

黎藤节间与节部纤维形态特征的径向变化

米海娜^{1,2}, 汪佑宏^{1*}, 于建芳^{2*}, 张涛²

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 内蒙古农业大学材料科学与艺术设计学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 为了更好地指导藤材的合理利用, 缓解日益紧张的木材供需矛盾, 采用显微图像分析方法, 对3组黎藤试样2 m处藤节间与节部的纤维形态特征进行了观察与统计, 并进行对比与分析。结果显示, 黎藤节间与节部纤维的长度、宽度、长宽比、腔径、双壁厚分别为981.779和921.271 μm 、7.786和8.719 μm 、130.822和113.021、3.716和3.669 μm 、4.070和5.051 μm 。由藤芯到藤皮节间处纤维长度和长宽比均呈现先增后降的趋势, 节部处纤维长度和长宽比、节间纤维宽度均呈现逐渐下降的趋势; 节间、节部处纤维腔径及节部宽度均呈现先降后增的趋势; 节间处双壁厚呈现逐渐下降的趋势, 节部处双壁厚呈逐渐增加的趋势。经 F 检验, 在0.05水平上节间与节部处纤维宽度和双壁厚存在极显著差异。平均纤维微纤丝角为 42.71° , 变化区间在 $39.38^\circ \sim 46.03^\circ$; 平均纤维素结晶度为46.96%, 变化区间在44.10%~49.82%, 且藤皮处结晶度大于藤芯处。

关键词: 黎藤; 节间; 节部; 纤维形态特征; 微纤丝角; 结晶度

中图分类号: S687.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2020)03-0397-05

Radical variations of fiber characteristics at the internode and node of *Calamus* sp.

MI Haina^{1,2}, WANG Youhong¹, YU Jianfang², ZHANG Tao²

(1. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. College of Material Science and Art Design, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018)

Abstract: In order to better guide the rational use of rattan and ease the increasing tension between wood supply and demand, the fiber characteristics of the node and the internode at the position of 2 m in three groups of rattan samples of *Calamus* sp. were statistically analyzed and compared with the microscopic image analysis method. The results showed that the length, width, length-width ratio, lumen diameter, double wall thickness of the fiber at the internode and node of *Calamus* sp. were 981.779 and 921.271 μm , 7.786 and 8.719 μm , 130.822 and 113.021, 3.716 and 3.669 μm , 4.070 and 5.051 μm , respectively. From the core to cortex, the fiber length and length-width ratio of the internode showed a trend of increasing firstly and then decreasing, while the fiber length, length-width ratio of the node, and fiber width of internode showed the trend of decreasing gradually. The fiber width and lumen diameter of node, and fiber lumen diameter of internode decreased firstly and then increased. The double wall thickness at internode gradually decreased, while that of node gradually increased. It could be known that the fiber width and double wall thickness existed significant difference from the F -test at the 0.05 level. The microfibril angle (MFA) varied from 39.38° to 46.03° with an average value of 42.71° ; the crystallinity index (CrI) varied from 44.10% to 49.82% with an average value of 46.96%, and the CrI at the cortex was larger than that at the core.

Key words: *Calamus* sp.; internode; node; fiber morphological characteristics; microfibril angle; crystallinity index

棕榈藤 (rattan) 属棕榈科 (Palmae) 省藤亚科 (Calamoideae) 省藤族 (Calameae) 植物, 是世界上热带植物种群, 自然分布在热带地区和东半球的邻近地区, 是一种可再生的非木材植物资源, 享有

热带和南亚“森林宝库”的美誉, 具有很高的价值以及广泛的用途, 其地位及利用价值仅次于木材和竹子^[1-4]。

黎藤 (*Calamus* sp.) 为棕榈科省藤亚科省藤属

收稿日期: 2019-09-25

基金项目: “十二五”国家科技计划课题子项目 (2015BAD04B0302) 资助。

作者简介: 米海娜, 硕士研究生。E-mail: 2454376832@qq.com

* 通信作者: 汪佑宏, 博士, 教授。E-mail: wangyh@ahau.edu.cn 于建芳, 副教授。E-mail: yjf-112@163.com

(*Calamus*), 属于攀援、簇生的藤类。省藤属中绝大部分分布于东南亚及其邻近地区, 且从分布区域来看, 亚洲分布种类最多, 仅有一种分布于非洲赤道雨林^[5]。棕榈藤的主要功能取决于维管束及周围的维管束鞘^[6]。藤茎纤维细胞均存在于纤维鞘中, 纤维细胞长, 两端尖削, 壁厚腔小, 其大小随着部位的不同有所差异, 藤茎外侧, 纤维细胞直径最小, 长度大; 而中部及中央部纤维细胞直径大, 长度短^[7]。藤材的宏观性质受纤维的影响, 从而影响到其加工利用。

