

纳米银/聚多巴胺/纤维素纤维抗菌纸的两锅法原位制备、表征及性能

李春婷, 钱学仁, 安显慧

东北林业大学, 生物质材料科学与技术教育部重点实验室, 哈尔滨 150040

摘要 通过两锅法成功制得纳米银/聚多巴胺/纤维素纤维(nanoAg/PDA/CF)抗菌纸,此过程无需外加还原剂。扫描电镜(SEM)观察及能谱(EDX)分析表明,抗菌纸表面载有尺寸为70~150 nm球形或立方形纳米银粒子。X射线衍射(XRD)和热重(TGA)分析证明,纳米银粒子原位生成并沉积在聚多巴胺功能化的纤维素纤维表面。所制得的nanoAg/PDA/CF新型抗菌纸对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和大肠杆菌(*Escherichia coli*)均表现出显著的抗菌活性。nanoAg/PDA/CF复合纤维的最佳制备条件为:pH值8.5,多巴胺质量浓度125 mg/L,硝酸银质量浓度375 mg/L,多巴胺自聚合时间2 h,室温。

关键词 纤维素纤维;聚多巴胺;纳米银;抗菌纸;两锅法

纸是人们必不可少的生活必需品,然而,纸在生产、储存及使用过程中会感染细菌、真菌或病毒。纤维素纤维(CFs)作为制浆造纸的主要原材料,其良好的透气性和吸附性在多数情况下是优点,但这些特性也为细菌、真菌或病毒提供了生长条件。因此,抗菌纸的研究与开发已成为近年来功能纸领域的研究热点之一。其中,通过纤维素纤维改性制造抗菌纸已成为最可接受的方法之一。

银作为广谱杀菌剂,一直在医学领域使用^[1,2]。银对大多数革兰氏阳性和革兰氏阴性微生物、许多需氧菌和厌氧菌以及一些抗生素耐药菌株均有抵抗作用^[3,4],而且对人类的毒性较低^[5-7]。纳米银粒子因其大的比表面积而表现出更大的溶解度、化学反应性和抗菌活性,已成为本世纪最有效的抗菌药物之一^[8,9]。在纤维素纤维上原位生成纳米银粒子是一个有效制备抗菌纸的策略。在此过程中,银离子被吸附到纤维素纤维表面并还原为纳米银粒子。

在纳米银粒子的原位生成过程中,银离子的还原是一个关键步骤。肼、葡萄糖、硼氢化钠和柠檬酸盐等化学试剂以及超声波^[10]和射线^[11]已经用于Ag⁺的还原反应中。然而,上述过程或者所需的化学品对环境有害,或者需要昂贵的仪器设备。

近年来,各种酚的衍生物一直应用于金和银纳米粒子的制备,在反应中它们既充当还原剂又作为稳定剂^[12,13]。聚多巴胺(PDA)是一种生物相容性的合成的类贻贝黏附蛋白,通

过多巴胺(DA)在水溶液中大量自聚合形成^[14-16]。Lee等^[17,18]报道,具有表面黏附性和多功能生物薄膜——聚多巴胺层能够在无机和有机材料表面通过多巴胺的自聚合形成。Xu等^[19,20]首先将DA浸涂在棉和聚酯纤维表面,然后在DA改性的棉和聚酯纤维上原位生成银纳米粒子,制得抗菌织物。

然而,迄今为止,尚无PDA-nanoAg复合沉积于纤维素纤维上制备抗菌纸的报道。PDA因其金属离子螯合能力和氧化还原能力^[21],可以将Ag⁺还原为纳米银粒子。更重要的是,PDA可以黏附在几乎所有材料表面上^[18]。因此,PDA可以作为一个非常理想的材料黏附在纤维素纤维表面并原位生成纳米银粒子。本研究通过两锅法工艺原位制备纳米银/聚多巴胺/纤维素纤维(nanoAg/PDA/CF)抗菌纸,并评价其抗菌性能。

1 实验

1.1 材料

硝酸银,分析纯,天津市天感化工技术开发有限公司生产;盐酸多巴胺,分析纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司生产;氢氧化钠、氯化钠,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司生产;实验所用纤维素纤维为加拿大进口漂白硫酸盐针叶木浆板,由黑龙江省牡丹江恒丰纸业有限公司提供,用ZQS₂-23型打浆机打浆至打浆度为42°SR;牛肉膏、蛋白胨、琼脂粉,生物试剂,北京奥博星生物技术有限责任公司生产;大肠杆菌

