

# 基于红外相机技术的天山马鹿行为谱及 PAE 编码系统

马雪君<sup>①②③④</sup> 高峰<sup>⑤</sup> 穆玉琴<sup>⑤</sup> 徐峰<sup>①②③④⑥\*</sup>

① 新疆极端环境生物生态适应与进化重点实验室, 新疆农业大学生命科学院 乌鲁木齐 830052; ② 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 干旱区生态安全与可持续发展国家重点实验室 乌鲁木齐 830011; ③ 中国-塔吉克斯坦生物资源保育与利用联合实验室 乌鲁木齐 830011; ④ 中国科学院新疆生态与地理研究所新疆干旱区生物多样性保育与应用重点实验室 乌鲁木齐 830011; ⑤ 新疆天池博格达峰自然保护区管理局 阜康 831500; ⑥ 中国科学院大学 北京 100049

**摘要:** 动物行为分类系统的建立对动物行为生态学研究具有重要意义, 能够为研究人员提供便捷、系统的动物行为查询工具。本研究将动物行为的连续变化分解为基本单元, 有助于深入探讨动物行为的复杂性。天山马鹿 (*Cervus elaphus songaricus*) 作为国家二级重点保护野生动物及中国脊椎动物红色名录中的濒危 (EN) 级物种, 其行为谱仍未得到充分研究。因此, 于 2019 年 7 月至 2021 年 9 月在新疆天池博格达峰自然保护区开展研究, 利用红外相机监测技术共获取天山马鹿 4 218 张独立有效照片和 881 段视频。研究围绕“姿势-动作-环境”构建, 以行为的生态功能为基础建立了行为分类编码系统 (PAE 编码分类系统), 以期揭示天山马鹿的行为谱。研究结果显示, 天山马鹿的行为包含 11 种姿势、71 种动作、13 种环境及 75 种行为, 涵盖其主要行为活动。然而, 本研究未能捕捉到天山马鹿交配和分娩行为的图像数据, 可能是由于这些行为发生频率较低, 持续时间短, 以及马鹿倾向选择隐蔽地点进行这些活动, 避开了红外相机的监测。本研究通过建立行为谱和 PAE 编码系统, 为天山马鹿的保护提供了科学依据。

**关键词:** 天山马鹿; 行为谱; 新疆天池博格达峰自然保护区; PAE 编码分类系统 (PAE)

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2025) 01-001-11

## Behavioral Ethogram and PAE Coding System of Tianshan Red Deer Based on Infrared Camera Technology

MA Xue-Jun<sup>①②③④</sup> GAO Feng<sup>⑤</sup> MU Yu-Qin<sup>⑤</sup> XU Feng<sup>①②③④⑥\*</sup>

① Xinjiang Key Laboratory for Ecological Adaptation and Evolution of Extreme Environment Biology, College of Life Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052; ② State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands, Chinese Academy

**基金项目** 第二次青藏高原综合科学考察项目 (No. 2019QZKK0501), 中国科学院生物多样性监测与研究网络 (Sino-BON) 项目;

\* 通讯作者, E-mail: xufeng@ms.xjba.ac.cn;

**第一作者介绍** 马雪君, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物行为与保护生物学; E-mail: 564337456@qq.com.

收稿日期: 2024-05-20, 修回日期: 2024-09-18 DOI: 10.13859/j.cjz.202424117 CSTR: 32109.14.cjz.24117

of Sciences, Urumqi 830011; ③ *Sino-Tajikistan Joint Laboratory for Conservation and Utilization of Biological Resources, Urumqi 830011*; ④ *Xinjiang Key Laboratory of Biodiversity Conservation and Utilization in Arid Lands, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011*; ⑤ *Tianchi Bogda Peak Nature Reserve Administration, Fukang 831500*; ⑥ *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