随着藤材被越来越多的人重视, 藤材的种类繁多给人类生活带来更多材料选择的同时也给其种类区分、材质比较、品质鉴别带来了一定的困难。因此有必要对生活中一些常见藤材进行基础的识别和判断, 更多地了解关于藤材细微知识, 从而能够全面合理指导棕榈藤材的加工利用。迄今为止, 国内关于黎藤的研究资料甚少。作者旨在对黎藤部分构造特征进行研究分析和资料整理, 期望可以对后续的材料性及改性研究提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验所用黎藤 (*Calamus sp.*) 为南亚进口的商用棕榈藤, 由广东邹标藤厂购置。选取 3 株生长状态良好且无病虫害的黎藤 (平均节长 20.12 cm, 平均直径 28.25 mm), 从根部向上在 2 m 处截取若干个 1~2 cm 圆盘试块备用。

1.2 试验仪器

KD-1508A 型切片机, 浙江省金华市科迪仪器设备有限公司; DHS TL2020 高通量组织研磨仪, 北京鼎昊源科技有限公司; XD-3X 射线衍射仪, 北京普析通用仪器有限责任公司; KBF115 人工气候箱 (德国 BINDER 公司), 东南科仪。

1.3 试验方法

切片制作^[8]: 将圆盘试样由中心对角线切开平均分成 4 份, 经微波软化后, 利用轮转式切片机切取厚 30 μm 的横切面切片。

纤维的分离 (富兰克林离析法^[9]): 从藤芯到藤皮分别依次劈成大约 2 mm \times 2 mm 小细条, 并按藤芯到藤皮依次摆放、标记, 用过氧化氢-冰醋酸按体积 1:1 混合进行软化离析处理。用蒸馏水将试样反复清洗, 直至无酸味, 后用玻璃棒轻轻将试样碾压并用水稀释成单根纤维^[10]。

利用 Leica CW4000 自动成像系统在切片上观察纤维在横切面的微观形态, 并测量纤维的直径和腔径^[11-12], 离析后的纤维用于测量纤维的长度; 每

个试样测量 30 组数据。

纤维素结晶度及纤维微纤丝角的测定^[13]: 3 组黎藤试样分别在节间及节部部位截取长度 \times 厚度为 40 mm \times 1.2 mm (L \times R)、宽度依藤茎而定的微纤丝角薄片, 用于纤维微纤丝角的测定; 余下部分薄片, 制备 80~120 目筛的藤粉, 用于纤维素结晶度的测定。将薄片和藤粉置于人工气候箱中, 温度为 20 $^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 65% 条件下平衡一周, 试样的平衡含水率为 12% 左右时, 测定并计算其结晶度及微纤丝角。

2 结果与分析

2.1 节间与节部纤维形态的径向分布

试验所选用黎藤试样节间及节部处的纤维长度、宽度、长宽比、腔径和双壁厚径向分布 (图 1 和图 2) 显示, 节间处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的长度依次为 991.235、995.330 和 958.771 μm , 呈先上升后下降趋势, 变化范围 397.547~1 913.539 μm , 且纤维长度由小到大的顺序为藤皮、藤芯和藤中。节部处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的长度依次为 968.85、922.862 和 872.102 μm , 呈下降的趋势, 变化范围 406.822~1 933.718 μm , 且纤维长度由小到大的顺序为藤皮、藤中和藤芯。节间与节部处纤维长度均值分别为 981.779 和 921.271 μm , 前者比后者高 6.2%, 经 F 检验在 0.05 水平上差异不显著 (表 1)。且根据已有的研究结果可知, 粉藤、黄藤、高地钩叶藤的平均纤维长度分别为 1 425、1 090.2 和 2 007.5 μm ^[10, 14-15]。因此, 这 4 种藤材纤维长度关系为: 高地钩叶藤 $>$ 粉藤 $>$ 黄藤 $>$ 黎藤。

