

云南箭竹纤维形态变异规律

王曙光¹, 普晓兰², 丁雨龙¹, 万贤崇³, 林树燕¹

(1. 南京林业大学 竹类研究所, 江苏 南京 210037; 2. 西南林学院 资源学院, 云南 昆明 650224; 3. 中国林业科学研究院 新技术研究所, 北京 100091)

摘要: 对云南箭竹 *Fargesia yunnanensis* 纤维形态特征进行了显微观测和系统分析, 结果为: 云南箭竹纤维长度为 0.50 ~ 5.18 mm, 平均长度为 1.74 mm; 云南箭竹纤维宽度为 5.70 ~ 52.00 μm , 平均宽度为 19.98 μm ; 长宽比为 18.86 ~ 361.71, 平均为 92.80; 壁厚为 0.80 ~ 416.00 μm , 平均为 14.17 μm ; 腔径为 0.30 ~ 390.00 μm , 平均为 5.53 μm ; 壁腔比为 0.03 ~ 109.00, 平均值为 3.11。云南箭竹纤维平均长度的纵向变异规律为中部 > 基部 > 上部, 纤维的平均宽度表现出类似的变化规律; 云南箭竹纤维的平均壁厚表现出的变化规律, 1 年生和 2 年生均为基部 > 中部 > 上部, 而 3 年生云南箭竹纤维平均壁厚的变异规律为基部 < 中部 < 上部, 腔径也表现出与壁厚类似的变化规律。年龄和部位对云南箭竹纤维特征影响显著。表 1 参 10

关键词: 木材学; 云南箭竹; 纤维形态; 变异规律

中图分类号: S781.3; S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)04-0528-05

Morphological differences of *Fargesia yunnanensis* fibers

WANG Shu-guang¹, PU Xiao-lan², DING Yu-long¹, WAN Xian-chong³, LIN Shu-yan¹

(1. Bamboo Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 2. Faculty of Resources, Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan, China; 3. Institute of New Forest Technology, The Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: *Fargesia yunnanensis* is one alpine bamboo that belongs to *Fargesia* Franchet, which has no reports on variation pattern of fiber properties so far. Morphology of *F. yunnanensis* fibers was examined and analyzed systematically to investigate the growth change of *F. yunnanensis* fibers by adopting the method of fiber isolation, so as to provide a theoretical foundation for the rational development and utilization of this bamboo. The results showed that fiber length ranged from 0.50 to 5.18 mm averaging 1.74 mm, fiber width ranged from 5.70 to 52.00 μm averaging 19.98 μm , the fiber length to width ration ranged from 18.86 to 361.71 averaging 92.80, fiber cell wall thickness ranged from 0.80 to 416.00 μm averaging 14.17 μm , fiber cell cavity diameter ranged from 0.30 to 390.00 μm averaging 5.53 μm , and the fiber cell wall to cavity ratio varied from 0.03 to 109.00 averaging 3.11. The change for average fiber length in mature bamboo culms was middle > bottom > top, and average fiber width showed an analogous rule to average fiber length. Also, the change for average fiber wall thickness in one- and two-year-old bamboo culms was bottom > middle > top and in three-year-old bamboo culms was top > middle > bottom; fiber lumen diameter showed an analogous rule to fiber cell wall thickness. Thus, age and the bamboo longitudinal location had a strong influence on fiber characteristics. [Ch, 1 tab. 10 ref.]

收稿日期: 2008-11-18; 修回日期: 2009-02-20

基金项目: 国家林业科技支撑项目(2006BAD19B02)

作者简介: 王曙光, 博士研究生, 从事竹类研究。E-mail: stevenwang1979@126.com。通信作者: 丁雨龙, 教授, 博士生导师, 从事植物资源引种、驯化及苗木产业化研究。E-mail: ylding@public1.ppt.js.cn

Key words: wood science; *Fargesia yunnanensis*; fiber morphology; change rules

云南箭竹 *Fargesia yunnanensis* 主要分布在四川西南部(如西昌、会理、攀枝花)和云南的大理、丽江等地区, 为中国特有的优良笋材两用竹种。云南箭竹适宜于气温较低, 海拔为 1 500 ~ 2 800 m 山坳中生长。云南箭竹壁厚, 故又名昆明实心竹, 其秆材的开发利用前景广阔, 具有很高的经济价值。纤维形态特征是研究竹材特性的基础之一, 也是竹材利用的依据之一。迄今为止, 云南箭竹竹材包括纤维形态在内的材性指标的变异规律尚未见报道。本文通过对云南箭竹不同年龄、不同部位的纤维形态的定量分析, 探讨云南箭竹纤维形态的生长变化规律, 为云南箭竹的合理开发利用提供理论研究依据。