**Abstract: [Objectives]** A behavioral ethogram is a comprehensive catalog that encompasses the behaviors of a specific species or group of animals under investigation. Each species exhibits a unique behavioral ethogram, which aids in the systematic study of animal behaviors. The development of an animal behavior classification system within the realm of behavioral ecology facilitates researchers in conveniently examining relevant behaviors. By deconstructing the continuous variations in animal behavior into fundamental units, deeper insights into the complexities of these behaviors can be attained. The Tianshan Red Deer *Cervus elaphus songaricus*, recognized as a second-level national key protected wild animal and classified as endangered (EN) on the *Red List of Chinese Vertebrates*, has not been extensively studied in terms of its behavioral ethogram. **[Methods]** This study was conducted from July 2019 to September 2021 in Bogda Nature Reserve, Tianchi, Xinjiang, utilizing infrared camera monitoring technology to capture a total of 4 218 independently valid photographs and 881 videos of Tianshan Red Deer. Centering on ‘posture-movement-environment’, a behavioral classification coding system based on ecological functions was established to elucidate the behavioral ecology of the Tianshan Red Deer. In this system, the letters B, P, A, and E denote the behavioral set, gesture set, movement set, and environment set of the study species, respectively, while  $b_i$ ,  $p_i$ ,  $a_i$ , and  $e_i$  represent the elements or subsets of the sets B, P, A and E. The PAE coding classification is defined as follows:  $b_i = p_i \cap a_i \cap e_i$ ;  $p_i \subseteq P$ ;  $a_i \subseteq A$ ;  $e_i \subseteq E$ . This coding system is anchored in the ecological functions of the PAE framework. **[Results]** The research documented a total of 11 distinct postures (Table 1), 71 actions (Table 2), and 13 environment types (Table 3) observed in Tianshan Red Deer. By assigning PAE codes to the various environments, postures, and actions involved, a total of 75 behaviors were identified (Appendix 1), reflecting the species’ primary behavioral repertoire. **[Conclusion]** This study represents the first comprehensive construction of the behavioral spectrum and PAE coding system for Tianshan Red Deer. Notably, no image data was obtained for mating and parturition behaviors, likely due to the infrequency and brief duration of these events, as well as the deer’s preference for secluded locations, which minimises detection by infrared cameras. By establishing the behavioral ethogram and PAE coding system for Tianshan Red Deer, this research provides a scientific basis for their management and conservation efforts.

**Key words:** *Cervus elaphus songaricus*; Ethogram; Xinjiang Tianchi Bogda Nature Reserve; PAE coding classification system (PAE)

动物行为是在特定环境条件下为了满足生理需求而展示的一系列姿势和动作,例如生存、繁殖、体温调节、摄食和排泄等(蒋志刚 2004)。为了确保个体生存和后代延续,动物会通过改变行为来适应环境,选择最合适的方式进行寻找配偶、繁殖后代和逃避天敌等生存活动(尚

玉昌 2005, 栾军波等 2011)。行为的构成要素包括姿势、动作和环境,其中环境条件包括空间、时间以及动物所处的生物和非生物环境(蒋志刚 2000)。

动物行为科学研究的基础在于准确且详细地收集和整理所研究动物的各种行为类型,即

行为谱研究（尚玉昌 1986）。行为谱是为研究对象或动物类群建立的简单行为目录，每种动物都有其独特的行为谱（蒋志刚 2004，龙帅 2008）。蒋志刚（2000）首次以麋鹿（*Elaphurus davidianus*）为例，依据动物行为的三个要素：姿势、动作、环境，基于动物行为的结构和功能，提出了以“姿势-动作-行为”为轴心，以行为的生态功能为分类依据的行为分类编码系统（PAE 编码分类系统）来构建动物的行为谱。随后动物行为谱和 PAE 编码分类系统被广泛应用于不同种类动物的研究中。在哺乳动物行为学研究中，戚文华等（2010）通过直接观察和行为跟踪研究四川梅花鹿（*Cervus nippon sichuanicus*），建立了行为谱和警戒行为谱及其 PAE 编码分类系统，填补了有蹄类警戒行为 PAE 编码的空白；侯金等（2020）观察野生大熊猫（*Ailuropoda melanoleuca*）建立了其行为谱。在鸟类行为学研究中，张振群等（2016）和王朝斌等（2017）分别建立了黑鹳（*Ciconia nigra*）和彩鹳（*Rostratula benghalensis*）的行为谱。张方等（2005）和蒙冬柳等（2023）在爬行动物中开展行为谱及 PAE 编码分类系统的探索，分别建立了扬子鳄（*Alligator sinensis*）和吐鲁番沙虎（*Teratoscincus roborowskii*）的行为谱。这些研究奠定了动物行为谱研究的基础，推动了我国动物行为学的发展。