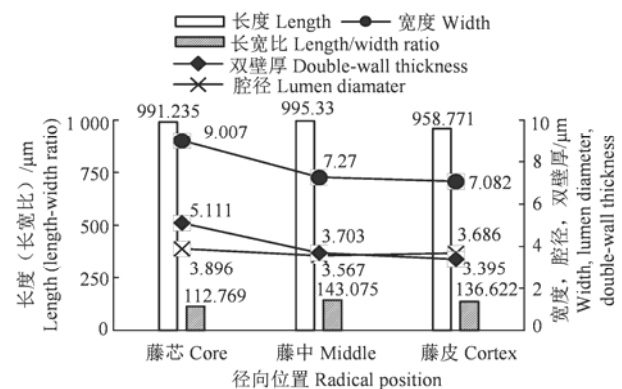


图 1 黎藤节间处纤维形态特征径向分布

Figure 1 The radical variation of internode fiber characteristics of *Calamus sp.*

节间处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的宽度依次为 9.007、7.27 和 7.082 μm , 呈下降的趋势, 变化范围 3.608~14.077 μm , 且纤维宽度由小到大

的顺序为藤皮、藤中及藤芯。节部处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的宽度依次为 8.08、7.836 和 10.242 μm , 呈先下降后上升的趋势, 变化范围 5.129~16.614 μm , 且纤维宽度由小到大的顺序为藤中、藤芯和藤皮。节间与节部处纤维宽度的均值分别为 7.786 和 8.719 μm , 前者比后者低 12%, 经 F 检验在 0.05 水平上差异极显著 (表 1)。且根据已有的研究结果可知, 粉藤、黄藤、高地钩叶藤的平均纤维宽度分别为 16.4、12.2 和 18.1 μm 。因此, 这 4 种藤材纤维宽度关系为: 高地钩叶藤 > 粉藤 > 黄藤 > 黎藤。

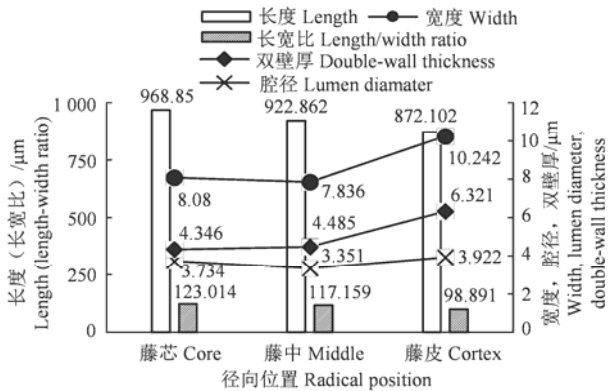


图 2 黎藤节部处纤维形态特征径向分布

Figure 2 The radical variation of node fiber characteristics of *Calamus* sp.

节间处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维长宽比依次为 112.769、143.075 和 136.622, 呈先上升后下

降的趋势, 且长宽比由小到大的顺序为藤芯、藤皮及藤中。节部处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的长宽比依次为 123.014、117.159 和 98.891, 呈下降的趋势, 且长宽比由小到大的顺序为藤皮、藤中及藤芯。节间与节部处纤维长宽比均值分别为 130.822 和 113.021, 前者比后者高 13.6%; 经 F 检验, 在 0.05 水平上差异显著 (表 1)。且根据已有的研究结果可知, 粉藤、黄藤和高地钩叶藤的平均纤维长宽比分别为 87.9、94.406 和 110.83。因此, 这 4 种藤材纤维长宽比关系为: 黎藤 > 高地钩叶藤 > 黄藤 > 粉藤。可见相较于其他 3 个藤种, 黎藤的纤维形态更加偏于细长。

