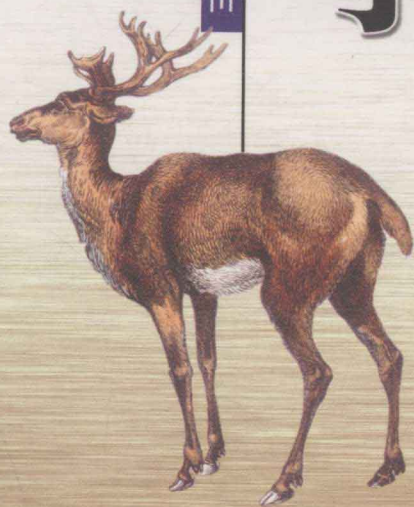


毛皮学

MAOPIXUE

张
伟
景松岩
徐艳春
编著



东北林业大学出版社

毛 皮 学

张 伟 景松岩 徐艳春 编著

东北林业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

毛皮学/张伟,景松岩,徐艳春编著. —2版. —哈尔滨:东北林业大学出版社,
2002.1

ISBN 7-81008-339-2

I. 毛… II. ①张…②景…③徐… III. 毛皮—概论 IV. TS51

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第011737号

责任编辑:任 俐 刘学东

封面设计:金 钊



NEFUP

毛 皮 学

Maopixue

张 伟 景松岩 徐艳春 编著

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路26号)

东北林业大学印刷厂印装

开本787×1092 1/16 印张15.25 字数351千字

2002年3月第2版 2008年2月第2次印刷

ISBN 7-81008-339-2

Q·32 定价:26.00元

前 言

《毛皮学》(第二版)是在第一版基础上增删和修订的。1993年出版的《毛皮学》(第一版)是国内第一部公开出版的毛皮学教材,为全国高等林业院校试用教材。该书是在总结近30年毛皮学教学实践、广泛搜集国内外研究资料及结合作者多年研究成果的基础上完成的。原书共含9章,分为毛皮学原理和毛皮商品学上下两篇。根据“加强基础、拓宽专业面、提高技能”的新的教学指导原则,1995年,林业部野生动植物资源管理类教学指导委员会在修订全国野生动物保护与利用专业的课程设置时,提出《毛皮学》应侧重于新理论和实验技术教学的要求。随之我们修改了《毛皮学》教学大纲,并把《毛皮学》由主干课变为专业基础课,将原教材中的毛皮学原理篇作为《毛皮学》的主要内容,原教材中的毛皮商品学篇纳入新增主干课——《野生动物产品学》。结合毛皮学课程调整后几年来的教学科研实践,我们对《毛皮学》教材进行了修订,现在的《毛皮学》是在毛皮学原理篇的基础上修订的,共分5部分:哺乳动物体被概述;毛的形态及组织结构;毛的发生与生长;兽毛的检验与鉴定;“生皮”的化学组成及性质。其中第四部分为新增内容,原书第四章大部分删除,仅第一节部分内容纳入本书第一部分中,对其他部分均进行了广泛的修误和局部性增删。毛皮商品学篇全部删除。

修订后的《毛皮学》进一步突出了毛皮性状与哺乳动物机体及其相关方面的内在联系;突出了把握毛皮性状的方法论及其研究手段;突出了毛皮学的基础地位,并加强了与野生动物产品学、兽类分类学、生态学和营养学的联系。

本书由张伟、景松岩、徐艳春编著,第一部分至第三部分由张伟执笔,第四部分由徐艳春执笔,第五部分由景松岩执笔。

由于编著者水平有限,书中仍可能存在一些缺点和不足,热忱欢迎批评指正。

编著者

目 录

1 哺乳动物体被概述	(1)
1.1 哺乳动物体被的结构	(1)
1.1.1 皮肤结构	(1)
1.1.2 皮肤衍生物结构	(7)
1.2 哺乳动物体被的功能	(10)
1.2.1 防卫功能	(11)
1.2.2 感觉功能	(12)
1.2.3 调节功能	(14)
1.2.4 排泄功能	(15)
1.2.5 分泌功能	(15)
1.2.6 运动及其他功能	(16)
1.3 哺乳动物体被与其他脊椎动物的比较	(16)
1.3.1 皮肤的比较	(16)
1.3.2 皮肤衍生物的比较	(17)
1.4 毛皮在哺乳动物研究中的作用	(18)
1.4.1 毛皮与动物及其环境	(19)
1.4.2 毛皮的研究基础与发展	(20)
1.4.3 毛皮在哺乳动物研究中的作用	(21)
2 毛的形态及组织结构	(25)
2.1 毛的形态	(25)
2.1.1 毛的形态多样性及其分类	(25)
2.1.2 毛的各种形态特征	(27)
2.2 毛的组织结构	(30)
2.2.1 毛囊及其附属构造	(30)
2.2.2 毛纤维的结构	(33)
2.3 毛的着生排列	(48)
2.3.1 毛的着生排列方式	(48)
2.3.2 毛束概念的应用——测定毛密度	(50)
3 毛的发生与生长	(53)
3.1 毛的发生	(53)
3.1.1 毛的基本发生过程	(54)
3.1.2 几种动物毛囊及毛的发生	(55)
3.2 毛的生长与脱换	(61)
3.2.1 毛的形成过程	(62)
3.2.2 毛形成过程中的生物力学	(62)

