

网络出版时间:2014-01-02 15:56

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.039

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.039.html

3 年生慈竹竹秆不同部位的解剖特征

齐锦秋,胡 瑶,谢九龙,黄兴彦,罗 浩,陈思敏

(四川农业大学 林学院,四川 雅安 625014)

【摘 要】 【目的】研究慈竹竹秆不同部位的解剖特征,为慈竹的合理利用提供理论依据。【方法】采用数显投影仪、奥林巴斯显微镜和木材图像分析软件,对生长于四川洪雅 3 年生慈竹不同竹秆高度(0~10 m)的竹材纤维长度、纤维宽度、纤维壁厚、纤维腔径等形态指标和组织比量进行测量分析。【结果】慈竹纤维长度 2.60 mm,属于长纤维,宽度 14.44 μm ,长宽比 179.73;壁厚 9.85 μm ,腔径 4.71 μm ,壁腔比 2.28;基本组织比量 47.84%,纤维组织比量 42.25%,输导组织比量 9.91%。在轴向上,纤维长度以竹秆中部最大,纤维宽度由竹秆基部向上逐渐减小,纤维壁厚和输导组织比量则相反;在径向上,纤维长度、宽度、腔径以中部最大,而壁厚由内侧向外侧呈逐渐增大的规律。【结论】慈竹是优良的纸浆材料。

【关键词】 慈竹;竹秆高度;解剖特征;纤维形态;组织比量

【中图分类号】 S795.5

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)02-0187-06

Anatomical properties of three-year old *Neosinocalamus affinis* stalk at different heights

QI Jin-qiu, HU Yao, XIE Jiu-long, HUANG Xing-yan, LUO Hao, CHEN Si-min

(College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: 【Objective】 The anatomical properties of *Neosinocalamus affinis* stalk at different heights were investigated to improve its utilization. 【Method】 Microscopic projector and wood analysis software were used to investigate indexes including fiber length, width and tissue proportions in 0—10 m stalk of 3-year old *Neosinocalamus affinis* in Hongya, Sichuan. 【Result】 The fiber length, width, length/width ratio, wall thickness, lumen diameter and wall/lumen ratio were 2.60 mm, 14.44 μm , 179.73, 9.85 μm , 4.71 μm , and 2.28, respectively. The fiber was long fiber based on its length. The fiber, parenchyma, and conducting tissue proportions were 47.84%, 42.25%, and 9.91% respectively. The variations of fiber morphology and tissue proportions at different heights were significant. Longest fiber was found in the middle portion. The fiber width decreased from the base to top, while change of fiber cell wall thickness and fiber tissue proportions was opponent. In the radial direction, middle part had the largest fiber length, width and lumen diameter, and the fiber cell wall thickness increased from inner to outer. 【Conclusion】 *Neosinocalamus affinis* bamboo is very good raw material for pulping.

Key words: *Neosinocalamus affinis*; stalk height; anatomical properties; fiber morphology; tissue proportion

〔收稿日期〕 2013-07-08

〔基金项目〕 国际竹藤中心基本科研业务费专项(1632010002);科技部农业科技成果转化项目(2010GB24320621);四川省“十二五”育种攻关项目(2011YZGG-10);四川农业大学大学生创新性实验计划项目