1 试验材料与方法

供试竹于 2007 年 10 月采自云南省楚雄彝族自治州永仁县白马河林场, 样地为竹木混交林, 自然生长, 无人经营。立地条件为坡地, 微酸性红壤土。云南箭竹的取材参照马灵飞等^[1-2]的取材方法。分别取 1 年生、2 年生和 3 年生 3 个龄级, 每个龄级各 3 株生长健康良好, 形态粗细差不多, 长势中庸的竹子作为测试对象。在各龄级竹秆分别取基部(从基部数第 3 节)、中部(第 8 节)和上部(15 节)的节间中央截取长约 10 cm 竹材作为试件供测试用。分别将上述材料削掉竹青和竹黄, 然后选取试件中间部位削成长约 2 cm 的火柴棍状, 倒入 Jeffery 离析液(按 100 g·kg⁻¹ 铬酸 + 100 g·kg⁻¹ 硝酸等比例配制) 浸没竹棍, 离析 36 ~ 72 h。待竹棍被浸透, 以用镊子轻轻一夹即完全散开为宜。将离析液倒出, 用蒸馏水冲洗至中性, 放入体积分数为 70% 的乙醇进行保存。

取部分离析材料以 10.0 g·L⁻¹ 番红染色 1 ~ 2 min 后用蒸馏水洗去染液, 然后按常规方法制成制片, 通过显微镜用显微测微尺测定纤维长度、宽度、腔径和壁厚等, 每一试样观测 50 根纤维, 每一部位观察 150 根纤维, 记录结果, 然后采用最小显著差数法(LSD)对相同年龄段的不同部位及各年龄段之间的平均值分别进行多重比较。

2 结果与分析

云南箭竹竹材纤维细胞细长, 两端渐尖, 有时在端部出现分叉现象, 其腔径较小, 胞壁较厚。竹材节部的纤维形态与节间不同, 具有钝的尾端, 存在分叉现象, 有些纤维还有内含物, 与节间的纤维相比节部的长度短很多。

2.1 纤维的长度、宽度及长宽比

纤维的长度是衡量竹材造纸性能的一个重要指标。一般来说, 在一定范围内, 细而长的纤维能增加纸张的强度、耐折度和耐破度, 并与撕裂度直接相关, 纤维过短, 如平均长度小于 0.40 mm, 则不宜于造纸。根据测定的结果, 云南箭竹纤维长度为 0.50 ~ 5.18 mm, 1.63 mm 以上的纤维约占总数的 50% ~ 75%, 纤维的平均长度 1.74 mm, 说明云南箭竹纤维组成以长纤维为主^[3]。纤维宽度为 5.70 ~ 52.00 μm, 平均值为 19.98 μm; 长宽比的区间为 18.86 ~ 361.71, 平均值为 92.80。

云南箭竹上部纤维平均长度为 1.42 mm, 中部纤维平均长度为 1.96 mm, 基部纤维平均长度为 1.86 mm, 在轴向上秆材纤维长度表现出的变化规律为中部 > 基部 > 上部, 同时纤维的宽度也表现出类似的变化规律。由表 1 可以看出, 不考虑年龄因素, 云南箭竹的所有龄级秆材上部纤维的平均长度和平均宽度与中部和基部纤维差异显著, 但中部与基部纤维的平均长度和平均宽度差异不显著。如果不考虑部位影响因素, 各龄级之间云南箭竹纤维的平均长度差异比较显著。

2.2 纤维的壁厚、腔径和壁腔比

云南箭竹纤维细胞壁厚为 0.80 ~ 416.00 μm, 平均值为 14.17 μm; 纤维细胞腔径为 0.30 ~ 390.00 μm, 平均值为 5.53 μm; 壁腔比的区间为 0.03 ~ 109.00, 平均值为 3.11。其中 1 年生纤维平均壁厚为 13.40 μm, 平均腔径为 7.62 μm; 2 年生云南箭竹纤维平均壁厚为 16.44 μm, 平均腔径为 5.25 μm; 3 年生云南箭竹纤维平均壁厚为 12.67 μm, 平均腔径为 3.73 μm。可见云南箭竹纤维的平均壁厚从 1 年