3.2.3 换毛及其方式·····	(68)
3.3 换毛序及其测定·····	(73)
3.3.1 换毛序及其研究意义·····	(73)
3.3.2 换毛序的测定·····	(74)
3.4 各种因素对毛的生长及脱换的影响·····	(76)
3.4.1 季节性换毛动物被毛的正常生长脱换机制·····	(76)
3.4.2 营养对动物被毛的影响·····	(78)
3.4.3 环磷酰胺对动物毛被脱换的影响·····	(80)
3.4.4 环境因子对毛的生长脱换的影响·····	(81)
4 兽毛的检验与鉴定·····	(86)
4.1 兽毛的物理检验与鉴定·····	(87)
4.1.1 兽毛的识别检验·····	(87)
4.1.2 兽毛种属的形态学鉴定·····	(88)
4.2 兽毛种属和个体的分子遗传学鉴定·····	(93)
4.2.1 分子遗传学的基本理论·····	(93)
4.2.2 兽毛检验中的 DNA 指纹技术·····	(95)
4.2.3 兽毛检验中的 PCR 技术·····	(107)
4.2.4 兽毛检验中的 mtDNA 序列分析技术·····	(114)
4.2.5 兽毛作为分子遗传学检验材料的优缺点·····	(119)
4.3 兽毛的化学检验·····	(120)
4.3.1 兽毛蛋白质的种属鉴定·····	(120)
4.3.2 兽毛微量元素分析·····	(125)
5 “生皮”的化学组成及性质·····	(127)
5.1 “生皮”中的蛋白质·····	(128)
5.1.1 纤维型蛋白质 (fibrous proteins)·····	(128)
5.1.2 非纤维型蛋白质 (non-fibrous proteins)·····	(182)
5.2 “生皮”中的非蛋白质·····	(186)
5.2.1 水分·····	(186)
5.2.2 脂类化合物 (lipids)·····	(187)
5.2.3 矿物质 (mineral matter)·····	(190)
参考文献·····	(191)

图版 (1~36)

1 哺乳动物体被概述

哺乳动物与其他一切生物、包括单细胞生物一样，身体表面要有一层覆盖物，不仅由此形成动物与外界环境的相对分界，而且成为动物体直接与外界环境接触和进行有关的生命活动的有机部分。哺乳动物的这个机体覆盖物就是皮肤及其衍生物，统称为体被(integument)。哺乳动物的体被作为一个高度进化、高度适应的复杂系统，具有一系列的构造和功能，在这些构造和功能处于高度协调、高度统一的同时，整个体被系统还与机体的其他器官系统相互联系、相互依存，形成一个有机整体。在机体与环境的协调统一过程中，体被系统以其与环境的高度协调一致，也保持着机体对环境的适应。

充分认识哺乳动物体被，对了解动物的分类、进化、适应、变异、生活习性、生长发育以及环境特点等具有极其广泛的意义，对了解动物毛皮产品的结构、性能、加工、利用等具有重要作用。

1.1 哺乳动物体被的结构

1.1.1 皮肤结构

哺乳动物皮肤本身包括浅层的上皮性表皮和深层的结缔组织性真皮两大部分，同时借皮下组织与深部相连。

1.1.1.1 表皮(epidermis)

表皮是皮肤的最外层，是实现皮肤多种功能的主要部分，它是外胚层分化来的复层扁平上皮。主要细胞有角质形成细胞、黑色素细胞、郎格罕细胞和麦克尔细胞等。角质形成细胞由深层向浅层分化的过程，就是细胞不断形成和角化的过程。角质形成细胞正是因其能不断角质化而得名。黑色素细胞能合成黑色素。哺乳动物的正常表皮都能稳定地保持一定厚度、处于表面角质的剥脱和深层细胞的增生之间的动态平衡。

1. 表皮的各层结构

表皮是分层的，但分层状况并不完全一致，使表皮有厚薄之分，不仅不同动物间有表皮厚薄的差异，就是同种动物也存在不同部位、不同年龄、不同性别的表皮厚度差异。一般就同一动物而言，经常接受摩擦和承重的部位以及躯干和四肢外侧，表皮厚；幼龄动物表皮薄，老年动物表皮厚；雌性动物表皮薄，雄性动物表皮厚；腹部表皮薄，背部表皮厚。

不论表皮的厚薄如何，都有分层结构，但分层的状况有所不同。分层最多的表皮由深层向浅层可分为五层，依次为基底层、棘层、颗粒层、透明层和角质层。基底层和棘层统称为生发层。

(1) 基底层(stratum basale): 位于表皮最深层，其深面位于表皮与真皮间的基膜上，

表皮与真皮通过基膜连接。由于表皮中没有血管，需要靠基膜很强的通透性使基底细胞从真皮摄取养分。正常情况下，营养物质甚至细胞都能通过基膜进入表皮，游离神经末梢也能通过基膜进入表皮细胞间。

基底层由一层立方的或矮柱状的排列整齐的细胞构成，是分裂增生能力旺盛的一层细胞。这些基底细胞，胞质少，含有许多游离的核蛋白体，光镜下呈强嗜碱性，胞质体内含有成束的张力原纤维，为角蛋白的前身物质之一。基底细胞的有丝分裂能力强，表皮中分裂细胞的70%位于基底层。由基底细胞所分裂增殖的细胞一部分仍留在原位，保持未分化状态，一部分根据细胞角化程度的不同逐渐分化出其余各层。

(2) 棘层 (*stratum spinosum*): 是由基底层细胞分化而来的、位于基底层上部的5~10层细胞所构成。深层细胞有分裂增生能力，这些细胞呈多边形，核圆，胞质丰富。愈向浅层，细胞逐渐变扁平，并由胞质伸出许多棘状突起进入细胞间隙，相邻细胞的突起的桥粒相互连接。浅层细胞变得很浓缩，细胞间有清晰的间隙，类似细胞间质，营养和代谢物质借此弥散。细胞中的张力原纤维较基底细胞中的粗大、数量也多，特别是足垫、掌等经常受到摩擦和挤压的部位张力原纤维特别丰富，纵横交错，以适应外力的各种方向变化，维持细胞间的连接。

(3) 颗粒层 (*stratum granulosum*): 是棘层细胞变化来的更近浅层的部分，位于棘细胞层上方，由2~4层梭状细胞组成，细胞短轴与皮肤表面垂直，细胞核染色浅，有趋向萎缩退化现象，张力原纤维丰富，胞质内出现大小、形状不一的透明角质颗粒，普通染色呈强嗜碱性。电镜下，相邻细胞的桥粒仍可见，线粒体基质开始空泡化，膜被颗粒增多，并移向细胞表面。该层是未角化的表皮细胞与角化的表皮细胞之间的过渡。薄表皮的颗粒层细胞常分散存在于棘细胞层之上，不形成明显的一层。