节间处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的腔径依次为 3.896、3.567 和 3.686 μm , 呈先下降后上升的趋势, 变化范围 1.473~7.134 μm , 且纤维腔径由小到大的顺序为藤中、藤皮及藤芯。节部处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维的腔径依次为 3.734、3.351 和 3.922 μm , 呈先下降后上升的趋势, 变化范围 1.783~7.392 μm , 且纤维腔径由小到大的顺序为藤中、藤芯和藤皮。节间与节部处纤维腔径均值分别为 3.716 和 3.669 μm , 前者比后者高 1.3%, 经 F 检验, 在 0.05 水平上差异不显著 (表 1)。且根据已有的研究结果可知, 粉藤、黄藤、高地钩叶藤的平均纤维腔径分别为 5.4、5.6 和 10.6 μm 。因此, 这 4 种藤材纤维腔径关系为: 高地钩叶藤 > 黄藤 > 粉藤 > 黎藤。

表 1 黎藤节间、节部处纤维形态特征径向变异及 F 检验

Table 1 The radical variation of internode and node fiber characteristics and F -test of *Calamus* sp.

位置 Position	长度/ μm Length		宽度/ μm Width		长宽比 Length-width ratio		腔径/ μm Lumen diameter		双壁厚/ μm Double-wall thickness	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
平均值 Average	981.779	921.271	7.786	8.719	130.822	113.021	3.716	3.669	4.070	5.051
标准差 Standard deviation	42.786		0.660		12.587		0.006		0.694	
极大值 Maximum	1 933.718		16.614		250.991		7.392		9.892	
极小值 Minimum	397.547		3.608		49.187		1.473		1.365	
F value	2.558		7.221		6.770		0.123		7.620	
显著性差异 P Significant difference	0.112 ^c		0.008 ^a		0.010 ^b		0.726 ^c		0.006 ^a	

注: A 表示节间部位, B 表示节部部位; a、b 和 c 分别表示差异极显著、差异显著和差异不显著

Note: A represents internode site, and B represents node site; a, b and c refer to very significant difference, significant difference and no significant difference, respectively

节间处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维双壁厚依次为 5.111、3.703 和 3.395 μm , 呈下降的趋势, 且双壁厚由小到大的顺序为藤皮、藤中及藤芯。节部处从藤芯、藤中到藤皮, 黎藤纤维双壁厚依次为

4.346、4.485 和 6.321 μm , 呈上升的趋势, 且双壁厚由小到大的顺序为藤芯、藤中和藤皮。节间与节部处双壁厚均值分别为 4.07 和 5.051 μm , 前者比后者低 24.1%, 经 F 检验, 在 0.05 水平上差异极显著

(表1)。且根据已有的研究结果可知,粉藤、黄藤及高地钩叶藤的平均纤维双壁厚分别为11、6.5和7.5 μm 。因此,这4种藤材纤维双壁厚关系为:粉藤>高地钩叶藤>黄藤>黎藤。可见相较于其他3个藤种,高地钩叶藤有更加稳定的壁厚^[10]。

2.2 纤维微纤丝角的变异

微纤丝角是细胞结构的一个微观表征特征,指细胞次生壁中层S₂层微纤丝与细胞主轴方向之间的夹角^[16]。大量研究表明微纤丝角与单根纤维的力学性能有着密切的关系,是纤维纵向力学性能的主要影响因素之一。

表2 黎藤节间、节部处纤维微纤丝角变异

Table 2 The radical variation of microfibrilla angles of *Calamus* sp. at the internode and node

项目 Item	节间 Internode		节部 Node	
	藤芯 Core	藤皮 Cortex	藤芯 Core	藤皮 Cortex
平均值 Average	42.07°	42.45°	43.74°	42.78°
极大值 Maximum		43.88°		46.03°
极小值 Minimum		40.78°		39.38°

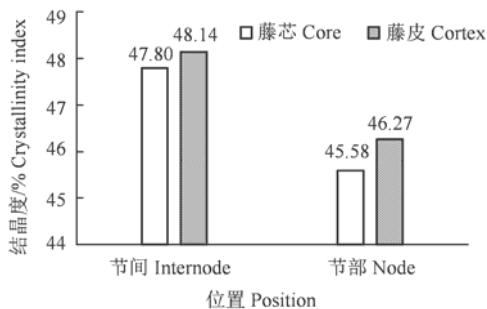


图3 黎藤节间、节部处结晶度变异

Figure 3 The radical variation of crystallinity index of *Calamus* sp. at internode and node