生到2年生时,加厚比较显著,年龄对云南箭竹的壁厚会造成显著的影响。不同部位云南箭竹纤维壁厚的变化趋势为1年生和2年生均为基部>中部>上部,3年生云南箭竹纤维壁厚的变化趋势为基部<中部<上部。总体上说,不同部位会对纤维的壁厚测定结果造成显著的影响。由表1可以看出,如果不考虑年龄因素的影响,秆材上部纤维的平均壁厚与中部和基部差异比较明显,而中部与基部纤维的平均壁厚差异不是很显著。同时腔径也表现出类似的变化趋势,但其中部与基部之间纤维的腔径之间差异比较显著。

表1 白马河云南箭竹纤维形态变化

Table 1 The fiber characteristics of *Fargesia yunnanensis* in Baimahe Forest Farm

年龄	部位	长度/mm	宽度/ μm	长宽比	壁厚/ μm	腔径/ μm	壁腔比/ μm
1年生	上部	1.50 a	19.58 a	76.50 a	10.28 a	9.29 c	1.11 a
	中部	1.93 b	22.36 b	86.11 b	14.67 b	7.69 b	1.91 a
	基部	1.88 b	21.12 b	88.95 b	15.26 b	5.87 a	2.60 b
	平均	1.76 b	21.02 b	91.62 a	13.40 b	7.62 c	1.87 a
2年生	上部	1.44 a	18.48 a	77.92 a	15.14 a	3.34 a	4.53 b
	中部	2.14 b	21.17 ab	101.09 b	16.54 ab	5.63 b	2.94 a
	基部	1.95 b	24.41 b	79.89 a	17.63 b	6.77 b	2.61 a
	平均	1.84 c	21.35 b	87.33 a	16.44 c	5.25 b	3.46 b
3年生	上部	1.31 a	16.31 a	80.02 a	13.36 b	2.95 a	4.53 b
	中部	1.81 b	18.89 b	96.10 b	12.84 ab	3.04 a	4.21 b
	基部	1.74 b	17.01 ab	102.48 b	11.82 a	5.20 b	2.27 a
	平均	1.62 a	17.40 a	98.87 b	12.67 a	3.73 a	4.01 b
平均	上部	1.42 a	18.12 a	78.15 a	12.93 a	5.19 a	3.39 b
	中部	1.96 b	20.81 b	94.43 b	14.68 b	5.45 b	3.02 b
	基部	1.86 b	20.85 b	90.44 b	14.90 b	6.03 c	2.49 a
	平均	1.74	19.98	92.80	14.17	5.53	3.11

说明:同一栏里标有相同字母的平均值在 $\alpha = 0.05$ 水平上差异不显著。

壁腔比又称 Runkel 比率,指纤维两壁厚和腔径之比,以表示细胞壁的相对厚度,是造纸业衡量纤维的重要标准之一^[3]。云南箭竹1年生纤维平均壁腔比为1.87,2年生纤维平均壁腔比为3.46,3年生纤维平均壁腔比为4.01。可见云南箭竹纤维壁腔比的变化趋势为1年生<2年生<3年生,壁腔比随着年龄的增加而逐渐增大。在轴向上,1年生云南箭竹纤维壁腔比表现为基部>中部>上部,2年生和3年生的云南箭竹纤维则表现为上部>中部>基部,由下而上呈递减的趋势。

3 讨论

竹子是中国传统的造纸原料,近年来,随着中国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,并非所有的竹材均适合造纸,因此,有关竹子纤维形态等衡量竹种造纸性能标准的测定显得十分重要。

3.1 纤维的长度、宽度和长宽比

竹类植物没有次生生长。从发笋到新竹形态建成时期,竹类植物生长旺盛,各个组织、细胞的生理代谢活动旺盛,各类细胞的分化由基部向上逐节依次完成。一旦高生长结束,竹秆内各类组织细胞的数量、形态基本定型,但纤维细胞的个体发育并没有结束。纤维细胞的细胞壁在随后的2~3a还

将显著增厚，4 年生竹秆纤维细胞壁增厚速率明显下降^[4]。因此，随着竹秆年龄的增加，纤维长宽比变化不大，但壁腔比的变化明显。长宽比大的纤维造的纸耐撕裂性和强固性好，宜作优质造纸原料，一般来讲，原料的纤维长宽比应大于 35 ~ 45，且愈大对造纸愈有利^[5]。由表 1 可知云南箭竹的长宽比的平均值为 92.80。因此，云南箭竹也可考虑作为优质纸张的纸浆原料。

