

研究论文

基于植物物质还原的银纳米颗粒的制备及在织物抗菌整理上的应用

孙道华¹, 刘兆岩¹, 肖正梨¹, 郑艳梅¹, 黄加乐¹, 李清彪^{1,2}⁽¹⁾ 厦门大学化学化工学院化学工程与生物工程系, 福建 厦门 361005;⁽²⁾ 泉州师范学院化学与生命科学学院, 福建 泉州 362000)

摘要: 纳米银是以纳米技术为基础研制而成的新型抗菌产品, 由于量子效应和尺寸效应具有普通银系抗菌剂无法比拟的抗菌效果。本研究以黄芩、丁香、洋浦桃、芳樟 4 种植物提取液制备银纳米颗粒, 并借助于 UV-Vis、TEM 以及 XRD 对产物进行表征, 结果表明增加植物提取液浓度或增大 NaOH 加入量, 均有利于制得粒径较小的银纳米颗粒。SEM 图片表明采用浸渍法可将所得纳米银颗粒负载于纯棉织物上, 通过考察浸渍时间、温度、浴比对织物上载银量的影响, 确定较优的浸渍条件为时间 30 h, 温度 55℃, 浴比为 1:25。分别考察了银纳米颗粒粒径和植物种类对所得载银织物抗菌性能的影响, 发现负载到织物上的纳米银粒径越小, 织物抑菌效果越好; 利用本身具有抑菌效果的黄芩、丁香来制备银纳米颗粒, 有利于增强所得载银织物的整体抗菌性能; 4 种植物中以黄芩制得的载银织物抗菌效果最优, 对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等实验菌株均有强烈的抑制作用。

关键词: 植物物质还原; 银纳米颗粒; 抗菌织物**DOI:** 10.11949/j.issn.0438-1157.20150859

中图分类号: TS 195.6

文献标志码: A

文章编号: 0438—1157 (2015) 09—3678—07

Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles and application in antibacterial fabric

SUN Daohua¹, LIU Zhaoyan¹, XIAO Zhengli¹, ZHENG Yanmei¹, HUANG Jiale¹, LI Qingbiao^{1,2}⁽¹⁾ Department of Chemical and Biochemical Engineering, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; ⁽²⁾ College of Chemistry & Life Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, Fujian, China)

Abstract: Nano silver, based on the nanoscience and nanotechnology, exhibits excellent antibacterial ability due to the quantum effect and size effect. In this work, the plant-mediated synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) was reported from four plants, including *Scutellaria baicalensis*, *Syzygium aromaticum*, *Syzygium samarangense* and *Cinnamomum camphora*. The as-synthesized AgNPs were characterized by UV-Vis, TEM and XRD techniques. The results indicated that the AgNPs tended to be smaller with the increase of biomass concentration or NaOH adding amounts. SEM images verified that the AgNPs can be loaded onto cotton fabric through impregnation, and the optimal conditions were time of 30 h, temperature of 55℃ and liquor ratio of 1:25. Furthermore, the effects of AgNPs size and plant species on the antibacterial ability of the resulting Ag-coated fabrics were investigated, respectively. AgNPs loaded on the fabrics with smaller size displayed superior antibacterial activity against *Escherichia coli*. Moreover, Ag-coated fabrics prepared from *Scutellaria baicalensis* and *Syzygium aromaticum*

2015-06-08 收到初稿, 2015-06-15 收到修改稿。

联系人: 孙道华, 李清彪。第一作者: 孙道华 (1975—), 女, 副教授。**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (21206140); 厦门市科技计划项目 (3502Z20133006)。**Received date:** 2015-06-08.**Corresponding author:** SUN Daohua, sdaohua@xmu.edu.cn; LI Qingbiao, kelqb@xmu.edu.cn**Foundation item:** supported by the National Natural Science Foundation of China (21206140), Science and Technology Program of Xiamen Municipal (3502Z20133006).

extracts, which possessed own antibacterial ability, showed the cooperative antibacterial effect between biomass and nano-silver. The as-prepared fabric by the extract of *Scutellaria baicalensis* exhibited the best antibacterial ability with high inhibition ratio against various bacteria such as *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*.