动物行为研究常采用直接观察法进行野外调查，但人类活动可能对动物行为产生一定影响，并且无法长时间观察（张晋东等 2018，吴彤等 2021）。红外相机技术作为一种新兴的野生动物研究、保护和管理技术，可利用红外感应设备自动拍摄野生动物的静态照片或动态影像，在野生动物研究中发挥着重要作用（李晟等 2014，兰勇等 2019）。这种无损伤、无干扰、长期监测的调查方法能够捕捉到野生动物在自然环境下更真实的行为。与直接观察和行为跟踪法相比，红外相机技术更适合用于建立野生动物行为谱和编写行为编码系统。在国内外的野生动物研究、监测和保护中，红外相机技术

得到了广泛应用（张晋东等 2018，白慧等 2022，杨光美等 2022）。

马鹿（*Cervus elaphus*）属于偶蹄目（Cetartiodactyla）鹿科（Cervidae），是国家二级重点保护野生动物，同时也被中国脊椎动物红色名录列为濒危（Endangered, EN）级物种（魏辅文等 2021）。全球共有 25 个马鹿亚种，中国有 8 个亚种，其中，新疆分布有 3 个马鹿亚种，分别为天山马鹿（*C. e. songaricus*）、塔里木马鹿（*C. e. yarkandensis*）和阿尔泰马鹿（*C. e. sibiricus*）（魏辅文 2022）。天山马鹿生活在海拔 1 800 至 3 200 m 的山林草原地带，主要分布于新疆天山山脉北麓的森林草地（Sheng et al. 1993）。目前国内对天山马鹿的研究主要侧重于种群遗传多样性、适宜生境、种群数量、食性以及基因克隆等方面（艾萨江·图合提等 2013，布左拉·吐尔逊等 2014，孜拉吉古丽·西克然木等 2014），对其行为特征尚未有系统研究。因此，本研究应用红外相机技术，借鉴麋鹿等有蹄类动物相关研究经验，旨在建立天山马鹿的行为谱和 PAE 编码分类系统，以弥补对天山马鹿相关研究的不足，全面了解其行为规律，为该物种的保护和管理提供有力支持。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域

本研究主要在新疆天池博格达峰自然保护区（以下简称博峰保护区）展开，该保护区位于天山博格达峰北麓，准噶尔盆地古尔班通古特沙漠南缘（43°45′~43°59′N，88°00′~88°20′E），总面积 380 km<sup>2</sup>，海拔 1 300 ~ 5 445 m，最大高差 4 056 m（古力江·哈孜等 2019）。博峰保护区拥有丰富的生物多样性，包括野生陆生脊椎动物 25 目 56 科 179 种，野生维管束植物 76 科 432 属 1 134 种（杨兆萍等 2017）。过去的研究利用红外相机监测博峰保护区鸟兽资源多样性，记录到野生陆生脊椎动物 9 目 19 科 29 种，其中兽类 5 目 10 科 15 种，

记录到的有蹄类动物包括野猪 (*Sus scrofa*)、马鹿、北山羊 (*Capra sibirica*)、狍 (*Capreolus pygargus*) 等；食肉类动物有雪豹 (*Panthera uncia*)、猞猁 (*Lynx lynx*) 和赤狐 (*Vulpes vulpes*) 等 (白慧等 2022)。

