

## 毛竹材微纤丝角变异规律研究

李霞镇, 任海青\*, 王小青

(中国林业科学研究院木材工业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 利用了 X 射线衍射技术对不同高度、不同竹龄、在垂周方向不同位置的毛竹材微纤丝角变化规律进行了研究。结果表明, 在竹壁径向上, 由外而内, 微纤丝角大致呈先增大后减小的变化趋势, 至靠近竹黄处微纤丝呈现最小值, 且最大值与最小值间差异为  $4.17^\circ$ 。从基部往上, 微纤丝角有略微增大, 最大差异只有  $0.15^\circ$ 。毛竹材的微纤丝角从 0.5 年至 6 年呈先增大后减小的变化趋势, 5 个竹龄的毛竹材微纤丝角之间的差异最大值仅  $0.52^\circ$ 。最后通过方差分析表明, 高度、竹龄以及垂周方向上的位置对毛竹材微纤丝角的影响显著。

**关键词:** X 射线衍射; 毛竹材; 微纤丝角; 变异规律

中图分类号: S781; S795

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2011)04-0500-04

### Research on variation of microfibril angle in *Phyllostachys pubescens*

LI Xia-zhen, REN Hai-qing, WANG Xiao-qing

(Research Institute of Wood Industry, CAF, Beijing 100091)

**Abstract:** Variations of microfibril angle of *Phyllostachys pubescens* with different heights, ages, radial positions were studied by X-ray diffraction technique. The results showed that microfibril angle increased first, and decreased from outside to inside in radial direction of the walls, finally it reached to the minimum at the inside of the walls. The difference between the maximum and minimum values of microfibril angle was less than  $4.17^\circ$ . Moreover, the microfibril angle increased slightly from base to top of the stalks. The difference was less than  $0.15^\circ$ . In addition, the microfibril angle increased first, then decreased from 0.5-year to 6-year, whose difference was less than  $0.52^\circ$ . At last, significant different effects of the microfibril angle with different ages, heights and radial positions of *Phyllostachys pubescens* were showed by analysis of variation.

**Key words:** X-ray diffraction; *Phyllostachys pubescens*; microfibril angle; variation

竹材是我国重要的森林资源, 随着木材的日益短缺, 作为生物质材料的竹材在人们生活中扮演着越来越重要的角色, 已由原竹利用和制作生活用品步入了结构用建筑工程材料的行列, 所以研究竹材的各项特性显得尤为重要。近年来, 在竹材的物理力学、化学特性方面已有较为广泛的研究, 但对于竹材微纤丝角而言, 只有少数专家学者进行过初步探索<sup>[1-3]</sup>。

纤维微纤丝角是由纤维素分子链构成的微纤丝与纤维细胞轴向之间的夹角, 它的大小对纤维材料的物理力学性质、制浆造纸性能和纸张强度、纤维复合材料性能等均有很大的影响, 它同密度一样,

是衡量材料性质重要指标之一<sup>[4-5]</sup>。一般来说, 微纤丝角的测定方法大致分为普通光学显微镜法、近红外光谱预测法和 X 射线法 3 类, 其中 X 射线法简便快速、代表性强、重现性好<sup>[6]</sup>, 特别适用于测量大量、有极大变异性的生物性材料的微纤丝角<sup>[7]</sup>。国内外学者对木材微纤丝角及其对木材物理力学性质影响已经做了较为深入的研究, 并得出木材微纤丝角一般的变异规律<sup>[8]</sup>。

虽然有少数学者曾对毛竹材微纤丝角进行过研究, 但均未得出较一致的变异规律, 所以作者选择了竹龄、高度以及垂周方向位置 3 个影响因素对毛竹(*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H.de Lehaie)材

收稿日期: 2011-03-08

基金项目: 林业行业专项“丛生竹高附加值建筑制品制造关键技术研究”和“竹质结构工程材料标准体系研究”共同资助。

作者简介: 李霞镇, 女, 博士研究生。E-mail:lixiazhen198500@163.com

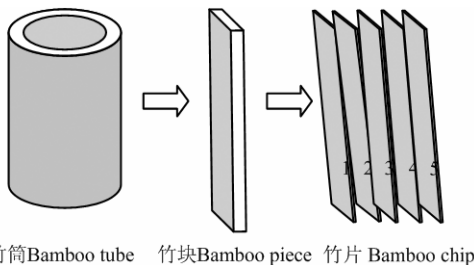
\* 通讯作者: 任海青, 女, 研究员, 博士生导师。

微纤丝角的变化进行了研究,并总结了其变异规律,以期为毛竹材的定向培育和加工利用提供一定的基础数据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料及制备

