

DOI: 10.3969/j.issn.1671-024x.2024.06.005

基于溶胀原理的艾草抗菌非织造布的制备及性能

封 严, 王艺玮, 钱晓明, 蔡志江

(天津工业大学 纺织科学与工程学院, 天津 300387)

摘 要: 为制备具有长效天然抗菌性的粘胶纤维水刺非织造布, 选择以艾草精油- β -环糊精(WO- β -CD)微胶囊为抗菌剂, 利用不同质量分数的纤维素溶剂 N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)对粘胶纤维非织造布进行溶胀和表面溶解处理, 采用浸轧法将 WO- β -CD 微胶囊负载至粘胶纤维水刺非织造布上, 制备天然抗菌非织造布, 并对其 进行结构表征和性能测试。结果表明: NMMO 质量分数 70% 可将粘胶纤维溶胀, 72% 则会使粘胶纤维表面部分溶解, 经溶胀和表面溶解处理后的非织造布可以有效负载 WO- β -CD 微胶囊, 所得抗菌非织造布不仅具有良好的物理和力学性能, 而且还具有长效抑菌效果。与未经溶胀溶解处理的 WO- β -CD 抗菌非织造布相比, 溶胀和表面溶解处理后的 WO- β -CD 抗菌非织造布放置 96 h 后对大肠杆菌的抗菌率从 80.4% 分别提升至 92.4% 和 96.3%, 对金黄色葡萄球菌的抗菌率则从 85.3% 分别提升至 96.4% 和 99.5%。

关键词: 溶胀原理; N-甲基吗啉-N 氧化物(NMMO); 艾草精油(WO); 抗菌性能; 粘胶非织造布

中图分类号: TS17; TS190.67 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-024X(2024)06-0028-08

Preparation and performance of wormwood-based antibacterial nonwoven fabric based on swelling principle

FENG Yan, WANG Yiwei, QIAN Xiaoming, CAI Zhijiang

(School of Textile Science and Engineering, Tiangong University, Tianjin 300387, China)

Abstract: The preparation of spunlace nonwoven fabrics with long-lasting natural antibacterial properties was achieved using wormwood essential oil- β -cyclodextrin (WO- β -CD) microcapsules as antibacterial agents. Different mass fractions of cellulose solvent N-methylmorpholine-N-oxide (NMMO) were utilized to swell and partially dissolve the surface of the viscose fiber nonwoven fabric. The WO- β -CD microcapsules were then loaded onto the viscose fiber spunlace nonwoven fabric using the padding method, resulting in the production of natural antibacterial nonwoven fabric, whose structure was characterized and performance was tested. The results indicate that a 70% mass fraction of NMMO can swell the viscose fibers, while a 72% mass fraction causes partial surface dissolution of the viscose fibers. The nonwoven fabric treated with swelling and surface dissolution was effectively loaded the WO- β -CD microcapsules. The resulting antibacterial nonwoven fabric not only possesses good physical and mechanical properties but also exhibits long-lasting antibacterial effects. Compared with the WO- β -CD antibacterial nonwoven fabric without swelling and dissolution treatment, the antibacterial nonwoven fabric treated with swelling and surface dissolution show an increase in antibacterial rate against *Escherichia coli* from 80.4% to 92.4% and 96.3% after 96 h, and against *Staphylococcus aureus* from 85.3% to 96.4% and 99.5%, respectively.

Key words: swelling principle; N-methylmorpholine-N-oxide(NMMO); wormwood essential oil(WO); antimicrobial properties; viscose nonwovens

艾草精油(wormwood essential oil, WO)是从艾草叶和茎中提取的植物精油, 富含多种生物活性成分, 主要包括萜类、酮类、醇类等 200 余种化合物^[1-5], 具有天然抗菌特性, 在生物抗菌剂领域占据重要地位, 但

其易挥发性制约了在纺织等行业的应用范围。针对这一限制, 研究人员开发出多种微胶囊技术, 通过物理隔离的方式控制 WO 的释放, 从而改善其稳定性并拓宽 WO 在纺织领域的应用^[6-9]。吕淑扬^[10]通过 Shirasu 多

收稿日期: 2024-04-04

基金项目: 国家先进功能纤维创新中心科研攻关项目(2020-fx010002); 中国纺织工业联合会科技指导性项目(2019224)

通信作者: 封 严(1975—), 女, 教授, 博士, 主要研究方向为新型纤维材料和功能非织造材料。E-mail: fengyan@tiangong.edu.cn

孔玻璃(SPG)膜乳化法和共混纺丝法,成功开发了含有 WO 微胶囊的抗菌粘胶纤维非织造布。王浩^[11-12]则选用 β -环糊精作为壁材,采用共沉淀法制备出具有良好抗菌效果的 WO- β 环糊精包合物,并应用于聚丙烯切片以制备抗菌改性纤维。

