



\* 文章编号:1000-5811(2014)01-0010-06

## 抗菌纤维素/纤维素纤维的研究进展

徐永建, 左磊刚

(陕西科技大学 轻工与能源学院 陕西省造纸技术及特种纸品开发重点实验室, 陕西 西安 710021)

**摘要:**介绍了常用的无机抗菌剂和有机抗菌剂的种类及其抗菌机理,阐述了载银抗菌纤维素、纳米  $\text{TiO}_2$  抗菌纤维素、季铵盐类抗菌纤维素、壳聚糖改性抗菌纤维素等抗菌纤维素及其在纺织工业、膜材料等方面的应用.指出了根据所选抗菌剂的不同,通过化学或物理方法可对纤维素和纤维素纤维进行抗菌改性.绒毛浆是一次性卫生用品吸水性垫层用绒毛化的纤维素纤维,对绒毛浆进行抗菌性改性能够提高绒毛浆的品质和功能.提出了可用于绒毛浆纤维抗菌性改性的抗菌剂和可能的方法,抗菌纤维素纤维改性在绒毛浆生产和应用中存在潜在应用前景.同时,提出了抗菌纤维素/纤维素纤维在生产 and 应用中存在的问题和解决办法.

**关键词:**抗菌纤维素; 抗菌纤维素纤维; 抗菌性改性; 绒毛浆纤维

中图分类号:TS 721

文献标识码:A

## Research progress of antibacterial cellulose/cellulose fiber

XU Yong-jian, ZUO Lei-gang

(College of Light Industry and Energy, Shaanxi Province Key Laboratory of Papermaking Technology and Specialty Paper, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** The commonly used inorganic antibacterial agent and organic antibacterial agent, and their types and antibacterial mechanism were introduced. Silver antibacterial cellulose, nano  $\text{TiO}_2$  antibacterial cellulose, quaternary ammonium antibacterial cellulose, chitosan modified bacterial cellulose and other antimicrobial cellulose and its application in the textile industry, film material and other applications were elaborated. According to the selected type of antibacterial agent, cellulose and cellulose fibers can be modified by chemical or physical method, fluff pulp is fluffed cellulose fibers used in disposable sanitary absorbent mat, and fluff pulp can improve its quality and function by antibacterial modified. Paper introduced the possible antimicrobial agent and methods can be used in the antibacterial modified of fluff pulp fibers, and the potential prospect of antibacterial modified of cellulose fibers in the production and application fluff pulp. Meanwhile the problems and solutions were presented in the production and application of antibacterial cellulose and cellulose fiber.

**Key words:** antibacterial cellulose; antibacterial cellulose fiber; antibacterial modified; fluff pulp fiber

\* 收稿日期:2013-09-16

基金项目:国家自然科学基金项目(31170559); 陕西科技大学学科带头人培育计划项目

作者简介:徐永建(1970-),男,陕西西安人,教授,博士生导师,研究方向:植物纤维资源高值化利用、清洁生产及碱回收除硅技术

## 0 引言

在自然界中存在各种各样的细菌、霉菌等微生物,人们在生产、生活中不可避免地会经常与这些微生物接触,而那些有害的微生物则会给人们的健康造成危害.据统计,全世界每年大概有 1 700 万人死于细菌感染<sup>[1]</sup>.随着人们生活水平的提高,人们会越来越关注自身的生活环境,对抗菌材料的关注也日益增多.

抗菌材料是自身具有抑制或杀灭微生物的一类新型功能材料.它的核心成分是抗菌剂,是一些对细菌、霉菌等微生物高度敏感的化学成分.极少量的抗菌剂添加至普通材料中,即可制成抗菌材料<sup>[2]</sup>.

传统的饮用水消毒通常采用臭氧、二氧化氯和次氯酸钠等小分子消毒剂,这些消毒剂残留在水中会造成水体的二次污染,会对人体的健康造成一定的危害.近年来出现的高分子抗菌材料,是将抗菌基团连接在不溶性高分子上,不仅会避免小分子的二次污染,还可以对其进行回收再利用,具有长效、安全、稳定等一系列优点,已经成为近年来的研究热点<sup>[3,4]</sup>.