Key words: plant-mediated; silver nanoparticle; antibacterial fabric

引言

纺织品在医药、保健、卫生以及运动领域的快速发展, 引起了抗菌整理的热潮^[1]。在纺织材料上微生物的生长不但会对织物本身造成损害, 而且会影响织物的舒适度^[2]。多种抗菌剂如金属盐、季铵化合物、过氧酸等都应用于织物的抗菌整理中^[3]。其中, 纳米银由于其良好的抑菌效果、不易使细菌产生耐药性等优点受到了关注^[4-6]。

目前纳米银的制备方法以化学法为主, 包括溶胶-凝胶法、水热法、微乳液法等。该法工艺较为灵活, 操作简单, 容易控制, 在粒径和形貌的控制上较为成熟。缺点是过程所使用的化学试剂在一定程度上会污染环境, 部分稳定剂或分散剂甚至有致癌性。新兴的植物还原法是近年来发展起来的制备金属纳米颗粒的方法, 利用植物或植物提取液中的活性成分的物理化学作用来还原金属离子^[7-8]。该方法具有明显的“绿色”特征, 无需添加额外的还原剂或稳定剂, 具有原料来源广泛、反应条件温和、纳米颗粒产物稳定性高等优势。最早的利用植物还原法制备银纳米颗粒(AgNPs)的报道始于2003年, Gardea-Torresdey 等利用紫花苜蓿制备了银纳米颗粒^[9]。之后, 有多种植物被报道用于合成银纳米颗粒^[10-11]。本课题组也利用芳樟^[12]、橄榄^[13]、腊肠树^[14]、洋浦桃等合成出不同形貌的 AgNPs。与化学法相比, 将植物还原法制备的 AgNPs 用于抗菌织物处理时, 具有更好的安全性和生物兼容性, 但是目前关于此类的报道还比较少见^[15-16]。

自然界存在本身具备抑菌活性的天然植物, 如黄芩、丁香、芦荟、黄连、大蒜、穿心莲等, 若能以此类植物的提取液来制备载银抗菌织物, 是否可能利用植物和纳米银的共同作用提高抑菌效果? 基于上述, 本研究选择黄芩、丁香和两种本身不具有抑菌活性的植物芳樟、洋浦桃分别合成 AgNPs, 探索该法调控粒径的规律, 继而通过浸渍的方法将纳米银颗粒负载于纯棉织物上, 考察该载银织物的抗菌性能。

1 实验部分

1.1 试剂与材料

硝酸银、硝酸、氢氧化钠均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司。Luria-Bertani (LB) 肉汤和 LB 琼脂培养基、Mueller Hinton (MH) 肉汤和 MH 琼脂培养基购于广东环凯微生物科技有限公司。实验所用大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、地衣芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌由厦门大学生命科学学院环境与应用微生物研究所提供, 本实验室保存。

1.2 物质提取液及银纳米颗粒的制备

物质提取液的制备: 将采摘的洋浦桃 (*Syzygium samarangense*, SS)、芳樟 (*Cinnamomum camphora*, CC) 树叶以及中药房购买的丁香 (*Syzygium aromaticum*, SA)、黄芩 (*Scutellaria baicalensis*, SB) 经干燥、粉碎获得干粉, 密闭条件下保存。准确称取 3 g 植物干粉放入 250 ml 锥形瓶中, 加入 100 ml 去离子水, 置于油浴锅中加热煮沸 15 min, 待冷却至室温后, 抽滤得到 $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的滤液, 以去离子水稀释即得指定浓度的物质提取液。

银纳米颗粒的制备: 将一定量的物质提取液和 NaOH 溶液混合后, 置于 90°C 的油浴锅中, 再加入一定浓度的 AgNO_3 溶液, 磁力搅拌条件下反应 1.5 h, 所得溶胶即为银纳米颗粒。

1.3 载银织物的制备及其银含量的测定

载银织物的制备: 将纯棉织物剪为边长为 1 cm 的正方形, 以去离子水洗涤烘干后备用。称取一定质量的纯棉织物浸渍于 10 ml 浓度为 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的纳米银溶胶中, 在一定的温度、浴比 (织物与银溶胶的质量比, $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) 以及 pH 条件下对织物浸渍一段时间后取出, 60°C 干燥 1 h 即得。

载银织物上负载银含量的测定: 将载银织物剪碎、称重 (A), 以 1 ml 浓硝酸溶解, 再加入 9 ml 去离子水, 抽滤得滤液。利用原子吸收分光光度计 (TAS-986) 测得滤液中 Ag^+ 浓度 (B), 则织物上负载的银含量 $P (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = 10B/A$ 。

1.4 银纳米颗粒及载银织物的表征

银纳米颗粒的表征: 不同条件下所得 AgNPs

的紫外可见吸收光谱 (UV-Vis) 在紫外-可见分光光度计 (Evolution 220, Thermo Scientific) 上进行, 以去离子水作为参比; X 射线粉末衍射 (XRD) 分析在 X 射线粉末衍射仪 (X'Pert Pro, PANalytical) 上进行, 以 $\text{CuK}\alpha$ 为辐射源, 在 $\lambda = 0.15418 \text{ nm}$, 电压 40 kV, 电流 30 mA 条件下, $10^\circ \sim 90^\circ$ 范围内进行扫描; 透射电镜 (TEM) 样品在透射电子显微镜上 (F30, Philips) 进行观察, 以 SigmaScan Pro 软件配合 Origin 软件进行粒径分布统计。

