

# 寿竹的秆形特征及纤维形态研究

唐翠彬<sup>1a,1b</sup>, 甘小洪<sup>1a,1b\*</sup>, 温中斌<sup>2</sup>, 丁雨龙<sup>3</sup>

(1. 西华师范大学, a. 生命科学学院; b. 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川 南充 637009; 2. 重庆市林业科学研究院梁平竹子研究所, 重庆 梁平 405200; 3. 南京林业大学竹类研究所, 南京 210037)

**摘要:** 为探讨寿竹(*Phyllostachys reticulata* ‘Shouzhu’)的材质特性,分析寿竹的造纸性能,以毛竹(*Phyllostachys edulis*)和慈竹(*Bambusa emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung)为对照,对重庆市梁平县寿竹秆形结构的垂直变化、材积与生物量以及纤维形态特征进行研究。结果表明,寿竹秆的节间长度随竹高度呈现先长后短的变化趋势,直径与壁厚均随竹秆高度的增加而逐渐减小。寿竹材积的模型为  $V = 0.000939H + 0.001861D^{-0.01374}$ ,生物量模型为  $W = 1.297D + 2.053H^{-16.666}$ 。寿竹纤维长度平均为 2.47 mm,以 2~3 mm 分布最多,长宽比大于 100,属于制作优良纸张的较好纤维;纤维壁腔比较大,达 3.85。相对毛竹而言,寿竹竹秆的节间长度更长,垂直方向上材积分布更加均匀,纤维长、长宽比大。寿竹与慈竹的纤维长度差异不大,但纤维长宽比小于慈竹,壁腔比大于慈竹。寿竹节间长,垂直分布均匀,材积和生物量大,是优良的板材利用原料;寿竹纤维长,长宽比大,是优良的造纸原料,造纸性能优于毛竹略次于慈竹。

**关键词:** 寿竹; 秆形结构; 生物量; 材积; 纤维形态

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.06.017

## Culm Form Characteristic and Fiber Morphology of *Phyllostachys reticulata* ‘Shouzhu’

TANG Cui-bin<sup>1a,1b</sup>, GAN Xiao-hong<sup>1a,1b\*</sup>, WEN Zhong-bin<sup>2</sup>, DING Yu-long<sup>3</sup>

(1a. College of Life Science; 1b. Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation of Ministry of Education, China West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Bamboo Research Institute, Academy of Forestry of Chongqing, Liangping 405200, China; 3. Bamboo Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** In order to understand material and papermaking properties of *Phyllostachys reticulata* ‘Shouzhu’, *P. edulis* and *Bambusa emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung were collected as controls, culm form, volume biomass and fiber morphology of *P. reticulata* ‘Shouzhu’ were studied. The results showed that the internode length of ‘Shouzhu’ was long at first, and then short along culm height, and the diameter and culm wall thickness decreased with increment of culm height. The model for ‘Shouzhu’ volume was  $V = 0.000939H + 0.001861D^{-0.01374}$ , and  $W = 1.297D + 2.053H^{-16.666}$  for biomass. The average length of ‘Shouzhu’ fibers was 2.47 mm, most ranges from 2 to 3 mm, and the ratio of fiber length to width was more than 100, and the ratio of cell wall to cavity was 3.85. Compared with *P. edulis*, the internode length of *P. reticulata* ‘Shouzhu’ culm was long, volume distribution in vertical direction was even, and fiber was long with big ratio of length to width. Compared to *B. emeiensis*, the fiber length of ‘Shouzhu’ had little difference, the ratio of length to width was small with big ratio of cell wall to cavity. These indicated that *P. reticulata* ‘Shouzhu’ could be used for sheet and papremaking materials, which papermaking properties of *P. reticulata* ‘Shouzhu’ was better than *P. edulis* but under *B. emeiensis*.

**Key words:** *Phyllostachys reticulata* ‘Shouzhu’; Culm form; Biomass; Volume; Fiber morphology

收稿日期: 2012-03-05 接受日期: 2012-07-03

基金项目: 国家十一五科技支撑项目(2006BAD19B02); 国家林业公益性行业科研专项(201004005)资助

作者简介: 唐翠彬(1987~), 女, 硕士研究生, 主要从事竹子资源保护与利用研究。

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bhgan@163.com

竹子生长快、产量高,可制成竹材集成材、竹材地板以替代珍贵阔叶材。为了缓解木材供需紧张,20世纪70年代中期我国就提出了“以竹代木”的设想<sup>[1]</sup>,但长期以来竹种资源利用单一,尤其是竹板材加工几乎完全依赖毛竹(*Phyllostachys edulis*)<sup>[2]</sup>,竹种单一化经营使毛竹原料价格居高不下<sup>[3]</sup>,导致竹材原料供需矛盾日趋突出,已成为制约竹产业进一步发展的瓶颈。另外,随着国内纸产品需求的增加,竹子已成为制浆造纸的重要原料之一<sup>[4]</sup>。然而从中国当前用于制浆的竹种来看,大多数产材量并不乐观,不同竹种的造纸性能也参差不齐。因此,筛选和培育高产优质的竹种具有重要的现实意义。

