



袁纳新,卢俊,李重根,等.木薯茎秆的解剖特性与纤维形态研究[J].华南农业大学学报,2015,36(3):109-113.

# 木薯茎秆的解剖特性与纤维形态研究

袁纳新,卢俊,李重根,张新昌,王飞

(华南农业大学林学院,广东广州510642)

**摘要:**【目的】观察木薯茎秆的解剖特征,测定其纤维形态,分析其制浆造纸、纤维板制造的适应性。【方法】采用光学和扫描电子显微镜观察,利用硝酸氯酸钾法离析纤维细胞,分析纤维形态。【结果和结论】木薯茎秆靠近根部的髓心率(体积比)低,靠近梢部的髓心率较高,多年生木薯茎秆的主茎段髓心率远低于1年生;木薯茎秆为散孔材,主要由导管、木纤维细胞、木射线组成,多数为径向复管孔,导管有互列单纹孔和梯状纹孔,木射线为单列,纤维细胞有具缘纹孔,木射线和纤维细胞腔内均有丰富的淀粉颗粒;多年生木薯茎秆的主茎段纤维细胞壁厚度是其分枝段的1.5倍多,是1年生的2倍多。木薯茎秆的纤维细胞长度为638~661 μm,长宽比为36.22~37.43,壁腔比为0.14~0.32。木薯茎秆的纤维细胞长度和宽度主要分布在500~900和10~25 μm范围内,属壁薄短纤维型,符合造纸和纤维板制造原材要求。

**关键词:**木薯茎秆;解剖特性;纤维形态

中图分类号:S781

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2015)03-0109-05

## Anatomical characteristics and fiber morphology of cassava stems

YUAN Naxin, LU Jun, LI Chonggen, ZHANG Xinchang, WANG Fei  
(College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:**【Objective】The aim of this research was to study anatomical features and the adaptations of fiber cells of the cassava stem for pulp-making of paper and fiberboard. 【Method】Anatomical structure and fiber morphology of the cassava stems were studied using optical microscopy and scanning electron microscope. 【Result and conclusion】The pith dimension of a cassava stem near the root was smaller than its upper part. Perennial cassava stems with branches were well lignified, and the volume ratio of pith was far below that of annual ones. Cassava stems were composed of diffuse porous wood. Their cells consisted of duct, wood fiber cells and xylem ray, and most of them were radial multiple pores. There were alternate pitting and scalariform pitting in the duct. The wood had uniseriate wood ray, a few fiber cells with bordered pit, and abundant starch granule in wood ray and fiber cells. The perennial stem fiber cell wall was 1.5 times thicker than that of the branches, and was over 2 times thicker than that of annual ones. Fiber cell length was 638~661 μm, and length-width ratio was 36.22~37.43. The ratio of wall-thickness to lumen-diameter of fiber cells was 0.14~0.32, mostly in 500~900 and 10~25 μm, thus belonging to the thin cell wall and short fiber type and meeting the requirements of paper and fiberboard industry for raw material.

**Key words:**cassava stem; anatomical characteristic; fiber morphology

木薯 *Manihot esculenta* 为大戟科木薯属植物,灌木状,株高2~5 m,具有生物产量高、抗逆性强、耐贫瘠和病虫害少等优点,块根淀粉含量高,是生产燃料乙醇的理想原料<sup>[1-2]</sup>,在燃料乙醇能源方面,得到了

较好的开发利用,为拉动农业,保护环境起到了一定的作用<sup>[3-6]</sup>。木薯生长在地面上的茎秆产量与生长在地面上的块根产量基本持平,除少部分用作种源外,大量的木薯茎秆,农民只能将其堆放在田头地角和

收稿日期:2014-04-02 优先出版时间:2015-04-14

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20150414.0931.008.html>

作者简介:袁纳新(1961—),女,副教授,博士,E-mail:nxyuan@scau.edu.cn

基金项目:广东省科技计划项目(2013B020305002);广东省林业科技创新专项资金项目(2013KJCX010-01)