载银织物的表征: 扫描电镜 (SEM) 分析和 X 射线能谱 (EDS) 在扫描电子显微镜 (LEO1530, LEO) 系统上进行, 由于空白织物及载银织物本身不导电, 需先将织物进行喷铂处理。

1.5 抗菌性能测试

生长曲线测定^[4]: 以大肠杆菌为测试菌株, 接种一定量的菌液至含有 10 ml LB 液体培养基的锥形瓶中, 使得菌液浓度约为 $2 \times 10^4 \text{ CFU} \cdot \text{ml}^{-1}$ 。加入经过灭菌处理的空白织物或不同浸渍条件下所得载银织物, 于 37°C 、 $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 摇床中振荡培养, 间隔一定时间取 1 ml 样品测 OD_{600} , 根据生长曲线考察织物的抗菌性能。

抑菌率测定^[17]: 以大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌为测试菌株, 分别接种相同量的菌液于两个含有 10 ml 液体培养基的锥形瓶中, 菌液浓度约为 $5 \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{ml}^{-1}$ 。然后分别加入空白织物 (经灭菌处理) 及载银织物, 适宜条件下培养 12 h 后, 涂平板查菌落数, 则抑菌率 = $(C - A) / C$ 。其中 A 为载银织物上培养后的平均菌落数, C 为空白织物上培养后的平均菌落数。

2 结果与讨论

2.1 银纳米颗粒的合成与表征

以植物提取液制备 AgNPs 的过程中, 植物提取液充当还原剂和保护剂, NaOH 的加入则可以提高 AgNO_3 的还原速率^[18]。图 1 (a) 所示为不同浓度的黄芩提取液 ($10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 在 $250 \mu\text{l}$ $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH 存在的条件下, 与 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ AgNO_3 在 90°C 中反应 1.5 h 所得产物的 UV-Vis 吸收光谱图。由图可见, 在 $400 \sim 450 \text{ nm}$ 之间均出现了 AgNPs 的 SPR 特征吸收峰^[19]。图 2 所示为 $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 黄芩提取液所得的 AgNPs 的 XRD 谱图, 图中显示有 5 个明显的衍射峰, 分别对应于面心立方结构单质银的 5 个晶面, 其峰位置与 pdf 卡 01-087-3722 上数据一致, 证实了单质 AgNPs 的生成。

由图 1 (a) 还可见, 随着植物浓度的增加, AgNPs 的 SPR 峰出现了比较明显的蓝移, 说明所制得的 AgNPs 的平均粒径具有变小的趋势。图 1 (b) 所示为 $15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的黄芩提取液与 $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ AgNO_3 的混合液, 分别加入不同体积 ($40 \mu\text{l}$, $100 \mu\text{l}$, $300 \mu\text{l}$) $5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaOH, 90°C 中反应 1.5 h 所得银溶胶的 UV-Vis 吸收光谱图。随着 NaOH 加入量的增加, 同样观察到 AgNPs 特征峰的蓝移, 说明所制得的 AgNPs 的平均粒径变小。

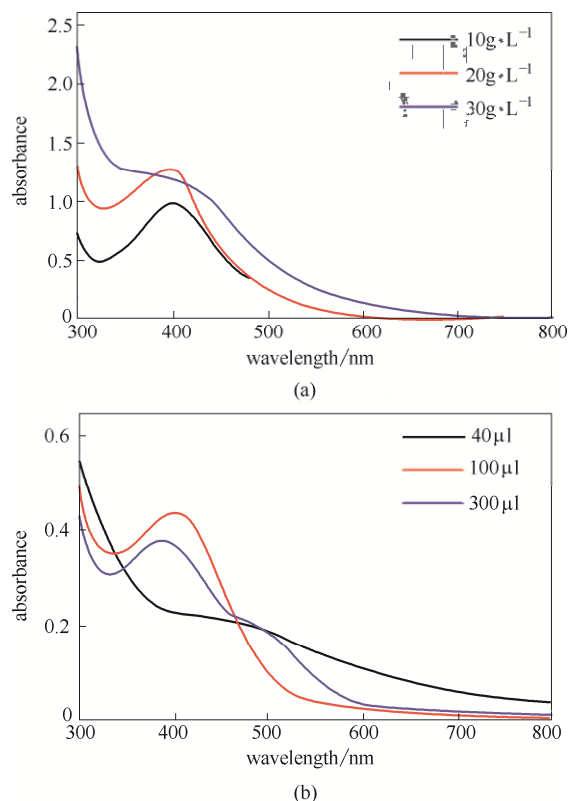


图 1 不同植物浓度、NaOH 加入量条件下由黄芩提取液所制得的银纳米颗粒的 UV-Vis 吸收光谱图

Fig.1 UV-Vis spectra of AgNPs produced by SB extract at different plant extract concentration (a) and NaOH adding amounts (b)