博峰保护区的植被类型具有明显的垂直分布差异, 包括高山甸状植被带 (3 300 ~ 3 700 m)、高山草甸带 (2 900 ~ 3 300 m)、亚高山草甸带 (2 700 ~ 2 900 m)、山地针叶林带 (1 650 ~ 2 700 m)、山地草原带 (1 100 ~ 1 650 m) 和温带荒漠带 (700 ~ 1 100 m) (李东等 2015)。该地区气候属于大陆性温带气候, 年均温 2.55 °C, 降水主要集中在 4 月至 9 月, 年均降水量 443.9 mm (郭玉琳等 2022)。博峰保护区内, 地形起伏较大, 形成了雪山、冰川、

湖泊、河流、森林和草甸等多样的自然景观。

## 1.2 设备安装与数据收集

在 2019 年 7 月至 2021 年 9 月期间, 根据博峰保护区的环境特征和前期野生动物分布调查结果, 我们在森林生境 (1 500 ~ 2 600 m) 和林线以上的高山草甸及裸岩生境 (2 600 ~ 3 800 m) 区域选择了 30 个红外相机位点 (图 1)。每个位点间距至少 300 m, 未设置任何诱饵。我们选择这些位点时考虑了动物活动痕迹 (如兽道、粪便、食迹)、视野开阔程度、地形平坦性、太阳照射角度以及周围植被环境的遮蔽条件 (白慧等 2022)。在这些位点上共设置了 58 台红外相机, 统一设置了拍摄参数, 包括日期、时间、拍摄间隔 (1 s)、连拍 (3 张)、视频 (30 s)、拍摄模式 (拍照加录像)、照

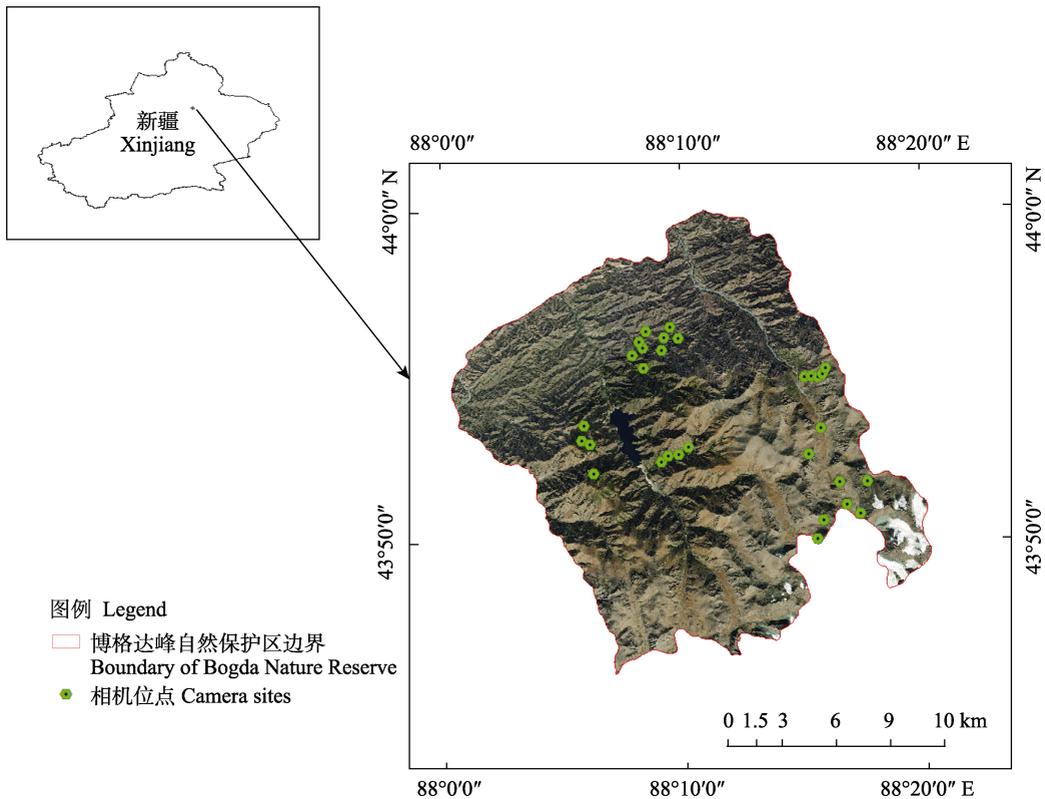


图 1 新疆天池博格达峰自然保护区红外相机位点分布图

Fig. 1 Distribution of infrared camera sites in the Bogda Nature Reserve, Xinjiang

