

文章编号: 1001-1498(2006)04-0436-05

# 不同年龄构树皮的纤维、化学特性与制浆性能研究

廖声熙, 李 昆\*, 杨振寅, 张春华

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

**摘要:**对金沙江干热河谷不同年龄构树皮的化学、纤维特性与制浆性能进行研究。结果表明, 构皮纤维长、木素含量低, 纤维素含量高, 纤维形态好, 易于成浆。随着年龄的增大, 低龄构皮化学组分稍有增大, 但至 6—7 a, 灰分和木素含量增大, 纤维素和硝酸乙醇纤维素含量明显下降, 不利于成浆; 1% NaOH 抽提物一直呈缓慢上升趋势, 第 6—7 年达到最高; 构皮纤维长度、长宽比及长纤维比例都随年龄的增长而增加, 3—5 a 增至最大, 第 6 年后呈快速下降趋势。2—4 年生构皮手抄片有较高的结合强度和耐折度, 5—7 a 后趋于稳定。因此, 优质构皮纤维原料最佳收获期为 2—5 a, 综合经济效益考虑, 纤维原料人工林培育最佳周期为 2—3 a。

**关键词:**金沙江; 构树皮; 树龄; 化学组成; 纤维形态; 成浆性能

中图分类号: S789

文献标识码: A

## Influence of Age on Chemical Components, Fiber Morphology and Pulping Properties of *Broussonetia papyrifera* Bark

LIAO Sheng-xi, LI Kun, YANG Zhen-yin, ZHANG Chun-hua

(Research Institute of Resources Insects, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** Chemical compositions, fiber characteristics and pulping properties of *Broussonetia papyrifera* bark at different ages were researched in hot-valley of Jinsha River. The results showed that the paper mulberry bark has the characteristics of long-fiber, lower lignin content, higher holocellulose and well fiber shapes and is suitable for pulping. With the growing of trees, the chemical compositions of the lower aged bast increase slightly. But to 6—7 years trees, the pulping process are hampered for the glucose and lignin increased obviously while fiber and HNO<sub>3</sub>-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH content decreased sharply. 1% NaOH extractives increased gradually and came up to the maximum when the tree was 6—7 years old. The fiber length, ratio of fiber length to width and fiber proportion increased with the growing of trees, coming up to the maximum when the tree was 3—5 years old, then declined obviously at the 6th year. 2—4 years old trees have better strength and folding endurance and became stable at 5<sup>th</sup>—7<sup>th</sup> years. As a result, the ideal material of the high-quality fiber comes from 2—5 years old trees. Based on economic efficiency, 2—3 years fiber material plantation rotation is proposed.

**Key words:** Jinsha River; tree age; *Broussonetia papyrifera* bark; chemical compositions; fiber morphology; pulping property

构树 (*Broussonetia papyrifera* (L.) Vent) 为桑科 (Moraceae) 构树族 (Broussonetiaceae) 直立落叶乔木, 该属全世界共有 5 种, 分布于亚洲东部及太平洋岛屿。

我国有 3 种, 即构树、小构树 (*Broussonetia kazinoki* Sieb et Zucc)、藤构 (*Broussonetia kaempferi* Sieb)<sup>[1]</sup>, 构树在我国分布范围广, 生长快, 适应性强; 树皮、树杆、树叶、

收稿日期: 2006-01-12

基金项目: 国家林业局退耕还林科技示范点关键技术研究项目; 云南省十五科技攻关项目 (2001NG55); 国家林业局重点科技推广项目 (2003-049-L49)

作者简介: 廖声熙 (1973—), 男, 贵州黎平人, 助理研究员, 硕士, 主要从事森林生态、森林经理、林业遥感研究工作。

\* 通讯作者

花果都可以利用;构树果可生食,亦可酿酒,有补肾、壮筋骨、健胃消肿之功效。树皮、白色汁液均可入药;构树叶蛋白质含量丰富,且安全无毒,属优良的木本蛋白质饲料,亦可供保健食品添加剂之用<sup>[2]</sup>。金沙江干热河谷鹤庆段构树资源丰富,是构皮主产区和西南电池隔膜纸生产及云南手工造纸中心之一。当地群众有在田埂、地边种植构树,每年采收构皮出售,不但有效遏制了金沙江干热河谷的水土流失,还成为当地农户增收致富的经济来源。