寿竹(*Phyllostachys reticulata* ‘Shouzhu’)隶属于禾本科(Poaceae)竹亚科(Bambusoideae)刚竹属,是笋材两用大径竹种<sup>[5-6]</sup>,平均胸径为5~8 cm<sup>[7]</sup>,是重庆市梁平县倾力打造的优良经济竹种。目前对其板材、造纸、竹炭等方面的利用需求也日益增多,但是对其材性及造纸性能等方面的研究较少,从而阻碍了寿竹的开发和利用。

秆形特征是评价竹种材性的重要指标,对竹材的利用具有指导作用<sup>[8]</sup>;纤维形态特征是评价竹浆造纸性能的重要指标<sup>[3,9]</sup>。甘小洪等对寿竹的秆形结构进行了初步研究<sup>[7]</sup>,拟合了胸径与各秆形因子之间的数学模型。但有关寿竹秆形的垂直结构、纤维形态等影响寿竹材性的研究目前还未见报道。本文对寿竹秆形的垂直结构、竹秆材积及生物量模型、纤维形态等方面进行研究,揭示寿竹的材质特性,以期对寿竹的合理开发利用提供理论基础。

## 1 研究地自然概况

试验地设于重庆市梁平县百里槽及城南槽的竹山区,海拔500~1200 m,位于北纬30°39′~30°51′、东经107°30′~107°41′。生境海拔300~1200 m,土壤为山地黄壤,年均气温为14℃~16℃,无霜期约250 d,年均降水量为1200~1400 mm,相对湿度为85%<sup>[10]</sup>,试验区寿竹(*Phyllostachys reticulata* ‘Shouzhu’)林和毛竹(*P. edulis* (Carr.) H. de Lehaie)林均为粗放经营的笋材两用林。慈竹(*Bambusa emeiensis* L. C. Chia & H. L. Fung)样品取自四川省青神县竹艺城。

## 2 材料和方法

于2010年3月左右进行野外调查研究。按照

随机取样方法挑选10 m × 10 m寿竹样方共30个,毛竹样方6个,样方内每株检尺,调查胸径和年龄,根据立竹径级分布规律,从中抽取生长良好、无病虫害、胸径与平均胸径误差不超过5%的样竹3株作为标准竹。将标准竹连篾挖起,在秆基处锯断,测量节数、节间长,取胸径的2/5为用材小头直径,在该径处去掉小头<sup>[8,11]</sup>,剔除枝叶。将竹秆平均分为20个区段并依次排列,竹上标I、II、III……N的区段号。用电子数显卡尺(分辨率0.01 mm)按垂直四个方向分别测量各竹段基部竹壁厚度(最后一段还需测量其端部壁厚),并用围尺测量每一段底部外围直径(最后一段需测量端部外围直径)。

按照寿竹生长规律,选择胸径为平均胸径、3年生的寿竹和相同条件下的毛竹和慈竹,在竹基部、中部、上部的节间中央截取长约10 cm的竹材,削成长约2 cm的火柴棍状,于Jeffery离析液(10%硝酸:10%铬酸=1:1)中浸没材料,离析36~72 h,洗去离析液,番红染色,常规制片<sup>[12]</sup>,利用Motic显微图像处理系统测量纤维形态指标。

数据采用Excel软件进行整理,采用SPSS 17.0软件进行各秆形因子的相关性分析和垂直结构分析,建立回归模型。为了消除胸径和高度差异对模型的影响,在分析竹秆垂直结构时,采用相对值进行数据处理和统计分析<sup>[13]</sup>。对纤维形态的各指标进行Duncan差异显著性分析。参考孟宪宇<sup>[12]</sup>及张刚华等<sup>[13]</sup>方法计算材积,并用SPSS进行数据统计及分析。

## 3 结果和分析

### 3.1 节间长度

节间长度是生产上的一个重要指标。将标准竹径级按6~7 cm、7~8 cm和8~9 cm分成3组,并对每一标准竹的节间由下至上按1,2,3……n进行编序。由图1可知,不同径级寿竹的节间长度随秆高的变化规律相似,即先逐渐增长后缓慢下降,下降的幅度比增高幅度小。相对而言,寿竹的胸径越小其节间长度越小,其变化幅度也更小。相同胸径(6~7 cm径级)下,寿竹的节间长度大于毛竹,且节间长度的变化幅度也比毛竹大(图1)。

