

棉秆的解剖特性及化学成分研究

蔺 焘,郭文静,高 黎,常 亮,王 正*

(中国林业科学研究院 木材工业研究所,北京 100091)

摘 要:对棉秆的解剖特性和化学成分进行系统测定和分析,为棉秆在人造板工程中的利用提供参考。借助光学显微镜对棉秆的显微构造进行了详细的观察和分析,着重应用定量解剖学和显微图像分析技术,研究了棉秆的解剖特征。并参照国家标准对棉秆的化学成分进行了测定。研究结果表明,棉秆纤维形态较好,平均纤维长度为 742.7 μm ,纤维长宽比为 37.66,纤维比量为 77.28%。棉秆木质部和棉秆皮部的化学组分有明显不同。与棉秆木质部相比,棉秆皮部的各种抽提物含量、综纤维素含量、灰分含量更大,聚戊糖的含量更低。

关键词:棉秆;解剖特性;化学成分

中图分类号:S785 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)05-0201-06

Anatomical Characteristics and Chemical Components of Cotton Stalk

LIN Tao, GUO Wen-jing, GAO Li, CHANG Liang, WANG Zheng*

(Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The anatomical characteristics and chemical components of cotton stalk were examined to provide reference for the application of cotton stalk in wood-based panels engineering. The microscopic structure of cotton stalk was observed and analyzed by using optical microscope. Some approaches of quantitative anatomy, microscopic image analysis were used to explore the anatomical properties of cotton stalk. Chemical components were measured based on the China national standards. The results showed that the structurew of cotton stalk were similar to the broad-leaved wood, and fiber shape was good. The mean of fiber length, ratio of fiber length to width and ratio of fiber were 742.7 μm , 37.66 and 77.28%, respectively. The chemical components of the cortex and xylem of cotton stalk were very different. Compared with the xylem, the cortex had higher extractives, holocellulose, and ash, while pentosan content was lower.

Key words: cotton stalk; anatomical characteristic; chemical component

棉花(*Gossypium* spp)属被子植物门,双子叶植物纲,锦葵科(Malvaceae)棉属(*Gossypium*)植物,是世界上最主要的农作物之一,产量多、生产成本低。林业六大工程实施以来,我国木材供应量急剧下降,尤其人造板行业深受影响。棉秆作为棉花副产品的最重要组成部分,其纤维形态及其物理力学性能与木材最为接近,是众多农业剩余物中最早作为木材替代品的原料之一。作为一个农业大国,我国每年会产生约 5 亿 t 以上的农作物废料,其中棉

秆占 2 000 万 t 以上^[1]。各地企业和政府为棉秆资源的利用投入了大量的资金,目前已在切碎还田、饲料加工、造纸、人造板加工、建材、燃料化、食用菌培养、表面性能等用途方面进行了大量研究^[2-7]。但较少有文献系统的分析棉秆的解剖特征。棉秆的显微构造特征和化学成分与其物理力学性能密切相关,进而影响了棉秆的最终应用。以棉秆为研究对象,对其解剖特性和化学成分进行系统测定和分析,研究棉秆皮部与木质部的差异,为以棉秆为原料的人

收稿日期:2011-12-26 修回日期:2012-03-05
基金项目:国家林业局“948”项目(2008-4-74);公益性科研院所基本科研任务费专项资金(CAFINT2007k02)。
作者简介:蔺焘,女,博士研究生,研究方向:木塑复合材料。E-mail: lilyintao@163.com
* 通讯作者:王正,男,研究员,主要研究方向:木塑复合材料。E-mail: wangz@caf.ac.cn