选取具有代表性的 0.5 年生、1 年生、2 年生、4 年生和 6 年生毛竹各 5 根。为了使不同年龄毛竹的微纤丝角之间具有可比性,所选用的毛竹材胸径大致相近(均在 10 cm 左右)。待气干后,分别在每株竹子上截取 2 m 处、4 m 处和 6 m 处的竹筒,在端头截取尺寸为 20 mm (L)×10 mm (T)×t mm (R)的竹块,然后将每块竹块沿弦向可劈制成 5~7 片(竹壁厚度由基部至梢部逐渐减小,制得试样数不相等)尺寸为 20 mm(L)×10 mm(T)×1mm(R)的薄竹片作为试样,从竹青到竹黄依次编号为 1、2、3、4…(试样解锯如图 1 所示)。竹青和竹黄厚度在竹壁占据很小的比例,所以只有在试样 1 上包含着竹青层,最后一个试样上包含竹黄层。试样的含水率大约为 10%。根据试验要求的试件尺寸,利用机器劈制竹薄片难度很大,故本实验采用的是手工劈制,这样会使劈制后的竹薄片表面带有一些毛刺,故在试验之前应用砂纸将竹薄片的两个表面稍微磨平,以保证所测数据的准确性。



竹筒 Bamboo tube 竹块 Bamboo piece 竹片 Bamboo chip

图 1 微纤丝角试样解锯图

Figure 1 The sawing method of the MFA samples

### 1.2 试验方法

试验的仪器为美国 Panalytical 公司生产的粉末 X 射线衍射仪 (PHILIPS X'Pert), 简称 XRD。入射光采用点聚焦光源,透射衍射模式。X 光管 Cu 靶,准直狭缝,单色器去除辐射。入射光路垂直于试样弦切面,接受光路与入射光路的夹角为 22.4°。主要扫描参数参数如下:管电压 40 kV,管电流 40 mA,扫描步进 1°,扫描范围 0~360°,连续圆周扫描,计算机自动采集数据。目前利用 X 射线衍射系统测试木材微纤丝角的常用计算方法有 4 种:0.4T 法、0.5T 法、0.6T 法和函数法。竹薄片无需做任何预处

理,直接用双面胶垂直固定在旋转样品台上进行 X 射线连续扫描测定微纤丝角。

根据本试验所扫描的图谱(图 2)看出,在 90°和 270°处的两个衍射峰的峰形有较大差别,未完全重叠,故 2 个峰不能用同一基线拟合,由此将 X 射线谱转化为 Excel 脚本语言后,采用 Origin 软件中的高斯函数 (Gauss Amp) 对 45~135°和 225~315°之间的数值进行单峰拟合拟合图谱,得到  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  两个单峰拟合值,此时  $T = \sigma_1 + \sigma_2$ ,微纤丝角为  $T$  值的 0.6 倍<sup>[9]</sup>,由此得到 MFA。

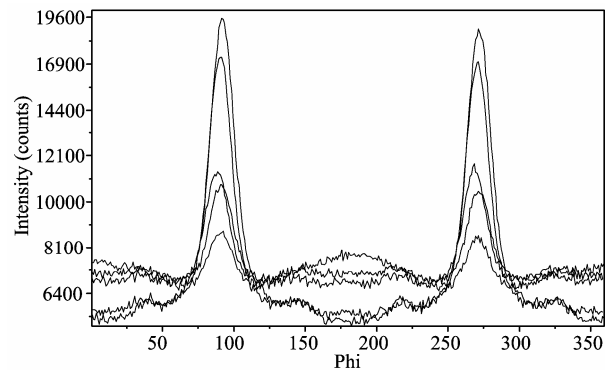


图 2 毛竹材 X 射线衍射图谱

Figure 2 X-ray diffraction spectra in bamboo

## 2 结果与分析

### 2.1 毛竹材微纤丝角径向变异

从图 2 可以看出,靠近竹青的样品的衍射强度大,峰形好,主要由于样品越靠近竹青,毛竹材密度越大<sup>[10]</sup>,参与衍射的细胞壁物质越多。在竹壁垂周方向上,由外而内,样品的衍射峰高逐渐减小,因为竹黄是由无定形物质构成,且试验所制试样厚度几乎相等,这在一定程度上峰高反映的是结晶区域的所占比例。