### 3.2 壁厚与直径

壁厚直接影响着竹材产量,同时也对竹材的力学和工艺性质有一定影响。由图2可知,不同径级

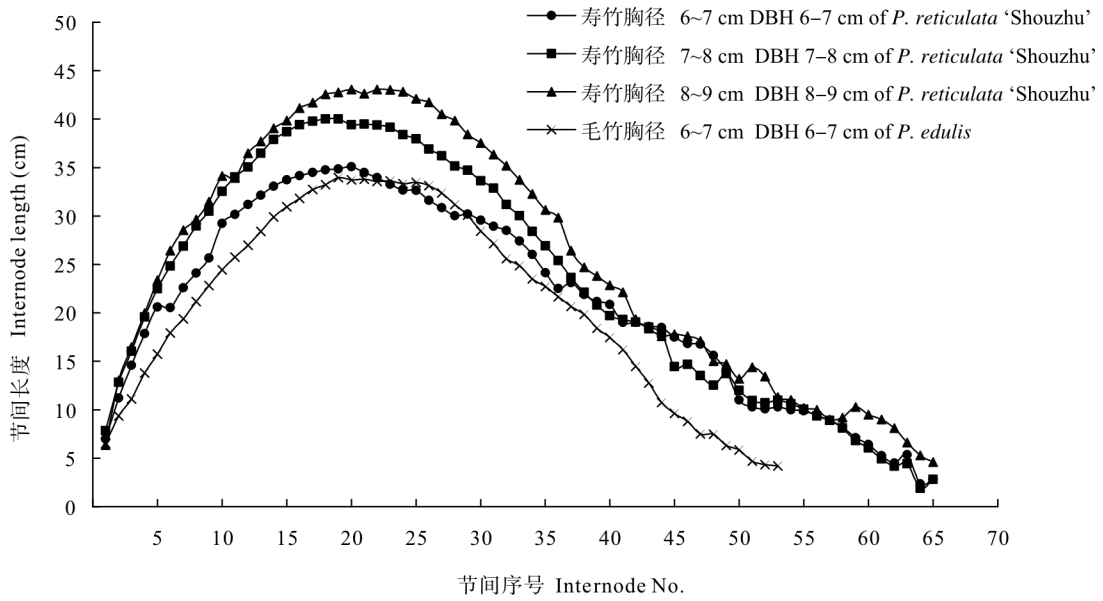


图 1 不同胸径寿竹和毛竹长度的变化  
 Fig. 1 Changes in internode length of different DBH class of *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu' and *P. edulis*

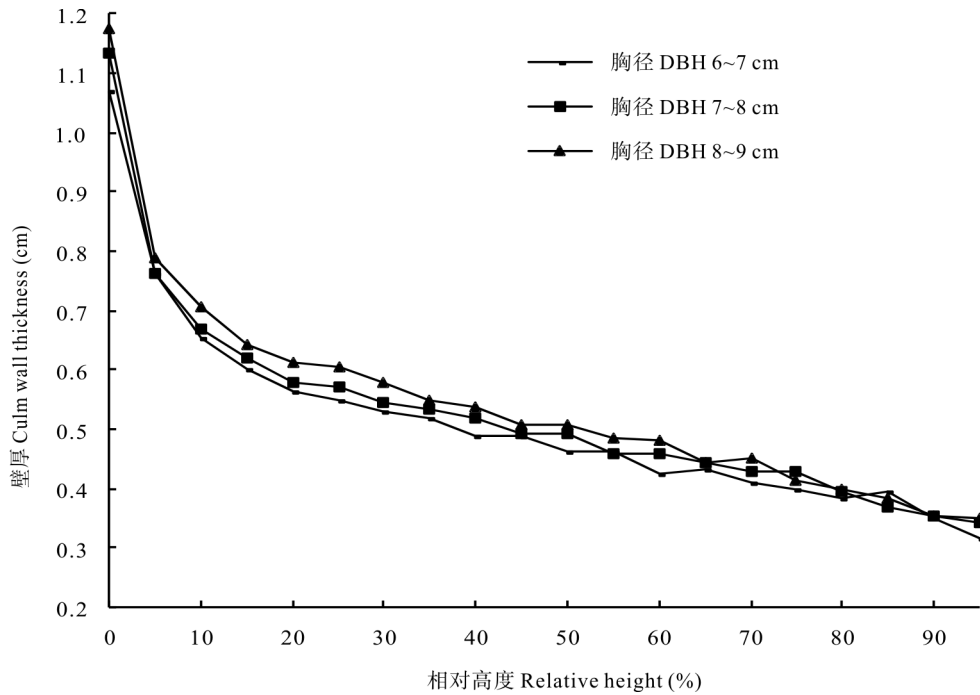


图 2 不同胸径寿竹壁厚随竹高度的变化  
 Fig. 2 Changes in culm wall thickness of *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu' at different DBH classes