构树韧皮因木素含量少,纤维长,色泽白,强度大,是最古老、最优质的造纸原料之一,也是我国出口的传统产品。构皮培育周期短,资源丰富,在全国均有分布,仅陕南、鄂西山区年产量10万t<sup>[3]</sup>。

国内对构皮制浆造纸性能做了较为详细的研究<sup>[4-12]</sup>,其韧皮是优质的造纸长纤维原料,常用于制造打字蜡纸、引线抄纸、电池隔膜纸、云母带原纸等特种长纤维高档纸张,经济价值极高。但对不同年龄构皮制浆性能研究方面鲜有报道。因此,作者于2003—2005年对1—7年生构树皮化学成分、形态特性及制浆造纸性能进行了分析测定,旨在确定采收的最佳时间,利用与保护并重,改善经营管理,为干热河谷植被恢复和构树资源定向培育提供理论依据和实践指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料采集

试材采集地为云南省鹤庆县中江乡金沙江干热河谷,地理位置25°51′~26°42′N,100°5′~100°25′E,海拔1200~1300m,年平均温度20.3℃,极端最高气温33.4℃,极端最低温-8.2℃,10年积温6931.0℃。年平均降水量683.0mm,年平均相对湿度65%,土壤类型主要有黄壤和红壤。2004—2005年3月砍收护埂林1—7年生构树样木,剥皮阴干,按GB1927—91标准的规定进行取样,备用。试样的制备方法见文献<sup>[13]</sup>。

### 1.2 实验方法

1.2.1 原料的化学成分分析 水分、灰分、冷水抽出物、热水抽出物、苯醇抽出物、1%NaOH抽出物、木素、多戊糖、综纤维素、硝酸乙醇纤维素等指标测定,除硝酸乙醇纤维素测定采用《制浆造纸分析与检测》(2003)中的测定方法外<sup>[14]</sup>,其余均采用国标进行操作<sup>[15]</sup>。分别按GB/T2677.2—1993、GB/

T2677.3—1993、GB/T2677.4—1993、GB/T2677.5—1993、GB/T2677.6—1994、GB/T2677.8—1994、GB/T2677.9—1994、GB/T2677.10—1995标准进行。

1.2.2 纤维形态分析 采用《中国造纸原料纤维特性及显微图谱》所述纤维长度、宽度、细胞壁厚度及细胞腔直径的测定方法<sup>[16]</sup>。

1.2.3 制浆试验方法 制浆性能综合评价的构皮采用硫酸盐法进行制浆。在实验过程中,控制相同的蒸煮工艺条件,对所得纸浆进行相关指标的测定。

蒸煮工艺条件:装锅量150g原料(绝干);用碱量18%(NaOH计);硫化度25%;液比1:5;蒸煮最高温度155℃;升温时间60min;保温时间180min。硬度采用GB/T1546—1989标准测定;得率采用《制浆造纸分析与检测》中纸浆得率的测定方法<sup>[14]</sup>。

1.2.4 抄纸及纸的物理性能测定 分别取2.0g绝干浆,用剪刀均匀切断,分2次进行疏解,每次各取1g左右,在疏解器中加水550mL,疏解2min后,利用快速凯塞成型系统抄造纸样。将纸样经恒温、恒湿处理后,根据《中国轻工业标准汇编——造纸卷》标准,进行定量、厚度、抗张强度、撕裂度、耐破度、耐折度等物理性能的测定<sup>[14,16]</sup>。

## 2 实验结果

### 2.1 不同年龄构皮原料化学组成比较

从表1可以看出,各年龄构皮原料的化学组分之间变化呈一定的规律性。灰分随着年龄的变化规律不明显;冷水抽提物、热水抽提物及苯醇抽提物随着年龄的增加逐渐增加,至3—4a时达到最高,然后呈下降趋势。1%NaOH溶液除能溶解冷水和热水溶出的物质外,还能溶出部分木素、聚戊糖、聚己糖等,从一定程度上反映出不同原料碱法制浆得率的高低,1%NaOH抽提物一直呈缓慢上升趋势,可能因为取样误差,第5年略有下降,第6—7年达到最高,可以看出年龄增长会影响其制浆得率。聚戊糖含量随年龄的变化均呈规律性增长,变幅不大,这对制浆有利。木素的含量随年龄的增加而稍有增加,规律不明显,至第7年时比第6年突然增长了近36.5%,反映出随着年龄的增大构皮木质化程度加深,降低了它的制浆造纸性能。