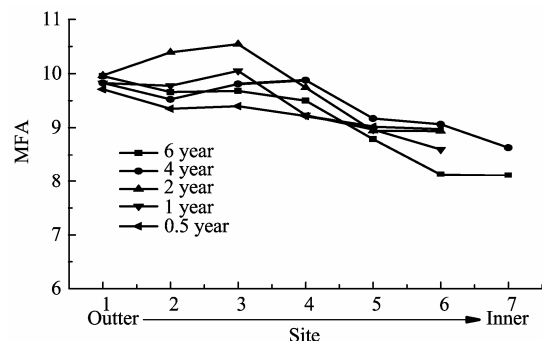


图 3 毛竹材下部 (2 m 处) MFA 的径向变化

Figure 3 MFA profile of bamboo at height of 2.0 m

从图 3、图 4 和图 5 可知，(1) 在竹壁垂周方向上，毛竹材微纤丝角的最大值和最小值分别为 11.89°和 7.72°，两者间的差异为 4.17°。(2) 在竹壁垂周方向上，由外而内，微纤丝角大致呈先增大后减小的变化趋势，至靠近竹黄处微纤丝呈现最小值。通过方差分析表明（见表 1）：垂周方向上不同位置对毛竹材微纤丝角影响显著。

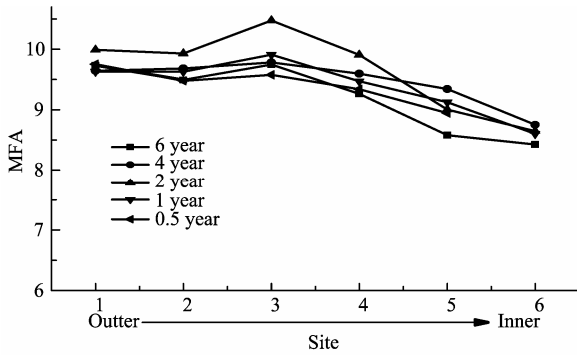


图 4 毛竹材中部（4 m 处）MFA 的径向变化  
Figure 4 MFA profile of bamboo at height of 4.0 m

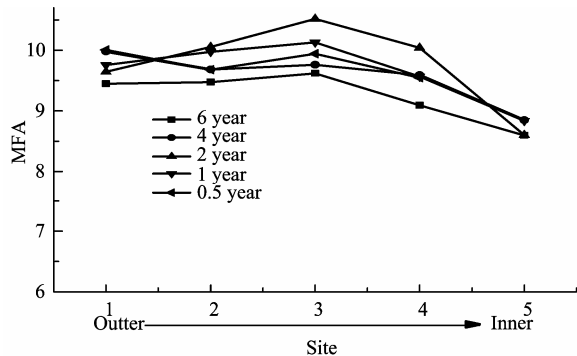


图 5 毛竹材高部（6 m 处）MFA 的径向变化  
Figure 5 MFA profile of bamboo at height of 6.0 m

2.2 毛竹材微纤丝角随高度的变异

图 6 反映了毛竹材高度方向微纤丝角的变异，毛竹材 2 m 处、4 m 处和 6 m 处的平均微纤丝角差异分别为 9.39°、9.40°和 9.54°，从基部往上，微纤丝角有略微增大。尽管三者之间的平均值差异很小，2 m 处、4 m 处的毛竹材微纤丝角之间差异不显著，但与 6 m 处的微纤丝角差异显著，通过方差分析也表明：高度对毛竹材的微纤丝角影响显著。

2.3 毛竹材微纤丝角随竹龄的变异

图 7 反映了竹龄对毛竹材微纤丝角的影响，毛竹材的微纤丝角从 0.5 年至 6 年呈先增大后减小变化趋势，各年份毛竹材平均微纤丝角分别为 9.44°、9.44°、9.72°、9.44° 和 9.17°，且至 6 年时下降

