

兔褐色蒙古马肩部“鹰膀标记”区域 与背中线、臀部皮肤组织形态差异

安塔娜 韩海格* 陶克涛 宝音德力格尔 李文博 芒来*

内蒙古农业大学动物科学学院, 内蒙古自治区马属动物科学研究与技术创新重点实验室 呼和浩特 010018

摘要: 鹰膀标记是普氏野马 (*Equus ferus przewalskii*) 和蒙古马 (*E. caballus*) 特有的一种原始标记, 表现为马肩胛部生成左右对称的不规则黑斑图案。为研究鹰膀标记的皮肤组织形态结构, 本研究采用苏木素-伊红染色技术, 观察并分析了蒙古马肩部鹰膀标记、背中线(背部)及臀部皮肤区域的毛囊组织形态结构、色素沉积模式、表皮层厚度和毛囊密度。采集了 6 匹带有鹰膀标记的兔褐色蒙古马上述三个部位的皮肤组织样本, 采用石蜡包埋、切片(包括横切与纵切)、染色方法, 并进行了显微镜观察。苏木素-伊红染色技术展示了蒙古马皮肤的典型结构和毛囊的精细结构, 结果显示其表皮层及毛囊毛球均存在明显的黑色素沉积, 并且可以清楚区分毛球中的褐黑素和真黑素。观察到臀部生长期毛球中色素沉积呈现明显不对称性, 而这一特征在肩部和背部不明显。统计数据显示, 背部与肩部的毛囊密度相近, 而臀部区域的毛囊密度显著高于前两者。表皮层厚度的测量结果表明, 臀部与肩部之间存在显著差异。综上所述, 本研究通过石蜡切片与苏木素-伊红染色技术, 详细观察了带有鹰膀标记的兔褐色蒙古马在三个不同部位的皮肤和毛囊的形态学特征, 以及色素沉积的模式, 为揭示蒙古马特有鹰膀标记形成的形态学基础和育种工作提供了重要的依据和参考。

关键词: 兔褐色蒙古马; 色素沉积; 毛囊; H.E 染色; 石蜡切片; 鹰膀标记

中图分类号: Q954 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2025) 03-427-09

Morphological Differences in the Skin Tissue Among the “Bider Marking” Region on the Shoulders, the Dorsal Midline and the Croup Areas of Dun Mongolian Horses

AN Ta-Na HAN Hai-Ge* MONGKE Togtokh MONGKEJARGAL Baoyindeligeer
LI Wen-Bo DUGARJAVIIN Mang-Lai*

College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Inner Mongolia Key Laboratory of Equine

Science Research and Technology Innovation, Hohhot 010018, China

Abstract: [Objectives] The Bider marking is a distinctive feature on horses, characterized by unique and

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. U23A20224);

* 通讯作者, E-mail: hanhaige@126.com, dmanglai@163.com;

第一作者介绍 安塔娜, 女, 博士研究生; 研究方向: 动物遗传育种与繁殖; E-mail: 1665634650@qq.com.

收稿日期: 2024-05-06, 修回日期: 2024-11-21 DOI: 10.13859/j.cjz.202524106 CSTR: 32109.14.cjz.24106