纤维素作为一种可再生的天然高分子材料,具有可生物降解、价格低廉等优点,而且分子链中具有大量的羟基,能与许多的小分子化合物发生反应<sup>[5]</sup>,对其进行改性,可以生成不同的具有抗菌性的纤维素产品.绒毛浆既可以作为纤维素纤维基功能材料,又可作为吸水性材料,目前广泛应用于卫生巾、纸尿裤的生产.如将绒毛浆进行抗菌改性,做成抗菌性产品,则可以有效地减少细菌对人体的侵害,这样不仅可以提高产品的质量,拓展其功能,还可以提高绒毛浆的附加值.因此,有必要在纤维素纤维抗菌改性方面进行深入的研究.

本文初步介绍了各种抗菌剂,然后以纤维素或纤维素衍生物为基体对其进行抗菌改性,得到了各种类型的抗菌纤维素/纤维素纤维产品,并初步介绍了其应用情况.

### 1 抗菌剂的种类及其抗菌机理

抗菌剂的抗菌作用,一般指抗菌剂对微生物的生命活动产生不良影响或后果,这种不良影响和后果主要表现在影响微生物的繁殖、生长或使其死亡.目前,具有抗菌性的物质种类比较多,主要分为无机类和有机类抗菌剂.

#### 1.1 无机抗菌剂

无机抗菌剂根据其有效成分的不同,可以分为

银系(含  $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  等金属离子)和钛系(具有光催化作用的  $\text{TiO}_2$  等)抗菌剂<sup>[6]</sup>.

银系抗菌剂的抗菌机理主要是抗菌剂缓慢释放出的银、铜、锌等金属离子作用在细菌的细胞膜上.当金属离子浓度高时,金属离子穿透细胞膜,与细胞中的蛋白质结合,使细胞死亡或丧失分裂能力;当浓度较低时,金属离子吸附在细胞膜上,阻碍细菌对氨基酸、尿嘧啶等生长必需的营养物质的吸收,从而抑制细菌的生长.金属离子由于带有正电荷,可以与表面带有负电荷的细菌相互吸引,从而阻碍细菌的移动,使其失去营养而死亡,或使细菌变形破裂因内容物渗出而死亡.

光触媒抗菌剂则通过吸收可见光、紫外线等外界能量,激发电子跃迁,使周围的氧气和水分子成为活性氧  $\text{O}_2^-$  和氢氧自由基  $\cdot\text{OH}$ .它们能氧化或使细菌细胞中的蛋白质、不饱和脂肪酸、糖苷等发生反应,破坏其正常结构,从而使细菌死亡或丧失增殖能力<sup>[7]</sup>.

无机系抗菌剂的优点是具有安全性高、耐热性好、有效期长等优点;不足之处是价格较高和抗菌的迟效性,不像有机系抗菌剂那样能迅速杀死细菌.

#### 1.2 有机抗菌剂

有机抗菌剂主要包括天然类和合成类两大类.天然类有机抗菌剂主要有壳聚糖、鱼精蛋白、桂皮油、罗汉柏油和大蒜素等,大多数是从动植物中提炼精制而成的<sup>[8]</sup>,使用安全,无毒副作用,但作用持续时间短、耐热性差,再加上加工条件的制约,还不能实现大规模市场化,因而使用较少.目前最常用的是壳聚糖类.

合成类有机抗菌剂已达 500 种,但常用的仅几十种.目前常用的有季铵盐类、双胍类、醇类、酚类、有机金属类、吡啶类、咪唑类、噻吩类等.有机抗菌剂分子大多与细胞膜相容性好,与细胞膜融和,使细胞内容物、酶、蛋白质、核酸损坏,如对细胞器的作用、对蛋白质和核酸等结构物质的作用、对酶体系的作用(酶形成、酶活性)、对呼吸作用的影响(糖酵解、电子传递系统、氧化磷酸化等过程)、对有丝分裂的影响.同一抗菌剂往往在高浓度时是杀菌的,低浓度时表现出抑菌作用.有机抗菌剂主要起抑菌作用<sup>[9]</sup>.有机合成抗菌剂具有抗菌作用快、抗菌谱广、防霉效果好等优点,其缺点是耐热性差,抑制作用持续时间短.