(4) 透明层 (*stratum lucidum*): 仅见于厚的表皮部分，如食肉动物的足垫、鼻镜等无毛处和人的手脚掌上。位于颗粒层上部，由2~3层扁平细胞组成，细胞排列紧密、界限不清，细胞核退化消失，细胞质中透明角质颗粒已液化变透明，有强的反光性。光镜下，均质无结构；电镜下，核糖体、线粒体等均消失，胞质间充满张力细丝，细胞膜较厚。该层在组织化学方面不同于角质层之处在于它富含含有结合蛋白的磷脂。由于磷脂有疏水性，故有防水通过的能力。

(5) 角质层 (*stratum corneum*): 在表皮最浅层，由多层扁平的角质细胞叠积而成。厚度不同的表皮，角质层的厚薄相差甚为悬殊，薄的角质层只有几层细胞，厚的角质层可达几十层至上百层细胞。电镜下，细胞膜显著增厚，没有胞核和细胞器，仅有大量细丝埋藏在由透明角质颗粒形成的致密的无定形基质内。细胞质中充满角蛋白，表层细胞常呈碎片脱落或为易于剥脱的角质磷片。由深层向浅层，角质细胞由互相结合过渡到松散，细胞间失去联系后，随时剥脱。

之所以表皮并不因为角质层的不断剥脱而变薄，正是因为有分生能力的基底层和棘层细胞（生发层）不断将增生的细胞向浅层依次推移，补偿其损失，使剥脱与增生之间维持着动态平衡。即表皮生发层细胞借基膜通过真皮的微血管吸收养分，进行细胞的有丝分裂，增生的细胞不断被继续新生的细胞向上推移，并发生形状、组成和结构的改变，逐渐角化，直到成为角质层的最外层脱落，源源不绝，直至生命活动停止。

这里,表皮的分层是以最发达的表皮为例阐述的。对于各种动物的大部分表皮而言,都不是五层。不论是几层,均具有基底层和角质层,抑或还有棘层或颗粒层。

2. 表皮的角质化

表皮的角质化是表皮基底细胞由深向浅移位过程中发生的一种特殊分化过程。在这个分化过程中,主要是角蛋白的形成和细胞逐渐变扁平。分化之所以特殊,是因为在完成角化的角质细胞中,胞核和一切细胞器均已消失,细胞完全丧失其正常的生活功能。这种死亡的细胞排成多层,在其脱落前执行保护功能。因功能需要的不同,角质层的细胞层数也不同。保护性的角质层有可折性和弹性,这是因为其中的 α -角蛋白为含硫少的纤维型蛋白质,其无定型基质中的双硫键与角质细胞膜结合,以保持角质细胞层的相对稳定性,其加厚的细胞膜使角质细胞得以保持完整。

3. 表皮的色素细胞和色素

表皮内,黑色素细胞(melanocyte)的胞体呈圆形,并伸出许多长而不规则的突起在表皮细胞分支,行走在基底层、棘层细胞间,突起的末端终止于所达细胞的凹陷内。电镜下不见桥粒,张力原纤维很少,具有丰富的核蛋白体、粗面内质网和明显的高尔基复合体,来保证细胞内黑色素的合成。酪氨酸和酪氨酸酶为黑色素合成的必需物质,而核蛋白体便是合成酪氨酸酶的重要细胞器,合成后的酪氨酸酶需要进入粗面内质网腔并转入高尔基复合体。酪氨酸酶把酪氨酸转变为多巴,进一步形成多巴醌,直至黑色素颗粒(melanin)。

皮肤的颜色及其深浅,决定于四方面因素:一是皮肤内黑色素含量,二是皮肤内胡萝卜素的含量;三是真皮内血液供应情况;四是表皮的厚度。黑色素在表皮和真皮细胞中呈现为黑色或棕色颗粒,使皮肤出现黑色或褐色;胡萝卜素存在于表皮角质层和皮下组织中,使皮肤呈现出黄色;真皮血管中的血液红血球内所含的氧合血红蛋白赋予皮肤以微红色;表皮越薄,真皮颜色越容易显露。而决定皮肤颜色及其深浅的最主要的因素是表皮细胞中黑色素颗粒的多少,因为,黑色素多产生于表皮。

黑色素来源于黑色素细胞,黑色素细胞存在于表皮基底细胞之间及其下方或上层,也见于毛囊中。由黑色素细胞制造的黑色素颗粒循黑色素细胞的树枝状突起沿途分送给表皮生发层的角质形成细胞。角质形成细胞虽然不制造黑色素颗粒却含有黑色素,使皮肤表现出颜色。黑色素为细小的棕黑色颗粒,先进入生发层的角质形成细胞中,随着这些细胞向浅层移位时,使表皮各层分布黑色素颗粒,但在角质形成细胞向浅层移位时,黑色素颗粒有逐渐减少(消失)现象,使浅层的大多数细胞中只有浅淡着色。例如,皮肤白的人,黑色素只出现在生发层的某些细胞,而皮肤黑的人,不但生发层的所有细胞甚至生发层以上的细胞都有黑色素。

1.1.1.2 真皮(dermis)

真皮位于表皮下层,由致密结缔组织组成,来源于中胚层,含有大量的胶原纤维和少量的弹性纤维、网状纤维及其他细胞成分。另外,真皮中还分布许多表皮衍生物,诸如毛发、毛囊、皮脂腺、汗腺等。真皮中血管、神经的分布均很广泛。

