

椰子叶柄的解剖特性研究

朱赛玲¹, 徐长妍¹, 王广静¹, 熊雪平²

(1. 南京林业大学, 南京 210037; 2. 海南昆仑新材料科技有限公司, 海口 570100)

摘要: **目的** 研究椰子叶柄不同部位的纤维形态、维管束形态及组织比量等解剖特性。**方法** 采用富兰克林离析法分离纤维, 用 Motic Images Plus 2.0 软件测量纤维长度、宽度和腔径等形态参数。同时, 用 Images Pro Plus 软件观察切片后维管束的形态, 并测量其大小、密度及组织比量等参数。**结果** 椰子叶柄的纤维长宽比为 72, 壁腔比为 0.95, 属于均匀分布的长纤维原料。椰子叶柄的维管束均匀分散于薄壁组织中, 并于纵向呈现一定规律, 其长轴、短轴、面积均由基部至梢部依次减小, 密度及长宽比均是梢部最大。椰子叶柄的纤维组织比量高, 且随基部至梢部含量增多。**结论** 这是一种优良的植物纤维原料, 可用于制备优质的包装用纸, 并可在复合材料中发挥增强作用。

关键词: 椰子叶柄; 纤维形态; 维管束形态; 组织比量

中图分类号: TB484.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)21-0015-05

Anatomical Characteristics of Coconut Petiole

ZHU Sai-ling¹, XU Chang-yan¹, WANG Guang-jing¹, XIONG Xue-ping²

(1. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Hainan Kunlun New Material Technology Limited Company, Haikou 570100, China)

ABSTRACT: **Objective** To investigate the variation characteristics in different parts of coconut petiole through a test on the fiber morphology, vascular morphology and tissue proportion. **Methods** Fibers were separated using Franklin segregation. Then their length, width and the cavity size were measured by Motic Images Plus2.0. Moreover, the shape of vascular bundle was observed and its size, density and tissue parameters were measured with Images Pro Plus. **Results** The fiber of coconut petiole was a long and well-distributed raw material with a length-width ratio of 72, and a wall-lumen ratio of 0.95. The vascular bundles were evenly dispersed in the thin wall. The long axis, short axis, and the area were smaller from the base to the tip, while the density and length-width ratio were the maximum on the tip. The fiber proportion was high, and increased from the base to the tip. **Conclusion** Coconut petiole is a superior plant fiber raw material, which can be used for production of high-quality packaging paper and reinforced compact material.

KEY WORDS: coconut petiole; fiber morphology; vascular morphology; tissue proportion

椰子是棕榈科椰子属的唯一品种, 单子叶植物, 是热带木本油料和食品能源作物^[1]。椰子可谓“全身都是宝”, 新鲜椰子肉可提取生椰油, 属于天然的抗菌食品, 能抑制 HIV 病毒^[2], 而椰油是制高级化妆品、

洗涤剂、牙膏和增塑剂的原料^[3]。椰子水的营养丰富, 可制成饮料、椰子纳塔等多种产品。由于纳塔的纤维强度大、柔韧、抗拉且易消毒, 被用作外科治疗中皮肤的代用品等^[4]。椰子的内果皮俗称椰壳, 可制

收稿日期: 2014-05-04

基金项目: 江苏省高校优势学科建设工程资助项目

作者简介: 朱赛玲(1989—), 女, 江苏南通人, 南京林业大学硕士生, 主攻新材料及纳米纤维。

通讯作者: 徐长妍(1967—), 女, 土家族, 博士, 南京林业大学副教授, 主要研究方向为包装工艺、运输包装和新型材料。

成优质活性炭,用于处理废水、净化空气、提纯黄金等。老果的内果皮质地坚实,不易变形,可用于雕刻各种工艺品,制作灯罩乐器、碗筷等^[5],其外果皮与中果皮俗称椰衣,主要用于生产椰棕、椰糠栽培基质等^[6]。生产的纤维垫和剩余的纤维渣,被广泛用于水土保持、防止冲刷及种植园艺作物等^[7]。另外,椰树的木纹颜色美观,质地硬,广泛用于低成本房屋建筑材料。椰木、木碎料和树脂压制成的木板成本低,强度高,是高档家具、工艺品及房屋、桥梁造船的良好用材^[8]。

