

毛发微观结构研究的回顾与展望

张 伟 徐艳春

(东北林业大学野生动物资源学院, 哈尔滨, 150040)

摘要: 人类认识毛发微观结构的历史已经有 160 余年, 显微技术的不断发展使得人们不仅搞清了毛发的基本结构, 而且还将毛发结构特征的差异性与动物的种类、动物所受到的环境因子的影响、纺织行业和美发护发行业的具体应用联系起来。随着生物学领域高新技术的不断发展, 对于毛发微观形态学信息的发掘也将随之加深, 毛发微观结构研究在物种识别、功能与形态的关系以及纺织、美发护发等领域将得到更进一步的发展。

关键词: 毛发; 微观结构; 物种识别; 功能形态学

中图分类号: Q954

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 1050 (2003) 04 - 0339 - 07

A Review and Prospects of the Research on Hair Microstructure

ZHANG Wei XU Yanchun

(College of Wildlife Resource, Northeast Forestry University, Harbin, 150040)

Abstract: The history of human learning about the microstructure of hairs has spanned over 160 years. With the development of microscopic techniques, people not only have outlined the basic structure of hairs, but also have connected the diversity and variability of hair microstructural characteristics to the species characteristics, environmental factors effecting the animals, textile and hair care business. The newly developed high technology in biology field will support further recognition of hair structure, and consequently, the conventional species identification, relationship between morphology and function, and textile and hair care business will be accelerated by the discoveries of more detailed information of the hair structure.

Key words: Hair; Microstructure; Species identification; Functional morphology

毛发微观结构主要是指毛的鳞片 (Scale)、皮质 (Cortex layer)、髓质 (Medullary layer) 和内根鞘 (Inner root sheath) 的微观结构。鳞片是毛最外表的覆盖层, 为由一层到多层透明的扁平角化细胞构成, 呈冠状、瓣状、波纹状等多种多样的表面形态, 对保护毛纤维本身和动物机体起着重要作用; 各种动物在毛的鳞片层外部形态上有多种多样的表现, 具有分类鉴别作用。皮质作为毛纤维的第二层结构, 是由与毛纤维纵轴平行的紧密排列的细长的梭形细胞构成, 其发达程度对毛的弹性和韧性起决定作用; 其中的色素颗粒形态有物种差异。髓质位于毛纤维的中心, 是由排列疏松的多角形髓细胞构成; 其排列方式以及所呈现的花纹因动物类别的不同而有多种多样的表现, 具有分类作用; 髓细胞的

疏松排列使髓腔中可容纳静止空气, 有助于毛纤维的保温功能; 而髓质的发达程度也影响着毛的弹性和韧性。内根鞘的鞘小皮与鳞片相互补, 有使毛在皮肤上固定的作用; 其表面形态可以反映鳞片的先天形态。毛所具有的一定微观结构以及所执行的相应功能使其对哺乳动物的生存繁衍具有积极而广泛的意义, 特别是对哺乳动物的动态适应性发挥着重要作用。毛的微观结构主要取决于动物的先天遗传, 具有物种的特异性; 同时, 因功能和适应的相同或不同, 也会表现出相应的共性和个性。从而使毛的微观结构表现出复杂性。

在毛的微观结构研究及应用所经历的 160 多年中, 特别是自 20 世纪 20 年代以来, 有关毛的各种鳞片形态、髓质花纹类型、色素形态及其分布等的

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目 (01065)

作者简介: 张伟 (1963 -), 男, 硕士, 教授, 主要从事毛发形态学研究。

收稿日期: 2002 - 09 - 27; 修回日期: 2002 - 12 - 09

基础研究和在物种分类鉴别、食性分析、寄生虫宿主鉴定、法医物证检验、毛的纺织性能等方面积累了大量资料,并取得了辉煌成就。但是,关于毛结构的多样性与毛的功能、动物体适应性、动物与环境影响因子相互作用等更广泛的方面却涉及很少。

1 国外的毛发微观结构研究

人类对毛发微观结构的认识可以上溯到 17 世纪,当时有人根据毛易成毡的特性,在将毛握在拇指与食指之间往复搓动时发现,无论主观上如何控制,毛总是向一个方向移动。由此推测,毛表面有类似麦芒的刺样结构。直到 1837 年, Brewster 首次应用光学显微镜观察蝙蝠毛的表面形态时,才发现毛表面的特异性结构。这标志着毛发微观结构研究的开始。