### 2 抗菌纤维素的研究

将具有抗菌性的小分子或大分子抗菌剂连接

到纤维素上或添加到纤维素中,即可制备出具有抗菌性的纤维素.使用的抗菌剂不同,可以制备出不同类型的抗菌纤维素.

### 2.1 载银抗菌纤维素

银及其化合物这一类无机抗菌剂,具有良好的使用安全性、持久高效抗菌性、耐热性、耐腐蚀性等优点<sup>[10]</sup>,可以添加到各种材料中制成具有抗菌性的抗菌材料.

银纳米粒子易团聚<sup>[11-13]</sup>,由于纳米纤维素的超分子结构和物性上的特殊性,能够为金属纳米粒子的制备提供条件<sup>[14-17]</sup>.

王海英等<sup>[18]</sup>以硼氢化钠为还原剂还原硝酸银,反应生成的单质银被纳米纤维素表面原位吸附,得到了分散优良的负载在纳米纤维素表面的银纳米粒子,制得的这种纳米纤维素/银纳米粒子水溶胶具有良好的抗菌性.

马廷方等<sup>[19]</sup>以硝酸银为银前驱体,以纤维素大分子为还原剂和分散剂制备纳米银抗菌纤维素,以这种抗菌纤维素得到的纺织品,具有良好的抗菌性,并且经多次洗涤后仍具有较好的抗菌性.

Brigita Tomšič 等<sup>[20]</sup>以 AgCl 作为抗菌物质,将其应用到棉织物中,也得到了具有良好抗菌性和耐洗性的棉织物.

Won Keun Son 等<sup>[21]</sup>将 AgNO<sub>3</sub> 通过紫外线照射,将其还原为银单质并负载到纳米醋酸纤维素表面,还原得到的银单质平均直径为 21 nm,得到的抗菌纳米醋酸纤维素具有良好的抗菌性,杀菌率达到 99.9% 以上.

Shu-Ming Li 等<sup>[22]</sup>将硝酸银和微晶纤维素溶于乙二醇中,在微波加热条件下,得到纤维素/银纳米复合材料.这种材料具有极好的抗菌性,并且具有较好的热稳定性,到 290 °C 才出现明显地质量下降.

### 2.2 纤维素/纳米 TiO<sub>2</sub> 抗菌复合材料

在光照条件下,TiO<sub>2</sub> 中的电子被激发,形成电子/空穴对,经电荷分离后与氧及水分子发生作用形成活性氧和羟基等基团,从而起到杀菌作用.

周晓东等<sup>[23]</sup>用 NaOH/尿素/硫脲溶液体系溶解纤维素,将纳米 TiO<sub>2</sub> 加入到纤维素溶液中,制得了具有良好抗菌性能的纤维素/纳米 TiO<sub>2</sub> 复合膜.

张秀菊等<sup>[24]</sup>通过钛酸异丙酯水解,在细菌纤维素上原位负载了 TiO<sub>2</sub> 颗粒,得到的 TiO<sub>2</sub>/细菌纤维素复合材料具有很强的抗菌性,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径分别达到 15 mm 和

10 mm,并且具有良好的生物相容性.

通常情况下,TiO<sub>2</sub> 在光照条件(通常是紫外光)下才具有很好的抗菌性,如果将银负载到 TiO<sub>2</sub> 中,Ag<sup>+</sup> 可以阻止 TiO<sub>2</sub> 中电子-空穴对的复合,促进电子-空穴对的分离,扩大 TiO<sub>2</sub> 的光催化激发波长,使激发光扩展到可见光范围,这样抗菌性能会明显增强;同时,嵌入 TiO<sub>2</sub> 晶体缺陷中的 Ag<sup>+</sup> 在杀菌过程中可以实现缓慢释放并防止被氧化,从而解决了抗菌剂银的发黑和缓释性问题,保证抗菌剂中有足够的 Ag<sup>+</sup> 存在,达到双重杀菌的效果<sup>[25]</sup>.

Jinxia Wang 等<sup>[26]</sup>将银负载到二氧化钛中,将其添加到纤维素纤维中,通过传统工艺抄造成纸,成为具有良好的光催化性和抗菌性的复合纸.

