

网络出版时间:2015-04-13 12:59 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.05.031
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150413.1259.031.html

四川 6 种丛生竹的纤维形态研究

陈丽娟,张朝燕,赖永平,张咏祀,甘小洪

(西华师范大学 生命科学学院,四川 南充 637009)

【摘要】【目的】比较分析四川 6 种丛生竹的纤维形态特征,并对其纤维质量和利用价值进行评述,为丛生竹种的合理开发、利用提供科学依据。【方法】在四川省宜宾市长宁世纪竹园,随机选择慈竹、粉单竹、料慈竹、绵竹、硬头黄竹、梁山慈竹等 6 种丛生竹种各 9 丛,对其纤维形态指标进行观测,利用 SPSS 17.0 软件的 one-way ANOVAs 方法分析 6 种竹子纤维的质量和利用价值。【结果】6 种丛生竹的平均纤维长度均大于 2 000 μm ;梁山慈竹和硬头黄竹分布频率最大的纤维长度为 $\geq 1\,000 \sim < 2\,000 \mu\text{m}$,其他 4 种均为 $\geq 2\,000 \sim < 3\,000 \mu\text{m}$ 。除梁山慈竹和硬头黄竹的平均纤维长宽比分别为 114.67 和 114.94 外,其余 4 种竹子的平均纤维长宽比为 138.26~152.44,均大于毛竹(123.00)。6 种丛生竹纤维的壁腔比为 2.18~3.96,均小于毛竹(4.55)。在轴向上,6 种丛生竹的纤维长度、长宽比、壁厚、腔径和壁腔比的变异规律随竹种的不同而有差异,其纤维宽度由基部向梢部总体呈现出逐渐减小趋势。在径向上,6 种丛生竹纤维长度、宽度、壁厚、腔径和壁腔比均具有相似的规律,但其长宽比的变化会随竹种的不同而不同。【结论】6 种丛生竹种纤维质量均优于毛竹,其中料慈竹、粉单竹和绵竹的纤维质量优于慈竹,造纸性能更优。

【关键词】 丛生竹;纤维形态;纤维质量;利用价值

【中图分类号】 TS721+.2;S795.908

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)05-0079-08

Fiber morphology of six sympodial bamboos in Sichuan

CHEN Li-juan, ZHANG Chao-yan, LAI Yong-ping,
ZHANG Yong-si, GAN Xiao-hong

(College of Life Science, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China)

Abstract: 【Objective】The study comparatively analyzed the fiber morphological characters of six sympodial bamboo varieties and evaluated their quality and utilization values to improve the development and utilization of sympodial bamboos. 【Method】Nine clusters of six randomly selected sympodial bamboo species in Changning, Sichuan, were chosen, and their fiber morphologies were investigated. Then, their utilization values were evaluated using one-way ANOVAs incorporated in SPSS 17.0. 【Result】The average lengths of fibers of six sympodial bamboo varieties were all $> 2\,000 \mu\text{m}$. The frequency with maximum fiber length of *Dendrocalamus farinosus* and *Bambusa rigida* was $\geq 1\,000 \sim < 2\,000 \mu\text{m}$, and that of other four bamboos was $\geq 2\,000 \sim < 3\,000 \mu\text{m}$. The average length/width ratios of *Dendrocalamus farinosus* and *Bambusa rigida* were 114.67 and 114.94, while those of other four bamboos were 138.26–152.44, larger than that of Moso (123.00). The average wall/lumen ratios of six sympodial bamboos were 2.18–3.96, smaller than that of Moso (4.55). Longitudinally, the variations of fiber length, length/width ratio, wall thickness, lumen diameter, and wall/lumen ratio of these bamboos were different. The fiber widths decreased gradually from culm base to tip. Radially, the variations of fiber length, width, wall thickness, lu-

【收稿日期】 2014-01-17

【基金项目】 “十二五”农村领域国家科技计划项目(2012BAD23B05)

【作者简介】 陈丽娟(1988—),女,河南信阳人,在读硕士,主要从事竹子资源与利用研究。E-mail:865383272@qq.com

【通信作者】 甘小洪(1974—),男,重庆璧山人,教授,博士,主要从事植物资源保护与利用研究。E-mail:bhgan@cwnu.edu.cn

men diameter, and wall/lumen ratio of these bamboos were similar, while the variations of fiber length/width were different. 【Conclusion】 The six sympodial bamboos were all better than Moso for paper-making, and the properties of *Bambusa chungii* fiber, *Bambusa distegia* and *Bambusa intermedia* were the better than that of *Bambusa emeiensis*. Thus, they were suggested for making pulp and paper.

Key words: sympodial bamboo; fiber morphology; fiber quality; utilization value

竹子是世界森林资源的重要组成部分,随着世界各国对木材需求量的不断增加,全球林木蓄积量与日剧减,为此竹材作为木材的替代品越来越受到重视。竹材生长快、产量高、伐期短以及自身的纤维特性,在当地广泛用于建筑、编织工艺和造纸原料^[1]。但就目前而言,我国竹材特性的研究偏重于毛竹(*Phyllostachys edulis* Mazel ex H. de leh.)等散生竹种,对丛生竹研究相对缺乏,这大大地滞后了丛生竹竹材的开发与利用^[2]。由于丛生竹类比散生竹类具有生长更快、产量更高、伐期更短等特点,在一些领域有开拓利用的更大优势^[3-4]。因此关于丛生竹类的相关研究,对于丛生竹资源的开发利用以及保护等具有重要意义。四川省栽竹、用竹历史悠久,现有竹类植物 18 属,约占全国的 46%;乡土竹种约 140 种,占全国约 35%,其中 70 种为四川特有;全省现有竹林资源近 70 万 hm^2 ,处全国第 5 位,其中 70%以上为丛生竹^[5]。目前,四川丛生竹的开发利用较为单一,对慈竹(*Bambusa emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung)的研究、开发和利用相对较多,其他优良的乡土丛生竹种尚未得到广泛的栽培和利用,这不利于四川竹产业的可持续发展。