然而,在 20 世纪 20 年代以前,毛发微观结构研究进展迟缓。1920 年,美国的 Hausman^[1]发表了兽类被毛的微观特点,首次指出毛的微观结构存在着种间差异性,有分类意义。他还首次定义了一些毛的髓质类型:髓质缺如 (Medullary absent)、间断型髓质 (Discontinuous medulla)、拟连续型髓质 (Intermediate medulla) 等;也首次定义了一些鳞片类型:卵瓣型 (Ovate)、尖瓣型 (Acuminate)、长瓣型 (Elongate)、圆齿状型 (Crenate)、齿状型 (Dentate)、锯缘型 (Serrate)、扁平型 (Flattened)、简单型 (Simple) 等。1924~1948 年, Hausman^[2~5]又连续报道了不同动物毛的鳞片、皮质和髓质的结构特征,系统比较了毛的微观结构的种间差异性。

到 20 世纪 30~40 年代,已经有 80 多种兽类被毛的微观结构特征被报道。有关毛的微观结构研究的新的方法和手段的文献也先后发表。Hardy (1938、1940)^{*}, Mathiak (1938)^[6], Dearborn (1939)^[7]等先后开创了毛干横切面制样与观察方法、鳞片形态制样与观察方法等。这些被陆续应用到毛的微观结构研究与应用的各个方面,包括考古

学、食性分析、毛发鉴定、法医物证和毛纺行业等。1944 年, Hausman^[8]对以往的方法总结改进后,形成了一套以鳞片印模法 (Cuticular impression) 为主的毛的鳞片形态观察方法。1951 年, Williamson^[9]应用此法鉴定毛发获得成功,并给予了充分肯定。此法一直沿用至今。

20 世纪 50 年代之后,毛的微观结构用于动物的分类鉴别的报道大量涌现。典型的有:1952 年, Mayer^[10]对加利福尼亚州的哺乳动物被毛进行了研究,并发表了加州哺乳动物背部上毛的分类特征;1958 年, Stain^[11]把美国中西部毛皮动物针毛形态结构的研究应用于野外调查,获得了突出成果;1966 年, Day^[12]发表了白鼬 (*Mustela erminea*) 和黄鼬 (*Mustela sibirica*) 胃内容物和粪便中兽毛的分析鉴定方法。1968 年, Haitlinger^[13,14]两次报道了姬鼠属 (*Apodemus*) 动物毛被的季节性变化及其形态学比较。在 20 世纪 50 年代中期以后,毛的微观结构研究开始扩展到纺织行业^{**}、食性分析^[15~17]和法医科学^[18,19]。

20 世纪 70 年代,随着电子显微镜在毛的微观结构研究中的应用,毛的结构图像更加清晰、精确并有立体感,而且具有制样简单、分辨率高等诸多优点,使毛的微观结构研究更进一步。到 80 年代初,已有 100 多种动物毛在扫描电镜下的分类特征被发表^[20~24]。尽管如此,光镜观察技术作为简便、易行的常规方法仍被应用。例如,1974 年, Moore 等^{***}发表的怀俄明州兽类背部上毛鉴定检索表,1978 年, Hilton 等^[25]发表的北美东部丛林狼 (*Canis latrans*)、家犬 (*Canis familiaris*)、赤狐 (*Vulpes vulpes*)、短尾猫 (*Lynx rufus*) 被毛形态结构的鉴别特征等均采用光镜照片。特别是毛的髓质结构观察仍多采用光镜技术^[26]。1977 年,美国联邦调查局实验室的 Hicls^{****}总结了毛发形态学鉴定方法和光镜下人发与兽毛的形态区分特征,至今仍应用于

* Hardy J I. A practical laboratory method for making thin cross sections of fibers. U. S. Department of Agriculture Circular. 1938, No. 378.

Hardy J I, Plitt T M. An improved method for revealing the surface structure of fur fibers. U. S. Department of Interior Fish and Wildlife Service Wildlife circular. 1940, No. 7.

** Wildman A B. The microscopy of animal textile fibres. Wool Industries Research Association, Leeds, England, 1954, 1 - 209.

Appleyard H M. Guide to the identification of animal fibres. Wool Industries Research Association, Leeds, England, 1960, 1 - 188.

