

蓖麻秆显微构造和纤维形态的研究

李晓平, 周定国, 周绪斌, 王伟, 邵颀

(南京林业大学 木材工业学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 蓖麻 *Ricinus communis* 秆是一种优质的纤维原料。为了更好地研究和利用蓖麻秆, 采用扫描电子显微镜和光学显微镜研究了蓖麻秆皮部、木质部和髓部的显微结构; 并利用 Motic Images Plus 2.0 图像处理系统测量了蓖麻秆皮部和木质部的纤维尺寸。结果表明, 蓖麻秆皮部含有纤维细胞、轴向薄壁细胞和射线细胞; 木质部的结构类似于散孔材, 靠近髓的部位管孔较发达, 具有单列或双列的异型木射线, 纤维细胞壁上可见具缘纹孔, 节部纤维弯曲; 髓部多为多面体的薄壁细胞, 可观察到螺旋导管。皮部纤维长度最大可达 26.50 mm, 长宽比高达 540.00, 壁腔比 0.56 ~ 0.83; 枝丫部分的纤维最长, 长宽比最大; 穗部的纤维最短, 长宽比和壁腔比最小。木质部纤维的平均长度为 0.75 ~ 0.90 mm, 宽度 4.38 ~ 5.40 μm , 长宽比 31.78 ~ 37.54, 壁腔比 0.56 ~ 0.83。蓖麻秆纵向上枝丫部分的平均长度、腔宽和长宽比小于秆部, 壁腔比大于或等于秆部; 穗部纤维的长度、宽度和腔宽均最小, 长宽比和壁腔比最大。径向上靠近木质部中部的细胞长度、细胞腔宽度和长宽比较大; 最外侧细胞的宽度、壁厚和壁腔比最大。蓖麻秆是一种优质的纤维原料, 可用来造纸和制造人造板等工业化利用; 其不同部位的纤维形态不同, 呈一定的规律变化。图 9 表 3 参 10

关键词: 材料学; 蓖麻秆; 显微结构; 细胞种类; 纤维形态

中图分类号: TU531.6; S565.6

文献标志码: A

文章编号: 1000-5692(2009)02-0239-07

Microstructure and fiber size of the castor-oil plant

LI Xiao-ping, ZHOU Ding-guo, ZHOU Xu-bin, WANG Wei, SHAO Yi

(College of Wood Industry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: To better use the castor-oil plant as a high quality fiber-material, the microstructure and fiber size of the cortex, xylem, and marrow of the castor-oil plant was studied with a Scanning Electron Microscope (SEM), Optics Microscope, and Motic Images Plus 2.0 image processing software system. Results showed the presence of fibers, axis-thin-wall, and radial cells in the cortex of the plant. The xylem microstructure was similar to diffuse-porous wood with the pipe orifice developed close up marrow and having linear-heterotype and non-linear-heterotype rays. Border pits were found on the fiber cell which curved in a plant burl. There also were polyhedral-shin wall cells and spiral vessels in the plant marrow. The cortex fiber cell was most to 26.50 mm in length, high to 540.00 in ratio of length to width and had a cell wall: cell cavity in width of 0.56 : 0.83. The fiber cell of the plant's branch-cortex was longest in length and largest in length to width ratio. The plant's fiber cell of spike-cortex was shortest in length, smallest in length to width ratio and wall to cavity in width. The xylem fiber cell was from 0.75 to 0.90 mm in length, from 4.38 to 5.40 μm in width, and had a length to width cell ratio of 31.78 : 37.54. The cell wall : cell cavity in width was from 0.56 to 0.83. For the axes, the average length and width of the cell cavity and the length: width of the branch fiber cell was smaller than those of the trunk fiber cell, but the cell wall to cell cavity ratio for the width of the branch fiber cell was greater than or equal to those of the trunk fiber cell. In the spike the length, cell width, and cell cavity width of the fiber cell was smallest, but the cell length : width and the width of the

收稿日期: 2008-07-10; 修回日期: 2008-09-15

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BA007A07-04)

作者简介: 李晓平, 博士研究生, 从事人造板研究。E-mail: lxp810525@163.com。通信作者: 周定国, 教授, 博士, 博士生导师, 从事人造板生产和木材加工研究。E-mail: dgzhou@njfu.edu.cn

cell wall : cell cavity was largest. In middle part of the xylem the radial length, cell cavity width, and the length : width ratio of the fiber cell was larger, and the cell width, cell wall width, and cell wall : cell cavity in width of the fiber cell in outside were largest. Thus, the fiber size was different in the different parts of the castor-oil plant. Since this fiber is an excellent material, it can be used to make paper or make artificial boards. [Ch, 9 fig. 3 tab. 10 ref.]

