

DOI: 10.13475/j.fzxb.20180201607

湿/热处理对狗绒纤维结构和性能的影响

刘冰倩¹, 盛丹², 龚小宝¹, 曹根阳¹, 张韬³

(1. 武汉纺织大学 纺织新材料与先进加工技术国家重点实验室培育基地, 湖北 武汉 430200;
2. 江南大学 纺织服装学院, 江苏 无锡 214122; 3. 武汉纺织大学 服装学院, 湖北 武汉 430073)

摘要 为更好地开发利用狗绒资源, 探究了湿/热处理对狗绒纤维结构和性能的影响, 分别对狗绒纤维进行湿处理和热处理, 采用单纤维万能测试仪、红外光谱仪、X射线衍射仪、热分析仪、保暖测试仪和扫描电子显微镜等对狗绒纤维进行测试。结果表明: 狗绒纤维经湿处理后卷曲率下降, 经热处理后卷曲率呈上升趋势; 热处理对狗绒纤维表面损伤程度明显高于湿处理, 且热处理后狗绒纤维力学性能明显变差; 狗绒纤维具有蛋白质纤维红外特征, 湿处理和热处理对其分子结构无明显影响, 但对其二级结构造成影响, 结晶指数由未处理时 56.87%, 分别降低为 46.21% 和 45.92%, 并且热稳定性均有下降; 狗绒纤维经湿处理后中空率下降, 保暖率也随之下降, 经热处理后纤维中空率增加, 保暖率提高至 96.88%。

关键词 狗绒纤维; 湿/热处理; 卷曲率; 保暖率

中图分类号: TS 102.3 文献标志码: A

Influence of wet/heat treatment on structure and properties of dog hair

LIU Bingqian¹, SHENG Dan², GONG Xiaobao¹, CAO Genyang¹, ZHANG Tao³

(1. State Key Laboratory of New Textile Materials and Advanced Processing Technologies, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430200, China; 2. School of Textiles and Clothing, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
3. School of Fashion, Wuhan Textile University, Wuhan, Hubei 430073, China)

Abstract In order to better develop and utilize the resources of dog hair, the influences of wet/heat treatment on the structure and properties of dog hair were studied. The dog hair were subjected to heat and wet treatment, respectively, then the fibers were tested by single fiber universal tester, Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction, thermal analyzer, thermal insulation tester and scanning electron microscopy. The results show that the crimp ratio of dog hair decreases after wet treatment, while that of the fiber increases after heat treatment. Heat treatment has much heavier harm to the surface of that fiber than wet treatment, and the mechanical properties of the dog hair are significantly worse after heat treatment. The dog hair has the infrared characteristics of protein fiber, and both of the wet treatment and heat treatment have no obvious influence on its molecular structure, but the secondary structure is affected. The crystallization indexes of samples after wet treatment and heat treatment decrease from 56.87% of untreated sample to 46.21% and 45.92%, respectively, and the heat stability decreases. In addition, the hollow ratio of the wet treated dog hair is decreased obviously and the warm retention ratio is reduced accordingly. However, the hollow ratio of the fibers after heat treatment increases, and the warm retention ratio increases to 96.88%.

Keywords dog hair; wet/heat treatment; crimp ratio; warm retention ratio

轻薄化、功能化和多元化是纺织品的发展趋势。
羊绒制品具有轻薄柔软、光泽柔和、保暖性优良的特

点, 一直受到国内外消费者的关注^[1-2], 但山羊绒产
量无法满足市场需求, 导致羊绒价格一直居高不下,

收稿日期: 2018-02-05 修回日期: 2018-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51325306)