### 2.3 季铵盐类抗菌纤维素

季铵盐类消毒剂具有杀菌浓度低、无色、无臭、无刺激性、低毒安全等优点,在医疗卫生、食品和日用化工等领域广泛应用,是目前研究得最多的有机类抗菌剂.季铵盐带有阳离子,纤维素表面带有阴离子,因而很容易吸附在纤维素表面,将纤维素产品经季铵盐溶液处理,即可得到具有抗菌性的纤维素制品.但是抗菌剂只是吸附在纤维素表面,在使用过程中容易流失,如将季铵盐接枝到纤维素表面,则可以将小分子抗菌剂固定住,大幅度地提高了其抗菌性和稳定性,减少抗菌剂的流失及对周围环境的污染.

卢滇楠等<sup>[27]</sup>自行合成了一种新型共价接枝季铵盐抗菌单体甲基丙烯酰氧乙基-苄基-二甲氨基氯化铵,以硝酸铯铵为引发剂,将其接枝到纤维素表面,得到抗菌纤维素,在三十分分钟内即可使细菌完全失活.

邢晓东等<sup>[28]</sup>采用辐射聚合将季铵盐抗菌单体甲基丙烯酰氧乙基-苄基-二甲氨基氯化铵接枝到纤维素上,发现预辐射聚合比直接辐射聚合的接枝率高.采用预辐射聚合可以得到接枝率 55% 以上的高接枝率抗菌纤维素纤维.

Debashish Roy 等<sup>[29]</sup>通过可逆加成-断裂链转移聚合在纤维素表面接上聚甲基丙烯酸二甲氨基乙酯,然后再用溴代烃进行季铵化,即得到季铵化改性抗菌纤维素.并且,实验表明,溴代烃中的烷基链越短,所得到的抗菌纤维素的抗菌能力越强.

Shaoping Yang 等<sup>[30]</sup>将环氧丙基三甲基氯化铵接枝到纤维素上,制备了一种抗菌纤维素水凝胶,这种水凝胶同时具有良好的抗菌性、吸水性和盐敏感性.

## 2.4 壳聚糖改性纤维素纤维

壳聚糖是甲壳素脱乙酰基的衍生物,是一种来源丰富、可再生、无毒、可吸收降解的天然抗菌剂<sup>[31]</sup>.壳聚糖具有优异的广谱抗菌性、良好的生物相容性、无毒无刺激性以及无抗原性等特性,而且壳聚糖和纤维素的分子结构十分相似,唯一区别在于壳聚糖在每一个吡喃糖环的 C<sub>2</sub> 位置上的基团为 -NH<sub>2</sub>,而纤维素为 -OH,二者具有较好的相容性和化学反应活性.因此,通过物理共混或化学改性,用壳聚糖对纤维素进行改性研制抗菌纤维是一种很好的方法.

郑化等<sup>[32]</sup>先用氯乙酸对壳聚糖进行羧甲基化,加入到用 NaOH/尿素溶解的纤维素溶液中,于冰浴中混合均匀后,流延成膜.经红外分析,共混膜中羧甲基壳聚糖与纤维素分子间存在强的氢键作用,表明两种物质达到分子水平的分散.对共混膜的截面进行分析,当共混膜中羧甲基壳聚糖的含量小于 50% (质量) 时具有良好的相容性.羧甲基壳聚糖的加入,还可以提高其拉伸强度,当其含量为 20% 时,共混膜拉伸强度最大,达到 94.5 MPa.壳聚糖中羧甲基的引入有利于 -NH<sub>2</sub> 形成 -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>,取代度为 0.4 时,其抗菌性最好.

Diana Alonso 等<sup>[33]</sup>将纤维素先经紫外线照射处理,以磷酸二氢钠为催化剂,柠檬酸为成酸剂和交联剂,将壳聚糖接枝到纤维素上,得到的抗菌产品与原纤维相比具有良好的抗菌性.此外,热稳定性也有所增加,其 DTG 峰出现在 370 °C,而原纤维素为 360 °C,壳聚糖为 300 °C.

## 2.5 其他抗菌纤维素

秦振宝等<sup>[34]</sup>先将  $\gamma$ -胺丙基三甲氧基硅烷接枝到纤维素上,然后将卤代烷基三苯基溴化物接枝到改性后的纤维素上,得到季磷盐型纤维素高分子杀菌材料.这种材料具有较强的杀菌作用,在 5 min 内即可使菌液中的细菌浓度由 10<sup>7</sup> mL<sup>-1</sup> 降到 10<sup>3</sup> mL<sup>-1</sup>.将用过的杀菌材料用质量分数为 2% 的 NaClO 溶液浸泡 2 h,然后用乙醇洗涤,在 60 °C 以下真空干燥后,其杀菌效率与原来相比相差不大,说明具有较好的再生性能.