椰子叶柄因各种原因至今尚未被有效利用,以至成为盛产椰子的城市最为头疼的城市固体污染废弃物。如何有效利用椰子叶柄应成为今后学术研究及成果产业化的重点。文中以椰子叶柄为研究对象,分析测试纤维长度、宽度、长宽比、壁厚、壁腔比等纤维形态,维管束大小、密度等形态,及组织比量的解剖特性,并就纵、径向分别探讨不同部位的特点。该研究对衡量其能否制备包装用纸具有参考价值,并对其用于增强材料具有指导意义。

1 实验

1.1 方法

实验方法:采样点设在海南海口,选取回收的椰子叶柄3枝,均分为9等份,沿梢部至基部作标记(见图1),带回实验室;每等份横截面上,从内到外分别截取1 cm³的试样,作好标记;纵向定义为1—3号的平均值为梢部,4—6号的平均值为中部,7—9号的平均值为基部;径向定义为9个内侧试样的平均值为内侧,9个中侧试样的平均值为中侧,9个外侧试样的平均值为外侧。最后,以3枝椰子叶柄的平均值作研究讨论。



图1 椰子叶柄

Fig.1 Coconut petiole

1.2 测试方法

1.2.1 纤维形态的测定

采用富兰克林离析法,将试样沿顺纤维的方向劈3根火柴棍状的细小木棍。试管注水至淹没小木棍,加热煮沸,排出空气至小木棍下沉。倒出试管中的水,注入离析液(冰醋酸与双氧水(30%)的体积比为1:1)至试样淹没。试管于水浴锅煮沸,至小木棍膨大变白。待冷,用蒸馏水冲洗至中性。最后,加水振荡试管口,完成分离,并用番红染色,制成临时性试片。用 Motic Images Plus2.0 软件测量纤维的长度、宽度和腔径等形态参数,每个指标分别随机测定50个数据。

1.2.2 纤维长度频率分布的计算

纤维长度的频率分布用频数表示: $F(\text{频数})=a \times 100\%/A$ 。其中: a 为某长度级的纤维根数; A 为测定的纤维总根数。

1.2.3 维管束形态的测定

1) 培养皿中盛放清水。

2) 切片。椰子属于禾本科植物,材料硬,切片困难,故将试样在水中浸泡3 d后取出。对试样的横截面连续切数片,用湿毛笔将切片从刀片上轻轻移入盛水的培养皿。切片过程中,刀片和材料始终带水。

3) 选片。用毛笔在培养皿中挑选合适的切片。

4) 永久装片。用番红溶液进行染色,依次经质量分数为50%,75%,85%,95%,100%的酒精脱水,再经酒精、二甲苯混合液过滤至透明。将切片轻移至载玻片,滴加冷杉胶,盖上盖玻片封藏。待冷杉胶干固后,清除多余的冷杉胶,贴上标签,完成永久切片。

5) 观察。采用 Images Pro Plus 软件观察维管束的形态,并测量维管束大小、密度及组织比量等参数。

2 结果与分析

2.1 椰子叶柄的纤维形态及变异规律研究

包装用纸是造纸产品中的一个大类,包括用于包装工业及包装印刷的纸(张)和纸板,主要由植物纤维(纸浆)构成。其特性主要包括5个方面:物理性能(厚度、紧度、匀度等),化学性能(水分、灰分、酸碱性等),力学性能(抗张强度、挺度、耐破度等),光学性能(白度等)以及印刷性能(抗静电性等)^[9]。纤维长度、长度分

布、宽度、长宽比、细胞壁厚度、壁腔比等已成为现今常用的测定造纸纤维形态的指标^[10]。因此,椰子叶柄纤维形态的研究对于鉴定其能否作为良好的包装用纸纤维原料具有重要意义。