第一作者: 刘冰倩(1994—), 女, 硕士生。主要研究方向为纺织材料与纺织品设计。

通信作者: 张韬(1978—), 男, 副教授, 硕士。主要研究方向为服装设计与材料应用。E-mail: zhangtao820@tom.com。

山羊绒的需求促进了放牧量增大,过度放牧又会对环境造成极大的破坏,因此,开拓新品种的动物绒来填补或替代羊绒具有非常重要的意义^[3-4]。

近年来,我国养狗数量不断增加,特别是肉用狗的养殖发展很快,我国养殖肉用狗数量较大,这些狗的绒毛多被作为废弃物丢弃,造成了极大的浪费,因此获取并对狗绒纤维进行研究利用具有潜在的应用价值和经济效益^[5]。滑钧凯等^[6]研究了狗绒纤维的形态结构和物理力学性能,发现狗绒纤维具有与山羊绒非常相似的性能和结构,经绒毛分梳、纺纱、织造的狗绒制品滑糯柔软,具有优异的服用性能。同羊绒纤维类似,狗绒纤维在生产工序中也会受到湿和热的作用,林绍建等^[7]研究了高温及高温水对狗毛纤维强度、断裂伸长率和色泽的影响,结果表明高温干热和高温湿热对纤维的力学性能和色泽有影响,但并未研究对纤维结构及其它性能的影响,并且目前鲜有文献报道狗绒在湿/热条件下结构和性能的变化。尤其西伯利亚雪橇犬来自寒带地区,能够抵抗严寒,其绒毛保暖性更加优异。本文以西伯利亚雪橇犬绒毛纤维为研究对象,在对其进行不同条件的湿/热处理后,重点研究雪橇犬绒毛纤维微观结构和保暖性能的变化,为深入研究狗绒纤维提供参考。

1 实验部分

1.1 实验材料

西伯利亚雪橇犬绒毛纤维(以下统称狗绒纤维)来源于山东天元犬场,平均直径为 25 μm,长度范围为 45~55 mm;去离子水,实验室自制。

1.2 试样制备

将狗绒纤维置于温度为(20±2)℃、相对湿度为(65±2)%的恒温恒湿室中平衡 24 h 后,得到未处理试样,备用。

1.2.1 湿处理

将未处理试样置于温度为 20℃ 的去离子水中浸泡 24 h,自然晾干后再置于恒温恒湿室平衡 24 h,得到湿处理试样,供测试用。

1.2.2 热处理

采用 DHG-9241A 型电热恒温干燥箱(上海精密实验设备有限公司)对未处理试样进行热处理,处理温度分别为 80、100、120、140、160℃,处理时间分别为 5、10、15、20 min,将处理后的试样置于恒温恒湿室平衡 24 h 后,得到热处理试样,供测试用。

1.3 测试方法

1.3.1 卷曲及力学性能测试

参照 GB/T 13835.5—2009《免毛纤维 试验方

法 第 5 部分:单纤维断裂强度和断裂伸长率》,采用 FAVIMAT+BOBOT2 型全自动单纤维万能测试仪(德国 Textechno 公司)对狗绒纤维卷曲率及力学性能进行测试,参数设置为:夹距 20 mm,测试速度 20 mm/min,预加张力 1.00 cN/tex。每个试样测试 100 根,结果取平均值。测试指标为卷曲率、断裂伸长率、初始模量、断裂强度及断裂功。

1.3.2 纤维分子组成测试

采用 Spectrum 100 型傅里叶红外光谱仪(美国 PerkinElmer 公司)对狗绒纤维进行测试,分析湿/热处理对狗绒纤维分子组成及分子结构的影响。光源为红外光源,扫描范围为 3 500~900 cm⁻¹,分辨率为 2.0 cm。

1.3.3 纤维空间结构测试

采用 D8 ADVANCE and DAVINCI DESING 型 X 射线粉末衍射仪(XRD)(德国 Bruker 公司)对狗绒纤维进行扫描,得到 XRD 谱图。测试条件:衍射角范围为 5°~80°,扫描速度为 10(°)/min。

另外,参考韦玉辉等^[8-10]提出的蛋白质纤维计算结晶指数的经验公式,计算试样的结晶指数。结晶指数计算公式为

$$C = (I_9 - I_{14}) / I_9 \times 100\%$$

式中: C 为结晶指数,%; I₉ 为 2θ 在 9° 处的最大衍射峰强度; I₁₄ 为 2θ 在 14° 处波谷的衍射峰强度。

1.3.4 热力学性能测试

采用 TGA/DSC1 型同步热分析仪(TG)(瑞士 Mettler-Toledo 公司)对狗绒纤维热力学性能进行测试,温度范围为 30~900℃,升温速率为 20℃/min,氮气保护。