地图基于审图号为 GS (2020) 4621 的标准地图制作, 底图无修改。

Map is based on standard map with approval number GS (2020) 4621, with no modifications to the base map.

片分辨率 (1 920 × 1 080)，并记录了相机的编号、经纬度和海拔等信息。每隔 3 至 6 个月收集一次数据，更换相机内存卡并检查相机状态。野外收集到的影像数据经人工鉴定，记录动物的种类、数量、性别和行为特征。为避免重复计数，采用特定的计数方法，将连续 30 min 内在同一位点拍摄到的同一性别和年龄的个体视为同一个体，记为一张独立有效照片（杨光美等 2022，乔江等 2023）。

### 1.3 性别、年龄鉴定与行为的定义和编码

在筛选出的天山马鹿视频和图像中，记录每张照片的日期、时间、温度、位点、数量、性别，并同时记录其行为。对成年雄性和雌性天山马鹿以及幼体的划分主要根据其鹿角的形态大小、毛发特征、体型大小和斑纹（蒋志刚 2000，刘鹏 2019，张楠等 2021）。

成年雄性天山马鹿：体型较大，有角且具有明显分叉；鹿角脱落后，头部有明显的脱落痕迹；雄性生殖器官。

成年雌性天山马鹿：体型较大，无角，常带有幼崽。

幼体：体型较小、无角，常跟随成年雌鹿；当年生幼崽身体两侧具有斑状花纹。

参考蒋志刚（2000）对麋鹿行为的定义和编码方法，将行为（B 码）划分为 3 个要素：姿势（P 码）、动作（A 码）、环境（E 码），并根据行为发生的环境、涉及的姿势和动作建立 PAE 编码。利用照片和视频数据，记录不同年龄段天山马鹿的行为，以及天山马鹿的姿势、动作和环境。

行为的定义可表示为： $b_i = p_i \cap a_i \cap e_i$ 、 $p_i \subseteq P$ 、 $a_i \subseteq A$ 、 $e_i \subseteq E$ ，其中，B、P、A、E 分别为研究对象的行为、姿势、动作和环境的集合， $b_i$ 、 $p_i$ 、 $a_i$ 、和  $e_i$  分别是集合 P、A、E 的元素或子集。

## 2 结果

本研究共获得天山马鹿 4 218 张独立有效照片和 881 段视频，分辨并记录了天山马鹿的

11 种姿势（表 1），其中包括 4 种静止姿势和 7 种运动姿势。静止姿势包括站、卧、躺、跪。其中，“站”指天山马鹿四肢直立承重；“躺”指身体一侧卧地，四肢伸直；“卧”指四肢和腹部着地，四肢向后弯曲或前肢伸直向前；“跪”指两前肢向后弯曲，膝关节着地。运动姿势包括行、跑、跳、顶、爬跨、哺、滑。“行”指前后肢左右交错着地；“跑”指前后肢快速左右交错着地，身体向前发生位移；“跳”指两前肢或两后肢同时撑地，同时着地，身体向前、向两侧发生位移；“顶”指个体以头、角相抵；“爬跨”指个体的前肢或胸部腹部搭在另一个体的背上；“哺”指雌性后肢分开，站立哺乳的姿势；“滑”指四肢不受控制发生位移，主要在冰面上发生。其中“顶”是雄性天山马鹿的常见姿势，“哺”是雌性天山马鹿特有的姿势。