AgNPs 的粒径与其应用性能密切相关, 由上可知, 通过改变植物提取液浓度或 NaOH 加入量可以有效调节所得 AgNPs 的粒径。而且, 增加植物提取液浓度或增大 NaOH 加入量, 均有利于制得平均粒径较小的 AgNPs。根据上述粒径调控规律, 在硝酸银浓度为 $3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的条件下, 通过改变黄芩提取液浓度以及所加 NaOH 的量制得不同粒径的 AgNPs (35, 20, 12, 5 nm), 用于后续的抗菌实验, 具体的 TEM 图片及粒径统计结果见图 3。值得指出的是, 该粒径调控规律对于洋浦桃、芳樟以及丁香

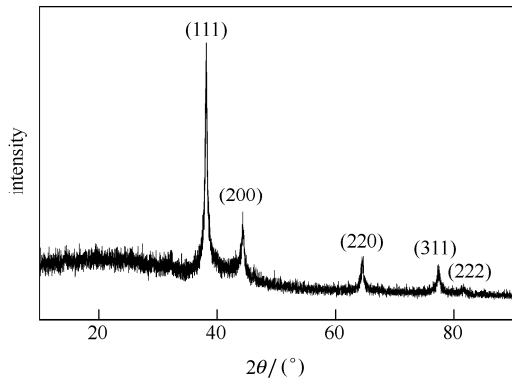


图 2 黄芩提取液制备的银纳米颗粒的 XRD 图
Fig.2 X-ray diffraction patterns of AgNPs produced by SB extract

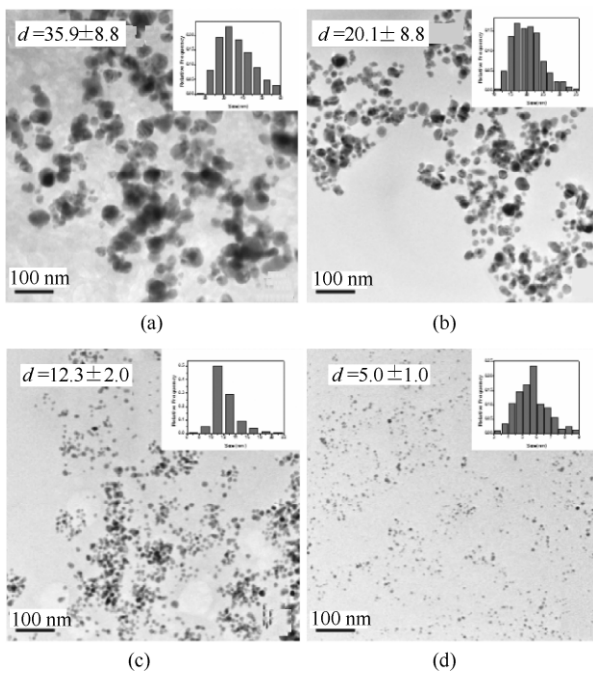


图 3 黄芩提取液制得的不同粒径的银纳米颗粒的 TEM 图片及粒径统计

Fig.3 TEM images and size histogram (inset) of AgNPs with different sizes produced by SB extract

提取液制备 AgNPs 也同样适用。

2.2 载银织物的制备和表征

抗菌织物的制备方法主要包括纤维改性法和织物后整理法，由于前者成本较高，所以后整理法应用比较广泛。后整理法又包括微胶囊法、表面涂层法、浸渍法、浸轧等^[20]。考虑到浸渍法具有操作方便、不受设备条件限制等优点，本研究采用浸渍法将纳米银负载于纯棉织物上。实验将黄芩制得的粒径为 12 nm 的银溶胶与纯棉织物混合，分别考察浸渍时间、浴比、温度以及 pH 对纯棉织物上载银量的影响，结果如图 4 所示。由时间与载银量的关