纤维素是自然界中含量最丰富的可再生天然高分子化合物,以 D-吡喃式葡萄糖为基本单元通过 β -1,4 糖苷键连接而成,因为其分子内外羟基会形成稠密的氢键网络,导致其在许多常用的溶剂中难以溶解。面对纤维素的这一难溶特性,科研人员开发出了多种纤维素溶剂体系,以增强其加工性和应用范围^[13-16]。N-甲基吗啉-N 氧化物(NMMO)作为非衍生化溶剂,其 N—O 键的强极性及其低键能,占据了纤维素分子间形成氢键的羟基,减弱分子间作用力。较低浓度的 NMMO 会使纤维无定形区发生溶胀,后渗透至高结晶区域,导致纤维直径增大,纤维素分子间自由体积增大^[17-18]。随着 NMMO 溶液浓度的提高,纤维素聚集态结构遭到更大程度的破坏,即造成纤维素的逐步溶解^[19]。纤维素经 NMMO 溶液处理发生的溶胀及溶解过程是完全的物理反应,能够在较大程度上保留纤维素的原有分子结构,而且由于 NMMO 的低毒性和高回收率,几乎不会对环境产生污染,因而被誉为“绿色溶剂”^[20]。

本文基于纤维素纤维的溶胀及溶解机理,利用纤维素溶剂 NMMO 对再生纤维素纤维——粘胶纤维制备的水刺非织造布进行溶胀和表面溶解处理,以实验室自制的 WO- β -CD 微胶囊作为抗菌剂,制备得到具有良好即时抗菌性及长效抗菌效果的天然抗菌粘胶纤维水刺非织造布,并对 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的多项性能进行探究。

1 实验部分

1.1 实验试剂及仪器

材料与试剂:粘胶纤维水刺非织造布,廊坊东纶科技实业有限公司;艾草精油- β -环糊精(WO- β -CD)微胶囊,实验室自制;N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO),97%,上海毕得医药科技股份有限公司;没食子酸丙酯(PG),分析纯,北京迈瑞达科技有限公司;无水乙醇(分析纯)、蛋白胨、琼脂粉、牛肉膏(生物制剂),天津市江天化工技术股份有限公司;金黄色葡萄球菌、大肠杆菌(生物试剂),上海鲁微科技有限公司。

主要仪器:Phenom XL 型台式扫描电子显微镜(SEM),荷兰 Phenom-World 公司;Nicolet iS20 型傅里叶红外光谱仪(FTIR)、ESCALAB 250Xi 型 X 射线光电

子能谱仪(XPS),美国 Thermo Scientific 公司;D8 DISCOVER 型 X 射线衍射仪(XRD),德国 Bruker 公司;YG141 型数字织物厚度仪,莱州市电子仪器有限公司;YG022D 型全自动织物硬挺度仪,常州市第一纺织设备有限公司;YG461H 型全自动透气量仪,宁波纺织仪器厂;Instron5969 型电子万能试验机,美国 Instron 公司。

1.2 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的制备

基于粘胶纤维水刺非织造布的溶胀、溶解参数设定如表 1 所示。

表 1 WO- β -CD 微胶囊抗菌改性非织造布的不同改性方案
Tab.1 Different modification schemes for antimicrobial-modified nonwovens with WO- β -CD microcapsules

样本代号	改性方案	详细参数
T0	未改性	—
TWO1	未溶胀溶解+浸轧	—
TWO2	水溶胀+浸轧	70 °C
TWO3	仅溶胀+浸轧	NMMO 质量分数 70%, 70 °C
TWO4	表面部分溶解+浸轧	NMMO 质量分数 72%, 70 °C

表 1 中的 4 种改性方案对粘胶纤维水刺非织造布进行溶胀或表面溶解处理,并将处理完成的粘胶纤维水刺非织造布放入含有 WO- β -CD 微胶囊(质量分数为 5%)的抗菌整理液中缓慢凝固 20 min,之后在辊压为 0.1 MPa 的压力下进行浸轧,再次放入 WO- β -CD 抗菌整理液中充分凝固,干燥后得到 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布。

1.3 结构表征与性能测试

1.3.1 溶胀、溶解程度表征

利用无水乙醇对粘胶纤维水刺非织造布进行洗涤预处理。精确称量一定质量的纤维素溶剂 NMMO、质量分数为 0.03% 的抗氧化剂 PG 与蒸馏水混合,经计算及折光仪测试,得到质量分数分别为 50%、65%、70%、72% 和 74% 的 NMMO 溶液,设定溶胀温度为 50、60、70 及 80 °C,时间为 40 min,利用交叉实验探究不同纤维素溶剂浓度及溶胀温度对粘胶纤维水刺非织造布溶胀及溶解性能的影响。后续凝固浴条件均为 10 °C,蒸馏水。

用 SEM 和纤维细度仪对经不同 NMMO 溶液浓度和温度处理过的粘胶纤维水刺非织造布进行形貌观察,并测量其直径;采用 FTIR 表征不同溶胀及溶解程度的样品,光谱范围为 500~4 000 cm^{-1} ,分辨率为 0.5 cm^{-1} ;采用 XPS 测试样品的表面化学元素组成及含量,选择 $\text{K}\alpha\text{X}$ 射线, $H\nu$ 为 1 486.6 eV,真空度设置为 3×10^{-7} Pa。

1.3.2 形貌和官能团表征

利用 SEM 和 FTIR 对样品进行形貌和官能团表征。采用 XRD 对样品晶体结构进行测试, Cu K α 辐射波长为 0.154 nm, 扫描衍射角范围为 5°~45°。

1.3.3 物理性能测试

参照标准 GB/T 24218—2009 《纺织品 非织造布试验方法》对 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布进行克重、厚度、透气性、吸水性、力学性能测试。