2.1.1 纤维的长度、宽度及长宽比

椰子叶柄不同部位纤维的规律见表1—2。首先,纵向部位中部纤维最长,径向部位外侧的纤维最长。其次,椰子叶柄的长宽比为72,且分别是纵向基部和径向外侧的长宽比最大。纤维长度是提供纸浆和纸页强度最有用的一种纤维特性,长且均匀的纤维,结合面积大,作用应力分布好,能提供较高的强度。若纤维长度大于5.0 mm,浆料容易浆凝,出现“云彩花”,对纸张的匀度有负面影响^[11],从而影响其物理、力学、光学等性能。纤维宽度影响匀度、结合力和挺度,能间接地对纸张性能提供平衡作用^[12]。纤维的长宽比对制浆性能有较大的影响,长宽比越大,纤维的强固性和撕裂性越好,越适合做优质造纸原料。一般来讲,原料的纤维长宽比应大于30^[13]。

表1 纵向部位的纤维形态
Tab.1 Fiber morphology at longitudinal sites

试样	长/mm	宽度/ μm	长宽比	壁厚/ μm	腔径/ μm	壁腔比
梢部	1.04	13.96	74.98	6.66	7.3	0.96
中部	1.44	22.80	63.55	9.09	13.71	0.69
基部	1.23	16.13	76.32	8.69	7.44	1.18
平均	1.24	17.63	71.62	8.15	9.48	0.94

表2 径向部位的纤维形态
Tab.2 Fiber morphology at radial sites

试样	长/mm	宽度/ μm	长宽比	壁厚/ μm	腔径/ μm	壁腔比
内侧	1.22	17.94	69.15	7.78	10.16	0.92
中侧	1.24	17.63	71.62	8.15	9.48	0.95
外侧	1.27	17.30	75.88	8.39	8.91	1.01
平均	1.24	17.62	72.22	8.11	9.52	0.96

椰子叶柄属于长宽比较大的纤维原料,而且纵向中部和径向外侧的纤维比较长,能提供较好的匀度和纸页强度。纵向基部和径向外侧的纤维长宽比较大,强固性和撕裂性较好。由此可知,中部和基部外侧的纤维强度、匀度和挺度相对较好。

2.1.2 纤维的壁厚、腔径及壁腔比

由表1—2可知,椰子叶柄的壁腔比为0.95。纵向部位梢部纤维的壁厚最小,中部的壁腔比最小;径向

部位的内侧纤维壁厚、壁腔比均最小。细胞壁厚度影响纸张的耐破度、抗张强度,壁腔比反映纤维的柔软程度,对成纸耐破度的影响尤为明显。细胞壁厚则难于打浆且纤维间结合力不大,纸张表面粗糙,耐破度和抗张强度较低,但撕裂强度可能有所改进。壁薄、壁腔比小,可提供有效的纤维接触面,赋予纸张较高的耐破度和抗张强度^[12]。然而,壁腔比并非越小越好,通常小于1为好^[10]。

椰子叶柄纤维的壁腔比小于1,纤维比较柔软。梢部与中部内侧的纤维相对壁薄、壁腔比小,成纸时纤维的接触面积大,结合力大,耐破度与抗张强度比较高。

2.1.3 纤维长度的频率分布

椰子叶柄的纤维长度基本符合正态分布,见图2,纤维长度范围为0.8~1.6 mm,平均长度为1.28 mm。其中,长度为1.2~1.4 mm的纤维含量最多,占38%。均一的纤维长度有助于提高纸浆的稳定性^[11]。一般认为,细而长的纤维成纸强度比较高。同时,适当含量的细小纤维能增加纤维的结合力,有助于提高纸的匀度和抗张强度,但脆性会增加。