荒地路边,任其自然腐烂,既占据土地、影响交通,又浪费资源、污染环境<sup>[7]</sup>. 如果能开发利用木薯茎秆,制造纤维板、木塑复合材料、重组材和造纸,不仅能变废为宝,增加农民收入,还能节约大量木材资源. 木薯茎秆的生物构造、纤维形态与其产品的制造方法、工艺及木薯茎秆的利用率有密切的关系. 蒋汇川等<sup>[8]</sup>研究了木薯块根纤维形态,杨望等<sup>[9]</sup>研究了木薯及其茎秆的力学性能,为科学收获和合理利用木薯块根发挥了一定的作用. 至今鲜见有关木薯茎秆构造及其纤维形态的研究. 为科学合理地开发利用木薯秸秆,扩大制浆造纸、人造纤维生产、纤维板制造等原料来源,本文采用光学和扫描电子显微镜研究分析木薯茎秆的解剖结构特征,测定其纤维形态,为识别木薯茎秆及高效利用木薯茎秆提供依据及参考数据.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料、试剂和仪器设备

木薯茎秆取自于广州市某地,为1年生和4年生五叶木薯茎秆. 主要化学药剂为氯酸钾,质量分数分别为30%的硝酸和1%的番红苯胺溶液,以及中性树胶等. 主要仪器设备:XL-30E型扫描电子显微镜(SEM),LEICA DFC295光学数码摄像显微镜,Leica SM2000切片机,水浴锅等.

### 1.2 试验方法

1.2.1 髓心率测定 1年生木薯茎秆截成下段(接近根部)和中段2部分,4年生截成主茎及分枝中段2部分,再分别截成长为2 cm的茎段,测其直径,计算木薯茎秆髓心所占的体积比(髓心率).

1.2.2 木薯茎秆的解剖构造及纤维形态分析 将木薯茎秆切成约10 mm×10 mm×10 mm小块,用水蒸煮软化直至下沉,再蒸煮浸泡2 d,用Leica SM2000切片机切取厚度为15~20 μm的薄片,用番红苯胺溶液染色,树胶封片. 用硝酸氯酸钾法(Schultze法)离析纤维细胞. 用LEICA DFC295光学数码摄像显微镜及其图像分析软件观察、分析和拍摄薄片及纤维细胞. 从切片上随机选取100根完整的纤维细胞,测量双壁厚、弦向直径,并计算壁腔比. 从离析的纤维细胞中,随机选取50根完整纤维测量其长度、宽度,并计算长宽比.

用单面刀片从横向、径向和弦向将木薯茎秆分别切成长、宽均约3 mm,厚约1~2 mm试件,并喷金镀膜,在XL-30E扫描电子显微镜下观察并拍照.

## 2 结果与分析

### 2.1 木薯茎秆的髓心率

1年生木薯茎秆高可达1 m以上,4年生木薯茎秆分为主茎段和分枝段,茎高可达2 m以上. 由图1

可见:木薯茎秆由木质部、髓心及少量的外皮组成,湿木薯茎秆的外皮容易剥离;4年生木薯茎秆的主茎段较粗,直径达59 mm,木质部较厚,髓心较小,髓心率仅为0.9%,而分枝段直径较细,髓心较大,髓心率为10%;1年生木薯茎秆中段直径23.7 mm,髓心率为22.9%,下段直径28.0 mm,髓心率为14.1%,木薯茎秆从下段至中段、上段的髓心率越来越大,有的可达21.4%~41.3%,髓心率越高,出材率越低. 因此,用木薯茎秆生产纤维板、刨花板、木塑复合材料和重组材应除髓,否则,既增加胶黏剂用量,又影响产品的胶合强度和耐久性<sup>[10]</sup>.