寿竹的壁厚随着秆高的增加变化规律相似,即先急剧减小,然后缓慢减小。寿竹的胸径越大,壁厚也相应较大。

由图 3 可知,寿竹的直径随着秆高的增加逐渐减小,寿竹的胸径越大,各区段的直径也较大。

为消除胸径和秆高对实验结果的影响,本文采用相对值概念分析壁厚、直径随秆高的变化情况。

以竹秆的某区段基部壁厚与竹秆基部壁厚的比值为相对壁厚,某区段基部直径与竹秆基径的比值为相对直径,某区段以下的高度与秆高的比值为相对秆高,分别对寿竹、毛竹的相对壁厚和相对直径随相对高度的变化情况进行分析。结果(图 4)表明,两者的相对壁厚及相对直径均随相对高度的增加逐渐减小,其中相对壁厚的变化幅度相似,但寿竹

基部的相对壁厚要小于毛竹；寿竹的相对直径变化幅度明显小于毛竹。

分别对寿竹和毛竹的相对壁厚、相对直径与相对高度进行模型拟合(表 1)。拟合模型均为三次函

数,经  $F$  检验表明这些方程可以用来反映相对直径以及相对壁厚在垂直方向上的变化情况。由于模型运用的是相对值,因此,实际运用时必须通过实测秆高、地径和秆基壁厚来进行转换。

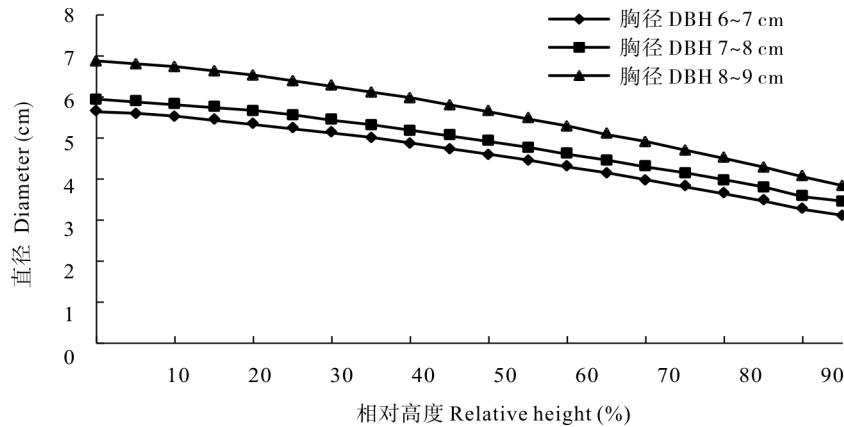


图 3 不同胸径寿竹直径随高度的变化

Fig. 3 Changes in diameter of *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu' at different DBH classes

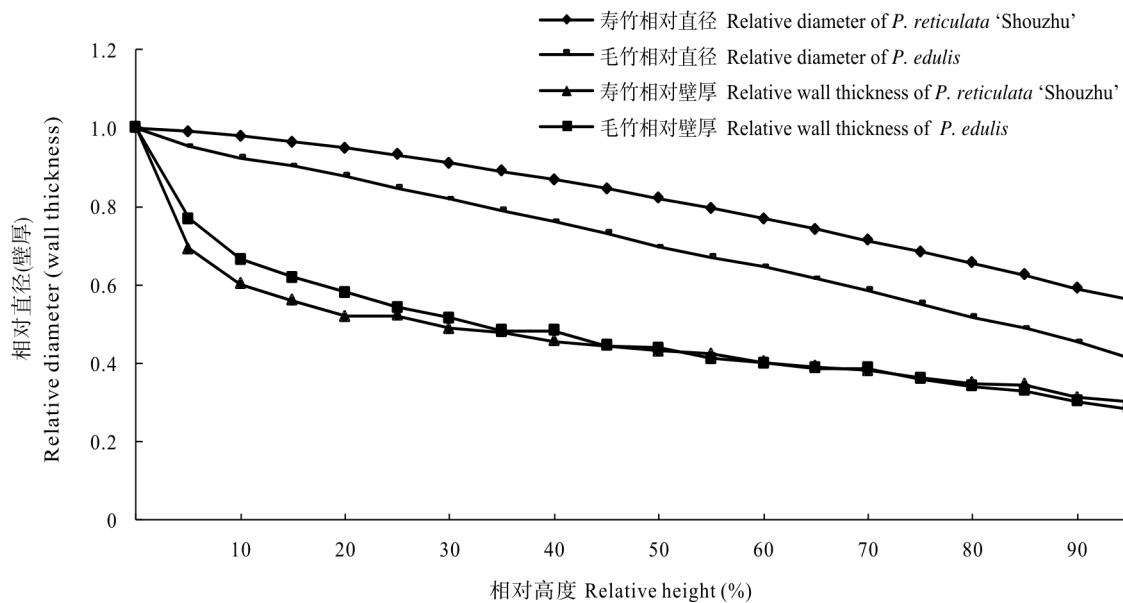


图 4 竹相对直径与相对壁厚随高度的变化

Fig. 4 Changes in relative diameter and wall thickness with increment of culm height

表 1 寿竹及毛竹垂直结构拟合模型

Table 1 Models of vertical structure of *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu' and *P. edulis*