Key words: material science; castor-oil plant; microstructure; cell type; fiber size

蓖麻 *Ricinus communis* 为大戟科 Euphorbiaceae 蓖麻属 *Ricinus* 一年生或多年生高大草本, 在热带和亚热带地区常成为多年生灌木或乔木, 为世界性十大油料作物之一。蓖麻油具有许多独特的优良特性, 是可以替代石油资源的“绿色石油”。中国自海南至黑龙江北纬 49°以南地区都有蓖麻分布, 主要集中在东北和华北地区, 尤其是内蒙古、吉林、山西、山东等地区, 目前有 20 万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 种植面积, 可生产蓖麻籽约 200 万 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$, 但生产的蓖麻油只能满足中国对蓖麻油需求的一半^[1-3]。随着石油资源的日益减少, 对蓖麻油的需求将越来越大, 就要求蓖麻的种植面积随之增加, 蓖麻籽的产量也将增多。蓖麻籽具有特殊气味并含有蓖麻毒素, 不能用于喂养牲畜, 该材料的出路问题将会成为新的问题。一条可行的途径就是利用蓖麻籽来生产人造板或造纸^[4], 这样既可以替代木材资源, 缓解木材资源的供应紧张局面, 还可以增加农民收入。调动农民种植蓖麻的积极性, 又推动了蓖麻产业的进一步发展, 缓解目前蓖麻油供应严重不足的状况。长期以来, 人们主要是利用蓖麻油, 对蓖麻的研究也主要集中在蓖麻油上, 对蓖麻籽的研究几乎是空白。2006 年, 南京林业大学潘明珠等^[5]对产自内蒙古通辽地区蓖麻籽的理化性能、人造板制造等进行了研究。结果表明, 蓖麻籽是一种理化性能优良的纤维原料, 利用蓖麻籽生产人造板是可行的。作者主要利用扫描电子显微镜(SEM)和光学电子显微镜对产自山东淄博的蓖麻籽的显微结构进行研究; 利用 Motic Images Plus 2.0 图像处理系统测量纤维的尺寸, 研究纤维形态在蓖麻籽纵向和径向上的变异。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料和方案设计

1.1.1 实验材料 采用产于山东淄博的蓖麻籽作为实验材料, 与内蒙古通辽地区的蓖麻籽相比, 山东淄博的蓖麻籽较粗壮高大, 高 4 ~ 5 m, 直径为 5 ~ 10 cm。本实验取 4 株高 4 m, 直径为 8 cm 左右的蓖麻籽进行研究。

1.1.2 纵向纤维形态变异研究 蓖麻籽的皮部、木质部和髓部的结构差异较大, 其中髓部多为薄壁细胞, 主要研究皮部和木质部的纤维变异。蓖麻籽在离地面 80 cm 左右的地方就会出现分叉, 枝丫部分和主干区别不明显, 所以在研究 80 cm 以上的蓖麻籽时就把样品作为枝丫部分来研究。在蓖麻籽高度方向(即纵向)上取 6 部分: 0 ~ 10 cm(1-1), 20 ~ 30 cm(1-2), 40 ~ 50 cm(1-3), 60 ~ 70 cm(1-4), 枝丫(1-5), 穗(1-6)。

1.1.3 径向纤维形态变异研究 研究蓖麻籽木质部的纤维形态在径向上的变异。在离地面 20 ~ 30 cm 处蓖麻籽的壁较厚, 容易沿径向切割。将这部分蓖麻籽的皮和髓去除干净后, 把木质部均匀分成 6 等份, 从里到外依次为 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6。

1.2 实验方法

1.2.1 显微构造研究 蓖麻籽的皮部和髓部较软, 很难进行切片观察, 利用扫描电子显微镜对蓖麻籽整杆的横截面进行研究。将蓖麻籽的木质部进行切片, 利用光学显微镜对木质部的三切面进行研究, 将蓖麻籽解离, 研究蓖麻籽的细胞种类和形态。