*** Moore T D, Spence L E, Dugnolle C E. Identification of the dorsal guard hairs of some mammals of Wyoming. Bulletin No. 14 of Wyoming Game and Fish Department, Wyoming, 1974, 1 - 177.

**** Hicls J W. Microscopy of hairs, a practical guide and manual. Issue 2, Federal Bureau of Investigation, Washington D. C. 1977, 1 - 53.

法医物证检验。

20 世纪 80 年代以来, 随着分子遗传学技术的出现和广泛应用, 人们可以直接在 DNA 水平上研究基因组 DNA 的差异, 使得物种鉴别精确到分子水平。这给毛的微观结构研究在分类方面的应用带来巨大冲击。尽管如此, 80 年代毛的微观结构研究仍取得了很大进展, 特别是针对此时期分子遗传学方法只能以非角化细胞为材料, 尚不能应付只有毛纤维的待检样品。偶蹄目 (Artiodactyla)、食肉目 (Carnivora)、翼手目 (Chiroptera)、啮齿目 (Rodentia) 等 160 多种动物的毛结构在扫描电镜下的形态特征被发表^[27~30]。同时, Kondo^[31] 于 1985 年发表了哺乳动物毛的髓质花纹特征扫描电镜图谱。他经过大量研究, 将各种哺乳动物毛在扫描电镜下的髓质花纹特征总括为 9 种类型。

20 世纪 80 年代, 关于毛的微观结构的扫描电镜鉴定方法进一步完善^[32,33], 毛的微观结构研究方法和成果被大量引入法医物证^[34,35]。从而使毛的微观结构研究更趋向于分类鉴别。特别是法医学家为实现同一性认定的目的, 在以往动物学家所取得的经验的基础上, 更朝适用于法医鉴定的方向发展。法医已将毛发形态结构在各分类阶元所固有的和个体特异的检验指标细化为 6 大类、27 项。以体视学为代表的定量组织学方法在同期也被应用到毛的微观结构研究上, 其精确度、实用性大为提高, 尤其在食性分析、毛纺、护发等领域广泛应用^[36~41]。

20 世纪 90 年代, 分子遗传学在分类学、系统动物学、生态学等研究领域发挥着越来越大的作用。但是, 毛的微观结构检验往往是各种毛发材料检验工作的第一步, 因而仍占据应用中的重要地位。虽然与 80 年代相比这方面的研究报道较少, 但仍有不少文献发表^[42~45]。1991 年, Teerink^[46] 出版的《Hair of West European Mammals》一书, 是有关毛发研究的最为系统的著作。他总结了过去 60 年来全球毛发研究的成果, 特别是从 20 世纪 60 年代到 80 年代显微技术在毛的微观结构研究上的应用成果。并系统地论述了毛发种属鉴定的原则、方法及其需注意的问题等。Teerink 根据其总结的毛长度、外观形态、毛各部分的鳞片形态、髓质形态、毛不同部位的横断面形态和髓质横断面形态等形态和数值指标, 对西欧 73 种哺乳动物进行了分类。以其背部上毛形态结构检索表的形式证实了毛

的形态结构在分类应用中的可行性与可靠性。1995 年, 美国食品与医药管理局在食品检验手册中, 将毛发检验列为食品污染物检验的项目之一。1999 年, Rollins 等^[47] 用光镜和扫描电镜方法成功地进行了藏羚羊绒和山羊绒制品的鉴别。

有关毛的各种鳞片形态形成机制的研究, 也是毛发专家们不断探讨的重要研究内容。自 20 世纪 50 年代之后, 陆续有一些文献发表。20 世纪 70 年代以后, 人们用电镜技术除了清楚地观察到毛的显微结构外, 还用电镜与能谱仪连接直接测定出毛干各部位的化学组成^[48~52]。综合前人的研究, 德国学者 Kassenbeck^[53] 于 1981 年用毛形成过程中的生物力学和印模学说, 对一些鳞片形态的形成机制予以解释。但因其实验观察不足, 有些观点失之偏颇。