symmetrical black irregular patterns located on the shoulder blades. Currently, this marking is found exclusively on Przewalski's Horse *Equus ferus przewalskii* and Mongolian Horses *E. caballus* that exhibiting a Dun coat color. This study aims to explore the differences in the formation of skin and hair follicles between the Bider marking area (shoulder), the dorsal midline and croup areas of Dun Mongolian Horses. **[Methods]** Paraffin sectioning and hematoxylin and eosin (H.E) staining techniques were employed to observe and analyze the morphological structure of hair follicles, patterns of pigment deposition, epidermal thickness, and hair follicle density in the skin regions of the shoulder, dorsal midline, and croup of Mongolian Horses. Skin tissue samples were collected from the shoulder, dorsal midlines, and croup of six Dun Mongolian Horses with Bider markings (Fig. 1). These samples underwent paraffin embedding, sectioning (both transverse and longitudinal), H.E staining, and subsequent microscopic observation using a BX53 (LED) semi-electric fluorescence microscope. To assess the symmetry of the anagen hair bulbs, five unique microscopic images of anagen hair bulbs from the shoulder, dorsal midline, and croup were selected through longitudinal sectioning. The hair bulbs were divided into left and right sides based on the central line of the hair papilla. *t*-test was performed on data exhibiting uniform hair follicle morphology, with data values for the left and right sides of each hair bulb recorded separately. Hair follicle density and epidermal thickness were measured using both transverse and longitudinal sectioning preparation methods. Continuous sections containing hair follicle shafts and the epidermal layer were selected from skin tissues of the shoulder, dorsal midline, and croup, all observed under consistent microscopic conditions. Five representative images were selected for measurements. Hair follicle counting involved tallying the number of clearly visible hair follicles in each selected image, with the total count recorded for each field of view. To measure epidermal thickness, Image View image processing software was employed to obtain precise measurements within the epidermal layer of each image, and the corresponding values were documented. *t*-test was applied to determine whether significant differences existed in hair follicle density and epidermal thickness across different areas (shoulder, dorsal midline, croup). Statistical analysis of the data was conducted using GraphPad Prism 10 software. **[Results]** Following longitudinal sectioning and H.E staining of skin tissues (Fig. 2a), the epidermal layer (Fig. 2b), dermal layer, hair follicle structure, and sebaceous glands were examined. The hair follicle structure included the hair shaft, hair bulb (Fig. 2c), hair root, inner root sheath, outer root sheath, and hair papilla. Transverse sectioning facilitated the observation of the hair cortex, medulla, and cuticle structures of the hair shaft (Fig. 2d). Longitudinal sectioning of skin tissues from the shoulder, dorsal midline, and croup (Fig. 3) revealed the structural integrity of the skin tissues and hair follicles. The shoulder (Fig. 3a) and croup (Fig. 3c) were in the anagen phase, while the dorsal hair follicles exhibited atrophy (Fig. 3b), indicating they were in the catagen phase. Pigment deposition was observed in the epidermal layer and hair bulb regions of the dorsal midline, shoulder, and croup. Hematoxylin and eosin (H.E) staining revealed significant melanin deposition in the epidermal and hair bulb areas, facilitating the distinction between eumelanin and pheomelanin. Notably, significant asymmetry in pigment deposition was observed in the anagen hair bulbs of the croup. However, this asymmetry was not observed in the shoulder and dorsal midline (Fig. 4). In the comparative observation of pigment deposition in anagen hair bulb regions (Fig. 5), it was noted that the pigment distribution on the shoulder ($P = 0.866$) and dorsal midline ($P = 0.093$) exhibited symmetrical characteristics, with no statistically significant difference in pigment deposition area between the left and right sides. Conversely, pigment

deposition on the croup displayed significant asymmetry ($P = 0.049$). In our comparison of follicle density among the shoulder, dorsal midline, and croup coats (Fig. 6a), we observed highly significant differences in follicle density between the croup and shoulder ($P = 0.002$) as well as between the dorsal midline and shoulder ($P = 0.001$). When examining the thickness of the epidermal layers in the shoulder, dorsal midline, and croup coats (Fig. 6b), we found that the difference in epidermal layer thickness between the dorsal midline and croup was not significant ($P = 0.558$). Additionally, the difference in epidermal layer thickness between the dorsal midline and shoulder was also not significant ($P = 0.059$). However, a significant difference in epidermal layer thickness was observed between the croup and shoulder ($P = 0.020$). **[Conclusion]** This study offered a comprehensive examination of the morphological characteristics of skin and hair follicles, along with pigment deposition patterns, in various coat regions of Dun Mongolian Horses with Bider markings. These findings provide an important foundation and reference point for future research on the morphological basis of the distinctive Bider marking in Mongolian Horses.

Key words: Dun Mongolian Horse; Pigmentation; Hair follicle; H.E staining; Paraffin section; Bider marking

哺乳动物的皮肤结构层次分明, 由外而内依次为表皮层、真皮层及皮下组织。真皮层是毛囊、皮脂腺及汗腺的密集分布区, 也是皮肤结构与功能的核心所在(沈霞芬等 2019)。毛囊结构分为内根鞘、外根鞘及外围的结缔组织性鞘。该结构不仅保护了毛发的生长环境, 还确保了毛发能够顺利穿过皮肤, 形成毛干部分。毛干的根部深藏于皮肤之内, 称为毛根。毛根富含黑色素, 这是决定毛发颜色的关键因素, 毛干由髓质、皮质及最外层的毛小皮构成(Shahsavari et al. 2024)。毛根周围的毛囊结构可分为内外两层: 内层为上皮性鞘, 包括内根鞘和外根鞘; 外层为结缔组织性鞘。毛根与毛囊的下端汇聚, 形成毛球(Martel 2024), 这是毛发生长的起点, 富含毛母质细胞。毛球底部的凹陷区域称为毛乳头, 内部充满血管与神经, 为毛发生长提供必要的营养与信号, 并扮演诱导毛发生长的重要角色(Prost-Squarcioni 2006)。对成熟的生长期(anagen)毛囊纵切观察发现, 毛囊沿表皮至真皮的方向被分为无明显周期性特征的上部和具有典型毛囊周期性变化特征的下部, 其中, 上部由漏斗和峡部构成, 下部是毛球(Fuchs 2008, Fuchs et al. 2008)。