〔作者简介〕 齐锦秋(1972—),女,辽宁阜新,副教授,博士,主要从事木/竹材材质特性研究。E-mail:qijinqi2005@aliyun.com

中国是世界上竹类资源最丰富的国家,竹子的种类、面积、蓄积均居世界之首。竹子生长迅速,具有投资少、见效快的特点,栽植后 3~5 年便可成林,一次造林后即可永续利用。自天然林保护工程实施以来,随着木材供需矛盾日益突出,竹材已经部分替代木材,成为重要的工业原材料。慈竹(*Neosinocalamus affinis*)属禾本科竹亚科慈竹属,为丛生竹,秆高 8~12 m,主要生长在四川、贵州、云南、广西、湖南、湖北(西部)、陕西(南部),是造纸、建筑、家具等工业的重要原料^[1-2]。目前针对慈竹的研究,多限于竹林培育、物理力学性质等方面^[3-4],而关于慈竹不同竹秆部位的解剖特征方面还未见详细报道。为此,本试验对生长于四川洪雅县的 3 年生慈竹不同竹秆高度处竹材的纤维长度、宽度、壁厚等纤维形态指标及组织比量等解剖特征进行了比较研究,以期为慈竹的合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试慈竹采自四川省眉山市洪雅县柳江镇,地理坐标为 E102°49′~103°32′、N29°24′~30°00′,海拔 936 m,属于亚热带季风气候,年均温度 17 ℃,年均降水量 1 490 mm,全年无霜期 302~314 d,年日照时数 1 060~1 202 h。在慈竹人工林内,选取竹龄为 3 年、生长良好、无病虫害的慈竹 5 株,齐地砍伐后,自竹秆基部起每米编号,竹秆基部记为>0~≤1 m,各段编号分别为>0~≤1 m、>1~≤2 m、>2~≤3 m、……、>9~≤10 m。在各段竹筒节间中部截取 2 cm 长的竹环备用。

1.2 方 法

1.2.1 材料软化 采用蒸煮法。将试验材料放入

高压锅中,经 1~2 h 的高温高压蒸煮,将材料软化到用刀片可以轻易切下的程度。

1.2.2 纤维长度测量 采用离析法。将软化好的试材沿竹壁厚度方向分内、中、外 3 部分,每部分取长约 2 cm 的火柴棍状试样,放入试管,倒入 Jeffrey 离析液(体积分数 10%铬酸与体积分数 10%硝酸等体积比配制)浸没试样,然后放入水浴锅中,在 55 ℃下恒温离析 1~2 h,待试样完全离析后倒出离析液,用蒸馏水冲洗并制作临时切片。将切片用数显投影仪(型号 TYH-150)放大 50 倍测量,每一试样测量 60 个纤维细胞,每一部位共计测量 300 个。

1.2.3 纤维壁厚(2*T*)和腔径(*D*)测量 本研究中纤维壁厚是指纤维细胞的双壁厚。将水煮软化后的试材用滑走式切片机(型号 TU-250)切成 30 μm 厚的横切面切片,经番红染色、梯度酒精脱水、二甲苯透明、中性树胶封片后,将切片放在奥林巴斯显微镜(型号 BX51)下用显微系统成像,用木材图像分析软件对壁厚、腔径进行测量。每一试样测量 60 个纤维细胞,每一部位共测量 300 个。

1.2.4 组织比量测量 采用坐标纸法。将制备好的慈竹切片置于数显投影仪载物台上成像(100 倍),将硫酸纸制成的网格纸贴紧屏幕,通过测量基本组织、纤维组织、输导组织的细胞所占网格数,计算组织比量。

2 结果与分析

2.1 3 年生慈竹竹秆不同部位的纤维长度、宽度和长宽比

3 年生慈竹竹秆不同部位的纤维长度、宽度及其长宽比见表 1。

表 1 3 年生慈竹竹秆不同部位的纤维长度、宽度和长宽比

Table 1 Fiber length,width and long/width ratio (*L/W*) at different heights of three-year old *Neosinocalamus affinis*

竹秆高度/m Height	纤维长度(<i>L</i>)/mm Fiber length				纤维宽度(<i>W</i>)/μm Fiber width				纤维长宽比(<i>L/W</i>) Long/width ratio			
	内 Inner	中 Middle	外 Outer	平均 Average	内 Inner	中 Middle	外 Outer	平均 Average	内 Inner	中 Middle	外 Outer	平均 Average
>0~≤1	2.12	2.33	2.24	2.23	16.27	16.56	16.25	16.36	137.50	140.47	130.43	136.13
>1~≤2	2.36	2.55	2.52	2.48	14.84	15.50	14.79	15.04	171.74	166.48	156.95	165.06
>2~≤3	2.40	2.67	2.60	2.56	14.78	14.49	14.85	14.71	182.57	174.02	166.63	170.33
>3~≤4	2.60	2.73	2.59	2.64	14.68	14.43	14.53	14.55	187.19	194.72	169.95	183.95
>4~≤5	2.64	2.79	2.65	2.69	14.16	14.59	14.31	14.35	190.39	193.76	187.47	190.54
>5~≤6	2.66	2.81	2.72	2.73	14.10	14.71	14.10	14.30	188.42	195.91	192.20	192.18
>6~≤7	2.75	2.92	2.69	2.79	13.09	14.65	14.41	14.05	193.21	210.37	188.67	197.42
>7~≤8	2.84	2.91	2.72	2.82	12.74	14.63	14.63	14.00	200.25	205.51	194.05	199.78
>8~≤9	2.54	2.77	2.43	2.60	12.68	14.50	13.64	13.61	189.04	206.63	159.47	185.05
>9~≤10	2.54	2.78	2.19	2.50	12.67	14.44	13.05	13.39	175.80	194.47	160.17	176.81

