

文章编号:1001-1498(2005)03-0250-05

大木竹纤维形态与组织比量的研究*

苏文会¹, 顾小平^{1*}, 马灵飞², 吴晓丽¹, 岳晋军¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江林学院工程学院, 浙江 临安 311300)

摘要:通过对浙江南部大木竹的纤维形态和组织比量测定,并与造纸性能良好的青皮竹和当地分布较广的绿竹进行比较,结果表明:大木竹竹材属于长纤维原料,纤维长 2.24 mm,比青皮竹(2.29 mm)略小,而比绿竹(1.87 mm)为大;纤维长宽比达 166,较青皮竹和绿竹的相应值 147 和 131 均大,其中与绿竹的差异达显著水平;壁腔比为 3.5;纤维组织比量达 48.68%,比青皮竹(50.19%)略小,而比绿竹(45.78%)为大。大木竹纤维形态和组织比量各指标在竹秆的纵向和径向均有一定变异,主要表现为,纤维壁腔比和纤维组织比量随秆的高度增加而增大;在径向部位,纤维长度和长宽比均为竹壁中部较大,而壁腔比则为竹壁外侧较大。竹龄主要对壁腔比产生影响,1年生、3年生大木竹的壁腔比明显大于当年生竹。

关键词:大木竹;纤维形态;组织比量

中图分类号:S795 文献标识码:A

Study on Fiber Forms and Tissue Measurements of *Bambusa wenchouensis* Wood

SU Wen-hui¹, GU Xiao-ping¹, MA Ling-fei², WU Xiao-li¹, YUE Jin-jun¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The fiber forms and tissue measurements of *Bambusa wenchouensis* wood in the southern area in Zhejiang province were tested and compared with those of *B. textilis* and *Dendrocalamus oldhami*. The analytic results showed that the fiber length (L) of *B. wenchouensis* was 2.24 mm, a little shorter than that of *B. textilis* (2.29 mm) but longer than *D. oldhami* (1.87 mm); the ratio of fiber length to width (L/W) was 166, the largest one among the three woods, and those of the other bamboo species were 147 and 131 respectively; the ratio of wall thickness of fiber cell to the cavity diameter (T/D) was 3.5; measurements of fiber tissue was 48.68%, a bit smaller than that of *B. textilis* (50.19%) but larger than *D. oldhami* (45.78%). The fiber forms and tissue measurements were variable in both axial and radial parts of this bamboo: T/D and fiber tissue measurements increased gradually from the culm foot to tip; the fiber length and L/W both were the largest in the central bamboo wall, while T/D was the highest in the outer wall. The age had a significant influence on T/D , which was much larger of 1 or 3-year-old wood than that of month-old wood.

Key words: *Bambusa wenchouensis*; fiber forms; tissue measurements

竹子是我国传统的造纸原料,近年来,随着国内对纸产品需求的增大及对树木资源的保护,利用竹

材造纸已成为保证纸产业持续、稳定发展的重要途径。然而,由于目前用于造纸的竹种大多产量不高,

收稿日期:2004-08-25

基金项目:浙江省科技厅重点资助项目(011034)的部分内容

作者简介:苏文会(1976—),女,河北石家庄人,硕士研究生

*研究工作在浙江林学院木材科学与技术实验室完成,并得到李文珠、于红卫和文桂锋等老师的大力帮助,特此致谢!

* * 通讯作者.

资源规模不够,从而制约了竹浆造纸业的发展。大木竹(*Bambusa wenchouensis* (Wen) Q. H. Dai)是浙闽一带重要的高产丛生竹种^[1],在一般立地和经营条件下,该竹秆材年产量约为慈竹(*Neosinocalamus affinis* (Rendle) Keng f.)等常规造纸竹种的3~4倍。另外,笔者对此竹竹材的化学成分进行了分析,从测定结果看,大木竹综纤维素含量较高,而木素和氢氧化钠溶液抽提物的含量较少或中等,作为造纸材,其纤维得率高、易打浆、化学药品消耗少。

除化学成分外,竹材的纤维形态和组织比量也是衡量竹种造纸性能优劣的重要内容^[2~5]。纤维形态包括纤维长度、宽度、长宽比与纤维壁厚、腔径、壁腔比等指标,组织比量则为竹壁中纤维组织、基本组织和输导组织所占的比例,其中,竹材的纤维长度、长宽比、壁腔比及基本组织比量和纤维组织比量等5项指标与竹材的造纸性能直接相关^[3]。国家“八五”科技攻关项目“纸浆竹林集约栽培模式研究”对102个竹种的纤维形态等主要材性性状进行了分析和评价,从中筛选了一批较优良的制浆竹种,但大木竹未被纳入测试与评估。鉴于该竹具有较高的生物产量、适于制浆的化学组成及地处丛生竹北缘的特殊分布区域等优势,本文对不同年龄的大木竹纤维形态和组织比量作了系统测定与分析,并就上述5项指标同造纸性能良好的青皮竹(*Bambusa textilis* McClure)及当地分布较广的绿竹(*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng f.)进行比较,旨在为全面评价大木竹作为造纸原料的适宜性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及取样