综上所述, 国外有关毛的微观结构研究主要集中在反映各种动物毛的结构特征和分类鉴别应用等方面。

2 中国的毛发微观结构研究

国外的研究为中国的毛发微观结构研究已经做了很好的铺垫, 包括研究方向、研究方法等等。中国的毛发形态学研究实际一开始就直接进入了应用阶段, 主要表现在不同研究领域用毛的微观结构解决不同的问题。其中研究的主流仍是物种间的差异性问题。从王泽长^[54] 于 1963 年发表的哺乳类背毛的形态比较的中国第一篇文章以来, 发表了一些经济物种、珍稀濒危物种的毛发形态结构文献, 甚至找出了一些种间的差异特征^[55~62]。法医学领域从毛发微观结构存在着种属差异的事实中得到启示, 希望以毛发的形态结构达到民族的识别^[63,64], 但是, 因为将主要精力集中在分析杂波型鳞片的细微形态上, 而忽略了这些鳞片形态的成因, 所以也没有获得预期的结果。于是, 法医学领域很快对此失去了兴趣, 但是在理化因素对毛发形态结构的影响方面仍然开展了一些研究, 至今毛发损伤、形态结构改变等仍是解决一些案件的方法^[65]。毛纺行业一直关注着毛发的形态结构^[66~69], 因为任何纺织性能的改造、纺织原料的选择都必须基于这些研究成果。

但是这些研究都存在着共同的局限性, 就是还没有全面地认识毛发结构, 如单根毛发的形态多样性、不同类型的毛发和来自不同身体部位的毛发所

表现出的形态多样性等往往被忽视,于是就造成了错误的采样和错误的比较。针对上述问题,1994年,张伟^[70]在《刍议毛的鳞片类型与哺乳动物识别的关系》一文中阐述了采样和观察中的注意事项,特别强调了选材的代表性、完整性和观察的客观全面性等。

自20世纪80年代末开始,东北林业大学等先后发表了一系列的有关野生动物毛的微观结构研究文献。这些文献比较系统地提出了毛发微观结构与遗传和环境的关系,首次将毛发研究引入了功能形态学领域。对紫外线的照射剂量^[71]、化学试剂或洗涤剂^[72]、机械摩擦^[73,74]等环境因子对毛发形态和化学成分的影响作用开展的一系列研究表明,毛发的微观结构与环境因子是相关的,可以揭示一些适应生物学的奥秘。1993年,景松岩等^[72]的《毛皮学》一书,综合论述了毛在哺乳动物研究中的作用,将毛的研究拓展到生态学、生理学、保护生物学等领域。1997年,张伟等^[75]从生态适应性角度研究了狍(*Capreolus capreolus*)的被毛髓质指数在保温和保护功能上的不同表现,发现毛的髓质发达程度因毛的功能不同和动物所处的季节不同而有所变化,使毛的结构保温—耐磨之间的矛盾相关联。1998年,毕艳丽等^[76]报道了多种哺乳动物触须的结构具有鳞片密集排列、皮质发达等同一性表现,而与其他类型的被毛结构显著不同;同年,张伟等^[74,77]又系统研究了各种毛发鳞片形态的先天形成机制和后天磨损机制,用毛发鳞片磨损学说解释了毛发鳞片变异性的现象。1998年,丁敏菊^[78]对人体各种毛发的尖部形态特征及其形成机理进行了系统研究,对毛发的尖部形态进行了分类,分析了洗涤剂、机械摩擦和毛发成分的影响作用。1998年,王趁红等^[79]应用横向鳞片覆盖指数,对毛鳞片排列特征进行了统计分析。2002年,杨晓东等^[80]将毛的各种鳞片形态与毛的保温性、疏水性和柔韧性联系起来,建立了毛的微观结构与功能特性的初步联系。以上这些研究为人们通过毛发来认识动物及其适应性和使毛发形态学成为功能形态学的一部分奠定了基础。

3 毛发微观结构研究展望

毛发是最容易获得、最容易保存的动物体材料,也是研究动物的最理想的材料之一。目前,生物技术的迅猛发展不断涌现出一些新的、高效、精

确的分析技术和手段,一些传统的问题在新的技术应用以后会得到完美的解决。如蛋白质分析技术可以有助于理解毛的物理机械性能与蛋白组成之间的关系,进而与动物的食性、生理等联系起来;先进的显微技术可以最大限度地发现毛发更微细的结构,从而将毛发的化学组成、分子或细胞的空间格局与毛发的物理性能联系起来,这对仿生学领域、动物的生产、毛纺等行业具有重要的指导意义;毛发是由角质细胞构成的,细胞的角化是一个程序死亡的过程。毛细胞在死亡过程中细胞质不断地由角蛋白分子填充起来,最后定型。各个步骤的超微观结构可以帮助理解细胞程序死亡的过程等等。这就决定了毛发研究一定会在宏观形态、物理性能、超微结构、分子组成和组织格局等多个层次上同时展开。