Aiqin Hou 等<sup>[35]</sup>以 NaOH 为催化剂,将 2,4,6-双[(3-苄基-3-二甲氨基)丙基氨基]-6-氯-1,3,5-氯化三嗪接枝到纤维素上制得抗菌纤维素.经 DSC 测试,其主要吸收峰出现在 354.79 °C,较未改性低 6.17 °C,热稳定性略有下降.此外,断裂伸长率、撕裂强度和折皱回复角也略有下降.但经改性的纤维素具有优异的抗菌性能,杀菌率达 99.

68%,经 20 次洗涤后仍可达到 84.07%.

Mary Grace 等<sup>[36]</sup>将棉纤维浸入到海藻酸钠溶液中,之后在 Cu<sup>2+</sup> 存在下将海藻酸链连接到纤维素上,得到具有良好机械性能的海藻酸铜棉纤维素复合材料.这种材料能够将 Cu<sup>2+</sup> 缓释出来,从而起到杀菌作用.用硼氢化钠将里面的 Cu<sup>2+</sup> 还原为纳米铜,在水的存在下这种复合材料也具有一定的杀菌性,不过较前者弱.

Atsuko Kawabata 等<sup>[37]</sup>通过离子间的吸引力将聚(六亚甲基双胍)连接到纤维素上,也制得了具有良好抗菌性的纤维素.

## 3 抗菌纤维素/纤维素纤维的应用

纤维素及其衍生物经过抗菌改性后,可以生产出各种类型的抗菌纤维素产品,广泛应用于各种行业中,如纺织业、膜工业等.目前,抗菌纤维素多用于纺织业,如可以用来制造内衣,杀死人体皮肤上的细菌;也有望用于食品保鲜膜上,延长食品的保鲜时间等.

### 3.1 抗菌纤维素纤维在纺织业中的应用

人们生活中的许多生活用品都是由纤维素材料制成的,像内衣、睡衣、床单和袜子等.将纤维素进行抗菌改性后,可以用来生产出各种抗菌产品,如将其制成内衣,能够有效地抑制人体皮肤表面细菌的生长,起到自清洁作用.

德国 Zimmer 公司的全资子公司 Alceru-Schwarza 生产了一种具有抗菌功能的新型纤维素纤维——Seacell 活性纤维.它通过在生产过程中将具有极好的金属吸附能力的海藻加入到纺丝溶液中,然后在 Seacell 纤维活化过程中,杀菌金属银被完全成形的纤维素纤维所吸收,永久嵌入完全成形纤维的芯部,使杀菌剂金属银在穿着、洗涤或干洗过程中能够不受影响,能抵御大多数种类的细菌,且对人体无任何副作用.

Modal Freesh 是奥地利的 Lenzing 公司开发的一种新的功能性纤维,是一种含有抑菌剂、能够控制纤维或纤维内细菌生长的 Modal 纤维.其纺丝工艺与普通 Modal 纤维一样,通过在纺丝溶液中加入抗菌添加剂的掺入技术,制成抗菌纤维素产品.由于添加的抗菌剂颗粒很小,且在水、碱和酸中的溶解性非常低和具有热稳定性,因此,在使用中具有一定稳定性,能够持久抗菌.这种抗菌纤维素可以用来生产各种纺织品,而且也可以应用于要求较严格的婴儿用产品<sup>[38]</sup>.

### 3.2 抗菌纤维素在膜材料上的应用

目前,使用的食品保鲜膜产品,大多都是 PE

一类的材料,通常只能阻止外界细菌与食品的接触,却不能够抑制细菌的生长.因而,保鲜效果受到了一定的限制,而且这些保鲜膜在自然条件下难以分解,对环境也会造成污染,不具有环保性.将纤维素或其衍生物制成具有抗菌性的薄膜,将其应用于食品保鲜上,不仅能抑制食品中细菌的生长,延长食品的保鲜期,而且还能够在自然环境中降解,不会对环境造成污染.随着人们生活水平的提高以及对健康和环保的重视,具有抗菌、可生物降解一类的功能保鲜膜材料将会逐渐受到人们的重视.