1.3.4 抗菌性能测试

样品的抗菌性能测试参照标准 GB/T 20944.3—2008 《纺织品抗菌性能的评价第 3 部分: 振荡法》。采用菌种为金黄色葡萄球菌和大肠杆菌。将活化好的细菌稀释 1 000 倍, 将已灭菌的试样和空白对照样分别与细菌接触, 设定温度 37 °C、转速 150 r/min、振荡培养时间 18 h, 后取试液稀释 100 倍后均匀涂敷于无菌培养基上, 在 37 °C 下培养 24 h, 对培养基上的菌落数进行记录与计算, 抑菌率的计算公式为式(1)和(2):

$$K = Z \times R \quad (1)$$

式中: K 为试样瓶中的活菌浓度 (CFU/mL); Z 为菌落数; R 为稀释倍数。

$$Y = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \quad (2)$$

式中: Y 为试样抑菌率 (%); K_0 为对照组的活菌浓度 (CFU/mL); K_1 为试样的活菌浓度 (CFU/mL)。

2 结果与讨论

2.1 粘胶纤维溶胀及溶解性能分析

2.1.1 粘胶纤维细度变化分析

NMMO 溶液浓度和温度是粘胶纤维溶胀与溶解过程中的 2 个关键因素^[2], 图 1 所示为不同因素对粘胶纤维细度的影响。

通过图 1(a) 数据规律分析可知, 粘胶纤维在低 NMMO 浓度, 即质量分数小于等于 70% 时, 纤维直径会随着 NMMO 浓度的提高逐渐增大, 即溶胀程度逐渐增大; 而高浓度, 即质量分数大于等于 72% 时, 直径会随着 NMMO 浓度的提高逐渐变小, 即纤维由溶胀过渡到溶解状态, 且溶解程度逐渐增大, 而温度的升高会促进 NMMO 分子的内能增加, 运动能力增强, 加速纤维的溶胀和溶解过程^[22-23]。粘胶纤维直径经 70% NMMO 溶液和 80 °C 温度处理后达到最大值 22.41 μm 。由图 1(b) 可知, 凝固后的纤维直径为 14.20 μm , 略小于 70%、70 °C 时的纤维直径 14.21 μm , 即仅由直径大小无法准确判断该参数下纤维是否达到溶解阶段。通

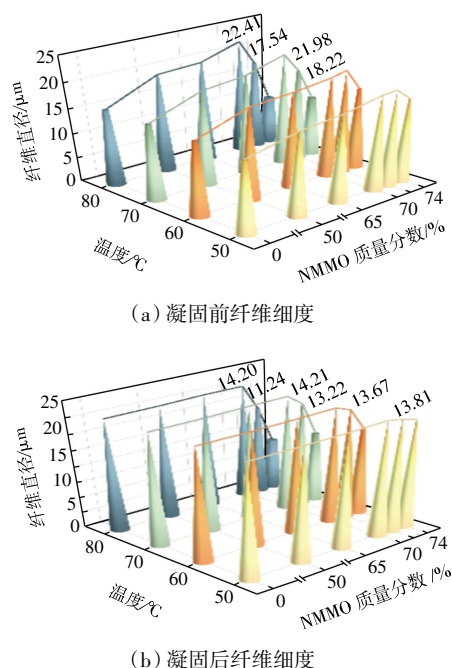


图 1 不同 NMMO 溶液质量分数及温度对粘胶纤维细度的影响

Fig.1 Effect of different mass fractions of NMMO solution and temperature on fineness of viscose fibers

过逻辑规律推导, 可知测得纤维直径次高值 21.98 μm 时的参数 70% 和 70 °C 为明确溶胀阶段最大程度的实验参数; 74% 和 70 °C 条件为纤维溶解阶段最小程度的参数。综合分析可知, 当温度为 70 °C 时, 随着 NMMO 溶液浓度的提高, 纤维会经历溶胀到逐步溶解的变化过程, 且各阶段极值参数也出现在该温度条件, 故将后续实验温度皆设定为 70 °C, 以探究粘胶纤维溶胀、溶解各阶段的物理化学特性。

通过纤维细度测试可知, 未经溶胀、溶解处理的粘胶纤维直径为 14.18 μm , 结合图 1(b) 中不同实验参数处理粘胶纤维凝固后的纤维细度, 可以发现当 NMMO 质量分数达到并超过 72%, 即粘胶纤维溶解程度较大时, 纤维细度明显减小, 并且不会在凝固后完全恢复常态。

2.1.2 粘胶纤维的 SEM 分析

图 2 为粘胶纤维经不同浓度 NMMO 溶液 70 °C 处理后达到不同溶胀、溶解程度的 SEM 照片。

图 2(a) 所示的未改性粘胶纤维纵向表面平滑, 排列有紧凑且无规则的沟槽。随着纤维溶胀程度的提高, 即 NMMO 溶液质量分数提高至 70%, 粘胶纤维表面沟槽缝隙逐渐增大。图 2(d) 为用质量分数 70% 的 NMMO 溶液, 70 °C 处理后的较高程度溶胀的粘胶纤维, 通过放大图可以发现纤维表面出现了部分胀裂痕