1.2.2 纤维形态研究 将各样品做成火柴杆大小, 在沸水中煮, 直至样品沉于水底。用体积比为 1 : 1 的双氧水(体积分数为 30%)和冰醋酸(分析纯)混合液在 60 °C 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 试纸测试不呈酸性为止。将样品置于试管中, 加适量的水后, 震荡, 直到样品都分离成单根纤维。用 10 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的番红溶液进行染色, 制成临时载玻片^[6-9], 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，量取其宽度和腔宽，每个样品取 50 根纤维进行测量。

2 结果和讨论

2.1 蓖麻籽的显微构造分析

2.1.1 蓖麻籽显微构造研究 蓖麻籽的皮部和髓部较软，不易制作切片。利用扫描电子显微镜对蓖麻籽的横截面进行观察研究(图 1)，并将木质部和髓部交界处和皮部进行局部放大(图 2 和图 3)。另将蓖麻籽的木质部进行切片，在光学显微镜下研究其横切面(图 4)、径切面(图 5)和弦切面(图 6)。蓖麻籽中空多节，为了研究蓖麻籽节部与节间区的差别，对节部的显微构造进行了观察，结果表明节部的横截面、弦切面和节间区的横截面、弦切面一样，节部的纵切面可观察到弯曲纤维(图 7)。

由图 1 可见，蓖麻籽的皮部、木质部和髓部之间的结构存在很大差异，属于散孔材。由图 2 可见，在木质部和髓部的交界处，可看到由多个螺纹导管组成的复合管孔。由图 3 可见，蓖麻籽的皮部在放大 250 倍的条件下，可看到该部位是由多层组织构成，即多层周皮和韧皮部等。由木质部的横切面图可以看到，在蓖麻籽中存在单管孔、复管孔和木射线组织，单管孔呈卵圆形；在靠近髓部的地方管孔比较发达(图 4)，多数为复合管孔。在木质部径切面上可以看到纤维细胞、导管和射线细胞(图 5)；而在弦切面上可以看到单列或双列的异型木射线(图 6)。对节部的径切面进行观察，可以看到弯

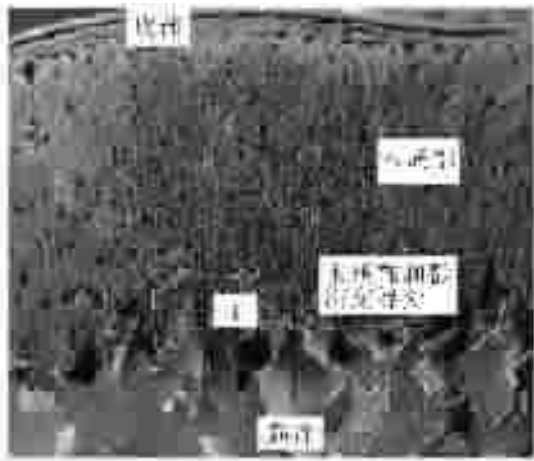


图 1 蓖麻籽的横截面(SEM × 20)

Figure 1 Transverse section of the castor-oil plant with SEM

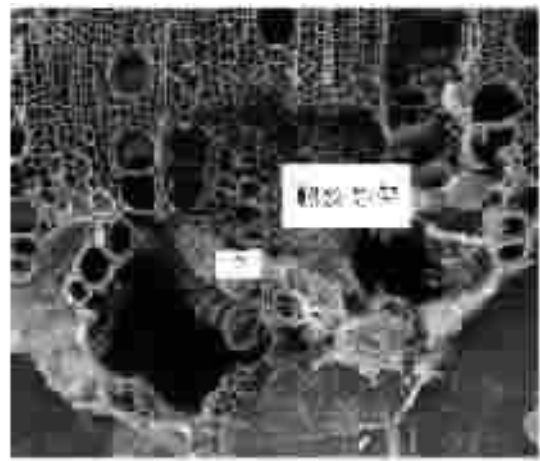


图 2 木质部和髓交界处(SEM × 50)

Figure 2 Transverse section boundary between xylem and marrow of the castor-oil plant with SEM

