工综合利用工作。E-mail:874925494@qq.com

的纤维形态和组织比量展开研究,分析其作为造纸原材料的适宜性,为兴安县毛竹的开发利用提供参考,同时对缓解我国造纸原材料短缺有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验样本采集于兴安县华江锐炜、江头林场、龙潭江、洞上、白花岭林场、反壁江 6 个主要生长区,各取 20 株。

表 1 兴安县 6 个产地具体情况

产地	海拔/m	经纬度
华江锐炜	281.0	110°53'E 25°78'N
江头林场	472.8	110°57'E 25°83'N
龙潭江	348.4	110°44'E 25°80'N
洞上	298.7	110°41'E 25°71'N
白花岭林场	652.0	110°38'E 25°43'N
反壁江	506.0	110°23'E 25°38'N

1.2 试验方法

1.2.1 毛竹纤维形态测定 每株毛竹选择自下而上第 10 节中间竹材,自然风干后剔除竹黄和叶青,然后将竹材沿径向均分为 5 等份,依次标记为 A(近竹黄)、B、C(竹中)、D、E(近竹青),取 A、C、E 部分进行试验。

将试材切为火柴棒大小,浸入等体积的 95%冰醋酸和 30%过氧化氢混合液中,置于 65 ℃水浴锅中,离析 24 h 后使用蒸馏水清洗,然后在试管中振荡至竹棒纤维完全分离,随机选取离析后的纤维置于光学显微镜下测量长度、宽度、壁厚、腔宽,同 1 部位每次测量 30 根,重复 3 次。记录 A、C、E 部分的平均值。

1.2.2 毛竹组织比量测定 取 A、C、E 部分竹材,软化后切片,使用高目砂纸反复打磨至切面光滑,通过体视显微镜观察纤维鞘区域、薄壁细胞区域,利用软件对采集的维管束图片进行处理及测量。记录 A、C、E 部分平均值。

1.3 数据处理

使用 Excel 及 SPSS 26 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 毛竹纤维形态分析

兴安县 6 个不同产地毛竹的纤维长度、纤维宽度、纤维长宽比、纤维壁厚及腔宽及毛竹纤维形态方差分析如表 2 所示,毛竹形态特征径向变异如表

3 所示,不同产地毛竹纤维长度分布如表 4 所示。

2.1.1 纤维长度 纤维长度是评价造纸原材料品质的一个重要指标,在一定范围内(0.4—5.0 mm),纤维长度越长,所生产的纸张单位面积中纤维交织的次数较多,成纸的耐破度、耐折度和抗张强度越优异^[10]。兴安县 6 个产地毛竹纤维长度分别为江头林场 2 513.86 μm、华江锐炜 2 445.62 μm、反壁江 2 330.88 μm、龙潭江 2 324.08 μm、白花岭林场 2 298.54 μm、洞上 2 209.43 μm。我国竹纤维造纸标准规定长于 1.6 mm 的竹纤维为长纤维,6 个产地毛竹纤维长度均为长纤维,较针叶材短(3 000—4 000 μm),长于阔叶材(1 400 μm 左右)。

产地对毛竹纤维长度有较大影响,方差分析结果为极显著。江头林场、白花岭林场及反壁江纤维长度的径向变化规律为中部纤维较长,外侧次之,内侧最短;华江锐炜和龙潭江纤维长度的变化规律为内侧纤维最长,外侧次之,内侧最短;洞上纤维长度径向变化规律为外侧纤维最长,中部次之,内侧最短。6 个产地毛竹纤维长度径向变化没有明显规律。

纤维长度分布频率是决定纸浆原料配合率的关键指标。由表 4 可知,6 个产地毛竹纤维长度最大频率均是 2 000—2 500 μm,其次为 1 500—2 000 μm 和 2 500—3 000 μm,表明 6 个产地毛竹均可作为造纸原料的长纤维来源^[11]。

2.1.2 纤维宽度 纤维宽度对成纸性能有一定影响,表现为纤维宽度大,则纤维强度大,但纤维结合力较差。兴安县 6 个产地毛竹纤维宽度分别为江头林场 16.75 μm、华江锐炜 17.87 μm、反壁江 17.82 μm、龙潭江 16.35 μm、白花岭林场 17.66 μm、洞上 16.92 μm。华江锐炜产毛竹纤维最粗,龙潭江产最细,但两者差仅为 1.52 μm。