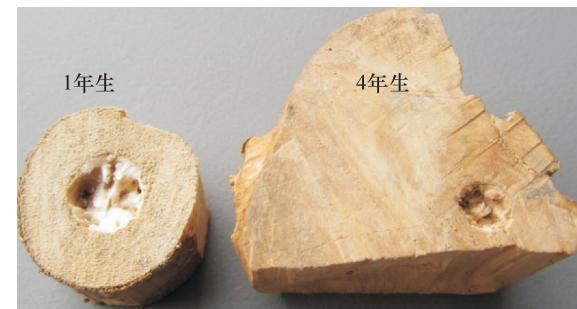


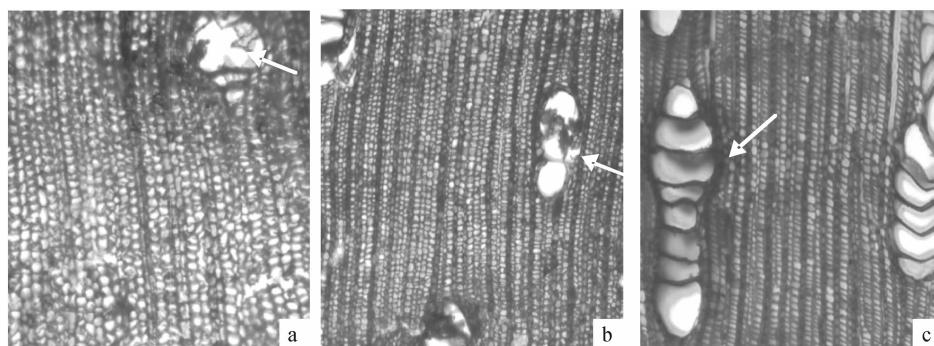
图1 木薯茎秆横切面

Fig. 1 The transections of cassava stems

### 2.2 木薯茎秆的解剖结构特性

利用光学显微镜和扫描电子显微镜对木薯茎秆显微结构进行研究,结果如图1所示.

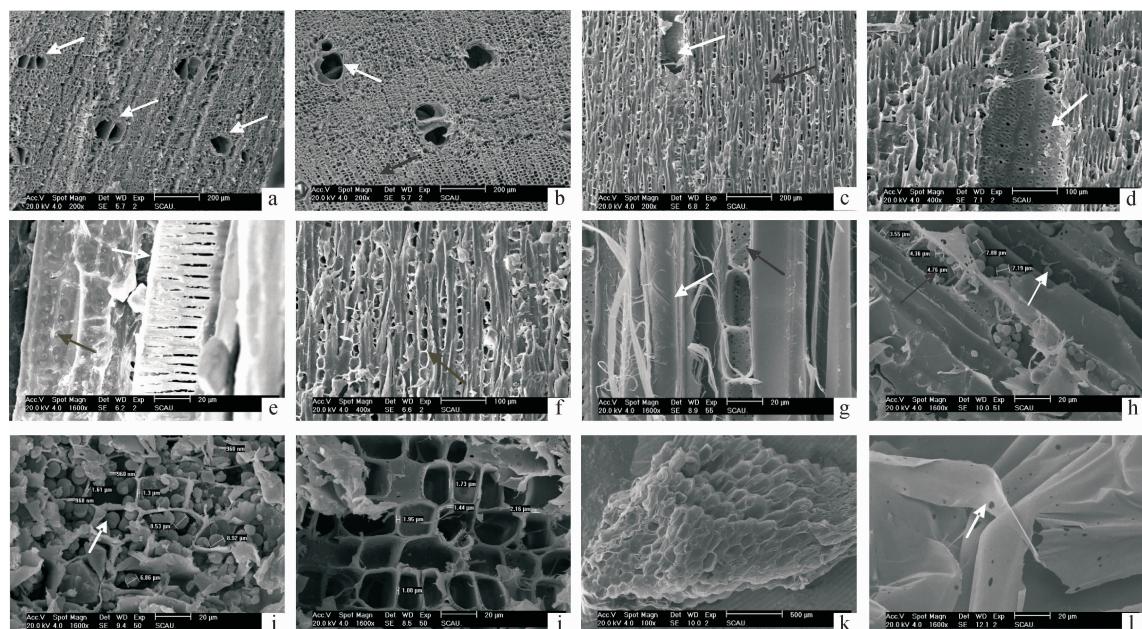
在横切面观察木薯茎秆为散孔材,有单管孔、复管孔和管孔链(图2a、2b、2c和图3a),其中多数为径向排列的复管孔,内含少量侵填体(图2a和图3b、3c). 导管有互列单纹孔和梯状纹孔2类(图3d、3e). 在横切面和弦切面有发达的单列木射线薄壁细胞(图3b、3c、3f),在弦切面沿木纤维方向成纵向单列排列,细胞端部为单纹孔(图3g),有些木射线薄壁细胞腔内淀粉颗粒很少(图3g),有些木射线薄壁细胞腔内有丰富的淀粉颗粒(图3h). 纤维细胞腔内有些地方充满大小不同的淀粉粒(图3i),而有些地方淀粉粒却较少(图3j). 正因为木薯茎秆细胞腔内含有较丰富的淀粉,因而在收集和贮存过程中,易霉变和虫蛀,在制浆造纸中,会产生较高的热水抽提物,造成较高浓度的废水污染物. 纤维细胞壁呈现层状微纤丝45°~50°方向螺旋排列(图3g),且有具缘纹孔(图3e). 髓心蜂窝状(图3k),手感似海棉,轻薄,有微孔(图3l). 木薯茎秆由导管、木纤维、木射线等细胞组成,细胞腔内有丰富的淀粉颗粒,木射线细胞发达,为散孔材,多数为径向复管孔. 宏观上观察,多年生木薯茎秆木质化较好,但采用7~30倍的放大镜未能观察到年轮(图1).



