

文章编号: 1671-0444(2014)01-0099-07

壳聚糖改性竹浆抗菌织物的耐水洗性能

徐刚^{1,2}, 陈莹², 杨庆斌¹, 唐劲天²

(1. 青岛大学 纺织服装学院, 山东 青岛 266071;

2. 清华大学 工程物理系医学物理与工程研究所, 北京 100084)

摘要: 讨论了经表面壳聚糖改性处理前后的 Cu(II) 络合竹浆针织物的抗菌性能及耐水洗性能. 采用扫描电镜、红外光谱、琼脂平皿扩散法等测试手段确定 Cu(II) 的存在及织物的抗菌性能, 并运用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计学分析. 研究表明: 未经壳聚糖改性处理的竹浆抗菌针织物在水洗 10 次后抑菌圈带宽显著减小, 降低了 10.11%, 但水洗 50 次和 10 次对比, 并未出现显著性差异; 而表面经壳聚糖改性处理后, Cu(II) 抗菌织物抑菌圈带宽有所下降, 其在水洗 10 次、50 次之后与水洗 0 次相比分别下降了 1.10% 和 6.04%, 其抑菌圈带宽检验未出现显著性差异, 耐水洗性能优良. 表面接枝壳聚糖后, 竹浆抗菌针织物的耐水洗性能有所提高.

关键词: 壳聚糖; Cu(II); 竹浆针织物; 抗菌性; 耐水洗性能

中图分类号: TS 15

文献标志码: A

The Water Resistance of Chitosan Modified Bamboo Pulp Antibacterial Fabrics

XU Gang^{1,2}, CHEN Ying², YANG Qing-bin¹, TANG Jin-tian²

(1. College of Textiles & Fashion, Qingdao University, Qingdao Shandong 266071, China;

2. Institute of Medical Physics and Engineering, Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The water resistance and antibacterial properties of copper ion complex bamboo pulp knitted fabrics with or without chitosan modification treatment were discussed. Scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, agar plate diffusion method and some other methods were adopted to determine the existence of copper ions and antibacterial properties of fabrics. SPSS 19.0 software was used for statistical analysis. The research results show that the inhibition zone bandwidth of bamboo pulp antibacterial knitted fabrics decreased after the chitosan modification treatment. The inhibition zone bandwidth of fabrics without chitosan modification treatment decreased 10.11% after ten times washing, and there is no significant difference after being washed ten times and fifty times in water. However, the inhibition zone bandwidths of fabrics with chitosan modification treatment decrease from 1.10% to 6.04% after being washed ten times and fifty times compared to that of fabrics without washing, which indicates that the inhibition zone bandwidths have no significant difference after washing and its water resistance is higher. It illustrates that bamboo pulp antibacterial knitted fabrics with chitosan modification treatment has higher water resistance.

Key words: chitosan; copper ions; bamboo pulp knitted fabric; antibacterial property; water resistance

收稿日期: 2013-04-22

作者简介: 徐刚(1987—), 男, 山东东营人, 硕士研究生, 研究方向为医用纺织品. E-mail: xugyh1987@126.com

杨庆斌(联系人), 教授, E-mail: qdbrian@163.com

目前,市场上用于糖尿病足溃疡治疗的主要金属纤维制品以镀银纤维制品为主,但国外含有镀银纤维的普通糖尿病足袜的价格为 7~20 美元,技术含量高的则多达上百美元,甚至更高^[1].我国对糖尿病足袜的研发还不多,没有十分成熟的产品,所以市场上迫切需要一种价格低廉,具有良好的抗菌性,能够治疗皮肤溃疡的新产品.无机抗菌剂中的 Cu(II)具有良好的抗菌性能,早在公元前 400 年,人类就发现并运用 Cu(II)的抗菌消毒能力^[2],并且 Cu(II)作为人体所必需的微量元素之一,是皮层形成^[3-4]和伤口愈合^[5]不可缺少的重要组成部分.含有镀铜纤维的袜子可以阻止糖尿病足患者的伤口感染、皮肤开裂,加快足部血液循环,促进溃疡愈合^[6].竹浆纤维是一种新型生态环保再生纤维素纤维,具有良好的着色性、硬挺性、耐磨性,可纺性优良,手感柔和光滑,产品使用后可生物降解,属环保型绿色纤维^[7].所以本文选择在竹浆纤维上络合 Cu(II)制备抗菌织物.

虽然已有文献^[8-10]通过铜氨溶液处理纤维素纤维织物,得到具有抗菌性的络合铜离子织物,但对抗菌织物的耐水洗性能并未做深入的研究.由于壳聚糖对 Cu(II)具有很好的络合性能^[11-12],因此,在竹浆织物表面接枝壳聚糖再络合 Cu(II),可能会提高抗菌织物的耐水洗性能.本文主要讨论接枝壳聚糖前后抗菌织物耐水洗性能的变化.