表 1 不同年龄构皮纤维化学成分

年龄 /a	%										
	水分	灰分	冷水抽出物	热水抽出物	苯醇抽出物	1% NaOH 抽出物	多戊糖	木素	综纤维素	硝酸乙醇纤维素	乙醇纤维素
1	8.20	5.28	15.74	18.93	6.97	46.19	9.68	6.52	67.94	43.00	
2	8.26	6.72	12.71	15.84	5.81	44.62	12.04	8.58	68.70	42.33	
3	8.22	5.44	16.57	21.65	8.11	47.84	9.96	6.68	67.59	43.33	
4	9.21	5.08	20.79	21.62	6.71	47.36	9.89	6.75	64.92	44.28	
5	8.44	4.56	20.45	20.65	4.50	45.97	9.34	5.12	69.45	46.25	
6	8.22	4.81	18.01	19.48	7.21	50.25	10.02	7.03	64.53	40.10	
7	7.85	7.87	12.29	16.54	6.01	49.20	10.86	11.07	63.38	38.19	

纤维素和综纤维素含量的高低直接影响了浆得率的高低,含量越高,浆得率越高,纸浆的强度也越大<sup>[17]</sup>,综纤维素和硝酸乙醇纤维素随年龄的增加而增加幅度不大,1—5年生构皮纤维含量差异不显著,至6—7 a时开始下降,下降幅度比最高值(第5年)降低了8.7%和17.4%。良好的造纸用纤维原料要求含纤维素高,木质素少,灰分和抽出物含量少,从不同年龄构皮的化学组成特征来看,建议造纸最好不用6 a以上构皮,2—4 a构皮有利于制浆造纸。

## 2.2 不同年龄构皮纤维形态分析结果

纤维形态与纸张的性能有密切联系,决定纤维生产浆料质量<sup>[16]</sup>。一般来说,纤维越长,纸张的强度越大。对不同年龄构皮的纤维形态进行比较,结果见表2,构皮1年生纤维平均长度达到8.6 mm,其随年龄的增加而增加,第4年增加至最大,然后呈快速下降趋势。因此,要获得优质构皮纤维原料,其理想收获期为第3—5年,以第4年为最佳。构皮纤维宽度变化不大。纤维原料的长宽比较大有利于提高

纸的强度等指标,构皮纤维长宽比变化趋势与长度变化一致,数值都在455以上,还是4年生的最大。综合来看,构皮的纤维较长,纤维平均长8.3~11.4 mm,纤维比较均匀,1年生构皮即可达到8.6 mm,在较短生长时间内达到成熟期水平。从纤维长度和长宽比看,作为优质造纸原料,3—5年生的构皮原料品质最好。

纤维壁腔比对纸张的性能有重要影响,细胞壁薄而腔大的原料的纤维更具柔软性,相互间易于结合,抄制的纸张结合强度较大。从表3可见,构皮管胞壁厚为4.66~5.66 μm,腔径为2.39~3.12 μm,壁腔比为3.14~4.74,具有较好的纤维形态。构皮纤维胞壁厚度随年龄增加变化不大,腔径则随年龄增加逐渐变小,以3年生为最大,7年生的最小,而壁腔比与之相一致。一般来说,细胞壁愈小,壁腔比值愈大,则愈适于制浆造纸。可以得出3年生构皮为最佳造纸原料,其次为1、2、4年生构皮,总之,年龄大的构皮壁腔比值越大,越不利于制浆。

