

艾叶油微胶囊的制备及其在磁性织物的应用

王文聪^{1,2}, 胡钟元^{1,3}, 夏亚玲^{1,3}, 王晓莹^{1,3}, 王鸿博¹, 李永贵^{2,4}

(1. 江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 福建华峰新材料有限公司 福建省运动鞋面料重点实验室, 福建 莆田 351100; 3. 江南大学 设计学院, 江苏 无锡 214122; 4. 闽江学院 服装与艺术工程学院 福建 福州 300108)

摘要:以明胶和阿拉伯树胶为壁材、艾叶油为芯材,通过复合凝聚法制备了具有抗菌效果的微胶囊。采用正交实验法分析了壁材浓度、芯壁比、乳化剂用量、复凝 pH 值对艾叶油微胶囊粒径的影响。结果表明:当壁材质量分数为 2%、乳化剂质量分数为 0.1%、芯壁比 1:2、复凝的 pH=4 时,艾叶微胶囊平均粒径相对最小,仅为 15.79 μm 。该工艺下制备的艾草油微胶囊含油率为 23.26%,呈规则的球型,表面光滑,大小均一,分散均匀,且具有良好的热稳定性。将优化工艺下制备的艾叶油微胶囊整理到锦纶基磁性针织织物后,织物对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌都有良好的抑制能力,10 次洗涤后织物仍具有较强的抗菌性能,且该整理工艺对磁性织物的磁感应强度并无影响。

关键词:艾叶油;微胶囊;复凝聚;磁性织物;抗菌

中图分类号:TS 106;TS 195 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2021)02-0095-07

Preparation of Artemisia Argyi Oil Microcapsules and the Application in Magnetic Fabric

WANG Wencong^{1,2}, HU Zhongyuan^{1,3}, XIA Yaling^{1,3}, WANG Xiaoxuan^{1,3}, WANG Hongbo¹, LI Yonggui^{2,4}

(1. College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Lab for Sport Shoes Upper Materials of Fujian Province, Fujian Huafeng New Material Co., Ltd, Putian 351100, China; 3. School of Design, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 4. Clothing and Design Faculty, Minjiang University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Gelatin and Arabic gum were used as wall materials, and artemisia argyi was used as core materials, microcapsules with excellent antibacterial properties were prepared by the composite condensation method. The influence of the concentration of wall material, the proportion of core wall, the amount of emulsifier and the pH of composite coagulation on particle size were discussed and established by using orthogonal experiment. The experimental results show that when wall material concentration is 2%, core-wall ratio is 1:2, emulsifier dosage is 0.1%, and composite coagulation pH is 4, the particles has relatively the smaller size of 15.79 μm . Under the preparation conditions, the microcapsule is of 23.26% oil content, regular spherical shape with smooth surface, uniform size and good dispersion. The nylon magnetic knitting fabric loaded with artemisia argyi oil microcapsules has good antibacterial ability against both Staphylococcus aureus and Escherichia coli, even after 10 times of washing. The finishing process has no influence on magnetic induction strength of magnetic fabric.

Key words: artemisia argyi oil, microcapsule, composite condensation microcapsule, magnetic fabric, antibacterial properties

随着生活水平的提高和健康意识的增强,特别是在目前新冠疫情暴发时期,人们对抗菌除臭、医

疗保健的要求进一步提高。艾叶精油是一种天然抗菌剂,广谱抑菌且高效无毒,对人体具有良好的

收稿日期:2020-12-22; 修订日期:2021-01-27。

基金项目:福建省运动鞋面料重点实验室开放基金项目(KLSSUM1903);江南大学大学生创新创业训练项目(2019197Y)。

作者简介:王文聪(1988—),女,副教授,博士。主要研究方向为功能纺织材料。Email:wencong828@hotmail.com

保健作用^[1-2]。然而,艾叶精油的挥发性强及耐久性、耐水洗性差等特点,使之在服装面料中的应用受到限制。因此,可采用微胶囊技术,通过天然或合成高分子材料将精油包裹起来形成具有壳-核结构的微球^[3-6],以减少精油挥发所造成的损失。日本钟纺公司提取艾草中的重要成分并将其微胶囊化,整理到耐纶后使之获得了抗菌防臭和保湿的功能^[7];SPECOS M M M 等^[8]采用复合凝聚的方法制备香茅精油微胶囊,将其整理到棉织物中以获得高效持久的抗菌驱虫效果。