毛色的多样性主要由黑色素细胞的分布与活性决定。这些源自神经嵴的细胞在胚胎发育

阶段便开始迁移至真皮层及毛囊中, 对合成黑色素起着重要作用(Erickson 1993, Parichy et al. 2006, Cichorek et al. 2013)。黑色素的种类主要包括真黑素与褐黑素, 它们以不同的比例沉积于毛发与皮肤中, 从而决定了动物独特的毛色(巫小倩等 2016)。真黑素形成黑色的毛发, 而褐黑素形成棕色毛发(Jackson 1993)。家马的不同毛色是由多个基因共同决定的, 这些候选基因通过不同的组合方式产生多种多样的毛色。家马的毛色可分为基础毛色、稀释毛色、褪色和白斑。兔褐色是以骝色为基础的稀释毛色, 具有独特的原始标记, 如腿部虎斑、肩胛部不规则黑色斑纹(鹰膀标记)和背中line等。鹰膀标记是一种原始标记, 在马肩胛部生成独特的黑斑图案, 而且左右对称, 通常出现在兔褐色的马身上。在2008年, 日本与蒙古国的科研团队首次发现鹰膀标记只出现在普氏野马(*Equus ferus przewalskii*)和蒙古马中(*E. caballus*)(Masuda et al. 2007)。

本研究运用苏木素-伊红染色(hematoxylin and eosin staining, H.E)技术, 分析了带有鹰膀标记的兔褐色蒙古马肩部、背部及臀部皮肤区域的毛囊形态结构、色素沉积特征、表皮层厚度以及毛囊密度的分布情况, 旨在揭示这种独特的鹰膀标记在蒙古马皮肤上形成

的形态学基础，为后续特殊毛色家马的选种选育及物种保护策略提供形态学基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验样本

此实验样品均来自内蒙古自治区锡林郭勒盟东乌珠穆沁旗的蒙古马，共 6 匹，均为兔褐色。分别在肩部（鹰膀标记）、背部和臀部采集 1 cm × 1 cm 皮肤组织（图 1），样本在 4% 多聚甲醛中固定 18 h，随后继续进行其余实验。涉及动物实验方案的伦理标准已通过内蒙古农业大学实验动物福利与伦理委员会的伦理审查，伦理审查受理号为 NND2023085。

1.2 实验方法

1.2.1 皮肤组织石蜡切片制作过程 在制作皮肤组织切片的过程中，包埋步骤中的软蜡（熔点 56 °C）与硬蜡（熔点 60 °C）的浸蜡步骤非常重要。此步骤的目的是去除组织样本在脱水和透明化步骤后残留的二甲苯等透明剂，确保这些化学残留不会干扰后续的切片和染色过程。脱水处理是将先前保存在 4% 多聚甲醛溶液中的皮肤组织依次置于 75%、85%、95% 及

两次 100% 浓度的酒精溶液中，各浸泡 12 h。随后，组织样本经过修剪，并在 1 : 1 比例的无水乙醇与二甲苯混合液中透明化处理 20 min，再经过两次纯二甲苯溶液的透明处理，每次 20 min。完成透明化后，组织样本进入浸蜡阶段，此时将二甲苯逐渐替换为含有一半软蜡的混合液，并在 65 °C 以上的真空干燥箱中进行 20 min 的加热过渡处理，期间全程进行抽气操作，以减少气泡并促进组织样本与蜡质的融合。接着，样本在纯软蜡溶液中浸蜡 30 min，同时维持 0.05 mPa 的抽气压力。之后，样本被转移至由软蜡与硬蜡以 1 : 1 比例混合的溶液中过渡 20 min，最终完全浸入硬蜡中，并持续抽气 3 h。这一系列操作不仅使组织样本与石蜡包埋剂达到相同硬度，为切片提供必要的支撑，还通过软蜡到硬蜡的逐渐过渡，优化了切片质量。完成浸蜡后，样本在锡纸盒中进行 24 h 的包埋处理。随后，对蜡块进行修整，并使用切片机切成厚度 6 μm 的组织切片。这些切片经过摊片机平展开后，用载玻片捞起，并在 65 °C 条件下烘 2 h，以确保切片牢固地附着在载玻片上，为后续的显微镜观察提供高质量的样本。



图 1 兔褐色蒙古马对应采样位置

Fig. 1 Skins sampling locations for the Dun Mongolian Horse *Equus caballus*

红色、黑色和蓝色箭头依次指示肩部、臀部和背部的具体采样位置。

The red, black, and blue arrows show the sampling locations for the shoulder, croup, and dorsal midline.