产地对毛竹纤维宽度有较大影响,方差分析结果为极显著。洞上产毛竹纤维宽度中部最大,两侧次之,和之前的报道一致。但除华江锐炜产毛竹内侧纤维宽度最大外,江头林场、龙潭江、百花岭林场和反壁江均是外侧纤维宽度最大,这种差异可能是不同产地环境不同导致的。

2.1.3 纤维长宽比 纤维长宽比是决定成纸质量的重要因素,通常细而长的纤维具有更多的纤维交织次数,成纸强度和撕裂度好,适宜用作制浆造纸原料,但长宽比小的竹材柔软性更好。一般来讲长宽比至少大于 35 才能满足最低的造纸要求,大于

100 则达到优良原料等级^[12]。兴安县 6 个产地毛竹纤维长宽比分别为江头林场 160、华江锐炜 145、反壁江 141、龙潭江 151、白花岭林场 139、洞上 139,均大于 100,是优良的造纸原料^[12]。

产地对毛竹纤维长宽比有较大影响,方差分析结果为极显著。6 个产地毛竹径向变化规律依照范围上下限大小排序为:竹中(141—177)>近竹黄(130—162)>近竹青(126—152),和安徽毛竹径向变异规律一致^[13]。

2.1.4 纤维壁厚 毛竹纤维细胞壁越厚,则纤维越僵硬不易被压扁,彼此间结合强度小,成纸质地疏松,吸水性好;壁越薄的纤维接触面越大、结合强度越高,从而压扁性越好,成纸质地紧密,抗张、耐破强度高^[14]。兴安县 6 个产地毛竹纤维壁厚分别为江头林场 9.94 μm、华江锐炜 13.07 μm、反壁江 10.33 μm、龙潭江 10.47 μm、白花岭林场 11.45 μm、洞上 9.67 μm。洞上产毛竹纤维壁厚小,低于慈竹等竹材,适宜用作高质量纸张。

产地对毛竹纤维壁厚有较大影响,方差分析结果为极显著。华江锐炜、龙潭江、白花岭林场和反壁江产毛竹外侧纤维壁厚最大,和慈竹^[15]、麻竹、大木竹^[11]等变化规律一致。

2.1.5 纤维腔宽 兴安县 6 个产地毛竹纤维腔宽分别为江头林场 6.81 μm、华江锐炜 4.80 μm、反壁江 7.49 μm、龙潭江 5.99 μm、白花岭林场 6.20 μm、洞上 7.24 μm。反壁江产毛竹最大,华江锐炜最小。

产地对毛竹纤维腔宽有较大影响,方差分析结果为极显著。华江锐炜、白花岭林场产毛竹内侧纤维腔宽最大,江头林场、洞上外侧纤维腔宽最大,而龙潭江、反壁江外侧纤维腔宽最大,毛竹径向纤维腔宽变异规律性不明显。

2.1.6 纤维壁腔比 纤维壁腔比是评价造纸原料的重要指标之一,比值越小,纸的质量越高。兴安县 6 个产地毛竹纤维长宽比分别为江头林场 1.46、华江锐炜 2.72、反壁江 1.38、龙潭江 1.75、白花岭林场 1.85、洞上 1.34。研究指出^[16],纤维壁腔比小于 1 为很好的纤维原料,但竹材纤维壁腔比普遍较大。本研究中毛竹壁腔比大幅低于安徽毛竹^[13],说明兴安县毛竹纤维壁腔比较小,更适用于造纸。

产地对毛竹纤维壁腔比有较大影响,方差分析结果为极显著。华江锐炜、白花岭林场和反壁江产毛竹外侧纤维壁腔比最大,和慈竹变化规律一致^[15],而江头林场、龙潭江和洞上内侧纤维壁腔比大。

表 2 兴安县不同产地毛竹纤维形态特征

产地	长度/μm	宽度/μm	长宽比	壁厚/μm	腔宽/μm	壁腔比
华江锐炜	2 445.62	17.87	145.20	13.07	4.80	2.72
江头林场	2 513.86	16.75	160.24	9.94	6.81	1.46
龙潭江	2 324.08	16.35	151.36	10.47	5.99	1.75
洞上	2 209.43	16.92	139.28	9.67	7.24	1.34
白花岭林场	2 298.54	17.66	138.80	11.45	6.20	1.85
反壁江	2 330.88	17.82	141.42	10.33	7.49	1.38
F 值	6.162**	4.605**	5.718**	24.130**	29.260**	40.435**
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