竹材的纤维形态学特性是影响竹材结构、物理力学及纸浆得率的重要影响因子^[2],对竹杆材性和纸浆特性的构成具有重要作用^[6-7]。目前,尚无四川乡土丛生竹种纤维形态特征比较研究的相关报道。本研究通过对四川 6 种丛生竹种的纤维形态指标进行观测,以期揭示其纤维形态的差异,并对其纤维质量及其利用价值进行评述,进而为四川乡土丛生竹种的开发与合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于四川省宜宾市长宁县竹海镇的世纪竹园(N28°30.596'~N28°30.988',E104°56.252'~E103°56.484'),是目前世界上面积最大,品种最多的竹类植物园和竹种基因库。竹海镇地势南高北低,大多为浅丘地,四面山形环绕,育江河贯穿全境,气候温和,雨量充沛,无霜期长,雨热同期,四季分

明;年平均气温 18.3 ℃,最冷月(1 月份)平均气温 8.2 ℃,极端低温 -4.2 ℃,最热月(7 月份)平均气温 27.3 ℃,极端高温 40.7 ℃;年平均降水量 1 114.2 mm,年平均蒸发量 1 101.3 mm,年平均空气相对湿度 83%,年日照时数 1 148 h,无霜期达 350 d 以上。

试验选用慈竹、粉单竹(*Bambusa chungii* McClure)、料慈竹(*B. distegia* (Keng et Keng f.) Chia)、硬头黄竹(*B. rigida* Keng et Keng f.)、绵竹(*B. intermedia* Hsueh et Yi)和梁山慈竹(*Dendrocalamus farinosus* (Keng et Keng f.) Chia et H. L. Fung)等 6 种丛生竹为试材,竹林均为分茺育苗营造的纸浆用材纯林,林龄都在 8 年以上,林分已郁闭,立地条件均为低山缓坡地,海拔约 300 m,土壤为微酸性紫色土,林地无施肥、复垦等抚育措施。

1.2 研究方法

采用随机取样法,在 6 种丛生竹竹林随机选取每种竹种各 9 丛,每丛每竹检尺,调查记录其胸径、年龄。在 3 年生老竹中随机抽取生长良好、无病虫害,且胸径与该丛竹平均胸径值误差不超过 5%的竹子作为标准竹,每一竹丛选取 3 株标准竹^[7]。每株在其基部(离地面约 1 m 处)取第 1 段、在中部(离地面约 6 m 处)取第 2 段、在梢部(离地面约 10 m 处)取第 3 段,分别编号、记录、包装、运回实验室,备用。

在实验室将试样按竹壁分内侧、中部和外侧 3 部分,分别将各试样的内侧、中部和外侧劈成火柴棍状,倒入 Jeffer 氏离析液(用体积分数 10%硝酸和 10%铬酸等比例配制)浸没竹棍,离析 32~72 h,待竹棍被浸透(以用镊子轻轻一夹竹棍即完全散开为准),将离析液倒出,用蒸馏水冲洗至中性,放入体积分数 70%的酒精溶液中进行保存。取离析试样部分用质量分数 1%的番红染色,之后用蒸馏水洗去染液,然后按常规方法制片^[7]。利用 Motic 显微自动成像系统成像, Motic Advanced 3.2 软件测量纤维长度、宽度、壁厚、腔径等形态指标。每种竹子测定 540 根纤维(其中每种竹子分梢部、中部、基部 3 部分,每部分的内侧、中部、外侧各测 60 根纤维)。

分别计算每根纤维的长度、宽度、长宽比,以及

壁厚、腔径和壁腔比(2 倍壁厚与腔径的比值),最后取其平均值作为竹材纤维的形态学计量指标。运用 SPSS 17.0 软件的 one-way ANOVAs 方法中的 Duncan 多重比较法,对 6 种竹子竹材纤维的形态学指标进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 纤维长度

表 1 结果表明,纤维长度因竹子的种类和部位

表 1 四川 6 种丛生竹的纤维形态特征

Table 1 Fiber characteristics of six sympodial bamboos in Sichuan

竹种 Species	长度/ μm Length	平均长度/ μm Average length	平均宽度/ μm Average width	长宽比 Length- width ratio	平均壁厚/ μm Wall thickness	平均腔径/ μm Lumen diameter	壁腔比 Wall/lumen ratio
慈竹 <i>Bambusa emeiensis</i>	1 005.28~5 638.35	2 490.17 \pm 32.69 b	18.44 \pm 0.19 d	140.96 b	7.24 \pm 0.08 b	3.65 \pm 0.09 c	3.96 a
粉单竹 <i>Bambusa chungii</i>	1 317.00~4 957.35	2 805.92 \pm 32.20 a	20.72 \pm 0.21 b	139.61 b	5.45 \pm 0.10 cd	3.54 \pm 0.05 c	2.18 b
料慈竹 <i>Bambusa distegia</i>	1 158.92~6 628.90	2 751.12 \pm 39.90 a	19.03 \pm 0.22 d	152.44 a	6.06 \pm 0.10 c	5.20 \pm 0.04 a	2.40 b
绵竹 <i>Bambusa intermedia</i>	1 300.80~5 416.64	2 831.14 \pm 35.06 a	21.32 \pm 0.22 a	138.26 b	6.12 \pm 0.11 c	4.78 \pm 0.03 b	2.66 b
硬头黄竹 <i>Bambusa rigida</i>	1 035.28~4 745.56	2 058.10 \pm 23.14 d	18.43 \pm 0.18 d	114.94 c	8.06 \pm 0.09 a	4.61 \pm 0.07 b	3.50 a
梁山慈竹 <i>Dendrocalamus farinosus</i>	623.17~5 106.60	2 186.87 \pm 37.45 c	19.79 \pm 0.24 c	114.67 c	7.46 \pm 0.11 b	4.87 \pm 0.22 b	3.06 a