收稿日期:2016-02-26;修回日期:2016-03-23

作者简介:李春婷,硕士研究生,研究方向为纸基功能材料,电子信箱:1151975213@qq.com;钱学仁(通信作者),教授,研究方向为纤维工程与纸基功能材料,电子信箱:qianxueren@126.com

引用格式:李春婷,钱学仁,安显慧. 纳米银/聚多巴胺/纤维素纤维抗菌纸的两锅法原位制备、表征及性能[J]. 科技导报, 2016, 34(19): 81-86; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2016.19.013

(ATCC25922-3)、金黄色葡萄球菌(ATCC25923-3), 青岛高科园海博生物技术有限公司生产。所有化学药剂都未经提纯, 实验过程中所用溶液均由去离子水配制。

1.2 抗菌纸的制备

在室温条件下, 将 2 g 绝干纤维素纤维、一定量的去离子水加入表面贴有锡纸的三口瓶中, 并将其置于暗箱中, 在转速为 350 r/min 条件下搅拌, 以使纤维素纤维充分分散。将一定量已知 pH 值的盐酸多巴胺(采用 5% 氢氧化钠调节 pH 值) 加入已经分散好的纤维素纤维悬浮液中搅拌 2 h, 浆浓为 1%。用自制网兜过滤出纤维素纤维, 并经去离子水反复洗涤, 备用。

将上述洗涤过的纤维素纤维、一定量的去离子水加入到

表面贴有锡纸的三口瓶中, 用液体取样器向体系中加入一定量的硝酸银溶液, 在浆浓为 1% 条件下搅拌 1 h。结束后, 用自制网兜过滤出纤维素纤维, 并用自来水反复洗涤, 以去除未反应药品。所得试样记为 nanoAg/PDA/CF。nanoAg/PDA/CF 复合纤维的制备过程如图 1 所示。为便于对比, 制备了只沉积聚多巴胺膜和只加硝酸银的试样, 分别记为 PDA/CF 和 Ag⁺/CF。

利用 ZQJ₁-B-II 型纸样抄取器将上述所得 nanoAg/PDA/CF 复合纤维抄成纸样, 用 ZOYC II 型油压机在 0.5 MPa 下压榨 5 min, 然后用 DB-3B 型不锈钢电热板在 105℃ 下干燥 8 min。已干燥的纸样在恒温恒湿(23℃, 50% RH) 条件下放置 24 h 后进行相应性能检测。

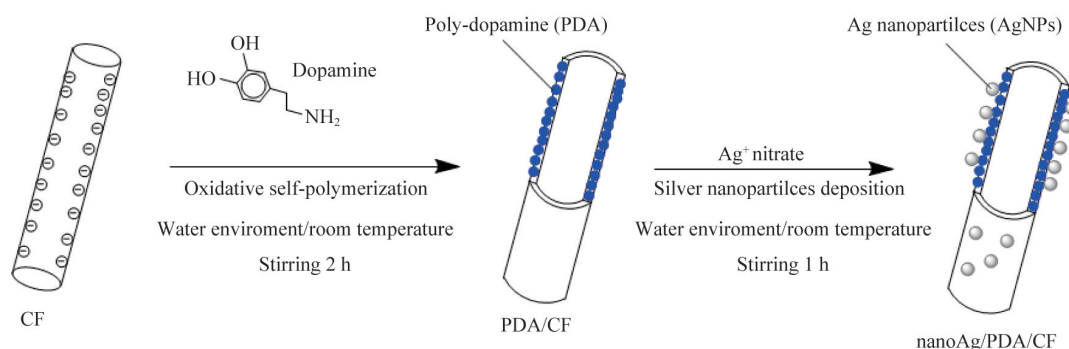


图 1 nanoAg/PDA/CF 复合纤维制备示意

Fig. 1 Schematic diagram of nanoAg/PDA/CF composite preparation

1.3 SEM/EDX、XRD 和 TGA 分析

采用日本电子公司的 JSM-7500F 型扫描电子显微镜和 X 射线能量色散谱测定试样的表面形态和元素分布情况, 样品在观察和分析前进行喷金处理; 德国耐驰公司生产的 TG209F1 型高精度热重分析仪对样品的热稳定性进行分析, 所有样品均以加热速度为 5℃/min、流量为 50 mL/min 氦气氛下在 30~800℃ 测定; 日本理学株式会社生产的 D/max-2200VPC 型 X 射线衍射仪测定样品的晶型, 样品置于玻璃片, 以扫描步距 0.02°、电流电压为 40 kV 和 30 mA、扫描速率 5°/min, 在 20°~90° 范围测试。