a: 横切面,箭头示单管孔及其侵填体; b: 横切面,箭头示复管孔; c: 横切面,箭头示管孔链.

图2 木薯茎秆的光学显微照片( $\times 100$ )

Fig. 2 Optical micrographs of cassava stems( $\times 100$ )



a:横切面,白箭头示管孔; b: 横切面,白箭头示侵填体,黑箭头示木射线; c: 弦切面,白箭头示导管及侵填体,黑箭头示木射线细胞; d: 径切面,白箭头示导管上互列单纹孔; e: 弦切面,白箭头示导管上梯状纹孔,黑箭头示具缘纹孔; f: 弦切面,黑箭头示单列木射线细胞; g: 弦切面,白箭头示纤维细胞壁,黑箭头示单列木射线细胞; h: 弦切面,白箭头示纤维细胞腔内淀粉粒,黑箭头示木射线细胞腔内淀粉粒; i: 横切面,白箭头示细胞腔内淀粉粒; j: 淀粉颗粒少的细胞横切面; k: 髓心,蜂窝状; l: 髓心,白箭头示髓心薄膜上孔.

图3 木薯茎秆的扫描电子显微照片

Fig. 3 SEM micrographs of cassava stems

## 2.3 木薯茎秆的纤维形态

纤维形态是指纤维细胞的长度、宽度、细胞壁厚、细胞腔的大小以及长宽比、壁腔比等。纤维形态对纤维板产品性能具有重要的影响。长宽比越大,纤维之间的交织性能越好,壁腔比越小,纤维之间的交织性能也越好,生产出来的产品力学性能也就越好。

木纤维是两端尖削,呈长纺锤形的细胞(图4)。由表1和表2可知,1年生和4年生木薯茎秆纤维细胞的长度、宽度相差不大,但壁厚相差较大,其中主茎段是其分枝段的1.5倍多,分枝段为1年生的1倍多。可见,生长期对木薯茎秆纤维细胞的长度、宽度及其长宽比、腔径尺寸影响不明显,但对纤维细胞的壁厚及其壁腔比影响较明显。细胞壁及其壁腔比越大,茎秆材料的密度和强度越高<sup>[11]</sup>。

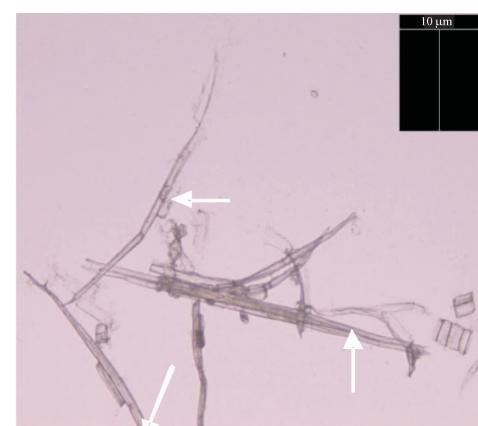


图4 木薯茎秆的纤维细胞

Fig. 4 Fiber cells of cassava stems

按国际木材解剖协会对纤维长度分等的规定: 500  $\mu\text{m}$  以下为极短, 500 ~ 700  $\mu\text{m}$  为短, 700 ~ 900  $\mu\text{m}$  为稍短, 900 ~ 1 600  $\mu\text{m}$  属中等纤维<sup>[11-12]</sup>, 木薯茎秆的纤维长度为 638 ~ 661  $\mu\text{m}$ , 属于短纤维。按造纸原料要求, 植物原料的纤维长宽比应大于 33, 壁腔比应小于 1, 木薯茎秆的纤维长宽比为 36.22 ~ 37.43, 壁腔比为 0.14 ~ 0.32, 符合纤维板制造和造