造板制造利用提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

棉秆采自山东省无棣县,属于陆地棉(*G. hirsutum*),选取 6 根生长良好的棉秆,棉秆呈灌木状,且直径很小,成熟棉秆根部直径仅 2 cm 左右。将棉秆齐根伐倒后分别从基部、基部向上 15 cm 处(茎部)、枝干各取约 3 cm 的秆段作为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 解剖性质 将测试样品的棉秆 3 个切面做成永久切片,使用光学显微镜观察试材的显微构造;采用 Q-570 图像分析仪,按木材定量解剖常规方法,在木质部的中线区域测出棉秆木质部的各种组织比量,胞壁率,纤维壁厚和壁腔比。在棉秆段上截取长约 1~2 cm 的火柴杆状的小木段,将皮与木质部分开,经 1:1 的过氧化氢和冰醋酸混合液离析,采用 Olympus VM-60N 图像测量系统,每个样本分别测量木纤维细胞和导管的长度(随机测 100 根)、宽度(随机测 50 根)。采用 SAS 软件进行方差分析,分析棉秆不同部位对纤维形态,导管形态和组织比量等特征的影响。

1.2.2 化学成分分析 将棉秆木质部和棉秆皮分别用植物粉碎机粉碎后,筛取 40~60 目的粉末进行化学组成分析。参照《造纸工业化学分析》(GB2677-1998)标准方法进行,测试灰分,热水抽出物,1% NaOH 抽出物,苯醇抽出物,综纤维素,木素,聚戊糖,取其统计平均值作为最终试验结果^[8]。化学成分分析在中国制浆造纸研究院完成。

2 结果与分析

2.1 棉秆的微观构造

棉秆由主干和枝干组成,横向截面分为皮,木质部和髓 3 部分。

2.1.1 髓 如图 1 所示,棉秆髓由较大的薄壁细胞组成,呈多面体或椭圆形,细胞排列疏松,有明显的细胞间隙。细胞壁由纤维素和果胶质组成,细胞内液胞大,主要有水分、气体和碳水化合物。

2.1.2 木质部 在髓与木质部的连接处有很多由管孔、纤维和薄壁细胞围成的空腔(图 1)。如图 1 和图 3 所示,在横切面上管孔呈圆形或卵圆形,接近髓的管孔小而密,多数是复管孔,排列呈径列。靠近皮部的管孔排列呈孔团状,中间形成过渡,单管孔和复管孔呈星散状排列。导管散生在木纤维细胞之中,由导管分子连接成一根根导管(图 4)。

径向排列的木射线非常明显,有单列、双列甚至三列的。全部为异形散生射线(图 4),射线的高度稍低,宽度<50 μm,数目的水平为“密”级^[9]。木质部中可利用的是木纤维细胞,木纤维细胞排列整齐,均为两端尖削的纺锤状(图 4)。棉秆中轴向薄壁组织主要为环管状和稀疏环管状。

2.1.3 皮部 棉秆皮层最外层表皮呈撕裂状,色深,向内由木栓细胞构成周皮。周皮内方为薄壁细胞,受到挤压形状很不规则,再向内侧为束状韧皮纤维细胞呈规则排列(图 5),棉秆韧皮纤维较长,壁上有节纹,纤维两端渐尖,端部为钝尖形,细胞腔较小,此外尚含有射线细胞。

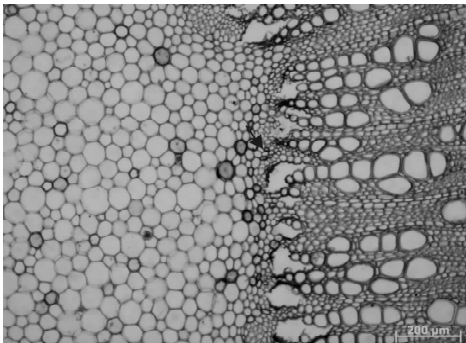


图 1 茎部的横切面(箭头所指为空洞)
Fig. 1 Cross section of cotton stalk stem
(arrow indicates the cavity)

