

山黄麻作为造纸原料的基础评价



作者简介：韩绍中先生，硕士，高级工程师；研究方向：制浆造纸工艺，新产品开发。

韩绍中¹ 陈克利^{2,*} 尹玉冬² 吴祖东² 连华阳²

(1. 云南云景林纸股份有限公司, 云南普洱, 666100;

2. 昆明理工大学化学工程学院, 云南昆明, 650500)

摘要：本研究对产自云南省西双版纳1.5年生的山黄麻 (*Trema orientalis*) 进行制浆造纸基础评价。结果表明，山黄麻的木质部纤维平均长度接近1.2 mm，综纤维素和酸不溶木素的含量分别为78%和21%。采用硫酸盐法制浆，在最高蒸煮温度160℃、NaOH用量21%、升温时间90 min、保温时间90 min的条件下，细浆得率为52.7%，再经氧脱木素-二氧化氯-过氧化氢加氧气强化的碱抽提 (ODEop)短程漂白后，其纸浆得率99.6%，白度85.0%，漂白浆的抗张指数为79.0 N·m/g、耐破指数为5.15 kPa·m²/g、撕裂指数为5.81 mN·m²/g。

关键词：山黄麻；硫酸盐法蒸煮；纸浆；漂白

中图分类号：TS727.1 文献标识码：A DOI: 10.11980/j.issn.0254-508X.2019.11.005

Evaluation of *Trema Orientalis* as a Papermaking Raw Material

HAN Shaozhong¹ CHEN Keli^{2,*} YIN Yudong² WU Zudong² LIAN Huayang²

(1. Yunnan Yun-jing Forestry & Pulp Mill Co., Ltd., Pu'er, Yunnan Province, 666100;

2. Faculty of Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan Province, 650500)

(* E-mail: 824449353@qq.com)

Abstract: For the evaluation of 1.5-year-old *trema orientalis* from Xishuangbanna, Yunnan Province, the fiber morphology and chemical composition of its xylem were examined, the average fiber length was close to 1.2 mm, total cellulose content was 78%, and the content of Klason lignin was 21%. Sulfate cooking of *trema orientalis* was conducted under the conditions of NaOH charge 21%, cooking maximum temperature 160℃, cooking time 180 min (including time to maximum temperature 90 min, time at maximum temperature 90 min), the screened yield was 52.7%. Resultant pulp was then bleached via ODEop bleaching sequence, the yield of bleached pulp was 99.6% and brightness 85.0%. The tensile index, burst index and tear index of bleached pulp was 79.0 N·m/g, 5.15 kPa·m²/g and 5.81 mN·m²/g respectively.

Key words: *Trema orientalis*; sulfate cooking; pulp; bleaching

山黄麻 (*Trema orientalis*)，又名山洛麻、麻桐树、山角麻，属榆科山黄麻属，常绿型乔木，寿命仅15~20年即逐步衰败，主要分布在中国广东、广西等南部省份以及印度、日本、东南亚及澳大利亚等地^[1]。山黄麻是典型的速生先锋树种，喜光、生长快、适应性强，在撂荒地和轮歇休闲地能迅速发展起来，形成单优群落并把荒地覆盖，或在退耕还林地上首先长成山黄麻次生植被^[2]。山黄麻的结构特征和生物量分配特征能促进其快速生长^[3]。山黄麻林存在数年后，当喜阴、生长慢的树木逐步在林内发展起来，山黄麻便逐渐死亡，完成其先锋和促进植被演替过渡的作用^[2]。山黄麻树林具有的这种短周期成林特征让人们长期习惯于其自然生长和演替，并没有将其作为

经济树种大面积推广种植。作为一种林木资源，山黄麻木材已用于密度板、胶合板等板材方面^[4-5]，皮部具有清凉、止痛、收敛止血、散瘀、消肿等功效^[6]。我国造纸工业原料结构调整以木材纤维和废纸为转移方向^[7]，但是我国木材资源短缺，且随着近些年纸和纸板生产与消费的增长对木材供应带来更大的压力，有限的森林资源和日益严苛的生态保护要求迫使制浆造纸企业在有限的林地加大对速生丰产树种的培育和生产基地的建设，如南方的桉树、北方的杨树等，以满足