大木竹与参与竹种青皮竹、绿竹均于2003年10月采自浙江省平阳县南湖乡,样地为竹木混交林,自然生长,无人经营。立地条件为缓坡地,微酸性红壤土。大木竹按当年、1年生和3年生3个龄阶,各取生长健康良好的竹株3株,参比竹种选择3年生长良好的竹株亦各3株。将3竹种15株样竹的秆5等分截开,从基部开始编号,代表纵向的不同部位。从秆段中部节间的中央,各取约3cm高的竹环,作为测试材料,各试材情况见表1。

1.2 测定方法

1.2.1 纤维形态 自每个环上取长、宽各约1cm的竹块,作为测定试样。对1年生、3年生大木竹的各测试竹块进一步按壁厚三等分割开,作为竹壁径向

部位即竹壁外侧、中部和内侧的测定试样。将试样劈成火柴秆大小,按“硝酸-氯酸钾法”离析纤维。纤维长度放大40倍,在投影显微镜上观测,每个部位均测定100根;纤维宽度和腔径放大400倍,各部位测定50根。

表1 试材的基本情况

竹种	年龄/a	平均秆高/m	平均胸径/cm
大木竹	当年	8.87	7.13
大木竹	1	12.30	6.85
大木竹	3	12.97	7.77
青皮竹	3	13.27	5.58
绿竹	3	7.33	5.57

注:采样时当年生大木竹的秆还处于生长阶段,故平均秆高低于1年生、3年生竹。

1.2.2 组织比量 取1年生、3年生大木竹及参比竹种纵向编号为1、3、5段的竹块,代表秆的基、中和梢部。将竹块软化,按普通方法制片,然后在摄影生物显微镜(OLYMPUS BX51)下照相,图像运用系统程序软件包处理,根据纤维组织、基本组织和输导组织所占的比例,得到试样的组织比量。

2 结果与分析

2.1 大木竹纤维形态和组织比量随竹秆部位的变异

2.1.1 各指标在纵向部位的变异 大木竹与参比竹种青皮竹、绿竹在竹秆纵向各部位的纤维形态与组织比量的测试结果见表2。

由数据可以看出,各竹种自秆基至梢部,纤维长、长宽比和壁腔比等指标均有一定变异。以往有学者认为,纤维长度在竹秆纵向的变异状况与节间长度随高度的变化规律相似^[6],也有人认为此变异不大^[7]。从本文的测定结果看,大木竹及参比竹种青皮竹的纤维长度和长宽比均未表现出明显的规律,而另一参比竹种绿竹与前人研究的料慈竹(*Bambusa distegia* (Keng et Keng f.) Chia et H. L. Fung)、毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie)变化规律相似,均表现为在秆中部纤维长度较大、基部和梢部有所减小的趋势^[8,9],说明纤维长度与长宽比的纵向变异状况可能跟竹种有关。大木竹壁腔比则是基部值较小,随高度增加而逐渐增大,而两个参比竹种壁腔比的纵向变化规律不明显;大木竹纤维组织比量和输导组织比量与竹秆高度呈正相关,而基本组织比量则随高度增大而逐渐下降,两个参比竹种的组织比量亦有相同的变化趋势。

