

烟秆纤维部分物理性能在纵向上的变异特性

李晓平, 吴章康, 张聪杰

(西南林业大学 材料工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要:为了更好地利用烟 *Nicotiana tabacum* 秆资源, 提高其应用价值, 采用光学显微镜和广角 X-衍射仪对其纤维的形态、微纤丝角和相对结晶度在纵向上的变异特性进行了研究, 并与工业大麻 *Cannabis sativa* 秆和蓖麻 *Ricinus communis* 秆纤维的物理特性进行了对比。结果表明: 烟秆纤维是一种长度中等、形态优良的优质纤维; 其纤维形态在纵向上的变异规律和工业大麻秆、蓖麻秆纤维形态的变异规律具有明显差异。微纤丝角从下部到上部呈先减小后增大的变化趋势, 而相对结晶度呈减小趋势; 并且烟秆的微纤丝角要高于工业大麻秆, 蓖麻秆和思茅松 *Pinus kesiya*, 而相对结晶度要小于工业大麻秆、蓖麻秆和思茅松。总之, 烟秆纤维是一种长度中等, 物理性能优良的纤维原料, 其纤维细胞壁的力学性能将在今后进一步进行研究。表 2 参 9

关键词: 林业工程; 烟秆纤维; 纤维形态; 微纤丝角; 相对结晶度; 变异特性

中图分类号: S781.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)04-0548-04

Physical properties of tobacco stalk fibers along the stem

LI Xiaoping, WU Zhangkang, ZHANG Congjie

(College of Materials Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: To use tobacco stalks more economically and to improve their value, variation in fiber size, micro fiber angle (MFA), and the relative degree of crystallinity for fiber cells in tobacco stalk fibers along the height of the stem were studied. These were compared to industrial hemp stalks and castor stalks using an optical microscope and wide-angle X-ray diffraction. Results showed that the tobacco fiber cell had a favorable mid-length and good fiber size (The fiber length is 0.76 mm and the cell wall thickness to lumen diameter is 0.50). Also, there was a marked difference between the variation in fiber size for the tobacco stalk and the industrial hemp and castor stalks along the height of the stem, for example, the fiber length at bottom part of tobacco is longest while the fiber length at midpoint of castor stalk and industrial hemp stalk is shortest. MFA of the fiber cell wall at its midpoint was smaller compared to the bottom and top parts ($P=0.0001$), and the relative degree of fiber crystallinity decreased ($P=0.0001$) with the height of the tobacco stalk stem. In addition, compared to industrial hemp stalks, castor stalks, and *Pinus kesiya*, MFA was greater, the relative degree of crystallinity was also smaller, thus, tobacco fiber qualities were excellent and would be conducive to further study in the future. [Ch, 2 tab. 9 ref.]

Key words: forest engineering; tobacco (*Nicotiana tabacum*) fiber; fiber size; micro fiber angle; relative degree of crystallinity; variation

烟草 *Nicotiana tabacum* 在全世界均有种植, 其烟叶主要用于生产烤烟。目前, 烟草种植是云南省的重要经济作物之一, 但至今为止除烟草的叶子用于制做烤烟外, 烟秆还没有被充分利用, 被当地农民当作废弃物就地焚烧。烟秆是一种优质的木质原料, 不仅可以用于制浆造纸, 还可以被用来制备人造板等木质材料。此外, 烟秆还可以被用于提取烟碱、制造活性炭等产品^[1], 但都没有得到工业化的利用。如

收稿日期: 2012-07-25; 修回日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31060098); 云南省科学技术面上项目(2010CD064); 云南省教育厅资助项目(2010Y302); 云南省重点学科建设项目(XKZ200903)

作者简介: 李晓平, 副教授, 博士, 从事木质复合材料研究。E-mail: lxp810525@163.com

果可以利用烟秆纤维来制备高品质的复合材料，既充分发挥烟秆纤维的优良特性，又可以变废为宝，增加烟民的经济收入，还可以减少烟秆焚烧造成的环境污染。为了实现这一目标，就有必要研究烟秆纤维的特性，包括纤维形态和物理性能。另外，烟秆是一种1年生的植物原料，研究纤维特性在其纵向上的变异特性，可为揭示生物质材料的生长奥秘和生长规律奠定一定的基础。笔者主要阐述烟秆纤维的部分物理特性及其在纵向上的变异性。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