今后,毛发微观结构研究将在以下几个层面上展开:

3.1 毛发微观结构在物种间的差异性

物种识别是人类认识自然界的最基本途径,也是一个永恒的问题。从动物体的形态结构到利用地理学知识来区分物种,直到今天从基因水平上区分物种,是该主题的发展历程。围绕这一主题的讨论和研究始于人类文明的早期,将伴随着人类的认识能力而不断发展。毛发的形态结构是动物体的形态结构的一个范畴,因此,毛发微观结构在物种间的差异性也将成为认识物种的永恒主题。同时,毛的结构检验成本很低,便于大样本的指向性鉴定,如果毛发微观结构反映物种间差异性的信息被不断发掘,则毛发微观结构必将成为唾手可得的物种识别指标。

3.2 毛发的形态结构与动物的适应性及进化的关系

毛发作为动物身体最外层的部分,体现着动物体与环境之间相互作用的关系。如在四肢远端,毛发在结构上如何适应耐磨损和抗打击的功能;在体壳上,毛发在结构上如何适应保温功能,进而形成功能完善的、稳定的毛被的;触毛在结构上是如何适应传导震动的;不同季节和不同的环境因子(包括温度、湿度、光照周期等)影响下,毛发在结构上如何做出适应性反应的;进化趋同或趋异的物种对于相同的环境因子在毛的结构上的适应对策有何异同等等,都是体现着与动物和环境之间关系的问

题, 这些又是结构与功能之间关系的问题, 所以将受到人们的重视。在这一研究进程中, 整体论思想或者普遍联系的观点无疑将成为最具有指导意义的方法论。

3.3 毛发微观结构的研究成果在纺织、美发护发等行业的不断应用

毛纤维是人类开发较早的纺织原料, 但不同的毛纤维有着不同的纺织性能, 也就是不同的理化性质。选择和改造毛纤维的纺织性能必须基于毛纤维的宏观结构和超微结构。只有特定结构的毛纤维才能具有特定的理化性质。美发护发行业追求着头发的自然、健康, 任何对于头发造成损伤的化学药品和处理方法都是不能接受的。在选择洗涤剂或探讨养护方法的时候, 毛发的微观结构而不是外观表现显然是最直接的检测指标。所以, 这些行业的发展将依靠着毛发微观结构研究的进展。

参考文献:

- [1] Hausman L A. Structural characteristics of hair of mammals [J]. *American Naturalist*, 1920, 54: 496 - 523.
- [2] Hausman L A. Future studies of the relationships of the Structural characteristics of hair of mammals [J]. *American Naturalist*, 1924, 58: 1 - 10.
- [3] Hausman L A. Revolutionary new facts about hair: Recent comparative studies of animal hair under the microscopy reveal a remarkable relationship hitherto unsuspected [J]. *Scientific American*, 1925, 132: 98 - 99.
- [4] Hausman L A. Recent Studies of hair structure relationships [J]. *Science*, 1930, 30: 258 - 277.
- [5] Hausman L A, Nason E S. Morphology of hair of eastern North American bats [J]. *The American Midland Naturalist*, 1948, 39 (2): 345 - 361.
- [6] Mathiak H. A. A key to the hairs of mammals of Southern Michigan [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1938, 2 (4): 251 - 268.
- [7] Dearborn N. Use of sections in identifying hair [J]. *Journal of Mammalogy*, 1939, 20: 346 - 348.
- [8] Hausman L A. Applied Microscopy of hair [J]. *Science*, 1944, 59: 195 - 202.
- [9] Williamson V H H. Determination of hairs by impressions [J]. *Journal of Mammalogy*, 1951, 32: 80 - 84.
- [10] Mayer W V. The hair of California mammals with keys to the dorsal guard hairs of California mammals [J]. *American Midland Naturalist*, 1952, 38: 480 - 512.
- [11] Stain H J. Key to guard hairs of Middle Western furbearers [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1958, 22: 95 - 97.
- [12] Day M G. Identification of hair and feather remains in the gut and faeces of stoats and weasels [J]. *Journal of Zoology*, 1966, 148: 201 - 217.
- [13] Haitlinger R. Seasonal variation of pelage in representatives of genus *Apodemus* Kaup, 1829, found in Poland [J]. *Zoology of Poland*, 1968, 18: 320 - 345.
- [14] Haitlinger R. Comparative studies in the morphology of hair representatives of the genus *Apodemus* Kaup, 1829, found in Poland [J]. *Zoology of Poland*, 1968, 18: 347 - 380.
- [15] Lever R J A W. Diet of the fox since myxomatosis [J]. *Journal Animal Ecology*, 1959, 28: 359 - 375.
- [16] Lockie J D. The estimating of the food of foxes [J]. *Journal of Wildlife Management*, 1959, 23: 224 - 227.
- [17] Lockie J D. The food of pine marten (*Martes martes*) in West Ross - Shire, Scotland [J]. *Proceeding of Zoology Society of London*, 1961, 136: 187 - 195.
- [18] Wall R A. Normal adult hair-structure and Properties [J]. *Cosmet Perfume*, 1974, 89: 31 - 36.
- [19] Brown A C. Hair breakage: The scanning electron microscope as a diagnostic tool [J]. *Journal Society Cosmet Chemistry*, 1975, 26: 289 - 297.
- [20] Dibianca S P. Innovative scanning electron microscopic techniques for evaluating hair care products [J]. *Journal Society Cosmet Chemistry*, 1973, 24: 609 - 622.
- [21] Dziurdzik B. Key to the identification of hairs of mammals from Poland [J]. *Acta Zoology Cracov*, 1973, 18: 73 - 91.
- [22] Dziurdzik B. Histological structure of hair in the Gliridae (Rodentia) [J]. *Acta Zoology Cracov*, 1978, 23: 1 - 10.
- [23] Keller A. Identification of hairs of Swiss mammals, V. Canivora, Artiodactyla, (in German) [J]. *Revue Suisse De Zoologie*, 1981, 88: 803 - 820.
- [24] Short H L. Analysis of cuticular scales on hairs using the scanning electron microscope [J]. *Journal of Mammalogy*, 1978, 59: 261 - 267.
- [25] Hilton H, Kutricha N P. Distinguishing characteristics of the hairs of eastern coyote, domestic dog, red fox and bobcat in Maine [J]. *The American Midland Naturalist*, 1978, 100: 223 - 227.
- [26] Palenik S. Light microscopy of medullary microstructure in hair identification [J]. *Microscopy*, 1983, 31: 129 - 137.
- [27] Hess W, Findess J T. Characterization of hair morphology in families Tayassuidae and Suidae with scanning electronmicroscopy [J]. *Journal of Mammals*, 1985, 66 (1): 75 - 84.
- [28] Olsen A R. Extraneous materials: Distinguishing common food - contaminating bat hairs from certain feather barbules [J]. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 1981, 64 (4): 786 - 791.
- [29] Hess W M, Allen J V. Preparation of human whisker sample for scanning electron microscopy [J]. *Journal of Electron Microscopy Technique*, 1985, 2: 393 - 394.
- [30] Kruuk H. Feeding specialization of the European badger *Meles meles* in Scotland [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1981, 50: 773

