

苎麻纤维的柔化改性研究

彭发庭, 陈紫琼, 贺国文*, 王 璞, 邢健敏, 谢 湘, 王子渝, 舒晓玉

湖南城市学院材料与化学工程学院, 低碳与环境功能材料湖南省普通高校重点实验室, 湖南 益阳

收稿日期: 2025年4月2日; 录用日期: 2025年5月5日; 发布日期: 2025年5月13日

摘 要

苎麻纤维作为世界上最长的天然纤维, 具有很高的杨氏模量, 但其细胞的尖端会对皮肤产生刺痒感导致其在纺织生产中没有得到重要的应用。有必要对苎麻纤维进行柔化改性。本研究在碱法脱胶的基础上, 对比研究了碱法处理、硅烷偶联剂处理及其组合处理对苎麻纤维微观结构和力学性能的影响。研究结果表明: 采用硅烷偶联剂KH550或NaOH处理都能在一定程度上提高纤维柔软度。传统碱法脱胶中加入甘油再用KH550改性后的苎麻纤维的模量由218 cN/dtex降至70 cN/dtex, 模量仅剩32%, 性能接近于棉纤维, 达到了柔化改性的效果。

关键词

苎麻纤维, 柔化, 改性, 力学性能

Study on the Softening Treatment of Ramie Fiber

Fating Peng, Ziqiong Chen, Guowen He*, Pu Wang, Jianmin Xing, Xiang Xie, Ziyu Wang, Xiaoyu Shu

Key Laboratory of Low Carbon and Environmental Functional Materials of College of Hunan Province, School of Materials and Chemical Engineering, Hunan City University, Yiyang Hunan

Received: Apr. 2nd, 2025; accepted: May 5th, 2025; published: May 13th, 2025

Abstract

Ramie fiber, as the world's longest natural fiber, has a high Young's modulus, but the tip of its cells will itch the skin, leading to its not being used in textile production. It is necessary to soften ramie fiber. On the basis of alkali degumming, the effects of alkali treatment, silane coupling agent treatment and their combination treatment on the microstructure and mechanical properties of ramie

*通讯作者。

文章引用: 彭发庭, 陈紫琼, 贺国文, 王璞, 邢健敏, 谢湘, 王子渝, 舒晓玉. 苎麻纤维的柔化改性研究[J]. 材料科学, 2025, 15(5): 920-926. DOI: 10.12677/ms.2025.155096

fiber were studied. The results show that both silane coupling agent KH550 and NaOH can improve the softness of fiber. The modulus of ramie fiber modified by KH550 after adding glycerol in traditional alkali degumming was reduced from 218 CN/dtex to 70 CN/dtex, and the modulus was only 32% to that of original ramie. The performance was close to that of cotton fiber, which achieved the effect of softening modification.

Keywords

Ramie Fibre, Modification, Softening, Mechanical Property

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

苧麻(*Boehmeria nivea* (L.) Gaudich.)作为我国独特的大麻纺织材料,被称为“万年衣祖”[1]。苧麻纤维是一种从剥去苧麻茎部、韧皮部得到的一种管束纤维,是最长的纤维之一[2][3],纤维轴上平行排列的纤维具有高的抗拉强度和刚性[4]。苧麻纤维素是一种由 β -1,4糖苷键、 β -d-葡萄糖环烃两者相互交联产生的直链大分子(见图1),结构单元中含3个位置不同的羟基,性能与一般的醇羟基相似,成为发生化学反应的位点。