1.4 抗菌性能检测

配制营养琼脂培养基: 牛肉膏 0.5%, 蛋白胨 1%, NaCl 0.5%, 琼脂 2%, pH 值 7.2~7.4, 121℃ 灭菌 20 min。

制备菌悬液: 取 1 粒冷冻含菌瓷珠, 置于配制好已灭菌的固体培养基表面, 培养 24 h 得到活化后的菌体, 观察并确定没有染菌后备用。取活化后的菌体接种到已灭菌的固体斜面培养基中, 置于 37℃ 的恒温培养箱中, 培养 24~48 h。将未染菌的斜面菌体溶于装有灭菌水的三角瓶(含玻璃珠)中, 振荡混匀后备用。取制备好的菌原液, 按 10 倍稀释法进行稀释, 制成含量约为 10⁵/mL 的菌悬液, 备用。

抗菌性能的测定: 取一定量适宜浓度的菌悬液, 用涂布法均匀涂在已灭菌的营养琼脂平板上, 把直径为 16 mm 的待

测纸样放在表面涂有细菌的营养琼脂固体培养基的平板上, 然后把培养皿置入 37℃ 的恒温培养箱中培养 24 h。通过抗菌环直径的大小来评估其抗菌性能, 抗菌环直径越大, 其抗菌性能越强。

2 结果与讨论

2.1 纸张颜色的比较

未经任何处理的空白纤维所抄纸张颜色为白色(图 2(a)), 经多巴胺和硝酸银双重处理制得的 nanoAg/PDA/CF 复合纤维所抄纸张颜色为暗灰色(图 2(d)), 而只经多巴胺(pH=8.5)处理制得的 PDA/CF 复合纤维和只经硝酸银处理制得的 Ag⁺/CF 复合纤维所抄纸张颜色分别为深棕色(图 2(b))和土黄色(图 2(c))。

2.2 SEM 和 EDX 的分析

各样品扫描电子显微镜(SEM)照片如图 3 所示。空白纤维表面平滑, 无粒子沉积(图 3(a))。在 pH=8.5 条件下制得的 PDA/CF 复合纤维表面覆盖了聚多巴胺薄层, 纤维表面变得粗糙(图 3(b))。在 pH=8.5 条件下仅用硝酸银处理的纤维素纤维(Ag⁺/CF)表面无明显粒子沉积(图 3(c))。而 nanoAg/PDA/CF 复合纤维表面生成了尺寸为 71~157 nm 球形和 100~157 nm 立方形银纳米粒子(图 3(d))。与此同时, EDX 结果表明, nanoAg/PDA/CF 复合纤维中银的质量分数为

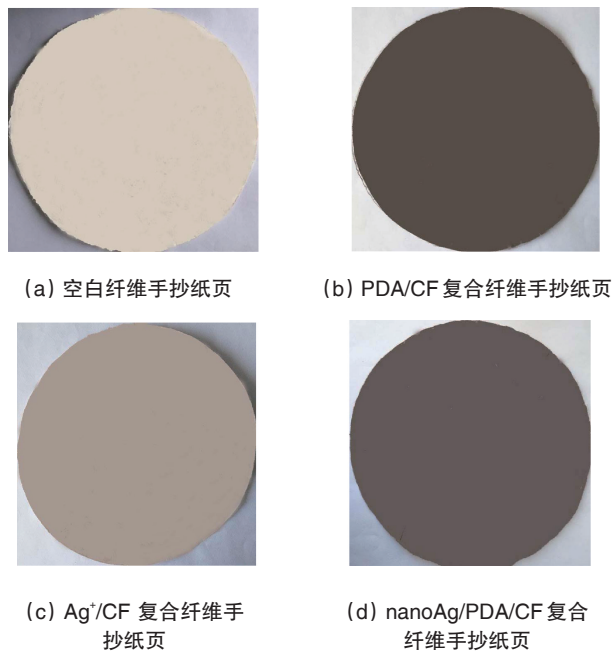
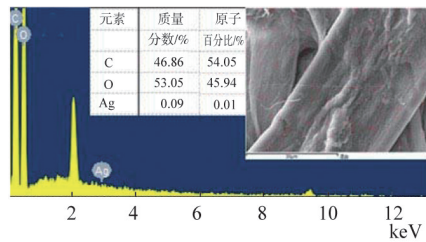