关于纤维的长度与部位之间的关系，不同的研究人员报道的不一致。通常竹类植物的中部节间长度最长，而基部和上部节间的长度相对较短。Liese^[6]认为，纤维的长度与节间的长度相关，由于在茎秆中部存在最长的节间，也就有较长的纤维。夏玉芳等^[7]认为料慈竹 *Bambusa distegia* 和大多数丛生竹一样，其竹节节间长由基部到上部呈现出短—长—短的规律，而纤维长度在竹材秆轴方向的变化与节间长具极大的相似性，料慈竹节长与纤维长度呈直线相关关系。苏文会等^[8]对大木竹 *Bambusa wenchouensis* 及参比竹种青皮竹 *Bambusa textile* 研究表明纤维长度未表现出明显的规律，而另一参比竹种绿竹则表现出与 Liese 的结论一致的规律。普晓兰等^[9]认为巨龙竹 *Dendrocalamus sinicus* 的纤维长度并不是中部节间最长的部位最长，而是具有基部 > 中部 > 上部的规律。云南箭竹纤维形态的轴向变化上，纤维长度的变化规律为中部 > 基部 > 上部，与 Liese 的研究结论一致，即节间长度越长，纤维的长度越长。不同研究报道之间的差异可能是由于研究人员在竹种的测定试件的截取部位以及测量过程中存在的误差造成的。总体而言，竹子纤维的长度与竹种的节间长度相关。在筛选适合造纸的竹种过程中，就要考虑不同地理种源、不同竹种节间长度对纤维长度的影响。

3.2 纤维的壁厚、腔径和壁腔比

云南箭竹纤维的平均壁厚从 1 年生到 2 年生时，加厚尤为显著，年龄对云南箭竹的壁厚会造成显著的影响。甘小洪等^[4]在对毛竹 *Phyllostachys pubescens* 茎秆纤维细胞的发育过程中细胞壁变化律进行研究的过程中发现，1 a 之中纤维细胞壁的积累主要集中在 3 - 6 月；随着年龄的增加，纤维细胞壁将逐渐加厚，在前 3 a 其加厚趋势明显。纤维细胞壁的这种快速加厚方式有利于竹秆生长早期抵御外力的破坏，也是由于竹秆在 1 年之内即完成了高度生长，纤维细胞壁生长速度快，含水量也明显高于其他年龄段。同时由数据可以看出，1 年生和 2 年生的竹材纤维的细胞壁厚度，上部较低，基部纤维壁厚最高，可能是由于 1 年生和 2 年生竹秆基部纤维在竹秆完成高度生长的过程中，基部纤维细胞的细胞壁先发育成熟，中部其次，上部最后发育成熟。而 3 年生竹材的纤维细胞壁厚度在轴向上则表现出上部 > 中部 > 基部的变化规律，主要是由于 3 年生竹材纤维整体已基本发育成熟，但秆基部细胞壁的加厚程度要低于梢部，这个时期细胞壁的加厚主要是干物质的积累和水分的含量降低。

由表 1 可知云南箭竹纤维的壁腔比从 1 年生到 3 年生逐渐增大，这是由于云南箭竹纤维的细胞壁随着年龄的增加而逐渐增厚，腔径随着年龄的增加而逐渐减小，从而导致云南箭竹纤维的壁腔比随着年龄增加逐渐增大。

3.3 年龄和部位对纤维各形态指标的影响

由表 1 我们可以看出秆材的年龄和部位会对云南箭竹纤维的形态指标造成一定程度的影响。其中秆材的年龄对纤维形态指标造成影响可能主要是由于年龄影响着纤维细胞壁的发育程度，进而影响到纤维细胞生理代谢活动、水分含量以及细胞壁木质素等干物质沉积，从而对纤维细胞的各项形态指标造成影响。

竹子秆材的不同部位会对纤维的形态指标造成影响主要可能是由于竹秆的不同部位纤维的发育程度不同以及茎秆的受力程度不同所造成的。另外，竹秆的节间和节内的纤维的形态也不同。竹子茎秆节间内维管束互相分离，而竹子节部维管束会反复分叉和彼此相连，此处纤维数量减少，纤维长度也变短^[10]。夏玉芳等^[7]在对 3 年生的料慈竹和以及苏文会等^[8]对大木竹的纤维形态进行研究都认为秆材的不同部位，包括同一部位的内侧、中部和外侧的纤维形态指标具有显著差异。普晓兰等^[9]对巨龙竹的纤维形态指标进行研究时，也发现了类似的变化规律。

