

DOI: 10. 13475/j. fzx. 20180201306

仔鸭鸭绒的结构与性能

刘新华^{1,2}, 储兆洋¹, 李永¹, 郑宏亮¹

(1. 安徽工程大学 纺织服装学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 安徽省纺织行业科技公共服务平台, 安徽 芜湖 241000)

摘要 为实现仔鸭鸭绒的高值化利用,以老鸭鸭绒为对照物,借助红外光谱仪、元素分析仪、X 射线衍射仪、扫描电子显微镜、热重分析仪、平板式保暖仪对比研究了肉用仔鸭鸭绒的化学结构、微观形貌、热稳定性和保暖性能。结果表明:仔鸭和老鸭鸭绒主要由 C、N、O、S 4 种元素组成;老鸭鸭绒中含有明显的巯基特征峰,其结晶度高于仔鸭鸭绒;仔鸭鸭绒绒枝的数量、直径和长度小于老鸭鸭绒;且其绒小枝的直径、长度、三角形节点大小数量以及节点之间的间距、叉状节点的大小数量以及节点之间的间距均小于老鸭鸭绒;仔鸭鸭绒的热稳定性、保暖性较老鸭鸭绒差。

关键词 老鸭鸭绒; 仔鸭鸭绒; 鸭绒结构; 保暖性

中图分类号: TQ 341.5 文献标志码: A

Structure and properties of ducklings down

LIU Xinhua^{1,2}, CHU Zhaoyang¹, LI Yong¹, ZHENG Hongliang¹

(1. College of Textile and Clothing, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China;

2. Anhui Province Technology Public Service Platform for Textile Industry, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract In order to achieve high value utilization of ducklings down, compared with duck down, the chemical structure, microscopic morphology, thermal stability and warmth retention of ducklings down were studied by infrared spectroscopy, elemental analysis, X-ray diffraction, scanning electron microscopy, thermogravimetric analysis and flat panel heating apparatus. The results show that the duck down and ducklings down are mainly composed of C, N, O and S. The duck down contains a distinct characteristic peak of mercapto, and the crystallinity is higher than that of ducklings down. The number, the diameter and the length of the duck down branch are smaller than that of the ducklings down. The diameter, the length, the number of triangular node size, the distance between the nodes, the size and number of the nodes, and the distance between the nodes are also larger than that of ducklings down. The thermal stability and warmth of duck down are better than those of ducklings down.

Keywords duck down; ducklings down; duck down structure; warmth retention

随着鸭苗品种、饲料与饲养技术的进步,肉用仔鸭的生长周期缩短至 28 天。由于肉用仔鸭的肉质优于传统生长周期为 1 年以上的老鸭品种,因而受到消费者的欢迎,在国内外市场所占份额越来越大^[1]。近年来,肉用仔鸭品种已呈现逐渐淘汰其他传统品种的趋势,占据国内 80% 以上的市场份额。

由于生长周期短,肉用仔鸭羽毛绒的品质与传统生长的老鸭羽毛绒相比,有较大差异。采用传统

羽毛绒加工技术生产的仔鸭羽绒产品,其粉尘含量高,蓬松度与保暖性、清洁度等指标有明显下降,产品品质显著降低,附加值降低,“三农”效益受到较大损失,已不能满足羽毛绒加工业生存和发展的需要。肉用仔鸭羽毛绒加工技术的创新成为制约羽毛绒产业发展的瓶颈问题。肉用仔鸭与老鸭鸭绒结构性能的对比研究,是实现肉用仔鸭羽毛绒加工技术创新的关键环节之一。

高晶等^[2]利用扫描电子显微镜对鹅绒与鸭绒

收稿日期: 2018-02-05 修回日期: 2018-05-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(21302011); 安徽省重大科技专项(16030701088)