1. 真皮的分层结构

真皮可分为浅在的乳头层和深在的网状层。

(1) 乳头层 (papillary layer): 乳头层与表皮紧密相连, 纤维排列成细束, 形成较为疏松的细网, 近似疏松结缔组织。这层结缔组织向表皮深面形成的乳头状突起称为真皮乳头, 能扩大表皮与真皮的接触面, 以增加表皮的营养供应和提高代谢水平。因为, 乳头层内富含毛细血管网和感受器, 来自毛细血管的组织液透过基膜与表皮内的组织液相通, 供给表皮营养物质并运走表皮的代谢产物。毛细血管的扩张和收缩还有助于动物的体温调节。真皮乳头上的感受器能感受到外界对皮肤的触觉刺激等。乳头层因有突向表皮的真皮乳头而得名。这种真皮乳头在无毛或少毛的皮肤中发达, 表现为高而细。例如, 人和灵长类动物的手掌和足底处真皮乳头多而隆起、排列成行使表皮显现出嵴纹; 而在多毛的或表皮薄的皮肤上, 真皮乳头很小甚至不明显。发达的表皮和由真皮乳头形成的表皮上的嵴纹更有助于足掌的持握和增大摩擦力。

乳头层在乳头以下的部分很薄, 称乳头下层, 向下过渡到网状层。

(2) 网状层 (reticular layer): 网状层在乳头层深部, 但两层间并无明显界限。网状层的结缔组织较乳头层致密, 含有粗大的胶原纤维束和弹性纤维束, 它们大多与皮肤表面平行, 并纵横交错成网。少数纤维垂直下行, 进入皮下组织, 参与皮下组织纤维支架的组成, 构成真皮与皮下组织的联系。皮肤的韧性和弹性主要由网状层的结构决定。

网状层中有较大的血管、淋巴管, 还有汗腺、皮脂腺和毛囊等, 神经和神经末梢也比较丰富; 另外, 还有少量的平滑肌。平滑肌出现在竖毛肌以及乳房的乳头和乳晕、阴茎、阴囊、肛门周围等处的皮肤中。平滑肌的收缩, 分别能使毛竖立、乳头耸出、阴茎勃起及皮肤起皱等。竖毛肌由网状层直达乳头层浅层。

2. 真皮内的细胞

真皮内的细胞数量少, 散在于纤维之间。网状层内的细胞少于乳头层。正常的真皮中, 成纤维细胞最多, 肥大细胞次之, 巨噬细胞只有在它们表现吞噬时才易显现, 浆细胞的多少随个体发育、身体功能和病理状态的不同而异, 肥大细胞、巨噬细胞也有这样的变化。脂肪细胞在真皮内有单个散在的, 而更多是成群聚集的。真皮内与色素有关的细胞有两种, 一是黑色素细胞, 一是载色素细胞。前者能制造黑色素, 后者自己不能造黑色素, 但含有黑色素颗粒, 这些黑色素是其吞噬来的。另外, 真皮内还有数目不定的淋巴细胞和粒细胞, 它们在受到相应刺激时能引起反应。

3. 真皮的色素细胞及色素

真皮靠黑色素细胞制造黑色素, 由载色素细胞吞噬、着色。虽然真皮的黑色素细胞和表皮中的一样, 都是从神经嵴发育而来的, 但它们在迁移过程中却停留在真皮中而未达到表皮。

真皮黑色素细胞呈带状分布, 大多平行于皮肤表面, 有宽有窄, 常伴行着血管、竖毛肌等。胞体很大, 着色也重, 胞体呈星状或纺锤形, 与钝形的载色素细胞有很大区别。黑色素细胞中充满黑色素颗粒, 胞核常被遮盖, 真皮中的黑色素颗粒比表皮中的大且色深。真皮黑色素细胞早在表皮黑色素细胞和真皮载色素细胞没出现时, 就已经有了。载色素细胞出现在真皮浅部, 在毛乳头中也能找到这种细胞, 尤其是当毛脱换和变白的时候。载色素细胞多巴呈阴性, 因其不制造多巴, 而黑色素细胞为多巴阳性, 借此, 可区别两者。

除黑色素外,真皮的颜色还与真皮内血液供应状况有极大关系,氧合血红蛋白多,皮肤颜色呈现红色。

1.1.1.3 皮下组织 (hypodermis)

皮下组织位于皮肤下层,与真皮间并无明显界限。真皮网状层致密,而皮下组织疏松,但结缔组织纤维彼此过渡,网状层的支持带向下穿过皮下组织与深部结构相连,起固定作用,皮下组织也以纤维与深在的筋膜、腱膜或骨膜相连,加强了皮肤与深部结构的联系。疏松而有弹性的皮下组织能便于皮肤在所附着的基础上做有限度的往返滑动以适应机体的活动。

皮下组织由疏松结缔构成,经常填充脂肪组织。其中含有较大的血管、淋巴管、神经等通往皮肤,存在的许多间隙中容纳组织液和在胚胎期间充质的基础上发育成的脂肪组织。另外,毛囊、汗腺也有深达其中的。

1.1.1.4 皮肤中的血管和淋巴管

1. 血管

皮肤中的血管随着动物体的发育和衰老、皮肤区域的不同、机体正常或病态等情况而处于动态变化之中。

成年动物正常皮肤的血管分布呈一定的规律性。

皮下组织的动脉在真皮网状层和皮下组织之间分支,彼此交织成平行于皮肤表面的皮动脉网。由此网分出许多小动脉,有的下行到皮下组织中,供血给脂肪组织、毛囊和汗腺,有的上行到真皮中互相连接,在乳头层和网状层之间形成乳头下网,此网除分支到皮脂腺、汗腺和毛囊外,还垂直地发出一些毛细血管袢,每个毛细血管袢一般只进入一个真皮乳头,袢的下行支进入乳头下静脉网,再向下连接到乳头层和网状层之间的静脉网上。在真皮中层和在真皮与皮下组织之间又有越来越粗的静脉网。皮脂腺、汗腺、毛囊的静脉进入上述不同水平的静脉网中。从深部的静脉网汇成较粗的静脉网而进入皮下组织。静脉网和动脉网互相穿插,在两者之间有便道接通,在不同条件下,有的便道发展成为动静脉吻合。