竹材纤维长度、宽度及长宽比与竹材的物理性

质、力学强度、纤维品质密切相关,并直接影响着纸

张的品质。关于竹材纤维长度、宽度及长宽比的变异性研究,马灵飞^[5]、李伟成等^[6]认为,在竹秆轴向上,纤维长度的变化与节间长度的变异规律类似。本研究中,慈竹纤维长度、宽度和长宽比与其竹秆高

度之间存在二次曲线关系(表 2),且均达到显著水平。方差分析结果(表 3)表明,不同竹秆高度慈竹的纤维长度差异达极显著水平,但纤维宽度差异不显著。

表 2 3 年生慈竹纤维长度、宽度、长宽比与竹秆高度的回归分析

Table 2 Regression analysis between the fiber length,width,long/width ratio (L/W) and heights of three-year old *Neosinocalamus affinis*

变量 Variables	回归方程 Regression equation	决定系数 Coefficient of determination
纤维长度(L) Fiber length	$y_1 = -0.018\ 7 \times h^2 + 0.235\ 6 \times h + 2.028\ 5$	0.93
纤维宽度(W) Fiber width	$y_2 = -0.048\ 3 \times h^2 - 0.717\ 5 \times h + 16.628\ 0$	0.90
纤维长宽比(L/W) Long/width ratio	$y_3 = -1.789\ 4 \times h^2 + 23.785\ 0 \times h + 118.260\ 0$	0.96

注: y_1 、 y_2 、 y_3 分别代表纤维长度、纤维宽度和纤维长宽比, h 代表竹秆高度。
Note: y_1 、 y_2 、 y_3 ,and h represent for fiber length,fiber width,L/W,and height,respectively.

表 3 3 年生慈竹不同竹秆高度纤维形态和组织比量的方差分析

Table 3 Variance analysis of fiber morphology and tissue proportion at different stalk heights of three-year old *Neosinocalamus affinis*

指标 Index	竹秆高度 Hight	
	F 值 F value	P 值 P value
纤维长度 Fiber length	4.898 * *	<0.01
纤维宽度 Fiber width	0.120	>0.05
纤维壁厚(2T)Double wall thickness	6.517 * *	<0.01
纤维腔径(D)Lumen diameter	33.296 * *	<0.01
纤维壁腔比 (2T/D) Double wall thickness/lumen diameter	12.683 * *	<0.01
基本组织比量 Ground tissue	72.296 * *	<0.01
纤维组织比量 Fibrous tissue	0.412	>0.05
输导组织比量 Conducting tissue	25.271 * *	<0.01

注:“* *”表示在 $P=0.01$ 水平上差异显著。
Note:“* *” represent significant differences at $P=0.01$.

2.1.1 纤维长度 纤维长度是衡量竹材造纸性能的一个重要指标,细而长的纤维能增加纸张强度、耐折度和耐破度^[7]。国际木材解剖家学会将纤维按长度分为 3 类:长度小于 0.9 mm 属于短纤维,长度在 $\geq 0.90 \sim < 1.60$ mm 属于中纤维,长度 ≥ 1.60 mm 为长纤维^[7]。由表 1 可知,慈竹纤维长度为 2.12~2.92 mm,平均长度 2.60 mm,应属于长纤维竹种。纤维长度在轴向和径向上呈不同变异趋势,在轴向上纤维长度从基部向上呈先增大后减小趋势,在近中部最大,变异规律与李伟成等^[6]的研究结果基本相同;在径向上,纤维长度以竹壁中部最长,变异规律与毛竹^[5]、大木竹^[8]与巨龙竹^[9]类似。