第一作者简介: 刘新华(1964—),男,教授,硕士。主要研究方向为高分子功能材料。E-mail: liuxinhua66@163.com。

纤维的形态结构进行观察,研究其独特的分叉结构和表面结构,比较鹅绒与鸭绒在形态上存在的差别,以及由此产生的性能上的差异。金阳等^[3]研究了羽绒的润湿、稳定性等理化性能,结果表明,常温下羽绒难以被水润湿,其可燃性低于纤维素纤维,耐酸性性能大于耐碱性,日光和微生物对羽绒稳定性有较大影响。本文通过采用元素分析仪、红外光谱仪、扫描电子显微镜、热重分析仪、平板式保暖仪等,对老鸭和仔鸭鸭绒的元素含量、化学结构、微观形貌、热稳定性、保暖性等进行系统分析,阐明老鸭与仔鸭鸭绒之间的不同点,以期为后续仔鸭鸭绒的高值化利用提供依据。

1 实验部分

1.1 原料

老鸭鸭绒和仔鸭鸭绒,来源于安徽东隆羽绒股份有限公司。

1.2 元素含量及表面形貌测试

将干燥至质量恒定的老鸭和仔鸭鸭绒喷金处理后,采用日本日立公司 S-4800 型扫描电子显微镜-能谱联用仪对样品元素含量及表面形貌进行测定。并将老鸭和仔鸭鸭绒置于实验台上,采用日本尼康公司 D7500 型数码相机采集其宏观形态照片。

1.3 化学结构测试

采用日本岛津公司 IR Prestige-21 型傅里叶变换红外光谱仪对老鸭和仔鸭鸭绒的结构进行表征。测试条件:将样品剪碎在研钵中研磨均匀,并与 KBr 混合,经压片机压成透明薄片,测试范围为 4 000 ~ 500 cm⁻¹。

1.4 结晶度测试

将干燥至质量恒定的老鸭和仔鸭鸭绒剪碎研磨均匀,采用德国布鲁克公司 D8 系列 X 射线衍射仪进行测试。采用 CuK α 辐射,管电压为 40 kV,管电流为 300 mA, 2θ 值范围为 5° ~ 60°。结晶度的计算公式为

$$X_C = \frac{S_C}{S_A + S_C} \times 100\%$$

式中: X_C 为结晶度,%; S_C 为结晶峰面积; S_A 为非结晶峰面积。

1.5 热稳定性测试

将老鸭和仔鸭鸭绒剪碎研磨均匀,各取 2 mg 样品在 N₂ 保护下,利用日本岛津公司 DTG-60H 型微机差热天平进行热重测试。测试条件为:升温速率 10 °C/min,气体流量 20 mL/min。

1.6 保暖性测试

将老鸭和仔鸭鸭绒各 10 g 装入 30 cm × 30 cm 的轻薄非织造试样袋中,装样后轻轻拍打袋子使鸭绒分布均匀,避免鸭绒在袋中聚集^[4]。采用温州方圆仪器有限公司 YG606D 型平板式保暖仪对鸭绒的保温率、保暖系数、克罗值进行测试。测试条件为:仪器预热至 (36 ± 0.5) °C,加热周期设为 7 次。非织造试样袋较轻薄,其导热可忽略不计。

2 结果与讨论

2.1 元素含量分析

老鸭和仔鸭鸭绒的元素组成与含量如表 1 所示。可知:老鸭和仔鸭鸭绒主要由 C、N、O、S 4 种元素组成;仔鸭鸭绒中 S 元素含量低,说明其二硫键少,可导致仔鸭鸭绒纤维强度低,粉尘含量高,影响其加工、服用性能。为实现仔鸭鸭绒高值化利用,必须对其表面结构进行调控。