表 2 不同年龄构皮纤维长度、宽度、长宽比

年龄 /a	长度 /mm				宽度 /μm				长宽比
	最小	最大	一般	平均	最小	最大	一般	平均	
1	4.6	13.2	7.2~10.0	8.6	9.8	34.2	14.7~22.0	18.8	457
2	4.6	15.2	6.7~9.8	8.5	9.8	36.7	14.7~22.0	18.7	455
3	3.6	16.6	7.0~10.7	9.0	7.3	26.9	12.2~22.0	16.8	535
4	6.7	19.6	8.8~13.0	11.4	9.8	29.4	14.7~22.0	18.3	623
5	5.9	17.2	8.3~11.9	11.3	12.2	29.4	14.7~22.0	18.9	598
6	4.4	17.1	6.8~10.4	8.8	7.3	44.0	12.2~22.0	17.1	515
7	3.3	17.5	6.2~9.8	8.3	7.3	26.9	14.7~22.0	17.6	472

表 3 不同年龄构皮纤维细胞壁厚、细胞腔径、壁腔比

年龄 /a	壁厚 (W) /μm				腔径 (d) /μm				壁腔比 (2W/d)
	最小	最大	一般	平均	最小	最大	一般	平均	
1	0.90	10.29	3.97~7.76	5.40	0.72	7.20	1.81~4.33	3.03	3.56
2	2.17	9.57	3.61~5.78	4.66	0.72	7.22	1.44~3.61	2.59	3.60
3	1.45	8.70	3.64~6.00	4.90	0.72	7.27	1.82~4.36	3.12	3.14
4	1.81	8.13	4.33~6.32	5.01	1.81	7.22	1.81~3.97	2.80	3.57
5	1.64	9.54	3.64~6.54	4.98	0.36	10.20	1.09~3.64	2.40	4.17
6	1.09	8.55	3.64~6.18	4.93	0.36	6.55	1.45~3.64	2.45	4.02
7	2.17	10.46	4.33~7.04	5.66	0.72	6.49	1.44~2.89	2.39	4.74

### 2.3 不同年龄构皮纤维长度分布频率

纤维长度是衡量植物纤维原料优劣最重要的指标之一,纤维长度的分布对纸张的撕裂度、抗张强度、耐破度、耐折度等纸张强度指标有着较大的影响。从表 4 可以看出,构皮的纤维长度分布最为集中,主要分布于 7~13 mm,占总数的 83.0%,造纸性能比较好,长度小于 5 mm 的纤维仅占 1.1%,而大于 13 mm 的占 5.4%,因此,就纤维平均长度和纤维长度分布频率而言,构皮纤维达到了特优原料纤维的标准。

构皮纤维随着年龄增大纤维逐渐生长变长,占

主要的 7~9 mm 范围内纤维比例由 2 年生的 51.5% 逐渐减少到第 3—5 年的 24.8%,到第 6—7 年又增加到了 43.3%;在较长纤维(11~13 mm)范围内纤维比例 1—3 年生平均为 6.8%,到第 4—5 年迅速增加至 29.8%,第 6—7 年又降到了 6.0%;其中,从第 3 年开始,长纤维比例明显增加,9~11 mm 纤维从 2 年生的 22.5% 猛增至 36.0%。从以上看出,年龄 3—5 a 时为构皮纤维成熟期,纤维长度达到最大,分布比较集中,可认为是构皮纤维长度的最佳收获时期。而第 2 年构皮的纤维均匀度最高,较适合于制浆。

表 4 不同年龄构皮纤维长度分布频率

年龄/a	纤维长度/mm							
	5	5~7	7~9	9~11	11~13	13~15	15~17	17
1	1.0	9.0	51.0	34.0	4.0	1.0	0.0	0.0
2	1.5	14.0	51.5	22.5	8.5	2.0	0.5	0.0
3	1.0	11.5	39.0	36.0	8.0	3.0	1.0	0.0
4	0.0	0.5	14.5	30.5	37.5	11.5	4.0	1.5
5	0.0	2.0	21.0	47.0	22.0	5.5	2.0	0.5
6	1.5	14.0	39.5	34.5	6.5	2.5	1.0	0.5
7	3.0	21.5	47.0	21.5	5.5	1.5	0.0	0.0
平均值	1.1	10.4	37.6	32.3	13.1	3.8	1.2	0.4