1 试验试剂、材料及仪器

1.1 试样的制备

(1) 竹浆针织物制备.试样为纬平针组织,采用 LXC-252SC 型龙星电脑横机织制,试验所用竹浆纱线线密度为 28.12 tex,所织造针织物的面密度为 310 g/m².

(2) 竹浆针织物除杂.将织物放入温度为 80 °C 的 10 g/L 的 NaOH 溶液中浸泡 60 min,用去离子水洗涤数次.然后将织物放入温度为 70 °C 的质量分数为 4% 草酸溶液中浸泡 30 min,用去离子水洗涤数次.最后用 KQ5200DE 型数控超声波清洗器超声洗涤 15 min,最后在 VENTICELL 型热对流烘箱中烘干.

(3) 壳聚糖溶液配制.将壳聚糖加入质量分数为 7% 柠檬酸溶液中,形成质量分数为 1% 的壳聚糖溶液,并用 IKA RW20 digital 数字置顶式机械搅拌器搅拌 12 h 左右,以形成均一的溶液.

(4) 铜氨溶液配制.取一定量的硫酸与氢氧化钠($n(\text{硫酸铜}) : n(\text{氢氧化钠}) = 1 : 2$)溶于去离子水

中,然后将硫酸铜溶液加入到 NaOH 溶液中产生蓝色沉淀,用 SHZ-D(III) 型循环水式真空泵抽滤沉淀,在 NaOH 沉淀中滴加氨水,直至沉淀消失,用 METTLER-TOLEDO 酸度计标定此时 pH 值约为 13.

(5) 竹浆织物接枝壳聚糖.在已配制的壳聚糖水溶液中加入催化剂次磷酸钠(其与柠檬酸摩尔比为 1 : 1)和质量分数为 0.1% 的渗透剂脂肪醇聚氧乙烯醚(JFC),组成整理液,将竹浆织物放入整理液中,在 Memmet 水浴箱中于 80 °C 浸泡 180 min,然后在 VENTICELL 型热对流烘箱中 80 °C 烘干.

(6) 铜氨溶液处理织物.将针织物浸入 0.05 mol/L 铜氨溶液的烧杯中(浴比为 1 : 30),反应 25 min.

1.2 抗菌性能测试

选用金黄色葡萄球菌和大肠杆菌作为测试菌种.采用琼脂平皿扩散法半定量测试表征试样的抗菌效果.参考 GB/T 20944.1—2007 纺织品抗菌性能评价进行测试,计算式如式(1)所示.

$$H = \frac{(D-d)}{2} \quad (1)$$

式中: H 为抑菌带宽度(mm); D 为抑菌带外径的平均值(mm); d 为试样直径(mm).

1.3 耐水洗性能测试

参考 FZ/T 73023—2006 抗菌针织品中附录 C 的简化洗涤条件及程序,对处理后的竹浆针织物试样进行标准洗涤.用标准规定的 AATCC 1993 标准洗涤剂 2 g/L 溶液作为洗涤液,将试样与洗涤液按浴比 1 : 30 放入烧杯中,将烧杯放入水浴恒温振荡器中,以振荡频率为 100 次/min、水温为 40 °C 振荡洗涤 5 min.洗涤完后取出试样,用去离子水清洗数次,作为 1 次洗涤过程.按照上述洗涤程序,自行设定洗涤时间分别为 50 和 250 min,分别水洗 0, 10, 50 次.每一种试样取 25 个,耐水洗性提高率计算式如式(2)所示.

$$C = \frac{(A-B)}{A} \quad (2)$$

其中: C 为耐水洗性提高率; A 为 Cu(II) 络合竹浆针织物的水洗 0 次与 10 次的抑菌圈带宽差值; B 为 Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物的水洗 0 次与 10 次的抑菌圈带宽差值.

1.4 统计学检验

本文采用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行分析.首先采用 Shapiro-Wilk 检验进行正态分布检验.

对于两相关样本的非参数检验,采用 Wilcoxon 符号秩检验两配对样本之间是否存在显著性差异;对于两独立样本的非参数检验,采用 Mann-Whitney U 检验.

2 结果与讨论

2.1 壳聚糖溶液、铜氨溶液处理前后竹浆针织物的外观形态

图 1 是壳聚糖溶液及铜氨溶液处理前后织物的外观形态图.对比图 1(a)和 1(b)可以看出,经过表面接枝壳聚糖整理后,织物变得更白,从图 1(c)和 1(d)可以看出,Cu(II)络合后竹浆针织物呈现出较深的颜色.这是因为铜氨溶液是一种蓝色液体,织物经过铜氨溶液处理后会变色,说明 Cu(II)已被络合到织物上.