表 1 老鸭和仔鸭鸭绒中主要元素含量

Tab. 1 Main element content in duck and duckings down

鸭绒品种	C	N	O	S
老鸭	41.80	25.86	30.24	2.10
仔鸭	38.47	32.51	27.67	1.35

2.2 化学结构分析

图 1 示出老鸭和仔鸭鸭绒的红外光谱图。

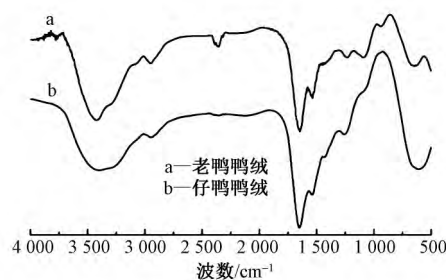


图 1 老鸭和仔鸭鸭绒的红外光谱图

Fig. 1 Infrared spectra of duck and duckings down

由图 1 可知,二者红外光谱峰峰型相似,在 3 440 cm⁻¹ 处的特征峰归属 O—H 伸缩振动,2 934 cm⁻¹ 处为 C—H 伸缩振动峰,1 644 cm⁻¹ 处为酰胺 I 带 (C=O 伸缩振动峰),1 544 cm⁻¹ 处为酰胺 II 带 (N—H 伸缩振动峰),1 240 cm⁻¹ 处为酰胺 III 带 (C—N 伸缩振动峰),652 cm⁻¹ 处为 C—S 键的伸缩振动峰;老鸭和仔鸭鸭绒红外图谱中最明显的区别在于,老鸭鸭绒在 2 356 cm⁻¹ 处有 1 个明显特征峰,为巯基峰;而仔鸭鸭绒没有此明显特征峰,这

可能是由于仔鸭生长周期短,其鸭绒生长发育不完善而导致的。

2.3 结晶度分析

利用 X 射线衍射分析比较老鸭和仔鸭鸭绒的结晶情况,如图 2 所示。可以看出,老鸭和仔鸭鸭绒在 9.8° (晶面间距为 0.98 nm) 和 19.8° (晶面间距为 0.47 nm) 处各有 1 个衍射峰,此双衍射峰是由鸭绒角蛋白中的 α -螺旋结构和 β -折叠结构产生的^[5-6]。结晶结构含量可通过衍射峰的强度来表征,从图中可知,老鸭鸭绒在 9.8° 附近处的衍射峰强度明显高于仔鸭鸭绒,说明老鸭鸭绒中 α -螺旋结构含量较高。根据结晶度计算公式得到老鸭鸭绒结晶度为 60.8%,仔鸭鸭绒结晶度为 54.6%。由此可得出,老鸭鸭绒的结晶度大于仔鸭鸭绒。结晶度越大,纤维分子排列越规整,吸湿性低,使得老鸭鸭绒蓬松性好,具有较好的服用性能。

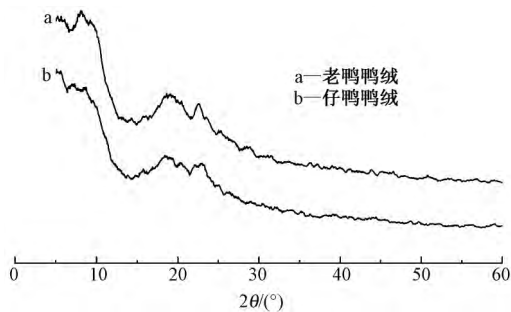


图 2 老鸭和仔鸭鸭绒的 XRD 图谱

Fig. 2 XRD spectra of duck and ducklings down

2.4 表面形貌分析

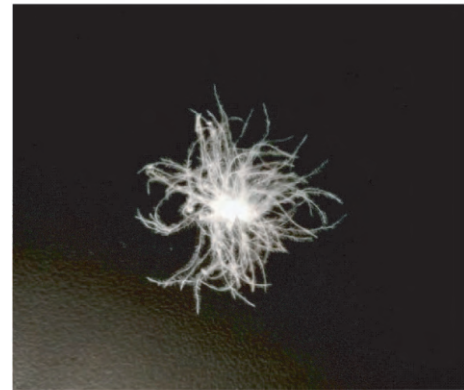
图 3 示出老鸭和仔鸭鸭绒的表面宏观形态照片。可知,老鸭和仔鸭鸭绒纤维都以朵绒的形式存在且不含羽轴,朵绒形态大体一致,均呈半球形。朵绒的主要组成部分是绒枝,从图中观察可知,老鸭鸭绒的绒枝数量和长度均大于仔鸭鸭绒。一般情况下,单个老鸭朵绒中绒枝的数量为 65~100 根,单个仔鸭朵绒中绒枝的数量为 15~40 根;老鸭鸭绒绒枝长度为 10.2~30.3 mm,直径为 8.71~38.40 μm ;仔鸭鸭绒绒枝的长度为 8.2~22.1 mm,直径为 7.53~25.10 μm 。