### 2.4 不同年龄构皮纤维成浆性能评价

表 5、6 即是不同年龄构皮样品蒸煮试验和成浆物理性能评价的结果。在相同蒸煮工艺条件下,不同年龄构皮样品纸浆得率和硬度存在明显差别。纸浆的硬度表示纸浆中还原性物质(主要是残余木素的含量)的多少,硬度的高低可说明纤维原料成浆难易程度。因此,3—6 年生构皮较易成浆,1、2、7 年生构皮相对较难成浆。成浆的得率决定产品成本,是衡量原料使用价值的主要综合评价指标之一。2—5 年生得率较高,1 年生得率最低,其次 6—7 年生,说明年龄小和年龄大的构皮硬度较高,得率较低,其漂

白浆不易打浆且强度较低。因此,综合硬度和得率两方面看,3—5 年生构皮具有较优的制浆性能,其次为 2、6 年生构皮,1、7 年生构皮稍差。

表 5 不同构皮未漂浆硬度、得率及残碱

年龄/a	硬度/Kappa 值	残碱/(g·L <sup>-1</sup> )	得率/%
1	22.08	2.20	43.40
2	21.32	2.69	46.71
3	18.69	3.53	47.39
4	11.23	2.44	44.74
5	14.70	2.49	48.12
6	16.79	3.15	44.71
7	21.55	3.09	43.63

表 6 不同年龄构皮硫酸盐浆手抄片物理性能检测

年龄/a	定量/(g·m <sup>-2</sup> )	厚度/mm	紧度/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	抗张指数/(N·m·g <sup>-1</sup> )	撕裂指数/(mN·m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	耐破指数/(kPa·m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	耐折度(9.8 N) 次
1	60.4	0.18	0.32	20.1	22.2	1.8	33
2	61.7	0.16	0.38	33.1	26.1	2.7	79
3	62.0	0.17	0.37	31.8	21.8	2.6	82
4	65.3	0.21	0.30	18.9	31.1	1.4	43
5	71.3	0.21	0.34	13.6	17.0	1.2	16
6	58.0	0.17	0.35	26.5	20.8	2.0	29
7	61.4	0.17	0.36	29.9	19.3	2.1	69

据表 6 结果方差分析,不同年龄所抄纸样的物理性能指标存在显著差异,年龄不同对纸张的物理

性能影响较大。在实验室条件下,因为从纸张的匀度出发而进行的切断较难控制,不能充分完成超长

纤维的打浆,从而所抄造的纸远不能充分反映构皮这类原料的强度性能特点<sup>[18]</sup>。如果从年龄对纸张物理性能的影响进行分析,除 1 年生外,年龄 2—3 a 手抄片有着较高的结合强度(有较高的抗张和耐破强度),与其他树种一样,低年龄构皮纤维细胞壁较薄,纤维柔软,有利于成纸的结合。撕裂强度决定于纤维的平均长度和纤维的结合力,以及纤维本身的强度。撕裂强度会随年龄的增大而稍稍增加,但 5—7 a 后趋于稳定。耐折强度主要决定于纤维本身的强度,2—4 年生构皮手抄片耐折度最高。

### 3 结果与讨论

构树韧皮具有纤维长、强度大,木素含量低,纤维素含量较高的特点。1—7 a 不同年龄构皮纤维长度在 3.3 ~ 19.6 mm 之间,平均 9.41 mm,纤维长宽比为 522,为一般针叶树纤维长宽比的 6 ~ 10 倍。在实验室条件下,构皮纸浆得率 45.8%, Kappa 值 18.1,较一般针阔叶树易成浆,构皮纸浆耐破指数为  $1.87 \text{ kPa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、撕裂指数  $21.99 \text{ mN} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、耐折度 45 次、抗张指数  $23.64 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{g}^{-1}$ ,因实验室条件下不能充分完成超长纤维的打浆,撕裂指数较高,耐破指数、耐折度偏低,所抄造的纸远不能充分反映构皮这类原料的强度性能特点。构皮纤维长,纤维素含量较高,具有良好的纤维形态等优良特性,充分反映了它是纤维工业及造纸的优良原料。