竹 Bamboo	拟合模型 Model	$R^2$	$F$	$P$
寿竹 <i>P. reticulata</i> 'Shouzhu'	$SD = 1 + 0.38XH - 1.47XH^2 + 0.51XH^3$	0.942	4811.473	0.000
	$SB = 0.88 - 2.42XH + 4.28XH^2 - 2.54XH^3$	0.767	883.211	0.000
毛竹 <i>P. edulis</i>	$MD = 0.97 - 0.91XH + 0.81XH^2 - 0.53XH^3$	0.732	105.859	0.000
	$MB = 0.94 - 2.04XH + 3.13XH^2 - 1.79XH^3$	0.763	124.286	0.000

SD: 寿竹相对直径; MD:毛竹相对直径; SB:寿竹相对壁厚; MB:毛竹相对壁厚; XH:相对高度。

SD: Relative diameter of *P. reticulata* 'Shouzhu'; MD: Relative diameter of *P. edulis*; SB: Relative wall thickness of *P. reticulata* 'Shouzhu'; MB: Relative wall thickness of *P. edulis*; XH: Relative height.

### 3.3 材积

通过对寿竹的分段解析,每一段长度均为相应标准竹的 1/20,计算每一竹段的材积并按照径级分组。为了消除胸径和秆高对实验结果的影响,应用相对高度(H)、相对累计材积(V)等概念。相对高度为该处竹高与秆高的比值;相对累计材积则为某高度处以下所有竹段的材积与全株材积的比值。从图 5 可见,不同径级寿竹的材积在竹秆基部差异较大,随着高度的增加差异逐渐变小;不同径级的寿竹,其材积随高度的增加先是急速降低,然后缓慢降低。由图 6 可见,寿竹与毛竹相对累积材积随相对高度的增加变化趋势相似,但毛竹的变化幅度

更大,其材积主要集中在下部,而寿竹的材积分布则更加均匀。

### 3.4 材积及生物量的模型

在实际生产中常需要对材积及生物量进行测量,本文使用胸径、秆高为自变量分别对竹子的蓄积量进行模型拟合(表 2)。结果表明,以胸径和秆高为自变量拟合的模型其判定系数较高。由于竹秆各部位密度不同,因此不能简单的以密度作为生物量和材积的转换方法,因此分别拟合了以生物量为自变量的材积模型和以材积为自变量的生物量模型,判定系数 0.960,而 *F* 检验也表明模型中两个

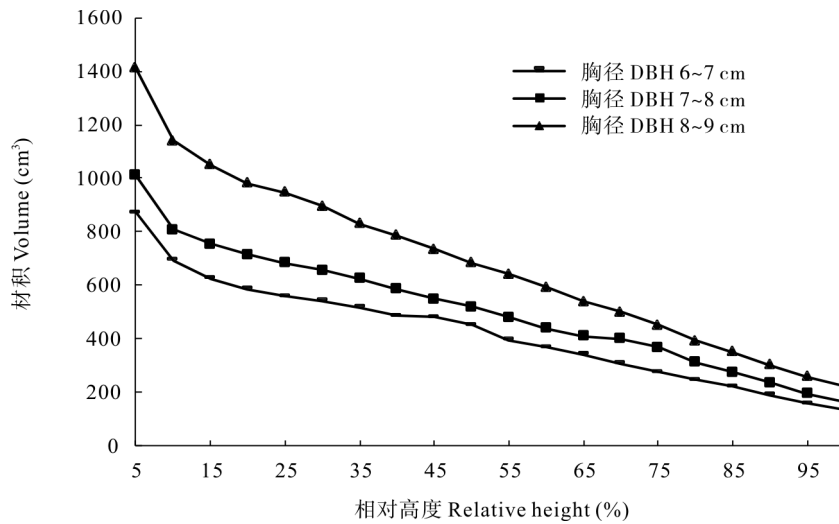


图 5 不同胸径寿竹材积随高度的变化

Fig. 5 Changes in volume of *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu' at different DBH classes with increment of culm height