趋势最为明显。5 个年龄的毛竹材微纤丝角之间的差异最大值仅为 0.52°，但通过方差分析（见表 1）可知，年龄对微纤丝角的影响显著，尽管 0.5 年生、1 年生、4 年生毛竹材微纤丝角无显著差异，但与 2 年生、6 年生毛竹材的微纤丝角差异显著。

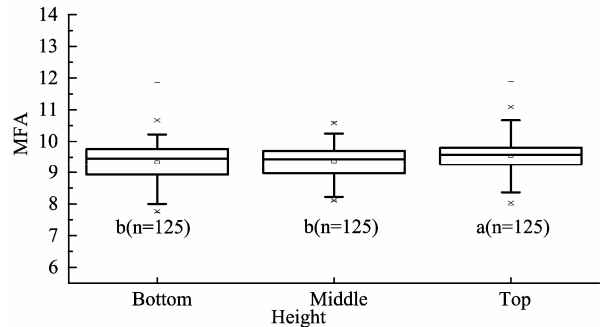


图 6 高度对竹材微纤丝角变异的影响  
Figure 6 The impact of height on bamboo MFA

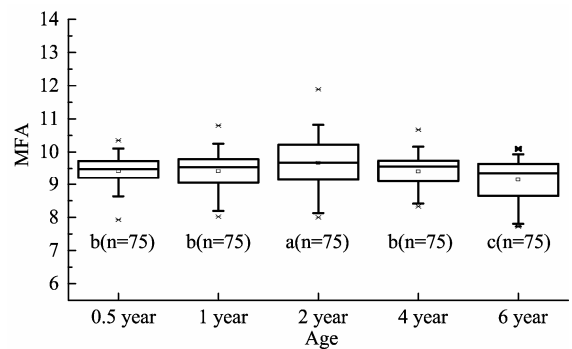


图 7 年龄对毛竹材微纤丝角变异的影响  
Figure 7 The impact of age on bamboo MFA

3 小结与讨论

对于木材而言，微纤丝角是决定其物理力学以及加工特性的重要因素<sup>[11-15]</sup>，并且与木材的化学特性相关，木素的含量随微纤丝角的降低而降低<sup>[16]</sup>。木材微纤丝角变异幅度较为明显，我国的人工林杉木幼龄材大约为 20°，成熟材大约为 10°，变异幅度达到 10°左右<sup>[17]</sup>。在木材径向上，微纤丝角在髓心处最大，在幼龄材区域由内向外显著降低，到成熟材区域则趋于稳定<sup>[18]</sup>。在树高方向上，随着树高的增加逐渐减小，达到一定高度后呈稳定的趋势，但至树梢处又有所增大<sup>[19-20]</sup>。

对于毛竹材而言，微纤丝角变化幅度较木材小很多，且变化规律不明显。江泽慧研究认为，毛竹微纤丝角从竹青到竹黄略有增大，但就绝对值而言则差异不大<sup>[1]</sup>。余雁认为竹材的径向的差异不大，一般最大值和最小值之间的差异小于 3°，微纤丝

角在径向没有稳定的变化规律, 但年龄、高度以及径向位置对微纤丝角的影响均显著<sup>[2]</sup>。杨淑敏认为: 纤丝角的径向变化为: 在靠近竹青处略小, 随之增大, 而后呈逐渐下降趋势, 至竹黄处达到最小; 微纤丝角从基部到梢部逐渐减小; 7 个竹龄的竹材微纤丝角未呈现一致的规律性变化, 且竹材微纤丝角的变化幅度仅为  $4.44^{\circ}$  <sup>[3]</sup>。