注:同一列数据后不同字母表示在 $\alpha=0.05$ 水平上差异显著,相同字母表示差异不显著。下同。

Note: Different letters in each column indicate significant difference at $\alpha=0.05$ level and the same letters indicate no significant difference. The same below.

由表 2 可知,在轴向上,6 种竹子的纤维长度均表现为基部最短。另外,慈竹和粉单竹的纤维长度以梢部最长,中部次之;而其余 4 种竹子的纤维长度均表现为中部最长,梢部次之。除粉单竹和绵竹外,

其余竹种基部的纤维长度均与中部、梢部存在显著差异。除粉单竹和料慈竹的梢部和中部纤维长度差异不显著外,其余 4 种竹种的梢部与中部纤维长度之间均存在显著差异。

表 2 6 种丛生竹轴向纤维的形态特征

Table 2 Fiber characteristics of six sympodial bamboos in vertical dimension

竹种 Species	部位 Parts	长度/ μm Length	宽度/ μm Width	长宽比 Length- width ratio	壁厚/ μm Wall thickness	腔径/ μm Lumen diameter	壁腔比 Wall/lumen ratio
慈竹 <i>Bambusa emeiensis</i>	梢部 Tip	2 807.66 a	17.65 b	164.55 a	8.48 a	2.10 a	8.07 a
	中部 Middle	2 619.82 b	17.74 b	152.09 b	6.92 c	2.09 a	6.63 b
	基部 Base	2 040.27 c	19.94 a	106.05 c	7.83 b	2.37 a	6.60 b
粉单竹 <i>B. chungii</i>	梢部 Tip	2 917.14 a	19.64 c	153.66 a	7.68 a	2.87 b	5.35 b
	中部 Middle	2 821.18 ab	21.80 a	134.61 b	6.27 b	1.87 c	6.69 a
	基部 Base	2 682.48 b	20.70 b	130.91 b	5.70 c	4.89 a	2.33 c
料慈竹 <i>B. distegia</i>	梢部 Tip	3 013.30 a	16.88 b	188.32 a	7.86 a	2.09 b	7.53 b
	中部 Middle	3 075.06 a	19.68 a	159.90 b	7.36 a	1.71 b	8.60 a
	基部 Base	2 169.18 b	20.48 a	109.68 c	7.51 a	3.23 a	4.65 c
绵竹 <i>B. intermedia</i>	梢部 Tip	2 567.65 b	20.49 b	130.09 b	7.64 b	2.62 a	5.84 b
	中部 Middle	3 417.58 a	20.47 b	171.96 a	8.60 a	2.47 a	6.95 a
	基部 Base	2 510.55 b	22.97 a	113.03 c	8.56 a	2.55 a	6.72 a
硬头黄竹 <i>B. rigida</i>	梢部 Tip	1 998.20 b	18.12 b	114.14 b	8.09 b	3.84 b	4.21 a
	中部 Middle	2 383.37 a	19.84 a	125.39 a	8.98 a	3.74 b	4.80 a
	基部 Base	1 798.29 c	17.36 b	105.45 c	7.12 c	6.24 a	2.28 b
梁山慈竹 <i>Dendrocalamus farinosus</i>	梢部 Tip	2 146.27 b	18.57 b	119.76 b	7.92 b	5.46 a	2.90 a
	中部 Middle	2 963.57 a	20.32 a	150.42 a	8.66 a	5.98 a	2.90 a
	基部 Base	1 497.06 c	20.55 a	75.87 c	5.86 c	3.17 b	3.70 b

注:同列数据后标相同字母表示同一竹种不同部位的纤维形态指标在 $\alpha=0.05$ 水平上差异不显著。下同。

Note: Same letters in each column indicate no significant difference at different parts of same bamboo species at $\alpha=0.05$ level. The same below.