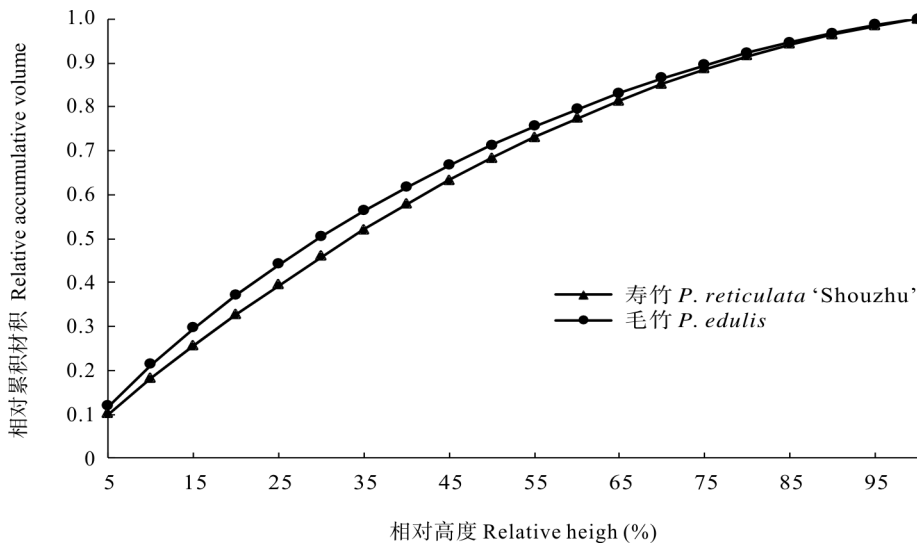


图 6 竹相对累计材积随高度的变化

Fig. 6 Changes in relative accumulated volume of bamboo with increment of culm height



表 2 寿竹和毛竹的材积及生物量模型

Table 2 Models of volume and biomass of *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu' and *P. edulis*

竹种 Bamboo	拟合模型 Model	R <sup>2</sup>	F	P
寿竹 <i>P. reticulata</i> 'Shouzhu'	$W = 7.099D - 0.017D^3 - 32.295$	0.843	200.435	0.000
	$W = 1.297D + 2.053H - 16.666$	0.961	554.432	0.000
	$W = 1197.648V + 0.408$	0.960	848.907	0.000
	$V = 0.007D - 0.000002.1D^3 - 0.033$	0.843	107.257	0.000
	$V = 0.000939H + 0.001861D - 0.01374$	0.927	247.351	0.000
	$V = 0.001W + 0.00000729$	0.960	848.910	0.000
毛竹 <i>P. edulis</i>	$W = 10.023D - 76.657$	0.842	15.926	0.028
	$V = 0.006421D - 0.04392$	0.899	26.74	0.014

W: 竹秆生物量; V: 竹秆材积; D: 胸径; H: 秆高。

W: Biomass of culm; V: Volume of culm; D: Diameter at breast height (DBH); H: Culm height.

变量回归关系极显著,因此,可以用此模型换算材积和生物量的关系。利用胸径拟合了毛竹的材积和生物量模型(表 2)。结果表明,相同胸径下毛竹的材积和生物量均稍大于寿竹,这说明毛竹在材积的积累上较寿竹有优势。

### 3.5 纤维形态

纤维长度是造纸和纤维工业原料的主要因子之一,它对纸张的撕裂强度影响很大,对裂断长、耐折度及耐破度也有一定关系<sup>[9,15]</sup>,纤维频率是指每一级纤维的根数占该种纤维总根数的百分率<sup>[9]</sup>,对于指导生产、确保纸张质量具有重要的意义。由表 3 可知,寿竹纤维长度为 2.47 mm,慈竹为 2.36 mm,毛竹为 1.81 mm,都属于国际木材协会规定的长纤维。经方差分析,寿竹和慈竹间没有显著差异,与

毛竹差异达显著水平。由图 7 可知,寿竹和慈竹纤维长度以 2~2.5 mm 处的频率最大,毛竹纤维长度以 1.5~2 mm 处最大,而慈竹纤维长度分布较为集中,毛竹和寿竹纤维长度的分布都比较广。仅从纤维长度来看,3 种竹子都是较优良的纸浆造纸材料,但寿竹和慈竹要优于毛竹。

纤维的长宽比对制浆性能的优劣有较大影响,纤维越细长,即长宽比越大的竹材强固型和撕裂性好,适合做优良造纸原料<sup>[9]</sup>。一般来说,原料的纤维长宽比应大于 30,长宽比 > 100 是较优良的造纸原料<sup>[16]</sup>。由表 3 可知,寿竹纤维的长宽比为 117.40,各部位的纤维长宽比均大于 100,因此寿竹纤维的强固型和撕裂性都较好。与毛竹和慈竹相比,慈竹纤维长宽比最大并且与寿竹差异显著,寿竹与毛竹