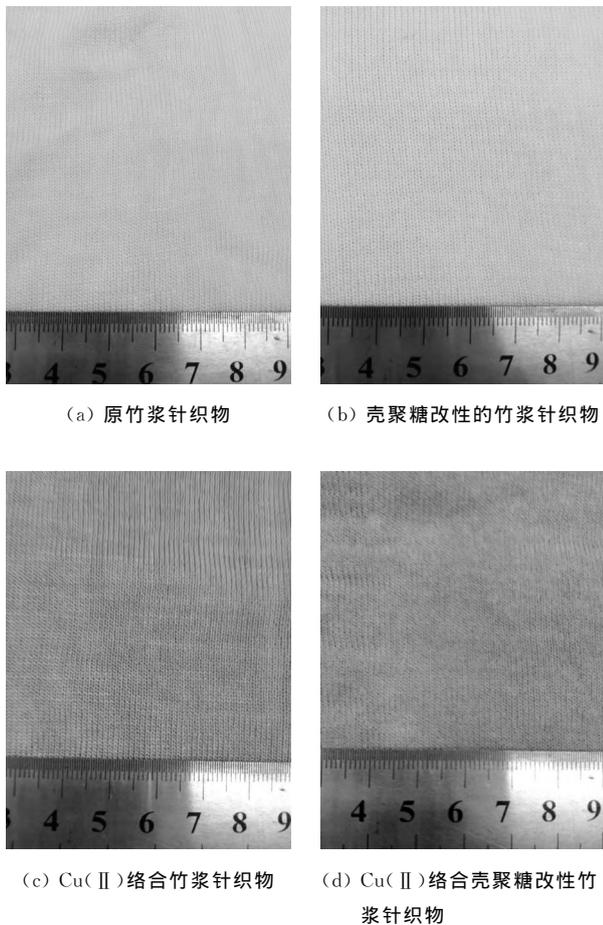


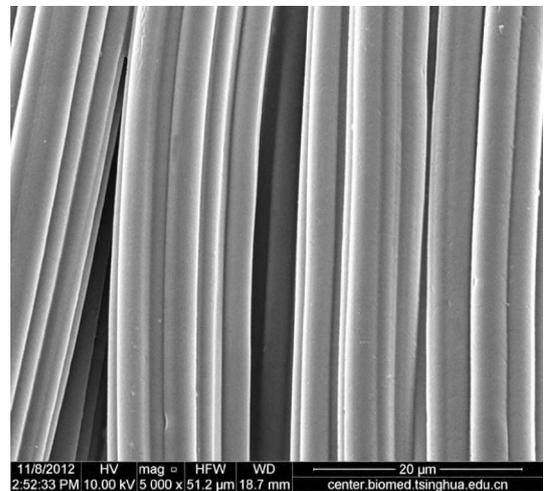
图 1 竹浆针织物的外观形态

Fig. 1 The appearance of the bamboo pulp knitted fabric

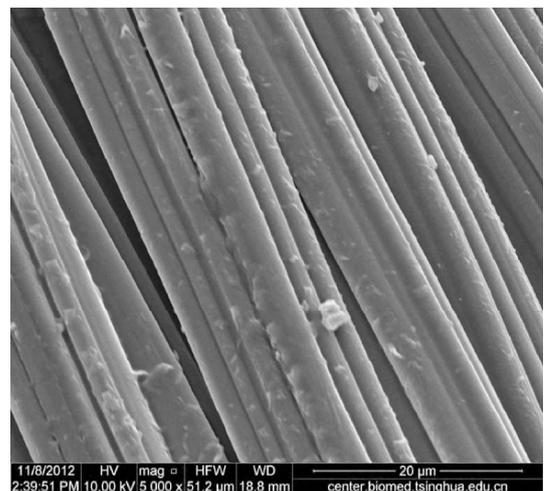
2.2 竹浆针织物的微观形态特征分析

图 2 为壳聚糖溶液及铜氨溶液处理前后织物的扫描电镜图.由图 2(a)可以看出,原竹浆针织物的表面平整、光滑,有细密的平行沟槽.由图 2(b)可以

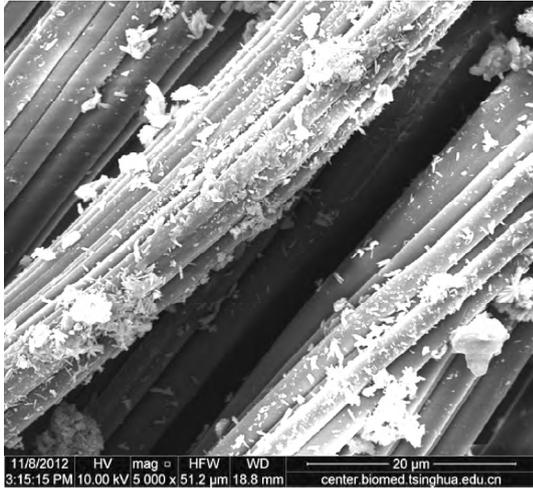
看出,在织物表面接枝壳聚糖后,纤维表面覆盖了一层壳聚糖,变得粗糙,沟槽变浅.由图 2(c)可以看出,只用铜氨溶液处理的竹浆针织物,纤维表面覆盖着大量的冰晶状物体.由图 2(d)可以看出,先接枝壳聚糖后络合 Cu(II)的竹浆针织物,其纤维表面同样覆盖有大量的冰晶状物体.对比图 2(c)和图 2(d)可以发现,两种不同处理方法得到的织物表面存在 Cu(II),与外观形态观察结果一致,并且经过壳聚糖接枝后,Cu(II)的分布更加均匀,且数量更多.这是由于壳聚糖是自然界存在的唯一碱性多糖,它的氨基极易形成四级胺正离子,有弱碱性阴离子交换作用,对过渡金属有良好的螯合作用^[13],且由于壳聚糖分子中同时含有大量的羟基和氨基,是典型的 Lewis 碱性基团,从构象上来看,它们都是平伏键,可借助氢键或离子键与金属离子形成具有类似网状结构的笼形配合物分子,这种特殊结构使得它们对 Cu(II)有出色的螯合作用^[14-15],可以很好地将 Cu(II)固定在竹浆针织物的表面.