图2 手抄纸页照片

Fig. 2 Photographs of handsheets



(a) Ag⁺/CF 复合纤维

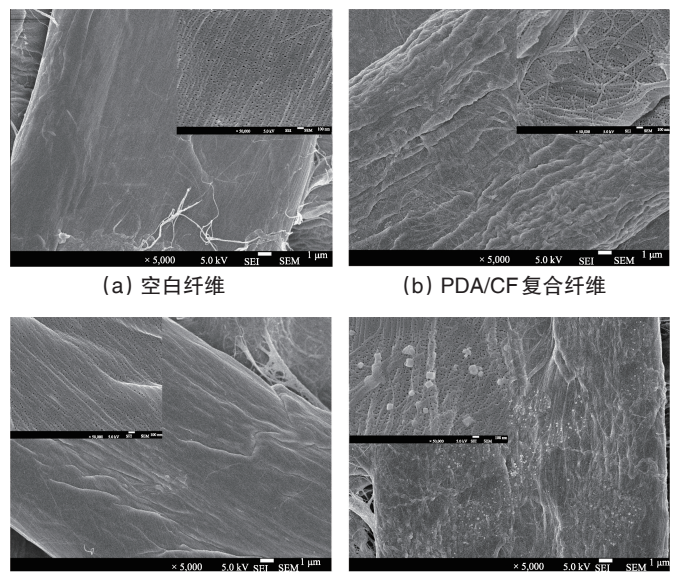
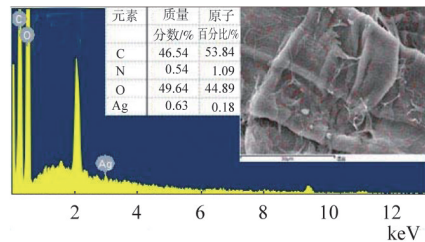


图3 纸样的SEM照片

Fig. 3 SEM images of paper samples

0.63%(图4(b)),由于PDA已沉积在CFs表面,0.18%银原子比例也高于Ag⁺/CF复合纤维的0.01%。



(b) nanoAg/PDA/CF 复合纤维

图4 纸样的EDX分析结果

Fig. 4 EDX results of paper samples

2.3 XRD和TGA分析

图5为空白纤维、PDA/CF、Ag⁺/CF和nanoAg/PDA/CF复

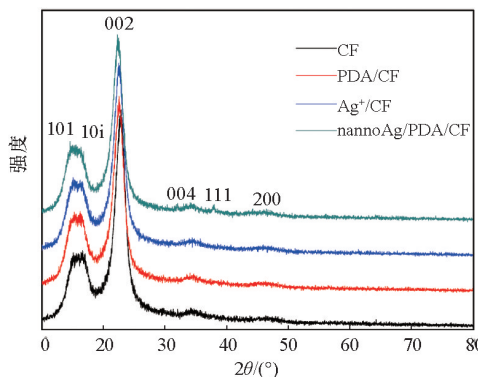


图5 空白纤维、PDA/CF、Ag⁺/CF及nanoAg/PDA/CF复合纤维XRD谱图

Fig. 5 X-ray diffraction (XRD) patterns of paper samples

合纤维的XRD谱图。在各样品XRD谱图中均存在14.98°、16.7°、22.8°和34.49°谱峰,分别对应纤维素纤维4个晶面(101、10i、002和040)的晶体衍射^[22]。nanoAg/PDA/CF复合纤维在38.07°和44.31°位置出现两高峰,分别与纳米银的面心立方结构(111)和(200)对应^[23],而Ag⁺/CF复合材料并未检测到纳米银的存在。

采用TGA检测空白纤维、PDA/CF、Ag⁺/CF和nanoAg/PDA/CF复合纤维的热稳定性,结果如图6所示。所有样品在100℃时都有初始的重量损失,这是由于吸附在纤维表面的水分蒸发^[24]。在280~360℃时有显著的重量损失,nanoAg/PDA/CF复合纤维与PDA/CF和Ag⁺/CF复合纤维相比有更多的残留,但均比空白纤维的残留量低,这是由于复合纤维侧链连接不紧密、金属离子破坏了纤维的稳定结构造成的。当温度在360~650℃时,nanoAg/PDA/CF复合纤维的残留量为12.22%,依次高于Ag⁺/CF、PDA/CF复合纤维及空白纤维,说