1.3.5 保暖性能测试

参照 GB/T 11048—2008《纺织品 生理舒适性 稳态条件下热阻和湿阻的测定》,采用 HFX-A0 型小型开松机(苏州市华飞纺织科技有限公司)将狗绒纤维开松处理后,铺成厚薄均匀的纤维层,尺寸为 350 mm×350 mm。参照 GB/T 3820—1997《纺织品和纺织制品厚度的测定》,采用 XYG141 L 型数字式织物厚度仪(温州方圆仪器有限公司)测出纤维层厚度。在 YG606F 型纺织品保暖测试仪(温州方圆仪器有限公司)输入纤维层厚度后开始测试,测试前需进行 1 次空白实验。记录保暖率和导热系数数据,循环 5 次,取其平均值。

1.3.6 形貌观察与纤维中空率计算

采用 Zeiss Merlin Compact 型场发射超高分辨率扫描电镜(SEM)(德国卡尔蔡司公司)对喷金处理后的狗绒纤维进行拍摄,观察试样的纵向表面和横截面,其中横截面利用液氮脆断得到。加速电压为

10 kV, 放大倍数为 5 000。

利用 Nano Measurer 1.2 图像分析软件, 测量狗绒纤维截面和空腔截面直径, 截面近似为圆形, 根据下式计算纤维中空率:

$$Z = (S_1/S_2) \times 100\%$$

式中: S_1 为空腔截面的面积 μm^2 ; S_2 为纤维截面的面积 μm^2 。

2 结果与讨论

2.1 湿/热处理对狗绒纤维卷曲性能的影响

湿处理和热处理对狗绒纤维卷曲率和断裂伸长率均有一定的影响。卷曲率是绒毛纤维的重要指标之一, 纤维卷曲率增加, 可有效地提高织物的孔隙率, 进而改善织物的保暖性能^[11]。图 1 示出热处理对狗绒纤维卷曲性能的影响。测得未处理狗绒纤维的卷曲率为 6.44%, 经湿处理后其卷曲率下降为 4.52%, 降幅为 29.81%。与湿处理结果相反, 经热处理后狗绒纤维的卷曲率明显增加(见图 1(a)), 尤其当温度超过 100 °C 后, 卷曲率增幅较大。当热处理温度为 160 °C, 处理 20 min 后, 纤维卷曲率达 10.42%, 增幅 61.80%。随着温度升高及热处理时间延长, 断裂伸长率呈下降趋势, 但下降幅度较小(见图 1(b))。原因是狗绒纤维经热处理后, 纤维内部水分挥发, 纤维内大分子链空隙变小, 大分子链之间的氢键作用增强, 使狗绒纤维的卷曲率提高, 这在一定程度上有利于增加纤维断裂伸长率; 而另一方面, 热处理对狗绒纤维的断裂伸长率造成一定损伤。综合这 2 个因素, 狗绒纤维经热处理可实现卷曲率增大以在一定程度上弥补断裂伸长率的损失。本文选择湿处理和热处理(160 °C, 20 min)狗绒纤维与未处理狗绒纤维进行比较研究, 分析湿处理和热处理对狗绒纤维结构和性能的影响。

2.2 湿/热处理对狗绒纤维力学性能的影响

图 2 示出湿/热处理前后狗绒纤维应力与应变曲线。

与之相对应, 狗绒纤维的力学性能发生不同程度的改变, 表 1 示出湿/热处理前后狗绒纤维力学性能测试结果。可以看出, 狗绒纤维经湿处理和热处理初始模量和断裂强度均下降, 而热处理试样下降幅度大于湿处理试样, 这说明加热对狗绒纤维分子链破坏较严重, 导致纤维的断裂功相对未处理试样下降 10.05%。湿处理试样初始模量和断裂强度下降主要是纤维吸湿后发生膨胀, 分子链间的作用力减弱导致的, 但由于分子链间距离变大, 纤维在

