

文章编号: 1000-5692(2005)02-0180-05

大木竹化学成分的研究

苏文会¹, 顾小平¹, 马灵飞², 吴晓丽¹, 岳晋军¹, 郑仁红¹

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2 浙江林学院 工程学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 对浙江南部产的大木竹 *Bambusa wenchouensis* 化学成分进行了分析, 并与造纸性能良好的青皮竹 *Bambusa textilis* 和当地分布较广的水竹 *Bambusa textilis* var. *fasca*, 绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 等 3 个参试竹种及木本和草本制浆原料作了比较。结果表明, 3 年生大木竹竹材综纤维素质量分数为 $721.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 木素 $226.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 氢氧化钠抽出物 $251.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 苯-醇抽出物 $46.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从造纸原料要求的标准讲, 该竹综纤维素质量分数较高, 木素与溶液抽出物较低或中等, 属较好的造纸竹种。从年龄上看, 1 年生大木竹的综纤维素和多戊糖质量分数比 3 年生竹要大, 而木素和灰分相对较少。表 2 参 12

关键词: 植物化学; 大木竹; 竹材; 化学成分; 综纤维素; 造纸

中图分类号: S781.41 **文献标识码:** A

随着社会经济的发展, 国内对纸的需求量逐年上升, 造纸业已经成为国家建设的重要经济增长点之一。竹子纤维细长, 纤维素含量高, 是优良的造纸原料。竹浆造纸已成为国内外竹材开发利用的共同趋势。我国当前用于制浆的竹种各地不同, 四川省以慈竹 *Neosinocalamus affinis* 和白夹竹 *Phyllostachys bissetii* 为主, 广东省利用青皮竹 *Bambusa textilis* 较多, 但这些竹种的产量并不乐观。如慈竹年产量一般只有 $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 远远不能满足竹浆纸厂的产业化需求。大木竹 *Bambusa wenchouensis*, 又名毛单竹、王竹, 地下茎合轴丛生, 主要分布在浙南、闽北和闽东地区^[1]。一般立地和经营条件下的大木竹林分, 年产秆材可达 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[1], 是慈竹等常规造纸竹种的 4 倍。大木竹适生区地处丛生竹北缘, 作为造纸原料林, 具有明显的地理优势。竹材原料中纤维素、木素等化学成分的含量向来是评价该竹是否适于制浆造纸的重要内容。人们已对多个竹种的化学成分等材性指标有了较深入的研究, 但对大木竹材化学成分的相关分析尚未见报道。本文就高产竹种——大木竹竹材中与造纸性能密切相关的 8 项化学成分作了系统分析, 以制浆性能优良的青皮竹和当地分布较广的水竹 *Bambusa textilis* var. *fasca* 和绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 为参试竹种, 并同木本和草类原料进行比较, 研究结果可为大木竹用作造纸原料的适宜性及合理利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试材的采集

大木竹和参比竹种青皮竹、水竹和绿竹均采自浙江平阳的南湖乡, 采样时间为 2003 年 10 月。该

收稿日期: 2004-08-31; 修回日期: 2005-03-14

基金项目: 浙江省科学技术厅重点资助项目(011034)

作者简介: 苏文会, 硕士研究生, 从事竹类研究。E-mail: suwenhui1976@163.com

地区属中亚热带季风气候, 年平均气温 17.0~20.0 °C, 年降水量 1 600 mm 以上, 竹林立地条件为缓坡地, 微酸性红壤土。1 年生和 3 年生大木竹与参比竹种均取个体中等、生长正常的竹株 3 株, 将样竹的竹秆 3 等分截开, 分为基部、中部和梢部。在每段中部的节间中央截取一段供分析用。各竹种试材情况见表 1。