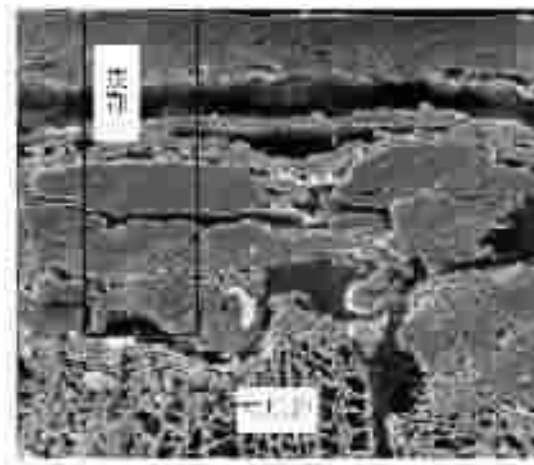


图 3 蓖麻籽皮部(SEM × 250)

Figure 3 Transverse section of cortex with SEM

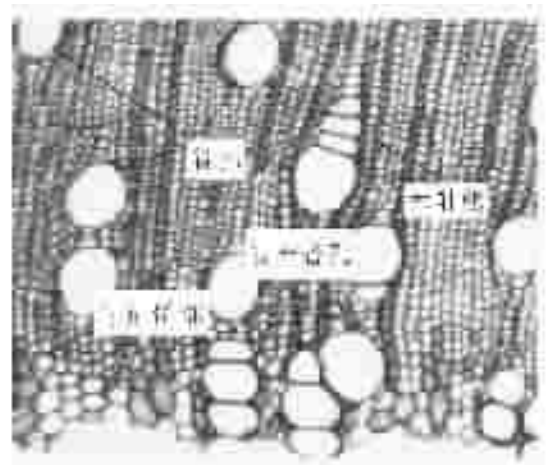


图 4 木质部横切面(×100)

Figure 4 Transverse section of xylem

曲的纤维组织(图7),是与节间区差别明显的地方。

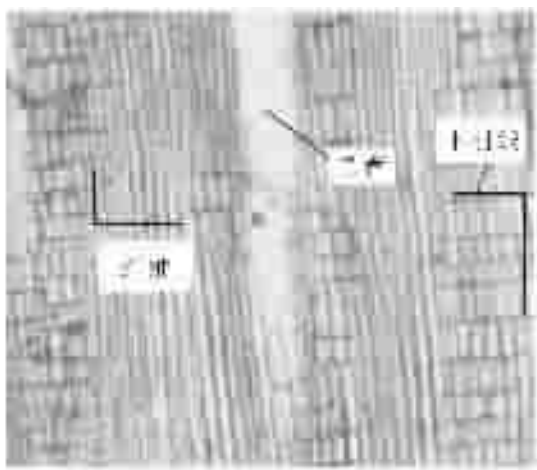


图5 木质部径切面($\times 100$)

Figure 5 Radial section of xylem

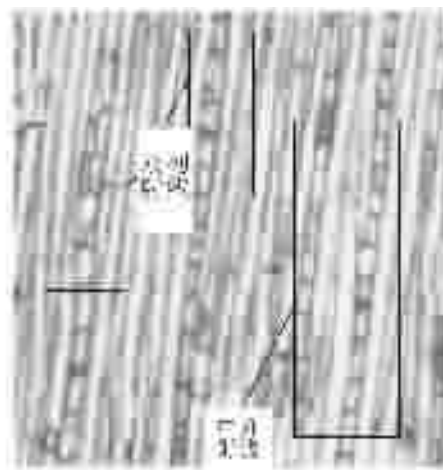


图6 木质部旋切面($\times 100$)

Figure 6 Tangential section of xylem

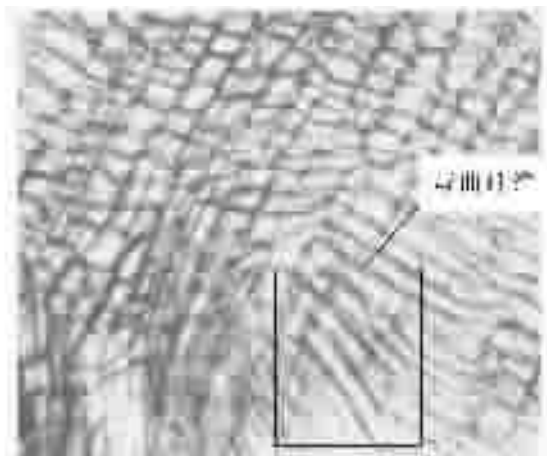


图7 节部径切面($\times 100$)