图 4 示出老鸭和仔鸭鸭绒绒枝的微观形貌照片。老鸭和仔鸭鸭绒绒枝表面凹凸不平,存在深浅不一的突起和内陷结构,老鸭鸭绒绒枝表面径向沟槽与仔鸭相比十分明显,并且沟槽深度大于仔鸭鸭绒,二者沟纹均呈无规律分布。

老鸭和仔鸭鸭绒中每根绒枝上都生长着大量绒小枝,绒小枝在绒枝上呈有规律的平行交叉排列,如图 5 所示。绒小枝从绒枝表面长出后,其截面形状



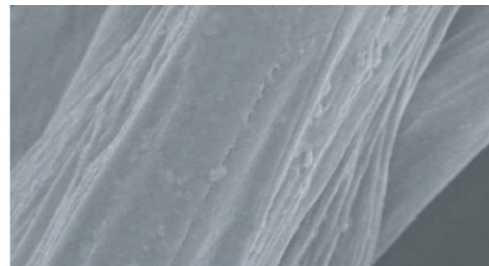
(a) 老鸭鸭绒



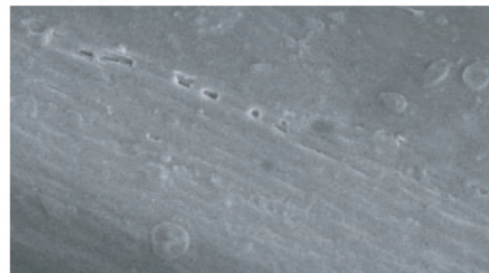
(b) 仔鸭鸭绒

图 3 老鸭和仔鸭鸭绒的宏观形态照片(×1000)

Fig. 3 Macro-morphology of duck(a) and ducklings(b) down(×1000)



(a) 老鸭鸭绒



(b) 仔鸭鸭绒

图 4 老鸭和仔鸭鸭绒绒枝的扫描电镜照片(×6000)

Fig. 4 SEM images of down branch of duck(a) and duckling(b) down(×6000)

和直径随着绒小枝上位置的不同而不同,从绒小枝根处到其末梢,截面形状由扁平状过渡到圆柱

状^[7] ,直径从大变小。老鸭和仔鸭鸭绒小枝的形态大体相似,一般老鸭绒小枝的长度为 328 ~ 1 830 μm ,直径为 2. 67 ~ 13. 8 μm ; 仔鸭绒小枝的长度为 208 ~ 1 343 μm ,直径为 2. 44 ~ 9. 15 μm 。

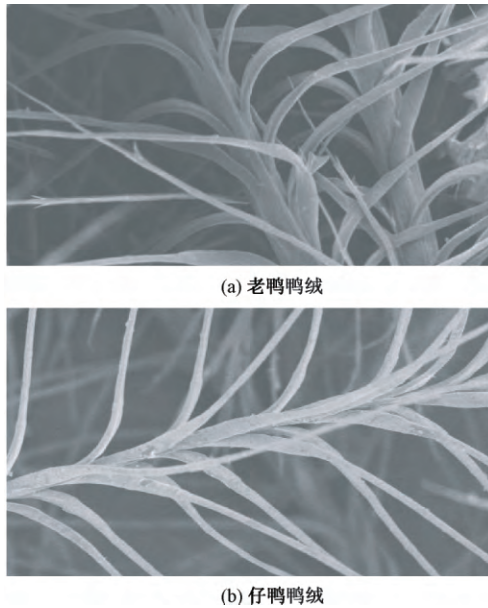


图 5 老鸭和仔鸭鸭绒小枝的扫描电镜照片($\times 400$)

Fig. 5 SEM images of down fibrils of duck(a) and ducklings(b) down($\times 400$)