Seyhun Gemili 等<sup>[39]</sup>将溶解酶加入到醋酸纤维素中,制成了一种可控缓释抗菌薄膜,除具有良好的抗菌性外,还具有良好的拉伸强度.

张宇瑶等<sup>[40]</sup>将纤维素用 NMMO 溶解,然后将抗菌保鲜剂加入到纤维素溶液中,制成抗菌纤维素薄膜.这种薄膜具有良好的阻氧性,能够抑制嗜氧微生物的大量繁殖.对猪肉进行保鲜效果测试,保鲜时间可达 108 h,比不加抗菌剂的纤维素膜长 12 h,说明加有抗菌剂的保鲜膜的保鲜效果更好.

### 3.3 绒毛浆抗菌改性功能化的潜在应用

纤维素纤维抗菌改性已经有多种方法.目前,广泛应用在纺织领域.绒毛浆作为一种纤维素纤维,也可以对其进行抗菌改性.绒毛浆是专门用来加工成绒毛状纤维的纸浆,它主要以针叶木为原料.首先将木片在蒸煮器中经过化学蒸煮以除去其中的木素和抽提物,此后经过多段漂白和洗涤,以增加纤维的白度和纯度;然后,将纸浆纤维送入特别设计的浆板机上,在那里形成湿浆板,最后经压榨、干燥后成为厚的卷筒浆板<sup>[41,42]</sup>.绒毛浆的要求和一般纸浆不同,它要求具有高的白度、柔软性、蓬松度和吸液性能,以及低的耐破度、紧度,从而减少绒毛化时的能耗,减少起绒时纤维的损失、拉断<sup>[43]</sup>.

绒毛浆是一种良好的液体吸收材料,广泛应用于妇女卫生巾、婴儿纸尿裤及成人失禁产品中.目前,由绒毛浆生产的产品中,具有抗菌性的比较少,如将绒毛浆进行抗菌改性,以生产具有抗菌性的产品,则有利于降低细菌对人体的感染,从而满足人们更高的使用要求.

为了得到具有抗菌性的绒毛浆,可以先将纤维素进行改性,在表面上接上具有络合金属离子功能的基团.如先在纤维素表面上接上  $\gamma$ -氨基丙基三乙氧基硅,然后络合银离子,得到载银抗菌纤维素<sup>[44]</sup>,然后在绒毛浆浆板抄造过程中,将抗菌纤维素按一定比例混入到绒毛浆中,则可能得到具有抗

菌性的绒毛浆产品;或者在绒毛浆浆板抄造时,加入小分子抗菌剂,如季铵盐.季铵盐带有正电荷,容易吸附在纤维素表面上,也可能得到具有抗菌性的绒毛浆.

将普通的绒毛浆做成具有抗菌性的绒毛浆,目前还存在一些问题.如绒毛浆浆板在干燥时温度会达到 110 °C,此时浆板里面的抗菌剂可能会发生变化,导致其抗菌性下降.因而,在生产及使用过程中如何保持其抗菌性不变,仍然还有许多工作要做.

将普通的绒毛浆制成具有抗菌性的绒毛浆,不仅可以增加其功能,满足人们更高的使用要求,还可以提高其附加值.相信在未来,这种具有抗菌性的绒毛浆必定会有很好的发展前景.

## 4 结束语

将纤维素进行抗菌改性并应用于生产生活中的各个方面,可以满足人们对产品更高的要求.目前,已经研究出了载银抗菌纤维素、季铵盐改性抗菌纤维素和壳聚糖/纤维素抗菌复合材料等多种类型的抗菌纤维素.

但是,抗菌纤维素的研究还需要深入进行,主要包括以下几个方面:

(1)抗菌纤维素的耐久性依然有待提升,可以考虑从抗菌剂的选择及加入方式等方面着手研究.

(2)抗菌范围还不是特别广,可以选择多种抗菌剂复配使用.

(3)在抗菌纤维素纤维的生产加工过程中,如何保持其抗菌性不下降,可以从抗菌剂的选择及生产工艺上进行考虑,以保证类似抗菌绒毛浆纤维的抗菌效果.