针对于木材组织的X射线衍射图像,可把衍射波峰看作是由逐渐加大斜度的一系列直线所组成,在对结果进行分析时,选用占波峰主要部分的中段斜线作为确定S₂层平均微纤丝角的依据^[17]。而棕榈藤材与木材细胞构造不同,其纤维次生壁为多层聚合结构,相对较厚的不只有S₂层,属于厚层与薄层相间的类型,使得在测试棕榈藤材时衍射强度曲线在180°水平距离内出现了双峰。

根据0.6 T法计算得黎藤试样微纤丝角^[18]。结果(表2)显示,试验所用黎藤试样纤维微纤丝角在39.38°~46.03°范围内变化,平均值为42.71°,且所测得的微纤丝角基本保持在大于40°的水平。整体差异不大,变化趋势平缓。且根据已有的研究结果可知,单叶省藤、黄藤的平均纤维微纤丝角分别

为3.76°和36.1°^[14]。因此,这3种藤材纤维微纤丝角关系为:黎藤>黄藤>单叶省藤。

节间处纤维微纤丝角为42.26°,节部处纤维微纤丝角为43.26°,节间部位微纤丝角小于节部部位,表明节间部位强度更大,变形更小,相较节部部位材性更加优良^[19-20]。节间处藤芯及藤皮的纤维微纤丝角分别为42.07°及42.45°;节部处藤芯及藤皮的纤维微纤丝角分别为43.74°和42.78°。变化趋势及规律并不明显,差异极其微小,基本保持在同一数值水平。

2.3 结晶度的变异

根据先有的研究结论可知:在扫描曲线 $2\theta=22^\circ$ 附近有(002)衍射的极大峰值, $2\theta=18^\circ$ 附近有极小值^[21],据此计算纤维素相对结晶度的数值,结果如图3。通过对比分析可知,试验所用黎藤试样纤维素的结晶度变化范围为44.10%~49.82%,平均值为46.96%。

同一黎藤试样同一部位藤芯和藤皮的结晶度是有差异的。节部部位藤皮及藤芯处的结晶度分别为46.27%和45.58%;节间部位藤皮及藤芯处的结晶度分别为48.14%和47.80%。藤皮处结晶度均高于藤芯处,增幅分别为1.51%和0.71%,表明藤皮处材质更硬但柔韧性相对于藤芯处较差。但两者整体水平趋于一致,差异不大。根据现有的研究结果^[13],黎藤试样纤维素结晶度的变化趋势符合一般规律,即藤皮处结晶度比藤芯处高。而同一黎藤试样不同部位藤芯和藤皮的结晶度也是有差异的。由图3可知,节间处藤芯及藤皮的结晶度均大于节部处对应部位,增幅分别为4.87%和4.04%。

3 讨论与结论

从藤芯到藤皮,黎藤节间、节部处纤维的长度变化分别为先增后降和逐渐下降;纤维宽度的变化分别为逐渐下降和先降后增;纤维长宽比的变化分别为先增后降和逐渐下降;纤维腔径的变化均为先降后增;纤维双壁厚的变化分别为逐渐下降和逐渐增加。其中黎藤节间处纤维长度、宽度、长宽比、腔径和双壁厚分别为981.779 μm 、7.786 μm 、130.822、3.716 μm 和4.070 μm ;而节部分别为921.271 μm 、8.719 μm 、113.021、3.669 μm 和5.051 μm 。节间处纤维宽度比节部处小12%,经F检验在0.05水平上差异极显著;节间处纤维双壁厚比节部处小24.1%,经F检验在0.05水平上差异极显著。

黎藤平均纤维微纤丝角为42.71°,变化区间为39.38°~46.03°,与木材的微纤丝角相比较^[22-24]。

测得的微纤丝角基本保持在大于 40° 的水平, 节间与节部微纤丝角整体差异不大, 变化趋势平缓、且差异不显著。节间、节部处纤维微纤丝角分别为 42.26° 和 43.26° 、前者比后者低 2.37%, 表明节间部位相较于节部部位强度大, 变形小, 材性更加优良。黎藤平均纤维素的结晶度为 46.96%, 变化区间为 $44.10\% \sim 49.82\%$, 黎藤纤维素结晶度的平均值大于黄藤纤维素结晶度 28.60%^[14], 表明黎藤相较于黄藤强度大, 尺寸稳定性好。节间、节部处结晶度分别为 47.97%、45.93%, 前者比后者高 4.25%, 说明黎藤节间较节部强度大, 尺寸稳定性好。