收稿日期：2019-07-15(修改稿)

*通信作者：陈克利，博士，博士生导师；研究方向：节能、清洁化制浆新技术的研究。

造纸用木材的需求。1987年出现山黄麻作为造纸原料方面应用的报道^[8], 随后 Jahan 等人^[9-10]对山黄麻制浆进行研究。在此基础之上, Jahan 等人^[11-12]还较系统地揭示了山黄麻木素与纤维素^[13]的基本特性, 为其后续的制浆造纸应用做了铺垫。据报道, 2年生山黄麻胸径与高度分别能达到21.3 cm和16 m, 比速生的马占相思和桉树长得还快^[13], 因此可以作为造纸原料林建设重点培育的树种。根据研究可知, 山黄麻群落生长到第4年达到生物量的高峰^[14], 这表明4年以上树龄的山黄麻均可进入轮伐期, 就造纸工业原料林基地建设而言, 山黄麻生长快、轮伐周期短, 是一种具有明显速生丰产优势的原料。同时, 在桉木种植争议较大的背景下, 山黄麻以其较高的制浆得率和良好的纸浆特性, 作为新的制浆造纸纤维原料具有广阔的发展空间, 可以在其适生区域作为林纸一体化建设重点规划的发展方向。

本实验通过对西双版纳自然生长的山黄麻做制浆造纸原料应用的基础评价, 旨在为山黄麻树种作为造纸原料应用提供依据。

1 实验

1.1 原料与试剂

山黄麻(1.5年树龄、胸径15.9 cm、高度为6.5 m), 取自西双版纳勐海县, 由云南云景林纸股份有限公司提供, 按照文献[15]中方法进行处理。

NaOH, 质量分数96%, 广州光华科技股份有限公司; Na₂S, 质量分数98%, 西陇化工股份有限公司; H₂O₂, 质量分数30%, 西陇化工股份有限公司; MgSO₄, 质量分数99%, 天津市风船化学试剂科技有限公司; 乙二胺四乙酸(EDTA), 质量分数99%, 国药集团化学试剂科技有限公司。

1.2 实验设备

电热蒸煮锅, 型号ZQS1-15, 陕西科技大学机械厂; 纤维质量分析仪, 法国Techpap公司; 白度仪, 型号DN-B, 杭州高新自动化仪表有限公司; 撕裂度测定仪, 型号DCP-SLY1000, 四川长江造纸仪器有限责任公司; 拉力仪, 型号WZL-300, 杭州青通博科自动化技术有限公司; 耐破度测定仪, 型号DCP-NPY1200B, 四川省长江造纸仪器责任有限公司。

1.3 纤维形态分析

从选取的上、中、下木段中选择具有代表性的部分, 根据测定指标要求进行原料的处理。按文献[13]所述方法进行制样并对其纤维长度、宽度、壁厚、腔径进行测定。

1.4 化学成分分析

将木段剩余部分去皮后沿径向劈开, 上、中、下对角各取一段, 按GB/T 2677.1—1993进行处理、粉碎, 过筛并存储于试样瓶中, 备用。所有检测过程均按照文献[15]中方法进行。

1.5 硫酸盐法蒸煮

参照文献[15]中所列标准方法对硫酸盐蒸煮工艺技术条件进行选择和优化、蒸煮后对纸浆质量进行评价(得率、卡伯值、黏度等)以及蒸煮黑液进行分析(pH值、残碱)。蒸煮工艺为: 最高温度160℃, 升温时间90 min, 保温时间90 min, 液比1:4, 用碱量以NaOH计。

1.6 纸浆漂白

蒸煮后选取较好纸浆样品按照氧脱木素(O)、二氧化氯(D)和过氧化氢加氧气强化的碱抽提(Eop)等无元素氯漂白工艺进行漂白, 漂白工艺为: 浆浓10%; O段的初始氧压0.5 MPa, 温度90℃, 时间60 min; D段的温度70℃, 时间90 min; Eop段的初始氧压0.5 MPa, 温度85℃, 时间60 min。参照文献[15]所述方法对漂白纸浆性能(得率、卡伯值、白度、黏度等)评价及漂白废液(pH值、漂剂残余量)进行检测。