明由于金属银已沉积到纤维素纤维上,获得更多的残留量。随着温度的继续升高, nanoAg/PDA/CF 复合纤维的残留量为 15.73%, 说明其表面沉积有更多的银。最终, Ag⁺/CF、PDA/CF 复合纤维和空白纤维的残留量分别为 12.78%、11.49% 和 9.61%。

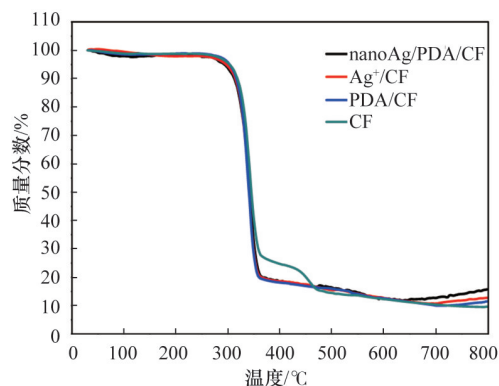


图6 空白纤维、PDA/CF、Ag⁺/CF及 nanoAg/PDA/CF 复合纤维 TGA 谱图

Fig. 6 Thermogravimetric analysis (TGA) curves of paper samples

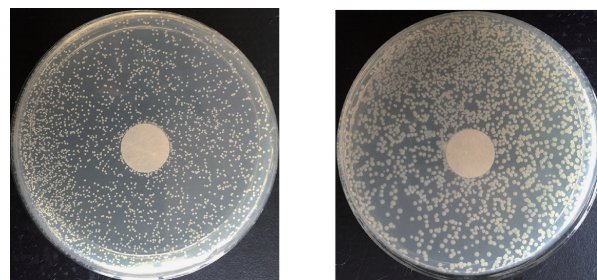
2.4 抗菌性能检测

采用在营养琼脂培养基表面形成抑菌圈直径的大小来评价空白纤维纸、PDA/CF、Ag⁺/CF 和 nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸的抗菌性。大肠杆菌和金黄色葡萄球菌分别代表着革兰氏阴性和阳性菌来探讨各复合纤维纸的抗菌效应^[25], 结果如图 7 所示。空白纤维纸(图 7(a)、(b))和 PDA/CF 复合纤维纸(图 7(c)、(d))并没有影响到细菌的生长, 这证明了 PDA 良好的生物相容性, 也说明 PDA 薄层并没有影响原纤维纸的生物相容性。

然而, Ag⁺/CF(图 7(e)、(f))和 nanoAg/PDA/CF(图 7(g)、(h))复合纤维纸能够清晰的观察到抑菌圈的存在, 这说明在培养基上复合纤维纸周围无细菌生长。此结果表明这两种复合纤维纸对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有显著的抑制生长作用。特别地, nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸有更强的抗菌性。由 SEM 的分析结果可知, 制得的 nanoAg/PDA/CF 复合纤维存在银纳米粒子, 它对抗菌性有贡献。

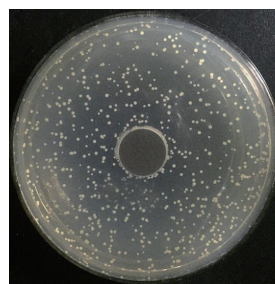
同时, 革兰氏阳性菌金黄色葡萄球菌与革兰氏阴性菌大肠杆菌相比表现更为敏感^[26,27], 说明 nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸对金黄色葡萄球菌具有更好的抑菌效果。革兰氏阴性菌大肠杆菌的细胞膜由于其等电点为 4~5, 表现出负电性, 而金黄色葡萄球菌的等电点为 2~3, 能够在培养介质中产生更强的负电性^[28]。大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有不同的表面电荷状态, 这使得大肠杆菌与复合纤维纸的接触相对于金黄色葡萄球菌阻力更大, 因而复合纤维纸对不同菌种表现出差异性。据推论^[29], 银通过破坏细胞壁获得抗菌性。这两种细菌的细胞壁结构完全不同, 金黄色葡萄球菌的细胞壁更薄, 保