烟秆：取自云南省，高约1 m，直径10~15 mm，中空(横截面主要由韧皮部、木质部和髓部组成)。干燥的烟秆置于温度20~28 ℃，湿度40%~60%的条件下2个月。取烟秆的下部、中部和上部3个部位作为研究对象，分别研究3个不同部位的纤维形态、微纤丝角和相对结晶度。

1.2 实验方法

1.2.1 纤维形态测试 将各样品做成火柴秆大小，在沸水中煮数小时，直至样品沉于水底。用体积比为1:1的双氧水(体积分数30%)和冰醋酸(分析纯)混合液在60 ℃的水中煮数小时，直至样品变白。将煮好的样品用水洗数遍，直到用pH试纸试之不呈酸性为止。将样品置于试管中，加适量的水后，剧烈震荡，直到样品都分离成单根纤维。用10 g·L⁻¹的番红溶液进行染色，制成临时载玻片^[2-3]，利用Motic Images Plus 2.0图像处理系统测量纤维的尺寸，先在40倍显微镜下量取纤维的长度，后在400倍的显微镜下找到对应纤维，量取其宽度和细胞腔宽，取纤维200根·样品⁻¹，进行测量。

1.2.2 纤维细胞壁微纤丝角和相对结晶度测试 微纤丝角测定：将取之烟秆3个不同部位的样品制成5.0 mm × 5.0 mm × 0.5 mm的样品，利用广角X-射线衍射仪进行微纤丝角测定。试验中所使用仪器由丹东方圆仪器有限公司制造，型号为DX-200的广角X-衍射仪，采用 θ -2 θ 联动方式进行测试。铜靶，辐射电压为40 kV，电流30 mA，斜孔狭缝0.2 mm，测角(2 θ)转速3°·min⁻¹。扫描速度为0.05°·s⁻¹。自动扫描衍射强度并纪录，并根据6T法进行微纤丝角的计算，具体方法见参考文献[4]。

相对结晶度测定：将烟秆3个不同部位分别进行粉碎，取可通过100目的粉末，利用广角X-射线衍射仪进行测定。试验中所使用仪器和测试条件同微纤丝角测定。自动扫描衍射强度并纪录。相对结晶度的计算按照Segal法，其公式为： $I_{Cr}(\%) = [(I_{002} - I_{am}) / I_{002}] \times 100$ 。其中： $I_{Cr}(\%)$ 为结晶度百分数； I_{002} 为002面峰半宽处的峰高； I_{am} 为101与002交界处的最低谷。

2 结果和分析

2.1 烟秆纵向不同部位的纤维形态分析

由表1可得：烟秆木质部纤维的平均长度为0.76 mm，宽度39.04 μm，腔宽26.54 μm，单壁厚6.25 μm，长宽比23.58，壁腔比0.50；由此数据可知：烟秆纤维是一种长度中等，长宽比较高，壁腔比较小的优质木质纤维原料。烟秆从下部到上部，纤维的长度、宽度和单壁厚逐渐变小，中部和上部纤维的细胞腔要小于底部，而中部纤维的长宽比最小，3个部位的壁腔比几乎保持不变。而同为1年生木质草本植物的工业大麻*Cannabis sativa*秆和蓖麻*Ricinus communis*秆，其纤维形态从下部到上部的变化规律与烟秆纤维形态从下部到上部的变化规律具有明显的差异；比如纤维长度在工业大麻秆和蓖麻秆中从下部到上部均是先增加后减小，而烟秆纤维是呈逐渐变小的趋势，原因可能是由不同的种植条件引起。相对工业大麻秆和蓖麻秆，烟秆在生长早期需要更多的水分进行灌溉，以利于其生长和提高烟叶的产量。这部分研究将在今后进一步进行；而细胞的宽度和腔宽从下部到上部的变化规律在3种木质草本植物中的变化规律基本相同，即从茎秆下部到上部，纤维细胞宽度和细胞腔的宽度均呈减小趋势，所以3种植物的茎秆在宏观上都呈锥形^[5-7]。