1.7 纸浆物理性能测定

用PFI磨将纸浆打浆至(45±1)°SR, 按照QB/T 3703—1999进行抄片。参照文献[15]对手抄片定量、厚度、抗张强度、耐破度、撕裂度、耐折度等进行测定。

2 结果与讨论

2.1 纤维形态分析

山黄麻纤维形态检测结果列于表1。从表1中可以看出, 山黄麻木质部和韧皮部差异非常大。木质部纤维上、中、下各部分比较均匀, 平均长度约1.1~1.2 mm, 略长于桉木浆纤维(0.8~0.9 mm), 且壁腔比仅为0.25左右, 壁薄腔大, 能赋予纸张较好的柔软性, 但会降低纤维自身的强度。韧皮部纤维平均长度远高于木质部, 超过普通针叶木纤维长度(思茅松3 mm左右), 呈细长状, 与构树皮、麻皮等韧皮纤维类似。

2.2 化学成分分析

表2为山黄麻化学成分分析结果, 并列出了云南云景林纸股份有限公司的雷林桉木(4~5年生)化学组分作为对比。从表2可以看出, 山黄麻木质部纤维素含量为47.78%, 与云景林纸雷林桉木含量基本相

表1 山黄麻纤维形态检测结果

部位		平均长度	平均宽度	长宽比	平均壁厚	平均腔径	壁腔比
		/mm	/μm		/μm	/μm	
木质部	上部	1.07	38.45	27.8	1.84	20.38	0.18
	中部	1.20	31.23	38.4	1.86	19.03	0.20
	下部	1.08	29.00	37.2	3.14	19.68	0.32
韧皮部	上部	2.32	38.17	60.8			
	中部	4.81	23.13	208.0			
	下部	4.11	23.17	177.4			

注 韧皮部因组织细胞解剖难以成形,无法进行相应的测定。

表2 山黄麻化学成分分析结果

	灰分	抽出物				纤维素	综纤维素	酸不溶木素	多戊糖
		冷水	热水	1% NaOH	苯-醇				
山黄麻木质部	1.35	3.94	6.21	27.25	2.73	47.78	77.48	21.01	23.82
山黄麻韧皮部	5.53	19.82	27.99	54.06	2.81	26.63	43.81	33.49	13.43
雷林桉木	0.38	2.40	3.67	13.60	0.98	48.40	80.89	24.50	21.29

表3 山黄麻常规硫酸盐法蒸煮结果

编号	用碱量	硫化度	黑液残碱	浆渣	细浆得率	卡伯值	黏度	白度	
	%	%	/g·L ⁻¹	%	%		/mL·g ⁻¹	%	
木质部	1 [#]	19	28	5.65	31.95	23.0	31.5	1603	27.4
	2 [#]	21	28	7.60	10.95	43.1	24.9	1566	30.8
	3 [#]	23	28	9.28	0.79	50.0	18.5	1386	31.6
	4 [#]	21	12	10.53	3.57	49.7	15.1	1386	32.2
	5 [#]	21	12	9.89	0.56	52.7	16.8	1241	31.7

注 4[#]和5[#]添加0.3%蒽醌助剂,其中1[#]~4[#]用1 L小罐蒸煮,5[#]用15 L大锅蒸煮。

近,酸不溶木素和综纤维素含量略低。由山黄麻化学组分含量推测,山黄麻制浆得率应与桉木相当,且木素易于脱除。灰分、抽出物等含量偏高,这与所用山黄麻树龄较低有关,因为1.5年生幼树龄山黄麻正处于快速生长期,分泌物相对较高。分析可得山黄麻木质部纤维素含量较高而木素含量略低,因此可以判断山黄麻是一种适宜于制浆的阔叶木原料。

从表2还可以看出,山黄麻韧皮部纤维素含量仅为26.63%,但是1% NaOH抽出物为54.06%,酸不溶木素含量33.49%,因此韧皮部不适用于制浆。但是山黄麻韧皮部纤维长度最高可接近5 mm,其可能会在一些高附加值的特殊纸种中得到应用。