表 1 各竹种试材的基本情况

Table 1 A list of tested bamboo species

竹种	学名	年龄/a	株数/株	平均秆高/m	平均胸径/cm	采样地点	采样时间/(年月)
大木竹	<i>Bambusa wenchouensis</i>	1	3	12.30	6.85	平阳南湖乡	2003-10
大木竹	<i>B. wenchouensis</i>	3	3	12.97	7.77	平阳南湖乡	2003-10
青皮竹	<i>B. textilis</i>	3	3	13.27	5.58	平阳南湖乡	2003-10
水竹	<i>B. textilis</i> var. <i>fascia</i>	3	3	6.85	4.19	平阳南湖乡	2003-10
绿竹	<i>Dendrocalamopsis olkhami</i>	3	3	7.33	5.57	平阳南湖乡	2003-10

1.2 试材制备

取 500 g 左右的试材, 劈成细片, 风干后, 经粉碎机磨碎, 截取通过 40 目筛而不能通过 60 目筛的细末, 凉至室温后, 贮存于 1 000 mL 有磨砂玻璃塞的广口瓶中, 供分析使用。

1.3 测定项目与分析方法

测定各竹种竹秆的基、中、梢 3 个部位的冷水、热水、10 g·kg⁻¹ 氢氧化钠和苯-醇抽出物、灰分、综纤维素、酸不溶木素和多戊糖等 8 项指标。方法均采用国家标准 (GB/T 2677.4-1981, GB/T 2677.5-1981, GB/T 2677.6-1994, GB/T 2677.3-1993, GB/T 2677.10-1995, GB/T 2677.8-1994, GB/T 2677.9-1994), 但木质素的测定不用滤纸过滤, 而采用 1G₃ 砂芯漏斗过滤。

表 2 大木竹与参比竹种的化学成分

Table 2 The chemical compositions of *Bambusa wenchouensis* and comparing bamboo species wood

竹种	年龄/a	部位	化学成分/(g·kg ⁻¹)							
			灰分	木素	综纤维素	多戊糖	冷水抽出物	热水抽出物	NaOH 抽出物	苯-醇抽出物
大木竹	1	基	11.3	211.9	722.2	226.2	98.4	109.4	279.2	63.6
		中	10.8	213.6	731.0	240.8	66.2	88.5	275.1	54.1
		梢	9.1	216.1	735.6	257.8	53.9	77.5	270.7	47.7
		平均	10.4	213.9	729.6	241.6	72.8	91.8	275.0	55.2
	3	基	15.4	237.9	710.6	231.7	67.1	79.6	265.9	50.5
		中	13.3	222.6	722.9	228.1	66.2	79.1	260.3	44.9
		梢	9.8	218.8	732.2	233.8	44.5	63.2	227.8	43.4
		平均	12.8	226.4	721.9	231.2	59.3	74.0	251.3	46.3
青皮竹	3	基	14.1	209.2	722.3	230.7	53.9	68.1	301.7	58.7
		中	14.6	215.2	722.1	220.4	42.6	65.4	258.3	55.2
		梢	22.0	220.9	722.7	236.0	43.9	69.9	291.5	60.5
		平均	16.9	215.1	722.4	229.1	46.8	67.8	283.8	58.1
水竹	3	基	17.9	227.9	719.8	216.4	57.9	75.8	348.6	48.2
		中	23.2	218.0	732.5	204.8	47.1	68.5	253.1	46.1
		梢	23.4	212.9	731.1	237.3	38.7	54.8	249.2	4.56
		平均	21.5	219.6	727.8	219.5	47.9	66.4	283.6	46.7
绿竹	3	基	10.4	244.5	729.4	199.8	33.2	49.8	233.5	42.7
		中	9.8	229.0	733.6	180.2	30.7	48.4	225.6	36.6
		梢	12.3	217.8	730.7	226.1	29.6	42.7	173.9	32.5
		平均	10.8	230.4	731.2	202.0	31.2	47.0	211.0	37.3

2 结果与分析

大木竹与参比竹种的化学成分分析结果见表2。

2.1 灰分

纤维原料中都含有一定的矿物质, 燃烧之后产生灰分, 主要是钾、钠、钙的无机盐类和二氧化硅等。3年生大木竹的灰分质量分数为 $12.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比参试竹种绿竹略大, 而比青皮竹和水竹为小, 并远远低于麻类、芦苇和麦草^[2~5]。一般说来, 木材的灰分较少, 通常不超过 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而草类灰分较多, 有的高达 $170 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 竹类植物属中等, 且灰分主要集中在皮部和节部, 维管束内很少^[3]。在造纸工艺中, 灰分质量分数高会影响碱液回收, 并造成污染, 尤其在生产绝缘纸浆和精制纸浆时, 需在操作中控制灰分比例。