小动脉相互之间以动脉性或毛细血管性的横支连接成网。在毛囊周围,小动脉平行纵走,相互间以横支相连接,汗腺导管周围的小动脉亦如此。以上的小动脉网一直向浅层发展到表皮下方并失去肌层而成为毛细血管。

皮肤毛细血管的内皮细胞既关系到体液交换,又与调节体温有关。

真皮乳头的血管在横断面上可由两个内皮细胞围成,当机体有炎症或皮肤病时,在某些血管活性剂的作用下,细胞间隙会增大。正常时,细胞含有许多吞噬小泡、少量的滑面内质网和线粒体;当细胞功能活跃时,上述细胞器增多,以适应不同情况的物质交换。细胞内的微丝使毛细血管具有闭合或开放的能力,参与血流量的控制和体温的调节。内皮细胞内表面凹凸不平,外面被有基膜。基膜连续时,其状态稳定;在物质交换活跃或在病理条件下,基膜上发生缺口或变成几个板层。新生的血管没有基膜。基膜外的周细胞也与血管内皮细胞同样有收缩能力。

小静脉开始也是单层内皮围成的,类同毛细血管,管径较粗,而后管壁才有分层。最初的乳头下小静脉仅仅是巨大的毛细血管。皮肤内小静脉和静脉还有一个特点,即当它

们处于相当应力时，易于具有动脉那样的特点：肌层特别能收缩，阻滞血流畅通，使皮肤具有某种程度的蓄血作用。

动静脉吻合的最简单形式没有动脉段和静脉段之间的明显划界，仅是在动脉一侧的周围有厚而复杂的肌层。更进一步发育的动静脉吻合，在动静脉段之间的中间段，肌细胞变形，无弹性膜，外膜较厚，随着该段的曲折复杂化，最后为血管球结构。动静脉吻合的一个共有的显著特点就是球细胞的出现。动静脉吻合的功能表现在当血压升高或周围毛细血管血流受阻时，相关的吻合支开放，犹如分流器以减少周围压力；当失血或缺氧时，则吻合支闭合，毛细血管不畅通，血流只通过直接通路由小动脉流入小静脉，以保证重要器官的血流的供应。吻合支和皮下静脉网关系到体表温度的调节，吻合支受到交感神经的支配收缩，来减少进入静脉网的血流量；反之，在吻合支开放时，使静脉网蓄积的血液增多，携带的热量多，以温暖体表，吻合支起到一个体温控制的闸门作用。

2. 淋巴管

在真皮乳头下有毛细淋巴管网，以盲端起始的毛细淋巴管收集乳头组织间隙中的淋巴液，在真皮和皮下组织之间，汇集成淋巴管网，进而汇集成较大的淋巴管，伴同血管离开皮肤。毛细淋巴管在乳头中的位置与形态似肠绒毛中的中轴乳糜管，不过是从乳头的半高度起始。深在的淋巴管中，已有瓣膜出现。有人发现，在毛细血管后小静脉和淋巴管之间能直接通联。

1.1.1.5 皮肤中的神经

皮肤中有极丰富的神经纤维和神经末梢。从皮下组织来的神经纤维在真皮中形成网丛，这些神经纤维包括来自脑和脊神经的大多属于有髓的纤维和来自交感神经的无髓纤维。网丛的每根神经纤维最后都单独行走，通达一部分皮肤。一根纤维的许多终末支和邻近纤维的终末支部分地重叠分布，以致皮肤的任何一处都有网丛的数根神经纤维通达。

网丛中的无髓纤维单根地或若干条地被裹在雪旺氏细胞链中，此链再由基膜包绕，使之跟周围的胶原纤维隔开。网丛中的有髓纤维在行走中失去其髓鞘，分成无髓的支，仍然保持在原来的雪旺氏细胞链中，其形态与无髓纤维一样。所以有人认为皮肤神经的某些无髓纤维实际上是有髓纤维失去髓鞘后在远侧的继续。

皮肤的感受器基本上分两大类，即游离的神经末梢和有被囊的神经末梢。游离神经末梢广泛分布于皮肤中。哺乳动物鼻子的无毛皮肤中有进入表皮神经纤维，从表皮下网进入表皮的纤维斜行上升到棘层、颗粒层和接近角质层。

毛囊周围都有神经纤维缠绕，其分布形式与真皮的神经网基本相似，又称之为毛囊神经网。皮脂腺导管以上的毛囊，神经网疏松。少数散开的神经纤维联络到皮脂腺上。从毛囊神经网向上有很细的纤维到表皮下面，分出刚能在光镜下看见的细支；也可分出纤维到汗腺和竖毛肌。毛囊中段的这部分密网由无髓纤维构成，分环行的外丛和纵行的内丛。内丛的纤维终止在内根鞘中。纵行丛如栅状，可单独见于上毛和下毛。衰退期的毛囊短小，其下端从毛囊神经网中退缩一段，致使这段网无所包绕。毛囊神经网以其末梢灵敏地感受毛囊移位的机械刺激，再经5~12根神经纤维传向深部。

毛囊的刺样神经末梢见于哺乳动物触毛的毛囊上，是仅见于毛上的一种神经末梢。

有被囊的神经末梢只占皮肤感受器的一小部分，它们的形态结构特殊且常发生在感

受能力特别敏锐的地方。例如，口唇、结膜、阴茎等处，它们司触觉功能。

皮肤的运动神经末梢有属脑脊神经系统的，分布到表情肌；有属植物神经系统的，都是交感神经，分布到腺体、血管的平滑肌和竖毛肌。没有副交感神经到皮肤中。

1.1.2 皮肤衍生物结构

哺乳动物皮肤的衍生物是构成机体覆盖物的重要组成部分，对机体的调节、保护、运动、捕食和防卫起着积极作用。哺乳动物的皮肤衍生物包括毛、鳞、角、皮肤腺及趾（指）端保护物——爪、蹄、指甲等。