注:**代表在 0.01 水平差异显著。

表 3 纤维形态特征径向变异

产地	部位	长度/μm	宽度/μm	长宽比	壁厚/μm	腔宽/μm	壁腔比
华江锐炜	近竹黄	2 457.87	18.93	137.07	13.62	5.31	2.56
	竹中	2 348.47	16.98	146.70	12.46	4.52	2.76
	近竹青	2 530.50	17.69	151.83	13.12	4.58	2.86
江头林场	近竹黄	2 443.65	16.55	156.03	11.39	5.16	2.21
	竹中	2 606.50	15.99	176.72	9.17	6.82	1.34
	近竹青	2 491.43	17.69	147.99	9.25	8.44	1.10
龙潭江	近竹黄	2 373.32	15.60	162.19	10.30	5.31	1.94
	竹中	2 280.30	16.12	150.18	9.54	6.58	1.45
	近竹青	2 318.63	17.32	141.71	11.56	6.10	1.90
洞上	近竹黄	1 942.33	16.05	128.19	9.56	6.49	1.47
	竹中	2 274.45	17.52	140.87	10.02	7.51	1.33
	近竹青	2 411.51	17.17	148.80	9.44	7.73	1.22
白花岭林场	近竹黄	2 254.75	16.31	147.09	9.43	6.87	1.37
	竹中	2 411.00	17.95	143.35	11.76	6.18	1.90
	近竹青	2 229.86	18.72	125.95	13.16	5.55	2.37
反壁江	近竹黄	2 225.82	18.40	130.38	10.55	7.85	1.34
	竹中	2 518.55	16.25	165.88	8.27	7.98	1.04
	近竹青	2 248.29	18.80	128.00	12.16	6.63	1.83

表 4 6 个产地毛竹纤维长度分布占比 %						
产地	纤维长度/ μm					
	<1 500	1 500—2 000	2 000—2 500	2 500—3 000	3 000—3 500	>3 500
华江锐炜	10.00	18.89	25.19	23.70	12.96	9.26
江头林场	8.89	17.78	26.67	22.59	12.59	11.48
龙潭江	11.48	21.48	28.52	21.48	12.59	4.44
洞上	15.56	25.19	27.78	20.00	5.56	5.93
白花岭林场	12.96	24.81	29.26	15.56	9.63	7.78
反壁江	14.07	17.41	29.26	20.37	12.96	5.93

2.1.7 纤维形态各指标相关性分析 对纤维长度、纤维宽度、长宽比、壁厚、腔宽及壁腔比等 6 个形态指标进行相关性分析。由表 5 可知,纤维长度与纤维宽度、壁厚和腔宽极显著正相关,相关系数分别为 0.097 ($P<0.01$)、0.079 ($P<0.01$) 和 0.712 ($P<0.01$),说明竹纤维越长,纤维宽度、壁厚和腔宽越大;纤维宽度与长宽比、壁厚和壁腔比极显著正相关,与腔宽极显著负相关;长宽比与壁厚、腔宽和壁腔比均显著负相关;壁厚与腔宽极显著负相关,与壁腔比极显著正相关;腔宽与壁腔比极显著负相关。

表 5 不同因子相关性分析						
因子	纤维长度	纤维宽度	长宽比	壁厚	腔宽	壁腔比
纤维长度	1					
纤维宽度	0.097**	1				
长宽比	0.045	0.519**	1			
壁厚	0.079**	0.785**	-0.122**	1		
腔宽	0.712**	-0.552**	-0.288**	-0.043 2**	1	
壁腔比	0.046	0.183**	-0.650**	0.683**	-0.079**	1