图 6 示出老鸭和仔鸭鸭绒小枝的表面微观形貌照片。老鸭绒小枝的表面较为光滑,沟槽径向较为明显,沟纹呈有规律的平行排列。仔鸭绒小枝表面较为粗糙,凹凸不平,没有明显的径向沟槽,也无明显沟纹。

在鸭绒小枝的表面存在间隔一定距离的骨节,骨节的形状随鸭绒的生长状况以及在绒小枝上位置的不同而有较大变化^[8],一般靠近绒小枝根部的节点大都为三角形节点,靠近绒小枝梢部的节点大都为叉状节点,其扫描电镜照片如图 7、8 所示。

随着鸭绒成熟状况不同,老鸭和仔鸭绒小枝中三角形节点和叉状节点的大小、数量、节点之间的间距也不同。一般老鸭叉状节点的直径为 3. 23 ~ 7. 37 μm ,数量为 0 ~ 9 个,间距为 28. 8 ~ 50. 4 μm ; 仔鸭叉状节点的直径为 2. 39 ~ 4. 24 μm ,数量为 0 ~ 6 个,间距为 14. 3 ~ 46. 0 μm ; 老鸭三角形节点的直径为 17. 6 ~ 29. 4 μm ,数量为 0 ~ 6 个,间距为 26. 8 ~ 67. 4 μm ; 仔鸭三角形节点的直径为 8. 37 ~ 21. 1 μm ,数量为 0 ~ 4 个,间距为 11. 1 ~ 50. 3 μm 。

鸭绒纤维的形态结构影响其服用性能。鸭绒表面的绒枝和绒小枝分布密集,不仅起到支撑朵绒的作用,还大大增加了其比表面积,从而使鸭绒纤维中

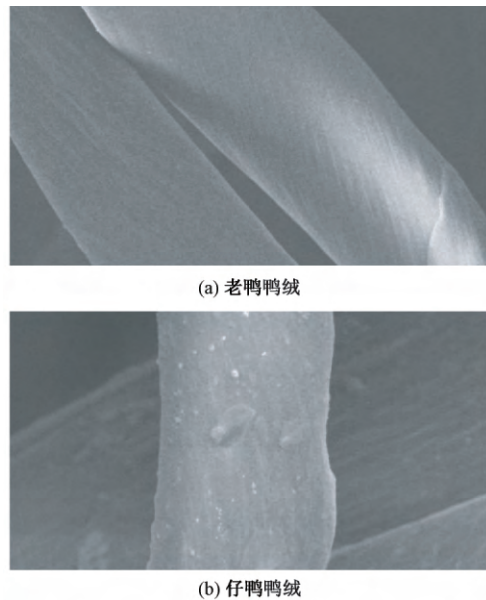


图 6 老鸭和仔鸭鸭绒小枝的扫描电镜照片($\times 4 000$)

Fig. 6 SEM images of down fibrils of duck(a) and ducklings down(b) ($\times 4 000$)

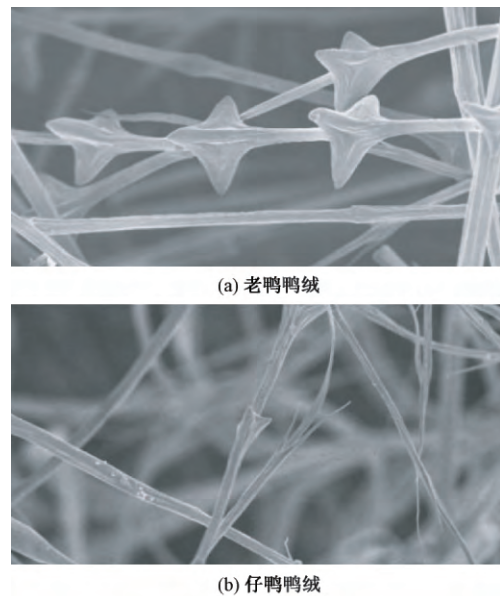


图 7 老鸭和仔鸭鸭绒三角形节点的扫描电镜照片($\times 1 200$)

Fig. 7 SEM images of triangle node of duck(a) and ducklings(b) down($\times 1 200$)