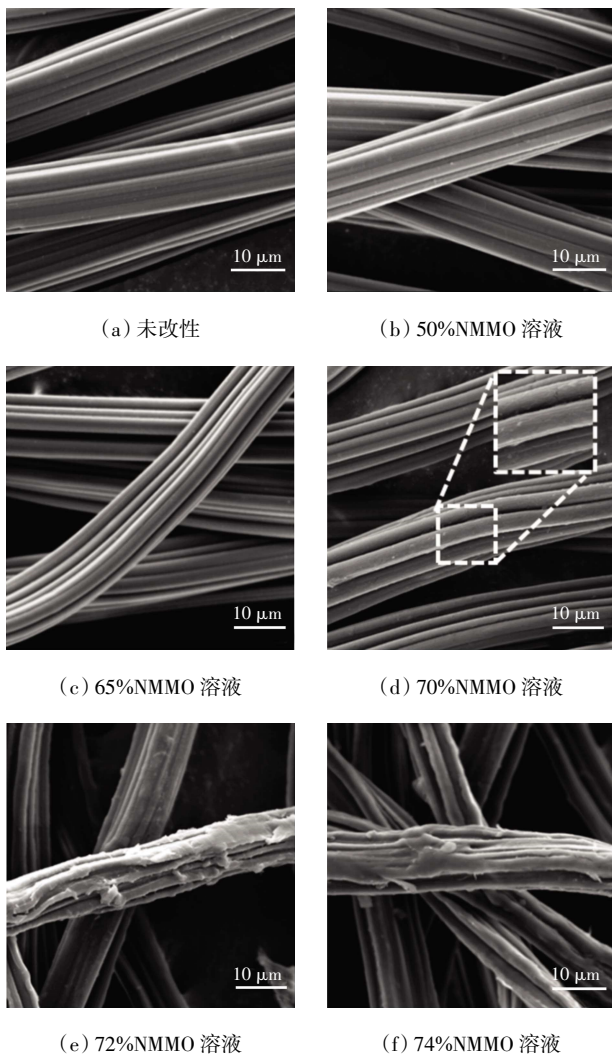


图 2 不同质量分数的 NMMO 溶液溶胀、溶解粘胶纤维的 SEM 图

Fig.2 SEM images of swelling and dissolving viscose fibers with different mass fractions of NMMO solution

迹,但由于纤维素溶剂 NMMO 浓度较低,没有达到纤维素溶解的程度,纤维的纵向表面仍保持相对平直。将 NMMO 溶液质量分数提升至 72%及以上时,粘胶纤维达到溶解阶段,纤维皮层出现明显的溶解现象,如图 2(e)和(f)所示。由图 2(e)和(f)可见,纤维表面破损、形成不规则的陷落区域,原始沟槽被填补,从而导致表面平整度发生显著变化^[24-25]。

通过 SEM 表征结合粘胶纤维的细度测试结果,选定 NMMO 质量分数为 65%、70%、72%以及 74%作为纤维不同溶胀程度的实验参数,分别代表较低程度的溶胀、较高程度的溶胀、较低程度的溶解以及较高程度的溶解,实验温度设定为 70 ℃。

2.1.3 粘胶纤维表面化学性质分析

图 3 和图 4 分别为粘胶纤维的 FTIR 谱图和 XPS

谱图,用以表征不同溶胀、溶解程度的粘胶纤维表面化学性质变化。

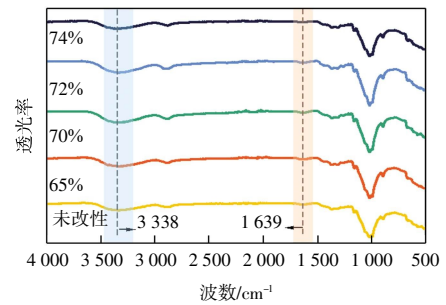


图 3 不同质量分数的 NMMO 溶液溶胀、溶解粘胶纤维的 FTIR 光谱

Fig.3 FTIR spectra of swelling and dissolving viscose fibers with different mass fractions of NMMO solution

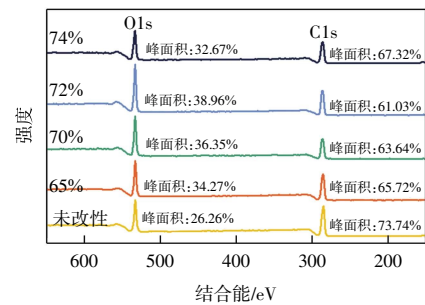


图 4 不同质量分数的 NMMO 溶液溶胀、溶解粘胶纤维的 XPS 光谱

Fig.4 XPS spectra of swelling and dissolving viscose fibers with different mass fractions of NMMO solution

由图 3 可知,3 338 cm^{-1} 处的纤维素羟基的伸缩振动吸收峰和 1 639 cm^{-1} 处的弯曲振动吸收峰峰值均随溶胀程度的提高而增大。结合图 4 的 XPS 谱图可以发现,随着 NMMO 溶液质量分数提高至 72%时,粘胶纤维溶胀、溶解度提高,纤维的 O、C 特征峰的相对面积比逐渐增大,表明 NMMO 分子破坏纤维素大分子链之间的氢键,导致其结合力减弱,使纤维素分子链间距增大,从而暴露出原本由于内部氢键作用而被掩藏的官能团,例如羟基,增强了表面氧含量,致使粘胶纤维表面 O/C 比值提高。当 NMMO 溶液质量分数达到 74%,粘胶纤维进一步溶解,纤维素分子链断裂导致一部分非极性或更富碳的分子断片到达纤维表面,使得表面 O/C 比降低。

2.2 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布性能分析

2.2.1 SEM 分析

图 5 为 WO- β -CD 微胶囊和不同方案制备的 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的 SEM 图。