注:**表示相关性极显著。

2.2 毛竹组织比量分析

由表 6 可知,除洞上以外的 5 个产地的维管束平均径向长均在 0.5 mm 左右,反壁江的平均径向长最大,为 571.18 μm ,而洞上的平均径向长最小,

为 486.33 μm 。龙潭江毛竹的平均径向长的标准误差较大,为 50.87 μm 。反壁江的平均弦向长为 403.71 μm ,明显大于其他产地,其次则是白花岭林场的平均弦向长 383.64 μm ,余下产地的平均弦向长则均为 360 μm 左右。龙潭江的平均弦向长的标准误差为 33.61 μm ,大于其他产地,说明其维管束大小总体易受环境因素影响。除洞上(1.43)外,5 个产地的平均径弦比均为 1.53 左右,且总体标准误差很小。杨淑敏等对毛竹的维管束尺寸进行测量,得其平均径向长为 537.8 μm ,平均弦向长为 501.9 μm ,径弦比为 1.09^[17]。与本研究 6 个产地毛竹的平均径向长较一致,大于平均弦向长,推测杨淑敏所采 1 年生毛竹处于生长初期,且立地条件与本研究的产地存在差异。

6 个产地的维管束密度范围为 2.09—2.83 个/ mm^2 ,密度最大的产地为洞上,最小则为反壁江。袁晶等对福建省 2—3 a 近成熟毛竹进行解剖,得其维管束密度为 2.92 个/ mm^2 ^[18],而黎静等对浙江省 4 a 成熟毛竹 1 m 处所得维管束密度约为 2.99 个/ mm^2 ^[19],均较本研究中 6 a 竹龄毛竹的维管束密度更大,推测认为毛竹薄壁组织随生长而增多,使得维管束密度降低。

不同产地的毛竹输导组织无显著差异 ($P>0.05$),纤维组织及基本组织则均存在显著差异。其中,洞上的纤维组织占比最大(30.96%),基本组织占比最小(60.16%);白花岭林场纤维组织占比最小(28.44%),基本组织占比最大(63.27%)。其余产地的纤维组织、基本组织之间均无显著差异。在制浆造纸过程中,基本组织和输导组织很难跟纤维组织完全分离,基本组织过多,纸张的漂白和滤水性较差^[20]。可以认为洞上的组织比量指标较优,适宜用作造纸原料。

表 6 兴安县不同产地毛竹维管束尺寸、维管束密度、组织比量比较							
产地	维管束尺寸			维管束密度/ (个/ mm^2)	组织比量/%		
	平均径向长/ μm	平均弦向长/ μm	平均径弦比		输导组织	纤维组织	基本组织
华江锐炜	535.50±38.26 a	360.84±24.14 c	1.55±0.08 a	2.55±0.53 ab	9.33±1.80 a	28.86±3.40 ab	61.82±4.87 ab
江头林场	548.95±41.67 a	366.75±15.11 bc	1.54±0.08 a	2.35±0.36 bc	9.21±1.12 a	29.79±2.41 ab	61.00±2.58 ab
龙潭江	531.78±50.87 a	367.46±33.61 bc	1.53±0.07 a	2.41±0.59 bc	8.95±1.17 a	28.88±2.59 ab	62.17±3.54 ab
洞上	486.33±43.17 b	355.88±25.36 c	1.43±0.09 b	2.83±0.36 a	8.89±1.00 a	30.96±4.12 a	60.16±4.85 b
白花岭林场	564.76±33.48 a	383.64±16.37 ab	1.54±0.08 a	2.11±0.27 c	8.29±0.44 a	28.44±3.02 b	63.27±2.84 a
反壁江	571.18±35.48 a	403.71±18.82 a	1.50±0.09 ab	2.09±0.17 c	8.40±0.68 a	30.14±1.60 ab	61.46±1.78 ab

注:表中数据格式为“平均值±标准差”;维管束密度为完整个数;同列数据后不同小写字母表示 $P=0.05$ 水平上存在显著性差异。

3 结论与讨论

兴安县6个产地毛竹纤维长度范围为2.21—2.51 mm,纤维宽度范围为16.35—17.87 μm ,纤维长宽比均超过100,远高于木材纤维,江头林场毛竹长宽比最大,为160.24,洞上毛竹长宽比最小,为139.28;纤维壁厚范围为9.67—13.07 μm ,华江锐炜毛竹最大,洞上最小;纤维腔宽范围为4.80—7.49 μm ,反壁江毛竹最大,华江锐炜最小;长纤维(>1.6 mm)占比范围为81%—89%,江头林场占比最大,洞上最小;维管束平均径向长均在0.5 mm左右,反壁江的平均径向长最大,为571.18 μm ,而洞上的平均径向长最小,为486.33 μm ;维管束密度范围为2.09—2.83 个/ mm^2 ,密度最大的产地为洞上,最小则为反壁江;洞上的纤维组织占比最大,基本组织占比最小,白花岭林场纤维组织占比最小,基本组织占比最大。