表 3 表明,在径向上,6 种竹子的纤维长度大多表现为中部>外侧>内侧,且中部纤维长度与内侧、外侧之间大多存在显著差异。除硬头黄竹的竹壁纤

维长度在内侧、中部和外侧之间差异不显著外,其余 5 种竹子的纤维长度在径向上均存在显著差异。

表 3 6 种丛生竹径向纤维的形态特征

Table 3 Fiber characteristics of six sympodial bamboos in radical dimension

竹种 Species	部位 Parts	长度/ μm Length	宽度/ μm Width	长宽比 Length- width ratio	壁厚/ μm Wall thickness	腔径/ μm Lumen diameter	壁腔比 Wall/lumen ratio	
慈竹 <i>Bambusa emeiensis</i>	内侧 Inner	梢部 Top	2 705.38 b	15.60 b	180.58 a	8.38 a	6.49 a	2.58 c
		中部 Middle	2 495.26 b	15.20 c	169.10 a	5.15 b	3.80 a	2.71 c
		基部 Base	1 935.21 b	16.94 c	117.07 a	6.67 b	5.08 a	2.63 c
		平均 Average	2 377.35 a	15.92 b	155.44 a	6.73 b	5.12 a	2.64 c
	中部 Middle	梢部 Top	3 097.41 a	18.71 a	168.83 a	8.52 a	3.56 b	4.79 b
		中部 Middle	3 099.48 a	19.81 a	158.70 a	6.95 a	3.25 a	4.27 b
		基部 Base	2 210.59 a	20.46 b	111.92 a	7.02 a	4.11 b	3.42 b
		平均 Average	2 808.93 a	19.65 a	146.86 a	7.50 a	3.64 b	4.16 b
	外侧 Outer	梢部 Top	2 620.20 b	18.65 a	144.23 b	8.48 a	2.10 c	8.07 a
		中部 Middle	2 254.82 c	18.13 b	128.65 b	6.92 a	2.09 b	6.63 a
		基部 Base	1 980.50 b	22.44 a	89.36 b	7.83 a	2.37 c	6.60 a
		平均 Average	2 285.34 b	19.75 a	120.70 b	7.74 a	2.19 c	7.10 a
粉单竹 <i>B. chungii</i>	内侧 Inner	梢部 Top	2 934.33 ab	19.42 ab	156.06 a	6.71 c	4.47 a	3.00 b
		中部 Middle	2 582.47 b	19.16 c	141.88 a	4.61 c	4.24 a	2.17 b
		基部 Base	2 021.30 b	18.06 b	115.06 b	5.03 a	4.99 b	2.02 a
		平均 Average	2 502.88 c	18.86 c	137.23 a	5.45 c	4.57 a	2.40 b
	中部 Middle	梢部 Top	3 154.09 a	20.94 a	157.39 a	8.78 a	3.07 b	5.72 a
		中部 Middle	3 110.90 a	24.53 a	130.07 a	7.47 a	2.17 b	6.89 a
		基部 Base	2 925.33 a	21.45 a	137.82 a	5.53 a	6.20 a	1.78 b
		平均 Average	3 062.46 a	22.32 a	140.04 a	7.26 a	3.81 b	4.80 a
	外侧 Outer	梢部 Top	2 671.20 b	18.60 b	147.74 a	7.68 b	2.87 b	5.35 a
		中部 Middle	2 770.19 b	21.70 b	131.88 a	6.27 b	1.87 b	6.69 a
		基部 Base	3 129.34 a	22.70 a	140.52 a	5.70 a	4.89 b	2.33 a
		平均 Average	2 855.44 b	20.99 b	141.59 a	6.55 b	3.21 b	4.79 a
料慈竹 <i>B. distegia</i>	内侧 Inner	梢部 Top	2 574.72 b	11.60 c	223.82 a	6.06 b	6.83 a	1.77 c
		中部 Middle	2 568.98 c	18.50 b	141.52 b	4.71 b	12.29 a	0.77 c
		基部 Base	1 777.79 b	21.32 a	86.75 c	3.62 b	15.84 a	0.46 c
		平均 Average	2 304.34 c	17.16 c	150.35 a	4.80 b	11.65 a	1.00 c
	中部 Middle	梢部 Top	3 798.02 a	22.16 a	179.83 b	10.67 a	4.04 b	5.28 b
		中部 Middle	3 141.63 b	20.88 a	156.08 b	7.80 a	4.08 b	3.82 b
		基部 Base	2 306.31 a	21.30 a	111.48 b	7.20 a	5.16 b	2.79 b
		平均 Average	3 073.97 a	21.44 a	148.76 a	8.56 a	4.43 b	3.96 b
	外侧 Outer	梢部 Top	2 679.83 b	16.96 b	161.17 c	7.86 b	2.09 c	7.53 a
		中部 Middle	3 500.82 a	19.67 ab	181.41 a	7.36 a	1.71 c	8.60 a
		基部 Base	2 427.55 a	18.79 b	131.14 a	7.51 a	3.23 c	4.65 a
		平均 Average	2 876.12 b	18.49 b	158.16 a	7.58 a	2.34 c	6.93 a
绵竹 <i>B. intermedia</i>	内侧 Inner	梢部 Top	2 600.25 ab	20.39 a	129.90 a	7.99 b	5.70 a	2.81 c
		中部 Middle	3 296.69 b	18.32 c	182.60 a	8.41 b	7.44 a	2.61 c
		基部 Base	2 303.61 b	23.05 ab	103.36 b	5.48 c	14.71 a	0.75 c
		平均 Average	2 738.08 b	20.58 b	138.96 a	7.29 c	9.28 a	2.06 c
	中部 Middle	梢部 Top	2 702.12 a	21.44 a	133.66 a	9.23 a	5.96 a	3.09 b
		中部 Middle	3 844.89 a	22.83 a	177.03 a	10.22 a	4.78 b	4.28 b
		基部 Base	25 72.37 a	24.07 a	110.90 b	10.74 a	5.16 b	4.16 b
		平均 Average	3 032.37 a	22.80 a	140.06 a	10.08 a	5.30 b	3.84 b
	外侧 Outer	梢部 Top	2 402.16 b	19.64 a	126.71 a	7.64 b	2.62 b	5.84 a
		中部 Middle	3 106.14 b	20.24 b	156.00 b	8.60 b	2.47 c	6.95 a
		基部 Base	2 649.33 a	21.75 b	124.78 a	8.56 b	2.55 c	6.72 a
		平均 Average	2 717.12 b	20.55 b	135.72 a	8.62 b	2.86 c	6.48 a