2.2 烟秆纵向不同部位纤维细胞壁的微纤丝角和相对结晶度分析

由表2可见：烟秆纤维细胞壁的物理性能包括微纤丝角和相对结晶度在各个部位均不相同。纤维细胞壁的微纤丝角和相对结晶度是表征纤维细胞壁结构的2个重要指标，也是决定纤维细胞壁力学性能的2个主要因素。微纤丝角和纤维细胞壁的弹性模量密切相关，随着微纤丝角的增大，其弹性模量减小；

表1 烟秆、工业大麻秆和蓖麻秆不同部位的纤维形态

Table 1 Fiber size in different parts of tobacco stalk, industrial hemp stalk and castor stalk

品种	样品	长度/mm		宽度/ μm		腔宽/ μm		单壁厚/ μm		长宽比		壁腔比	
		平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围
烟秆	下部	0.82	0.37~1.60	41.28	21.97~70.42	28.03	9.42~50.78	6.62	1.23~15.53	20.36	8.44~40.77	0.50	0.08~1.40
	中部	0.74	0.33~1.27	37.99	20~61.36	25.78	12.36~47.75	6.11	1.22~15.76	20.27	6.99~47.00	0.50	0.07~1.30
	上部	0.73	0.35~1.31	37.85	19.92~66.79	25.81	11.72~47.24	6.02	0.87~12.19	30.11	12.35~66.46	0.50	0.06~1.30
	平均值	0.76		39.04		26.54		6.25		23.58		0.50	
工业大麻秆 ^[7]	下部	0.51	0.35~1.35	32.20	19.9~66.8	20.40	11.7~47.2	5.92	4.10~9.78	20.74	7.52~50.63	0.70	0.13~2.48
	中部	0.57	0.15~0.83	29.50	14.1~49.7	18.20	6.28~33.9	5.65	3.89~7.92	20.39	6.70~40.97	0.69	0.20~2.34
	上部	0.56	0.21~0.82	25.60	12.6~48.3	17.00	11.9~25.5	4.34	1.08~9.89	19.90	8.60~40.61	0.56	0.11~1.84
蓖麻秆 ^[8-9]	下部	0.87	0.55~1.17	28.99	9.13~55.66	19.59	4.04~43.83	4.70	1.33~15.01	31.78	16.06~89.62	0.56	0.11~2.59
	中部	0.90	0.49~1.61	27.19	10.07~44.45	16.79	5.28~38.51	5.20	1.45~10.18	34.79	16.94~76.46	0.71	0.14~2.92
	上部	0.81	0.45~1.31	25.55	10.69~44.91	16.78	5.00~40.00	4.38	1.50~10.62	33.34	16.49~91.14	0.59	0.12~2.40

而纤维细胞壁的硬度主要由木质素含量决定,木质素含量越低,纤维素细胞壁的硬度越小^[8-9],对于烟秆纤维细胞壁的力学性能将在后面利用纳米压痕对其进行进一步的研究分析。由表2可知。烟秆从下部到上部,微纤丝角呈先减小后增大的变化趋势,与工业大麻秆微纤丝角在纵向上的变异趋势存在明显的差异;相对结晶度从烟秆下部到上部呈减小趋势,与工业大麻秆相对结晶度在植株纵向上的变化趋势相同。在1年生草本植物的生长过程中,烟秆从下部到上部其纤维细胞的生长时间也从长到短,既纤维细胞壁中的化学成分随着生长周期的变化也在发生着变化,而烟秆纤维细胞壁的微纤丝角和相对结晶度在烟秆纵向上的变异趋势,可能是由于化学成分尤其是木质素含量在不同部位的烟秆纤维细胞壁中发生了变化,这部分研究将在后面进行进一步探索。