Figure 7 Radial section of the burl of the castor-oil plant

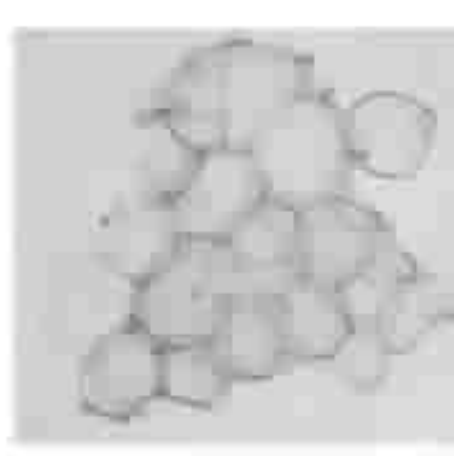


图8 髓部多面体薄壁细胞($\times 100$)

Figure 8 Polyhedron thin wall cell in marrow

2.1.2 蓖麻秆的细胞种类研究 蓖麻秆皮部、木质部和髓部的宏观结构差异主要取决于其细胞种类的不同。蓖麻秆的皮部比较松软,解离后可以看到主要含有纤维细胞、射线细胞、轴向薄壁细胞和极少量的石细胞;木质部较硬,解离后可以看到纤维细胞、射线细胞、轴向薄壁细胞和管胞等;对节部解离后可以看到弯曲的纤维细胞。这些细胞的形态见图9所示。髓部比较松软,可看到大量的多面体薄壁细胞(图8)和螺纹导管(图2和图9)。由于髓中含有大量的薄壁细胞,在生产人造板时会对人造板的性能造成不利影响;在造纸时则成为废液,造成环境污染,建议在利用蓖麻秆工业化生产时,将髓部去除。

2.2 蓖麻秆纵向纤维形态变异分析

2.2.1 皮部纤维形态分析 将不同部位的皮部纤维进行解离,在高倍显微镜下观察单根纤维,但部分皮部的纤维比较长,无法利用 Motic Images Plus 2.0 图像处理系统测量其长度,在黑绒布上手工直接测量长度,这就导致不能够一一对应地测量纤维的长度和宽度,所以在计算皮部纤维的长宽比时,仅计算了纤维的平均长宽比。由表1可见,皮部不同部位纤维的平均长度为 1.81 ~ 16.47 mm,最长可达 29.5 mm,平均宽度为 25.29 ~ 37.90 μm ,平均腔宽为 18.53 ~ 30.02 μm ,平均壁厚为 3.23 ~ 3.94 μm ,平均长宽比为 52.20 ~ 540.67,平均壁腔比为 0.24 ~ 0.43。从下到上皮部的细胞长度、宽度和细胞腔宽都呈增大—减小的趋势,壁厚是减小—增大—减小,长宽比是增大—减小—增大,壁腔比减

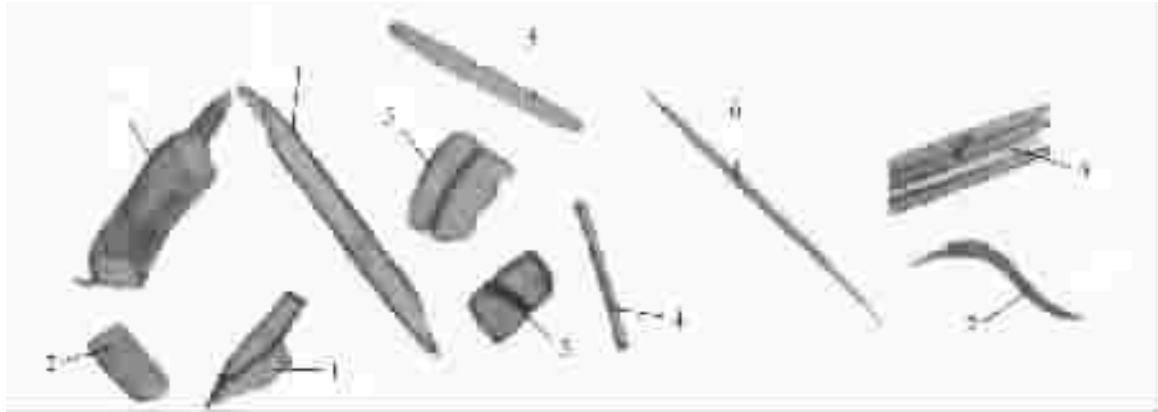


图 9 蓖麻籽所含细胞种类

(1. 管胞, 2. 螺纹导管, 3. 射线细胞, 4. 石细胞, 5. 轴向薄壁细胞, 6. 纤维细胞, 7. 弯曲纤维细胞)