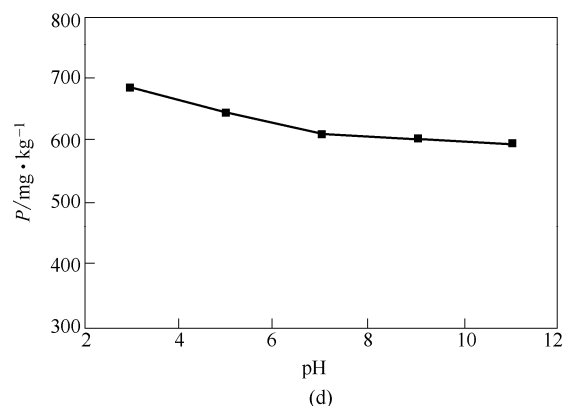
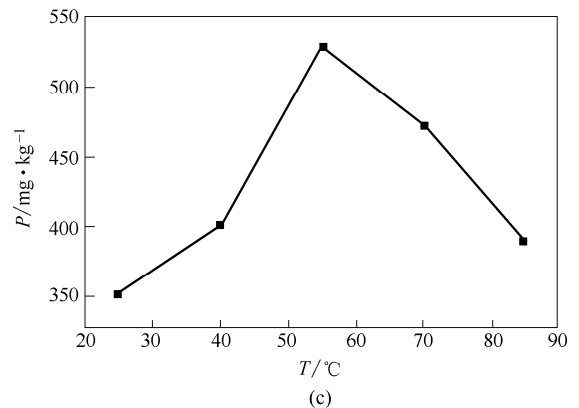
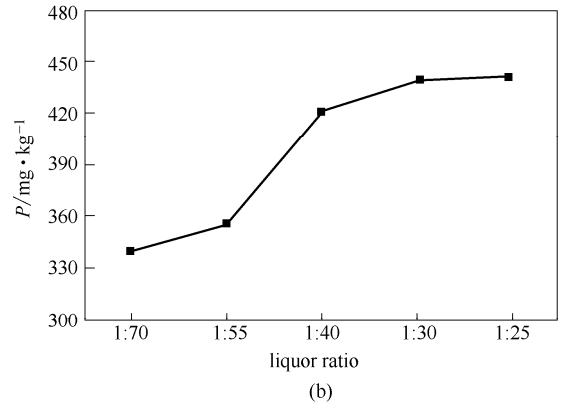
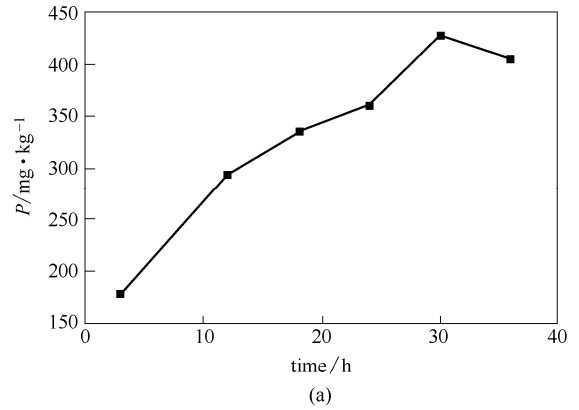


图 4 浸渍时间，浴比，温度及 pH 对织物上银负载量的影响

Fig.4 Ag content on cotton fabric at different impregnation time (a), liquor ratio (b), temperature (c) and pH (d)

系曲线[图 4 (a)]可观察到随着浸渍时间的增加, 织物上的载银量逐步增加, 30 h 达到平衡。载银量与浴比的变化曲线[图 4 (b)]表明, 随着浴比的减小织物上的载银量先大幅度增加, 后变化不大, 为增加银纳米颗粒的利用率, 确定最优浴比为 1:25。载银量随浸渍温度的变化曲线[图 4 (c)]显示, 随着温度的升高, 载银量先上升后下降, 这可能是由于随着温度的增加, 棉纤维内部孔隙增加, 有利于吸附; 继续升高温度, 孔隙过大反而不利于固载银纳米颗粒。观察载银量随 pH 的变化曲线[图 4(d)], 虽然强酸条件下织物上的载银量有所增加, 但相比初始银溶胶 pH 条件下 (5~6) 的吸附量, 增加的幅度不大。且 H⁺过多会影响织物的柔软度, 所以在浸渍工艺条件中不再调节 pH。综上, 确定较优的浸渍工艺条件为时间 30 h, 浴比 1:25, 温度 55℃。

空白织物与上述确定的较优浸渍条件下所得的载银织物的扫描电镜照片见图 5。可以清楚地观察到, 空白织物的纤维表面光滑没有颗粒, 而载银织物的表面则有部分颗粒 (见图中箭头)。对载银织物[图 5 (b) 中蓝色区域]经过 EDS 分析确定了 Ag 元素的存在, C、O 元素来自织物本身, Pt 元素则来自于电镜样品的预处理。