由图 5 可知,WO- β -CD 微胶囊具有立方体结构,

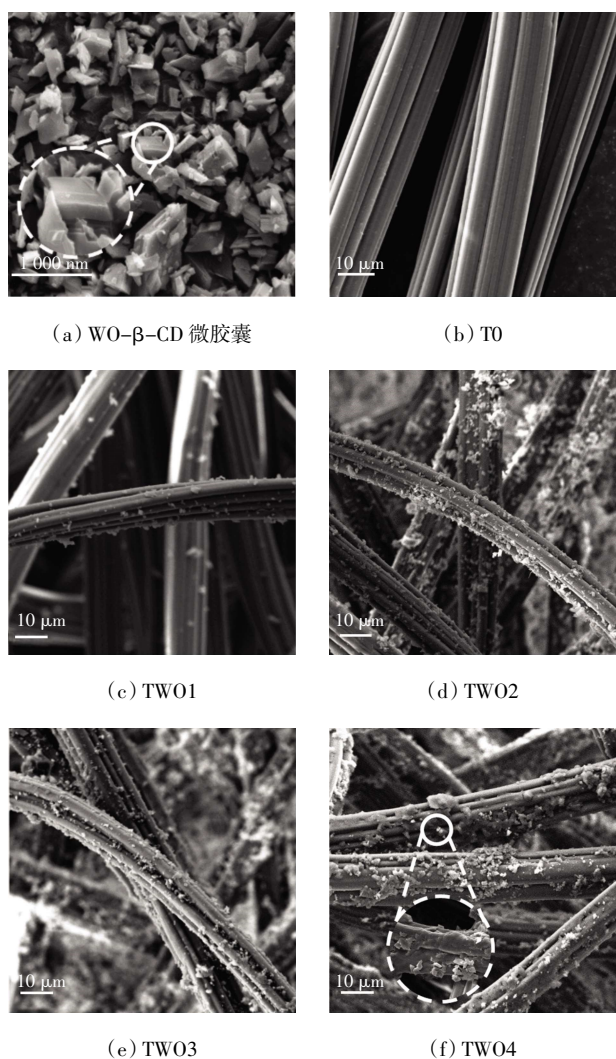


图 5 WO-β-CD 微胶囊和不同方案 WO-β-CD 微胶囊抗菌非织造布的 SEM 图

Fig.5 SEM images of WO-β-CD microcapsules and WO-β-CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

有利于在纤维表面实现均匀分布并增加与纤维的接触面积,从而提高附着力。直接浸轧 WO-β-CD 微胶囊的 TWO1 上可以发现微胶囊仅在纤维表面形成浅层负载,分布在纤维的外部,且负载量极少。TWO2 经水溶胀处理后,纤维沟槽缝隙略有增宽,使得更多的 WO-β-CD 微胶囊得以嵌入。TWO3 利用 NMMO 溶液进行溶胀处理,纤维表面的沟槽进一步加宽,微胶囊的分布更加均匀,且嵌入更深,说明 NMMO 溶液处理不仅提高了纤维的渗透吸附性,还改善了化学亲和性,增大了纤维表面的吸附位点,促进微胶囊与纤维结构更紧密地结合。TWO4 利用 NMMO 溶液使纤维表面部分溶解,结合后续凝固过程,不仅增加了纤维间的空隙,还形成新的结构层,进一步增强了微胶囊的

负载效果和稳定性,提高其牢度。

2.2.2 FTIR 分析

图 6 为经不同方案制备的 WO-β-CD 微胶囊抗菌非织造布的 FTIR 谱图。

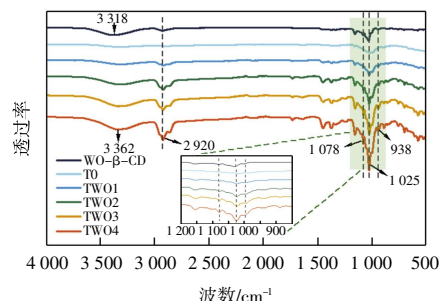


图 6 不同方案 WO-β-CD 微胶囊抗菌非织造布的 FTIR 光谱

Fig.6 FTIR spectra of WO-β-CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

由图 6 可见:WO-β-CD 微胶囊的主要特征峰为 3318 cm^{-1} 处的—OH 伸缩振动峰以及 2920 cm^{-1} 处的—C—H 伸缩振动峰,而 1078 、 1025 、 938 cm^{-1} 处的峰与 WO-β-CD 微胶囊中 β-CD 的结构有关,间接证明了 WO-β-CD 微胶囊的存在;TWO1—TWO4 均出现了 WO-β-CD 的特征峰,且峰值逐渐增大,也进一步证明了 TWO1—TWO4 等 4 种改性方案对 WO-β-CD 微胶囊的成功负载,且负载率逐渐增高;负载后 WO-β-CD 微胶囊 3318 cm^{-1} 处的峰蓝移到 3362 cm^{-1} 处,主要是由于羟基与粘胶布表面的相互作用或是羟基间形成新的氢键造成的。

2.2.3 XRD 分析

图 7 为不同方案下制备的 WO-β-CD 微胶囊抗菌非织造布的 XRD 谱图。

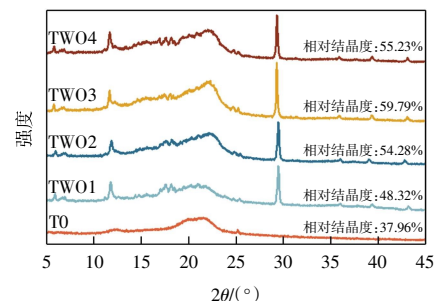


图 7 不同方案 WO-β-CD 微胶囊抗菌非织造布的 XRD 光谱
Fig.7 XPS spectra of WO-β-CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