夹持的空气更多,保暖性增加;鸭绒表面的节点可对鸭绒纤维的回弹压缩起到支撑作用,使纤维更加柔软,服用性能更好。

2.5 热稳定性分析

利用热重分析得到的初始热分解温度、质量损失速率及对应的质量损失率分析比较老鸭鸭绒与仔鸭鸭绒的热稳定性,结果如图 9 所示。可知:老鸭鸭绒的初始热分解温度为 221 $^{\circ}\text{C}$, 620°C 时分解完全;

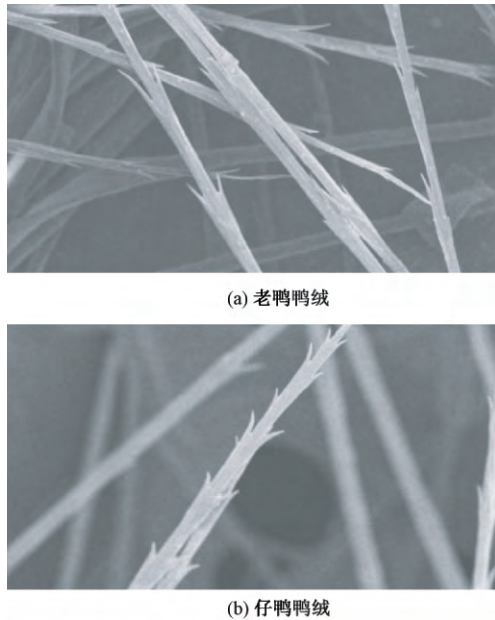


图 8 老鸭和仔鸭鸭绒叉状节点的扫描电镜照片(×800)

Fig. 8 SEM images of crotch node of duck(a) and ducklings(b) down(×800)

221 °C 之前质量损失 9% ,是由鸭绒中的水分挥发引起的, 221 °C 以后的质量损失是由于一些不稳定的官能团及化学键断裂^[9-10] ,相对分子质量低的物质的降解,以及鸭绒角蛋白受热分解成挥发性化合物 H₂O、CO₂、H₂S 等小分子物质引起的^[11]。仔鸭鸭绒初始热分解温度为 220 °C ,590 °C 时分解完毕。比较二者曲线发现: 其初始热分解温度相当; 在 220 ~ 510 °C 范围内,老鸭鸭绒质量损失 67% ,仔鸭鸭绒质量损失 67.3% ,且仔鸭鸭绒的质量损失速率高于老鸭鸭绒。综上所述,老鸭鸭绒的热稳定性高于仔鸭鸭绒。