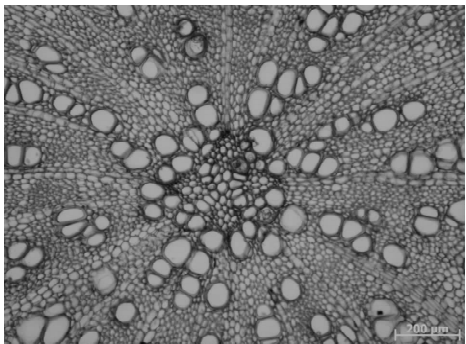


图 2 基部横切面
Fig. 2 Cross section of base

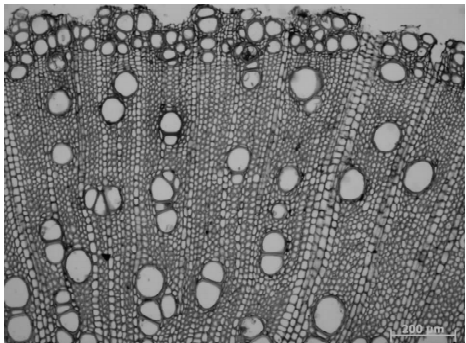


图 3 茎部的横切面
Fig. 3 Cross section of stem

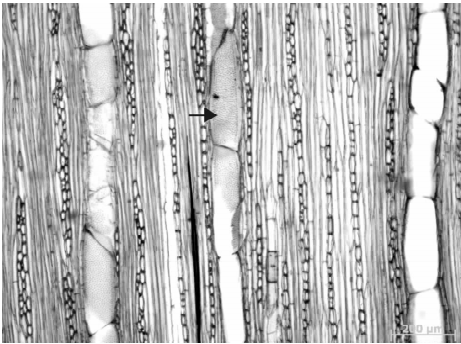


图 4 茎部的弦切面(箭头所指为导管)
Fig. 4 Tangential section of stem
(arrow indicates the trachea)

2.2 棉秆的解剖特性

2.2.1 棉秆木质部的组织比量 表 1 为棉秆不同部位木质部组织比量和胞壁率的变化情况,可以看出不同部位导管和纤维的比量差异显著,基部的纤维比量最多,导管比量最少。棉秆基部到根部无髓,组织结

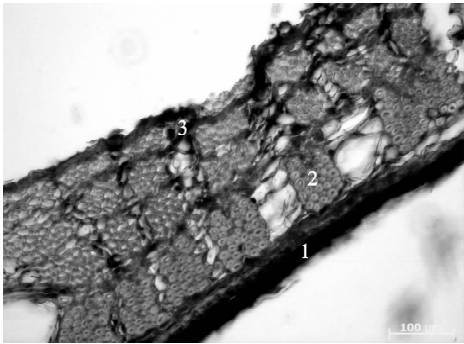
表 1 棉秆木质部的组织比量和胞壁率

Table 1 Ratio of tissue and cell wall of cotton stalk

部位	纤维比量	导管比量	射线比量	胞壁率
基部	83.20± 14.00	12.36± 4.88	5.15± 2.01	66.08± 11.45
茎部	76.92± 10.11	18.17± 4.28	4.89± 2.99	68.58± 22.32
枝干	71.70± 6.08	23.13± 1.91	4.32± 1.16	65.51± 21.10
均值	77.28± 12.03	17.89± 7.43	4.82± 2.70	66.72± 4.58
P 值	0.02 *	0.000 6 * *	0.95N. S	0.67 N. S

注:N. S. * 和 * * 分别表示差异不显著、差异显著(5%水平)和差异极显著(1%水平),下同。

2.2.2 纤维形态 棉秆木纤维的形态与阔叶木中的木纤维极为相似,为两端尖削的纺锤状,比韧皮纤维宽而短。棉秆长度和宽度的测试结果(表 2)表明,棉秆木质部的纤维长度茎部的最长,基部次之,枝干的最短。经方差检验,不同部位的纤维长度差异在 0.01 水平下显著,平均长度为 742.7±159.81



注:1. 表皮层;2. 韧皮部;3. 形成层。

图 5 皮部横切面

Fig. 5 Cross section of stalk cortex

构紧密,是可以保留利用的原料(图 2)。射线比量在棉秆各部位的变化不大,说明纤维和导管在分裂成熟时,受到的来自于自身或外部的影响较大,而射线受到的影响较小。胞壁率的差异也不显著,但是在试验过程中发现,靠近髓的胞壁率会明显增大。