2.1.2 纤维宽度 由表 1 可知,慈竹的纤维宽度为 12.67~16.56 μm ,平均宽度 14.44 μm ,基本接近常用纸浆材中的针叶材管胞宽度。在轴向上,纤维宽度从基部向上呈降低趋势;在径向上,以竹壁中部纤

维宽度最大,内、外侧竹壁间无明显规律。该研究结果与料慈竹^[10]、车筒竹和簕竹^[11]的变化规律基本一致。
2.1.3 纤维长宽比 纤维长宽比大,则纸张撕裂性和强固性好,是优质造纸原料^[12]。表 1 显示,慈竹纤维长宽比为 130.43~210.37,平均值 179.73,纤维品质优。轴向上,纤维长宽比的变异性与纤维长度一致,呈先增大再减小的趋势,这与朱惠方等^[7]的研究结果基本一致;但纤维长宽比在径向上无明显规律。

2.2 3 年生慈竹竹秆不同部位的纤维壁厚、腔径及壁腔比

竹材的纤维壁厚、腔径不仅影响纤维品质,并直接影响纸张品质。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。慈竹纤维壁厚、腔径及壁腔比见表 4。方差分析结果(表 3)表明,不同竹秆高度慈竹纤维壁厚、腔径及壁腔比差异均达极显著水平,这与林金国等^[13]对方竹研究的结果基本一致。对纤维壁厚、腔径及壁腔比与竹秆高度进行回归分析(表 5)可知,慈竹纤维壁厚、腔径及壁腔比与竹秆高度之间存在二次曲线关系,且均达到显著水平。

2.2.1 纤维壁厚 表 4 显示,3 年生慈竹纤维壁厚为 8.66~11.80 μm ,平均厚度 9.85 μm 。在轴向上,纤维壁厚从竹秆基部到梢部逐渐增大;在径向上,纤维壁厚在竹壁外侧最大,中部次之,内侧最小。
2.2.2 纤维腔径 由表 4 可以看出,3 年生慈竹纤维腔径为 3.10~7.61 μm ,平均腔径 4.71 μm 。在轴向上,纤维腔径从竹秆基部到梢部呈逐渐减小的趋势,表明随着竹秆高度的增加,竹壁变厚,腔径变小;在径向上,纤维腔径以竹壁中部最大,内侧次之,

外侧最小。这与大木竹、粉单竹、绿竹、麻竹等丛生竹的研究结果基本一致^[14],但异于大木竹纤维腔径的变化规律^[14]。

2.2.3 纤维壁腔比 壁腔比是指纤维细胞壁厚与腔径之比,用以表示细胞壁的相对厚度,是造纸业衡量纤维原料品质的重要标准之一。壁腔比小的纤维

原料,可压扁性好,在纤维之间容易形成较大的接触面,可赋予纸张较好的纤维结合强度,成纸质地紧密。由表 4 可知,慈竹纤维壁腔比为 1.14~3.79,平均 2.28;在轴向上,纤维壁腔比以竹秆基部最小,中部次之,梢部最大;在径向上,竹壁外侧壁腔比最大,中部和内侧次之。