2.3 载银织物的抗菌性能评价

2.3.1 银纳米颗粒粒径的影响 为了考察 AgNPs

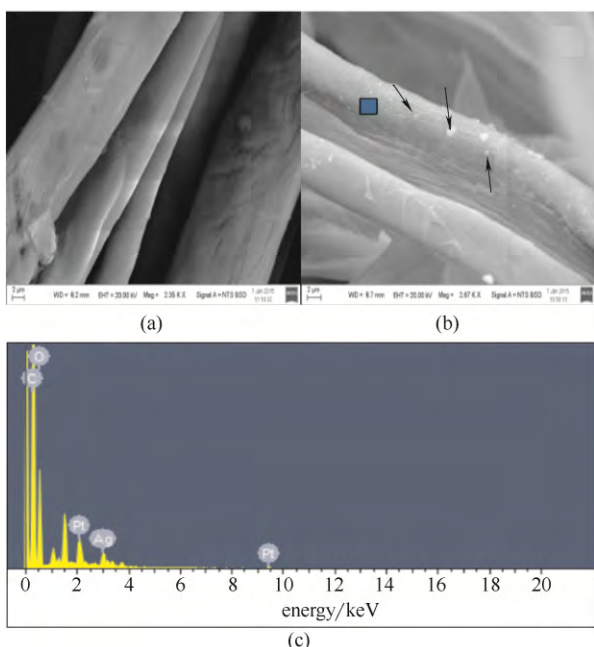


图 5 纯棉织物的 SEM 图片、载银织物的 SEM 图片 (图中标尺为 2 μm) 和 EDS 能谱分析

Fig.5 SEM image of cotton fabric (a), SEM image (b) (scale bar of 2 μm) and EDS analysis (c) of Ag coated fabric

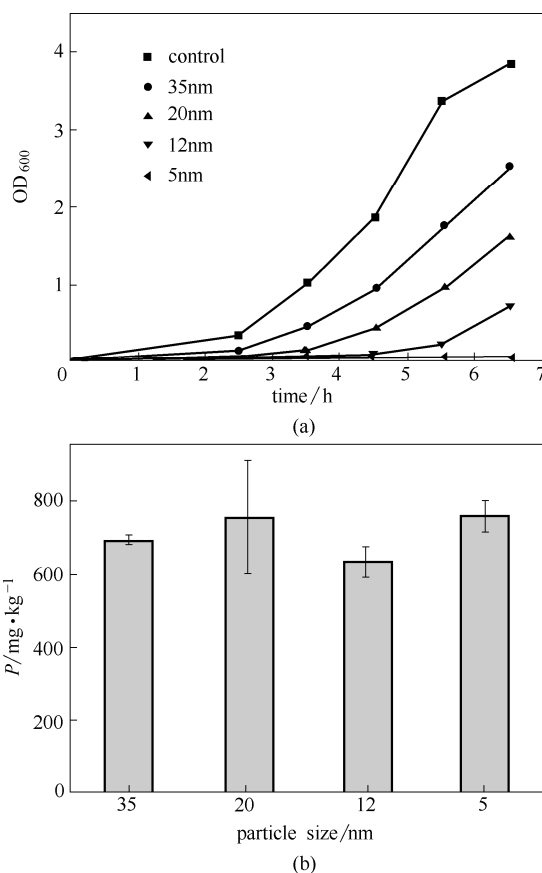


图 6 AgNPs 的粒径对载银织物抗菌性能和浸渍后棉织物上银负载量的影响

Fig.6 Effect of AgNPs size on antibacterial performance of cotton fabrics (a) and Ag content on cotton fabrics (b)

粒径对载银织物抗菌效果的影响, 将黄芩提取液所制得的 4 种不同粒径的银纳米颗粒 (如图 3 所示) 分别在最优的浸渍条件下负载到纯棉织物上。实验以大肠杆菌为测试菌种, 分别测定空白织物以及载银织物上细菌的生长曲线以评价织物的抗菌性能, 具体结果如图 6 (a) 所示。由图可见, 粒径越小的 AgNPs 所负载的织物的抗菌效果越好, 这是由于粒径较小的 AgNPs, 具有更大的表面积, 增大了与菌种接触的机会。为了排除该抗菌效果的差异是由于载银量的不同所造成的, 还测定了 4 种粒径的 AgNPs 负载于织物上的银含量[图 6 (b) 所示], 发现实验条件下 AgNPs 的粒径对织物上的载银量影响不大。AgNPs 粒径对载银织物抗菌效果的影响规律同样适用于其他 3 种植物提取液。

2.3.2 植物种类的影响 运用前述的粒径调节规律, 以 4 种植物提取液分别合成出了平均粒径为 6 nm 左右的 AgNPs (如图 7 所示)。再将其分别负载于织物上, 所得载银织物的抗菌性能如图 8 (a) 所示。可以看出 4 种植物中, 以黄芩提取液制得