μm ,按国际木材解剖学会规定,棉秆木质部的纤维长度甚短^[9]。棉秆韧皮部纤维长度为 $2\,184\pm 753.78\,\mu\text{m}$,长宽比为 96.4,约为木质部纤维的 3 倍。棉秆皮部纤维具有针叶木长纤维的特性,即纤维长度和长宽比均较大。各个部位的纤维宽度无明显差异,都在 $20\,\mu\text{m}$ 左右。

表 2 棉秆的解剖性质

Table 2 Anatomical properties of cotton stalk

	棉秆木质部					棉秆韧皮部				
	基部	茎部	枝干	均值	P 值	基部	茎部	枝干	均值	P 值
纤维长度/ μm	661.86±136.83	751.84±177.20	514.4±134.5	742.7±159.81	0.036 *	2 228.34±650.35	2 331.53±690.72	1 993.43±859.46	2 184.43±753.78	0.101 N. S
纤维宽度/ μm	17.77±4.72	20.88±3.14	20.52±4.64	19.72±4.38	0.117N. S	20.9±6.39	23.73±5.23	23.35±8.25	22.66±6.61	0.465 N. S
纤维长宽比	42.87	40.80	29.94	37.66	—	106.62	98.5	85.37	96.4	—
纤维双壁厚/ μm	6.03±0.33	5.76±0.15	5.48±1.17	5.48±0.70	0.426 N. S	—	—	—	—	—
纤维壁腔比	0.40±0.07	0.51±0.07	0.41±0.11	0.44±0.09	0.110 N. S	—	—	—	—	—
导管分子长度/ μm	172.67±35.66	165.30±31.4	201.43±72.17	179.8±47.76	0.034 *	—	—	—	—	—
导管分子宽度/ μm	64.66±16.58	53.09±11.25	63.42±16.47	60.39±15.53	0.013 *	—	—	—	—	—

从图 6 可见,茎木质部的纤维长度主要分布在 600~1 000 μm 之间,其中 600~800 μm 长的纤维

占到了 54%,800~1 000 μm 范围内分布频率急剧下降,1 000 μm 以上者占有相当小的比例。韧皮部

纤维长度的分布频率较广,主要在 1 400~3 000 μm 之间,其中 1 500~2 500 μm 长的纤维占到了 56%, <1 000 μm 、>3 500 μm 的纤维所占比例很小。

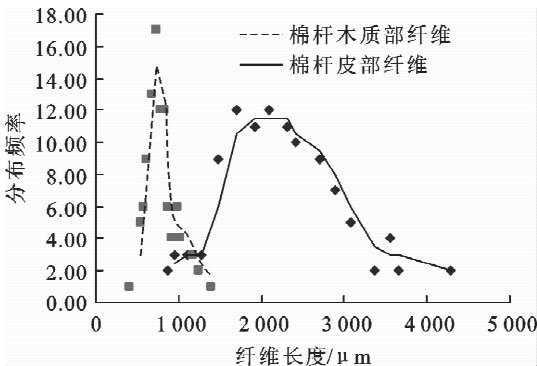


图 6 棉秆茎纤维的长度分布频率

棉秆木质部纤维的平均长度为 $742.7 \pm 159.81 \mu\text{m}$ 。将棉秆与沙柳(*Salix psammophila*)、蔗渣、稻草、玉米秆和麦秸及针、阔叶材红松(*Pinus koraiensis*)和白桦(*Betula platyphlla*)的纤维形态进行比较(表 3)。棉秆纤维的长度略大于沙柳材,小于其他木材及禾本类植物;宽度与蔗渣,白桦相接近,大于沙柳、麦秸、稻草和玉米秆,明显小于红松;长宽比大于沙柳,小于其他木材及禾本类植物。

棉秆木质部纤维双壁厚的平均值为 $5.48 \pm 0.70 \mu\text{m}$,根据分级标准^[9],属于 2 级。由表 2 可知,棉秆基部的细胞壁略厚,经 *F* 检验,不同部位间没有显著的差别。纤维壁腔比的均值为 0.44 ± 0.09 。