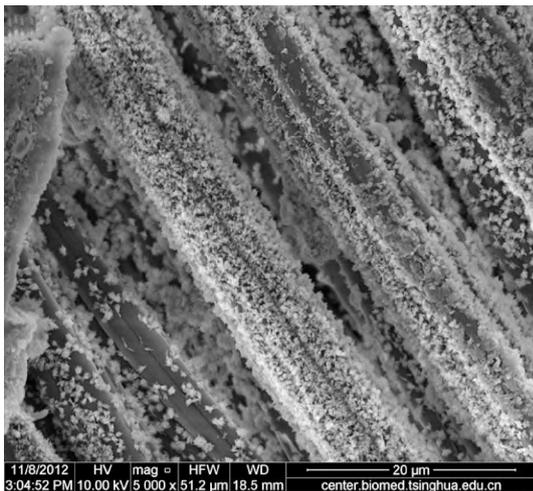
(a) 原竹浆针织物



(b) 壳聚糖改性的竹浆针织物



(c) Cu(II) 络合竹浆针织物



(d) Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物

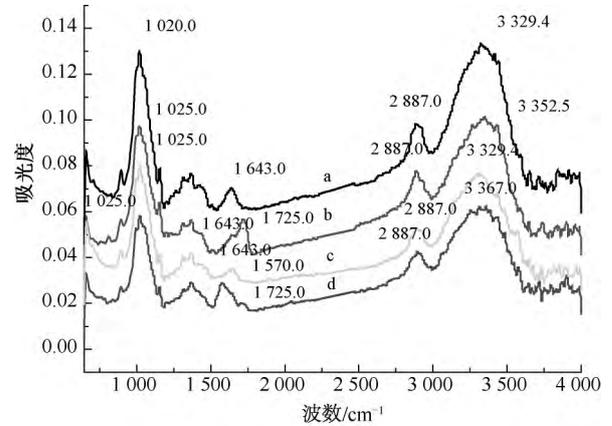
图 2 竹浆针织物的扫描电镜图

Fig. 2 The scanning electron microscope images of bamboo pulp knitted fabrics

2.3 红外光谱图分析

图 3 为竹浆针织物的傅里叶变换红外光谱图。其中, 曲线 a 上 $3\ 329.4\ \text{cm}^{-1}$ 处宽而强的吸收峰是—OH 的伸缩振动, $2\ 887\ \text{cm}^{-1}$ 处的中强吸收峰是—CH 的伸缩振动峰, $1\ 643.0\ \text{cm}^{-1}$ 处为—OH 的伸缩振动峰。曲线 b 上出现了壳聚糖的特征峰, $1\ 725.0$ 和 $1\ 643.0\ \text{cm}^{-1}$ 分别对应酰胺峰(C=O)和自由氨基的变形振动峰, $3\ 352.5\ \text{cm}^{-1}$ 处是壳聚糖分子链上的—OH 和—NH 的吸收峰。对比曲线 a 和 c 可以看出, 试样的红外光谱图峰形大致相似, 特征吸收峰位置基本不变, 但 Cu(II) 络合竹浆针织物极性增大。这是由于纤维素中的—OH 与 Cu(II) 形成配位键后, 破坏了一—OH 之间的氢键, 再加上 Cu(II) 的位阻效应^[16] 引起的, 说明 Cu(II) 已经与竹浆纤维发生络合。对比曲线 b 和 d 可以看出, $3\ 352.5$