Figure 9 All kinds of cell in castor-oil plant (1.tracheid; 2.whorl vessel; 3. ray cell; 4. sclereid; 5. axial parenchyma cells; 6. fibrocyte; 7. curly fibrocyte)

小—增大。枝丫部分的纤维细胞最长，长宽比最大；而穗部的纤维细胞最短，长宽比最小，壁腔比最小。

表 1 蓖麻籽纵向不同部位皮部的纤维形态

Table 1 Fiber size in the different parts of the cortex

序号	长度/mm	宽度/ μm	腔宽/ μm	壁厚/ μm	壁腔比	平均长宽比
1-1	1.01 ~ 2.65(1.81)	12.10 ~ 59.27(25.83)	8.18 ~ 43.23(18.53)	1.26 ~ 8.02(3.65)	0.11 ~ 0.83(0.43)	69.98
1-2	2.50 ~ 27.00(12.33)	9.28 ~ 52.99(25.29)	5.11 ~ 47.14(18.83)	1.60 ~ 5.37(3.23)	0.12 ~ 1.12(0.40)	487.70
1-3	5.00 ~ 29.50(15.11)	13.48 ~ 86.34(37.90)	8.06 ~ 78.48(30.02)	2.03 ~ 7.66(3.94)	0.09 ~ 0.99(0.34)	398.79
1-4	2.00 ~ 26.00(12.41)	10.75 ~ 75.61(30.77)	6.12 ~ 69.16(23.22)	2.31 ~ 5.82(3.77)	0.09 ~ 0.83(0.38)	403.34
1-5	6.50 ~ 27.00(16.47)	13.77 ~ 56.35(30.45)	8.70 ~ 42.68(23.60)	2.15 ~ 6.84(3.43)	0.13 ~ 0.90(0.32)	540.67
1-6	1.18 ~ 3.23(1.72)	15.65 ~ 53.53(32.95)	8.67 ~ 43.02(26.50)	2.27 ~ 5.66(3.23)	0.17 ~ 1.17(0.24)	52.20

说明：括号内数字为平均值。

2.2.2 木质部纤维形态分析 对蓖麻籽纵向的不同部位的木质部的进行解离，利用 Motic Images Plus 2.0 图像处理系统测量纤维的尺寸，得到纤维的尺寸(表 2)。由表 2 可得，木质部各部位的平均纤维长度为 0.75 ~ 0.90 mm，最长可达 1.75 mm；平均宽度为 21.59 ~ 28.99 μm ，最宽为 55.66 μm ；平均腔宽为 12.69 ~ 19.59 μm ，最宽为 43.83 μm ；平均壁厚为 4.38 ~ 5.40 μm ，最厚为 15.01 μm ；平均长

表 2 蓖麻籽纵向不同部位木质部的纤维形态

Table 2 Fiber size in axial direction of the xylem

序号	长度/mm	宽度/ μm	腔宽/ μm	壁厚/ μm	长宽比	壁腔比
1-1	0.55 ~ 1.17(0.87)	9.13 ~ 55.66(28.99)	4.04 ~ 43.83(19.59)	1.33 ~ 15.01(4.70)	16.06 ~ 89.62(31.78)	0.11 ~ 2.59(0.56)
1-2	0.41 ~ 1.49(0.90)	13.63 ~ 47.70(28.39)	5.29 ~ 36.97(17.59)	0.55 ~ 12.60(5.40)	16.14 ~ 88.11(32.87)	0.05 ~ 4.05(0.76)
1-3	0.49 ~ 1.61(0.90)	10.07 ~ 44.45(27.19)	5.28 ~ 38.51(16.79)	1.45 ~ 10.18(5.20)	16.94 ~ 76.46(34.79)	0.14 ~ 2.92(0.71)
1-4	0.45 ~ 1.31(0.81)	10.69 ~ 44.91(25.55)	5.00 ~ 40.00(16.78)	1.50 ~ 10.62(4.38)	16.49 ~ 91.14(33.34)	0.12 ~ 2.40(0.59)
1-5	0.47 ~ 1.08(0.80)	13.30 ~ 43.49(25.79)	3.54 ~ 31.96(15.68)	0.48 ~ 10.66(5.06)	12.82 ~ 59.18(32.71)	0.04 ~ 3.73(0.76)
1-6	0.34 ~ 1.75(0.75)	5.00 ~ 38.90(21.59)	1.96 ~ 25.03(12.69)	1.52 ~ 8.39(4.45)	13.41 ~ 224.55(37.54)	0.21 ~ 2.63(0.83)