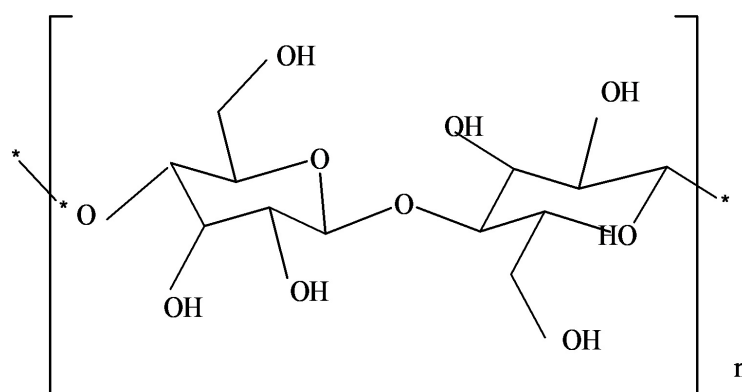


Figure 1. Molecular chemical structure of ramie fiber
图 1. 苧麻纤维分子化学结构

苧麻除优异的力学性能和天然防霉防臭、抗菌抑菌功能[4],应成为纺织领域良好的选择,但在高端服装、家居纺织品都鲜见其身影,原因在于苧麻有个刺痒感最致命的弱点。为拓宽苧麻纤维在纺织等领域的应用,有必要对苧麻纤维进行柔化改性。苧麻纤维的处理常用碱液[5][6]、液氨[7][8]、柠檬酸[9][10]、金属离子[11]、离子液体[12][13]、生物炭[14]等来进行,达到提高纤维中羟基的活性,以有利于后续柔化改性。常用化学改性来提高苧麻的柔软性[6][9][12],其方法性主要是运用化学反应在纤维的表面引入新的官能团,在纤维的表面上形成一层富含柔软剂大分子的薄膜。本研究在采用碱液对苧麻进行脱胶预处理的基础上,采用“甘油 + 硅烷偶联剂”对苧麻纤维进行柔化改性,探究苧麻纤维柔化效果,为苧麻纤维的推广应用提供基础性数据参考。

2. 实验部分

2.1. 主要的实验原料与仪器设备

主要的实验原料：苧麻，产自湖南沅江，经过手工剥皮后分离麻秆除去表皮后得到，自然风干后再通风干燥，备用；浓硫酸、醋酸、无水乙醇、硝酸、过氧化氢、无水硫酸钠、尿素、多聚磷酸钠、氢氧化钠、硅烷偶联剂(KH550)、丙三醇，均为分析纯，购自国药试剂。

主要仪器设备有：超声波清洗器，BL6-180，上海比朗仪器；扫描电镜，MIRA4L，TESCAN；傅里叶变换红外光谱仪，IRXROSS，日本岛津；电子单纤维强度测试仪，FAVIM，射阳永丰。

2.2. 苧麻纤维的柔化改性

本论文主要通过不同脱胶方法利用 KH550 改性苧麻纤维，以得到更加柔软的苧麻纤维。用蒸馏水反复洗涤苧麻纤维后，在 80℃ 下充分超声震荡 3 h。

(1) 碱法预处理与偶联剂改性

预处理：将原始干皮手工切成约 10 cm 长的片段，把恒温水浴锅调节至 50℃ 后把苧麻纤维浸泡在 1% 的硫酸溶液中处理 1 h。冷却至常温后用蒸馏水不断冲洗至中性，最后在 105℃ 的真空烘箱中烘干。

浸泡处理：将洗净的苧麻纤维分别浸入室温下的等体积的 5% NaOH 溶液、3% 硅烷偶联剂溶液、NaOH 与硅烷偶联剂混合溶液中，分别静置 1、2、3、6、8 h 的改性处理。不断用蒸馏水洗涤至纤维呈现中性，60℃ 烘干，备用。

(2) 传统脱胶后采用偶联剂改性

预处理：将原始干皮手工切成约 10 cm 长的片段，把恒温水浴锅调节至 50℃ 后把苧麻纤维浸泡在 1% 的硫酸溶液中处理 1 h。冷却后用蒸馏水洗至中性，在 105℃ 的真空烘箱中烘干。

脱胶处理：采用传统碱性脱胶法用“两步碱性烹饪法”进行脱胶。选用一定量的苧麻纤维在 1% 氢氧化钠的溶液中加入添加剂(3% 过氧化氢、3% NaSiO₃、2% 硫酸钠、3% 尿素、3% 多聚磷酸钠)在液固比为 20:1 的条件下煮沸洗涤，加入少量甘油减少纤维之间的交联并作为变量。

柔化及后处理：将洗净的苧麻纤维分别浸入室温下的等体积的 5% NaOH 溶液、3% 硅烷偶联剂溶液、NaOH 与硅烷偶联剂混合溶液中，经过 2 h 的改性处理后不断用蒸馏水洗涤至纤维呈现中性，60℃ 烘干，备用。