cm^{-1} 处 C—N 的伸缩振动吸收峰向高频方向移动到曲线 d 的 $3\ 367.2\ \text{cm}^{-1}$ 处, 说明壳聚糖中的—NH 形成了配合物, 且曲线 d 中位于 $1\ 400.0\ \text{cm}^{-1}$ 处峰形变尖, 说明 N 确实参与了与 Cu(II) 的配位, 另外 $1\ 643.0\ \text{cm}^{-1}$ 处—OH 伸缩振动峰向低频方向移动到曲线 d 的 $1\ 570.0\ \text{cm}^{-1}$ 处, 说明竹浆纤维里的—OH 也参与了与 Cu(II) 的配位。



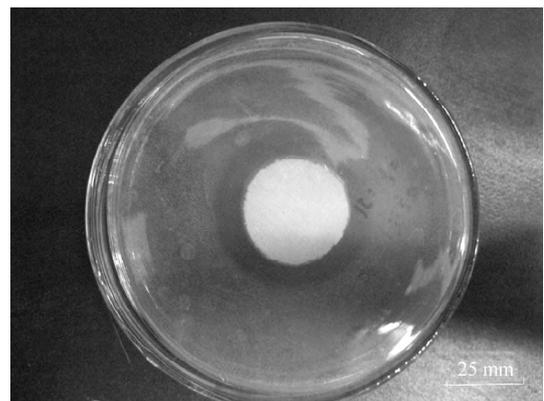
a—原竹浆针织物; b—壳聚糖改性的竹浆针织物; c—Cu(II) 络合竹浆针织物; d—Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物。

图 3 竹浆针织物的红外光谱图

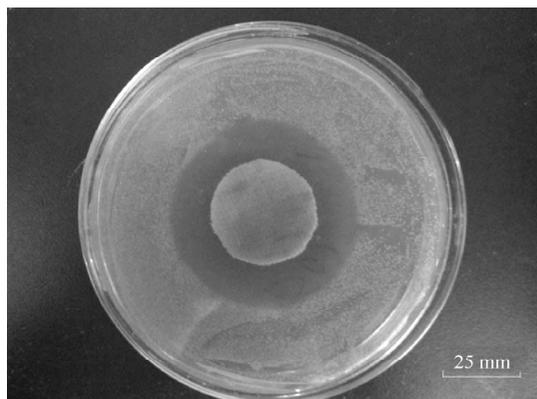
Fig. 3 FTIR spectra of bamboo pulp knitted fabrics

2.4 竹浆针织物抗菌性能分析

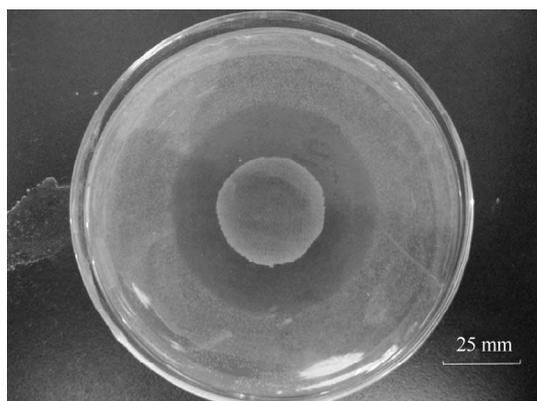
经壳聚糖溶液及铜氨溶液处理后的织物对金黄色葡萄球菌的抗菌效果如图 4 所示。由图 4(a) 可以看出, 壳聚糖处理后的织物形成了抑菌圈, 说明其本身具有一定的抗菌性, 其抑菌圈带宽为 $(5.86 \pm 0.53)\ \text{mm}$ 。这是由于壳聚糖分子结构中存在带正电的氨基, 它易与呈负电的菌体相吸, 与菌体细胞壁结构中带负电荷的类脂-蛋白质结合, 使其变性或在细胞表面形成一层高分子膜, 通过改变细胞的选择透过性, 阻断营养物质进入而导致菌体死亡。由图 4(b) 和 4(c) 可以看出, 经过铜氨溶液处理后织物都



(a) 壳聚糖改性的竹浆针织物



(b) Cu(II)络合壳聚糖改性竹浆针织物



(c) Cu(II)络合竹浆针织物

图 4 金黄色葡萄球菌的抗菌测试

Fig. 4 Staphylococcus aureus antibacterial test

具有一定的抑菌圈带宽,证明它们都具有良好的抗菌性.这是由于带正电的 $\text{Cu}(\text{II})$ 可以吸附在带负电的细胞膜上,并且进入细菌内部,与蛋白质的 N 和 O 络合后,破坏蛋白分子的空间构象,使得蛋白质凝固,破坏细菌的细胞合成酶的活性,造成微生物新陈代谢受阻,从而杀死细菌.