因此,对于抗菌纤维素/纤维素纤维的研究,我们还有许多的工作要去.开发出具有优异性能的抗菌纤维素/纤维素纤维,使其满足不同产品的要求,必将为其应用打开一条更加广阔的道路.

## 参考文献

- [1] 左华江,温婉华,吴丁财,等. 高分子抗菌剂的研究现状[J]. 化工进展, 2013, 32(3): 604-609.
- [2] 刘耀斌,李彦锋,拜永孝. 高聚物抗菌材料的研究现状及展望[J]. 材料导报, 2010, 24(7): 123-127.
- [3] Roy D, Knapp J S, Guthrie J T, et al. Antibacterial cellulose fiber via RAFT surface graft polymerization[J]. Biomacromolecules, 2008, 9(1): 91-99.
- [4] Nho Y C, Park J S, Jin J H. Antibacterial activity of sulfonated styrene-grafted polypropylene fabric and its metallic salt[J]. J. Macromol. Sci., Pure Appl. Chem., 1999, A36(5/6): 731-740.

- [5] 叶 萌, 乔秀颖, 孙 康. 可降解的热塑性纤维素材料的主要改性方法[J]. 纤维素科学与技术, 2007, 15(1): 64-69.
- [6] 李 涛. 国内外抗菌剂的发展及其在 PP 中的应用[J]. 塑料工业, 2003, 31(10): 5-8.
- [7] 余国文, 汤小胜. 抗菌剂作用机理的探讨[J]. 黄石理工学院学报, 2008, 24(6): 29-32.
- [8] 李 梅, 王庆瑞. 抗菌材料的发展及其应用[J]. 化工新型材料, 1998(5): 8.
- [9] 张安峰, 任会勋, 乔继英. 抗菌金属材料的研究现状与发展趋势[J]. 热加工工艺, 2007, 36(18): 78-81.
- [10] Kawahara K, Tsuruda K, Morishita M, et al. Antibacterial effect of silver-zeolite on oral bacteria under anaerobic conditions[J]. Dental Materials, 2000, 16(6): 452-455.
- [11] 汪 菲, 徐维平, 杨金敏, 等. 纳米银的制备进展[J]. 亚太传统医药, 2012, 8(2): 184-186.
- [12] 张丹慧. 基于银纳米材料的制备及性能研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2011: 1-165.
- [13] 樊 新, 黄可龙, 刘素琴, 等. 化学还原法制备纳米银粒子及其表征[J]. 功能材料, 2007, 38(6): 996-999, 1002.
- [14] Cai J, Kinura S, Wada M, et al. Nanoporous cellulose as metal nanoparticles support [J]. Biomacromolecules, 2009, 10(1): 87-94.
- [15] 徐 雁. 功能性无机-晶态纳米纤维素复合材料的研究进展与展望[J]. 化学进展, 2011, 23(11): 2 183-2 199.
- [16] 陈红莲, 高天明, 黄茂芳, 等. 纳米纤维素晶体的制备及其在聚合物中应用的研究进展[J]. 热带作物学报, 2010, 31(11): 2 051-2 058.
- [17] 刘志明, 谢 成, 王海英, 等. 纳米纤维素/磁性纳米球的原位合成及表征[J]. 功能材料, 2012, 43(12): 1 627-1 631.
- [18] 王海英, 孟 围, 刘志明. 纳米纤维素/银纳米粒子的制备和表征[J]. 功能材料, 2013, 44(5): 305-309.
- [19] 马廷方, 戚丽华, 刘 琳, 等. 新型纳米银抗菌棉织物的制备及其性能检测[J]. 现代纺织技术, 2012, 20(1): 16-19.
- [20] Tomšić B, Simončič B, Orel B, et al. Antimicrobial activity of AgCl embedded in a silica matrix on cotton fabric[J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 75(4): 618-826.
- [21] Son W K, Youk J H, Park W H. Antimicrobial cellulose acetate nanofibers containing silver nanoparticles [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 65(4): 430-434.
- [22] Li S M, Jia N, Ma M G, et al. Cellulose-silver nanocomposites: Microwave-assisted synthesis, characterization, their thermal stability, and antimicrobial property [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(2): 441-447.
- [23] 周晓东, 朱 平, 张建波. 纤维素/纳米 TiO<sub>2</sub> 抗菌复合膜的制备及性能研究[J]. 染整技术, 2008, 30(3): 6-8.
- [24] 张秀菊, 陈文彬, 林志丹. 二氧化钛负载细菌纤维素纳米复合材料的抗菌性及细胞相容性的研究[J]. 化学世界, 2011, 52(11): 641-644.
- [25] 于延芬, 郑 粟, 柴立元, 等. 二氧化钛载银抗菌剂的研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(12): 16-20.