2.3 硫酸盐法蒸煮

山黄麻在制浆造纸中的应用,已有原产于中国台湾和巴基斯坦的山黄麻相关报道^[7-9],而对原产于中国大陆的山黄麻,本实验属首次涉及。本实验采用硫酸

盐法制备山黄麻化学浆,并对较优条件所得纸浆的各项指标进行了检测分析,结果列于表3。由表3可知,当用碱量在23%时,细浆得率达到了50.0%,卡伯值为18.5,制浆效果较好,与云景林纸雷林桉木硫酸盐浆的生产控制目标基本相同。当用碱量为19%和21%时,用碱量偏低,纸浆浆渣较多(10%以上),卡伯值明显偏高;通过在蒸煮过程中加入蒽醌助剂,其脱木素效果优于用碱量23%脱木素效果,同时用碱量降低2个百分点,硫化度降低57%。采用15 L大锅蒸煮,用碱量为21%时,细浆得率达到52.7%。这说明只要工艺适合,山黄麻制浆效果与桉木相近,是良好的造纸原料。

从表3还可知,4[#]与5[#]的蒸煮工艺相同,但小罐蒸煮后浆渣多。其原因主要是山黄麻木片大小不一,在回转蒸煮锅内旋转时受罐体空间限制,较大尺寸的木片与药液的混合均匀性差所致。

表4 山黄麻硫酸盐本色浆的ODEop漂白工艺与结果

漂白段	漂白条件	漂白液残留量/g·L ⁻¹			纸浆			
		NaOH	H ₂ O ₂	ClO ₂	得率/%	卡伯值	黏度/mL·g ⁻¹	白度/%
O段	MgSO ₄ 用量0.5%, NaOH用量2.0%	0.52			97.1	7.9	1156	50.7
D段	ClO ₂ 用量1%, pH值3.5~4.0				98.2	3.1	1144	73.4
Eop段	H ₂ O ₂ 用量1%, NaOH用量0.8%, Na ₂ SiO ₃ 用量1.5%, EDTA用量0.5%, MgSO ₄ 用量0.5%	1.05	0.57		99.6	2.2	960	85.0

注 漂白时化学药品用量、漂白纸浆得率均是以各段起始纸浆的绝干质量百分比计。

表5 山黄麻本色浆与漂白浆的物理指标

浆种	定量/g·m ⁻²	紧度/g·cm ⁻³	抗张指数/N·m·g ⁻¹	耐破指数/kPa·m ² ·g ⁻¹	撕裂指数/mN·m ² ·g ⁻¹	耐折度/次	抽出物*/%
本色浆	71.3	0.67	88.2	6.10	5.76	634	0.23
漂白浆	68.4	0.67	79.0	5.15	5.81	485	0.18

注 *为二氯甲烷抽提。

2.4 纸浆漂白

通过对山黄麻硫酸盐蒸煮工艺的探索,可以看出山黄麻的蒸煮效果比较理想。进而对其漂白性能进行了进一步的研究。由于山黄麻硫酸盐浆的特性类似于雷林桉木硫酸盐浆,因此参照云景林纸桉木硫酸盐浆ODEop的漂白工艺,对山黄麻5#浆(见表3)进行漂白,漂白工艺与结果见表4。由于5#纸浆卡伯值低于17,因此,D段和Eop段用缓和的漂白条件就能把纸浆漂至85.0%的白度。以蒸煮前绝干木片为准,ODEop漂后纸浆得率损失小于3个百分点。说明实验采用的漂白工艺对山黄麻本色浆比较适宜,山黄麻本色浆具有较好的可漂性。

2.5 纸浆物理性能指标评价

表5为山黄麻本色浆与漂白浆的物理指标。从表5可以看出,山黄麻纸浆结合强度较好,漂白浆的抗张指数和耐破指数分别为79.0 N·m/g和5.15 kPa·m²/g,而本色浆的这两项指标分别高出漂白浆11%、12%。漂白浆和本色浆的撕裂指数分别为5.81 mN·m²/g和5.76 mN·m²/g,略低于桉木浆合格品撕裂指数的标准。庞志强等人^[16]研究认为,树龄对于纸浆强度影响较大。本实验采用的原料树龄仅1.5年,因此影响了纸浆的撕裂强度。谷云川等人^[8]用14年生山黄麻制备的纸浆撕裂指数超过7.5 mN·m²/g,山黄麻纸浆撕裂强度随着树龄的增长有了较大幅度的提高。另外,山黄麻漂白浆树脂类抽提物仅为0.18%,相对桉木而言,降低了生产过程中出现树脂障碍的风险。