纸原材的要求。

由图 5 可知, 1 年生和 4 年生木薯茎秆的纤维细胞长度和宽度分布频率近似正态分布, 长度主要分布在 500 ~ 900  $\mu\text{m}$ , 宽度主要分布在 10 ~ 25  $\mu\text{m}$ , 4 年生的长度和宽度分布比率分别为 90% 和 98%, 略高于 1 年生的分布比率(88% 和 89%), 长宽分布均较集中。

表 1 木薯茎秆的纤维细胞长和宽

Tab. 1 Fiber cells length and width of cassava stems

| 材料   | 长度                   |                      |            | 宽度                   |                      |            | 长宽比                  |                      |            |
|------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|
|      | 均值/<br>$\mu\text{m}$ | 范围/<br>$\mu\text{m}$ | 变异<br>系数/% | 均值/<br>$\mu\text{m}$ | 范围/<br>$\mu\text{m}$ | 变异<br>系数/% | 均值/<br>$\mu\text{m}$ | 范围/<br>$\mu\text{m}$ | 变异<br>系数/% |
| 1 年生 | 638                  | 427 ~ 854            | 13.22      | 17.93                | 7.92 ~ 26.63         | 20.41      | 36.22                | 21.80 ~ 66.03        | 26.20      |
| 4 年生 | 661                  | 338 ~ 915            | 21.81      | 19.12                | 11.74 ~ 33.02        | 29.53      | 37.43                | 24.00 ~ 83.51        | 29.41      |

表 2 木薯茎秆的纤维细胞壁腔

Tab. 2 Fiber cells wall-thickness and lumen-diameter of cassava stems

| 材料     | 单壁厚                  |                      |            | 腔径                   |                      |            | 壁腔比                  |                      |            |
|--------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|------------|
|        | 均值/<br>$\mu\text{m}$ | 范围/<br>$\mu\text{m}$ | 变异<br>系数/% | 均值/<br>$\mu\text{m}$ | 范围/<br>$\mu\text{m}$ | 变异<br>系数/% | 均值/<br>$\mu\text{m}$ | 范围/<br>$\mu\text{m}$ | 变异<br>系数/% |
| 1 年生   | 1.02                 | 0.69 ~ 1.73          | 26.52      | 15.42                | 8.80 ~ 26.10         | 24.63      | 0.14                 | 0.08 ~ 0.22          | 29.86      |
| 4 年生分枝 | 1.30                 | 0.94 ~ 2.73          | 23.29      | 13.73                | 8.90 ~ 18.30         | 19.95      | 0.20                 | 0.10 ~ 0.31          | 29.15      |
| 4 年生主茎 | 2.37                 | 1.71 ~ 4.31          | 20.62      | 15.41                | 7.80 ~ 23.80         | 25.70      | 0.32                 | 0.22 ~ 0.58          | 29.26      |

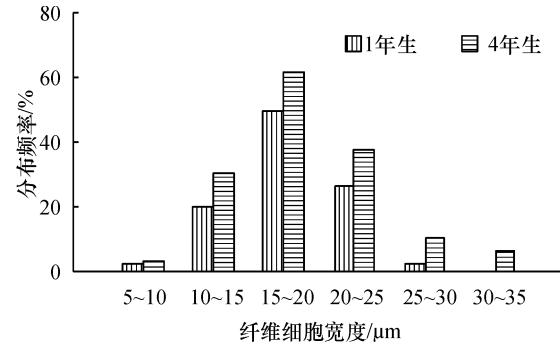
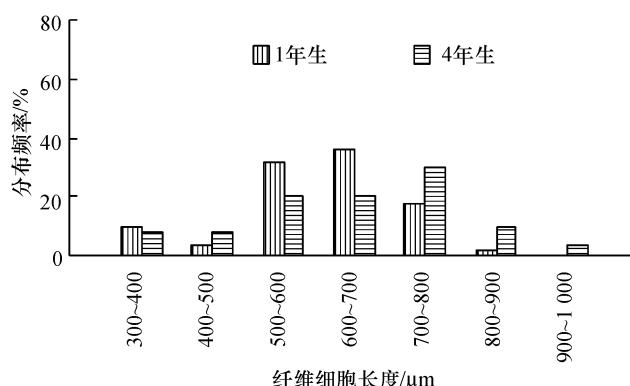