磁性织物具有促进血液循环、消炎镇痛等磁疗功效,可调整人体机能和提高抗病能力,起到医疗保健作用,满足人们对健康理疗的需求^[9-12]。将艾叶油微胶囊整理到磁性织物表面,在提升抗菌能力的同时,磁场与艾叶油的结合更有助于磁性织物发挥保健作用。

文中以明胶-阿拉伯树胶为壁材,采用复凝聚法,借助正交实验分析法探讨了壁材浓度、芯壁比、乳化剂用量、复凝 pH 值对艾叶油微胶囊粒径的影响,确定了艾叶油微胶囊的相对最佳制备工艺,并对最优工艺下制备的艾叶油微胶囊及浸轧整理后织物的结构和性能进行表征。

1 材料与方法

1.1 原料和仪器

1.1.1 化学试剂 艾叶油,分析纯,吉安盛大香料油有限公司提供;明胶、Span 80 均为化学纯,乙酸、氢氧化钠、单宁酸、无水乙醇、氯化钠、十二水合磷酸氢二钠、二水合磷酸二氢钠均为分析纯,阿拉伯树胶粉、戊二醛水溶液(质量分数为 25%)、牛肉浸膏、蛋白胨、琼脂粉均为生化试剂,皆由国药集团化学试剂有限公司提供;水性聚氨酯(PU-2891),广州誉衡环保材料有限公司提供。

1.1.2 织物 以锦纶基磁性长丝纱线(铁氧体磁粉质量分数 20%,线密度 11.1 tex)为原料制备磁性针织织物^[12],江苏省纺织研究所股份有限公司提供。

1.1.3 仪器 均质机,艾卡仪器设备有限公司制造;R-3 定型烘干机,瑞比染色试机有限公司制造;LS-POP(9)激光粒度分析仪,珠海欧美克仪器有限公司制造;Leica DM2700P 偏光显微镜,德国徕卡显微系统制造;TM3030 扫描电子显微镜,日本 Hitachi High-Technologies 制造;NICOLET is10 傅里叶红外变换光谱仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司制造;XO-SM50 电脑微波超声波组合合成萃取仪,南

京先欧仪器制造有限公司制造;UV-2600 紫外分光光度计,岛津企业管理中国有限公司制造;TGA5500 热重分析仪,美国 TA Instruments 制造;生物安全柜,美国 Nuaire 公司制造;智能精密摇床、生化培养箱、立式压力蒸汽灭菌器,皆由上海博迅实业有限公司医疗设备厂制造;GM55 高斯计,上海拓科实业有限公司制造;SW-24E 耐洗色牢度试验机,温州大荣纺织仪器有限公司制造。

1.2 实验方法

1.2.1 艾叶油微胶囊的制备 分别制备一定质量分数的明胶溶液和阿拉伯树胶溶液,将二者均匀混合后,加入一定量的艾叶油和乳化剂 Span 80,在 45 ℃下以 8 000 r/min 转速均质乳化 15 min,得到均匀的细乳液。利用质量分数为 10% 的乙酸溶液将体系 pH 值调节到设定值,进行复凝聚反应 30 min。反应结束后,在 0 ~ 10 ℃下, pH 值为 9 时,碱化 20 min 以降低微胶囊颗粒之间的粘连;然后依次加入质量分数为 2% 的戊二醛溶液固化 3 h,质量分数为 2% 的单宁酸溶液固化 4.5 h。经无水乙醇多次洗涤,抽滤晾干,即可得到艾叶油微胶囊。

较小的粒径有利于更多的微胶囊渗入磁性织物的纤维缝隙中,经浸轧处理后,可以牢固地黏附在织物内部。因此,以微胶囊粒径作为评价指标,选取壁材浓度、芯壁比、乳化剂用量、复凝 pH 4 个因素,采用正交实验设计确定艾叶油微胶囊的相对最佳制备工艺。艾叶油微胶囊制备因素水平见表 1。

表 1 艾叶油微胶囊制备因素水平
Tab.1 Orthogonal experimental design table for preparation process of microcapsules

水平	壁材质量 分数/(%)	芯壁比	乳化剂质量 分数/(%)	复凝 pH 值
1	2.0	1:2	0.1	3.8
2	2.3	3:4	0.3	3.9
3	2.6	1:1	0.5	4.0