表 1 为竹浆抗菌织物的抑菌圈宽度.由表 1 可以看出,竹浆针织物经过铜氨溶液处理后有较好的抗菌性能,在表面接枝壳聚糖后再络合 $\text{Cu}(\text{II})$ 的织物的抗菌性能有所下降,用 SPSS 19.0 软件进行 Mann-Whitney U 检验,对两种不同处理方法得到的织物进行分析,结果相伴概率 $P=0.002<0.05$,说明两样本之间存在显著性差异,即表面接枝壳聚糖后竹浆织物的抗菌性能有所下降.这是因为一方面壳聚糖与 $\text{Cu}(\text{II})$ 的紧密络合限制了 $\text{Cu}(\text{II})$ 的游离;另一方面,离子键和金属键之间形成的网状结构缝隙更小,导致 $\text{Cu}(\text{II})$ 释放困难,所以抗菌性能有所下降.

表 1 竹浆针织物的抑菌圈宽度

Table 1 The inhibition zone bandwidth of bamboo pulp knitted fabrics

试样	抑菌圈带宽/mm	Mann-Whitney U 检验
Cu(II)络合竹浆针织物	11.77 ± 0.57	$P=0.002<0.05$
Cu(II)络合壳聚糖改性竹浆针织物	10.93 ± 1.29	

2.5 竹浆抗菌织物的耐水洗性能研究

竹浆抗菌织物水洗前后抑菌圈带宽如图 5 所示.从图 5 可以看出,水洗 10 次后未接枝壳聚糖织物的抑菌圈宽度出现明显下降,降低了 10.11%,表明抑菌性明显降低;表面先经过接枝壳聚糖处理后,竹浆抗菌织物的抑菌圈带宽随着水洗次数的增加并未出现明显的下降趋势,水洗 10 次后仅下降了 1.10%,水洗 50 次后下降了 6.04%;水洗 10 次后,接枝壳聚糖的竹浆抗菌织物的抑菌圈带宽超过未经过接枝壳聚糖的竹浆抗菌织物,说明表面接枝壳聚糖增加了抗菌织物的耐水洗性能.

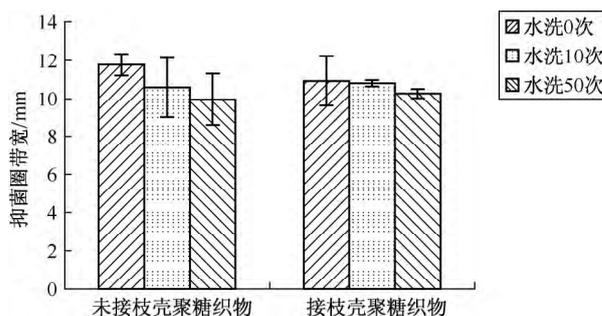


图 5 水洗后竹浆抗菌织物的抑菌圈带宽

Fig. 5 The inhibition zone bandwidth of washed bamboo pulp antibacterial fabrics

表 2 为竹浆抗菌针织物的数据正态性检验.从表 2 可看出, $\text{Cu}(\text{II})$ 络合竹浆针织物的相伴概率 $P_1=0.01<0.05$, $P_2=7.84 \times 10^{-5}<0.05$,因此, $\text{Cu}(\text{II})$ 络合竹浆针织物水洗 0 次、10 次的数不呈正态分布,而 $P_3=0.28>0.05$,说明 $\text{Cu}(\text{II})$ 络合竹浆针织物水洗 50 次的数呈正态分布. $\text{Cu}(\text{II})$ 络合壳聚糖改性的竹浆针织物的相伴概率 $P_1=4.95 \times 10^{-4}<0.05$, $P_2=0.03<0.05$,因此,壳聚糖改性络合 $\text{Cu}(\text{II})$ 的竹浆针织物水洗 0 次、10 次的数不呈正态分布,而 $P_3=0.75>0.05$,说明 $\text{Cu}(\text{II})$ 络合壳聚糖改性竹浆针织物水洗 50 次的数呈正态分布.