表 1 天山马鹿姿势编码

Table 1 Posture codes for the *Cervus elaphus songaricus*

姿势 Posture	编码 Codes
站 Standing	1
行 Walking	2
跑 Running	3
卧 Sitting	4
顶 Butting	5
爬跨 Mounting	6
跳 Jumping	7
躺 Lying	8
哺 Nursing	9
滑 Slipping	10
跪 Kneeling	11

本研究共记录到天山马鹿 71 种动作（表 2）。根据天山马鹿动作发生的部位，将动作划分为 5 个部位：头颈部（13 种）、嘴部（15 种）、眼耳鼻部（12 种）、四肢（21 种）及腰腹部（10 种）。

根据天山马鹿出现的生物环境（性别、年龄及出现群体或个体的组成）与非生物环境，本研究共记录到 13 种环境编码（表 3）。

表 2 天山马鹿动作及编码

Table 2 Act codes for the *Cervus elaphus songaricus*

动作 Acts	编码 Codes	动作 Acts	编码 Codes
头颈部 Head and neck		吸气 Inspire	36
昂 Head up	1	耳前转 Ears turn forward	37
擦 Scratch	2	耳侧立 Ear(s) turn to aside	38
顶 Gore	3	耳后伏 Ear(s) laid back	39
蹭 Rub	4	鼻翼撑张 Nose wing open	40
低头 Lower head	5	四肢 Limbs	
前伸 Extend forward	6	跳 Jumping	41
角挑 Pick up with antler	7	刨 Paw	42
摆头 Shaking	8	撑 Support	43
后转 Turning	9	踢 Kick	44
甩头 Swagging	10	顿 (蹄) Stamp	45
回头 Turn back	11	踏步 Step	46
右转头 Turning right	12	前迈 Step forward	47
左转头 Turning left	13	跑步 Running	48
嘴部 Mouth		侧迈步 Step diagonal	49
啃 Gnaw	14	前肢弯曲 Forelegs bend	50
扯 Pull	15	后肢弯曲 Hindleg(s) bend	51
嚼 Chew	16	单前肢弯曲 A foreleg bends	52
舔 Lick	17	前后肢弯曲 Forelegs and hindlegs bend	53
摘 Nip	18	前肢伸直 Forelegs straight	54
吸 Suck	19	后肢伸直 Hindlegs straight	55
咬 Bite	20	单前肢伸直 A foreleg straight	56
吼 Roar	21	前肢抬起 Forelegs raised	57
鸣 Bleat	22	后肢抬起 Hindlegs raised	58
张嘴 Open mouth	23	单后肢抬起 A hindleg raised	59
吐舌 Stick out tongue	24	后肢开叉站立 Stand with hindlegs apart	60
流涎 Salivate	25	前肢开叉站立 Stand with forelegs apart	61
露齿 Show teeth	26	腰腹部 Hindquarter	
闭嘴 Close mouth	27	蹭 Rub	62
吞咽 Swallow	28	抖 Shiver	63
眼耳鼻部 Ear, eye and nose		排粪 Defecate	64
嗅 Sniff	29	排尿 Urinate	65
触 Touch with muzzle	30	翘尾 Tail raised	66
闭眼 Close eyes	31	扫尾 Tail swapped	67
注视 Watch	32	勃起 Erect	68
瞪目 Stare	33	尾下垂 Tail down	69
扇耳 Fan ear	34	右转身 Turn right	70
呼气 Expire	35	左转身 Turn left	71

表 3 环境因子编码

Table 3 Environment codes

环境 Environment	编码 Codes
非生物环境 Abiotic (E2)	
针叶林 Coniferous forest	1
林间开阔地 Open field in the woods	2
小溪 Creek	3
水源点 Water point	4
泥地 Mud land	5
雪地 Snowfield	6
冰面 Ice surface	7
生物环境 Biotic (E1)	
雄性 Males	8
雌性 Females	9
幼体 Fawns	10
单一个体 Single	11
母仔群 Females and fawns	12
混合群 Mixed gender	13