1.1.2.1 毛 (hair)

毛为哺乳动物所特有的角蛋白细丝，由表皮的上皮滤泡状凹陷部分的基质细胞发育而成。毛的生长是呈周期性的，每根毛从发育到脱落为一个周期，其中分为生长期、衰退期和静止期。

毛可分为皮肤以上的毛干和埋在皮肤内或皮下的毛根，毛根末端与毛囊共同形成毛球。真皮结缔组织突进毛球基底面的凹陷处，形成毛乳头。毛根主要由表皮下陷形成的套囊包被着，这个套囊称为毛囊。毛囊外一般附着有竖毛肌的一端。毛由内向外一般包括三层结构，分别是髓质、皮质和鳞片。毛囊又分为两部分，形成毛囊的下陷的皮肤中有表皮和真皮两部分，表皮部分称为毛根鞘，真皮部分称结缔组织鞘。毛根鞘又分为内根鞘和外根鞘，内根鞘相当于表皮的角质层，紧靠着毛根，在皮脂腺开口于毛囊的上方，内根鞘缺如；外根鞘相当于表皮有分裂能力的生发层，它包被整个毛根。

1.1.2.2 皮肤腺 (skin gland)

哺乳动物的皮肤腺特别发达，种类也很多，但有两种主要皮肤腺，即皮脂腺和汗腺。乳腺、气味腺等均由主要腺体特化而来。皮肤的许多功能是通过皮肤腺来实现的。皮肤腺都是外分泌腺，分泌物通过导管运输到体表。

1. 皮脂腺 (sebaceous gland)

皮脂腺是分泌油或蜡质的泡状腺，属全浆分泌腺，为哺乳动物特有。出现在皮肤的大部分，经常开口于毛囊内，能使毛发润泽和避免水湿。有些皮脂腺出现于无毛囊的部位，如唇、阴茎头、包皮、乳头等处。足垫、掌等无毛部位没有皮脂腺。

绝大多数皮脂腺存在于毛囊上 1/3 处，常介于毛囊和竖毛肌之间，以短导管开口于毛囊内，与毛和毛囊共同构成一个毛—皮脂单位 (pilosebaceous unit)。

皮脂腺导管由复层鳞状上皮组成，一般过渡到毛囊壁上。分泌部由复层腺上皮围成，近导管处才有腺腔。腺上皮的基底层以相当于真表皮连接的基膜和外围结缔组织分界。基层细胞立方形，一般不含脂滴，核圆，相当于表皮的生发层细胞。增生的细胞依次向浅层推移、变大，越向浅层，细胞越趋于脂质分化，最后胞核消失，细胞界限不清，细胞全部变成皮脂。皮脂相当于表皮的剥落层，从腺上脱离下来，随导管进入毛囊。毛根周围间隙可能有毛细管作用，能引导皮脂排出，竖毛肌收缩也有助于皮脂排出。

虽然皮脂腺在构造上都相似，但在分布、性质和脂质的组成上，都有物种间的差异。

2. 汗腺 (sweat gland)

汗腺属于管状腺，为哺乳动物所特有的局部分泌腺。汗腺在人类最发达，哺乳动物

中有些种类发达，也有不具汗腺者，如鼯鼠、针鼯、穿山甲、象、海牛、鲸等。汗腺是由表皮细胞衍生形成的细长管，依据它的结构可分为单结管状腺或分枝管状腺，管的一端蟠绕成结，深入真皮下部或皮下组织中，另一端呈螺旋状穿透角质层，开口于皮肤表面，或通过微孔而进入毛囊。汗腺的结状部分由微细的毛细血管网所环绕，并包有来源于外胚层的薄层肌上皮细胞，协助排出浆液分泌物。汗腺的重要机能就是收集和排除由于代谢作用所产生的各种废物，协助保持恒定的体温。它排除的代谢产物中含有大量水分、极少量的蛋白质，主要成分是钾、钠、氯、尿素、尿酸和乳酸等，说明汗腺有排泄废物的功能。当汗腺排出的汗液被蒸发时，能使身体上的一部分热量散失，从而使体温下降，以此来调节体温。汗液的排出量和成分是随体内代谢水平和环境温度的改变而不同的。

汗腺的有无和发达程度与动物种类的不同有很大关系。例如，象缺乏汗腺，但它能靠不断煽动扇形的富有血管的耳壳和经常进行水浴来调节体温。有些动物的汗腺仅分布在身体某些部位，如鸭嘴兽限于口鼻部，鹿限于尾基，鼠、猫、猴仅限于无毛的脚掌等处。马、绵羊的汗腺遍及全身。毛被发达的毛皮兽，其汗腺不发达。

动物的皮肤色素颗粒常与汗腺的分泌物混在一起分泌到体外，如南非的一种羚羊的汗液是蓝色、河马的汗液呈红色等。河马的红汗为包含汗液、粘液和红色素的粘性混合物，能保持皮肤湿润，有保护作用，这种混合物干燥后呈褐色。

3. 乳腺 (mammary gland)

乳腺作为哺乳动物特有的腺体，属于一种顶浆分泌型的汗腺。腺的主体位于皮下组织，腺管直接或间接开口到皮肤表面。

哺乳动物因特有乳腺而命名，但在原兽类中，乳腺是复管腺，无乳头，直接开口在皮肤表面，整个乳区是凹陷的，乳汁流到这个凹区内，幼仔借从凹区长出的簇毛舔食乳汁。其他兽类的乳腺管开口到真乳头或假乳头，仔兽有软唇吸吮乳汁。真乳头是乳房的一个突起区，并由一个或几个腺管直接开口到外部。只有一条乳腺管的动物有某些啮齿类、有袋类和食虫类，而食肉类和灵长类，则为有几个腺管开口，并在突起区有多达 20 条分离的管。假乳头是乳腺区的皮肤向外生长形成一个大的隆起部，乳腺管先开口到位于假乳头基部的“蓄乳池”，乳汁再被二级的管运到皮肤表面。马、牛、羊等均为假乳头。