1.2.2 苏木素-伊红染色过程 在染色前, 将石蜡切片置于 65 °C 恒温烘箱中烘烤 1 h, 以确保组织块牢固地黏附于载玻片上。随后, 将切片浸入二甲苯溶液中进行两次脱蜡处理, 每次持续 8 min, 以彻底去除切片上的石蜡。接着, 利用梯度酒精进行脱水, 依次将切片浸入 100% 乙醇(两次)、95% 乙醇、85% 乙醇和 75% 乙醇, 每步持续 3 min, 最后在蒸馏水中浸泡 3 min, 以完全去除乙醇。接下来, 将切片置于苏木素染液中浸泡 8 min, 以使细胞核着色, 随后用流水冲洗大约 20 min, 直至切片上的苏木素被完全冲洗掉。之后, 将切片浸入分化液中等待 20 s, 再用自来水冲洗 10 min, 以便使细胞核着色更加清晰。然后, 将切片置于伊红染液中染色 1 min, 倾去多余的染液后, 快速通过 95% 乙醇(两次)和 100% 乙醇进行脱水, 每步浸洗 3 s, 最后在 100% 乙醇中浸泡 1 min。完成脱水后, 将切片浸入二甲苯溶液中进行两次透明处理, 每次 2 min。最后, 用中性树胶将切片封固于载玻片上, 并置于室温(26 °C)下自然晾干, 以备后续的显微镜[BX53(LED)半电动荧光显微镜, 日本奥林巴斯公司]观察。

1.2.3 肩部、背部和臀部毛球中的色素沉积观察 为了测量色素沉积的数据, 首先, 将毛囊切片进行染色处理, 随后在 Image View 软件中进行精确的测量。测量时, 以毛囊毛球的毛乳头为中心线, 明确区分色素区域的左右两侧, 以准确划分并测量左右两侧的色素面积。为了获得可靠的数据, 对肩部、背部和臀部的毛囊进行了至少 5 个连续切片的测量, 每个毛囊的切片数量控制在 10 个以内。计算出这些部位毛球左右两侧色素面积的差异百分比, 结果以平均值 \pm 标准误 (mean \pm SE) 的形式表示。在数据记录与分析过程中, 分别记录每个毛球左右两侧色素的数据值, 并通过双尾 t 检验统计差异显著性。最后, 使用 Graph Pad Prism 10 软件对收集到的数据进行系统整理, 并绘制了柱状图进行直观展示。

1.2.4 肩部、背部和臀部毛囊密度和表皮层厚度测量观察 通过横切和纵切, 在相同的显微镜观

察条件下, 从肩部、背部和臀部的皮肤组织中选取了包含毛囊毛干和表皮层的连续切片。在这些切片中, 挑选 5 个具有代表性的图片(无重复), 用于后续的毛囊计数和表皮层厚度测量。毛囊计数是在每个选定图片中选择清晰可见的毛囊, 记录每张视野图片中的毛囊总数。同时, 使用 Image View 图像处理软件, 在每个图片测量表皮层的厚度。对每个部位的毛囊计数和表皮层厚度数据进行了平均处理, 得到了各自的平均值。最后, 使用 t 检验统计方法比较这些平均值, 以检验不同部位(肩部、背部、臀部)之间的毛囊计数和表皮层厚度是否存在显著差异。

1.3 数据分析

所有数据均以平均值 \pm 标准误 (mean \pm SE) 表示。面积、厚度和密度的测量均在 Image View 软件上进行, 数据整理使用 Excel 软件, 并在 Graph Pad Prism 10 软件上进行 t 检验。 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著, 而 $P > 0.05$ 则表示无显著差异。

2 结果

2.1 皮肤和毛囊的结构

对皮肤组织进行纵切并进行苏木素-伊红(H.E)染色(图 2a)后, 观察到表皮层(图 2b)、真皮层, 以及毛囊结构和皮脂腺。毛囊结构包括毛干、毛球(图 2c)、毛根、内根鞘、外根鞘和毛乳头等。横切结果显示毛干(图 2d)内的毛皮质、毛髓质和毛小皮结构。