说明：括号内数字为平均值。

宽比为 31.78 ~ 37.54; 壁腔比为 0.56 ~ 0.83, 小于 1。从下到上平均长度、壁厚、长宽比和壁腔比均是先增大后减小, 平均宽度和腔宽依次减小。枝丫部分的平均长度、腔宽和长宽比均小于秆部, 宽度和秆部 60 ~ 70 cm 处的宽度相近, 壁厚要高于样品 1-1 和 1-4、低于 1-2 和 1-3, 壁腔比则大于等于秆部壁腔比。与秆部和枝丫部分相比, 髓部纤维细胞的长度、宽度和腔宽均最小, 长宽比和壁腔比最大。

2.3 径向纤维形态分析

对蓖麻秆径向的不同部位的木质部进行解离, 利用 Motic Images Plus 2.0 图像处理系统测量纤维的尺寸, 得到纤维的尺寸(表 3)。从表 3 可见, 蓖麻秆 20 ~ 30 cm 处的纤维细胞从里到外的平均长度为 0.83 ~ 0.90 cm, 平均宽度为 26.12 ~ 31.71 μm , 平均腔宽为 17.01 ~ 20.46 μm , 平均壁厚为 4.38 ~ 5.78 μm , 平均长宽比为 28.21 ~ 34.96, 平均壁腔比为 0.51 ~ 0.74。其中, 靠近中间部位细胞的长度、细胞腔宽度和长宽比最大; 最外侧细胞的宽度、壁厚和壁腔比最大。

表 3 木质部径向不同部位的纤维形态

Table 3 Fiber size in radial direction of the xylem

序号	长度/mm	宽度/ μm	腔宽/ μm	壁厚/ μm	长宽比	壁腔比
2-1	0.46 ~ 1.27(0.83)	16.96 ~ 47.45(30.34)	7.14 ~ 39.08(20.46)	1.92 ~ 13.81(4.94)	15.75 ~ 54.18(28.21)	0.14 ~ 2.74(0.55)
2-2	0.46 ~ 1.34(0.87)	10.52 ~ 50.11(26.75)	6.82 ~ 29.95(17.29)	1.11 ~ 15.73(4.73)	17.26 ~ 95.42(33.95)	0.10 ~ 2.24(0.61)
2-3	0.51 ~ 1.14(0.83)	8.98 ~ 45.70(26.12)	3.21 ~ 32.55(17.01)	1.75 ~ 12.08(4.56)	15.46 ~ 95.32(34.96)	0.15 ~ 1.82(0.60)
2-4	0.53 ~ 1.30(0.90)	13.14 ~ 51.78(30.64)	3.54 ~ 44.41(21.02)	0.78 ~ 11.45(4.81)	17.15 ~ 82.64(30.75)	0.06 ~ 3.18(0.54)
2-5	0.41 ~ 1.29(0.88)	14.97 ~ 56.49(28.91)	7.81 ~ 49.82(20.15)	1.12 ~ 9.80(4.38)	10.09 ~ 70.95(32.32)	0.12 ~ 1.84(0.51)
2-6	0.09 ~ 1.58(0.84)	8.28 ~ 66.23(31.71)	3.22 ~ 46.30(20.16)	0.43 ~ 20.91(5.78)	2.36 ~ 94.97(28.69)	0.03 ~ 7.75(0.74)

说明: 括号内数字为平均值。

3 结论

蓖麻秆皮部、木质部和髓部的差异较大。皮部较松软, 在高倍扫描电子显微镜下可见多层组织; 木质部是一种类似于散孔材的非木质材料, 具有单管孔和复合管孔 2 种类型, 在靠近髓部的部位, 管孔较发达, 弦切面可见单列或双列的异型木射线; 髓部松软, 由多面体薄壁细胞组成, 在髓部和木质部交界处可见由多个螺纹导管组成的复合管孔。节部和节间区纵切面的显微构造有差异, 在该切面可见弯曲的纤维组织。