参考文献:

- [1] 吴明山, 汪佑宏, 徐斌, 等. 越南红藤、小白藤和玛瑙省藤的主要解剖特性[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(2): 63-65.
- [2] 许煌灿, 尹光天, 张信良, 等. 我国棕榈藤资源的天然分布及其利用研究[J]. 林业科学研究, 1993, 6(4): 380-389.
- [3] 许煌灿, 尹光天, 孙清鹏, 等. 棕榈藤的研究和发展[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 135-143.
- [4] 江泽慧, 萧江华, 许煌灿. 世界竹藤[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [5] CHAZDON R L, UHL N W, DRANSFIELD J, et al. Genera palmarum: A classification of palms based on the work of Harold E. Moore, Jr[J]. Taxon, 1988, 37(4): 937.
- [6] LIU X E, TIAN G L, SHANG L L, et al. Compression properties of vascular bundles and parenchyma of rattan (*Plectocomia assamica* Griff) [J]. Holzforschung, 2014, 68(8): 927-932.
- [7] 腰希申, 许煌灿, 曾炳山. 棕榈藤的电镜观察 I 藤基部分的电镜观察[J]. 林业科学, 1998, 34(3): 106-111.
- [8] 汪佑宏, 徐斌, 武恒, 等. 棕榈藤材解剖特征的取样方法[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(10): 90-94.
- [9] 汪佑宏, 徐鑫, 王瑞, 等. 黄藤发育过程中主要解剖特征的变异[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 35-37, 48.
- [10] 张菲菲, 李担, 汪佑宏, 等. 高地钩叶藤与大钩叶藤纤维特性[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(1): 76-79.
- [11] 李坚, 陆文达, 刘一星, 等. 体视显微术在木材组织学中的应用[J]. 东北林业大学学报, 1986, 14(3): 92-98.
- [12] 黄广华, 陈瑞英, 陈居静. 红麻杆细胞和纤维形态的研究[J]. 新余学院学报, 2015, 20(1): 8-12.
- [13] 汪佑宏, 刘杏娥, 江泽慧, 等. 利用 X 射线衍射技术分析黄藤材微纤丝角、结晶度及 γ 射线的影响[J]. 光谱与光谱分析, 2010, 30(5): 1404-1407.
- [14] 徐鑫, 汪佑宏, 刘杏娥, 等. 黄藤和单叶省藤纤维形态特征的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(3): 512-516.
- [15] 任伟, 李担, 汪佑宏, 等. 粉藤主要解剖特征的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(1): 55-58.
- [16] 费本华. 木材细胞壁力学性能表征技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [17] 王瑞. 四种省藤材纤维形态特征及微力学性能分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2001.
- [18] 阮锡根, 尹思慈, 孙成志. 应用 X 射线衍射(002)衍射弧法—测定木材纤维次生壁的微纤丝角[J]. 林业科学, 1982, 18(1): 64-70.
- [19] PANSHIN A J, CARL DE ZEEUW. Textbook of wood technology[M]. 4th ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 1980.
- [20] XING D, LI J, WANG X Z, et al. In situ measurement of heat treated wood cell wall at elevated temperature by nanoindentation[J]. Ind Crop Prod, 2016, 87: 142-149.
- [21] 杨淑敏, 江泽慧, 任海青, 等. 利用 X-射线衍射法测定竹材纤维素结晶度[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(8): 75-77.
- [22] MEMILIN C W. Fibril angle of loblolly pine wood as related to specific gravity, growth rate, and distance from pith[J]. Wood Sci Technol, 1973, 7(4): 166-176.
- [23] 刘盛全, 江泽慧, 鲍甫成. 人工林杨树木材性质与生长培育关系的研究[J]. 林业科学, 2001, 37(2): 90-96.
- [24] 费本华, 江泽慧, 阮锡根. 银杏木材微纤丝角及其生长轮密度相关模型的建立[J]. 木材工业, 2000, 14(3): 13-15.