表 4 3 年生慈竹竹秆不同部位的纤维壁厚(2T)、腔径(D)及壁腔比

Table 4 Fiber cell wall thickness (2T),lumen diameter (D) and the 2T/D at different heights of three-year old <i>Neosinocalamus affinis</i>												
竹秆高度/m Height	纤维壁厚(2T)/μm Double wall thickness				纤维腔径(D)/μm Lumen diameter				纤维壁腔比(2T/D) Double wall thickness/lumen diameter			
	内 Inner	中 Middle	外 Outer	平均 Average	内 Inner	中 Middle	外 Outer	平均 Average	内 Inner	中 Middle	外 Outer	平均 Average
>0~≤1	8.66	8.95	9.04	8.88	7.60	7.61	7.21	7.47	1.14	1.18	1.25	1.19
>1~≤2	9.04	9.05	10.29	9.46	5.80	6.45	4.49	5.58	1.56	1.40	2.29	1.75
>2~≤3	8.78	9.63	9.97	9.46	5.00	6.87	3.88	5.25	1.76	1.40	2.57	1.91
>3~≤4	9.23	9.25	9.92	9.47	4.75	5.48	4.61	4.95	1.94	1.69	2.15	1.93
>4~≤5	9.12	9.54	9.60	9.42	4.53	5.65	4.21	4.80	2.01	1.69	2.28	1.99
>5~≤6	9.54	9.67	9.75	9.65	4.55	5.04	4.05	4.55	2.10	1.92	2.41	2.14
>6~≤7	9.66	10.25	11.71	10.54	3.13	4.60	3.10	3.61	3.08	2.23	3.78	3.03
>7~≤8	9.06	11.00	11.58	10.55	3.68	4.03	3.05	3.59	2.46	2.73	3.79	2.99
>8~≤9	9.50	10.51	11.80	10.60	3.48	3.69	3.34	3.50	2.73	2.85	3.53	3.04
>9~≤10	9.55	10.66	11.75	10.65	3.12	4.08	3.10	3.43	3.06	2.62	3.79	3.16

表 5 3 年生慈竹纤维壁厚、腔径及壁腔比与竹秆高度的回归分析

Table 5 Regression analysis of the fiber cell wall thickness,lumen diameter and the 2T/D with heights of three-year old *Neosinocalamus affinis*

变量 Variables	回归方程 Regression equation	决定系数 Coefficient of determination
纤维壁厚 Double wall thickness	$y_1 = -0.004\ 0 \times h^2 + 0.155\ 4 \times h + 8.862\ 4$	0.87
纤维腔径 Lumen diameter	$y_2 = 0.044\ 4 \times h^2 - 0.873\ 0 \times h + 7.766\ 0$	0.93
纤维壁腔比 2T/D	$y_3 = -0.001\ 5 \times h^2 + 0.230\ 8 \times h + 1.054\ 5$	0.93

注:y₁、y₂、y₃ 分别代表纤维壁厚、纤维腔径和纤维壁腔比,h 代表竹秆高度。
Note:y₁,y₂,y₃,h represent for fiber cell wall thickness,lumen diameter,2T/D,and height,respectively.

2.3 3 年生慈竹竹秆不同部位的组织比量

竹材纤维的组织比量与竹材密度和强度密切相关,亦会影响纸浆率和纸的品质。以薄壁细胞为主的杂细胞比例过高,不仅会导致纸浆率降低,而且会

影响纸浆漂白,在抄纸过程中,浆料不易滤水,经常会黏附纸辊、发生断头,因而生产出来的纸张强度较差。3 年生慈竹竹秆不同部位的组织比量见表 6。

表 6 3 年生慈竹竹秆不同部位的基本组织比量、纤维组织比量和输导组织比量

Table 6 Tissue proportions at different heights of three-year old <i>Neosinocalamus affinis</i>			
竹秆高度/m Hight	基本组织比量% Ground tissue	纤维组织比量% Fibrous tissue	输导组织比量% Conducting tissue
>0~≤1	50.94	41.06	8.00
>1~≤2	50.16	41.44	8.40
>2~≤3	49.98	41.38	8.64
>3~≤4	48.41	42.34	9.25
>4~≤5	48.00	41.75	10.25
>5~≤6	47.94	41.77	10.29
>6~≤7	47.82	41.86	10.32
>7~≤8	46.52	42.93	10.55
>8~≤9	44.43	43.72	11.85
>9~≤10	44.23	44.25	11.52
平均 Average	47.84	42.25	9.91

方差分析结果(表 3)表明,不同竹秆高度慈竹的基本组织比量、输导组织比量差异均达极显著水

平,但纤维组织比量在各竹秆高度间的差异不显著。由表 6 可知,慈竹基本组织比量为 44. 23%~50. 94%,平均 47. 84%;纤维组织比量为 41. 06%~44. 25%,平均 42. 25%;输导组织比量为 8. 00%~11. 85%,平均 9. 91%。在竹秆轴向上,基本组织比量随竹秆高度的增加而降低,纤维组织比量无明显