对蓖麻秆进行解离, 可以看到管胞、螺纹导管、射线细胞、石细胞、轴向薄壁细胞、纤维细胞、弯曲纤维细胞和多面体薄壁细胞。薄壁细胞会对造纸或人造板制造产生不利因素, 建议蓖麻秆工业化利用时将髓部去除。

蓖麻秆皮部的纤维细胞长达 29.50 mm, 长宽比高达 540.00, 壁腔比为 0.56 ~ 0.83, 小于 1.00。从下到上, 细胞的尺寸都呈一定的规律变化。枝丫部分皮部的纤维细胞最长, 长宽比最大; 髓部皮部的纤维细胞最短, 长宽比最小, 壁腔比最小。木质部纤维细胞的平均长度为 0.75 ~ 0.90 mm, 平均宽度 21.59 ~ 28.99 μm , 平均腔宽为 12.69 ~ 19.59 μm , 平均壁厚 4.38 ~ 5.40 μm , 平均长宽比为 31.78 ~ 37.54, 壁腔比为 0.56 ~ 0.83。纵向上和径向上细胞尺寸均有一定的变化规律。枝丫部分的长度、腔宽和长宽比小于秆部, 壁腔比大于等于秆部; 髓部纤维细胞的长度、宽度、腔宽均最小, 长宽比和壁腔比最大。在径向上, 靠近木质部中间部位细胞的长度、细胞腔宽度、长宽比较大; 最外侧细胞的宽度、壁厚和壁腔比最大。可见, 蓖麻秆是一种性能较好的纤维原料^[10]。适合用来造纸和制造人造板。

致谢: 本实验在南京林业大学木材学实验室进行, 在实验进行过程中得到了潘彪老师、徐魁梧老师、张耀丽老师和骆嘉言老师的指导和帮助, 在此对上述单位和个人表示诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 王光明. 蓖麻趣话[EB/OL]. 2008-06-05[2007-3-14] <http://www.bimachina.com/bima.htm>.
- [2] LI J T, LEW K M, CHEN J M, *et al.* Metabolism of 1-acyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phosphoethanolamine in castor oil biosynthesis[J]. *Lipids*, 2000, **35** (5): 481 - 486.
- [3] 宁波出入境检验检疫局. 蓖麻籽(castorseed)[EB/OL]. 2008-06-05[2004-10-20]. <http://www.nbciq.gov.cn/gb/policy/showNews.jsp?lawId=153>.
- [4] 吕相义, 李军, 毕万新. 国内外蓖麻生产的现状、问题及对策[J]. 中国农技推广, 2003 (6): 25 - 26.
LV Xiangyi, LI Jun, BI Wanxin. The status, difficulties and ventures[J]. *Chin Agric Technol Ext*, 2003 (6): 25 - 26.
- [5] 潘明珠, 周定国. 蓖麻籽化学组成及纤维形态研究[C]//国务院学位委员会办公室, 教育部学位管理与研究生教育司. 2006 年全国博士生学术论坛—林业及生态建设领域相关学科. 北京: [出版者不详]. 2006: 1756 - 1761.
- [6] 唐秋, 蒲俊文. 几种速生阔叶材纤维形态的研究[J]. 中华纸业, 2006, **27** (5): 71 - 73.
TANG Qiu, PU Junwen. A comparative study on the fibre morphology between several varieties of the fast-growing hardwood[J]. *Chin Pulp Pap Ind*, 2006, **27** (5): 71 - 73.
- [7] 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.
- [8] 袁姗姗, 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 Cent South Univ For Technol*, 2007, **27** (5): 92 - 96.
- [9] 王嘉楠, 查朝生, 刘盛全. 人工林杨树木材纤维形态特征及其变异的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2006, **33** (2): 149 - 154.
WANG Jianan, ZHA Chaosheng, LIU Shengquan. Fiber morphological features and variation of plantation poplar[J]. *J Anhui Agric Univ*, 2006, **33** (2): 149 - 154.
- [10] 聂勋载, 范思齐. 常用非木材纤维碱法制浆实用手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.