- 788.
- [31] Kondo K, Araki E, Ohsugi T. An observation of the morphology of the medulla in mammalian hair using a scanning electron microscope [J]. *The Journal of the Mammalogical Society of Japan*, 1985, 10: 115 - 121.
- [32] Mahrle G. The use of scanning electron microscopy to assess damage of hair [A]. In: Orfanos C E, Montagna W, Stüttger G eds. *Hair Research* [C]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981, 524 - 528.
- [33] Tronnier H. Methods for testing the hair and scalp [A]. In: Orfanos C E, Montagna W, Stüttger G eds. *Hair Research* [C]. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1981. 602 - 622.
- [34] Gaudette B D. Forensic hair comparisons [J]. *Crime Laboratory Digest*, 1985, 12 (3): 44 - 59.
- [35] Moor J E. A key for the identification of animal hairs [J]. *Journal of the Forensic Science Society*, 1988, 28: 335 - 339.
- [36] Johnson M K. Estimating coyote diet. A validation [J]. *American Midland Naturalist*, 1981, 106: 399 - 400.
- [37] Robertson P A R. The food of the red fox in Co. Kildare, Ireland [J]. *Journal of Zoology*, 1987, 123: 740 - 743.
- [38] Erlinge S. Predation on brown hare and ring-necked pheasant populations in southern Sweden [J]. *Holarctic Ecology*, 1984, 7: 300 - 304.
- [39] Price V H. The role of hair care products [A]. In: Orfanos C E, Montagna W, Stüttger G eds. *Hair Research* [C]. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1981. 501 - 506.
- [40] Stüttgen G. Introduction: Human hair and scalp in view of hair care products [A]. In: Orfanos C E, Montagna W, Stüttger G eds. *Hair Research* [C]. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1981. 477 - 499.
- [41] Yalden D W. Dietary separation of owls in the peak district [J]. *Bird Study*, 1985, 32: 122 - 131.
- [42] Palenik S, Fitzsimons C. Fiber cross-sections. Part . A simple method for sectioning single fibers [J]. *Microscopy*, 1990, 38: 313 - 320.
- [43] Syred A. Microscopy of mammalian hair [J]. *Microscopy and Analysis*, 1991, 4: 123 - 125.
- [44] Saywell D P. Cell proliferation during fibers growth initiation in ferret hair follicles [J]. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 1992, 52: 299 - 302.
- [45] Kondo K, Nishiumi T. The pelage development in young mink (*Mustela vison*) [J]. *Journal of Faculty of Agriculture*, 1991, 64: 247 - 255.
- [46] Teerink B J. Hair of west European mammals: Atlas and identification key [M]. New York: Cambridge University Press, 1991. 1 - 221.
- [47] Rollins C K, Hall D M. Using light and scanning electron microscopic methods to differentiate Ibex Goat and Tibetan Antelope fibers [J]. *Textile Research Journal*, 1999, 69: 856.
- [48] Swift J A. The chemistry of human hair cuticle. Part 2. The isolation and amino acid analysis of the cell membranes and Alayer [J]. *Journal Society Cosmet Chemistry*, 1974, 25: 355 - 366.
- [49] Swift J A. Minimum depth electron probe X-ray microanalysis as a means for determining the sulfur content of the human hair surfaces [J]. *Scanning*, 1979, 2: 83-88.
- [50] Wolfram L J. Topography of some cuticle cells [J]. *Textile Research Journal*, 1972, 42: 252 - 254.
- [51] Robinson V N E. A study of damaged hair [J]. *Journal Society Cosmet Chemistry*, 1976, 27: 155 - 161.
- [52] Pepper M C, Lantis S D H. A new technique for cross sectioning free hairs [J]. *Journal of Investigative Dermatology*, 1977, 68 (2): 111 - 112.
- [53] Kassenbeck P. Morphology and fine structure of hair [A]. In: Orfanos C E, Montagna W, Stüttger G eds. *Hair Research* [C]. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 1981. 52 - 64.
- [54] 王泽长. 哺乳动物背毛的比较形态 [J]. 吉林医科大学学报, 1963, 491 - 514.
- [55] 朱小曼. 54 种动物毛的扫描电子显微镜观察 [J]. 中国法医学杂志, 1987, (2): 1 - 4.
- [56] 赵宝生. 紫貂和水貂被毛比较形态学研究 [J]. 兽类学报, 1988, 8 (3): 193 - 198.
- [57] 曹汉民, 冯文和, 黄婉霞. 树鼯毛发的亚显微结构比较研究 [J]. 四川动物, 1991, 10 (1): 21 - 22.
- [58] 景松岩, 张伟, 吴向前, 费荣梅. 中国熊类被毛的形态结构及化学组成的比较研究 [A]. 马建章. 第二届东亚熊类会议论文集 [C]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992. 206 - 217.
- [59] 费荣梅, 景松岩, 吴向前. 六种动物毛中色素颗粒形态的比较研究 [J]. 野生动物 (1992 增刊), 1993, 72 - 73.
- [60] 金煜, 景松岩. 中国猫科动物毛的结构与属间划分 [J]. 野生动物, 1995, 4: 29 - 30; 35.
- [61] 崔雨新, 张伟, 王小明. 大熊猫、小熊猫、浣熊等五种动物毛的扫描电镜结构比较研究 [J]. 动物学杂志, 1998, 33 (5): 26 - 29.
- [62] 李文清, 王丽霞, 刘丹. 特种动物毛纤维表面形态和超微结构研究 [J]. 电子纤维学报, 2000, 19 (2): 158 - 165.
- [63] 王学信等. 正常新疆维吾尔族人头发的扫描电镜观察 [J]. 解剖学杂志, 1992, 15 (5): 373.
- [64] 张桂芝, 宋景民, 吴明德. 维吾尔族、哈萨克族、回族青年人头发毛干的电镜观察 [J]. 解剖学杂志, 1995, 18 (4): 368 - 371.
- [65] 徐文龙, 张宏茂. 理化因素对毛发形态结构的影响 [J]. 法医学杂志, 1990, 6 (3): 6 - 10.
- [66] 王若军. 山羊绒理化结构的研究现状 [J]. 草食家畜, 1991, 4: 1 - 5.
- [67] 李运起, 刘艳琴, 彭增起. 山羊毛纤维的鳞片层结构研究 [J]. 河北农业大学学报, 1997, 20 (1): 66 - 70.
- [68] 王晓红, 姚穆, 刘守智. 绵羊毛与山羊绒的鉴别 [J]. 西北纺织工学院学报, 1998, 12 (3): 215 - 218.
- [69] 许宏飞, 史利军, 赵金茹, 陈风桂, 王文青. 藏羚羊毛、