1.2.2 抗菌磁性织物的整理 将磁性织物以浴比 1:30 在含有微胶囊(质量浓度为 30 g/L,以 7 000 r/min 转速分散 10 min)和聚氨酯(体积浓度为 100 mL/L)的整理液中浸渍 30 min;采用二浸二轧工艺整理织物,轧余率为 85%。使用烘干机将轧后的织物在 60 ℃下预烘 3 min,130 ℃下焙烘 2 min;洗涤、烘干,即可得到艾叶油微胶囊整理后的织物。

1.3 测试与表征

1.3.1 微胶囊粒径测试 利用激光粒度分析仪对不同工艺条件下得到的艾叶油微胶囊进行粒径分析,每组测试 6 次,取平均值。单次采样时间为

10 s,测试遮光比 10% ~ 20%,分析范围 0. 1 ~ 750 μm 。

1.3.2 微胶囊形貌特征测试 采用偏光显微镜观察微胶囊的颗粒大小及分布情况。

将微胶囊粉末固定于铜片上,喷金后使用扫描电子显微镜进行观察。

1.3.3 微胶囊化学结构表征 采用傅里叶红外变换光谱仪分别对明胶粉末、阿拉伯树胶树胶粉末、艾叶油、空芯微胶囊粉末、艾叶油微胶囊粉末进行测试,样品采用 KBr 压片法制样。

1.3.4 微胶囊含油量测试 配置不同浓度的艾叶油乙醇溶液,利用紫外分光光度法建立吸光度与艾叶油浓度的标准曲线方程。以无水乙醇为溶剂,使用电脑微波超声波组合合成萃取仪(加冷凝装置)提取微胶囊中的艾草油,将提取液稀释一定倍数,测试其在波长 201.8 nm 处的吸光度 A_0 。根据标准曲线方程计算微胶囊中包覆的艾叶油占比(即含油率 Q)。

1.3.5 微胶囊热稳定性测试 分别配置质量分数为 2% 的阿拉伯树胶和明胶溶液,在水浴温度 45 $^{\circ}\text{C}$ 时滴加质量分数为 10% 的乙酸溶液调节体系 pH 到 4.0,复凝聚反应 30 min;原澄清水溶液中出现白色不溶物,使用无水乙醇多次洗涤,抽滤晾干,制得壁材复凝物。

使用热重分析仪对艾叶油、明胶、阿拉伯树胶、壁材复凝物以及艾叶油微胶囊粉末进行热重分析。测温区间为 25 ~ 600 $^{\circ}\text{C}$,升温速率为 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, N_2 流速为 100 mL/min 。

1.3.6 织物形貌结构测试 使用扫描电子显微镜分别观察未整理的磁性织物、艾叶油微胶囊整理后的磁性织物、洗涤 5 次和 10 次后的艾叶油微胶囊磁性织物的表面形貌特征。

1.3.7 织物抗菌性能测试 参照 GB/T 20944. 1—2007 琼脂平皿扩散法(抑菌圈法),根据试样下细菌繁殖情况以及抑菌带宽度,评价磁性织物、艾叶油微胶囊整理后的磁性织物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的抑菌能力。

1.3.8 织物磁性测试 按照 FZT 01116—2012 《纺织品磁性能的检测和评价》,使用高斯计检测未整理的磁性织物、艾叶油微胶囊整理后的磁性织物、洗涤 5 次和 10 次的艾叶油微胶囊磁性织物表面的磁感应强度。

1.3.9 织物洗涤实验 采用 GB/T 12490—2014 《纺织品色牢度试验 耐家庭和商业洗涤色牢度》方法,配制质量浓度为 4 g/L 的皂液,对艾叶油微胶囊

整理后的磁性织物洗涤 5,10 次,测试其抗菌性能和磁感应强度。

2 结果与讨论

2.1 微胶囊制备工艺的优化

不同微胶囊制备条件下所得正交实验结果见表 2。

表 2 艾叶油微胶囊正交实验结果
Tab. 2 Orthogonal experimental results for preparation process of microcapsules