毛竹生长的差异性,与地理环境和母竹大小有关,这导致了兴安县不同产地毛竹纤维形态和组织比量有一定的差异。在造纸评价指标中,相较于纤维宽度、壁厚和腔宽,纤维长度、纤维长宽比以及纤维壁腔比是更重要的指标,兴安县6个产地毛竹纤维均为长纤维,根据其纤维长度分布规律,均可作为造纸原料的长纤维来源;纤维长宽比均大于100;纤维壁腔比平均为1.75,虽然大于1,但大幅低于安徽产毛竹,是竹材自身特性决定的。综上所述,6个产地毛竹均达到优质造纸原料的要求,是较好的造纸原料,其中,洞上产毛竹虽然纤维长度和长宽比不是最优的,但均符合优质造纸原料的标准,且其纤维壁腔比最小,纤维组织占比最大,是兴安县6个产地中作为造纸原料较好的产地。在毛竹加工利用中,应考虑不同部位纤维特性的差异,合理选取竹材加以利用。

参考文献:

[1] 黄培和.毛竹开发利用现状及对策浅析[J].南方农业,2020,

14(3):141-142.

- [2] 李 岚,朱 霖,朱 平.中国竹资源及竹产业发展现状分析[J].南方农业,2017,11(1):6-9.
- [3] 康忠武,梁才武,莫尔祥.兴安县毛竹产业现状与发展对策[J].大众科技,2007(4):139-141.
- [4] 刘美彤,曹洁芳,王婷婷.乡村振兴背景下毛竹产业发展模式研究——以桂林市兴安县为例[J].智慧农业导刊,2024,4(11):125-128.
- [5] 阳昌明.广西兴安县毛竹产业现状与发展对策[J].广西林业科学,2010,39(3):171-172.
- [6] 杨 清,苏光荣,段柱标,等.西双版纳丛生竹的纤维形态与造纸性能[J].中国造纸学报,2008,23(4):1-7.
- [7] PENG Y, CHEN C, WANG Y, et al. Effect of acetic acid pre-hydrolysis on unbleached bamboo pulp production[J]. Paper and Biomaterials,2018,3(3):26-31.
- [8] 肖玉英,刘梦茹,师莉升,等.广西10种野生竹材的纤维形态及结构研究[J].中国造纸,2024,43(5):44-51.
- [9] 陈晨晨,申惠莹,李兵云,等.硫酸盐竹浆杂细胞含量对打浆性能的影响[J].中国造纸,2022,41(8):29-36.
- [10] 彭 博,王传贵,张双燕.四川两种竹材理化性质及纤维形态分析[J].世界竹藤通讯,2018,16(3):15-19.
- [11] 马灵飞,朱丽青.浙江省6种丛生竹纤维形态及其组织比量的研究[J].浙江林学院学报,1990,7(1):63-68.
- [12] 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.
- [13] 牛思杰,王 娜,崔百祥,等.不同竹龄和部位对毛竹纤维形态及结晶度的影响[J].浙江农林大学学报,2023,40(2):446-452.
- [14] 傅 兴.中国竹浆造纸的潜力与发展[J].世界竹藤通讯,2022,20(1):54-57.
- [15] 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.
- [16] 方 红,刘善辉.造纸纤维原料的评价[J].北京木材工业,1996(2):19-22.
- [17] 杨淑敏,江泽慧,任海青,等.几种散生、丛生和混生竹材的比较解剖研究[J].中国造纸学报,2011,26(2):11-15.
- [18] 袁 晶,张雪霞,余 雁,等.维管束分布及结构对竹材宏观压缩性能的影响[J].中南林业科技大学学报,2019,39(6):121-127.
- [19] 黎 静,黄汉霄,石俊利,等.竹环中维管束分布密度和纤维鞘组织比量纵向变异研究[J].世界竹藤通讯,2019,17(2):7-11.
- [20] 叶利培,房桂干,沈葵忠,等.竹材薄壁细胞机械分离方法及研究进展[J].中华纸业,2013,34(8):26-29.