- [26] Wang J X, Liu W X, Li H D, et al. Preparation of cellulose fiber-TiO<sub>2</sub> nanobelt-silver nanoparticle hierarchically structured hybrid paper and its photocatalytic and antibacterial properties [J]. Chemical Engineering Journal, 2013, 228: 272-280.
- [27] 卢滇楠, 周轩榕, 邢晓东, 等. 表面接枝季铵盐型聚合物的纤维素纤维——灭菌机理研究[J]. 高分子学报, 2004(1): 107-113.
- [28] 邢晓东, 王晓工. 季铵盐型抗菌纤维素纤维的辐射接枝聚合[J]. 化工进展, 2009, 28(1): 117-120.
- [29] Roy D, Knapp J S, James T, et al. Antibacterial cellulose fiber via RAFT surface graft polymerization [J]. Biomacromolecules, 2008, 9(1): 91-99.
- [30] Yang S P, Fu S Y, Li X Y, et al. Preparation of salt-sensitive and antibacterial hydrogel based on quaternized cellulose [J]. BioResources, 2010, 5(2): 1 114-1 125.
- [31] 庄旭品, 李 治, 刘晓非, 等. 壳聚糖/纤维素抗菌纤维的研究与展望[J]. 化工进展, 2002, 21(5): 310-314.
- [32] 郑 化, 杜予民. 纤维素/羧甲基壳聚糖共混膜结构与抗菌性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2002, 18(4): 123-128.
- [33] Alonso D, Gimeno M, Olayo R, et al. Cross-linking chitosan into UV-irradiated cellulose fibers for the preparation of antimicrobial-finished textiles [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 77(3): 536-543.
- [34] 秦振宝, 吕效平, 张 帆, 等. 季磷盐型抗菌纤维素纤维的制备及性能研究[J]. 工业水处理, 2011, 31(9): 46-49.
- [35] Hou A, Zhou M, Wang X J. Preparation and characterization of durable antibacterial cellulose biomaterials modified with triazine derivatives [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 75(2): 328-332.
- [36] Grace M, M. Sc., Chand N, et al. Copper I-ginate-cotton Cellulose (CACC) fibers with excellent antibacterial properties [J]. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 2009, 4(3): 24-35.
- [37] Kawabata A, Taylor J A. The effect of reactive dyes upon the uptake and antibacterial efficacy of poly(hexamethylene biguanide) on cotton. Part 3: Reduction in the antibacterial efficacy of poly(hexamethylene biguanide) on cotton, dyed with bis(monochlorotriazinyl) reactive dyes [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67(3): 375-389.
- [38] 张 裕. 新型抗菌的纤维素纤维[J]. 中国检验检疫, 2003(5): 58.
- [39] Gemili S, Yemenicioglu A, Altinkaya S A. Development of cellulose acetate based antimicrobial food packaging materials for controlled release of lysozyme [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(4): 453-462.
- [40] 张宇瑶, 王建清. NMMO 法纤维素抗菌保鲜膜对鲜猪肉的保鲜效果研究[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 20-22.
- [41] 周茂贤. 全漂白硫酸盐马尾松绒毛浆的生产[J]. 中国造纸, 2005, 24(2): 30-32.
- [42] 李贵祥. 杉木 BCTMP 绒毛浆漂白生产实践[J]. 中国造纸, 2004, 23(3): 40-42.
- [43] 徐永建, 张美云, 吴养育. 绒毛浆的性能及制浆方法[J]. 中华纸业, 2003, 24(6): 56-57.
- [44] 贾雪平, 施 磊, 尤克非, 等. 新型载银抗菌棉织物的研制[J]. 纺织学报, 2013, 34(5): 82-85.