续表 3 Continued table 3

竹种 Species	部位 Parts	长度/ μm Length	宽度/ μm Width	长宽比 Length- width ratio	壁厚/ μm Wall thickness	腔径/ μm Lumen diameter	壁腔比 Wall/lumen ratio	
硬头黄竹 <i>B. rigida</i>	内侧 Inner	梢部 Top	1 995.85 a	17.49 b	117.61 a	7.77 b	3.92 a	3.80 b
		中部 Middle	2 602.48 a	18.86 b	142.93 a	8.58 b	3.44 a	4.99 c
		基部 Base	1 477.73 c	16.10 b	93.65 c	5.79 b	4.51 a	2.57 c
		平均 Average	2 019.30 a	17.47 b	117.80 a	7.36 b	3.96 a	3.79 b
	中部 Middle	梢部 Top	2 065.83 a	19.64 a	109.09 a	8.81 a	2.03 b	8.77 a
		中部 Middle	2 424.50 a	21.32 a	118.61 b	9.62 a	2.09 b	9.29 b
		基部 Base	1 871.37 b	18.19 a	105.51 b	7.74 a	2.70 b	6.45 b
		平均 Average	2 120.94 a	19.71 a	111.03 a	8.72 a	2.27 b	8.72 a
	外侧 Outer	梢部 Top	1 933.95 a	17.25 b	115.70 a	7.70 b	1.84 b	8.46 a
		中部 Middle	2 123.13 b	19.33 b	114.63 b	8.76 b	1.81 b	10.20 a
		基部 Base	2 048.97 a	17.81 a	117.57 a	7.85 a	2.12 c	7.51 a
		平均 Average	2 034.25 a	18.12 b	115.96 a	8.10 b	1.92 c	8.16 a
梁山慈竹 <i>Dendrocalamus farinosus</i>	内侧 Inner	梢部 Top	1 887.96 b	14.10 c	135.89 a	5.98 c	4.28 a	2.79 c
		中部 Middle	2 680.60 b	16.88 b	161.22 a	7.26 c	4.70 a	3.08 c
		基部 Base	1 281.09 b	20.00 b	66.14 b	5.52 b	9.35 a	1.18 b
		平均 Average	1 937.63 b	16.98 c	120.51 a	6.25 c	6.11 a	2.35 c
	中部 Middle	梢部 Top	2 539.14 a	22.38 a	116.99 b	9.23 a	3.92 a	4.71 b
		中部 Middle	3 320.70 a	21.42 a	159.13 a	8.77 b	3.88 b	4.52 b
		基部 Base	1 801.22 a	22.82 a	84.12 a	4.87 b	6.74 b	1.45 b
		平均 Average	2 529.39 a	22.23 a	118.86 a	7.62 b	4.85 b	3.56 b
	外侧 Outer	梢部 Top	1 993.00 b	19.04 b	106.53 c	8.49 b	2.06 c	8.24 a
		中部 Middle	2 889.43 b	22.65 a	130.80 b	9.96 a	2.74 c	7.27 a
		基部 Base	1 392.48 b	18.70 b	76.96 a	7.46 a	3.79 c	3.94 a
		平均 Average	2 081.84 b	20.09 b	104.50 b	8.62 a	2.86 c	6.48 a

2.2 纤维宽度

表 1 显示, 6 种丛生竹纤维的平均宽度为 18.44~21.32 μm , 其中最宽的是绵竹, 其次是粉单竹、梁山慈竹、料慈竹、慈竹, 硬头黄竹的纤维宽度最小。方差分析表明, 粉单竹、梁山慈竹和绵竹的平均纤维宽度之间存在显著差异, 并分别与其他 3 种竹种之间差异显著, 而其他 3 种竹种平均纤维宽度的差异并不显著。

由表 2、3 可知, 在轴向上, 粉单竹的纤维宽度以中部最大, 基部次之, 梢部最小; 硬头黄竹的纤维宽度表现为中部最大, 梢部次之, 基部最小; 其余 4 种竹种的纤维宽度均表现为基部>中部>梢部。在径向上, 粉单竹、料慈竹、梁山慈竹和硬头黄竹的纤维宽度具有相似的变化规律, 即中部>外侧>内侧; 慈竹的纤维宽度表现为外侧>中部>内侧; 绵竹的纤维宽度表现为中部>内侧>外侧。其中, 粉单竹、料慈竹、梁山慈竹和硬头黄竹各部分之间的纤维宽度差异不显著; 绵竹和硬头黄竹内、外侧的纤维宽度之间差异不显著, 但分别与中部存在显著差异; 慈竹中部和外侧之间差异不显著, 但均与内侧之间存在显著差异。

2.3 纤维长宽比

由表 1、2、3 可以看出, 6 种丛生竹的平均纤维

长宽比为 114.67~152.44, 由大到小依次是料慈竹、慈竹、粉单竹、绵竹、梁山慈竹、硬头黄竹。方差分析表明, 料慈竹与其余 5 种竹子之间的纤维长宽比存在显著差异, 慈竹、粉单竹与绵竹之间的纤维长宽比差异不显著, 梁山慈竹与硬头黄竹之间纤维长宽比差异不显著。在轴向上, 慈竹、粉单竹和料慈竹的纤维长宽比均表现为梢部>中部>基部; 而梁山慈竹、绵竹和硬头黄竹的纤维长宽比均表现为中部>梢部>基部。6 种丛生竹各部分纤维长宽比之间均存在显著性差异。在径向上, 慈竹和梁山慈竹的纤维长宽比表现为内侧>中部>外侧, 并且外侧分别与内侧、中部之间有显著差异; 其余 4 种丛生竹种的纤维长宽比之间无显著差异。