护蛋白更少, 所以金黄色葡萄球菌与大肠杆菌相比更易被破坏^[28]。因此, 复合纤维纸对金黄色葡萄球菌有更强的抗菌性。

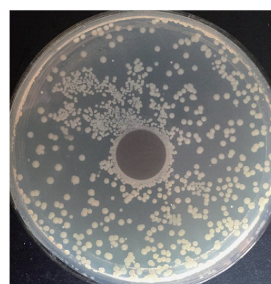


(a) 空白纤维与金黄色葡萄球菌

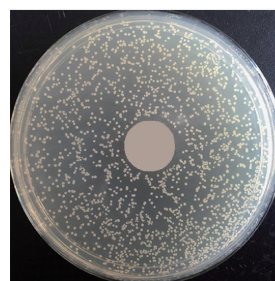
(b) 空白纤维与大肠杆菌



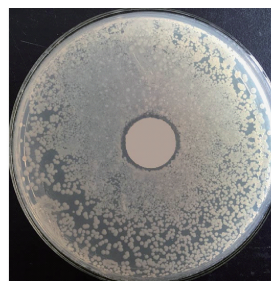
(c) PDA/CF 复合纤维与金黄色葡萄球菌



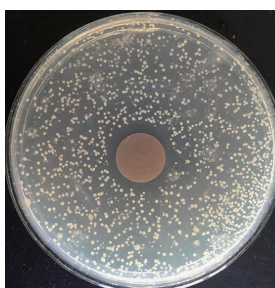
(d) PDA/CF 复合纤维与大肠杆菌



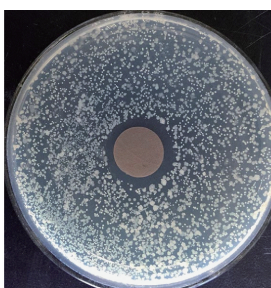
(e) Ag⁺/CF 复合纤维与金黄色葡萄球菌



(f) Ag⁺/CF 复合纤维与大肠杆菌



(g) nanoAg/PDA/CF 复合纤维与金黄色葡萄球菌



(h) nanoAg/PDA/CF 复合纤维与大肠杆菌

图7 抗菌性检测图

Fig. 7 Photographs of antibacterial activity tests

2.5 工艺条件的优化

pH 值与抑菌圈直径大小存在着正相关关系(图 8(a))。当 pH 值为 8.5 时, nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸对革兰氏阴性(大肠杆菌)和阳性(金黄色葡萄球菌)细菌的抗菌性都最

强。随着多巴胺质量浓度的增加, nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸的抗菌性逐渐增强, 并在多巴胺质量浓度为 125 mg/L 时, 抑菌圈直径最大(图 8(b))。当硝酸银质量浓度为 100~375 mg/L 时, 复合纤维纸的抗菌性呈线性增强。随着硝酸银质量浓度继续增加, 抑菌性虽然继续增强, 但增强幅度下降, 尤其

是对于金黄色葡萄球菌(图 8(c))。当多巴胺自聚合 2 h 时, 得到的 nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸的抑菌性最强(图 8(d))。综合上述结果, 得出 nanoAg/PDA/CF 复合纤维最优的制备条件为: pH 值为 8.5, 多巴胺质量浓度 125 mg/L, 硝酸银质量浓度 375 mg/L, 多巴胺自聚合时间 2 h, 室温。