从肩部、背部和臀部的皮肤组织纵切(图 3)中可以观察到皮肤组织和毛囊结构的完整性和生长周期。肩部(图 3a)和臀部(图 3c)处于生长期, 而背部(图 3b)的毛囊萎缩现象表明其处于退行期(catagen)。在背部、肩部和臀部, 可以观察到表皮层和毛囊毛球部位的色素沉积情况。

对毛干进行横切(图 4)可以观察到色素沉积情况。肩部(图 4a)皮肤毛囊的色素沉积模式与背部(图 4b)相近, 呈现均匀现象。相对而言, 臀部皮肤毛囊的色素沉积则呈现不均匀现象(图 4c)。

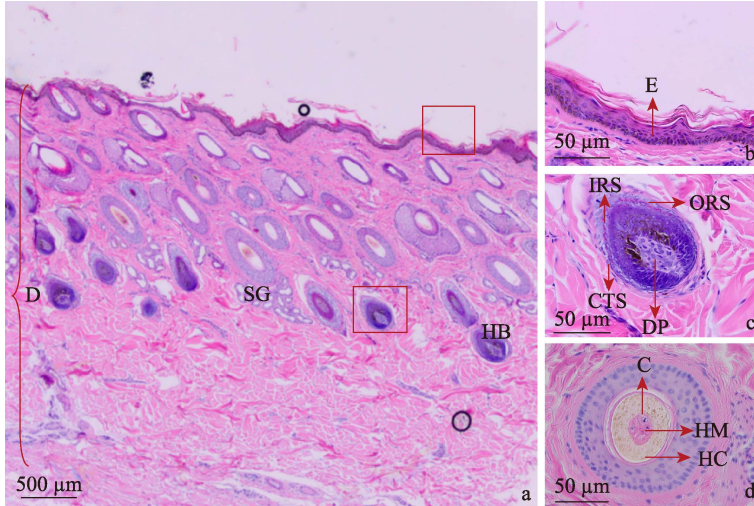


图2 皮肤和毛囊的苏木素-伊红染色

Fig. 2 H.E staining of skin and hair follicles

a. 真皮层和表皮层的区分; b. 图 a 中表皮层框的扩大; c. 图 a 中毛球部位框的扩大; d. 毛干横切。C. 毛皮质; CTS. 结缔组织鞘; D. 真皮; DP. 毛乳头; E. 表皮; HB. 毛球; HC. 毛小皮; HM. 毛髓质; IRS. 内根鞘; ORS. 外根鞘; SG. 皮脂腺

a. Distinction between dermis and epidermis; b. Enlargement of the solid box in the epidermis from fig. a; c. Enlargement of the solid box indicating the hair bulb area in fig. a; d. Transverse section of hair shaft. C. Hair cortex; CTS. Connective tissue sheath; D. Dermis; DP. Dermal papilla; E. Epidermis; HB. Hair bulb; HC. Hair cuticle; HM. Hair medulla; IRS. Inner root sheath; ORS. Outer root sheath; SG. Sebaceous gland

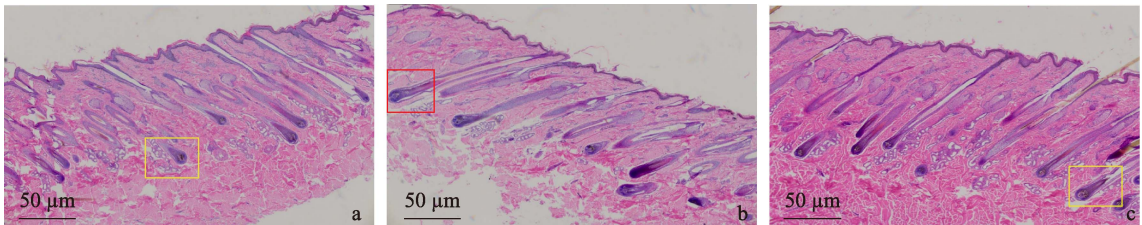


图3 皮肤组织 H.E 染色纵切图

Fig. 3 Longitudinal section of H.E staining of skin tissue

a. 肩部; b. 背部; c. 臀部。黄色方框是生长期毛囊, 红色方框是退行期毛囊, 有萎缩现象。

a. Shoulder; b. Dorsal midline; c. Croup. The yellow boxes highlight hair follicles in the anagen, while the red boxes indicate hair follicles in the catagen, showing signs of atrophy.