实 验	壁材 质量分 数/%	芯壁比	乳化剂 质量分 数/%	复凝 pH 值	平均 粒度/ μm
1	2.0	1:2	0.1	3.8	21.26
2	2.0	3:4	0.3	3.9	19.76
3	2.0	1:1	0.5	4.0	16.45
4	2.3	1:2	0.3	4.0	17.79
5	2.3	3:4	0.5	3.8	26.59
6	2.3	1:1	0.1	3.9	18.57
7	2.6	1:2	0.5	3.9	18.99
8	2.6	3:4	0.1	4.0	16.94
9	2.6	1:1	0.3	3.8	24.69
K_1	57.47	58.05	56.77	72.54	
K_2	62.95	63.28	62.24	57.32	
K_3	60.62	59.72	62.03	51.18	
k_1	19.16	19.35	18.92	24.18	
k_2	20.98	21.09	20.75	19.11	
k_3	20.21	19.91	20.68	17.06	
R	1.83	1.75	1.82	7.12	
主次	$D > A > C > B$				
最优组合	$A_1B_1C_1D_3$				15.79

由表 2 可以看出,极差 R 越大,说明该因素水平的变化对平均粒度的影响越大,不同因素对艾叶油微胶囊平均粒度的影响程度依次为 $D > A > C > B$,即复凝 pH 值 > 壁材浓度 > 乳化剂用量 > 芯壁比。其中,复凝 pH 值对于艾叶油微胶囊平均粒度的影响最大,随着复凝 pH 值的升高,微胶囊的平均粒径下降;而其他 3 个因素在正交实验取值范围内对微胶囊的粒径影响相对较弱。

该实验结果显示最优水平组合为 $A_1B_1C_1D_3$,即壁材质量分数 2%、乳化剂质量分数 0.1%、芯壁比 1:2、复凝 pH = 4,在该条件下制备所得微胶囊的平均粒度为 15.79 μm ,小于以上 9 组正交实验结果,

验证了正交实验的合理性。

2.2 优化工艺条件制得微胶囊的结构与性能

2.2.1 艾叶油微胶囊的形貌特征 图 1 为优化工艺下制备的艾叶油微胶囊偏光显微镜照片和扫描电镜图片。由图 1(a)和图 1(b)可以看出,艾叶油微胶囊大多呈现出规则的圆形,大小均一,分散性好,内部包裹有浅绿色的艾叶油;同时发现微胶囊囊壁厚实,这有利于保护微胶囊芯材,从而使包裹在微胶囊中的艾叶油得以缓慢释放。由图 1(c)和图 1(d)可以看出,艾叶油微胶囊呈现出较规则的球形,分散性较好,没有明显的粘连;微胶囊表面较光滑,分布有细密的孔眼,没有明显的裂缝。由图 1 还可看出,艾叶油微胶囊的直径大致分布在 10 ~ 20 μm 范围内,与激光粒度仪测试所得的平均粒径 15.79 μm 基本一致。

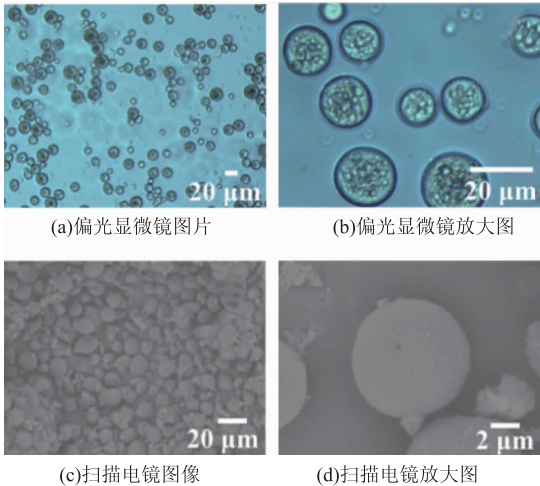


图 1 艾叶油微胶囊的偏光显微镜图片和扫描电镜图像
Fig.1 Polarizing microscope images and SEM images of artemisia argyi oil microcapsules

2.2.2 艾叶油微胶囊的含油率 吸光度与不同浓度艾叶油溶液的线性拟合曲线如图 2 所示。

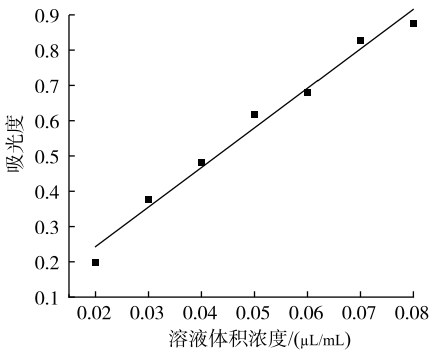


图 2 吸光度与不同浓度艾叶油溶液的线性拟合曲线
Fig.2 Linear fitting diagram of absorbance to volume fraction of artemisia argyi oil microcapsules