乳腺活动和分泌机能受卵巢、垂体腺前叶及肾上腺皮质的控制。

乳腺的分布与各种母兽哺乳习性有关。狗、猫、猪等动物的乳房位于腹侧面，由腋窝到腹部，它们哺乳时采用侧卧姿式。马、羊、牛的乳头分布在两后腿之间，哺乳时采用站立姿式。象的一对乳房位于两前肢之间。鲸的乳房位于腹股沟区域，在外生殖器两侧，这与游泳中哺乳适应。灵长类营树栖生活，乳房位于胸部，便于母兽抱婴儿哺乳和攀援。毛皮兽如水貂、狐、貉等的乳头成对位于腹部。

4. 气味腺 (scent gland)

气味腺的分泌物是化学通讯物质，有招引（如麝、大灵猫和麝鼠的香腺）或驱避（如狐、水貂和黄鼬的臭腺）的作用。很多动物都有气味腺，有的已被人类利用，如药用或香料用，有的尚未被人类充分认识。气味腺可能存在于动物体的任何区域，如啮齿类在尿生殖孔附近，蝙蝠在面部，袋鼠、野猪和骆驼在背部，偶蹄类中在足部或两蹄之间，

狗在尾基部，象在颞区，鹿和羚羊在眼区，麝在腹壁，许多食肉动物在鼠蹊部等。

1.1.2.3 角 (horn)

角是哺乳动物中某些有蹄类如鹿、狍、羚羊、岩羊、犀牛等所具有的，为头部表皮和真皮部分特化的产物，是角斗和防卫器官。这些角一般分四种：角质纤维角 (keratin-fiberhorn)、鹿角 (antler)、羚羊角 (pronghorn) 和洞角 (hollow horn)。

1. 角质纤维角

角质纤维角仅见于犀牛，是由角质化的纤维形成的坚硬结构。角质纤维是由覆盖在长形的真皮乳头上的表皮产生的，每条纤维似一根毛，分别由每个乳头发发生，乳头之间的部分产生的类似粘合物把这些纤维凝集在一起。这些纤维像毛但不是真正的毛，因为它们的基部不是位于真皮的毛囊里。这种角位于犀牛的头部中间，印度犀牛有一个角，非洲犀牛有两个前后排列的角，前方的大。这种角因是由表皮形成的角质纤维粘合而成的，不够坚固，甚至可活动，是各种角中最原始的类型。

2. 鹿角

鹿角是由额骨生出的一对骨质突起，它是在皮肤的诱导下产生的。在角初生时，表面被以柔软的皮肤，真皮中的血管供应养分，表面皮肤带有绒毛。当角长大后，围绕其基部出现一环状沟，将供给皮肤的血液截断，使角上的皮肤干燥、破裂并经摩擦而剥脱，这时正值秋季。到翌年春天，角和额骨间发生变性，组织疏松，使角脱落，周围皮肤将此区覆盖并愈合。之后，由此处又长出新角。

梅花鹿、马鹿、驼鹿等均雄性有角，驯鹿、北美驯鹿的两性均有角。

另外，长颈鹿两性均有角，该角小而不脱落、终生保持角外皮肤的绒毛状。

3. 羚羊角

羚羊角仅出现在羚羊头上，类型独特。它是由额骨的突起和覆盖在外的表皮角质鞘构成。外在的角质覆盖物每年脱落、再生一次。

4. 洞角

洞角来源于表皮和真皮，是真正的皮肤衍生物。它是额骨上方的突起，外被表皮角质层，角内为一空腔，与额骨的额窦相连，腔扩展进入骨质突起内。洞角发生时，先在额骨上方的每侧皮下由真皮产生一个疏松的球形骨质体，名角骨，由角骨形成角后，与额骨融合。外层的角质是由表皮角质层特化而来。洞角终生不脱换。山羊、绵羊、牛等均具洞角。

1.1.2.4 趾 (指) 端保护物

陆生四足脊椎动物以四肢运动，首先要用趾接触地面，就必须对趾端有保护措施，使爬行类、鸟类和哺乳类在趾端有了爪、蹄和指甲等保护物。

这些趾端保护物均为表皮角质层特化的坚硬结构。在这些结构中，能清楚地看到表皮的透明层。

1. 爪 (claw)

爪可看作是由两个鳞片所构成，一片位于背面称爪体，另一片位于腹面称爪下体，整个把趾的末一节趾骨遮盖，并使之加强。哺乳动物有爪的种类中，其爪的下体偏小并和爪垫连接。在辐射适应过程中，爪的形状有许多变化，如獾和鼯鼠，为适应穴居掘土生

活, 爪变得宽而钝; 猫科动物为便于运动和捕捉动物, 爪尖锐而弯曲, 能伸缩。一些动物由爪而发展为蹄和指甲, 例如狐猴, 有几个趾具爪, 而另几个趾具指甲; 眼镜猴后足的第二、三趾有爪, 余趾具指甲。好多动物只有蹄或指甲。

2. 指甲 (nail)

指甲是变形的爪, 为末节指和趾骨背侧面上的角质板片, 仅见于灵长类, 爪体宽而扁, 爪下体收缩成小的残余物, 位于指甲顶端的下面。指甲根是爪体的生长区, 埋于皮肤下方的囊中, 这个部分称为甲沟。甲床位于甲体和甲根下方, 分为近端、中段和远端三部分。近端部又称甲基, 与指甲的形成有关。人的指甲基部可见一透明的白色弧影, 生发层特厚, 尤其是拇指指甲更明显。指甲基部上方皮肤的生发层构成比较粗糙的边缘, 指甲由该处从甲沟显露出来, 称为甲上皮。

3. 蹄 (hoof)

蹄为有蹄类动物特化的爪。爪体弯曲, 围绕趾的末端, 爪下体变宽, 被包于爪体中央。爪体接触地面, 爪垫位于蹄的后方。由于爪体较爪下体硬, 磨损较慢, 使边缘保持锐利, 许多有蹄类行走稳而不滑, 便是依赖这个结构。