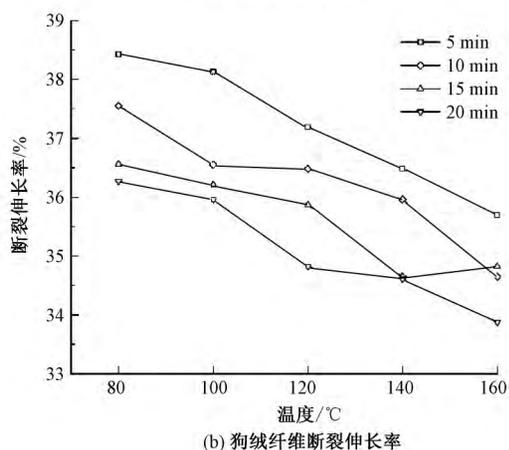
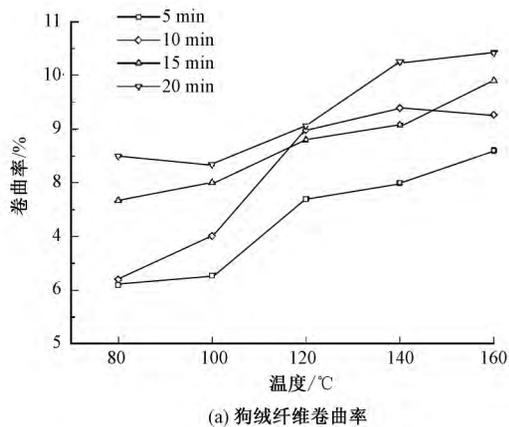


图 1 热处理对狗绒纤维卷曲性能的影响

Fig.1 Influence of heat treatment on crimp properties of dog hair. (a) Crimp ratios chiengora; (b) Break elongation

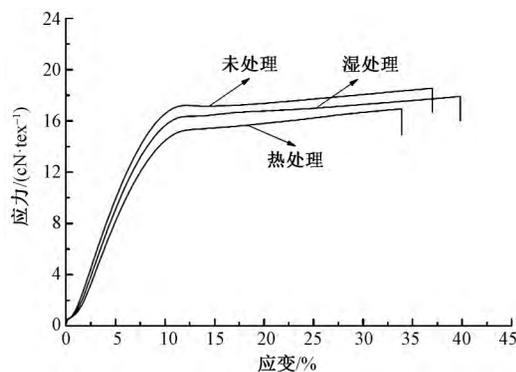


图 2 湿/热处理前后狗绒纤维应力与应变曲线
Fig.2 Stress-strain curves of dog hair before and after wet/heat treatment

拉伸时, 其应变明显大于未处理试样和热处理试样, 从而湿处理试样断裂功增加 12.01%。

未处理试样表面存在少量杂质; 经湿处理后纤维表面的杂质增多, 纤维没有出现明显损伤; 经热处理后纤维表面鳞片的纹路出现破碎, 纤维表面粗糙程度明显增加, 热处理后狗绒纤维分子链老化较为明显。

表 1 湿/热处理前后狗绒纤维力学性能测试结果

Tab.1 Mechanical properties of chiengora fiber before and after wet / heat treatment

处理方式	初始模量		断裂强度		断裂功	
	平均值/(cN·tex ⁻¹)	CV 值/%	平均值/(cN·tex ⁻¹)	CV 值/%	平均值/(cN·cm)	CV 值/%
未处理	203.79	18.91	18.55	2.16	6.08	25.44
湿处理	165.45	15.80	17.90	8.43	6.91	26.56
热处理	107.67	27.56	16.92	5.89	5.44	23.05

2.3 湿/热处理对狗绒纤维结构的影响

湿/热处理对狗绒纤维的应力应变有较为明显的作用,这表明纤维的大分子空间结构因湿/热处理而发生变化。为研究湿/热处理前后狗绒纤维分子空间结构的变化,结合红外光谱、X 射线衍射和热重等方法分析狗绒纤维的分子组成和空间结构。