的变化规律,输导组织比量随竹秆高度的增加而增大。为进一步研究慈竹材组织比量与竹秆高度的关系,将基本组织比量、纤维组织比量和输导组织比量与竹秆高度进行回归分析,结果(表 7)表明,慈竹基本组织比量、纤维组织比量和输导组织比量与竹秆高度之间存在二次曲线关系,且均达到显著水平。

表 7 3 年生慈竹基本组织比量、纤维组织比量、输导组织比量与竹秆高度的回归分析

Table 7 Regression analysis of the tissue proportions with height of three-year old *Neosinocalamus affinis*

变量 Variables	回归方程 Regression equation	决定系数 Coefficient of determination
基本组织比量 Ground tissue	$y_1 = -0.000\ 3 \times h^2 - 0.003\ 6 \times h + 0.511\ 0$	0. 95
纤维组织比量 Fibrous tissue	$y_2 = 0.000\ 4 \times h^2 - 0.001\ 5 \times h + 0.414\ 8$	0. 88
输导组织比量 Conducting tissue	$y_3 = -9.1 \times 10^{-5} \times h^2 + 0.005\ 2 \times h + 0.074\ 2$	0. 90

注: y_1 、 y_2 、 y_3 分别代表基本组织比量、纤维组织比量和输导组织比量, h 代表竹秆高度。

Note: y_1 , y_2 , y_3 , and h represent for ground, fibrous, conducting tissues, and height, respectively.

3 结 论

3 年生慈竹纤维平均长度为 2. 60 mm;在轴向上,慈竹纤维长度在竹秆中部最长,向基部和梢端依次递减;在径向上,以竹秆壁中部纤维最长,内、外部次之。慈竹纤维平均宽度为 14. 44 μm;在轴向上,以基部最宽,中部次之,梢部最细;在径向上,竹壁中部的纤维较内侧和外侧纤维宽。纤维长宽比平均值为 179. 73。慈竹是纤维品质较优的竹材。

慈竹纤维壁厚平均值为 9. 85 μm;在轴向上,纤维壁厚从竹秆基部到梢部呈逐渐增大的趋势,梢部最大;在径向上,纤维壁厚外侧最大,中部次之,内侧最小。慈竹纤维腔径平均值为 4. 71 μm;在轴向上,纤维腔径从竹秆基部到梢部呈逐渐减小的趋势。慈竹纤维壁腔比平均值为 2. 28;在轴向上,竹秆基部最小,中部次之,梢部最大;在径向上,呈现出竹壁外侧最大、中部和内侧较小的特点。慈竹纤维组织比量平均值为 42. 25%;在轴向上,纤维组织比量无明显变异规律。

本试验通过对 3 年生慈竹竹秆不同部位的纤维长度、宽度、长宽比、壁厚、腔径、壁腔比、组织比量等指标的研究表明,慈竹是优良的纸浆材料。

[参考文献]

[1] 钟章成,李 睿. 慈竹的数量生态研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报,1990,14(1):63-68.
Zhong Z C, Li R. Study on the quantitative dynamics of the *Neosinocalamus affinis* [J]. Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica, 1990, 14(1): 63-68. (in Chinese)

[2] 胡尚连,卢学琴,陈其兵,等. 四川雅安地区 2 种大型丛生竹耐低温能力 [J]. 竹子研究汇刊,2011,30(2):43-47.
Hu S L, Lu X Q, Chen Q B, et al. Low temperature resistance

ability of two giant sympodial bamboos in Ya'an of Sichuan province [J]. Journal of Bamboo Research, 2011, 30(2): 43-47. (in Chinese)

[3] 谢九龙,齐锦秋,周亚巍,等. 慈竹材物理力学性质研究 [J]. 竹子研究汇刊,2011,30(4):30-34.
Xie J L, Qi J Q, Zhou Y W, et al. A study on bamboo physico-mechanical properties of *Neosinocalamus affinis* [J]. Journal of Bamboo Research, 2011, 30(4): 30-34. (in Chinese)

[4] 谢九龙,齐锦秋,黄兴彦,等. 生长发育进程中慈竹秆形结构及物理力学性质研究 [J]. 四川农业大学学报,2012,30(1):46-49,81.
Xie J L, Qi J Q, Huang X Y, et al. Culm form structure and physico-mechanical properties of *Neosinocalamus affinis* in growth process [J]. Journal of Sichuan Agriculture University, 2012, 30(1): 46-49, 81. (in Chinese)