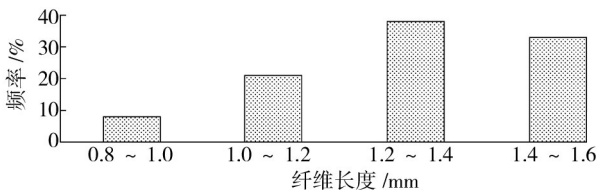


图2 纤维长度的频率分布

Fig.2 Frequency distribution of fiber length

椰子叶柄纤维的长度比较均匀,用于造纸时,纸浆比较稳定,匀度和抗张强度比较高。由于,少量0.8~1 mm短纤维的存在,使成纸的脆性有一定程度的增加。

2.2 椰子叶柄的维管束形态及变异规律研究

维管束是输导组织和纤维组织共同构成的形态上的一个复合组织。在同一叶柄的不同高度(纵向)及同一横切面的不同部位(径向),维管束在形态、大小及数目上均有一定的差异。

2.2.1 维管束的基本形态

维管束分散于薄壁细胞中,四周覆有纤维鞘,且呈现连续性半椭圆形结构。维管束分布均匀,形态稳定,输导组织分化不完全,主要为纤维细胞。每个维管束的韧皮部向外,木质部向内,中心有一个很大的

腔隙,细胞为圆形(见图3a)。椰子叶柄的导管、纤维、薄壁细胞均以纵向平行、紧密整齐的排列,形成直纹理(见图3b)。这与K. G. Satyanarayana^[14]及Kulkarni^[15]对椰子的椰壳、叶轴、小穗轴、叶鞘、佛焰苞和根部纤维的研究相似,维管束均由纤维鞘、后生木质部导管、初生韧皮部及薄壁组织组成。其中,纤维鞘作为厚壁组织,起主要的承载作用,其排列紧密整齐,赋予材料高比强度与比刚度^[14];后生木质部导管及初生韧皮部显示为空腔,对强度没有贡献;薄壁细胞呈现密集的孔状结构,对于材料本身的强度作用不大,但填充其他材料能达到一定的增强作用^[16]。

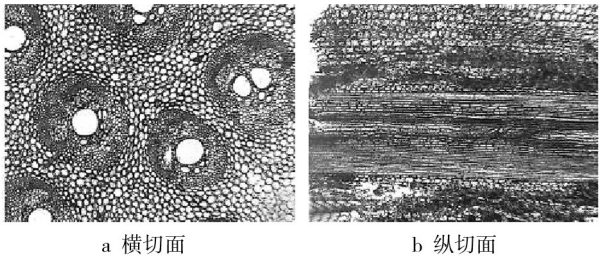


图3 维管束的基本形态(×40)
Fig.3 Basic morphology of the vascular bundle(×40)

2.2.2 维管束的大小、密度差异

将维管束沿纤维鞘方向定义为长轴,长轴的中垂线方向定义为短轴,两轴相交处为维管束原点,维管束各组成单元的面积总和定义为维管束的面积,见图4。

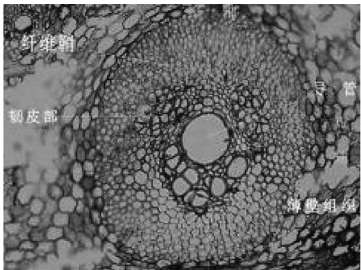


图4 维管束轴线(×100)
Fig.4 The vascular axis(×100)

椰子叶柄的维管束沿梢部至基部(见图5a—c),呈面积增大、排列松散的特点(见表3)。长轴、短轴增大,长宽比变小,即输导组织逐渐分化完全。同时,密度变小,维管束排列松散。其中,梢部的维管束小而密,且木质部和韧皮部发育不完全,以纤维细胞为主。由此,梢部的相对密度和力学强度比较大。径向维管束(见图5d—e)的大小、密度相当,但