3 结论

本实验通过对产自云南西双版纳的1.5年生山黄麻(*Trema orientalis*)进行制浆造纸的基础研究,探讨了山黄麻作为造纸原料的可行性。

3.1 山黄麻木质部平均纤维长度接近1.2 mm,细胞壁较薄,其壁腔比平均不到0.3,而韧皮部平均纤维长度可超过4 mm,可以视为特种纤维。木质部的纤维素含量47.78%,酸不溶木素含量21.01%,低于桉木,韧皮部纤维素含量仅为26.63%,制浆过程中宜去除韧皮部。

3.2 经硫酸盐法蒸煮5#山黄麻木片,细浆得率52.7%、卡伯值16.8、黏度1241 mL/g,是一种较为理想的本色浆;通过ODEop工艺进行漂白,可得到白度85.0%、黏度960 mL/g的漂白浆。

3.3 山黄麻本色浆和漂白浆均具有很好的纤维结合强度、较高的抗张指数和耐破指数;本色浆的抗张指数和耐破指数分别为88.2 N·m/g和6.10 kPa·m²/g,漂白浆的抗张指数和耐破指数分别为79.0 N·m/g和5.15 kPa·m²/g;两种浆撕裂指数均相对较低。

3.4 山黄麻生长快,轮伐周期短,易于制浆和漂白,纸浆物理强度较好,是一种适合推广种植的造纸原材料。

参 考 文 献

- [1] YANG Ben-chao. Drought-tolerant "Pioneer Tree" ——*Trema orientalis*[J]. Yunnan Forest, 2013, 34(2): 64.
杨本超. 耐旱的“先锋树种”——山黄麻[J]. 云南林业, 2013, 34