图 5 木薯茎秆的纤维细胞长度和宽度分布

Fig. 5 Frequency distribution of fiber cells length and width of cassava stems

再将木薯茎秆与木薯粗根<sup>[8]</sup>、沙柳茎木质部<sup>[13]</sup>、常用的农作物茎秆<sup>[14-15]</sup>、速生木材<sup>[16-17]</sup>的纤维形态进行比较分析。由表 3 可知, 木薯茎秆纤维细胞长度比木薯粗根、蓖麻茎秆木质部、棉茎秆木质部、烟茎秆木质部、豆茎秆木质部、6 年生柠檬桉、5 年生尾巨桉、5 年生杨木的纤维细胞均短, 但比沙柳茎木质部纤维细胞(520  $\mu\text{m}$ )长; 1 年生木薯茎秆和 4 年生木薯茎秆分枝的纤维细胞壁厚度小, 接近木纤维壁厚的下限值(1  $\mu\text{m}$ )<sup>[11]</sup>, 4 年生木薯茎秆的主茎纤维细胞壁厚度达 2.37  $\mu\text{m}$ , 高于沙柳

茎木质部(2.20  $\mu\text{m}$ )和蓖麻茎秆木质部(1.67  $\mu\text{m}$ ), 与 5 年生尾巨桉木质部(2.67  $\mu\text{m}$ )相当。从纤维长宽比看, 木薯茎秆略高于木薯粗根(31.34)和沙柳茎木质部(35.00), 低于烟茎秆木质部(40.10)、豆茎秆木质部(40.18)、5 年生杨木木质部(41.00), 属于粗短型纤维细胞; 从壁腔比看, 木薯茎秆与木薯粗根(0.37)、蓖麻茎秆木质部(0.16)、烟茎秆木质部(0.32)、5 年生尾巨桉木质部(0.29)、5 年生杨木木质部(0.25)相当, 属于壁薄型纤维细胞。

表3 木薯茎秆与木薯粗根、农作物茎秆、速生材的纤维形态比较

Tab. 3 Fiber morphology comparisons of cassava stems and cassava roots, crop stalks and fast growing wood

| 材料种类      | 长度/ $\mu\text{m}$ | 宽度/ $\mu\text{m}$ | 长宽比   | 单壁厚/ $\mu\text{m}$ | 腔径/ $\mu\text{m}$ | 壁腔比  | 数据来源   |
|-----------|-------------------|-------------------|-------|--------------------|-------------------|------|--------|
| 1年生木薯茎秆   | 638               | 17.93             | 36.22 | 1.02               | 15.42             | 0.14 |        |
| 4年生木薯茎秆   | 661               | 19.12             | 37.43 |                    |                   |      |        |
| 4年生木薯茎秆分枝 |                   |                   |       | 1.30               | 13.73             | 0.20 |        |
| 4年生木薯茎秆主茎 |                   |                   |       | 2.37               | 15.41             | 0.32 |        |
| 木薯粗根      | 818               | 26.96             | 31.34 | 3.57               | 19.81             | 0.37 | 文献[8]  |
| 沙柳茎木质部    | 520               | 15.00             | 35.00 | 2.20               |                   | 0.47 | 文献[13] |
| 蓖麻茎秆木质部   | 1 130             | 25.17             | 45.00 | 1.67               | 21.83             | 0.16 | 文献[14] |
| 棉茎秆木质部    | 1 023             | 19.75             | 51.80 | 3.34               | 13.05             | 0.51 | 文献[15] |
| 烟茎秆木质部    | 1 160             | 28.93             | 40.10 | 3.54               | 21.84             | 0.32 |        |
| 豆茎秆木质部    | 748               | 19.68             | 40.18 | 2.62               | 12.12             | 0.62 |        |
| 6年生柠檬桉木质部 | 840               | 13.50             | 62.20 | 3.00               | 8.00              | 0.75 | 文献[16] |
| 5年生尾巨桉木质部 | 990               | 15.62             | 63.00 | 2.67               | 9.28              | 0.29 | 文献[17] |
| 5年生杨木木质部  | 1 080             | 26.41             | 41.00 | 4.68               | 17.06             | 0.25 |        |