本研究共记录到马鹿 75 种行为,分列于摄食、排遗、调温、发情、育幼、冲突、通讯、聚群、休息、运动和杂类 11 大类行为之下,将姿势编码(表 1)、动作编码(表 2)和环境编码(表 3)综合为 PAE 要素编码(图 2,附录 1)。但本研究未记录到交配、分娩和反刍行为。

### 3 讨论

红外相机监测技术具有比直接观察法更长的监测持续时间优势,能够实现 24 h 连续监测。同时,红外相机拍摄的照片和视频可以永久保存并反复查阅。本研究应用红外相机技术对天山马鹿展开观察,记录了 11 种姿势、71 种动作、13 种环境和 75 种行为,并明确了这些行为在不同性别和年龄个体中的相对频度(详见附录 1)。尽管我们在选择相机布设位置时优先考虑了兽道和马鹿粪迹的区域,但仍未获得天山马鹿交配、分娩和反刍行为的图像数据。这个结果类似于之前使用红外相机技术研究有蹄类动物行为谱时未能观察到分娩行为的结果(王盼等 2018, 张晋东等 2018, 刘怀君等



图 2 天山马鹿行为

Fig. 2 Behavior of the *Cervus elaphus songaricus*

a. 滚泥; b. 爬跨; c. 站式排粪; d. 顶角; e. 饮水; f. 后肢踢。

a. Mud bathing; b. Mounting; c. Defecating while standing; d. Sparring; e. Drinking; f. Hindleg kicking.

2021)。可能是因为天山马鹿倾向于在隐蔽的地方进行这些行为，而相机的布设角度、范围和录制时间限制了对这些行为的有效监测。此外，部分天山马鹿对红外相机较为敏感，可能会去嗅和舔，甚至破坏相机，导致部分数据丢失。未来的研究可以考虑增加红外相机的数量、扩大监测范围，并提升相机性能，以获取更多数据，从而开展更深入的研究。

本研究还观察到了一些天山马鹿独特的行为，比如在冰面上不受控制打滑，将其纳入到姿势编码“10”和 PAE 编码“58”中。群体行为是许多有蹄类动物共有的特征，也是动物行为学研究的重要领域(McCullough et al. 1993)。我们观察到的群体主要包括母子群和混合群，少数为雄性群。雌性天山马鹿通常伴有幼崽，混合群个体数通常在 2~8 只之间，多为奇数，由 1 只雄性和几对母子组成。与贺兰山地区的阿拉善马鹿(*C. e. alashanicus*) 研究结果相比，我们发现天山马鹿最大群数量为 8 只，略少于贺兰山马鹿的 11 只最大群数量(张楠等 2021)。这种差异可能受生境类型的影响，不同的生境类型会影响动物的集群大小，有蹄类动物在开阔栖息地中的群体规模通常比封闭栖息地中的更大，这是一种反捕食者策略(Caro et al.

2004, Barja et al. 2008)。

此外，本研究还观察到天山马鹿的许多生态习性，比如在采食时，雌性天山马鹿会左右观望、耳朵转动来侦查周围的情况，而雄性天山马鹿则没有这种行为。在雪覆盖草本植物的环境中，天山马鹿会用前蹄刨开积雪，啃食雪下的食物。此外，我们还观察到一些特殊的杂类行为，比如“爬跨”行为，这种行为类似于雌鹿和雄鹿的交配动作，但它也发生在雌鹿和幼崽之间，不具有阴茎插入和交配的功能，对于幼崽而言，这可能是一种模仿行为，包括幼崽会在玩耍中模仿成年雌性马鹿后肢踢的行为，可能也是模仿行为(图 2)。

通过红外相机监测技术，本研究长期系统地观察了博格达峰的天山马鹿，建立了天山马鹿的行为谱及 PAE 编码系统，丰富了其基础资料，为天山马鹿的研究和保护提供了数据支撑。未来的监测工作还将继续进行，以更深入地研究天山马鹿对环境的行为适应。