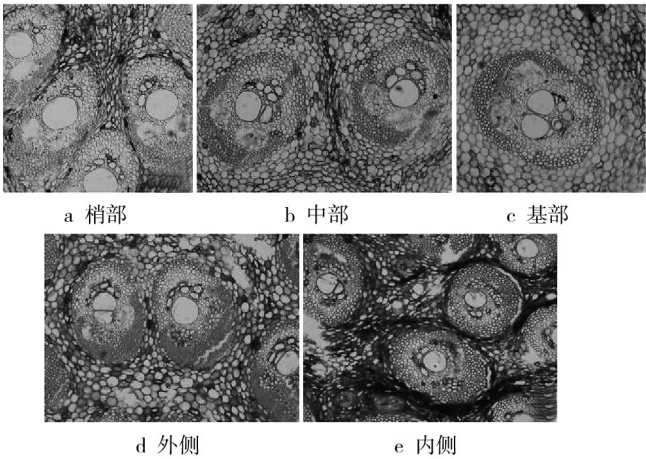


图5 维管束的横切面形态(×100)
Fig.5 The cross section morphology of vascular bundle(×100)

表3 维管束的大小、密度及面积变化
Tab.3 Size, density and area change of vascular bundle

	纵向			径向		
	梢部	中部	基部	内侧	中侧	外侧
长轴/mm	0.61	0.67	0.7	0.64	0.65	0.65
短轴/mm	0.4	0.47	0.53	0.46	0.46	0.46
长宽比	1.53	1.43	1.32	1.39	1.41	1.41
密度/mm ²	3	1	1	2	2	2
面积/mm ²	0.2	0.25	0.3	0.25	0.24	0.25

内侧排列错乱,外侧比较整齐,故外侧的力学强度相对比较大。

2.3 组织比量

定义维管束外形的总面积为维管束面积,纤维鞘面积为纤维,导管和初生韧皮部的面积为输导组织,维管束面积除去纤维鞘、导管及初生韧皮部面积为薄壁组织,各组织面积与维管束面积的比值为组织比量。

维管束主要由厚壁细胞、薄壁细胞和输导组织组成。其中,纤维厚壁细胞起承载作用,薄壁细胞起连接并传递载荷的作用,而输导组织承担运输水分及养料的作用^[16]。

由图6可知,椰子叶柄的纤维组织比量较高,薄壁组织相对较少,为33.76%。维管束中3种组织的比量在径向无明显变化,纵向呈现出一定的规律:沿梢部至基部,输导组织比量增大,纤维组织比量减小。椰子叶柄维管束中组分的分布特点与维管束长短轴的变化一致,再一次说明梢部至基部输导组织逐渐分化

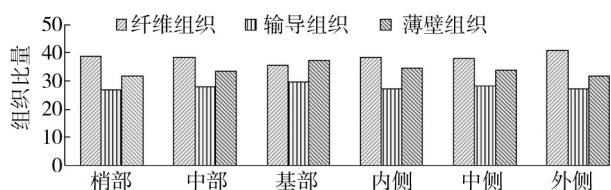


图6 各组织所占比例

Fig.6 The percentages of different tissues

完全,这符合养料从基部输送的特点。由于非纤维细胞形态短,几何形状不规则,结合力小,因而降低了纸浆得率,影响纸浆漂白。与此同时,其滤水困难,不易抄纸,产出的纸张强度差,质地疏松^[11,17],且输导组织和薄壁组织容易发生断裂,降低了材料的强度和伸长值^[14]。

椰子叶柄纤维可作为优良的植物纤维造纸原料。同时,相对椰子叶柄的其他部位,梢部的纤维组织比量最大,有较高的强度,可用于制备增强材料。

3 结语

1) 椰子叶柄属于长纤维原料,长宽比高达72,壁厚比为0.95,且长度均匀,属于良好的造纸纤维原料。综合考虑成纸的物理、力学性能,椰子叶柄中部的内侧和外侧纤维能提供纸张较好的匀度、结合力和挺度,及较高的抗张强度和耐破度,更适合于包装用纸的制备。

2) 椰子叶柄的维管束均匀分散于薄壁组织中,且纵切面上导管、纤维、薄壁细胞平行、整齐、紧密的排列,呈现直纹理。同时,由基部至梢部,维管束的长轴、短轴、面积逐渐变小,梢部的维管束密度及长宽比最大。