表 2 竹浆针织物的抑菌圈带宽数据正态性检验

Table 2 Normality test of inhibition zone bandwidth of copper ion complex bamboo pulp knitted fabrics

水洗次数/次	P 值	
	Cu(II) 络合竹浆针织物	Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物
0	0.01	4.95×10^{-4}
10	7.48×10^{-5}	0.03
50	0.28	0.75

2.5.1 Cu(II) 络合竹浆针织物的耐水洗性能分析

由表 2 可知,水洗 0 次和 10 次的相伴概率 P 值均小于 0.05,数据呈非正态分布,所以可以采用两相关样本的 Wilcoxon 符号秩检验进行两配对样本的非参数检验,分析水洗 0 次和 10 次、水洗 10 次和 50 次以及水洗 0 次和 50 次试样之间是否存在显著性差异.表 3 为 Cu(II) 络合竹浆针织物的 Wilcoxon 符号秩检验结果.由表 3 可以看出,水洗 0 次和 10 次相比,统计量 $Z = -3.10$,相伴概率 $P = 0.002$,小于显著水平 0.05,即认为两样本之间存在显著性差异,说明水洗 10 次之后 Cu(II) 络合竹浆针织物的抗菌性能出现明显下降现象.水洗 0 次和 50 次相比,统计量 $Z = -4.37$,相伴概率 $P = 1.22 \times 10^{-5}$,小于显著水平 0.05,即认为两样本之间存在显著性差异,说明水洗 50 次之后 Cu(II) 络合竹浆针织物的抗菌性能出现明显下降现象.水洗 10 次与 50 次相比,统计量 $Z = -0.90$,相伴概率 $P = 0.38$,大于显著水平 0.05,即认为两样本之间存在不显著性差异,水洗 10 次和 50 次后 Cu(II) 络合竹浆针织物的抗菌性能没有出现明显下降现象,说明织物水洗 10 次后 Cu(II) 大量流失,而随后 Cu(II) 的流失不明显.

表 3 Cu(II) 络合竹浆针织物的 Wilcoxon 符号秩检验结果

Table 3 Wilcoxon signed-rank test results of Cu(II) complex bamboo pulp knitted fabric

样本对	Z	P
0 次—10 次	-3.10	0.002
0 次—50 次	-4.37	1.22×10^{-5}
10 次—50 次	-0.90	0.38

2.5.2 Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物的耐水洗性能分析

表 4 为 Cu(II) 络合壳聚糖改性的竹浆针织物的 Wilcoxon 符号秩检验结果.由表 4 可以看出,水

洗 0 次和 10 次相比,统计量 $Z = -1.83$,相伴概率 $P = 0.07$,大于显著水平 0.05,即认为两样本之间不存在显著性差异,说明水洗 10 次之后 Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物的抗菌性能没有出现显著下降.织物水洗 0 次和 50 次进行对比,统计量 $Z = -0.24$,相伴概率 $P = 0.81$,大于显著水平 0.05,即认为两样本之间不存在显著性差异,说明水洗 50 次后 Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物的抗菌性能仍然没有出现显著变化. Wilcoxon 符号秩检验结果表明,竹浆针织物表面接枝壳聚糖后,织物水洗前后抑菌圈带宽的变化不明显,抑菌性没有显著下降,织物的耐水洗性能得以提高.

表 4 Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物 Wilcoxon 符号秩检验结果

Table 4 Wilcoxon signed-rank test results of Cu(II) complex bamboo pulp knitted fabrics with chitosan modification treatment

水洗 0 次	水洗 10 次		水洗 50 次	
	Z	P	Z	P
	-1.83	0.07	-0.24	0.81

2.5.3 Cu(II) 络合竹浆针织物和壳聚糖改性 Cu(II) 络合竹浆针织物的耐水洗性能对比分析

表 5 为 Cu(II) 络合竹浆针织物和壳聚糖改性 Cu(II) 络合竹浆针织物两独立样本的 Mann-Whitney U 检验结果.从表 5 可以看出,两样品同样水洗 10 次后, Mann-Whitney U 检验的相伴概率 $P = 0.39$,大于显著水平 0.05,即认为两样品不存在显著性差异,说明两种不同处理方法得到的织物在水洗 10 次后,其抑菌圈带宽不存在显著性差异,抗菌性能相当,即表明未进行壳聚糖改性的抗菌织物水洗后抑菌带宽下降较为严重.根据式(2)可计算得,竹浆抗菌针织物在表面接枝壳聚糖后,其耐水洗性能提高 89.91%.两样品经水洗 50 次后, Mann-Whitney U 检验的相伴概率 $P = 0.02$,小于显著水平 0.05,即认为两样本间存在显著性差异,表明两种织物在水洗 50 次后其抑菌圈带宽存在明显差异.从图 5 可以得知, Cu(II) 络合竹浆针织物水洗 50 次后的抑菌圈带宽为 (9.95 ± 1.36) mm, Cu(II) 络合壳聚糖改性竹浆针织物水洗 50 次后的抑菌圈带宽为 (10.27 ± 0.24) mm,由此可以看出,竹浆抗菌针织物表面接枝壳聚糖后,水洗 50 次后耐水洗性能提高了 63.74%. 未经过壳聚糖改性的织物随水洗次数的增加,其抑菌圈带宽显著性减小,抗菌性能随着水洗次数的增多而下降.