2.2 肩部、背部和臀部毛球中的色素沉积

对比观察生长期毛囊毛球部位的色素沉积情况(图5), 背部($t = 2.200, df = 4, P = 0.093$)与肩部($t = 0.180, df = 4, P = 0.866$)的色素呈现对称分布, 左右两侧的色素沉积面积无显著差异。相比之下, 臀部的色素沉积则表现出明显的不对称性($t = 2.797, df = 4, P =$

0.049)。

2.3 肩部、背部和臀部毛囊密度和表皮层厚度

对比肩部、背部和臀部被毛的毛囊密度(图6a)发现, 臀部与肩部($t = 4.356, df = 8, P = 0.002$)以及背部与肩部($t = 4.801, df = 8, P = 0.001$)之间的毛囊密度均存在极显著差异。对比肩部、背部和臀部被毛的表皮层厚

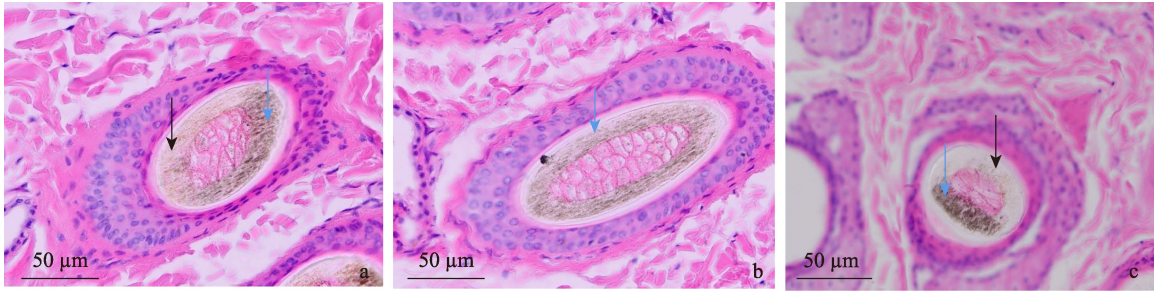


图 4 毛干横切图

Fig. 4 Transverse section of hair shaft

a. 肩部; b. 背部; c. 臀部。蓝色箭头是真黑色素, 黑色箭头是棕黑色素。

a. Shoulder; b. Dorsal midline; c. Croup. The blue arrows indicate eumelanin, while the black arrows indicate pheomelanin.

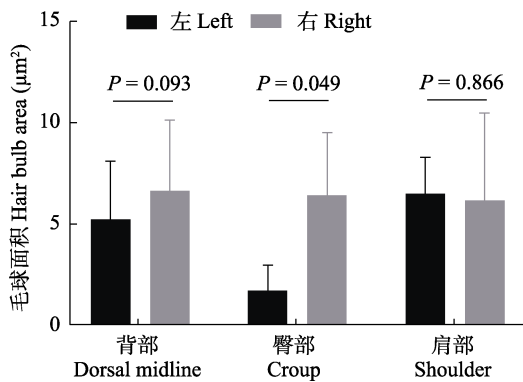
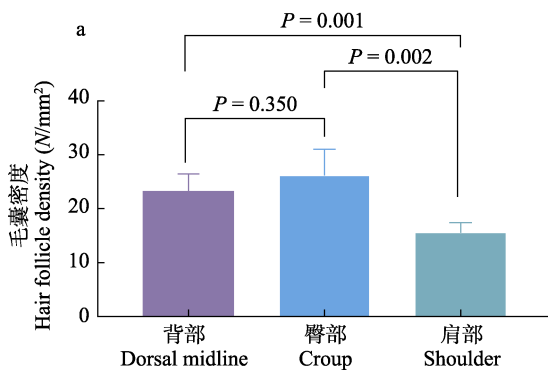


图 5 背部、臀部、肩部皮肤组织的毛球面积对称性比较

Fig. 5 Comparison of hair bulb area symmetry of skin tissue on the dorsal midline, croup, and shoulder regions



度 (图 6b), 背部与臀部之间的表皮层厚度差异不显著 ($t = 0.612, df = 8, P = 0.558$), 背部与肩部与之间的表皮层厚度差异同样不显著 ($t = 2.201, df = 8, P = 0.059$), 但是, 臀部与肩部之间的表皮层厚度则存在显著差异 ($t = 2.907, df = 8, P = 0.020$)。