[5] 马灵飞. 毛竹材材性变异的研究 [J]. 林业科学,1997,33(4):356-364.
Ma L F. Study on variation in bamboo wood properties of *Phyllostachys heterocycla* var. pubescens [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1997, 33(4): 356-364. (in Chinese)

[6] 李伟成,王树东,周 妍,等. 酒竹纤维形态结构特征的初步研究 [J]. 竹子研究汇刊,2010,29(1):40-44.
Li W C, Wang S D, Zhou Y, et al. A study on fiber morphological structure of *Oxytenanthera braunii* [J]. Journal of Bamboo Research, 2010, 29(1): 40-44. (in Chinese)

[7] 朱惠方,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 fibre structure of 33 Chinese bamboos available for pulp manufacture [J]. Scientia Silvae Sinicae, 1964, 9(4): 311-325. (in Chinese)

[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 W H, Gu X P, Ma L F, et al. Study on forms and tissue measurements of *Bamboo wenchouensis* wood [J]. Forest Research, 2005, 18(3): 250-254. (in Chinese)

[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 X L,Du F. Study of fiber morphology and its variation low of *Dendrocalamus sinicus* [J]. Yunnan Forestry Science and Technology,2003(1):1-4. (in Chinese)

[10] 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.

Xia Y F,Wu B S. Studies on the fiber form and tissue percent-age of *Bambusa distegia* [J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology,1996,15(1):22-25. (in Chinese)

[11] 苏文会,范少辉,彭 颖. 车筒竹、箣竹和越南巨竹竹材的纤维形态与组织比量 [J]. 浙江农林大学学报,2011,28(3):386-390.

Su W H,Fan S H,Peng Y,et al. Fiber forms and tissue meas-urements of *Bambusa sinospinosa*, *Bambusa blumeana* and *Dendrocalamus yunnanicus* stem [J]. Journal of Zhejiang A&F University,2011,28(3):386-390. (in Chinese)

[12] 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.

Xia Y F. Study on the fiber forms and papermaking properties of *Bambusa distegia* and comparison with other bamboo species [J]. Journal of Bamboo Research,1997,16(4):16-20. (in Chinese)

[13] 林金国,林应钦,赖根明,等. 方竹材纤维形态变异规律的研究 [J]. 江西农业大学学报,2004,26(1):56-58.

Lin J G,Lin Y Q,Lai G M,et al. A study on the law of varia-tion in fiber morphology of *Chimonobambusa quadrangulavis* culm-wood [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2004,26(1):56-58. (in Chinese)

[14] 马灵飞,朱丽青. 浙江省 6 种丛生竹纤维形态及其组织比量研究 [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]. Jour-nal of Zhejiang Forestry College,1990,7(1):63-68. (in Chi-nese)

(上接第 186 页)

[12] 程显好. 猪苓和蜜环菌人工培养及影响几种有效成分产生因素的研究 [D]. 北京:中国协和医科大学,2006.

Cheng X H. Studies on artificial culture and factors influen-cing production of some active constituents in *Grifola umbel-late* and *Armillaria mellea* [D]. Beijing:Peking Union Medi-cal College,2006. (in Chinese)

[13] Jonathan S G,Fasidi I O,Ajayi E J. Physico-chemical studies on *Volvariella esculenta* (Mass) singer,a nigerian edible fun-gus [J]. Food Chemistry,2004,85(3):339-342.

[14] Yue C J,Zhong J J. Impact of external calcium and calcium sensors on ginsenoside Rb1 biosynthesis by panax notogin-seng cells [J]. Biotechnology and Bioengineering,2005,89(4):444-452.

[15] 邱鹏程,梁宗锁,陈德育. 矿质元素对猪苓菌丝生长发育的影响 [J]. 陕西农业科学,2007(4):67-71.

Qiu P C,Liang Z S,Chen D Y. Mineral elements on t he influ-ence of *Polyporus umbellatus* mycelium growth and develop-ment [J]. Journal of Shaanxi Agricultural Sciences,2007(4):67-71. (in Chinese)