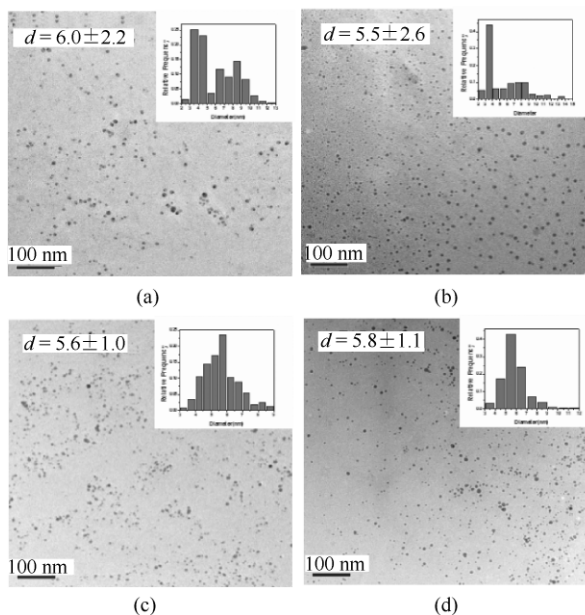


图 7 洋浦桃、芳樟、黄芩、丁香提取液所得 AgNPs 的 TEM 图片及粒径统计

Fig.7 TEM images and size histogram (inlet) of AgNPs produced by SS (a), CC (b), SA (c) and SA (d) extracts

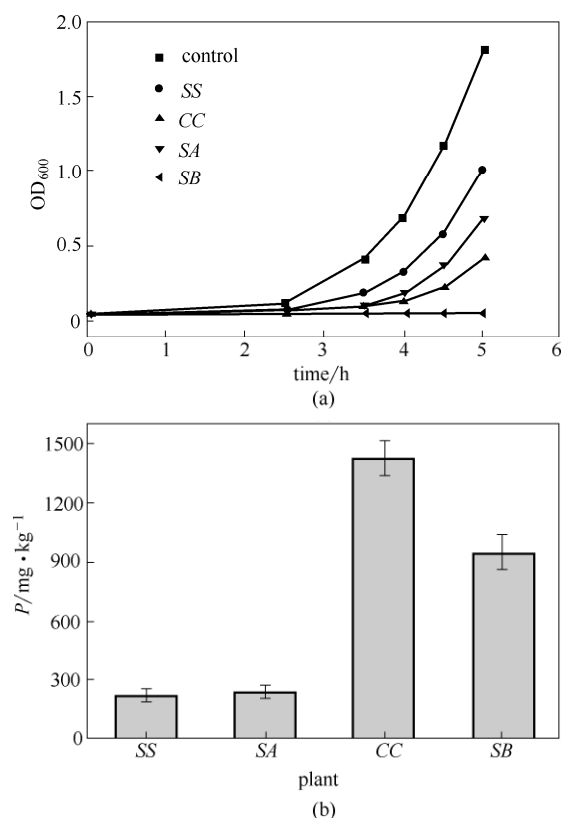


图 8 4 种植物提取液所得载银织物的抗菌性能和银的负载量

Fig.8 Antibacterial performance (a) and Ag content (b) of coated fabric prepared from four plants

的载银织物抗菌性能最优，洋浦桃提取液所得的抗菌性能最差。图 8 (b) 给出了这 4 种载银织物上负载的 Ag 含量，可以看出差异性非常明显，这可能与 4 种植物提取液的黏度和组成的不同相关。尽管丁香本身的抗菌性优于黄芩，但是由于载银量偏低，导致所得织物的抑菌性不突出。值得注意的是：黄芩所得载银织物上的银含量低于芳樟所得载银织物，但是抑菌效果仍然优于后者，而两者所负载的 AgNPs 粒径相当，说明利用本身具有抑菌效果的黄芩来制备 AgNPs，有利于增强所得载银织物的整体抗菌性能。同样，对比丁香与洋浦桃提取液所得载银织物，二者载银量相近，而抑菌效果前者明显优于后者。这一结果对于开发具有协同抗菌作用的功能性织物具有启示意义。

2.3.3 黄芩制得的载银织物对不同菌株的抑菌率以具有最好抑菌效果的黄芩载银织物为研究对象，考察其抗菌广谱性。实验选择大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌为测试菌株，在菌液浓度约为 $5 \times 10^3 \text{ CFU} \cdot \text{ml}^{-1}$ 的情况下，测得的抑菌率结果列于表 1。由表可见该载银纯棉织物对 4 种测试菌种的抑菌率均达到了 99% 以上，具有良好的应用前景。

表 1 黄芩所得载银棉织物的抗菌效果

Table 1 Antibacterial rate of Ag coated fabric made from SB against different bacterium

Bacterium	Inhibition ratio/%
<i>Escherichia coli</i>	99.99
<i>Staphylococcus aureus</i>	99.57
<i>Bacillus licheniformis</i>	99.13
<i>Bacillus subtilis</i>	99.92