图 3 示出湿/热处理前后狗绒纤维红外光谱图。可以看出,狗绒纤维具有明显的蛋白质纤维特征吸收峰,并且湿/热处理前后其主要特征谱带基本相同。波数 3 292.1 cm⁻¹ 左右的单峰为仲酰胺 N—H 键的伸缩振动峰^[12],经热处理后,该峰变宽,原因是水分子含量减少引起分子链空隙减小,使氢键增强所致,经湿处理的狗绒纤维则相反。在 1 645.1、1 537.6 cm⁻¹ 处分别为 C=O 伸缩振动峰(酰胺 I 带)、N—H 弯曲振动峰(酰胺 II 带),这些亲水基团使狗绒纤维具有良好的吸湿性能。在 1 238.3 cm⁻¹ 处为 C—H 伸缩振动峰(酰胺 III 带)^[13]。在 1 451.3 cm⁻¹ 处是—CH₃ 反对称弯曲振动峰,在 2 918.1 和 2 850.7 cm⁻¹ 处为—CH₂—伸缩振动峰。1 072.5 cm⁻¹ 处为 S—O 对称伸缩振动峰,对应胱氨酸氧化物的特征吸收峰^[14]。由以上分析可知,湿/热处理对狗绒纤维的分子组成及分子结构无明显影响。

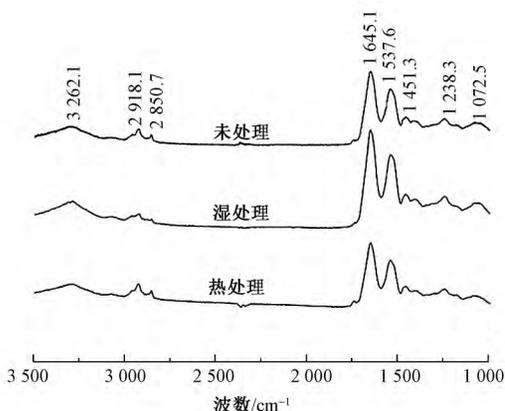


图 3 湿/热处理前后狗绒纤维红外光谱图

Fig.3 Infrared spectra of dog hair before and after wet/heat treatment

图 4 示出湿/热处理前后狗绒纤维 XRD 图谱。可以看出,湿/热处理前后狗绒纤维都在 2θ 为 9°和

20°处出现主要衍射峰,这 2 个衍射峰分别对应于蛋白质纤维内部的 α 螺旋和 β 折叠结构^[15]。狗绒纤维经热处理后,在 2θ 为 9°处衍射峰峰值稍有下降,而经湿处理后,在 9°处的衍射峰基本没有发生改变。湿处理和热处理后 20°处的衍射峰均显著增强,表明 β 折叠结构含量增多。

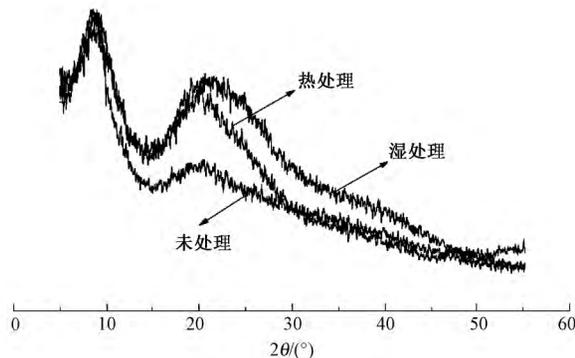


图 4 湿/热处理前后狗绒纤维 XRD 图谱

Fig.4 XRD patterns of dog hair and after wet/heat treatment

由 XRD 谱图得到 I₉ 和 I₁₄,按照公式计算出经湿/热处理前后狗绒纤维的结晶指数,结果如表 2 所示。可知,未处理狗绒纤维的结晶指数为 56.87%,湿处理和热处理后狗绒纤维结晶指数分别降为 46.21%和 45.92%,说明狗绒纤维经湿/热处理后大分子取向以及排列规整性降低。原因是湿处理狗绒纤维无定形区水分含量增多,从而使得纤维结晶度下降;而热处理使纤维中部分 α 螺旋转变为伸展状态的 β 折叠结构和无规卷曲结构,这在一定程度上造成纤维结晶程度降低^[16-17]。

表 2 湿/热处理前后狗绒纤维 X 射线衍射指标

Tab.2 X ray diffraction indexes of dog hair before and after wet/heat treatment

处理方式	I ₉ /(°)	I ₁₄ /(°)	C/%
未处理	422	182	56.87
湿处理	422	227	46.21
热处理	392	212	45.92

图 5 示出湿/热处理前后狗绒纤维的 TG 曲线。可以看出,在 0~900℃ 加热过程中,狗绒纤维有 3 个质量损失阶段,在 130℃ 以下为第 1 次质量损失阶段,未处理狗绒纤维有 7.97% 的质量损失