此外,由表2可得:烟秆的微纤丝角要高于工业大麻秆、蓖麻秆和思茅松 *Pinus kesiya* 而相对结晶度要低于工业大麻秆、蓖麻秆和思茅松。

3 结论

烟秆木质部纤维的平均长度为0.76 mm,宽度39.04 μm ,腔宽26.54 μm ,单壁厚6.25 μm ,长宽比23.58,壁腔比0.50。是一种长度中等,长宽比较高,壁腔比较小的优质木质纤维原料。烟秆从下部到上部,其纤维形态的变异规律与蓖麻秆和工业大麻秆在纵向上的变异规律有明显的差异,可能是由于栽培方式的不同而造成,后面将进一步对其进行研究。

从下部到上部,烟秆纤维细胞壁的微纤丝角在纵向上呈先减小后增大的变化趋势与工业大麻秆纤维细胞壁微纤丝角在纵向上的变化趋势具有明显差异;而烟秆纤维细胞壁的相对结晶度从下部到上部呈减小趋势,与工业大麻秆相对结晶度的变化趋势相同。另外,烟秆纤维细胞壁的微纤丝角大于蓖麻秆、工

表2 纤维细胞壁的微纤丝角和相对结晶度

Table 2 Micro-fibril angle and relative degree of crystallinity in fiber cell wall

品种	样品	微纤丝角/ $^{\circ}$	相对结晶度/%
烟秆	下部	20.70	41.09
	中部	18.00	39.67
	上部	24.90	39.47
	平均值	21.20	40.08
工业大麻秆 ^[7]	下部	10.50	50.70
	中部	10.50	49.90
	上部	10.50	48.20
	平均值	10.50	49.60
蓖麻秆		18.15	42.98
思茅松		15.90	51.00

业大麻秆和思茅松, 而相对结晶度则小于这3种材料。

参考文献:

- [1] 张利波, 彭金辉, 夏洪应, 等. 微波加热制备烟秆基高比面积活性炭的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2008, **30**(12): 76 – 79.
ZHANG Libo, PENG Jinhui, XIA Hongying, *et al.* Research on preparation of high specific surface area activated carbon from tobacco stem by microwave heating [J]. *J Wuhan Univ Technol*, 2008: **30**(12): 76 – 79.
- [2] 廖声熙, 李昆, 杨振寅, 等. 不同年龄构树皮的纤维、化学特性与制浆性能研究[J]. 林业科学研究, 2006, **19**(4): 436 – 440.
LIAO Shengxi, LI Kun, YANG Zhenyin, *et al.* Influence of age on chemical components, fiber morphology and pulping properties of broussonetia papyrifera bark [J]. *For Res*, 2006, **19**(4): 436 – 440.
- [3] 裴姗姗, 刘元, 胡进波, 等. 人工林尾巨桉株内、株间纤维形态变异的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, **27**(5): 92 – 96.
CHANG Shanshan, LIU Yuan, HU Jinbo, *et al.* Internal and in-between variation of fiber conformation in *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* trees [J]. *J Cen South Univ For & Technol*, 2007, **27**(5): 92 – 96.
- [4] CAVE I D. Theory of X-ray measurement of microfibril angle in wood [J]. *For Prod J*, 1966, **16**(10): 37 – 42.
- [5] LI Xiaoping, WANG Siqun, DU Guanben, *et al.* Variation in physical and mechanical properties of hemp stalk fibers along height of stem [J]. *Ind Crops Prod*, 2013, **42**: 344 – 348.
- [6] 李晓平, 周定国, 周绪斌, 等. 蓖麻秆显微构造及纤维形态的研究[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26**(2): 239 – 245.
LI Xiaoping, ZHOU Dingguo, ZHOU Xubin, *et al.* Microstructure and fiber size of the castor-oil plant [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(2): 239 – 245.
- [7] 李晓平. 蓖麻秆的原料特性及其人造板制造[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 23 – 26.
- [8] GINDL W, GUPTA H S, SCHOBERL T, *et al.* Mechanical properties of spruce wood cell walls by nanoindentation [J]. *Appl Phy S A*, 2004, **79**(8): 2069 – 2073.
- [9] TZE W T Y, WANG S, RIALS T G, *et al.* Nanoindentation of wood cell walls: continuous stiffness and hardness measurements [J]. *Compos Part A-Appl Sci Manuf*, 2007, **38**(3): 945 – 953.