2.2.3 导管形态 棉秆木质部导管分子的形态见表 2,导管分子长度的平均值为 $179.8 \pm 47.76 \mu\text{m}$,

按照分级标准^[9]属于“很短”级别。枝干部的导管长度比基部和茎部的导管明显增长,导管宽度的均值为 $60.39 \pm 15.53 \mu\text{m}$,茎部的宽度最小。经 *F* 检验,不同部位导管长度和宽度在 0.05 水平下差异显著。

表 3 棉秆木质部纤维形态与其他植物比较

Table 3 Contrast of fiber shape of Cotton stalk to other plants

树种	纤维长度 / μm	纤维宽度 / μm	长宽比
棉秆木质部纤维	742.7	19.72	37.66
沙柳	507.0	14.9	33.7
蔗渣	1 700.0	22.5	75.6
麦秸	1 320.0	12.9	102.0
稻草	920.0	8.1	114.0
玉米秆	990.0	13.2	75.0
白桦	1 270.0	22.3	56.7
红松早材	2 960.0	53.8	56.7
红松晚材	3 130.0	38.6	81.2

2.3 棉秆的化学成分分析

棉秆皮的各种抽出物远远高于棉秆木质部,其中冷热水抽出物接近木质部的 2 倍。棉秆木质部的 1%NaOH 抽出物大于其他树种;冷水抽出物低于落叶松(*Larix gmeini*),高于马尾松(*Pinus massoniana*)和白桦;苯醇抽出物与其他树种相接近。棉秆的灰分远远大于其他木材,棉秆皮部的灰分是木质部的 2 倍多。棉秆的木素含量接近针叶材,远远高于白桦和杨木。棉秆木质部中的综纤维素含量与其他木材相接近,秆皮较木质部的含量更高。由表 4 可知,棉秆木质部的聚戊糖含量高于马尾松和落叶松,低于白桦,棉秆皮的聚戊糖含量低于木质部。

表 4 棉秆化学成分分析结果

Table 4 Chemical composition of cotton stalk

原料	灰分	抽出物含量				木素	综纤维素	聚戊糖
		冷水	热水	1%NaOH	苯醇			
棉秆皮	5.95	7.48	11.49	34.10	3.5	23.35	72.45	14.72
棉秆木质部	2.94	4.27	6.39	23.23	2.48	25.38	58.16	19.71
落叶松	0.38	9.75	10.84	20.67	2.58	26.46	52.63	12.18
马尾松	0.42	1.78	2.68	12.67	2.79	26.86	73.36	12.52
白桦	0.33	1.8	2.11	16.48	3.08	20.37	60.00	30.37

3 讨论

3.1 棉秆的微观构造及其对棉秆人造板制备的影响

按重量比,皮占总量的 30%,木质部占 65%,髓占 4.5%^[11]。棉秆髓部从主干部分的 1/3 以下已基本木质化,2/3 向上部分随着高度的增加和分支的增加而增加^[11]。髓部物质具有较强的吸收胶黏剂的性能,影响界面胶合,降低人造板制品的强度性质;其存在也影响板的耐水性^[12]。

棉秆木质部是棉秆的主体部分,由木纤维细胞、导管、木射线和轴向薄壁组织组成,占棉秆总重量的 70%左右。其中导管细胞的细胞腔大,细胞之间的纹孔数量多,这些空隙是植物蓄积水分的水分流通通道。棉秆导管的长度达几厘米,它输送水分每小时可达 1 m 多,这种水溶液的疏导是经过许多导管曲折连贯向上输送,细胞与细胞之间的液体输导是通过纹孔来完成的,导管细胞壁上的纹孔数量多,椭圆形纹孔口径较大,这种结构对于游离水的吸收和排出非常有