表2 大木竹及参比竹种纵向部位的纤维形态及组织比量

竹种	年龄/a	部位	长度/mm	宽/ μm	长宽比	腔径/ μm	壁厚/ μm	壁腔比	基本组织/%	输导组织/%	纤维组织/%
大木竹	1	- 1	2.33	14.6	159.6	4.6	5.0	2.2	60.83	4.79	34.38
		- 2	3.13	12.4	252.4	3.9	4.3	2.2	-	-	-
		- 3	2.65	13.0	203.8	3.8	4.6	2.4	45.21	9.23	45.55
		- 4	2.01	12.6	159.5	2.9	4.9	3.4	-	-	-
		- 5	2.47	10.9	226.6	1.5	4.7	6.3	40.38	12.18	47.43
	均	2.52	12.7	198.4	3.3	4.7	2.8	48.81	8.74	42.46	
	3	- 1	2.39	14.2	168.3	3.7	5.3	2.9	55.99	3.77	40.24
		- 2	2.68	13.8	194.2	3.1	5.3	3.4	-	-	-
		- 3	2.03	12.3	165.0	2.8	4.8	3.4	44.72	6.24	49.04
		- 4	2.23	12.8	174.2	2.8	5.0	3.6	-	-	-
- 5		1.88	14.4	130.6	2.6	5.9	4.5	34.55	8.69	56.76	
均	2.24	13.5	165.9	3.0	5.3	3.5	45.08	6.23	48.68		
青皮竹	3	- 1	2.89	15.1	191.4	2.4	6.4	5.3	47.99	5.38	46.64
		- 2	2.61	17.3	150.9	2.7	7.3	5.4	-	-	-
		- 3	2.04	15.4	132.5	3.6	5.9	3.3	42.87	8.14	49.00
		- 4	2.25	15.6	144.2	3.1	6.3	4.1	-	-	-
		- 5	1.65	14.7	112.2	2.0	6.4	6.4	33.93	11.15	54.92
均	2.29	15.6	146.8	2.8	6.4	4.6	41.59	8.22	50.19		
绿竹	3	- 1	1.79	13.9	128.8	4.0	5.0	2.5	55.67	5.73	38.60
		- 2	1.87	14.6	128.1	2.2	6.2	5.6	-	-	-
		- 3	2.23	13.3	167.7	2.4	5.5	4.6	47.62	6.31	46.06
		- 4	1.93	16.1	119.9	3.2	6.5	4.1	-	-	-
		- 5	1.54	13.8	111.6	2.8	5.5	3.9	41.09	6.22	52.69
均	1.87	14.3	130.8	2.9	5.7	3.9	48.13	6.09	45.78		

注：“- 1 ~ - 5”表示竹秆自基部到梢部的各纵向部位。

2.1.2 纤维形态各指标在径向部位的变异 一般来讲,竹类植物的竹壁自外侧到内侧,纤维形态均有一定变异。大木竹纤维形态各指标的径向测定数据如表3。

表3 大木竹在径向部位的纤维形态

年龄/a	径向部位	长度/mm	宽度/ μm	长宽比	腔径/ μm	壁厚/ μm	壁腔比
1	外侧	2.38	12.1	197.0	2.3	4.9	4.2
	中部	2.62	12.6	208.6	3.2	4.7	2.9
	内侧	2.58	13.5	191.1	4.4	4.5	2.0
3	外侧	2.10	13.1	159.8	1.8	5.7	6.3
	中部	2.42	13.9	173.9	3.3	5.3	3.2
	内侧	2.22	13.4	165.2	3.8	4.8	2.5

由表3可大致看出纤维形态各指标在竹秆径向的变化趋势。大木竹的纤维长度与长宽比均表现为竹壁中部大、内侧和外侧较小,这与以往研究的毛竹变化趋势基本一致^[8],壁厚由外至内逐渐减小,而腔径由外至内增大,故外侧壁腔比明显大于中部,中部又大于内侧,这与竹类植物竹壁外侧的基本密度、力

学强度比内侧大的规律是一致的。

2.2 不同年龄大木竹的纤维形态与组织比量

关于年龄对造纸原料纤维形态的影响,前人已有一定研究,但说法不尽一致^[10,11]。本文对当年生、1年生和3年生大木竹的纤维长度、长宽比、壁腔比和组织比量等指标进行了测定与分析,数据见表4。

表4 不同年龄大木竹的纤维形态和组织比量

年龄/a	长度/mm	宽/ μm	长宽比	腔径/ μm	壁厚/ μm	壁腔比	基本组织/%	输导组织/%	纤维组织/%
当年	2.30	12.5	184.0	7.1	2.7	0.8	-	-	-
1	2.52	12.7	198.2	3.3	4.7	2.8	48.80	8.74	42.46
3	2.24	13.5	165.9	3.0	5.3	3.5	45.09	6.23	48.68

由测定结果看出,年龄对纤维长度和长宽比的影响不大,方差分析结果亦不显著;壁腔比则跟年龄呈正相关,当年生大木竹的壁腔比显著小于1年生、3年生竹。上述规律可能是因为竹子的伸长来源于居间分生组织的分化,无次生长,竹笋出土至高生长停止纤维长度逐渐达到最大值,其后进入成竹生长阶段,主要是细胞壁的加厚和干物质的积累,而纤