表 5 两种竹浆针织物的 Mann-Whitney U 检验结果

Table 5 Mann-Whitney U test results of two bamboo pulp knitted fabrics

两样品水洗次数/次	Z	P
10	-0.864	0.388
50	-2.359	0.018

3 结 语

(1) 从外观形态和扫描电镜图可以看出,竹浆针织物经过铜氨溶液处理后,Cu(II)能够络合于织物,且经过壳聚糖改性处理后,Cu(II)分布更加均匀。

(2) 络合 Cu(II)的竹浆针织物具有良好的抗菌性,能够有效地杀死细菌。

(3) 未经过壳聚糖改性处理的 Cu(II)络合竹浆针织物的耐水洗性能较差,而经过壳聚糖改性处理的竹浆针织物的耐水洗性能得到明显的改善,经过 50 次水洗后,壳聚糖络合 Cu(II)的竹浆针织物仍具有较好的抗菌性,耐水洗性能较未经过壳聚糖改性的竹浆针织物提高了 63.74%。经 SPSS 19.0 软件分析表明,壳聚糖改性处理的竹浆针织物水洗 50 次后抑菌圈带宽没有显著性变化,说明壳聚糖的表面改性处理可以有效提高竹浆针织物的耐水洗性能。

参 考 文 献

[1] 季益萍. 糖尿病足患防治袜及其研究成果[J]. 产业用纺织品, 2006, 24(6): 37-40.

[2] DOLLWET H H A, SORENSON J R J. Historic uses of copper compounds in medicine [J]. Trace Elements in Medicine, 1985, 2(2): 80-87.

[3] PICKART L. The human tri-peptide GHK and tissue remodeling [J]. Journal of Biomaterials Science, Polymer

Edition, 2008, 19(8): 969-988.

- [4] SZAUTER K M, CAO T, BOYD C D, et al. Lysyl oxidase in development, aging and pathologies of the skin[J]. Pathologie Biologie, 2005, 53(7): 448-456.
- [5] BORKOW G, GABBAY J, ZATCOFF R C. Could chronic wounds not heal due to too low copper levels? [J] Medical Hypotheses, 2008, 70(3): 610-613.
- [6] BORKOW G, ZATCOFF R C, GABBAY J. Reducing the risk of skin pathologies in diabetics by using copper impregnated socks[J]. Medical Hypotheses, 2009, 73(6): 883-886.
- [7] 乐逸婵,王国和. 竹纤维的结构性能及其产品开发[J]. 四川丝绸, 2004(4): 10-13.
- [8] 夏云. 铜氨溶液处理棉织物的性能研究[J]. 上海纺织科技, 2011, 39(7): 46-48.
- [9] 秦中悦,陈宇岳. 铜氨离子络合竹浆纤维的抗菌性及反应条件研究[J]. 北京服装学院学报, 2011, 31(2): 7-12.
- [10] QIN Z, CHEN Y, ZHANG P, et al. Structure and properties of Cu(II) complex bamboo pulp fabric[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 117(3): 1843-1850.
- [11] GUIBAL E, JANSSON-CHARRIER M, SAUCEDO I, et al. Enhancement of metal ion sorption performances of chitosan: Effect of the structure on the diffusion properties [J]. Langmuir, 1995, 11(2): 591-598.
- [12] KURITA K, SANNAN T, IWAKURA Y. Studies on chitin VI: Binding of metal cations[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1979, 23(2): 511-515.
- [13] 毕全. 壳聚糖对低浓度铜离子的吸附研究[D]. 南京: 南京理工大学化工学院, 2009.
- [14] 魏永锋,张苏敏,杭超伦,等. 壳聚糖 Cu(II)配合物的合成及吸附性能[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2005, 35(4): 413-415.
- [15] WAN NGAH W S, ENDUD C S, MAYANAR R. Removal of copper(II) ions from aqueous solution onto chitosan and cross-linked chitosan beads[J]. Reactive and Functional Polymers, 2002, 50(2): 181-190.
- [16] QIN Z Y, CHEN Y Y, ZHANG P, et al. Structure and properties of Cu(II) complex bamboo pulp fabrics[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2010, 117(3): 1843-1850.