率, 对应于纤维内部水分的蒸发, 这说明狗绒纤维具有良好的吸湿性, 热处理与未处理狗绒纤维的质量损失率基本一致, 而湿处理狗绒纤维的质量损失率为 14.52%, 是未处理狗绒纤维的 1.82 倍。在温度 220~450 °C 范围内为第 2 次质量损失阶段, 狗绒纤维开始发生分解, 质量损失速率明显加快, 在这个过程中, 热处理试样的质量损失速率稍高于湿处理试样, 并均在 350 °C 左右质量损失速率达到最大值。在温度 450~900 °C 范围内为第 3 次质量损失阶段, 狗绒纤维发生炭化, 质量损失速率逐渐减缓, 湿/热处理后狗绒纤维的质量损失率为 8.00%~9.00%。在 900 °C 时, 未处理、湿处理、热处理狗绒纤维的质量分数分别为 26.03%、24.25%、24.45%, 这说明经湿/热处理后狗绒纤维热稳定性略有下降, 同时验证了 XRD 分析结果中湿/热处理使得狗绒纤维结晶程度降低的结论。

2.4 湿/热处理对狗绒纤维保暖性能的影响

表 3 示出狗绒纤维层保暖率和导热系数测试结果。可知: 未处理狗绒纤维层的保暖率为 83.75%, 导热系数为 0.047 6 W/(m·°C); 湿处理狗绒纤维层的保暖率下降为 55.79%, 导热系数提高到 0.099 7 W/(m·°C); 而热处理狗绒纤维层保暖率和导热系数的变化规律则相反, 保暖率提高至 96.88%, 导热系数下降为 0.037 9 W/(m·°C)。可见经湿处理后狗绒纤维的保暖性明显降低, 而热处理

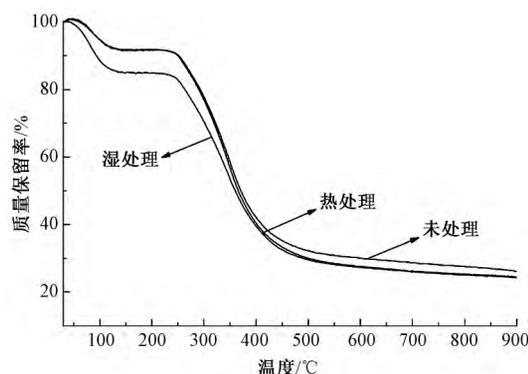


图 5 湿/热处理前后狗绒纤维的 TG 曲线
Fig.5 TG curves of dog hair before and after wet/heat treatment

后保暖性提高。

表 3 湿/热处理前后狗绒纤维层保暖率和导热系数测试结果

Tab.3 Thermal insulation and thermal conductivity of dog hair layers before and after wet/heat treatment

处理方式	保暖率/%	导热系数/(W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)
未处理	83.75	0.047 6
湿处理	55.79	0.099 7
热处理	96.88	0.037 9

图 6 示出湿/热处理前后狗绒纤维截面 SEM 照片。为进一步研究不同处理方式对保暖性能影响的原因, 结合图中狗绒纤维截面进行分析。

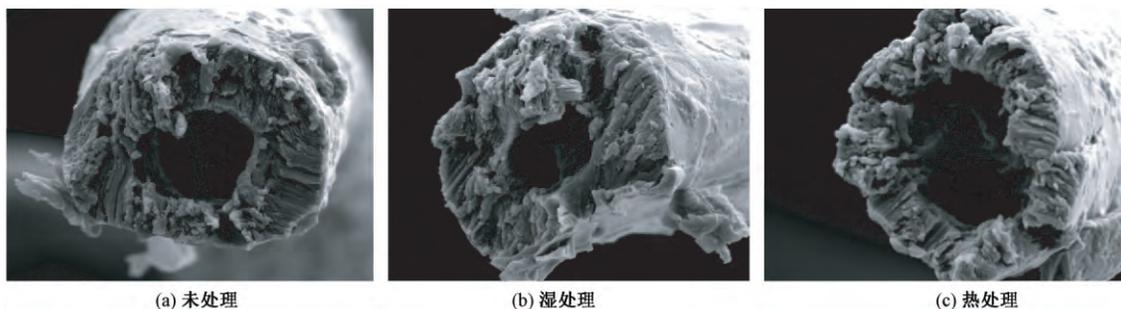


图 6 湿/热处理前后狗绒纤维截面 SEM 照片(×5 000)

Fig.6 Cross section SEM images of dog hair before and after wet / heat treatment(×5 000).