利^[11]。轴向薄壁组织细胞壁薄,腔较大,因而是木材物理、力学性质最薄弱的部位。棉秆中轴向薄壁组织主要为环管状及稀疏环管状。部分细胞含一种类似于晶体的不溶于水的填充物,每个细胞内有多个^[13]。棉秆木质部就其植物形态和结构而言接近于阔叶木。无论是木纤维还是韧皮纤维壁上都有纹孔,但数量较少,孔径较小。

棉秆皮层占全棉秆重量的30%,主要为韧皮纤维。在人造板的加工过程中,表皮纤维易缠绕风机叶片,影响物料输送,造成设备故障^[11]。

3.2 棉秆解剖特性及其对棉秆人造板制备的影响

3.2.1 木质部的组织比量及其对人造板制备的影响 棉秆枝干木质部的直径远远小于基部和茎部,由根向上到枝条,髓重量所占重量比例逐渐增加到5%^[14]。木纤维是木材中决定木材物理力学性能的重要因素,棉秆中的纤维是棉秆人造板生产中最为主要和有用的组织成分,而且纤维比量在一定程度上表征了棉秆的力学强度,因而棉秆中的纤维所占比例对人造板的质量有很大影响。当木纤维比量在50%以上,就认为适合作纤维板原料^[15],棉秆纤维比量为 $77.28 \pm 12.03\%$,接近于阔叶材,这是其能在人造板生产中得到应用的先决条件^[11]。

3.2.2 纤维形态及其对人造板制备的影响 纤维的长度、长宽比对板制造中纤维交织和结合性能有重要的影响。在纤维板的生产中,如纤维的长宽比越大,其制成品的质量越好^[11]。理论上,棉秆皮部的长纤维在纤维增强复合材料的制备过程中,可以减缓材料的弯曲变形,更有助于提高复合材料的静曲强度^[16]。但用热压制备复合板材时,皮部的长纤维分散性差,易结团缠绕,使胶黏剂分布不均,从而影响板材的性能^[17]。另外,纤维的长度与纤维的直径、壁厚密切相关,并影响木材的密度和力学性能^[18]。

木材纤维形态是评定木材纤维作为人造板原料的重要指标。纤维的平均长度 $>500\ \mu\text{m}$,认为能生产出合格的纤维板^[19]。根据以上的分析结果,棉秆木质部纤维的平均长度为 $742.7 \pm 159.81\ \mu\text{m}$,符合纤维板生产的要求。

胞壁厚度在某种程度上表征着细胞壁实质含量。胞壁厚度越大,胞壁实质越多,木材的密度和机械力学性能越好^[20]。壁腔比值又称 Runkel 比率,指纤维两壁厚度与细胞腔直径之比,表示细胞壁的相对厚度。细胞壁薄而腔大的纤维柔软性较好,相互间易于结合。壁厚腔小的细胞比较硬挺,彼此结合力差^[21]。纤维壁腔比小于1的材料,柔韧性和可塑性好,棉秆纤维壁腔比的均值为 0.44 ± 0.09 ,可以划到制备人造板较好原料之列^[11]。

3.3 棉秆的化学成分分析及其对棉秆人造板制备的影响

3.3.1 抽出物含量 水抽出物主要包括糖、单宁和无机盐等,冷水和热水抽出物两者成分大体相同,热水抽出物比冷水抽提物会含更多的糖类物质。1% NaOH 溶液除能溶出能被冷、热水溶出的物质外,还能溶解部分木素、聚戊糖、聚己糖、树脂酸及糖醛酸等^[9]。棉秆皮中有机溶剂抽出物含量高,表明其富含蜡状物与硅,不为胶黏剂所吸附。硅在表皮细胞中的大量存在,在木塑材料的制备过程中影响木材和塑料之间的结合^[22],这也对复合板材的内结合强度有一定的影响。棉秆皮中1% NaOH 抽提物含量高,在热压过程中,低中级碳水化合物易分解,产生淀粉胶,易粘板,同时使复合板材的吸水厚度膨胀率高,耐水性差^[23]。