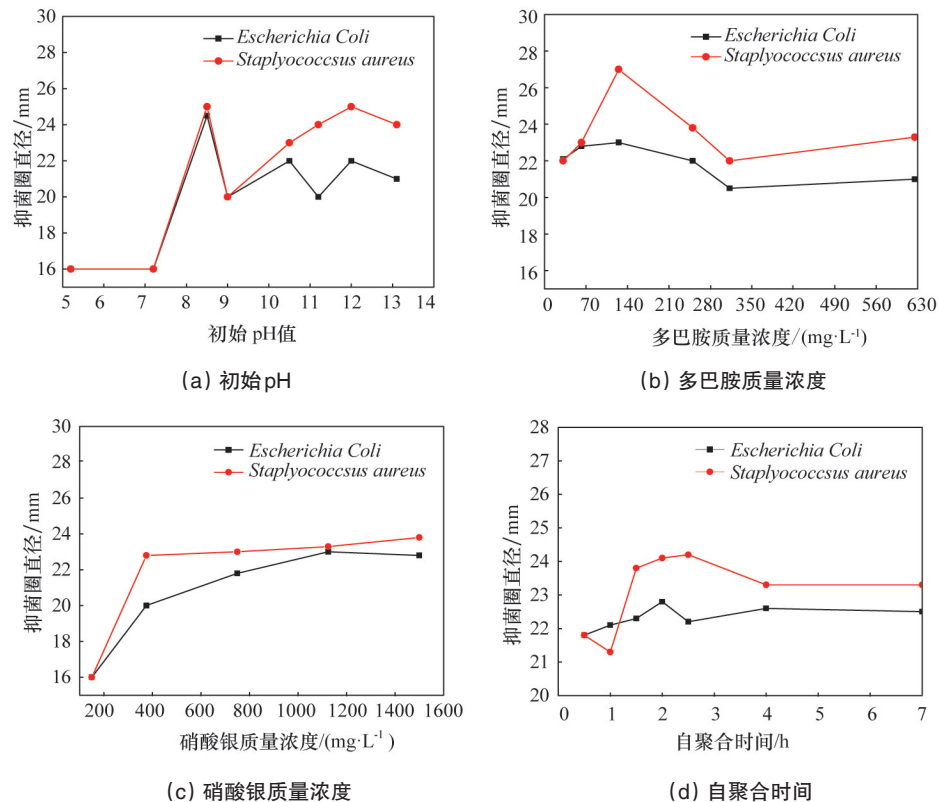


图 8 工艺条件对 nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸抗菌性的影响

Fig. 8 Effect of process variables on antibacterial activity of nanoAg/PDA/CF composite paper

3 结论

在室温下通过两锅法可以制备纳米银/聚多巴胺/纤维素纤维(nanoAg/PDA/CF)抗菌纸。SEM/EDX 分析表明, 复合纤维表面载有尺寸为 71~157 nm 球形和 100~157 nm 立方银纳米粒子。XRD 和 TGA 分析表明, PDA-nanoAg 粒子能够使用简单、温和和绿色的方法原位生成并沉积在 CFs 上。所制得的 nanoAg/PDA/CF 复合纤维纸对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌均表现出显著的抗菌活性。nanoAg/PDA/CF 复合纤维最优的制备条件为: pH 值为 8.5, 多巴胺质量浓度 125 mg/L, 硝酸银质量浓度 375 mg/L, 多巴胺自聚合时间 2 h, 室温。

参考文献 (References)

- [1] Zheng Z, Yin W, Zara J N, et al. The use of BMP-2 coupled-Nanosilver-PLGA composite grafts to induce bone repair in grossly infected segmental defects[J]. *Biomaterials*, 2010, 31(35): 9293-9300.
- [2] Liu Y, Zheng Z, Zara J N, et al. The antimicrobial and osteoinductive properties of silver nanoparticle/poly (DL-lactic-co-glycolic acid)-coated stainless steel[J]. *Biomaterials*, 2012, 33(34): 8745-8756.
- [3] Klasen H J. Historical review of the use of silver in the treatment of burns. I. Early uses[J]. *Burns*, 2000, 26(2): 117-130.
- [4] Klasen H J. Historical review of the use of silver in the treatment of burns. I. Early uses[J]. *Burns*, 2000, 26(2): 131-138.
- [5] Gadd G M, Laurence O S, Briscoe P A, et al. Silver accumulation in *Pseudomonas stutzeri* AG 259[J]. *Biomaterials*, 1989, 2(3): 168-173.
- [6] Williams R L, Williams D F. Albumin adsorption on metal surfaces[J]. *Biomaterials*, 1988, 9(3): 206-212.
- [7] Schierholz J M, Lucas L J, Rump A, et al. Efficacy of silver-coated medical devices[J]. *Journal of Hospital Infection*, 1998, 40(4): 257-262.
- [8] Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials[J]. *Biotechnology Advances*, 2009, 27(1): 76-83.
- [9] Yang G, Xie J, Hong F, et al. Antimicrobial activity of silver nanoparticle impregnated bacterial cellulose membrane: Effect of fermentation carbon sources of bacterial cellulose[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(1): 839-845.
- [10] Abbasi A R, Morsali A. Synthesis and properties of silk yarn containing Ag nanoparticles under ultrasound irradiation[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2011, 18(1): 282-287.
- [11] Chang S, Kang B, Dai Y, et al. Synthesis of antimicrobial silver