2.4 纤维壁厚、腔径及壁腔比

由表 1 可知, 6 种丛生竹纤维的平均壁厚为 5.45~8.06 μm , 平均腔径为 3.54~5.20 μm , 壁腔比为 2.18~3.96。在纤维平均壁厚方面, 最大的是硬头黄竹, 其次是梁山慈竹、慈竹、绵竹、料慈竹, 粉单竹最小, 其中硬头黄竹与其余 5 种竹种之间存在显著差异, 梁山慈竹和慈竹两者之间差异不显著, 并分别与其他 4 种竹种之间存在显著差异, 粉单竹、料慈竹和绵竹三者之间差异不显著。

在平均腔径方面, 最大的是料慈竹, 其次是梁山

慈竹、绵竹、硬头黄竹、慈竹,粉单竹最小;其中料慈竹与其余竹种之间存在显著差异,慈竹与粉单竹之间差异不显著,并分别与其余竹种之间存在显著差异;梁山慈竹、绵竹和硬头黄竹三者之间差异不显著。

在平均壁腔比方面,最大的是慈竹,其次是硬头黄竹、梁山慈竹、慈竹、绵竹、料慈竹,粉单竹最小;其中慈竹、梁山慈竹和硬头黄竹三者之间差异不显著,但分别与其余 3 种竹种之间存在显著差异,而其余 3 种竹种之间差异并不显著。

由表 2 可知,在轴向上,不同竹种纤维平均壁厚、平均腔径和壁腔比的变化规律存在一定的差异。在纤维平均壁厚方面,慈竹和料慈竹表现为稍部最大,基部次之,中部最小;梁山慈竹和硬头黄竹表现为中部最大,稍部次之,基部最小;粉单竹的纤维平均壁厚则从稍部到基部逐渐减小,绵竹表现为中部最大,基部次之,稍部最小;除料慈竹和绵竹外,其余竹种在轴向上的不同部位之间纤维平均壁厚均存在显著差异。在纤维平均腔径方面,除梁山慈竹和绵竹外,其余 4 种丛生竹纤维的平均腔径均表现为基部最大,稍部次之,中部最小;梁山慈竹表现为中部最大,稍部次之,基部最小;绵竹表现为稍部最大,基部次之,中部最小;其中慈竹和绵竹轴向各部位之间的纤维平均腔径没有显著差异,其余竹种的基部均分别与中部、稍部之间存在显著差异。在壁腔比方面,粉单竹、料慈竹和硬头黄竹均表现为中部>稍部>基部,慈竹的壁腔比则按稍部、中部、基部依次减小,梁山慈竹的基部最大,绵竹表现为中部>基

部>稍部;其中粉单竹和料慈竹的壁腔比在不同部位之间均存在显著差异,慈竹的稍部分别与中部、基部之间存在显著差异,梁山慈竹和硬头黄竹的稍部、中部分别与基部存在显著差异,绵竹的中部和基部分别与稍部存在显著差异。

表 3 表明,在径向上,6 种丛生竹纤维的平均壁厚均表现为内侧最小,外、中和内侧各部分的平均壁厚存在显著差异。在纤维平均腔径方面,6 种丛生竹均表现为内侧>中部>外侧,且各部分之间均有显著差异。在纤维的壁腔比方面,6 种竹种的内侧均为最小;除粉单竹和硬头黄竹外,其余 4 种竹子均按外侧、中部和内侧逐渐减小,且各部分之间存在显著差异;粉单竹和硬头黄竹的外侧与中部纤维壁腔比差异不显著。

2.5 纤维长度的分布频率

纤维长度的分布频率是指每一长度级别纤维的根数占该种纤维总根数的百分率,是衡量原料中纤维长度分布均匀性、确定纸浆原料配比的重要依据^[7]。由图 1 可知,慈竹、粉单竹、料慈竹和绵竹分布频率最大的纤维长度均为 $\geq 2\ 000 \sim < 3\ 000\ \mu\text{m}$ (分别为 44.22%,50.73%,42.26%和 48.48%);梁山慈竹和硬头黄竹分布频率最大的纤维长度均为 $\geq 1\ 000 \sim < 2\ 000\ \mu\text{m}$ (分别为 42.76%和 50.08%)。6 种竹子中,长度为 $2\ 000\ \mu\text{m}$ 以上纤维的分布频率由大到小依次是粉单竹(87.04%)、绵竹(84.84%)、料慈竹(77.33%)、慈竹(68.26%)、梁山慈竹(51.8%)、硬头黄竹(49.83%)。

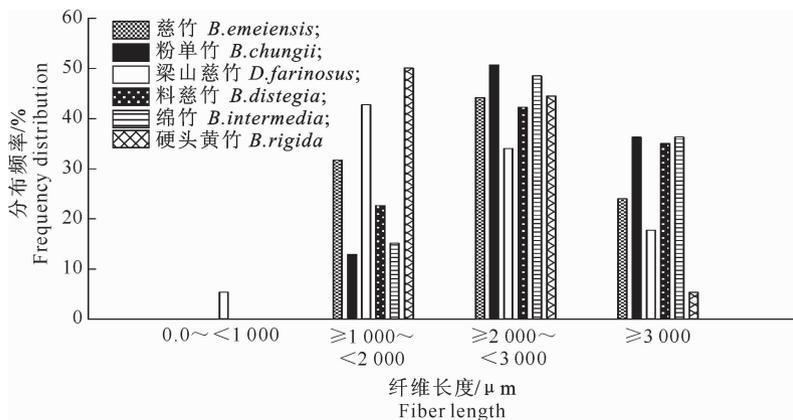


图 1 6 种丛生竹纤维长度的分布频率

Fig. 1 Frequency distribution of fiber length of six sympodial bamboos

3 讨论

3.1 竹材纤维形态的变化规律

绵竹、料慈竹、梁山慈竹和硬头黄竹的纤维长度

以竹秆中部最长,仅有慈竹和粉单竹的最大纤维长度出现在稍部,这表明竹子纤维长度在轴向上的变化会因种类的不同而有差异。关于竹子纤维长度在轴向上的变化已有较多研究:马灵飞等^[2]对浙江 6 种