3) 椰子叶柄的纤维比量高,薄壁组织比量少,是一种优良的造纸纤维原料。同时,梢部维管束分布密集,纤维比量高,能提供较高的强度,有望用作复合材料的增强相。

参考文献:

[1] 冯美利,李杰,王必尊. 我国椰子综合研究进展概述[J]. 中国热带农业,2007(5):30—31.
FENG Mei-li, LI Jie, WANG Bi-zun. Advances in Research of Chinese Coconut[J]. China Tropical Agriculture, 2007(5):

30—31.
[2] 江柏萱. 椰子油可抗艾滋病[J]. 世界热带农业信息,2000(6):22.
JIANG Bai-xuan. Coconut Oil Can be Anti HIV[J]. World Tropical Agriculture Information, 2000(6):22.
[3] 蔡东宏,韦开蕾. 我国椰子业现状发展前景和对策[J]. 世界热带农业信息,1999(4):8—10.
CAI Dong-hong, WEI Kai-lei. China's Development Present Situation and Countermeasures of Coconut Industry[J]. World Tropical Agriculture Information, 1999(4):8—10.
[4] 肖红,易美华. 椰子的开发利用[J]. 海南大学学报,2003,6,21(2):183—189.
XIAO Hong, YI Mei-hua. The Development and Utilization of Coconut[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2003,21(2):183—189.
[5] 陈利梅,李德茂. 椰果物质成分的综合分析与利用[J]. 热带农业科学,2002,22(6):50—53.
CHEN Li-mei, LI De-mao. Comprehensive Analysis and Utilization of Coconut[J]. Tropical Agricultural Science, 2002,22(6):50—53.
[6] 曾鹏,刘立云,孙程旭,等. 我国椰子副产物的利用现状及对策[J]. 江西农业学报,2011,23(8):42—44.
ZENG Peng, LIU Li-yun, SUN Cheng-xu, et al. Present Situation and Countermeasures of Coconut By-products Utilization in China[J]. Jiangxi Journal of Agricultural Sciences, 2011,23(8):42—44.
[7] 唐龙祥,刘立云,冯美利. 世界椰子业发展状况分析[J]. 世界热带农业信息,2005(10):1—3.
TANG Long-xiang, LIU Li-yun, FENG Mei-li. The Analysis of the Development of Coconut Industry in the World[J]. World Tropical Agriculture Information, 2005(10):1—3.
[8] 刘燕吉,王怀军,张立非. 椰子木、抽木、橡胶木等热带木材加工利用的考察报告[J]. 福建热作科技,1991(3):10—13.
LIU Yan-ji, WANG Huai-jun, ZHANG Li-fei. The Investigation Report of Coconut Wood, Wood, Rubber Wood Smoke and Other Tropical Wood Processing and Utilization[J]. Fujian Hot Working Technology, 1991(3):10—13.
[9] 刘仁庆. 我国包装用纸及其新进展[J]. 中国包装,2004(2):70—72.
LIU Ren-qing. Packaging Paper and Its New Development in China[J]. Chinese Packaging, 2004(2):70—72.
[10] 王菊华. 20世纪造纸纤维形态领域的重要成就[J]. 纸和造纸,1998(4):7—9.
WANG Ju-hua. An Important Achievement in Twentieth
(下转第34页)