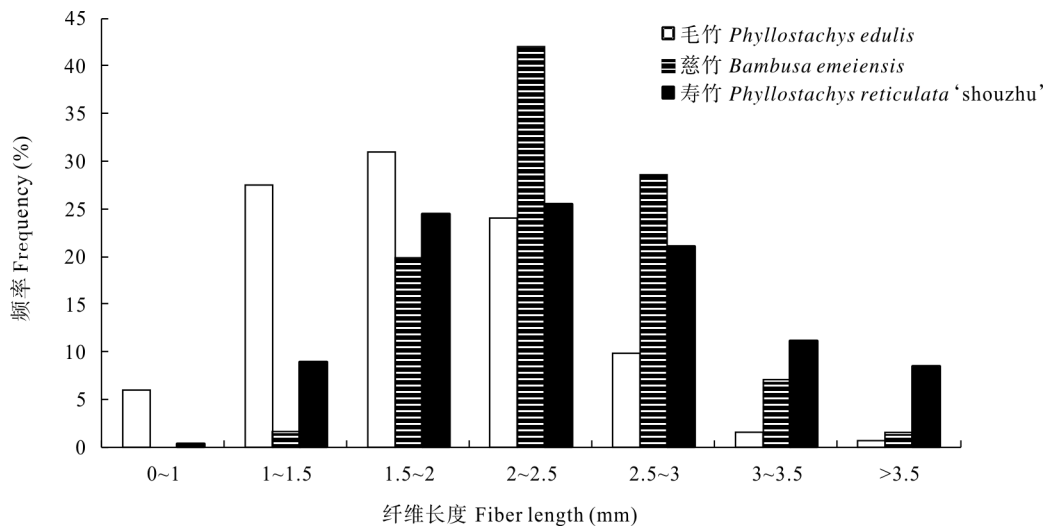


图 7 三种竹子纤维长度的频率和分布

Fig. 7 Frequency and distribution of fiber length of three bamboo

表3 寿竹与慈竹、毛竹不同部位纤维形态的比较

Table 3 Comparison of fiber morphology among *Phyllostachys reticulata* 'Shouzhu', *Bambusa emeiensis* and *P. edulis*

竹 Bamboo	部位 Part	长度 Length (mm)	长宽比 Ratio of length to width	壁腔比 Ratio of cell wall to cavity
毛竹 <i>P. edulis</i>	上部 Upper	1.78b	120.84b	2.05b
	中部 Middle	1.92b	115.78a	2.60b
	下部 Lower	1.73b	105.60b	2.39b
	平均 Mean	1.81b	114.07a	2.35b
慈竹 <i>B. emeiensis</i>	上部 Upper	2.40a	121.09b	3.22b
	中部 Middle	2.39a	162.77b	2.74a
	下部 Lower	2.29b	135.67a	2.76b
	平均 Mean	2.36a	139.84b	2.91b
寿竹 <i>P. reticulata</i> 'Shouzhu'	上部 Upper	2.15a	103.13a	4.19a
	中部 Middle	2.30a	110.54a	3.22a
	下部 Lower	2.97a	138.52a	4.14a
	平均 Mean	2.47a	117.40a	3.85a

相同部位数据后不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Data followed different letters at the same part indicate significant differences at 0.05 level.

纤维长宽比差别不大。

纤维壁腔比也是制浆造纸的重要指标。通常来说,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;而壁腔比大的纤维比较僵硬,彼此结合差,制成纸张强度较低,但是纸页较疏松,吸水性好<sup>[15-16]</sup>。寿竹纤维的壁腔比为3.85,属于壁腔比较大的纤维<sup>[9]</sup>。与毛竹和慈竹比较发现,寿竹纤维壁腔比最大,并且与毛竹和慈竹差异都比较显著(表3),这说明寿竹纤维制成的纸张强度将低于毛竹和慈竹,但纸页会更疏松,吸水性更好。

## 4 结论和讨论

本文以胸径为自变量用三次函数拟合了寿竹和毛竹的生物量及材积模型,同时运用胸径和秆高两个变量进行材积和生物量的模型拟合,但是秆高的测量须将竹伐下,比仅用胸径作为自变量的模型稍为复杂,因此在实际蓄积量计算时可以根据实际情况选择适用的模型。另外,本文拟合的生物量和材积的转换模型,为实际生产中使用多种方法进行蓄积量的计算提供了依据。

寿竹的秆形结构在垂直方向上的变化与胸径及秆高相关,本文运用相对高度进行不同胸径的垂直结构分析,这样就消除了胸径及秆高对结果的影

响。本文所分析的垂直结构包括壁厚、直径、节间长度以及材积,虽然不同径级的各项因子不同,但在垂直结构的变化上却体现出显著的一致性,体现出寿竹秆形结构的稳定性。在板材的加工利用上,竹材的尖削度是重要的参考指标,一般来讲,尖削度太大会造成原料的浪费,对加工业是不经济的<sup>[3,17]</sup>,而本文对寿竹和毛竹直径沿着秆高的变化曲线可以直观地比较两者的尖削度,研究发现,相对毛竹而言,直径随着秆高变化较缓,即尖削度更小,说明寿竹在板材加工时比毛竹更具有优势。相同径级下寿竹的节间更长,另外,材积是加工利用总量的重要指标,在相同胸径和高度下毛竹的材积大于寿竹,因此毛竹在材积积累上比寿竹有优势。与毛竹相比,寿竹在秆形结构方面的优势在于节间长度更长,尖削度更小,劣势在于相同径级下材积稍小于毛竹。

竹材的纤维形态是衡量造纸性能优劣的重要依据。寿竹纤维平均长度为2.47 mm,属于国际木材协会规定的长纤维,各部位纤维长宽比均大于100,属于较优良的造纸原料。与毛竹相比,寿竹的纤维更长,宽度更大,其纤维长度也在较高等级上分布更多。与慈竹相比,两者的纤维长度没有明显差异,但慈竹的纤维长度分布更加集中,纤维长宽比也大于寿竹;寿竹纤维的壁腔比较大,且大于毛竹和慈竹。这表明寿竹纤维制成的纸张强度将低