年龄会对竹材中的灰分质量分数产生影响。从所得数据看, 3年生大木竹灰分比1年生竹稍高, 可能是因为随着年龄增长, 矿物质和硅化细胞在竹材中尤其是竹壁表层不断积累的缘故。

从竹秆的纵向部位看, 大木竹靠近中、基部灰分质量分数稍大, 参比竹种则为梢部略大。对4个竹种整体分析未表现出一致的规律性。

2.2 酸不溶木素

大木竹酸不溶木素质量分数为 $226.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与3个参比竹种的差异不大, 而明显小于针叶材。木素是由苯丙烷结构单元构成的具三维结构的天然高分子化合物, 是植物体内一个重要的化学成分。在生产化学浆时, 要去除原料中80%以上的木素, 生产半化学浆时, 也要将木素除去25%~50%, 而化学机械浆生产工艺基本上对木素保留, 但制得的浆强度较差, 漂白后易返黄, 不宜抄造高级纸张^[6]。因此, 木素质量分数是制定合理蒸煮与漂白工艺的重要条件, 木素质量分数高, 蒸煮困难, 消耗的化学药品也相对较多, 但木素对真菌的危害有一定的抗性^[7]。

一般来说, 植物年龄增大, 木质化程度随之增加。同1年生竹相比, 3年生大木竹的木素质量分数较高, 可能与大龄竹材的木质化程度增大有关。另外, 竹秆部位不同, 竹材的木素质量分数亦有一定的变异, 对于大木竹与参比竹种水竹和绿竹, 其基部木素质量分数较大, 而青皮竹则是梢部略大于中、基部。

2.3 综纤维素

综纤维素是指纤维原料中碳水化合物的全部, 包括纤维素和半纤维素。由于纤维素质量分数的测定存在着一定的缺点, 分析结果不能正确反映纤维的真实性, 因而选择测定其综纤维素的质量分数来表示原料的使用价值更为适宜^[8]。

大木竹和参比竹种的综纤维素质量分数均在 $725.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右, 4个竹种间有一定变异, 但差异不大。综纤维是原料制浆的可用部分, 在当前新发展起来的化学机械浆生产中, 综纤维几乎全部加以利用。所以, 该成分的多少是衡量纤维原料纸浆得率的重要指标。竹材中综纤维素的比值越大, 可能达到的纸浆得率也越高。

1年生大木竹的综纤维素质量分数为 $729.63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比3年生竹的相应值略高。大龄竹综纤维素质量分数减少可能与植物随年龄增长木质化程度增加和木素比例增大有关。从竹秆部位看, 大木竹与3个参比竹种均为梢部和中部的综纤维质量分数较高, 靠近基部略有下降趋势。这一规律与竹秆从基部到梢部维管束密度增大是一致的。

2.4 多戊糖

3年生大木竹多戊糖的质量分数为 $231.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比参比竹种的相应值均大, 跟针叶材和一般阔叶材相比, 多戊糖亦大。多戊糖为一种半纤维素, 是由木糖、阿拉伯糖等五碳糖构成的高聚物的混合物。针叶材多戊糖质量分数一般为 $70 \sim 100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 阔叶材为 $120 \sim 260 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 禾本科植物为 $200 \sim 280 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。对造纸工艺来说, 多戊糖能影响纤维原料的打浆及成纸的透明性, 质量分数较高, 则打浆容易, 纤维的结合度也相应较好^[9,10]。