2.3. 实验原理

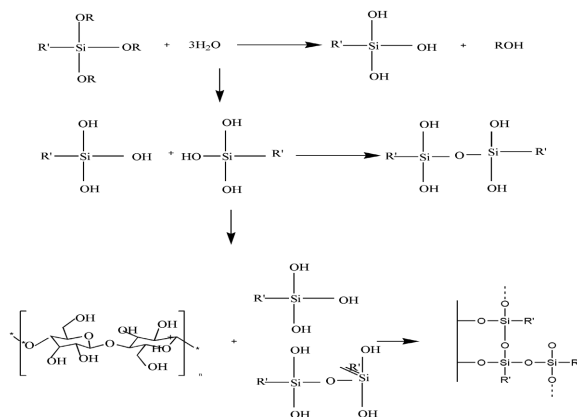


Figure 2. Mechanism of softening ramie with silane coupling agent

图 2. 硅烷偶联剂柔化改性苧麻原理

如图 2 所示, 苧麻纤维分子上的羟基与柔软剂分子上的羟基相互发生交联, 交联之后会在苧麻纤维表面上形成网状的薄膜从而在受到外力作用后降低摩擦系数, 提高柔软度。

2.4. 改性前后苧麻纤维的性能变化研究

2.4.1. 纤维直径及细度测试分析

通过测定改性前后苧麻纤维的细度和直径对比, 探讨 KH5550 对苧麻纤维的影响。根据 GB/T5884-1986 采用“中段切割称量法”测定苧麻纤维的线密度。在 Y171B 切纤维机的切缝平面上切割出对齐的垂直纤维, 并称量切割后的纤维重量。通过计算纤维的数量来计算纤维的线密度。根据被切断的纤维束的数量和质量, 度量计数 Nm 由公式(1)得到。

$$Nm = \frac{D \times N}{m} \quad (1)$$

式中, Nm : 纤维米制计数; D : Y171B 光纤切割机的宽度(m); N : 切割纤维数; m : 纤维质量(g)。

纤维细度的振动法: 采用 FAVIMAT AIROBOT 全自动单纤维强度测试仪, 对单纤维施加一定张力使其变直, 测量线密度。利用弦振动原理, 对限于上沿与下沿之间振动的光纤进行受力振动, 根据光纤的自振频率估算出光纤的线密度, 如公式(2)所示:

$$Nt = \frac{F}{4S^2 f^2} \times 10^8 \quad (2)$$

式中, Nt : 纤维线密度(tex); F : 纤维上的预张力尺寸(cN); f : 共振频率; 光纤横向弦振动的固有频率(Hz); S : 两卡盘间的纤维长度。

纤维直径: 将苧麻纤维样品置于直立荧光显微镜 LAS V4.8 软件下, 在每根纤维上随机选取 20 个点测量纤维直径。每次测量 5 根样品纤维, 求取平均直径。

2.4.2. 改性前后苧麻纤维力学性能检测

根据 GB/T5886-1986《苧麻单纤维断裂强度试验方法》, 采用 FAVIMAT 全自动单纤维强度测试仪对每根苧麻纤维试样的断裂伸长率、断裂强度、断裂韧性、初始模量进行测定。每组测量 10 根纤维, 取平均值作为最终结果。

2.4.3. 苧麻纤维的微观形貌观察

利用扫描电镜观察了苧麻纤维的表面形貌, 样品喷金处理。在 15 kv 电压下, 观察样品表面微观形貌。

3. 结果与讨论

3.1. 改性对苧麻纤维微观形貌影响

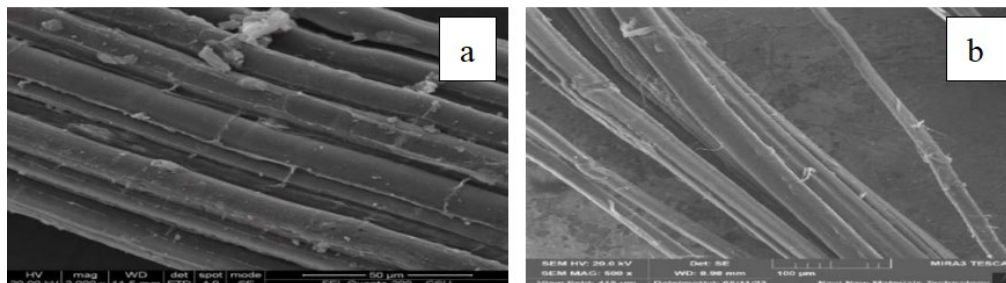


Figure 3. SEM images of ramie fiber before and after modification (a) raw ramie; (b) ramie after modification
图 3. 改性前后苧麻纤维的扫描电镜图(a) 为原麻; (b) 为改性后苧麻纤维