由图 2 可以看出,艾叶油的体积浓度与吸光度

有着良好的线性关系 ($R^2 = 0.987$),即

$$A = 0.004 + 11.56x。 \tag{1}$$

由式(1)推得,艾叶油微胶囊的含油率

$$Q = \frac{\rho N(A_0 - 0.004)V}{11.56m \times 10^3}。 \tag{2}$$

式中: ρ 为艾叶油的密度,0.91 g/mL; m 为所称取微胶囊的质量(g), V 为溶剂乙醇的体积(mL), N 为提取液的稀释倍数。

优化工艺下制备的艾叶油微胶囊-乙醇溶液在波长 201.8 nm 处测得吸光度 $A_0 = 0.540$ 。计算得到艾叶油微胶囊的含油率为 23.26%。

2.2.3 艾叶油微胶囊的化学结构 图 3 为明胶、阿拉伯树胶、空微胶囊、艾叶油以及艾叶油微胶囊的红外光谱曲线。由图 3 可以发现,明胶和阿拉伯树胶分别呈现蛋白质和多糖类物质的特征。阿拉伯树胶曲线中,在 1 077 和 1 030 cm^{-1} 处为 C—O—H 或 C—O—C 的特征峰,在 1 420 cm^{-1} 处为 CH_2OH 的吸收峰;在形成空微胶囊后,1 420 cm^{-1} 处吸收峰消失,这是戊二醛对微胶囊的交联固化作用造成的。与空微胶囊相比,艾叶油微胶囊在 2 970 cm^{-1} 处存在吸收峰,这是对应于艾叶油的特征峰,说明微胶囊中可以探测出艾叶油。但艾叶油红外光谱中 1 400 ~ 700 cm^{-1} 范围内多个吸收峰都未在艾叶油微胶囊红外光谱中出现,可能是艾叶油被包裹在胶囊内部、壁材对艾叶油的保护作用造成的^[13]。

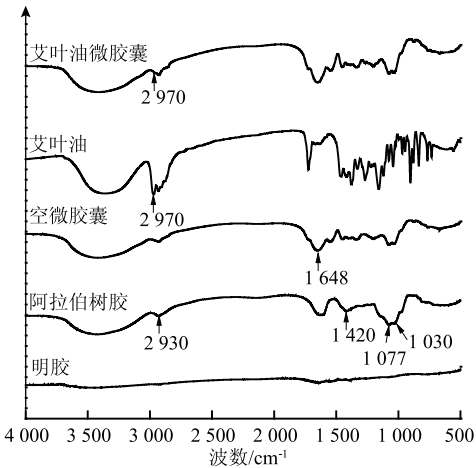


图 3 艾叶油、明胶、阿拉伯树胶、空微胶囊和艾叶油微胶囊的红外光谱图

Fig.3 Infrared spectra of artemisia argyi oil, gelatin, Arabic gum, wall coacervate and artemisia argyi oil microcapsules

2.2.4 艾叶油微胶囊的热稳定性 通过热重测试分析艾叶油微胶囊的热稳定性能,得到测试温度范

围内微胶囊粉末质量与温度的变化关系,具体如图 4 所示。

由图 4 可以看出,艾叶油在 100 ℃ 附近开始挥发,挥发速率逐渐加快,在 150 ℃ 附近艾叶油几乎消失。明胶、阿拉伯树胶、壁材复凝物以及艾叶油微胶囊在 100 ℃ 附近开始有质量损失,主要是由于样品中残留的乙醇、水分以及微胶囊表面附着的芯材蒸发。在 150 ~ 250 ℃ 区间内样品质量损失趋于稳定,尤其是艾叶油微胶囊,出现明显的平缓区,说明此时艾叶油和壁材基本保持稳定;而当温度升高到 250 ℃ 以后,4 种样品均出现明显的失重,说明明胶、阿拉伯树胶在该温度区间内发生热分解,微胶囊也在该区间外壳破裂,内部艾叶油迅速挥发,壁材逐渐热分解。在整个升温过程中艾叶油微胶囊总质量损失率为 70% 左右,略低于明胶、阿拉伯树胶、壁材复凝物的质量损失率(75%)。推测是由于微胶囊制备时采用了碱化、戊二醛和单宁酸固化,这有利于提高微胶囊的热稳定性。另外,与 150 ℃ 左右就挥发完全的艾叶油相比,微胶囊包覆可有效延缓艾叶油的挥发,使其在 250 ℃ 范围内仍保有一定的热稳定性。