### 3 讨论与结论

木薯茎秆由木质部、髓心及外皮组成。湿木薯茎秆的外皮容易剥离。多年生木薯茎秆分为主茎段和分枝段。木薯茎秆由下段至中段、上段的髓心越来越大，髓心率较低部位仅约1%，较高的部位可达41.3%。多年生木薯茎秆木质化理想，髓心率远低于1年生木薯茎秆。与蔗渣生产刨花板、纤维板一样，采用木薯茎秆制造纤维板、木塑复合材料及造纸应增加除髓工序<sup>[10]</sup>。

木薯茎秆为散孔材，多数为径向复管孔。细胞结构简单，主要由导管、木纤维细胞、木射线构成。导管细胞具互列单纹孔和梯状纹孔2类。木射线薄壁细胞较多，会给纤维板生产和制浆造纸产生较严重的粉尘和水污染。纤维细胞壁薄，胞腔大，有具缘纹孔。类似于香根草<sup>[18]</sup>，木纤维和木射线细胞内有丰富的淀粉，致使水抽提物较高。

木薯茎秆的木纤维是两端尖削，呈长纺锤形细胞。4年生木薯茎秆的主茎段纤维细胞壁较厚，是其分枝段的1.5倍多，而分枝段又为1年生的1倍多。木薯茎秆的纤维长度为638~661  $\mu\text{m}$ ，长宽比为36.22~37.43，壁腔比为0.14~0.32，长度和宽度分布频率近似正态分布，长度主要分布在500~900  $\mu\text{m}$ ，宽度主要分布在10~25  $\mu\text{m}$ ，长宽分布集中，频率近90%或以上，属壁薄短纤维型，符合造纸和纤维板制造原材要求。

#### 参考文献:

- [1] 王惠君,王文泉.木薯应用及发展对策的思考[J].西南农业学报,2006,19(S1):380-383.
- [2] ADENIYI O D, KOVO A S, ABDULKAREEM A S, et al. Ethanol fuel production from cassava as a substitute for gasoline[J]. J Dispers Sci Technol, 2007, 28(4): 501-504.
- [3] 李国梁,平钧.燃料乙醇工厂的能源高效利用:以年产

15万t木薯燃料乙醇项目的热电站选型为例[J].食品与发酵工业,2009,35(8):81-83.

- [4] 董丹丹,赵黛青,廖翠萍,等.木薯燃料乙醇生产的技术提升及全生命周期能耗分析[J].农业工程学报,2008,24(7):160-164.
- [5] 罗菊香,林香权,苏志忠,等.木薯茎秆作为型煤黏结剂的研究[J].洁净煤技术,2012,18(1):45-48.
- [6] 方佳,濮文辉,张慧坚.国内外木薯产业发展近况[J].中国农学通报,2010,26(16):353-361.
- [7] 陈汉东.木薯秸秆综合利用技术应用浅析[J].广西农业机械化,2011(5):26-28.
- [8] 蒋汇川,韦鹏练,李宁,等.木薯粗根纤维形态、组织比量及化学成分分析[J].广西林业科学,2009,38(4):218-222.
- [9] 杨望,杨坚,郑晓婷,等.木薯力学特性测试[J].农业工程学报,2011,27(S2):50-54.
- [10] 袁纳新,李重根.蔗渣刨花板的物理力学性能分析[J].林业科技通讯,1999(8):33-34.
- [11] 刘一星,赵广杰.木质资源材料学[M].北京:中国林业出版社,2004:79-80.
- [12] COMMITTEE I. IAWA list of microscopic features for hardwood identification[J]. IAWA Bulletins, 1989, 10(3): 269-332.
- [13] 许凤, JONES-GWYNN L L, 孙润仓.速生灌木沙柳的纤维形态及解剖结构研究[J].林产化学与工业,2006,26(1):91-94.
- [14] 潘明珠,周定国.蓖麻秆化学组成及纤维形态研究[J].纤维素科学与技术,2007,15(4):39-42.
- [15] 宋孝周,郭康权,冯德君,等.农作物秸秆特性及其重组材性能[J].农业工程学报,2009,25(7):180-184.
- [16] 张坚.三种桉木的纤维形态和化学成份[J].中国造纸,1992,11(4):66-67.
- [17] 陈希,王志杰,王建.常见四种阔叶材纤维形态和化学成分的研究[J].湖南造纸,2009(1):5-6.
- [18] 王欣,吴燕.香根草的植物学特性及制板的可行性研究[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2010,31(1):214-217.

【责任编辑 李晓卉】