- plore the Corrugated Box Industry Future Development Road[J]. Printing Technology, 2011(2):15—19.
- [4] ZHANG Yao-li, CHEN Jing, WU Yue, et al. Analysis on Hazard Factors of the Use of Corrugated Carton in Packaging Low-temperature Yogurt During Logistics[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011(10):968—973.
- [5] HAN J, MIN P J. Finite Element Analysis of Vent Hand Hole Designs for Corrugated Fiberboard Boxes[J]. Packaging Technology and Science, 2007, 20:39—47.
- [6] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京:印刷工业出版社, 2013.
PENG Guo-xun. Corrugated Packaging Design[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2013.
- [7] 唐少炎, 魏星, 吴若梅, 等. 瓦楞纸箱配纸方法的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(9):27—30.
TANG Shao-yan, WEI Xing, WU Ruo-mei, et al. Study of Paper Matching Method for Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9):27—30.
- [8] 孙诚. 纸包装结构设计[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2010.
SUN Cheng. Paper Packaging Structural Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2010.
- [9] BIANCOLINI M E, BRUTTI C. Numerical and Experimental Investigation of the Strength of Corrugated Board Packages[J]. Packaging Technology and Science, 2003, 14:47—60.
- [10] 何理, 丁毅, 贾丽萍. 不同湿度条件下瓦楞纸箱抗压强度的实验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17):68—70.
HE Li, DING Yi, JIA Li-ping. Study of Corrugated Box Compression Strength under Different Humidity[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17):68—70.
- [11] 滑广军, 赵德坚, 魏专. 大长宽比对纸箱抗压能力影响的研究与分析[J]. 包装工程, 2010, 31(21):45—47.
HUA Guang-jun, ZHAO De-jian, WEI Zhuan. Research and Analysis of Influence of Big Aspect Ratio on the Compression Strength of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21):45—47.
- [12] 梁健文. 谈谈瓦楞纸箱抗压强度的测定[J]. 造纸科学与技术, 2009, 28(4):67—69.
LIANG Jian-wen. Analyzing the Crush Resistance Testing of Corrugated Paper Board Box[J]. Paper Science & Technology, 2009, 28(4):67—69.
- [13] 崔艳娥, 钱静. 瓦楞纸箱蠕变模型的研究[J]. 包装工程, 2009, 30(5):30—33.
CUI Yan-e, QIAN Jing. Research on Creep Model of Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(5):30—33.

(上接第19页)

- Century the Field of Papermaking Fiber Morphology[J]. Paper and Paper Making, 1998(4):7—9.
- [11] 苏文会, 范少辉, 彭颖, 等. 车筒竹、籐竹和越南巨竹竹材的纤维形态与组织比量[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(3):386—390.
SU Wen-hui, FAN Shao-hui, PEN Ying, et al. Fiber Morphology and Anatomy of Car Tube of Bamboo, Bambusa Blumeana and Vietnam Giant Bamboo[J]. Journal of Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2011, 28(3):386—390.
- [12] 刘洪斌. 纤维特性与纸页撕裂性能关系的研究[D]. 天津:天津科技大学, 2005.
LIU Hong-bin. Study on the Relationship between Fiber Properties and Tearing Strength[D]. Tianjin University of Science and Technology, 2005.
- [13] 方红, 刘善辉. 造纸纤维原料的评价[J]. 北京木材工业, 1996, 16(2):19—22.
FANG Hong, LIU Shan-hui. Evaluation of Raw Materials for Papermaking[J]. Beijing Wood Industry, 1996, 16(2):19—22.
- [14] SATYANARAYANA K G, PILLAI C K S, SUKUMARAN K, et al. Structure Property Studies of Fibers from Various Parts of the Coconut Tree[J]. Journal of Materials Science, 1982, 17:2453—2462.
- [15] KULKARNI A G, SATYANARAYANA K G, SUKUMARAN K, et al. Mechanical Behavior of Coir Fibers under Tensile Load[J]. Mater Sci, 1981, 16:929—936.
- [16] 尚莉莉. 毛竹维管束的形态特征及拉伸力学性能研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2011.
SHANG Li-li. Study on the Characteristics and Mechanical Properties of Bamboo Vascular Bundle Morphology[D]. Beijing: China Academy of Forestry, 2011.
- [17] 孔葆青, 魏丽芬. 植物纤维形态对纸张的影响[J]. 西南造纸, 2000(6):24.
KONG Bao-qing, WEI Li-fen. Effects of Plant Fiber Morphology on Paper[J]. Southwest Paper, 2000(6):24.