3.3.2 灰分含量 木材中的灰分主要含有不溶于水的钾、钠的碳酸盐和溶于水的钙、镁的碳酸盐,硅酸盐和磷酸盐^[9]。禾草灰分主要是二氧化硅,一般含量在2%以上(竹子1%左右)^[24]。棉秆的灰分高,灰分中的 SiO_2 在植物纤维中形成了非极性的表层结构,影响胶黏剂吸附和氢键的形成,影响与胶黏剂的结合力,宏观表现为棉秆人造板的内结合强度低。

3.3.3 木质素含量 木质素和木材多糖在一起,构成木材细胞壁,在细胞壁中起硬固的作用。现在公认,木质素是具有芳香族特性的、非结晶的、三维空间结构的高聚物^[9]。针叶材木素含量为25%~35%,阔叶材为18%~22%,禾本科植物为16%~25%^[25]。棉秆的木质素含量接近针叶材,远远高于白桦和杨木,棉秆皮部和木质部的木质素含量相近。木质素的热塑性是人造板生产工艺条件制定的主要依据,是纤维板生产中纤维分离和纤维重新结合的重要前提条件之一^[11]。

3.3.4 综纤维素含量 纤维素是构成植物细胞壁的结构物质,是一种具有均一链结构的葡萄聚糖,线性的高分子聚合物^[9]。目前,主要通过综纤维素含量的测定来了解植物原料中纤维素的含量。综纤维素是指植物纤维原料中纤维素和半纤维素的全部,也即碳水化合物总量^[24]。棉秆木质部中的综纤维素含量低于棉秆皮部的综纤维素含量,其中纤维素会在人造板的生产过程中发生降解,即当纤维素受热时,聚合度会明显下降。在这个过程中,氧气和水都会对其产生不同程度的影响^[11]。

3.3.5 聚戊糖含量 半纤维素是指除纤维素和果胶以外的植物细胞壁聚糖,也可称为非纤维素的碳水化合物。半纤维素经酸水解可生成多种单糖,其中有五碳糖(木糖和阿拉伯糖)和六碳糖(甘露糖、葡

萄糖、半乳糖、鼠李糖等)。聚戊糖是指半纤维素中五碳糖组成的高聚物的总称^[25]。棉秆木质部的聚戊糖含量高于马尾松和落叶松,聚戊糖含量过高,会对人造板制品的耐水性和尺寸稳定性带来不利的影响,在人造板的生产过程中,凡有水、热作用工序都会出现不同程度的半纤维降解反应^[11]。

4 结论

棉秆木质部就其植物形态和结构而言接近于阔叶木,棉秆皮层主要为韧皮纤维。根部不含髓,在髓与木质部的连接处有很多由管孔、纤维和薄壁细胞围成的空腔,单管孔和复管孔呈星散状排列。

棉秆木质部不同部位导管和纤维的比量差异显著,基部的导管比量最多,纤维比量最少,射线比量在各部位的变化不大,纤维比量为 77.28%,符合纤维板生产原料的要求。

棉秆木纤维的形态与阔叶木中的木纤维极为相似。木质部的纤维长度茎部的最长,基部次之,枝干的最短。韧皮部纤维长度约为木质部纤维的 3 倍。各个部位的纤维宽度无明显差异,在 20 μm 左右。

棉秆木质部和棉皮的化学成分有明显不同,皮的各种抽提物远远高于木质部,其中冷热水抽提物和灰分含量接近木质部的 2 倍;杆皮较木质部的综纤维素含量更高。聚戊糖含量低于木质部。

参考文献:

[1] 邓玉和,洪中立,王卫东,等. 棉秆刨花板生产工艺的研究[J]. 建筑人造板,1994,14(1):17-19.

[2] 戚亮,申群凤,员小兰,等. 试析棉秆资源综合性利用前景[J]. 石河子科技,2004(6):10-11.

[3] 孙照斌,马兰菊. 试论棉秆的工业化利用[J]. 建筑人造板,2001(3):20-24.

[4] 涂平涛. 非木材植物纤维作为人造板生产原料的有关问题[J]. 林产工业,1995,22(4):1-4.

[5] ZHOU X Y, ZHENG F. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers[J]. Energy and Buildings,2010,(42):1070-1074.