丛生竹的研究发现,大多数丛生竹均以竹秆中部纤维最长,认为竹子的纤维长与节间长之间存在一定的相关性,纤维长度在轴向上的变化与节间长度随高度的变化相似。Liese^[8]对毛竹的研究认为,竹秆中部纤维的长度最长,即节间长度越长纤维越长。而甘小洪等^[9]对慈竹不同变异类型的研究发现,纤维长度在轴向上的变化会因变异类型的不同而不同。该结论与本研究结果一致。一般地,纤维长度在径向上的变化具有“从外向内逐渐变长,到一定长度后又略变短”的趋势^[2,8]。本研究发现,6种丛生竹均以竹壁中部纤维最长、外侧次之、内侧稍短,总体变化规律与前人的研究结果^[2,8]一致。

6种丛生竹纤维的宽度在轴向上大多表现出由基部到梢部逐渐减小的趋势,这与前人的研究结果相似^[2]。关于纤维宽度在径向上的变化,Liese^[8]认为其无一定的规律性。马灵飞等^[2]研究发现,竹壁中部纤维宽度均较内、外侧大,而内、外侧之间纤维宽度的大小会随竹种不同而有一定差异。本研究中,除慈竹外,其余5种丛生竹种均表现为竹壁中部纤维宽度最大,内、外侧大小无一定的规律性,其结果支持后者^[7]的结论。

朱惠芳等^[10]研究认为,竹子的纤维长宽比以竹壁中部及秆轴中部最大。马灵飞等^[2]研究发现,丛生竹纤维长宽比在轴向和径向上无明显规律性。本研究也发现,6种丛生竹种纤维的长宽比在轴向和径向上的变化未表现出明显的规律性。

已有的研究^[2,10]表明,丛生竹纤维的平均壁厚和平均腔径在轴向上均表现为基部较大、中部次之、梢部较小,这可能与竹子随着高度的增加其竹壁逐渐变薄、腔径逐渐变小有关。在径向上,竹纤维的壁厚为外侧大于内侧,其腔径表现为中部最大、内侧次之、外侧最小。四川6种丛生竹的纤维壁厚和腔径在轴向上并未表现出明显的规律性,腔径在径向上表现为由内至外逐渐减小,明显不同于前人的研究结果^[10]。而壁厚在径向上表现为由外至内逐渐减小,与前人的研究结果^[10]一致。对于纤维壁腔比,一般认为轴向上以梢部最大、中部次之、基部最小,在径向上以外侧最大、中部和内侧较小^[2]。6种丛生竹种纤维的壁腔比在径向上均具有与前人研究相似的规律^[2,10],而在轴向上的变异规律不明显,与前人的研究结果^[2,10]不一致。

3.2 竹材纤维的品质

竹材纤维长度、长宽比和壁腔比是衡量纤维原料和纸浆特性优劣的最重要指标。其中,纤维长度

对纸张的撕裂强度影响很大,与裂断长、耐折度及耐破度也有一定关系^[11-12]。较大的纤维长度可以提高纸张的撕裂度、抗张强度、耐破度、耐折度等纸张强度指标^[13]。本研究发现,6种四川丛生竹的平均纤维长度均大于2 000 μm ,按照国际木材解剖学会的有关规定均应属于长纤维类,优于一般阔叶树材(平均为1 400 μm),表明6种丛生竹材纤维原料的品质比较优良^[1]。纤维的长宽比与竹材的物理性质和用途有很大关系,长宽比大的竹材强固性、割裂性好,适合用作优质造纸原料^[14]。一般来说,原料的纤维长宽比应大于30,长宽比大于100是较优良的造纸原料^[15]。本研究表明,6种丛生竹的纤维长宽比均大于100,除梁山慈竹(114.67)和硬头黄竹(114.94)外,其余4种竹子纤维长宽比的平均值为138.26~152.44,均大于毛竹(123.00)^[16],表明料慈竹、慈竹、粉单竹、绵竹这4种竹材纤维的强固性、撕裂性均优于毛竹,是较为优良的造纸原料。

纤维壁腔比也是制浆造纸的重要评价指标。一般壁薄、壁腔比小的纤维原料可压扁性好,在纤维与纤维间易形成较大的接触面,能赋予纸张较好的纤维结合强度,成纸质地紧密;而壁腔比较大的纤维比较僵硬,彼此结合差,制成纸张的强度较低,但是纸页较疏松,吸水性好^[12,15]。6种丛生竹纤维壁腔比的平均值为2.18~3.96,均小于毛竹(4.55),说明这6种丛生竹竹材的纸浆质量优于毛竹。

纤维长度的频率分布是确定纸浆原料配合率的主要依据,也是衡量造纸原料优劣的重要指标^[11]。当造纸原料的纤维分布在较长级中,且频率越高者其纸浆质量一定更为优良。6种丛生竹中,除梁山慈竹和硬头黄竹分布频率最大的纤维长度为 $\geq 1\ 000 \sim < 2\ 000 \mu\text{m}$ 外,其余4种竹子分布频率最大的纤维长度均为 $\geq 2\ 000 \sim < 3\ 000 \mu\text{m}$ 。其中粉单竹、绵竹和料慈竹2 000 μm 以上长纤维占纤维总数的比例超过了77%,均大于慈竹(68.26%);而梁山慈竹和硬头黄竹2 000 μm 以上长纤维占纤维总数的比例仅为51.8%和49.83%,远低于慈竹。同时,粉单竹、绵竹和料慈竹的纤维平均长度均大于慈竹,平均壁腔比均低于慈竹(3.96),料慈竹的长宽比远大于慈竹,粉单竹与绵竹的纤维长宽比与慈竹差异不显著。综合分析表明,粉单竹、绵竹和料慈竹的纸浆质量优于慈竹,是优质造纸工业原料竹种。

[参考文献]

[1] 杨淑敏,江泽慧,任海清.竹类解剖特性研究现状及展望[J].