从年龄上看, 3年生大木竹的多戊糖质量分数比1年生竹略有减小, 在竹秆的纵向部位上, 大木

竹的多戊糖质量分数亦有一定变异, 主要表现为梢部质量分数较大, 中部和基部略小, 3 个参比竹种变异规律与大木竹基本一致。

2.5 抽出物

2.5.1 冷水抽出物 植物纤维原料中所含的部分无机盐类、糖、植物碱、环多醇及单宁等物质均能溶于水, 称为水抽出物。根据测定的温度不同, 又分为冷水 (23 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 抽出物和热水 (沸水) 抽出物。冷水抽出物的主要成分是单糖、低聚糖和氨基酸, 水溶性色素和无机盐等。表 2 显示, 3 年生大木竹冷水抽出物的质量分数为 $59.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 跟本文同年龄的参比竹种青皮竹、水竹和绿竹的相应值比较, 大木竹的抽出量稍大。

2.5.2 热水抽出物 大木竹及参比竹种热水抽出物数量的比较结果跟冷水抽出物一致, 但热水抽出物的数量较冷水多, 多余成分主要为淀粉、树胶等聚糖类, 可能是由于脱除下来的有机酸发生部分水解的缘故。

2.5.3 氢氧化钠抽出物 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 氢氧化钠溶液除能溶解冷水和热水所溶出的物质外, 还能溶出部分木素、聚戊糖和树脂酸等。表 2 的数据表明, 3 年生大木竹氢氧化钠抽出物的质量分数为 $251.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。大于绿竹抽出物的量, 而比青皮竹和水竹的相应值小, 且大大低于麦秸和稻草等禾本科原料^[5]。此指标在一定程度上可以推断竹材受光、热、氧化及细菌侵蚀而变质的状况^[8]。抽出物质量分数高, 则易虫蛀和霉变; 在造纸工艺中能反映碱耗量。

2.5.4 苯-醇抽出物 3 年生大木竹的苯-醇抽出物为 $46.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比绿竹相应值大, 而小于青皮竹和水竹。在制浆业中, 常称苯-醇抽出物为“树脂”, 主要成分是脂肪、脂肪酸、树脂、树脂酸、蜡及酚类化合物等。在制浆过程中, 此类物质的存在常增加蒸煮时化学药品的消耗。

总的来说, 竹类植物的溶液抽出物比针叶材和阔叶材要高, 但低于一般的禾草类。跟其他竹种相比, 大木竹溶液抽出物的质量分数为中等水平。对于制浆造纸工业, 原料的溶液抽出物以少为好, 尤其是氢氧化钠和苯-醇浸出物。前者是衡量经济效益和污染程度的重要指标之一, 氢氧化钠抽出物多, 则碱耗量大; 而后者含量高可延缓蒸煮过程, 影响纸浆颜色, 特别对酸性亚硫酸盐法制浆, 严重时可形成“树脂障碍”, 对生产工艺不利^[9]。

从年龄上看, 1 年生大木竹的 4 种抽出物均比 3 年生竹为大, 主要是由于小龄竹的薄壁细胞中含有更多内含物的缘故。这些糖和脂类物质为蛀虫和霉变真菌的生长繁衍及腐朽真菌的孢子萌发提供丰富的营养, 在竹材的利用中, 应考虑到这一问题。从竹材纵向部位看, 大木竹和 3 个参比竹种的抽出物质量分数均表现为基部值较中部和梢部为大。这一变化趋势可能是由于靠近基部处, 薄壁组织比例大, 故含有的内容物比例亦相应增大。

3 结论与讨论

从大木竹的化学成分分析并与参试竹种、针(阔)叶材及禾草类纤维原料的比较结果看, 大木竹砍伐竹(3 年生)的综纤维素质量分数为 $725.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右, 作为制浆的有效成分, 大木竹材可利用程度较高, 其多戊糖质量分数 $231.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 亦属上乘原料, 而木素和氢氧化钠抽出物的量较少或中等。所以, 从竹材的化学成分来讲, 利用大木竹做纸浆材, 原料的利用率较高, 并能相对节约化学药品, 减轻环境污染, 是较理想的造纸材料。

1 年生大木竹的综纤维素和多戊糖质量分数均大于砍伐竹, 而木素、灰分较少。因此, 单从制浆造纸角度考虑, 1 年生竹无疑是更适宜的, 但小龄竹具有相对高的溶液抽出物, 对细菌侵蚀的抗性较差, 而且从竹林生长、持续经营和经济效益综合考虑, 建议砍伐 3~4 年生竹。