本试验毛竹材微纤丝角的研究得出: 在竹壁垂周方向上, 由外而内, 毛竹材微纤丝角呈现出一定的规律性, 大致呈先增大后减小的变化趋势, 至靠近竹黄处微纤丝角最小, 最大值与最小值之间相差  $4.17^{\circ}$ , 通过方差分析表明垂周方向上的位置对毛竹材的微纤丝角影响显著。在毛竹材高度方向上, 从基部往上, 微纤丝角有略微增大。2 m 处、4 m 处和 6 m 处的平均微纤丝角差异分别为  $9.39^{\circ}$ 、 $9.40^{\circ}$  和  $9.54^{\circ}$ , 这与前人所得的结论有一定差异, 这在很大程度上可能是毛竹材在生长过程中受环境因素、干形或种源等因素的影响。由于三者之间的绝对值差异较小, 也不能完全否定是试验误差所致。对于竹龄而言, 试验所选取的 5 个竹龄的毛竹材微纤丝没有明显的变化规律, 但可以肯定的是毛竹材至 6 年时, 其微纤丝角最小, 通过方差分析表明竹龄对毛竹材微纤丝角的影响也显著。通过研究进一步说明了毛竹的微纤丝角不是决定其物理力学性能变异的主要因子这一说法<sup>[2]</sup>。本试验只选定高度、竹龄及垂周方向位置 3 个毛竹材微纤丝角影响因素, 对其进行了变化规律的研究, 只能在某种程度上对毛竹材进行评价, 还需和毛竹材的密度、化学组成、立地条件和栽培方式等进行综合研究, 以此来为毛竹材今后的培育和加工利用提供科技支撑。

## 参考文献:

- [1] 江泽慧, 邹惠渝, 阮锡根, 等. 应用 X 射线衍射技术研究竹材超微结构 I 竹材纤丝角[J]. 林业科学, 2000, 36(3): 122-125.
- [2] 余雁, 王戈, 覃道春, 等. X 射线衍射法研究毛竹微纤丝角的变异规律[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(8): 28-29, 51.
- [3] 杨淑敏, 江泽慧, 任海青, 等. 毛竹材质生成过程中微纤丝角的变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(5): 73-76.
- [4] 费本华. X 射线衍射法测定铜钱树木材微纤丝角及其变异的研究[J]. 安徽农业大学学报, 1995, 22(3): 262-265.
- [5] 江泽慧, 黄安民, 费本华, 等. 利用近红外光谱和 X 射线衍射技术分析木材微纤丝角[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(7): 1230.
- [6] 黄艳辉, 费本华, 赵荣军. 木材微纤丝角四种测试方法对比研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(6): 1682-1686.
- [7] 王政, 朱典想. 用 X 射线衍射法测定木材纤维次生壁的平均微纤丝角[J]. 林业机械与木工设备, 2004, 32(3): 16-18.
- [8] Donaldson L A. Variation in microfibril angel among three genetic groups of Pinus radiate trees[J]. New Zealand Journal of Forest Science, 1993, 23(1): 90-100.
- [9] Cave I D. Theory of X-ray measurement of microfibril angle in wood[J]. Forest Prod J, 1996, 16(10): 37-42.
- [10] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [11] Shupe T F, Choong E T, Stokke D D, et al. Variation in cell dimensions and fibril angle for two fertilized even-aged loblolly pine plantations[J]. Wood and Fiber Science, 1996, 28(2): 268-275.
- [12] Kellogg R M, Thykeson E. Predicting kraft mill paper strength from fiber properties[J]. Tappi, 1975, 58(4): 131-135.
- [13] Armstrong J P, Kyanka G H, Thorpe J L. S2 fibril angle-elastic modulus relationship of TMP Scotch pine fibers[J]. Wood Science, 1977, 10(2): 72-80.
- [14] Cave I D, Walker J C F. Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: the influence of microfibril angle[J]. For Prod J, 1994, 44: 43-48.
- [15] Macdonald E, tubert J. A review of the effects of silviculture on timber quality of Sitka spruce[J]. Forestry, 2002, 75(2): 107-138.
- [16] Saka S. Relationship between microfibrillar angles and lignin content in the S<sub>2</sub> layer of softwood trachieds[J]. Cellulose chemistry and technology, 1987, 21(3): 225-231.
- [17] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [18] Zobel B J, Buijtenen J P. Wood variation: its causes and control[J]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1989.
- [19] McMillin C W. Fibril angle of loblolly pine wood as related to specific gravity[J]. Wood Sci Tech, 1973, 2: 166-176.
- [20] Donaldson L A. Within-and between-tree variation in microfibril angle in Pinus radiate[J]. N Z J for Sci, 1992, 22: 77-86.