图 3 为原苧麻(a)及“硅烷偶联剂 + 甘油”改性后的苧麻纤维(b)的扫描电镜图。易见改性后的苧麻纤维表面出现了明显的毛状结构, 表面开始变得不平整。所以经过碱液改性后的苧麻纤维之间的摩擦增加, 表面开始变得不平整。说明碱液溶胀了纤维表面的纤维素等胶质, 使得表面开始变得不平整。

3.2. 不同处理方法对苧麻纤维柔化程度的影响

分别在普通碱法处理和“两步碱法煮沸法”下对比苧麻纤维的细度、力学性能等的变化, 观察苧麻纤维的表征。

3.2.1. 改性前后苧麻纤维细度的变化

用称重法和显微镜对纤维细度和直径进行测试, 结果见表 1。传统脱胶下的苧麻纤维细度为 1492 Nm, 符合国家标准 1500 Nm 的二级要求。5% NaOH 处理 2 h 后, 纤维更细, 纤维细度分别为 1639 nm。苧麻纤维直径由 29.44 μm 减小到 22.67 μm, 这是由于碱液溶解纤维表面外的胶状物质引起的, 与图 3 SEM 结果一致。

Table 1. Fineness/diameter of ramie fiber before and after modification
表 1. 苧麻纤维改性前后的细度/直径

苧麻样品的处理方法	纤维细度/线密度(nm)	纤维直径(μm)
传统脱胶法	1492 ± 80	29.44 ± 5.62
3%KH550 处理 2 h	1330 ± 75	30.23 ± 2.34
5%NaOH 处理 2 h	1639 ± 79	22.67 ± 2.79
5%NaOH+3%KH550 处理 2 h	1694 ± 11	22.59 ± 4.52
传统脱胶 + 3%KH550 + 甘油处理 2 h	1666 ± 139	23.11 ± 2.91

3.2.2. 改性前后苧麻纤维力学性能的变化

断裂伸长率、断裂强度、断裂韧性和模量是评价纤维耐磨性最重要的力学指标, 本研究对改性前后苧麻纤维的力学性能进行了充分测定, 结果如表 2。可以看出, 随着处理时间的不断增加, 纤维的断裂强度、断裂韧性和纤维模量逐渐降低, 而纤维的断裂伸长率随着处理时间的增加而增加。结果表明: 两步脱胶加入甘油后用 KH550 改性后的纤维, 纤维模量由 218cN/dtex 降至 70 cN/dtex, 模量仅剩 32%, 性能接近棉纤维。同时, 纤维的断裂强度从 6.435 cN/dtex 降低到 3.21 cN/dtex, 纤维的断裂强度仍保持在 62% 左右。由表 2 可以看出, 经柔化处理后的苧麻纤维力学性能与棉花相近, 说明该纤维耐磨性强, 但穿着依然柔软。

Table 2. Mechanical properties of ramie fiber before and after modification and comparison with cotton fiber
表 2. 改性前后苧麻纤维的力学性能及与棉纤维的对比

苧麻纤维不同处理方法	断裂伸长率 (%)	断裂强度 (cn)	断裂韧性 (cn/dtex)	初始模量 (cn/dtex)
未处理(原纤维)	1.24 ± 1.01	42.44 ± 12.36	6.73 ± 1.54	230 ± 49
传统脱胶纤维	2.33 ± 0.52	39.36 ± 11.69	5.42 ± 1.46	209 ± 58
5%NaOH 处理 1 h	2.33 ± 0.52	39.36 ± 11.69	6.53 ± 1.13	225 ± 23
5%NaOH 处理 2 h	1.45 ± 0.65	41.23 ± 8.77	6.41 ± 1.56	220 ± 35
5%NaOH 处理 3 h	1.87 ± 1.10	40.75 ± 9.26	6.35 ± 1.34	218 ± 37

续表

5%NaOH 处理 6 h	2.30 ± 0.43	41.80 ± 9.96	5.67 ± 1.20	198 ± 24
5%NaOH 处理 8 h	3.59 ± 1.25	29.46 ± 10.54	4.45 ± 2.79	154 ± 54
5%NaOH, 2 h, 90℃	3.59 ± 1.25	35.64 ± 12.77	5.94 ± 1.31	186 ± 29
5%NaOH + 3%KH550 处理 1 h	3.59 ± 1.25	33.23 ± 11.03	6.55 ± 1.60	129 ± 49
5%NaOH + 3%KH550 处理 2 h	3.59 ± 1.25	33.23 ± 11.03	6.30 ± 1.37	218 ± 25
5%NaOH + 3%KH550 处理 3 h	1.76 ± 0.74	33.23 ± 11.03	5.75 ± 1.25	218 ± 25
5%NaOH + 3%KH550 处理 6 h	2.25 ± 1.91	30.79 ± 9.01	5.30 ± 1.86	167 ± 35
5%NaOH + 3%KH550 处理 8 h	2.59 ± 0.69	28.7 ± 10.41	5.30 ± 1.86	167 ± 35
5%NaOH + 3%KH550 处理 2 h, 90℃	2.10 ± 0.42	38.66 ± 12.77	5.30 ± 1.86	217 ± 27
传统脱胶 + 3%KH550 处理 2 h, 90℃	2.10 ± 0.42	27.5 ± 16.07	5.30 ± 1.86	70 ± 39
棉纤维	2.10 ± 0.42	-	5.30 ± 1.86	60~82