3 讨论

家马的基础毛色分为骝色、黑色和栗色。我国将家马的毛色分为 13 类: 骝毛、栗毛、黑毛、青毛、兔褐毛、海骝毛、鼠灰毛、银鬃毛、花尾栗毛、沙毛、白毛、花毛和斑毛。除了上述毛色外, 家马还具有稀释毛色, 这些颜色是由于修饰基因抑制毛囊中的黑色素而形成 (赵

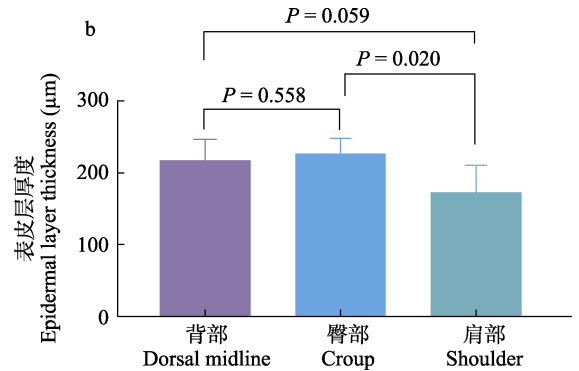


图 6 不同部位毛囊密度 (a) 和表皮层厚度 (b) 比较

Fig. 6 Comparison of hair follicle density (a) and epidermal layer thickness (b) in different regions

若阳等 2018), 例如奶油、兔褐、银鬃、珍珠和香槟等毛色。除了基础毛色和稀释毛色外, 家马还具有青、沙和显性白等褪色和白斑(安塔娜等 2024)。家马丰富的毛色是人为选育的结果, 而野生型毛色具备伪装作用, 比如稀释毛色中的兔褐色。兔褐色的形成是由于 *TBX3* 基因突变导致的, 在现代家马中并不常见(Imsland et al. 2016)。

家马“原始标记”指的是马匹与生俱来的、独特的身体特征或标记。这些标记有助于人们识别和区分马匹, 具体包括白斑和暗章(韩国才 2017)。暗章是出现在马匹的躯干部或四肢部位的暗色条纹或斑纹, 其中, 背中线是马背部的一条深色条纹, 称为骹线; 虎斑是马前膝与飞节部的深色条纹, 有时也被称为斑马纹; 而鹰膀标记则是在兔褐色的基础上, 肩部出现黑色不规则对称图案, 通常在灰兔褐、黄兔褐、红兔褐等稀释毛色中出现。目前发现这种标记仅出现于普氏野马和蒙古马中(Masuda et al. 2007)。这些原始标记通常会在具有背中线的背景下共同出现, 从而丰富了家马的毛色多样性。

色素细胞是合成黑色素的主要细胞类型, 能够合成并分泌不同类型的黑色素(如真黑素和褐黑素), 从而形成动物多样化的毛色(Slominski et al. 2004, Schneider et al. 2009)。通过对皮肤组织的纵向和横向切片观察, 可以识别出表皮层、真皮层、毛囊结构以及皮脂腺等关键组成部分。毛囊由毛干、毛球、毛根、内根鞘、外根鞘和毛乳头等构成, 这些结构的完整性对于毛发的正常生长至关重要。在纵向切片中, 观察到了毛干的毛皮质、毛髓质和毛小皮结构, 这有助于进一步了解毛发的微观特征。色素沉积是形成鹰膀标记的关键因素之一。本研究发现, 在表皮层和毛囊毛球区域均存在显著的色素沉积, 这表明色素的形成和分布与毛囊的生长发育密切相关。通过 H.E 染色, 可以区分真黑素和褐黑素两种不同类型的色素。值得注意的是, 在臀部的毛囊毛球区域观察到

了显著的色素沉积不对称性, 而肩部和背部区域的色素沉积则呈现出对称性, 这一结果揭示了色素沉积的不对称性可能与鹰膀标记的形成和维持有关。

毛囊的生长周期包括生长期、退行期和休止期(telogen)。本研究通过观察不同区域的毛囊结构, 发现此次采样的肩部和臀部毛囊处于生长期, 而背部毛囊则处于退行期。在评估毛囊毛球的对称性时, 选择了纵向切片中的生长期毛囊毛球, 并根据毛乳头的中央线将其分为左右两侧进行比较。通过 *t* 检验分析发现, 臀部的毛囊毛球在色素沉积方面存在显著不对称性, 而肩部和背部则未观察到这种不对称性。这一结果进一步支持了色素沉积不对称性与鹰膀标记形成之间的关联。