于毛竹与慈竹, 纸页会更疏松, 这是其作为造纸原料的缺陷, 因此在纸张利用时应通过一些工艺处理克服这些弱点, 或者开发适合不同用途的纸张。

### 参考文献

- [1] Gao S S. Study on culm-form structure and physical and mechanical properties of four kinds of big sympodial bamboo [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010: 1-2.  
高珊珊. 四种大径丛生竹秆型结构及物理力学性质研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2010: 1-2
- [2] Ding Y L. The resource utilization and directional breeding of bamboo [J]. Chin For Sci Techn, 2002, 16(1): 6-9.  
丁雨龙. 竹类植物资源利用与定向选育 [J]. 林业科技开发, 2002, 16(1): 6-9.
- [3] Su W H. The evaluation for exploitation and utilization of *Bambusa wenchouensis* [D]. Beijing: China Academy of Forestry, 2005: 6-31.  
苏文会. 关于大木竹的开发与利用评价 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005: 6-31.
- [4] Su W H, Fan S H, Yu L, et al. Study on chemical compositions and fiber morphologies of *Sinospinosa*, *Bambusa blumeana* and *Dendrocalamus yunnanicus* stem [J]. Trans China Pulp Paper, 2011, 26(2): 1-5.  
苏文会, 范少辉, 余林, 等. 三种丛生竹化学成分与纤维形态研究 [J]. 中国造纸学报, 2011, 26(2): 1-5.
- [5] Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. Flora Reipublatis Sinicae Tomus 9(1) [M]. Beijing: Science Press, 1996: 1-295.  
中国科学院中国植物志编写委员会. 中国植物志 第九卷第一分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1-295.
- [6] Yi T P, Shi J Y, Ma L S, et al. Illustrated Flora Bamboo in China [M]. Beijing: Science Press, 2008: 1-320.  
易同培, 史军义, 马丽莎, 等. 中国竹类图志 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-320.
- [7] Gang X H, Zou J, Wen Z B. Culm form structure of *Phyllostachys bambusoides* f. *shouzhui* Yi [J]. J Zhejiang For Sci Techn, 2009, 29(5): 48-50.  
甘小洪, 邹建, 温中斌. 寿竹的秆形结构研究 [J]. 浙江林业科技, 2009, 29(5): 48-50.
- [8] Su W H, Gu X P, Yue J J, et al. Study on the structure of culm form of *Bambusa wenchouensis* [J]. For Res, 2006, 29(1): 98-101.  
苏文会, 顾小平, 岳晋军, 等. 大木竹秆型结构的研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 29(1): 98-101.
- [9] Fang H, Liu S H. The evaluation of paper fiber materials [J]. Beijing Wood Indu, 1996, 16(2): 19-22.  
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.
- [10] Qi H R. The rejuvenation of *Phyllostachys bambusoides* f. *shouzhui* Yi after flowers [J]. Bamboo Res, 1989(2): 60-63.  
齐辉荣. 寿竹林的花后复壮 [J]. 竹类研究, 1989(2): 60-63.
- [11] Wu F Z. Exercitation Guide of Arbor-metrics [M]. Beijing: China Forestry Press, 1994: 83-86.  
吴富桢. 测树学实习指南 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1994: 83-86.
- [12] Wang S G, Pu X L, Ding Y L, et al. Morphological differences of *Fargesia yunnanensis* fibers [J]. J Zhejiang For Coll, 2009, 26(4): 528-532.  
王曙光, 蒲晓兰, 丁雨龙, 等. 云南箭竹纤维形态变异规律 [J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(4): 528-532.
- [13] Zhang G H, Xiao J H, Guo Z W. Vertical patterns of diameter and volume of moso bamboo stem [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2007, 31(2): 51-54.  
张刚华, 萧江华, 郭子武. 毛竹竹秆直径与材积的垂直格局 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(2): 51-54.
- [14] Meng X Y. Forest Measurement [M]. 3rd ed. Beijing: China Forestry Press, 2006: 128-151.  
孟宪宇. 测树学 [M]. 第三版. 北京: 中国林业出版社, 2006: 128-151.
- [15] Wang J H. The important achievements of study on fiber forms in paper-making in the 20th century [J]. Pap Pap Mak, 1998(4): 7-9.  
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] Chen F S. Fiber morphology analysis and paper material choice of sympodial bamboo [J]. Guangdong For Sci Techn, 1986(2): 1-9.  
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.
- [17] Wu B S, Jiang H Y, Nie Y, et al. Study on culm-form structure of *Bambusa displagia* [J]. J Nanjing For Univ, 1997, 21(4): 59-62.  
吴炳生, 江鸿跃, 聂勇, 等. 料慈竹秆形结构的研究 [J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(4): 59-62.