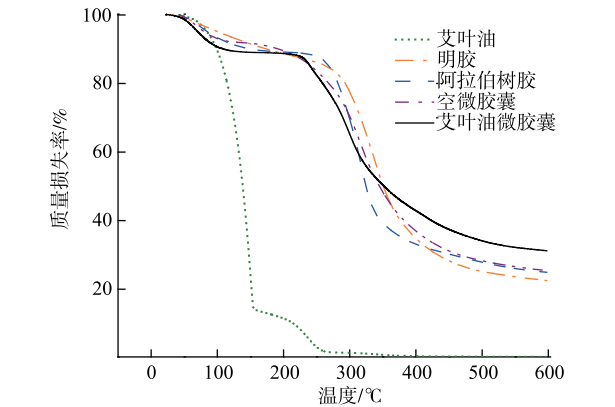


图 4 艾叶油、明胶、阿拉伯树胶、壁材复凝物和艾叶油微胶囊的 TG 曲线

Fig. 4 TG curves of artemisia argyi oil, gelatin, Arabic gum, wall coacervate and artemisia argyi oil microcapsules

2.3 抗菌磁性织物的结构与性能

2.3.1 抗菌磁性织物的性能 图 5 分别为磁性织物原样以及微胶囊整理后、洗涤 5 次、10 次后磁性织物的扫描电镜图像。

由图 5 可以看出,加入磁粉后,纤维失去了普通锦纶纤维的光洁和平滑,其表面和内部变得凹凸不平,有明显的纳米颗粒;经整理后,织物表面或纤维缝隙中固着有微米级的球形胶囊状物质,即为艾

叶油微胶囊;经 5 次洗涤后,织物微胶囊含量几乎没有变化。这是由于制备的微胶囊粒径比较小,可以渗入到磁性织物纤维之间的空隙中,使得微胶囊粒子与锦纶磁性纤维牢固而紧密地连在一起,多次洗涤后仍不易脱落下来。但经过 10 次洗涤后,纤维表面或缝隙间球形微胶囊数量有所降低减少,这是由于部分黏附不牢固的微胶囊脱落。

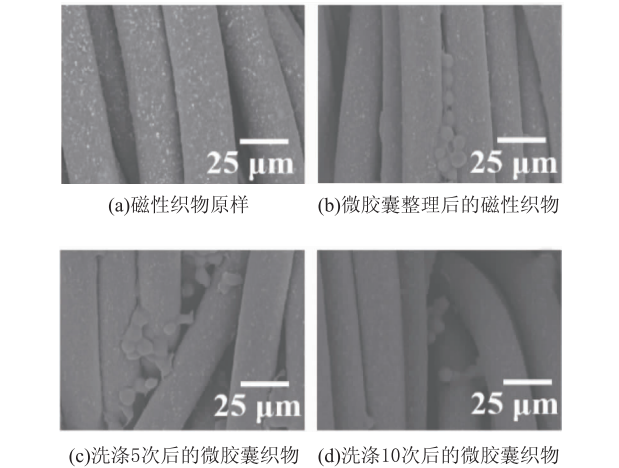
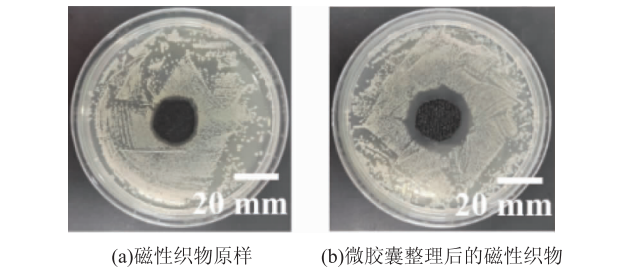
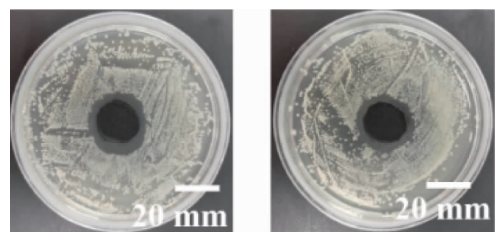