维不再伸长。1年生与3年生大木竹的各组织比量差异不明显,这一点可能与竹株在完成高生长的同时,各组织也已随之分化成熟有关^[8]。

2.3 大木竹及参比竹种纤维长度的频率分布

纤维长度的频率分布(均一性)是确定纸浆原料配比的重要依据,表5列出了3个年龄的大木竹及参比竹种纤维长度的频率分布状况。

表5 大木竹及参比竹种纤维长度的频率分布

竹种	年龄/a	0~1.5 mm	1.5~2.0 mm	2.0~2.5 mm	2.5~3.0 mm	3.0~3.5 mm	3.5 mm 以上
大木竹	当年	22.6	15.4	21.2	16.8	13.0	11.1
大木竹	1	12.9	18.7	21.9	18.0	12.2	16.3
大木竹	3	18.5	21.9	23.0	17.1	9.1	10.4
青皮竹	3	16.7	21.0	22.4	17.7	10.7	11.5
绿竹	3	29.4	30.4	21.9	10.2	5.0	3.1

表5的测定数据表明,大木竹纤维长度大于2.0 mm的比例可占60%,大部分集中于1.5~3.0 mm之间,长度在3.5 mm以上纤维比例超过10%,参比竹种青皮竹纤维长的频率分布状况跟大木竹相近;对比之下,绿竹纤维长度多在2.0 mm以下,占60%左右,而长度大于3 mm的比例较小。因此,从纤维长度的频率分布看,大木竹可考虑作为优质纸张的制浆原料。

2.4 大木竹与参比竹种的纤维形态及组织比量的比较

2.4.1 纤维长度 图1为大木竹、青皮竹和绿竹纤维长度均值的测试结果。由图1可看到,3个竹种的纤维长度均大于1.6 mm,按国际木材解剖协会规定,属于长纤维原料,比针叶材、棉麻类短,但优于一般的阔叶材、禾草和芦苇等^[13,14]。纤维长度是衡量竹材造纸性能的一个重要指标,一般说来,在一定范围内,细而长的纤维能增加纸张强度、耐折度和耐破度^[2],并与撕裂度直接相关,纤维过短,如平均长度小于0.4 mm,则不宜用于造纸^[15]。大木竹纤维长度为2.24 mm,比本文参比竹种青皮竹2.29 mm略小,而比绿竹1.87 mm为大。

2.4.2 纤维长宽比 大木竹与参比竹种纤维长宽比的均值如图2所示。大木竹纤维的长宽比达166,较参比竹种的相应值147和131均大,其中与绿竹差异显著;跟其它丛生竹的相应值比较,亦属于长宽比较大的竹种^[12]。纤维长宽比大的竹材撕裂性和强固性好,宜作优质造纸原料,一般来讲,原料的纤维长宽比应大于30,且愈大对造纸愈有利^[2,16]。

图1 大木竹与参比竹种的纤维长度

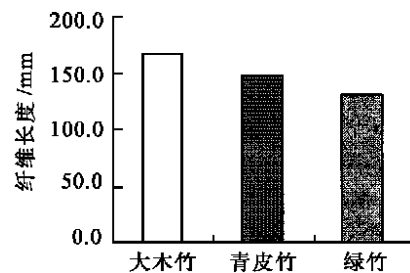


图2 大木竹与参比竹种的纤维长宽比

2.4.3 纤维的壁腔比 大木竹与参比竹种纤维平均壁腔比的大小见图3,由图可看出,跟青皮竹和绿竹相比,大木竹的壁腔比为小。壁薄、壁腔比小的纤维原料,可压扁性好,能赋予纸张较好的纤维结合强度,成纸质地紧密;反之,纸页疏松,易吸水^[15]。

2.4.4 组织比量 大木竹的纤维组织比量较青皮竹略小,而比绿竹大;3个竹种的基本组织比量比较结果是:大木竹比绿竹小,比青皮竹稍大(图4)。造纸原料的纤维组织是制浆的使用对象,其含量与纸浆得率呈正相关;而以薄壁细胞(基本组织)为主的杂细胞比例过高,不仅导致纸浆得率降低,而且会影响纸浆漂白,在抄纸过程中,浆料不易滤水,经常粘纸辊、断头,因

而生产出的纸张强度较差,质地疏松^[13]。

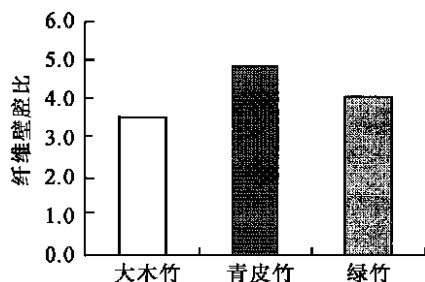


图3 大木竹与参比竹种的纤维壁腔比

图4 大木竹与参比竹种的组织比量

3 结论与讨论

近年来,我国对纸产品的需求不断增大,目前已成为世界第二大纸品消费国,据预测,到2005年全国存在约1000万t纸浆的需求缺口^[17]。我国森林覆盖率低,几十年来传统的木材制浆,造成了林木面积的急剧下降和生态环境的破坏;草浆造纸工艺生产的纸品种类少、质量差、生产过程污染严重^[18]。因此,利用竹材制浆造纸已是缓解我国木材亏缺、减少纸浆进口、节省外汇、维护经济稳定的重要举措。