竹秆纵向部位对竹材的化学成分质量分数有一定的影响。大木竹与 3 个参比竹种的综纤维素和多戊糖均为靠近梢部处质量分数较大, 而抽出物则为基部处大些。关于木素和灰分随竹秆纵向的变异, 前人的研究结论也不尽相同^[7,9,11]。从本文的结果看, 大木竹和参比竹种亦未表现出明显一致的变化规律。

我国森林资源匮乏, 几十年来传统的木材制浆造成了森林面积的急剧下降和生态环境的破坏。草

浆造纸工艺, 产品种类少, 质量差, 生产过程污染严重^[12], 而日前蓬勃发展的竹浆造纸业亦面临着常规制浆竹种产量较低和竹材原料供应严重不足的局面。在此严峻形势下, 鉴于大木竹具有较高的生物产量、适宜造纸的化学成分组成及特殊的分布区域等多项优势, 建议大力发展大木竹纸浆林。

致谢: 研究工作在浙江林学院理化测试中心完成, 并得到刘力老师的指导和俞友明、周建钟等老师的帮助, 特此致谢!

参考文献:

- [1] 潘孝政. 大木竹及其栽培[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(3): 70-74.
- [2] 张达俊. 广西的竹子及制浆造纸[J]. 中华纸业, 2002, 23(7): 16-19.
- [3] 田新, 吴玮, 罗少初. 大麻全秆制浆初探[J]. 纸和造纸, 2001, (5): 56-58.
- [4] 黄鸿. 龙须草制浆与造纸[J]. 中华纸业, 2000, 21(12): 44-45.
- [5] 陆熙嫔, 李琦. 麦秸的特性分析及其工业利用[J]. 林业科技通讯, 2001, (7): 30-31.
- [6] 刘洪谔, 刘力, 斯红光, 等. 几种杨树木材化学成分分析[J]. 浙江林学院学报, 1995, 12(4): 343-346.
- [7] 王文久, 辉朝茂, 刘翠, 等. 云南14种主要材用竹化学成分研究[J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(2): 74-78.
- [8] 屈维钧. 制浆造纸实验[M]. 北京: 轻工业出版社, 1990.
- [9] 吴炳生, 夏玉芳, 傅懋毅, 等. 料慈竹化学成分的研究[J]. 浙江林学院学报, 1995, 12(3): 281-285.
- [10] 张喜. 贵州主要竹种纤维及造纸性能的分析研究[J]. 竹子研究汇刊, 1995, 14(4): 14-30.
- [11] 张齐生, 关明杰, 纪文兰. 毛竹材质生成过程中化学成分的变化[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(2): 7-10.
- [12] 马乃训, 陈光财. 加快发展我国的竹材制浆造纸[J]. 林业科学研究, 2004, 17(专刊): 109-113.

Study on chemical compositions of *Bambusa wenchouensis* wood

SU Wen-hui¹, GU Xiao-ping¹, MA Ling-fei², WU Xiao-li¹, YUE Jin-jun¹, ZHENG Ren-hong¹

(1. The Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. School of Engineering, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The chemical compositions of *Bambusa wenchouensis* wood in the southern area in Zhejiang Province were tested. Compared with those of three bamboo species: *B. textilis*, *B. textilis* var. *fasca*, *Dendrocalamopsis oldhami*, and other fibrous raw materials; tree wood and herbage, the results showed that the average content of holocellulose, lignin, 10 g °kg⁻¹ NaOH extractive and benzene-alcohol extractive was 721.9, 226.4, 251.3 and 46.3 g °kg⁻¹ respectively. With the respect to the criteria required for pulpwood, the holocellulose content of *B. wenchouensis* wood was high comparatively, and the lignin and extractives were average or low, so it was one of superior pulping materials. The contents of holocellulose and pentosan in 1-year-old wood were higher than those in 3-year-old, but the contents of lignin and ash were lower relatively. [Ch, 2 tab. 12 ref.]

Key words: plant chemical; *Bambusa wenchouensis*; bamboo wood; chemical compositions; holocellulose; paper-making