4. 结论

- (1) 合理降低碱液的浓度采用“两步煮沸烹饪法”脱胶后再用 KH550 改性很大程度上的改善了苧麻纤维的柔软度。甘油可以减少纤维之间的交缠从而明显的提高苧麻纤维的柔化效果。
- (2) 柔化处理后，纤维直径下降。纯 3% KH550 改性并没有去除纤维的胶质，所以其纤维的线密度低、且纤维直径较大，导致柔化改性效果很差。
- (3) 两步脱胶加入甘油后用 KH550 改性后的纤维，纤维模量由 218cN/dtex 降至 70 cN/dtex，模量仅剩 32%，性能接近棉纤维。

基金项目

湖南省自然科学基金(编号: 2025JJ70380), 2023 年国家级大学生创新训练项目(编号: S202311527073)。

参考文献

[1] 李亚玲, 杨燕, 苟云, 等. 苧麻资源材料的纤维支数与生物性状相关分析[J]. 农业与技术, 2017, 37(14): 62-63.

[2] 刘璇. 苧麻纤维增强聚乳酸复合材料的制备与性能研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017.

[3] 张勇, 鄢勇气. 苧麻纤维化学改性研究进展[J]. 化学研究, 2021, 32(3): 277-282.

[4] 石树莲. 天然大麻/棉保健纺织品的开发[J]. 轻纺工业与新技术, 2008, 37(5): 2-3.

[5] Dias, Y.J., Kolbasov, A., Sinha-Ray, S., Pourdeyhimi, B. and Yarin, A.L. (2020) Theoretical and Experimental Study of Dissolution Mechanism of Cellulose. *Journal of Molecular Liquids*, **312**, Article 113450. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113450>

[6] Gao, M., Chen, S., Han, J., Luo, D., Zhao, L. and Zheng, Q. (2010) Effects of a Pretreatment with n-Methylmorpholine-n-Oxide on the Structures and Properties of Ramie. *Journal of Applied Polymer Science*, **117**, 2241-2250. <https://doi.org/10.1002/app.31956>

[7] 闫畅. 苧麻低温柔化处理的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2015.

[8] 刘昭铁, 熊和平, 彭源德, 等. 苧麻纤维改性研究进展[J]. 材料导报, 2006, 20(1): 77-80.

[9] 孟承翰, 罗皓文, 刘昊, 等. 柠檬酸改性苧麻纤维增强聚丁二酸丁二醇酯的性能研究[J]. 中国塑料, 2024, 38(12): 54-59.

[10] 陈林. 柠檬酸改性的苧麻纤维掺杂 PBS 复合材料制备及性能研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2023.

[11] 曾婵娟, 陈珍珍, 肖春艳, 等. 铜锌离子络合壳聚糖改性苧麻纤维的性能[J]. 印染助剂, 2023, 40(1): 30-35.

-
- [12] Cheng, L., Duan, S., Feng, X., Zheng, K., Yang, Q., Xu, H., *et al.* (2020) Ramie-Degumming Methodologies: A Short Review. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **15**, 1-7. <https://doi.org/10.1177/1558925020940105>
- [13] Lv, W.W., Nie, K., Song, Y., *et al.* (2020) Improving Ramie Fibers Softness Using Ionic Liquid Treatment. *Journal of Natural Fibers*, **5**, 65-73.
- [14] Li, M., Chen, X., Chen, C., Huang, L., Chi, H., Zhao, N., *et al.* (2023) The Effectiveness of Sewage Sludge Biochar Amendment with Boehmeria Nivea L. in Improving Physicochemical Properties and Rehabilitating Microbial Communities in Mine Tailings. *Journal of Environmental Management*, **345**, Article 118552. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118552>