由图 7 可知:TWO1—TWO4 较 T0 出现了多个结晶峰,表明 WO-β-CD 微胶囊的负载引入了新的晶体结构;TWO1—TWO3 样品的相对结晶度逐渐增大,既

可归因于 WO- β -CD 与基材的相互作用,促进了基材晶体结构的有序化,又存在溶胀纤维素分子链的重组和晶体生长的因素;经表面部分溶解处理的 TWO4 相对结晶度降为 55.23%。结合图 6 的 FTIR 谱图可知,经高浓度 NMMO 处理后溶解再生的纤维素虽然最终聚集成纤维素束结构,但再生纤维素的氢键缺乏规律性,影响了结构的稳定性,从而影响纤维素的结晶特性,致使结晶度降低^[17]。

2.2.4 基本物理性能及力学性能分析

表 2 所示为不同方案 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的基本物理性能。

表 2 不同方案 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的物理性能
Tab.2 Physical properties of WO- β -CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

样品	克重/(g·m ⁻²)	厚度/mm	透气性/(L·m ⁻² ·s ⁻¹)	吸湿率/%
T0	60.75	0.339	1 453	910.2
TWO1	70.62	0.365	1 312	881.7
TWO2	75.43	0.371	1 234	853.0
TWO3	83.62	0.396	1 015	773.5
TWO4	87.88	0.417	951	707.8

由表 2 可以发现,负载更多 WO- β -CD 微胶囊的非织造布其克重、厚度都有所增加。TWO4 方案由于 NMMO 处理导致的纤维部分溶解再生,使得纤维间更加紧密,进一步增加了材料的克重和厚度。非织造布孔隙和纤维沟槽被 WO- β -CD 微胶囊颗粒堵塞, TWO4 纤维部分溶解再生导致粘连,空气和水分子通道减少,减弱了毛细管作用,直接影响了材料的透气性和吸湿性能。

图 8 为不同方案 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的力学性能。

由图 8 可见,由于水刺工艺的特性,处理后的非织造布在纵向的力学性能普遍优于横向,这一现象与纤维结构的定向排列有关。样品力学性能的变化与其结晶度的变化趋势保持一致。在溶胀阶段,NMMO 对粘胶纤维的分子链产生作用,结合 WO- β -CD 微胶囊的负载,促进了纤维内部结晶区的生成或扩展,导致了样品断裂强度提升的同时伸长率有所降低。TWO3 样品接受了最大程度的溶胀处理并负载 WO- β -CD 微胶囊,其结晶度达到最高,纵横向断裂强度分别达到了最大值 67.82 N 和 64.27 N,而断裂伸长率则最小为 32.23%和 35.13%,这说明结晶度的增加对提升材料强度具有明显效果,但同时限制了材料的延伸性。TWO4 样品经过表面部分溶解处理,破坏了高度有序的结晶结构,当材料重新凝固时,并非所有分子链都能重新排列成紧密的晶体结构,从而导致结晶度下

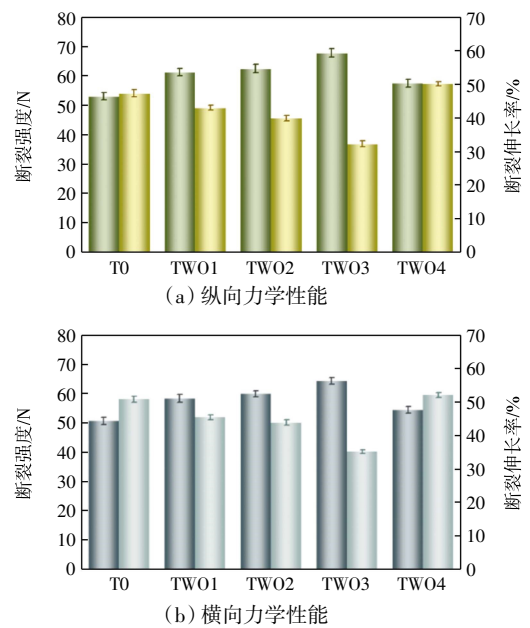


图 8 不同方案 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的断裂强度及断裂伸长率

Fig.8 Strength and elongation at break of WO- β -CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

降。这种结构上的变化使得 TWO4 样品的整体强度下降,然而材料的均匀性因此得到改善,断裂伸长率显著提高到 50.13%和 52.01%,表明部分溶解处理增强了材料的柔韧性。

2.2.5 抗菌性分析

对利用不同方案制备且放置了 96 h 的 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布进行抗菌性能测试,抗菌效果如图 9 所示,抗菌率如表 3 所示。

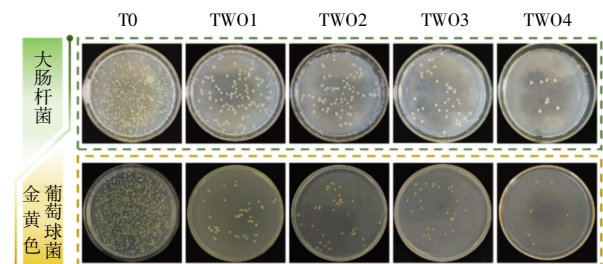


图 9 不同方案 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的抗菌效果

Fig.9 Antimicrobial effect of WO- β -CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