图 5 织物的 SEM 图像

Fig. 5 SEM images of fabrics

2.3.2 抗菌、耐洗性及磁性能 图 6 和图 7 分别是织物对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌测试结果,其对应的抑菌带宽度和磁感应强度见表 3。结合图 6、图 7 和表 3 可以看出,无论有无负载艾叶油微胶囊,试样下方均未发现大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的繁殖,试样周围出现一定宽度的抑菌带。磁性纤维的使用使得织物自身对于大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有一定的抑制作用,将艾叶油微胶囊整理到该磁性织物后,该织物的抗菌性能明显增强,且对金黄色葡萄球菌的抑制作用比大肠杆菌更为强烈。整理后的织物经过 5 次洗涤后其抗菌性能几乎没有变化,这与图 5 相对应;经过 10 次洗涤后织物抗菌性能减弱,是因为 10 次洗涤后织物微胶囊含量减少,黏附在纤维表面的艾叶油微胶囊部分脱落。

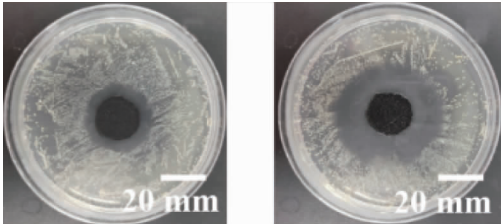




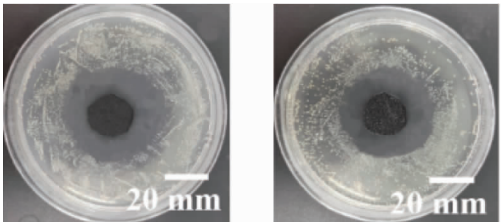
(c)洗涤5次后的微胶囊织物 (d)洗涤10次后的微胶囊织物

图 6 织物对大肠杆菌的抑菌测试

Fig. 6 Antibacterial effect of fabrics against *E. coli* bacteria



(a)磁性织物原样 (b)微胶囊整理后的磁性织物



(c)洗涤5次后的微胶囊织物 (d)洗涤10次后的微胶囊织物

图 7 织物对金黄色葡萄球菌的抑菌测试

Fig. 7 Antibacterial effect of fabrics against *S. aureus* bacteria

表 3 织物的抑菌带宽度和磁感应强度

Tab. 3 Average radius of inhibition zone and magnetic induction intensity of fabrics

试 样	大肠 杆菌/mm	金黄色 葡萄球菌/ mm	磁感应 强度/mT
锦纶基磁性织物	2	5	0.035
微胶囊整理后的磁性织物	4	14	0.033
微胶囊织物(洗涤 5 次)	4	13	0.035
微胶囊织物(洗涤 10 次)	3	10	0.030

由表 3 还可以发现,锦纶基磁性织物表面磁感性强度为 0.035 mT,由 FZ/T 01116—2012 可知,它属于弱磁性织物的范畴。微胶囊整理前后织物磁性几乎没有发生大的改变,同时该磁性织物耐洗涤性能良好,在洗涤 5,10 次后磁性仍然保持在 0.03 mT 左右。制得的织物兼具磁性和抗菌效果,未来可作为保健面料应用于制作鞋面材料、贴身衣

物、床上用品等。

3 结 语

1)以明胶-阿拉伯树胶为壁材、艾叶油为芯材,采用复凝聚法制备艾叶油微胶囊。正交实验结果表明:当壁材质量分数为 2%、乳化剂质量分数为 0.1%、芯壁比 1:2、复凝 pH = 4 时微胶囊粒度分布集中,平均粒度为 15.79 μm,有利于更多的微胶囊渗入磁性织物的纤维缝隙中并黏附到织物上。在该制备条件下获得的微胶囊为球形,形态规则,含油率为 23.26%。

2)锦纶基磁性织物本身具有一定的抗菌性,经艾叶油微胶囊整理后,织物抗菌性能明显增强,且经 5,10 次洗涤后的艾叶油微胶囊整理织物仍有较好的抗菌性能。

3)该锦纶基磁性织物的磁感应强度在 0.03 mT 左右,属于弱磁性织物,艾叶油微胶囊的整理和磁性织物的洗涤对其磁性变化影响不大,因此艾叶油微胶囊整理后的磁性织物具有潜在的保健功效。

参考文献:

[1] 芦淑艳,刘亚贤,许寿春. 艾叶挥发油 β-环糊精包合物的制备 [J]. 中国新药杂志, 2006, 15 (19): 1671-1674.