- 世界竹藤通讯,2006,4(3):1-6.
- Yang S M, Jiang Z H, Ren H Q. Present status and advances in anatomical characteristics of bamboo [J]. World Bamboo and Rattan, 2006, 4(3): 1-6. (in Chinese)
- [2] 马灵飞, 朱丽清. 浙江省 6 种丛生竹纤维形态及组织比量的研究 [J]. 浙江林学院学报, 1990, 7(1): 63-68.
- Ma L F, Zhu L Q. Fibre forms and tissue percentage of six species of sympodial bamboos in Zhejiang province [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 1990, 7(1): 63-68. (in Chinese)
- [3] 金川. 中国丛生竹 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2001.
- Jin C. Chinese sympodial bamboo [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2001. (in Chinese)
- [4] 张自斌, 周光益, 林亲众. 我国丛生竹研究进展与问题探讨 [J]. 热带林业, 2007, 35(2): 12-17.
- Zhang Z B, Zhou G Y, Lin Q Z. Research progress and some problems on cluster bamboo in China [J]. Tropical Forestry, 2007, 35(2): 12-17. (in Chinese)
- [5] 曹蜀, 孙鹏, 陈其兵, 等. 四川竹业发展与丛生竹引种 [J]. 竹子研究汇刊, 2007, 26(3): 45-49.
- Cao S, Sun P, Chen Q B, et al. Development of bamboo industry and introduction of sympodial bamboos in Sichuan province [J]. Journal of Bamboo Research, 2007, 26(3): 45-49. (in Chinese)
- [6] 徐有明, 郝培应, 刘清平. 竹材性质及其资源开发利用的研究进展 [J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(5): 71-77.
- Xu Y M, Hao P Y, Liu Q P. Advances of bamboo properties and their resources exploitation and utilization [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2003, 31(5): 71-77. (in Chinese)
- [7] 胡尚连, 蒋瑶, 陈其兵, 等. 四川 4 个地区硬头黄竹维管束和纤维特性的研究 [J]. 福建林业科技, 2010, 37(2): 103-106.
- Hu S L, Jiang Y, Chen Q B, et al. Studies on the characteristics of vascular bundle and fiber of *Bambusa rigida* from four different regions of Sichuan province [J]. Journal of Fujian Forestry Scientific and Technology, 2010, 37(2): 103-106. (in Chinese)
- [8] Liese W. The anatomy of bamboo culms [R]. Beijing: INBAR, 1998.
- [9] 甘小洪, 陈凤, 林树燕, 等. 慈竹不同变异类型的纤维形态研究 [J]. 南京林业大学学报, 2013, 37(4): 99-105.
- Gan X H, Chen F, Lin S Y, et al. Fiber morphology of different variation types of *Bambusa emeiensis* [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2013, 37(4): 99-105. (in Chinese)
- [10] 朱惠芳, 腰希申. 国产 33 种竹材制浆应用上纤维形态结构的研究 [J]. 林业科学, 1964, 9(4): 311-325.
- Zhu H F, Yao X S. Studies on the fiber structure of 33 Chinese bamboos available for pulp manufacture [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1964, 9(4): 311-325. (in Chinese)
- [11] 方红, 刘善辉. 造纸纤维原料评价 [J]. 北京木材工业, 1996, 16(2): 19-22.
- Fang H, Liu S H. The evaluation of papermaking fibrous material [J]. Beijing Wood Industry, 1996, 16(2): 19-22. (in Chinese)
- [12] 王菊华. 20 世纪造纸纤维形态领域的重要成就 [J]. 纸和造纸, 1998(4): 7-9.
- Wang J H. An important achievement in the field of fiber morphology for papermaking in twentieth century [J]. Paper and Paper Making, 1998(4): 7-9. (in Chinese)
- [13] 夏玉芳, 吴炳生. 料慈竹杆形结构及其纤维长度 [J]. 贵州农学院学报, 1996, 15(3): 66-69.
- Xia Y F, Wu B S. Culm-form structure and fiber length of *Bambusa distegia* [J]. Journal of Guizhou Agricultural College, 1996, 15(3): 66-69. (in Chinese)
- [14] 张娟, 赵燕, 杨益琴. 4 种竹子化学成分与纤维形态 [J]. 纸和造纸, 2011, 30(10): 33-35.
- Zhang J, Zhao Y, Yang Y Q. Chemical composition and fiber morphology of four kinds of bamboo [J]. Paper and Paper Making, 2011, 10(30): 33-35. (in Chinese)
- [15] 陈富枢. 丛生竹纤维形态分析与造纸用材选择 [J]. 广东林业科技, 1986(2): 1-9.
- Chen F S. Fiber morphology analysis and papermaking materials selection of sympodial bamboo [J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 1986(2): 1-9. (in Chinese)
- [16] 刘晓波, 韩绍中, 穆道友, 等. 德宏州巨龙竹纤维形态和化学成分与制浆性能的初步研究 [J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2006, 31(1): 83-88.
- Liu X B, Han S Z, Mu D Y, et al. Preliminary study on the chemical component and fiber morphology and pulping properties of *Demdrocalamus sinicus* from Dehongzhou [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2006, 31(1): 83-88. (in Chinese)