不论是什么样的趾端保护物, 均是与其生活方式密切相关的, 是适应环境和进化的产物。

1.1.2.5 表皮鳞 (epidermis scale)

表皮鳞本是多数爬行动物所具有的体表结构, 而一些现存哺乳动物仍保留着这种结构。典型的动物有各种犰狳如三带犰狳 (*tolypeates matacus*)、六带犰狳 (*dasytus sexcinctus*) 及九带犰狳 (*dasytus novemcinctus*) 和穿山甲 (*manis pentadactyla*)。而有一些动物身体的个别部分有鳞。

哺乳动物的鳞是表皮衍生物, 犰狳的表皮鳞位于真皮骨的上面, 穿山甲除腹面外, 全身都遮盖着大的、覆瓦状排列的角质表皮鳞, 是典型的爬行类鳞的结构。爬行类鳞有周期性脱落更新, 而穿山甲的鳞只是单个脱落和恢复。棕熊 (*ursus arctos*) 和欧洲刺猬 (*erinnaceus concolor*) 的胎儿也曾短暂地出现表皮鳞, 随后全部脱落。许多哺乳动物的尾和足都有鳞, 只是常与毛相伴生。鼠类、麝鼠、海狸鼠等许多啮齿类尾部出现覆瓦状的表皮鳞, 无论在构造上还是在发生上都与真正的爬行类的鳞相同, 只是在角化程度上不那么明显, 也没有周期性脱换。在这些有鳞部位, 仍有毛从鳞间长出, 例如鼠尾的每个鳞片下均长出三根毛, 中间的一根比两侧的要长些、粗些。

这种表皮鳞是表皮角化的衍生物, 具有发育良好的角质层, 是营陆地生活脊椎动物的显著特征。两栖类很少有表皮鳞, 而爬行类、鸟类和某些哺乳类均发育的很好。

与这种表皮鳞的排列相似, 哺乳动物的毛的鳞片层也是一个个角化的鳞片相继排列。

1.2 哺乳动物体被的功能

皮肤及其衍生物构成了体被, 是覆盖在动物身体外表的一种构造。动物借助于体被保护身体, 借助于体被直接与外界环境接触, 也借助于体被完成一系列生命活动。皮肤及其衍生物构成了一个复杂的皮肤系统, 作为机体的重要的有机组成部分, 实现着多方

面的功能。

哺乳动物体被在结构上的特殊性,使其功能更为完善,为哺乳动物的极强生命力和广泛的适应性创造了条件。在长期进化过程中,哺乳动物在一定程度上继承了其祖先的皮肤结构和功能并发展完善,使其与环境达到了广泛而高度的统一,也使哺乳动物机体内各器官系统与体被系统的联系更密切、更协调、更统一。

哺乳动物体被的功能主要表现在防卫、调节、感觉、排泄、分泌和运动等方面。

1.2.1 防卫功能

防卫功能是动物最原始、最主要的皮肤机能。体被遮盖在动物体表,保护体内的组织和器官,毛被发达的动物,靠毛被增强抵御体外撞击等机械损伤和抗拒敌害袭击的能力;毛被退化的动物,其皮肤增厚,角质层发达,同样有此功能。哺乳动物所具有的坚固而柔软的体被在使这种功能得到完善的同时,又不限制身体活动。哺乳动物体被一边与内部结构相连、一边与环境直接接触,能有效地使内部组织器官与环境隔离,能防止外界物理的或化学的刺激作用于机体、干扰内环境,也能防止体内水分的过量散失。皮肤连同其各种外在的衍生物构成一层连续而无缺损的边界,能够防止细菌等微生物的侵入。

哺乳动物丰厚的毛被代替了爬行动物的坚硬而限制活动的鳞甲,它性质稳定,不易被水、酸、盐及微生物等破坏,能有效地起到身体的屏障作用,除缓冲机械刺激外,还能防止雨水、污物等接触皮肤、损害皮肤,特别是水生种类,如海豹、海獭、水獭等,毛被丰厚平顺,虽然经常在水中生活,但能避免水接触皮肤;毛被还具有控制体温的保护作用;另外,由于毛色与环境的协调统一,使动物能有效地伪装和隐蔽,同样起到保护作用。

皮脂腺能不断地分泌皮脂来润泽毛被和表皮,对加强和巩固体被的保护机能起到了积极作用。

发达的表皮角质层同样是保护机体的良好屏障,一般毛被发达的动物,表皮并不很厚,因其靠毛被执行一部分屏障功能,而一些毛被稀疏及无毛的哺乳动物,表皮的功能就显得十分重要了。如鲸、海豚等动物能在海水中浴而不缩,河马能在淡水中浴而不胀,正是因为其表皮有良好的抗透水性。不仅如此,发达的角质层的抗击、抗磨能力都很强。经常性的外来刺激都不容易完全破坏角质层而损伤机体的原因还在于角质层是不断修复更新的结构。暴露在体表最外层的角质层是一些高度角化的细胞排列堆积形成的,它有可折性和弹性,在其脱落前执行保护功能。由于表面角质细胞的剥脱和内在生发细胞的分裂增生之间处于动态平衡之中,使表皮稳定地保持一定厚度。另外,表皮内的黑色素细胞产生的黑色素能使动物体免受紫外线的损伤。

真皮作为致密结缔组织,有良好的弹性和韧性,因为其主要成分是胶原纤维、弹性纤维和网状纤维。不仅使机体得以保持一定的外廓,也使其适应于剧烈复杂的运动。胶原纤维有很高的抗张强度,又形成巧妙的编织并多与身体纵轴平行分布,当动物奔跑跳跃时,都不会损伤皮肤。发达的皮下组织含有较多的脂肪,不仅使机体对外界机械刺激有缓冲作用,也使皮肤有往返滑动的余地,适应机体各种姿式的变化。