LU Shuyan, LIU Yaxian, XU Shouchun. Preparation of inclusion complex of volatile oils from folium artemisiae with β-cyclodextrin [J]. Chinese Journal of New Drugs, 2006, 15 (19): 1671-1674. (in Chinese)

[2] 顾蓓,余晓玲,张毅. 艾叶的现代研究及临床新用 [J]. 中医临床研究, 2016, 8 (22): 58-60.

GU Heng, YU Xiaoling, ZHANG Yi. The modern research and clinical application of aiye [J]. Clinical Journal of Chinese Medicine, 2016, 8 (22): 58-60. (in Chinese)

[3] 李宏英,王鸿博,傅佳佳,等. 明胶-海藻酸钠制备薄荷油微胶囊的工艺优化 [J]. 高分子材料科学与工程, 2019, 35 (9): 142-149.

LI Hongying, WANG Hongbo, FU Jiajia, et al. Optimization of preparation technology of peppermint oil microcapsules in gelatin-sodium alginate [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2019, 35 (9): 142-149. (in Chinese)

[4] 李扬. 薰衣草精油微胶囊在棉织物上进行驱蚊整理的研究 [J]. 印染助剂, 2017, 34 (10): 35-38.

LI Yang. Mosquito repellent finishing of lavender essential oil microcapsule on cotton fabric [J]. Textile Auxiliaries,

- 2017, 34(10): 35-38. (in Chinese)
- [5] STAN M S, CHIRILA L, POPESCU A, et al. Essential oil microcapsules immobilized on textiles and certain induced effects[J]. *Materials*, 2019, 12(12): 1-15.
- [6] 杨陈. 驱蚊微胶囊的制备及对黏胶面料的功能整理[J]. *纤维素科学与技术*, 2018, 26(1): 43-47.
YANG Chen. Research on anti-mosquito microcapsule preparation and functional finishing of viscose fabrics[J]. *Journal of Cellulose Science and Technology*, 2018, 26(1): 43-47. (in Chinese)
- [7] 于强强, 张丽平. 微胶囊技术在纺织品加工中的应用[J]. *纺织导报*, 2014(9): 60-62.
YU Qiangqiang, ZHANG Liping. Application of microcapsule technology in textile processing[J]. *China Textile Leader*, 2014(9): 60-62. (in Chinese)
- [8] SPECOS M M M, GARCÍA J J, TORNESELLO J, et al. Microencapsulated citronella oil for mosquito repellent finishing of cotton textiles[J]. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2010, 104(10): 653-658.
- [9] 苏静, 李昌龄, 阚建兴, 等. 磁性纤维及磁性纺织品的研究现状[J]. *服装学报*, 2020, 5(5): 382-386.
SU Jing, LI Changling, KAN Jianxing, et al. Recent development of magnetic fiber and magnetic textiles[J]. *Journal of Clothing Research*, 2020, 5(5): 382-386. (in Chinese)
- [10] 陈毅军, 刘正芹. 磁性疗法纺织品及其研究现状[J]. *山东纺织科技*, 2015, 56(5): 42-45.
CHEN Yijun, LIU Zhengqin. Development of magnetic therapy textiles[J]. *Shandong Textile Science and Technology*, 2015, 56(5): 42-45. (in Chinese)
- [11] 张博亚, 张如全. 纺织品磁性整理的研究进展[J]. *纺织导报*, 2017(3): 64-66.
ZHANG Boya, ZHANG Ruquan. Research and development of magnetic finishing of textiles[J]. *China Textile Leader*, 2017(3): 64-66. (in Chinese)
- [12] 李昌龄, 王文聪, 华东, 等. 锦纶基磁性纤维的制备及其性能[J]. *纺织学报*, 2019, 40(11): 26-31, 37.
LI Changling, WANG Wencong, HUA Dong, et al. Preparation and properties of polyamide-based magnetic fibers[J]. *Journal of Textile Research*, 2019, 40(11): 26-31, 37. (in Chinese)
- [13] 王辉. 艾草精油微胶囊的制备及对棉织物的抗菌整理[D]. 武汉: 武汉纺织大学, 2013.

(责任编辑:邢宝妹)