分析表明,灰分和木素的含量随年龄的增加而稍有增加,规律不明显,但第 7 年的含量明显增大。1% NaOH 抽提物一直呈缓慢上升趋势,第 6—7 年达到最高。聚戊糖含量随年龄的变化均呈规律性增长,变幅不大。综纤维素和硝酸乙醇纤维素随年龄的增加而增加,1—5 年生构皮纤维含量差异不显著,至 6、7 年生时开始大幅下降。构皮纤维平均长度、纤维长宽比以及长纤维比例都随年龄的增长而增加,至第 3—5 a 增至最大,第 6 年后呈快速下降趋势。良好的造纸用纤维原料要求含纤维素高,木质素少,灰分和抽出物含量少。从不同年龄构皮的化学组成特征来看,2—5 年生构皮灰分、抽提物含量适中,木素、1% NaOH 抽提物含量相对偏低,纤维素含量较高,纤维长度、长宽比值大,壁腔比值小,得率高,制浆造纸性能好。因此,要获得优质构皮纤维原料,其理想收获生长周期为 2—5 a,考虑经济效益,以 2—3 a 为佳。

从年龄对纸张物理性能的影响看,除 1 年生外,

2—3 年生构皮浆有着较高的结合强度(有偏高的抗张和耐破强度),撕裂强度会随年龄的增大而稍微增加,但 5—7 a 后趋于稳定;耐折强度主要决定于纤维本身的强度,2—4 年生构皮耐折度最高,这与纤维生长过程有关。从得率而言,2—5 年生构皮得率较高,1 年生构皮得率最低,其次是 6—7 年生构皮。说明年龄太小和太大的构皮硬度较高,得率较低,其漂白浆不易打浆且强度较低。因此,综合几方面测定结果,2—5 年生构皮具有较优的制浆性能,其次为 6 年生构皮,1、7 年生构皮稍差。如果考虑培育周期,经济投入产出比,以及当地构树生长量等因素,建议收获 2—3 年生构皮能有较好造纸性能和较高经济收入。

### 参考文献:

- [1] 张秀实,吴征镒,曹子余. 中国植物志. 第二十三卷. 第一分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 23
- [2] 杨祖达,陈华,叶要妹,等. 构树叶资源利用潜力的初步研究 [J]. 湖北林业科技, 2002(1): 1 ~ 3
- [3] 聂勋载. 开发非木材长纤维原料是解决我国造纸工业长纤维原料短缺的捷径 [J]. 江苏造纸, 2001(4): 19 ~ 21
- [4] 邓知明,聂勋载. 韧皮纤维制浆 [J]. 湖北造纸, 2002(2): 2 ~ 4
- [5] 陈惠敏. 构树纤维理化性能初探 [J]. 南通工学院学报, 1997, 13(2): 25 ~ 27
- [6] 刘义龙,聂勋载,张志芬,等. 构皮浆打浆特性的研究 [J]. 湖北工学院学报, 1997, 12(2): 47 ~ 50
- [7] 文琼菊,聂勋载,张志芬. 构皮碱性亚硫酸钠助剂法蒸煮历程 [J]. 湖北工学院学报, 2000, 15(1): 34 ~ 37
- [8] 聂青,刘智,邱先琴. 构皮几种制浆方法的对比 [J]. 湖北造纸, 2001(2): 7 ~ 8
- [9] 聂清. 构树制浆研究与综合利用 [J]. 西南造纸, 2001(5): 10
- [10] 李新平,林友锋. 从构皮的理化性能谈构皮的制浆 [J]. 国际造纸, 2002, 22(1): 33 ~ 36
- [11] 聂勋载. 构树制浆与综合利用研究的思考和实践 [J]. 湖北工学院学报, 2002, 17(1): 67 ~ 69
- [12] 李新平,林友锋,李巧玲. 构皮过氧化氢草酸盐法制浆初探 [J]. 纸和造纸, 2003(2): 43 ~ 44
- [13] 崔永志,方桂珍,金钟玲. 兴安落叶松木材提取物的组成分析 [J]. 东北林业大学学报, 1997(1): 38 ~ 40
- [14] 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, 2003
- [15] 中国轻工业标准汇编. 造纸卷(上、下册) [M]. 北京: 中国标准出版社, 1999, 2000
- [16] 王菊华. 中国造纸原料纤维特性及显微图谱 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999
- [17] 孔葆青,魏丽芬. 植物纤维的化学组成与纸浆性能 [J]. 湖北造纸, 2004(2): 6 ~ 7
- [18] 刘晓波,陈克利,陈海燕,等. 滇西三种构皮化学成份、纤维形态与制浆性能的初步研究 [J]. 西南造纸, 2005, 34(3): 8 ~ 10