(a) Untreated; (b) Wet treatment; (c) Heat treatment

由图 6 可看出, 狗绒纤维存在发达的空腔层, 其内部的静止空气含量多, 导热系数低, 使狗绒纤维的保暖性好。通过测量并根据中空率计算公式计算, 得到未处理、湿处理和热处理狗绒纤维的中空率分别为 22.16%、14.15%和 37.22%, 相比于未处理狗绒纤维, 湿处理纤维的中空率下降幅度为 36.15%, 热处理纤维的中空率增加幅度达 67.96%, 静止干空气导热系数为 0.026 W/(m·°C), 纤维中空率提高有利于保暖性能的提高。此外, 狗绒纤维经热处

理后卷曲率增加, 使铺成的纤维层蓬松性增加, 有利于持有更多的静止空气, 同样有利于改善保暖性, 而湿处理则相反。由狗绒纤维的 TG 分析结果可知, 湿处理使狗绒纤维中水含量明显高于未处理和热处理狗绒纤维, 而水导热系数为 0.697 W/(m·°C), 水含量增多必然导致保暖性降低。综合上述分析, 狗绒纤维经热处理后卷曲率提高, 中空率增大, 含水率降低, 在这些因素共同作用下, 狗绒纤维层保暖性提高, 而经湿处理后保暖性有所下降。

3 结 论

1) 狗绒纤维经湿处理后卷曲率下降,断裂伸长率增加;而随热处理温度升高及热处理时间延长,卷曲率呈现上升趋势,断裂伸长率逐渐减小。

2) 经湿处理后狗绒纤维表面的杂质增多,纤维没有出现明显损伤;热处理对狗绒纤维造成的损伤明显高于湿处理,纤维表面鳞片的纹路出现破碎,纤维表面粗糙程度明显增加,且高温处理后狗绒纤维力学性能明显变差。

3) 狗绒纤维具有蛋白质纤维红外特征,湿/热处理对其分子结构无明显影响,但对其二级结构造成影响, β 折叠结构增多,结晶指数由未处理时 56.87%,经湿、热处理后分别降低为 46.21%、45.92%,同时热稳定性均稍有降低。

4) 热处理使狗绒纤维层的保暖性提高,而湿处理则相反。未处理、湿处理、热处理狗绒纤维层的保暖率分别为 83.75%、55.79% 和 96.88%,对应纤维的中空率分别为 22.16%、14.15% 和 37.22%。

FZXB

参考文献:

- [1] 王维,李伟,赵伟,等.拉细羊毛纤维的特征和产品加工性能[J].毛纺科技,2003,31(5):17-21.
WANG Wei, LI Wei, ZHAO Wei, et al. Characteristics and product processing performance of finer wool fiber[J]. Wool Textile Journal, 2003, 31(5): 17-21.
- [2] 白锦.拉细羊毛与天然超细支羊毛织物的产品特性分析与比较[J].毛纺科技,2006,34(11):49-51.
BAI Jin. Product characteristics analysis and comparison of fine wool and natural superfine branded wool fabric[J]. Wool Textile Journal, 2006, 34(11): 49-51.
- [3] 孙梅,沈淦清,王柏华,等.山羊绒形态结构的统计[J].纺织学报,2003,24(1):48-50.
SUN Mei, SHEN Ganqing, WANG Baihua, et al. Statistics of cashmere structure[J]. Journal of Textile Research, 2003, 24(1): 48-50.
- [4] 陈前维,张一心,张引,等.拉细羊毛的结构形态与性能[J].毛纺科技,2009,37(5):45-49.
CHEN Qianwei, ZHANG Yixin, ZHANG Yin, et al. Structure and properties of fine wool[J]. Wool Textile Journal, 2009, 37(5): 45-49.
- [5] 李亚蓉.新兴养殖项目:肉狗养殖[J].科学种养,2012(9):52-52.
LI Yarong. The new breeding project: meat dog aquaculture[J]. Scientific Breeding, 2012(9): 52-52.
- [6] 滑钧凯,单琪.宝丝绒的开发与应用研究[J].纺织学报,2003,24(1):50-52.
HUA Junkai, SHAN Qi. Research on the development and application of treasure velvet[J]. Journal of Textile Research, 2003, 24(1): 50-52.
- [7] 林绍建,兰建武,吴思碟,等.高温及高温水处理对狗毛性能的影响[J].毛纺科技,2011,39(2):46-48.
LIN Shaojian, LAN Jianwu, WU Sidie, et al. Effect of high temperature and high temperature water treat on properties of dog hair[J]. Wool Textile Journal, 2011, 39(2): 46-48.
- [8] 韦玉辉,宁琳,吴锦川,等.转筒运动方式对羊毛织物起毛起球性能的影响[J].毛纺科技,2017,45(7):26-30.
WEI Yuhui, NING Lin, WU Jinchuan, et al. Effect of rotating-drying model on the pilling of wool fabric drying[J]. Wool Textile Journal, 2017, 45(7): 26-30.
- [9] SEGAL L, GREELY J J, MARTIN A E, et al. An empirical method for estimating the degree of native crystallinity of native cellulose using the X-Ray diffractometer[J]. Textile Research Journal, 1959, 29(10): 786-794.
- [10] 余志金,龙家杰,毕潇平,等.超临界CO₂流体温度对羊毛纤维结构的影响[J].毛纺科技,2012,40(2):7-11.
YU Zhijin, LONG Jiajie, BI Xiaoping, et al. Effect of temperature on the structure of wool fiber in supercritical CO₂[J]. Wool Textile Journal, 2012, 40(2): 7-11.
- [11] 刘慧娟,王琳,申鼎.蚕蛹蛋白纤维性能研究[J].印染助剂,2012,29(9):12-14.
LIU Huijuan, WANG Lin, SHEN Ding. Study on the properties of pupa protein fiber[J]. Textile Auxiliaries, 2012, 29(9): 12-14.
- [12] 贾丽霞,金崇业,刘瑞,等.硅磷杂化阻燃整理对羊毛结构与热稳定性能的影响[J].纺织学报,2017,38(12):101-105.
JIA Lixia, JIN Chongye, LIU Rui, et al. Influence of flame retardant finishing with silicon-phosphorus hybridization on structure and thermal stability of wool[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(12): 101-105.
- [13] 陈宗良,李闻欣,周伟.超声波技术在羊毛水解中的应用[J].毛纺科技,2008,36(10):1-5.
CHEN Zongliang, LI Wenxin, ZHOU Wei. The application of ultrasonic technology in the hydrolysis of wool[J]. Wool Textile Journal, 2008, 36(10): 1-5.
- [14] 王小丽,刘洪玲,于伟东.狗毛和兔毛二级结构及其表面性能研究[J].上海纺织科技,2015,43(11):54-58.
WANG Xiaoli, LIU Hongling, YU Weidong. The secondary structure and surface properties of dog hairs and rabbit hairs[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2015, 43(11): 54-58.

- [15] 陈改君,朱若英,谢丰,等. 湿蒸对羊毛微观结构的影响[J]. 毛纺科技,2016,44(4): 30-34.
CHEN Gaijun, ZHU Ruoying, XIE Feng, et al. Wet steaming effect on microstructure of wool [J]. Wool Textile Journal, 2016, 44(4): 30-34.
- [16] 张恒,李戎,王魁,等. 还原法与离子液体溶解法制备羊毛角蛋白膜[J]. 纺织学报,2015,36(6): 55-59.
ZHANG Heng, LI Rong, WANG Kui, et al. Preparation of wool keratin membranes prepared by ionic liquid method and reduction C method [J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(6): 55-59.
- [17] 杨陈. 紫外线辐照对羊毛纤维性能的影响[J]. 毛纺科技,2015,43(12): 1-5.
YANG Chen. Influence of performance of wool fiber treated by ultraviolet radiation [J]. Wool Textile Journal, 2015, 43(12): 1-5.