[6] SHEN Q ,LIU D S *et al.* Surface properties of bamboo fiber and a comparison with cotton linter fibers[J]. Colloids and surfaces,2004,(35):193-195.

[7] REDDY N, YANG Y Q. Properties and potential applications of natural cellulose fibers from the bark of cotton stalks[J]. Bioresource Technology,2009,(100):3563-3569.

[8] GB/T2677-1998 造纸工业化学分析[S].

[9] 李坚. 木材科学[M]. 北京:高等教育出版社,2002.

[10] 成俊卿. 木材学[M]. 北京:中国林业出版社,1985.

[11] 徐学耘. 棉秆原料的初步分析[J]. 建筑人造板,1994(3):24-30.

[12] 华毓坤. 人造板工艺学[M]. 北京:中国林业出版社,2002.

[13] 冯德君,赵泾峰. 陆地棉棉秆解剖构造和基本密度的研究[J].

西北林学院学报,2010,25(2):160-162.

FENG D J, ZHAO J F. Anatomical structure and based density of *Gossypium hirsutum* stalks[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010,25(2):160-162. (in Chinese)

[14] 杨淑惠,李友森. 棉秆原料特性的分析研究[J]. 中国造纸,1989(2):20-28.

YANG S H, LI Y S. The research and characterization of cotton stalk as papermaking raw material[J]. China Pulp Paper, 1989(2):20-28. (in Chinese)

[15] 陆仁书. 纤维板制造学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.

[16] DENG Y H ,FURUNO T. Study on gypsum-bonded particleboard reinforced with jute fibers [J]. Holzforschung, 2002, (56):440-445.

[17] PEREIRA N, SOUZA M L. Effect of processing on the properties of polypropylene reinforced with short sisal fibers[C]. Forest Products Society. The fourth international conference on wood fiber - plastic composites. Washington:Forest Products Society,2002:41-43.

[18] LIESE W. The structure of bamboo in relation to its properties and utilization[C]. International Tropical Timber Organisation, Yokohama and Chinese Academy of Forestry. Bamboo and its use international symposium on industrial use of bamboo. Beijing: International Tropical Timber Organization, 1992:95-100.

[19] 赵砺,闵恩广. 湿法硬质纤维板常用灌木及阔叶乔木原料的综合分析[J]. 林产工业,1991,38(2):38-40.

[20] 江泽慧,吕文华. 3 种华南商用藤材的解剖特性[J]. 林业科学,2007,43(1): 121-126.

JIANG Z H, LV W H. Anatomical characteristics of three commercial rattan canes in south china[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007,43(1): 121-126. (in Chinese)

[21] 高国安,李忠正. 越南甜竹纤维形态特征的研究[J]. 林产化学与工业,2010,30(1): 39-42.

GAO G A, LI Z Z. Study on morphological characteristics of sweet bamboo fiber from vietnam[J]. Chemistry and Industry of Forest Products,2010,30(1): 39-42. (in Chinese)

[22] PARK B D, WI S G. Characterization of rice husk using microscopic and micro-analytical techniques for rice husk/thermoplastic composites[C]. Forest Products Society. The seventh international conference on wood fiber-plastic composites. Wisconsin:Forest Products Society, 2009:323-329.

[23] 王欣,周定国. 农作物秸秆化学成分对人造板生产工艺的影响[J]. 林产工业,2009,36(5):26-29.

WANG X,ZHOU D G. Influence of the chemical composition of agricultural straw on production process of show based Pounels[J]. China forest Products Industry, 2009,36(5):26-29. (in Chinese)

[24] 石淑兰,何福望. 制浆造纸分析与检测[M]. 北京:中国轻工业出版社,2006.

[25] 吕文华,江泽慧,吴玉章,等. 黄藤藤材的化学组成特性[J]. 林业科学,2009,45(7):96-100.

LV W H,JIANG Z H,WU Y Z, *et al.* Basic components and chemical properties of the cane of *Daemonorops margaritae* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(7): 96-100. (in Chinese)