- nanoparticles on silk fibers via γ - radiation[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 112(4): 2511-2515.
- [12] Scampicchio M, Wang J, Blasco A J, et al. Nanoparticle-based assays of antioxidant activity[J]. Analytical Chemistry, 2006, 78(6): 2060-2063
- [13] Huang X, Liao X, Shi B. Synthesis of highly active and reusable supported gold nanoparticles and their catalytic applications to 4-nitrophenol reduction[J]. Green Chemistry, 2011, 13(10): 2801-2805.
- [14] Lee H, Scherer N, Messersmith P. Single-molecule mechanics of mussel adhesion[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(35): 12999-13003.
- [15] Lee H, Lee Y, Statz A R, et al. Substrate-independent layer-by-layer assembly by using mussel-inspired polymers[J]. Advanced Materials, 2008, 20(9): 1619-1623.
- [16] Postma A, Yan Y, Wang Y, et al. Self-polymerization of dopamine as a versatile and robust technique to prepare polymer capsules[J]. Chemistry of Materials, 2009, 21(14): 3042-3044.
- [17] Lee H, Dellatore S, Miller W, et al. Mussel-inspired surface chemistry for multifunctional coatings[J]. Science, 2007, 318(5849): 426-430.
- [18] Ye W, Wang D, Zhang H, et al. Electrochemical growth of flowerlike gold nanoparticles on polydopamine modified ITO glass for SERS application[J]. Electrochimica Acta, 2010, 55(6): 2004-2009.
- [19] Xu H, Shi X, Ma H, et al. The preparation and antibacterial effects of dopa-cotton/AgNPs[J]. Applied Surface Science, 2011, 257(15): 6799-6803.
- [20] Xu H, Shi X, Lv Y, et al. The preparation and antibacterial activity of polyester fabric loaded with silver nanoparticles[J]. Textile Research Journal, 2013, 83(3): 321-326.
- [21] Ye Q, Zhou F, Liu W. Bioinspired catecholic chemistry for surface modification[J]. Chemical Society Reviews, 2011, 40(7): 4244-4258.
- [22] 刘治刚, 高艳, 金华, 等. XRD 分峰法测定天然纤维素结晶度的研究[J]. 中国测试, 2015, 41(2): 38-41.
- Liu Zhigang, Gao Yan, Jinhua, et al. Study on natural cellulose crystallinity determined by the technology of XRD peak separation[J]. China Measurement & Testing Technology, 2015, 41(2): 38-41.
- [23] Abbasi A R, Morsali A. Synthesis and properties of silk yarn containing Ag nanoparticles under ultrasound irradiation[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(1): 282-287.
- [24] Lu Z, Meng M, Jiang Y, et al. UV-assisted in situ synthesis of silver nanoparticles on silk fibers for antibacterial applications[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2014, 447: 1-7.
- [25] Khan S A, Ahmad A, Khan M I, et al. Antimicrobial activity of wool yarn dyed with Rheum emodi L (Indian Rhubarb)[J]. Dyes Pigments, 2012, 95(2): 206-214.
- [26] Li B, Li Y, Zhao Y, et al. Shape-controlled synthesis of Cu₂O nano/microcrystals and their antibacterial activity[J]. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 2013, 74(12): 1842-1847.
- [27] Cai A, Sun Y, Chang Y, et al. Biopolymer-assisted in situ route toward Cu hollow spheres as antibacterial materials[J]. Materials Letters, 2014, 134: 214-217.
- [28] Li J, Wang G, Zhu H, et al. Antibacterial activity of large-area monolayer graphene film manipulated by charge transfer[J]. Scientific Reports, 2014, 4: 4359-4366.
- [29] Feng Q L, Wu J, Chen G Q, et al. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver-ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus[J]. Journal of biomedical materials research, 2000, 52(4): 662-668.

Two-pot *in situ* preparation, characterization and performance of nano silver/polydopamine/cellulose fiber antibacterial paper

LI Chunting, QIAN Xueren, AN Xianhui

Key Laboratory of Bio-based Material Science and Technology of Ministry of Education; Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract The nano silver/polydopamine/cellulose fiber (nanoAg/PDA/CF) antibacterial paper is successfully *in situ* prepared by the two-pot method without using any additional reducing agent. The scanning electron microscopy (SEM) and the energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analyses reveal that the spherical or cuboidal silver nanoparticles with the size of 70~150 nm are loaded on the surface of the nanoAg/PDA/CF antibacterial paper. The X-ray diffraction (XRD) and the thermogravimetric (TG) analyses confirm that the silver nanoparticles are *in situ* generated and deposited on the polydopamine functionalized cellulose fiber surface. The novel nanoAg/PDA/CF antibacterial paper shows a remarkable antibacterial feature against both *S. aureus* and *E. coli*. The optimum preparative conditions of the nanoAg/PDA/CF composite are: the pH value of 8.5, the dopamine concentration of 125 mg/L, the silver nitrate concentration of 375 mg/L, the dopamine self-polymerization time of 2 h, and the room temperature.

Keywords cellulose fibers; polydopamine; nano silver; antibacterial paper; two-pot method

(编辑 田恬)