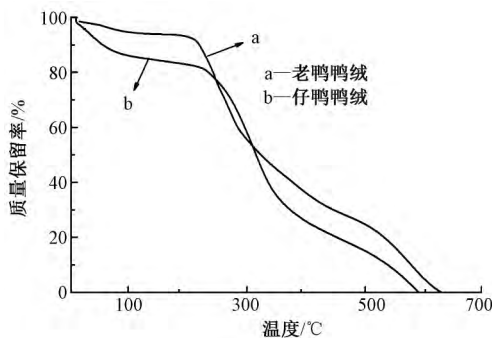


图 9 老鸭和仔鸭鸭绒的 TG 分析

Fig. 9 TG curves of duck and ducklings down

2.6 保暖性分析

鸭绒纤维的保暖性可通过保温率、克罗值和传热系数的测量得出,其中,克罗值越大,传热系数越小,保暖性越好^[12],实验测得的相关数据见表 2。

可知,老鸭鸭绒的保暖性优于仔鸭鸭绒,因此,仔鸭鸭绒一般可用于中低档羽绒制品中。

表 2 老鸭和仔鸭鸭绒的保暖性
Tab. 2 Warmth of duck and duckings down

鸭绒品种	保温率/ %	克罗值 CLO	传热系数/ (W·(m ² ·°C) ⁻¹)
老鸭	84.7	2.30	2.80
仔鸭	75.1	1.25	5.15

3 结 论

1) 仔鸭鸭绒中 S 元素含量低,说明其二硫键含量少,使得仔鸭鸭绒纤维强度低,粉尘含量高,影响其加工、服用性能。

2) 老鸭鸭绒的结晶度大于仔鸭鸭绒,因此,老鸭鸭绒吸湿性低,蓬松性好。

3) 老鸭鸭绒分叉结构与仔鸭鸭绒有明显的区别。老鸭鸭绒绒枝的数量、直径和长度均大于仔鸭鸭绒,其绒小枝的直径和长度均大于仔鸭鸭绒,老鸭鸭绒绒小枝中三角形节点和叉状节点的大小、数量、节点之间的间距均大于仔鸭鸭绒。这导致仔鸭鸭绒纤维中夹持的空气少于老鸭鸭绒,仔鸭鸭绒的保暖性差于老鸭鸭绒,因此,仔鸭鸭绒一般可用于中低档羽绒产品中。

FZXB

参考文献:

[1] 吴艳. 商品肉鸭养殖关键技术 [J]. 湖北畜牧兽医, 2011 (4): 4 - 7.
WU Yan. Commercial duck breeding key technologies [J]. Hubei Journal of Animal and Veterinary Sciences 2011(4): 4 - 7.

[2] 高晶, 于伟东, 潘宁. 羽绒纤维的形态结构表征 [J]. 纺织学报, 2007, 28(1): 1 - 4.
GAO Jing, YU Weidong, PAN Ning. Characterization of down morphological structure [J]. Journal of Textile Research, 2007, 28(1): 1 - 4.

[3] 金阳, 李薇雅. 羽绒纤维结构与性能的研究 [J]. 毛纺科技, 2000, 28(2): 16 - 20.
JIN Yang, LI Weiyu. Study on structure and feature of down fiber [J]. Wool Textile Journal, 2000, 28(2): 16 - 20.

[4] 付贤文, 高晶. 鹅、鸭绒纤维形态结构差异及对保暖性能的影响 [J]. 纺织学报, 2011, 32(12): 10 - 14.
FU Xianwen, GAO Jing. Difference of morphological structures between goose down fiber and duck down fiber and their effect on thermal retaining property [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(12): 10 - 14.

[5] RAD Z P, TAVANAI H, MORADI A R. Production of feather keratin nanopowder through electrospraying [J].

- Journal of Aerosol Science ,2012 ,51(51) : 49 – 56.
- [6] 李长龙,刘琼,王宗乾,等. 羽绒水解工艺优化及其产物成膜性能[J]. 纺织学报,2014 ,35(7) : 23 – 29.
- LI Changlong , LIU Qiong , WANG Zongqian , et al. Hydrolysis process optimization of feather & down powder and its hydrolysate film forming property [J]. Journal of Textile Research 2014 ,35(7) : 23 – 29.
- [7] GAO J , PAN N , YU W. A fractal approach to goose down structure [J]. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation , 2006 , 7 (1) : 113 – 116.
- [8] 高晶. 羽绒纤维及其集合体结构和性能的研究[D]. 上海: 东华大学,2006: 34 – 37.
- GAO Jing. Study on the structures and properties of down and down assemblies [D]. Shanghai: Donghua Univeisity 2006: 34 – 37.
- [9] MA B , QIAO X , HOU X , et al. Pure keratin membrane and fibers from chicken feather [J]. International Journal of Biological Macromolecules , 2016 ,89: 614 – 621.
- [10] ZHANG Y , YANG R , ZHAO W. Improving digestibility of feather meal by steam flash explosion[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry , 2014 ,62(13) : 2745 – 2751.
- [11] LI H , QI L , LI J. Preparation and warmth retention of down fiber grafted with zirconium oxychloride [J]. Journal of Engineered Fabrics & Fibers ,2017 ,12(2) : 1 – 11.
- [12] 陈琳聿,齐鲁. 吸附金属锆离子提高羽绒纤维保暖性研究[J]. 毛纺科技 2016 44(6) : 50 – 53.
- CHEN Linyu , QI Lu. Improving the heat preservation performance of down fiber through absorbing modification [J]. Wool Textile Journal 2016 44(6) : 50 – 53.