表 3 不同方案 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布的抗菌率
Tab.3 Antimicrobial rate of WO- β -CD microcapsules antimicrobial nonwovens by different schemes

菌名称	抗菌率/%			
	TWO1	TWO2	TWO3	TWO4
大肠杆菌	80.4	84.1	92.4	96.3
金黄色葡萄球菌	85.3	89.2	96.4	99.5

结合图 9 与表 3 结果发现,随着 WO- β -CD 微胶囊负载量的增加,WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌率显著提高,大肠杆菌的抗菌率从 80.4%递增至 96.3%,而金黄色葡萄球菌的抗菌率则从 85.3%递升至 99.5%,均超出了标准要求的 70.0%有效抗菌阈值。这表明 WO- β -CD 微胶囊抗菌非织造布利用 WO- β -CD 微胶囊的缓释效果能够实现长效抗菌。此外,粘胶纤维水刺非织造布本身具有良好的亲水性和吸湿性,有利于促进 WO- β -CD 微胶囊中 WO 成分的缓慢释放,从而增强其对织物的抗菌作用。

3 结 论

(1) 利用 NMMO 溶剂对粘胶纤维进行溶胀和表面溶解能够从物理及化学两方面提高抗菌成分的有效附着。NMMO 溶液质量分数达到 72%以上使得粘胶纤维表面部分溶解,再凝固时可以将更多的抗菌颗粒包覆在纤维表面,进一步提高微胶囊的负载率。经 WO- β -CD 微胶囊改性的粘胶纤维水刺非织造布在制备后放置 96 h 再进行抗菌性能测试,仍具有超出标准要求的抗菌能力。

(2) 较低浓度(质量分数 70%及以下)NMMO 溶液处理粘胶纤维水刺非织造布可以促进纤维素分子链的重组和晶体生长;而浓度过高(质量分数 72%及以上)造成表面溶解会导致纤维素链以及结晶区的破坏。结晶度高的样品断裂强力相对较高;而重新凝固结晶后,结晶度较低但样品内部结晶更均匀,断裂伸长率提高。因此,可根据实际需要设定粘胶纤维水刺非织造布的具体溶胀、溶解程度,以获得符合要求的材料。

参考文献:

- [1] 吴雨泉,陈虹秀,张磊磊,等.艾叶精油的应用进展及开发前景[J].安徽农业科学,2022,50(22):6-10.
WU Y Q, CHEN H X, ZHANG L L, et al. Application progress and development prospect of artemisia argyi essential oil[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(22): 6-10 (in Chinese).
- [2] 赵淑秀,刘青芝,穆向荣,等.艾草的化学成分及其提取工艺研究[J].药学研究,2021,40(12):803-806,811.
ZHAO S X, LIU Q Z, MU X R, et al. Study on the chemical constituents and extraction technologies of Artemisia argyi[J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2021, 40 (12): 803-806, 811 (in Chinese).
- [3] 郑昆,钟肖飞,张华.艾叶挥发油类成分及其药理作用的研究进展[J].中国实验方剂学杂志,2020,26(18):224-234.
ZHENG K, ZHONG X F, ZHANG H. Advances in research on constituents and pharmacological effects of artemisia argyi essential oil[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2020, 26(18): 224-234 (in Chinese).
- [4] MSAADA K, SALEM N, BACHROUCH O, et al. Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activities of wormwood (artemisia absinthiumL.) essential oils and phenolics[J]. Journal of Chemistry, 2015, 2015: 1-12.
- [5] WEI W J, GUO T, XUE G M, et al. Artemisia argyi H. LéV. & Vaniot: A comprehensive review on traditional uses, phytochemistry, and pharmacological activities[J]. Phytochemistry Reviews, 2024, 23:821-862.
- [6] WANG L, LI T X, XIN B J, et al. Preparation and characterization of wormwood-oil-contained microcapsules[J]. Journal of Microencapsulation, 2020, 37(4): 324-331.
- [7] SUN L J, FENG Y, QIAN X M, et al. Enhancing antibacterial performance of viscose spunlaced nonwovens by wormwood extract microcapsule finishing[J]. Fibers and Polymers, 2023, 24 (4): 1275-1284.
- [8] 崔凤焯,钱晓明,王立晶,等.蕪艾挥发油微胶囊的制备和应用[J].上海纺织科技,2020,48(8):60-64.
CUI F Y, QIAN X M, WANG L J, et al. Preparation and application of microcapsules of volatile oil from argyi wormwood in Qichun[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2020, 48(8): 60-64 (in Chinese).
- [9] 翟媛媛,刘艳君,王进,等.艾草精油抗菌微胶囊的制备与应用[J].纺织科学与工程学报,2021,38(4):50-56.
ZHAI Y Y, LIU Y J, WANG J, et al. Preparation and application of wormwood essential oil antibacterial microcapsules[J]. Journal of Textile Science and Engineering, 2021, 38 (4): 50-56 (in Chinese).
- [10] 吕淑扬.蕪艾精油微胶囊的制备及其功能粘胶纤维的研究[D].天津:天津工业大学,2021.
LYU S Y. Preparation of artemisia argyi essential oil microcapsules and study on its functional viscose fiber[D]. Tianjin: Tiangong University, 2021 (in Chinese).
- [11] 王浩.艾草熔喷原料聚丙烯切片的制备技术研究[D].天津:天津工业大学,2022.
WANG H. Study on preparation technology of polypropylene chips from wormwood melt-blown raw materials[D]. Tianjin: Tiangong University, 2022 (in Chinese).
- [12] 钱晓明,王浩,王立晶,等.Box-Behnken 响应面法优化 β -环糊精艾草精油包合物的制备及其性能[J].天津工业大学学报,2022,41(6):49-56.
QIAN X M, WANG H, WANG L J, et al. Optimization of preparation and properties of cyclodextrin wormwood essential