目前,我国四川省的竹浆造纸产业化程度最高,其制浆竹种多以慈竹、硬头黄(*Bambusa rigida* Keng et Keng f.)和白夹竹(*Phyllostachys bissetii* McClure)为主,而这些竹种大多产量较低,通常不超过 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。本文所研究的大木竹在一般经营水平下,年产秆材可达 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[11],照此计算,如果为年产量20万t的竹浆厂供应原料,慈竹等竹种的营林面积至少要 $5.4 \text{ 万} \text{ hm}^2$,而选择大木竹,则仅需 $1.4 \text{ 万} \text{ hm}^2$ 的林地。

从本文对大木竹纤维形态和组织比量的分析及同参比竹种的比较结果看,大木竹材纤维长达 2.24 mm ,且均一性好;长宽比165.9,优于两参比竹种;纤维组织比量较高。造纸原料纤维长、长宽比大是制造高强度、高撕裂度和耐破度等优质纸张的重要保证,纤维组织比量高有利于提高纸浆得率,从而增大

原料利用率。从纤维形态和组织比量各指标综合来看,作为造纸原料,大木竹仅次于制浆性能优良的青皮竹,而明显优于绿竹。另外,从笔者对该竹的化学成分测定数据看,大木竹综纤维素含量较高,而灰分、木素和抽出物等指标含量较低或中等,亦被认定是造纸的良好材料。其次,如上述及,大木竹秆材年产量可为慈竹等竹种的4倍,如果发展大木竹林作为原料基地,不仅可以填补原料供应不足的缺口,还能大大提高土地利用率。

综上所述,在我国竹材加工业突飞猛进、竹材原料供需矛盾日益凸现的今天,基于大木竹产量高、造纸性能好等特点和优势,建议推广种植该竹。

参考文献:

- [1] 潘孝政. 大木竹及其栽培[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(3): 70~74
- [2] 马灵飞, 韩红, 马乃训. 部分散生竹材纤维形态及主要理化性能[J]. 浙江林学院学报, 1993, 10(4): 361~367
- [3] 夏玉芳. 料慈竹纤维形态和造纸性能及其与其他竹种的比较研究[J]. 竹子研究汇刊, 1997, 16(4): 16~20
- [4] 张喜. 贵州主要竹种的纤维及造纸性能的分析研究[J]. 竹子研究汇刊, 1995, 14(4): 14~30
- [5] 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
- [6] 宇野昌一. 竹材の性质と其の适用[M]. 东京: 西ノ原刊行会, 1940
- [7] 重松义则. 宫崎高农学术报[J]. 1935, 8: 41~59
- [8] 马灵飞, 马乃训. 毛竹材材性变异的研究[J]. 林业科学, 1997, 13(4): 356~364
- [9] 夏玉芳, 吴炳生. 3年生料慈竹纤维形态及组织比量分析[J]. 贵州农学院学报, 1996, 15(1): 22~25
- [10] Shanmughavel P. Influence of age on fibre and chemical characteristics of plantation bamboo (*Bambusa bambos* (L) voss) [J]. World Bamboo and Rattan, 2003, 1(3): 35~38
- [11] 阎冀豫. 纸浆丰产结构及主要竹种的造纸性能探讨[J]. 竹类研究, 1986, 5(4): 39~58
- [12] 马灵飞, 韩红, 马乃训. 丛生竹材纤维形态及主要理化性能[J]. 浙江林学院学报, 1994, 11(3): 274~298
- [13] 孔葆青, 魏丽芬. 植物纤维形态对纸张的影响[J]. 西南造纸, 2000(6): 24~24
- [14] 马乃训, 张文燕. 竹材制浆造纸述评[J]. 林业科学研究, 1995, 8(3): 329~333
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 景华纸业网. 明年我国纸浆需求缺口约1000万吨[Z/OL]. <http://www.papercn.com/news/daynews/04070919.htm>, 2004-07-09
- [18] 马乃训, 陈光财. 加快发展我国的竹材制浆造纸[J]. 林业科学研究, 2004, 17(专刊): 109~113