由于年龄、部位对云南箭竹纤维的各形态指标影响比较显著，因此，在其造纸利用的过程中要充分考虑竹材的伐取年龄和部位等因素，以期提高竹材的最大利用率，增加生产效益。

参考文献:

- [1] 马灵飞, 朱丽清. 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.
MA Lingfei, ZHU Liqing. Fiber forms and tissue percentage of six species of sympodial bamboos in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1990, 7(1): 63-68.
- [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.
MA Lingfei, HAN Hong, MA Naixun. Fibre morphology of some scattered bamboo wood and main properties of physics and chemistry [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1993, 10(4): 361-367.
- [3] 邬义明. 植物纤维化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997: 70-74.
- [4] 甘小洪, 丁雨龙. 毛竹茎秆纤维发育过程中细胞壁的变化规律研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 457-462.
GAN Xiaohong, DING Yulong. Investigation on the variation of fiber wall in *Phyllostachys edulis* culms [J]. *For Res*, 2006, 19(4): 457-462.
- [5] 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.
FANG Hong, LIU Shanhuai. Evaluation of paper fiber raw materials [J]. *Beijing Wood Ind*, 1996, 16(2): 19-22.
- [6] LIESE W. *The Anatomy of Bamboo Culms* [R]. Beijing: INBAR Tech Rep 18, 1998: 130-135.
- [7] 夏玉芳, 吴炳生. 料慈竹秆形结构及其纤维长度[J]. 贵州农学院学报, 1996, 15(3): 66-69.
XIA Yufang, WU Bingsheng. Studies on fiber forms and tissue percentage of *Bambusa distegia* [J]. *J Guizhou Agric Coll*, 1996, 15(3): 66-69.
- [8] 苏文会, 顾小平, 马灵飞, 等. 大木竹纤维形态与组织比量的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(3): 250-254.
SU Wenhui, GU Xiaoping, MA Lingfei, et al. Study on fiber forms and tissue measurements of *Bambusa wenchouensis* wood [J]. *For Res*, 2005, 18(3): 250-254.
- [9] 普晓兰, 杜凡. 巨龙竹纤维形态及变异规律的研究[J]. 云南林业科技, 2003(1): 1-4.
PU Xiaolan, DU Fan. Study of fiber morphology and its variation law of *Dendrocalamus sinicus* [J]. *J Yunnan For Sci Technol*, 2003(1): 1-4.
- [10] 丁雨龙, LIESE W. 竹节解剖构造的研究[J]. 竹子研究汇刊, 1995, 14(1): 24-31.
DING Yulong, LIESE W. Studies on the nodal structure [J]. *J Bamboo Res*, 1995, 14(1): 24-31.

吕祖善省长视察浙江林学院

2009年5月14日, 中共浙江省委副书记、浙江省省长吕祖善在副省长郑继伟等领导陪同下到浙江林学院视察。他先后察看了国家木质资源综合利用工程中心、农学基础实验教学中心、竹业科学与技术省部共建教育部重点实验室等, 并听取了学校工作汇报。

吕祖善特别关心学校研发的刨切微薄竹、竹地板、竹纤维、竹炭、杉木集成材等竹木产品的推广应用, 提出要进一步研究拓宽应用领域, 促使国内市场尽快成熟起来; 对浙江林学院专家在蔬菜种子处理技术、功能蔬菜的选育、小麦置换系的构建、检疫性病虫防治, 以及竹子开花基因等方面取得全国乃至世界领先的研究成果表示了充分肯定和赞赏。参观过程中, 吕省长还询问了重中之重学科建设、人才引进、教学科研基地建设等方面的情况, 并与正在做实验的师生亲切交流。

吕祖善指出, 农林类院校要在出人才出成果的同时, 围绕社会主义新农村建设这一重大课题, 更好地服务地方经济社会发展。学校发展要坚持办学特色, 将一些优势重点学科努力办成国内一流, 国际领先; 要着眼农业生产关系调整, 努力培养新一代现代农业生产经营主体; 要拓宽办学思路, 将学校的科研、教育活动与新农村建设有机结合起来, 实现服务社会与学校发展的互利双赢。