- oil inclusion complex by Box-Behnken response surface methodology[J]. Journal of Tiangong University, 2002, 41(6): 49-56(in Chinese).
- [13] 孔硕,倪建萍,范述捷,等.植物纤维在NMMO溶液中溶解性能研究进展[J].中国造纸学报,2023,38(1):108-119.
KONG S, NI J P, FAN S J, et al. Research progress of plant fiber dissolution performance in NMMO solution[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2023, 38(1): 108-119 (in Chinese).
- [14] 潘心悦,杨祥建,龚润竹,等.非衍生溶剂体系及再生工艺对纤维素结构与性能的影响[J].中国造纸学报,2023,38(4):107-115.
PAN X Y, YANG X J, GONG R Z, et al. Effect of non-derived solvent system and regeneration process on cellulose structure and properties[J]. Transactions of China Pulp and Paper, 2023, 38(4): 107-115 (in Chinese).
- [15] 郑世睿,李倩倩,续虎,等.再生纤维素纤维生产工艺综述[J].纺织科技进展,2023(7):11-14.
ZHENG S R, LI Q Q, XU H, et al. Overview of the manufacturing process used in regenerated cellulose fibers[J]. Progress in Textile Science & Technology, 2023(7): 11-14 (in Chinese).
- [16] 郭增革,姜兆辉,贾翌,等.柞蚕丝/纤维素在离子液体中的溶解及再生纤维的结构与性能[J].天津工业大学学报,2022,39(5):9-14.
GUO Z G, JIANG Z H, JIA Z, et al. Dissolution of tussah silk/cellulose in ionic liquid and structure and properties of regenerated fibers[J]. Journal of Tiangong University, 2020, 39(5):9-14(in Chinese).
- [17] 孙永连.NMMO溶剂法纤维素纤维纺丝原液制备及凝固特性研究[D].济南:山东大学,2021.
SUN Y L. Study on preparation and solidification characteristics of cellulose fiber spinning dope by NMMO solvent method[D]. Jinan: Shandong University, 2021 (in Chinese).
- [18] YOU X, CHEN F, MA Y B, et al. Single fiber swelling behavior for natural and man-made cellulose fibers under alkaline treatment[J]. Cellulose, 2021, 28(18): 11287-11298.
- [19] DENG Z K, ZHOU G H, FANG T M, et al. The bidirectional regulation mechanism of NMMO concentration change on cellulose dissolution and regeneration[J]. Cellulose, 2024, 31(2): 1205-1222.
- [20] AKHLAGHI BAGHERJERI M, MONHEMI H, HAQUE A N M A, et al. Molecular mechanism of cellulose dissolution in N-methyl morpholine-N-oxide: A molecular dynamics simulation study[J]. Carbohydrate Polymers, 2024, 323: 121433.
- [21] 杨彦菊,汤云璐,张慧慧,等.纤维素在NMMO水溶液中的溶胀过程及影响因素分析[J].合成纤维,2019,48(1):8-11,24.
YANG Y J, TANG Y L, ZHANG H H, et al. Analysis on swelling and affecting factors of cellulose in NMMO aqueous solution[J]. Synthetic Fiber in China, 2019, 48(1): 8-11, 24 (in Chinese).
- [22] ALVES L, MEDRONHO B, ANTUNES F E, et al. Dissolution state of cellulose in aqueous systems. 2. Acidic solvents[J]. Carbohydr Polym, 2016, 151: 707-715.
- [23] ALVES L, MEDRONHO B, ANTUNES F E, et al. Dissolution state of cellulose in aqueous systems. 1. Alkaline solvents[J]. Cellulose, 2016, 23(1): 247-258.
- [24] 靳宏,崔世强,张玉梅.纤维素在NMMO水溶液中的溶解机理研究进展[J].高分子通报,2021(5):29-37.
JIN H, CUI S Q, ZHANG Y M. Research progress in the dissolution mechanism of cellulose in aqueous NMMO solution[J]. Polymer Bulletin, 2021(5): 29-37 (in Chinese).
- [25] 许虎,徐鸣凤,徐纪刚,等.纤维素在NMMO水溶液中的溶胀行为研究[J].合成纤维工业,2013,36(1):38-41.
XU H, XU M F, XU J G, et al. Swelling behavior of cellulose in NMMO aqueous solution[J]. China Synthetic Fiber Industry, 2013, 36(1): 38-41 (in Chinese).

本文引文格式:

封严,王艺玮,钱晓明,等.基于溶胀原理的艾草抗菌非织造布的制备及性能[J].天津工业大学学报,2024,43(6):28-35.

FENG Y, WANG Y W, QIAN X M, et al. Preparation and performance of wormwood-based antibacterial nonwoven fabric based on swelling principle[J]. Journal of Tiangong University, 2024, 43(6): 28-35(in Chinese).