- (2): 64.
- [2] WANG Zhi-jun, CAO Min, LI Guo-feng. Analysis on the structure and function of the bird communities in Tremaorientalis forest in Xishuanbanna, Yunnan[J]. Biodiversity Science, 2003, 11(3): 216. 王直军,曹敏,李国锋. 西双版纳山黄麻林鸟类群落结构及功能分析[J]. 生物多样性, 2003, 11(3): 216.
- [3] WANG Hui, CAI Zhi-quan, CAI Chuan-tao, et al. A Comparative study of two tropical pioneer species with different lifespan under different light and nutrient conditions [J]. Plant Science Journal, 2008, 26(1): 134. 王辉,蔡志全,蔡传涛,等. 不同光照和营养条件下两种不同寿命热带先锋种的对比研究[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(1): 134.
- [4] HUANG Yao-fu, JIANG Ji-long. Study on gluing technology of afforestation tree-type high-cycle splices (II): albizziafalcata, verniciamontana, tremaorientalis, sweetgum[J]. China Forest Products Industry, 1994, 13(1): 89. 黄耀富,江吉龙. 造林木高周波拼板胶合之研究(II)马六甲合欢、木油桐、山黄麻及枫香[J]. 林产化工, 1994, 13(1): 89.
- [5] LAN Hao-fan, HUANG Yao-fu. Manufacturing of medium density fiberboard (II) scheffleratrees, formosanelder, tremaorientalis and giant leucaena as raw material for fiberboard manufacture [J]. China Forest Products Industry, 1991, 10(1): 35. 蓝浩繁,黄耀富. 中密度纤维板之研制(二)江某、台湾赤杨、山黄麻、银合欢为原料之纤维板制造[J]. 林产工业, 1991, 10(1): 35.
- [6] YU Chang-shi. The invention relates to a traditional Chinese medicine composition and a preparation method for treating bone hyperplasia and shoulder disc protrusion: CN, 201610669468.9 [P]. 2016-08-16. 余昌仕. 一种治疗骨质增生、肩盘突出的中药组合物及其制备方法: 中国, 201610669468.9 [P]. 2016-08-16.
- [7] CAO Pufang, CAO Zhenlei, KUANG Shijun. Strategic Study on Fiber-raw Materials Structure Adjustment of China's Paper Industry [J]. China Pulp & Paper, 2003, 23(6): 55. 曹朴芳,曹振雷,邝仕均. 我国造纸工业原料结构调整战略研究(下)[J]. 中国造纸, 2003, 23(6): 55
- [8] GU Yun-chuan. Chen Xin-tai. Chen Rong-zu. Wood fiber characteristics and pulping experiment of fast-growing tree species (1)-Tremaorientalis, Albizziafalcata and Cunninghamia lanceolata [J]. Bulletin of Taiwan Forestry Research Institute, 1987, 2(4): 319. 谷云川,陈信泰,陈荣祖. 速生树种木材纤维性质与制浆试验(一)山黄麻、麻六甲合欢及杉木[J]. 林业实验所研究报告季刊, 1987, 2(4): 319.
- [9] Jahan M. S, Chowdhury N, Ni Y-H. Effect of different locations on the morphological, chemical, pulping and papermaking properties of Tremaorientalis (Nalita) [J]. Bioresource Technology. 2010, 101: 1892.
- [10] Jahan M S, Rubaiat A, Sabina R, et al. Kraft pulping and bleaching of Tremaorientalis (nalita) [J]. Cellulose Chem. Technol., 2008, 42(4/6): 223.
- [11] Jahan M S, Mun S P. Characteristics of dioxanelignins isolated at different ages of nalita wood (Tremaorientalis) [J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2007, 27: 83.
- [12] Jahan M S, Mun S P. Characteristics of milled wood lignins isolated from different ages of nalita wood (Tremaorientalis) [J]. Cellulose Chem. Technol., 2006, 40(6): 457.
- [13] Jahan M S, Mun S P. Effect of tree age on the cellulose structure of nalita wood (Tremaorientalis) [J]. Wood Sci. Technol., 2005, 39: 367.
- [14] FENG Zhi-li, TANG Jian-wei, ZHENG Zheng, et al. Biomass dynamics of the pioneer Tremaorientalis community in the early stages of secondary succession of tropical forest in Xishuangbanna [J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(5): 1. 冯志立,唐建维,郑征,等. 西双版纳热带森林次生演替初期山黄麻先锋群落生物量动态[J]. 生态学杂志, 1999, 18(5): 1.
- [15] SHI Shu-lan, HE Fu-wang. Analysis and detection of pulping and papermaking [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014. 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, 2014.
- [16] PANG Zhiqiang, CHEN Jiachuan, YANG Guihua. Fiber Morphology and Pulping Properties of Narrow-crown Poplar 11 at Different Ages [J]. China Pulp & Paper, 2007, 26(9): 1. 庞志强,陈嘉川,杨桂花. 不同树龄窄冠杨黑11纤维形态与制浆性能[J]. 中国造纸, 2007, 26(9): 1. [CPP]

(责任编辑:黄 举)

· 消息 ·

《Paper and Biomaterials》2020年征订启事

《Paper and Biomaterials》是由中国造纸学会和中国制浆造纸研究院有限公司主办的造纸及生物质材料方面的学术性英文期刊。本刊聚焦国内外制浆造纸及生物质材料学科的前沿热点,反映制浆造纸及生物质材料学科的科研成果、技术进展和发展趋势,促进国际间的学术交流与合作,推动制浆造纸技术和相关生物质产业技术快速发展;主要刊登制浆造纸及生物质材料方面的研究论文、技术进展及相关领域的文献综述。

《Paper and Biomaterials》为季刊,出版日期为1月15日、4月15日、7月15日、10月15日;刊号:ISSN 2096-2355 CN 10-1401/TS, 自办发行。

《Paper and Biomaterials》为大16开本。国内定价:纸质版40元/册,电子版40元/册,纸质版+电子版70元/册;国外及港澳台地区定价:纸质版40美元/册,电子版40美元/册,纸质版+电子版70美元/册。

编辑部地址:北京市朝阳区启阳路4号中轻大厦607室
邮政编码:100102

电话:(010) 64778173 (发行部)

(010) 64778162/8163 (编辑部)

传真:(010) 64778174

E-mail: pbm607@vip. 163. com