- 绒的 SEM 观察 [J]. 电子纤维学报, 2001, 20 (4): 497 - 498.
- [70] 张伟. 鸟羽毛的鳞片类型与哺乳动物识别的关系 [J]. 东北林业大学学报, 1994, 22 (3): 121 - 123.
- [71] Kondo K, Jing S Y, Zhang Z Z. Morphological and chemical study on the bending guard hairs of mink (*Mustela vison*) ranches in Qinghai Plateau, China. [J]. *Scientific*, 1988, 12 (1): 13 - 16.
- [72] 景松岩, 张伟. 毛皮学 [M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993. 19 - 52; 66 - 73; 103 - 114; 200 - 214.
- [73] 张伟, 刘伟石, 文思标. 水獭针毛形态结构的稳定性与变异性的系统研究 [J]. 野生动物, 1994, 2: 35 - 38.
- [74] Zhang W, Yang S H, Xu Y C. Acquired morphological changes of mammalian hair scales [J]. *Journal of Forestry Research*, 1998, 9 (2): 65 - 70.
- [75] 张伟, 刘龙生, 刘二曼. 狗被毛髓质指数在保温和保护功能上的适应性变化 [J]. 东北林业大学学报, 1997, 25 (3), 45 - 47.
- [76] Bi Y L, Zhang W, Xu Y C. Relationship between structure and function of mammalian vibrissa [J]. *Journal of Forestry Research*, 1998, 9 (4): 273 - 277.
- [77] 张伟, 徐艳春, 杨淑慧, 刘伟石. 毛发杂波型鳞片磨损机制研究 [J]. 东北林业大学学报, 1998, 26 (6): 44 - 48.
- [78] 丁敏菊. 人体毛发尖部形态的扫描电镜研究 [J]. 法医学杂志, 1998, 14 (2): 74 - 75.
- [79] 王趁红, 沈淦清, 王柏华. 毛绒类纤维鳞片排列特征统计分析 [J]. 北京服装学院学报, 1998, 18 (2) 12 - 15.
- [80] 杨晓东, 任露泉. 动物毛发的形态结构及其功能特性研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18 (2) 21 - 24.

(上接第 页)

REVIEWS

- The Reproduction of Cetaceans in Artificial Feeding LIU Renjun, YANG Jian and Richard T. C. Chen (245)
- The Rodent Pest Control of the Social-Economical - Natural Complex Ecosystem ZHANG Meiwen, WANG Yong, LI Bo and CHEN Anguo (250)
- Reproductive Investment and Reproductive Success of Small Mammals YIN Baofa, WEI Wanhong, ZHANG Yanmin, CAO Yifan and WANG Jinlong (259)

SCIENTIFIC NOTES

- The Summer Microhabitat Selection of Tibetan Fox in the Northwest Plateau of Sichuan GONG Minghao and HU Jinchu (266)
- Clone and Sequence Analysis on 3' Coding Region of Wild Boar and Crossbred Pig Myostatin Gene LIU Di, YANG Xiuqin, YANG Jiafang, ZHANG Xiangzhe and MA Jianzhang (270)
- A Preliminary Study of Plateau Pika (*Ochotona curzoniae*) Hypoxia-Induced Factor-1 ZHAO Tongbiao, ZHAO Xinquan, CHANG Zhijie, ZHU Shanshan, ZHAO Wei, SUN Ping and XU Shixiao (273)

No. 4

(See inside back cover)