毛囊作为皮肤的重要组成部分, 不仅为毛发提供生长环境, 还在色素沉积与调控中发挥核心作用。同时, 毛囊参与体温调节和皮肤保护等生理过程, 对动物的生存和繁衍具有重要意义(Welle et al. 2016)。毛囊密度和表皮层厚度是衡量皮肤健康状况的重要指标。本研究通过观察和测量连续切片中的毛囊轴和表皮层, 获得了肩部、背部和臀部三个区域的毛囊密度和表皮厚度数据。在比较不同区域的毛囊密度时, 发现肩部和背部之间, 臀部和肩部之间存在显著差异。在表皮厚度的比较中, 臀部与肩部之间也存在显著差异。这一结果可能与不同区域的皮肤功能和生理特性有关。例如, 臀部皮肤可能更加坚韧和耐磨, 需要更密集的毛发来保护皮肤免受损伤, 以适应马匹的坐、卧及运动需求, 而肩部皮肤则可能更加柔软和灵活, 以适应马匹的颈部和肩部的活动。

据联合国粮农组织近年来的统计数据显示, 尽管全球范围内畜牧业结构不断调整, 但世界马匹的总数量在近 50 年里基本保持在一个相对稳定的水平, 虽然数量没有显著变化, 但马匹的遗传多样性可能正在日益减少。鹰膀标记是家马稀有的一种遗传资源, 应尽快采取措施保护此类表型。

参 考 文 献

- Cichorek M, Wachulska M, Stasiewicz A, et al. 2013. Skin melanocytes: biology and development. *Postepy Dermatologii i Alergologii*, 30(1): 30–41.
- Erickson C A. 1993. From the crest to the periphery: control of pigment cell migration and lineage segregation. *Pigment Cell Research*, 6(5): 336–347.
- Fuchs E. 2008. Skin stem cells: rising to the surface. *Journal of Cell Biology*, 180(2): 273–284.
- Fuchs E, Horsley V. 2008. More than one way to skin. *Genes & Development*, 22(8): 976–985.
- Imsland F, McGowan K, Rubin C J, et al. 2016. Regulatory mutations in *TBX3* disrupt asymmetric hair pigmentation that underlies Dun camouflage color in horses. *Nature Genetics*, 48(2): 152–158.
- Jackson I J. 1993. Colour-coded switches. *Nature*, 362(6421): 587–588.
- Martel J L, Miao J H, Badri T, et al. 2024. *Anatomy, Hair Follicle*. Statpearls. Treasure Island (FL): Statpearls Publishing.
- Masuda M, Tsunoda J, Nomura H, et al. 2007. New primitive marking (bider) in Mongolian native horse and *Equus przewalskii*. *Journal of Equine Science*, 18(4): 145–151.
- Shahsavari A, Riley C A, Maughan C. 2024. *Graham-Little-Piccardi-Lasseur Syndrome*. Statpearls. Treasure Island (FL): Statpearls Publishing.
- Parichy D, Reedy M, Erickson C. 2006. Regulation of melanoblast migration and differentiation // Nordlund J J, Boissy R E, Hearing V J, et al. *The Pigmentary System: Physiology and Pathophysiology*. Malden: Blackwell Publishing Ltd, 108–139.
- Prost-Squarcioni C. 2006. *Histologie de la peau et des follicules pileux*. Médecine/Sciences (Paris), 22(2): 131–137.
- Schneider M R, Schmidt-Ullrich R, Paus R. 2009. The hair follicle as a dynamic miniorgan. *Current Biology*, 19(3): R132–R142.
- Slominski A, Tobin D J, Shibahara S, et al. 2004. Melanin pigmentation in mammalian skin and its hormonal regulation. *Physiological Reviews*, 84(4): 1155–1228.
- Welle M M, Wiener D J. 2016. The hair follicle: a comparative review of canine hair follicle anatomy and physiology. *Toxicologic Pathology*, 44(4): 564–574.
- 安塔娜, 韩海格, 陶克涛, 等. 2024. 家马不同毛色遗传特性研究综述. *畜牧兽医学报*, 55(8): 3297–3308.
- 韩国才. 2017. *马学*. 北京: 中国农业出版社, 103–104.
- 沈霞芬, 卿素珠. 2019. *动物组织学与胚胎学*. 北京: 中国农业出版社, 100–103.
- 巫小倩, 刘辰东, 堵晶晶, 等. 2016. MicroRNA 调控动物毛色和肤色的研究进展. *畜牧兽医学报*, 47(6): 1086–1092.
- 赵若阳, 赵一萍, 李蓓, 等. 2018. 马毛色遗传机理研究进展. *遗传*, 40(5): 357–368.