3 结 论

本文利用植物还原法绿色合成制备得到不同粒径的 AgNPs，并将其负载于纯棉织物上，评价所得载银织物的抗菌性能。所选择的黄芩、丁香、洋浦桃、芳樟 4 种植物提取液均可以制备 AgNPs，UV-Vis、TEM 等表征技术表明增加植物物质提取液浓度或 NaOH 加入量，有利于制得粒径较小的 AgNPs。SEM 图片表明通过浸渍可将所得 AgNPs 负载于纯棉织物上，确定的较优的浸渍工艺条件为时间 30 h，温度 55℃，浴比为 1:25。对于同一种植物物质所制备的载银织物，负载于织物上的 AgNPs 粒径越小，抑菌效果越好。本身具有抑菌作用的药用植物丁香、

黄芩与制得的 AgNPs 在织物上起到了共同抗菌的作用。负载相同粒径 AgNPs 时, 4 种植物质中以黄芩制得的载银织物抗菌效果最优。随着纳米技术的发展和人类对健康追求的不不断提高, 纳米银抗菌织物必将日益受到人们的重视, 并运用到更多领域。

References

- [1] Czajka R. Development of medical textile market [J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2005, **13** (1): 13-15.
- [2] Gorenšek M, Rečelj P. Nanosilver functionalized cotton fabric [J]. *Textile Research Journal*, 2007, **77** (3): 138-141.
- [3] Gao Y, Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles [J]. *Textile Research Journal*, 2008, **78** (1): 60-72.
- [4] Lee H Y, Park H K, Lee Y M, Kim K, Park S B. A practical procedure for producing silver nanocoated fabric and its antibacterial evaluation for biomedical applications [J]. *Chemical Communication*, 2007, (28): 2959-2961.
- [5] Chernousova S, Epple M. Silver as antibacterial agent: Ion, nanoparticle, and metal [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2013, **52** (6): 1636-1653.
- [6] Chen Y H, Hsu C C, He J L. Antibacterial silver coating on poly(ethylene terephthalate) fabric by using high power impulse magnetron sputtering [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2013, **232**: 868-875.
- [7] Iravani S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants [J]. *Green Chemistry*, 2011, **13** (10): 2638-2650.
- [8] Mittal A K, Chisti Y, Banerjee U C. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts [J]. *Biotechnology Advances*, 2013, **31** (2): 346-356.
- [9] Gardea-Torresdey J L, Gomez E, Peralta V R, Parsons J G, Troiani H, Jose Y M. Alfalfa sprouts: a natural source for the synthesis of silver nanoparticles [J]. *Langmuir*, 2003, **19** (4): 1357-1361.
- [10] Zhang Y Q, Cheng X F, Zhang Y C, Xue X H, Fu Y Z. Biosynthesis of silver nanoparticles at room temperature using aqueous aloe leaf extract and antibacterial properties [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, **423**: 63-68.
- [11] Khalil M M H, Ismail E H, El-Baghdady K Z, Mohamed D. Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2014, **7** (6): 1131-1139.
- [12] Huang J L, Li Q B, Sun D H, Lu Y H, Su Y B, Yang X, Wang H X, Wang Y P, Shao W Y, He N. Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf [J]. *Nanotechnology*, 2007, **18** (10): 105104.
- [13] Wu L F, Wu W W, Jing X L, Huang J L, Sun D H, Odoom-Wubah T, Liu H Y, Wang H T, Li Q B. Trisodium citrate-assisted biosynthesis of silver nanoflowers by *Canarium album foliar* broths as a platform for SERS detection [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2013, **52** (14): 5085-5094.
- [14] Lin L Q, Wang W T, Huang J L, Li Q B, Sun D H, Yang X, Wang H X, He N, Wang Y P. Nature factory of silver nanowires: plant-mediated synthesis using broth of *Cassia fistula* leaf [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2010, **162** (2): 852-858.
- [15] Ravindra S, Murali M Y, Narayana R N, Mohana R K. Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via "Green Approach" [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2010, **367** (1-3): 31-40.
- [16] Schröfel A, Kratošová G, Šafařík I, Šafaříková M, Raška I, Šor L M. Applications of biosynthesized metallic nanoparticles—A review [J]. *Acta Biomaterialia*, 2014, **10** (10): 4023-4042.
- [17] Durán N, Marcato P D, De S G I H, Alves O L, Esposito E. Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment [J]. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2007, **3** (2): 203-208.
- [18] Fu M X, Li Q B, Sun D H, Lu Y H, He N. Rapid preparation process of silver nanoparticles by bioreduction and their characterizations [J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2006, **14** (1): 114-117.
- [19] Ahmad A, Mukherjee P, Senapati S, Mandal D, Khan M I, Kumar R, Sastry M. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum* [J]. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 2003, **28** (4): 313-318.
- [20] Zhang Ziyi (张子谊), Gao Xiaohong (高晓红), Jia Xueping (贾雪平). The application of nano-silver in textile industry [J]. *China Textile Leader*, 2013, (5): 78-80.