**致谢** 感谢天池博格达峰自然保护区的苏辉明、李晓霞、朱贵保、沙塔尔、阿里木江等参与和支持野外工作。感谢徐文轩、曹秋梅、童玉平、白慧、张芸芸、严晗、王克春、尹

丽颖、余怡欣等参与红外相机的布设和数据采集收回。

## 参 考 文 献

- Barja I, Rosellini S. 2008. Does habitat type modify group size in Roe Deer and Red Deer under predation risk by Iberian wolves? *Canadian Journal of Zoology*, 86(3): 170–176.
- Caro T M, Graham C M, Stoner C J, et al. 2004. Adaptive significance of antipredator behaviour in artiodactyls. *Animal Behaviour*, 67(2): 205–228.
- McCullough D R. 1993. Variation in Black-tailed Deer herd composition counts. *The Journal of Wildlife Management*, 57(4): 890–897.
- Sheng H, Ohtaishi N. 1993. *Deer of China: Biology and Management*. Amsterdam, The Netherland: Elsevier Science.
- 艾萨江·图合提, 艾斯卡尔·买买提, 马合木提·哈力克, 等. 2013. 新疆哈密山区天山马鹿种群数量和冬季生境选择. *动物学杂志*, 48(6): 844–851.
- 白慧, 尹丽颖, 苏辉明, 等. 2022. 利用红外相机监测新疆天池博格达峰自然保护区鸟兽资源. *干旱区地理*, 45(3): 847–859.
- 布左拉·吐尔逊, 日沙来提·吐尔地, 孜拉吉古丽·西克然木, 等. 2014. 新疆乌鲁木齐南山山区天山马鹿 (*Cervus elaphus songaricus*) 种群数量调查. *野生动物学报*, 35(1): 26–30.
- 古力江·哈孜, 梁瀛. 2019. 新疆天池博格达峰自然保护区森林火灾防控对策. *森林防火*, (2): 8–11.
- 郭玉琳, 赵勇, 周雅蔓, 等. 2022. 新疆天山山区夏季降水日变化特征及其与海拔高度关系. *干旱区地理*, 45(1): 57–65.
- 侯金, 严淋露, 黎亮, 等. 2020. 野生大熊猫行为谱及 PAE 编码系统. *兽类学报*, 40(5): 446–457.
- 蒋志刚. 2000. 麋鹿行为谱及 PAE 编码系统. *兽类学报*, 20(1): 1–12.
- 蒋志刚. 2004. *动物行为原理与物种保护方法*. 北京: 科学出版社.
- 兰勇, 黎杰俊, 吴毛山, 等. 2019. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中应用的实践分析. *环境与发展*, 31(12): 90–91.
- 李晟, 王大军, 肖治术, 等. 2014. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景. *生物多样性*, 22(6): 685–695.
- 李东, 由亚男, 栾福明, 等. 2015. 博格达世界自然遗产地旅游景观资源评价与保护研究. *世界地理研究*, 24(1): 159–167.
- 刘怀君, 吕旭, 王晓芳, 等. 2021. 中华鬣羚行为谱及 PAE 编码系统的建立. *生物多样性*, 29(12): 1650–1657.
- 刘鹏. 2019. 基于红外相机技术的贺兰山同域分布阿拉善马鹿和岩羊活动规律、集群行为的比较研究. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文.
- 龙帅, 周材权, 王维奎, 等. 2008. 矮岩羊 (*Pseudois schaeferi*) 行为谱及 PAE 编码系统. *生态学报*, 28(11): 5632–5640.
- 栾军波, 刘树生. 2011. 动物入侵的行为机制. *生物安全学报*, 20(1): 29–36.
- 蒙冬柳, 高为震, 时磊. 2023. 镜面环境下吐鲁番沙虎行为谱及 PAE 编码系统. *四川动物*, 42(6): 659–667.
- 戚文华, 岳碧松, 宁继祖, 等. 2010. 四川梅花鹿的行为谱及 PAE 编码系统. *应用生态学报*, 21(2): 442–451.
- 乔江, 龚小丽, 贾伟, 等. 2023. 四川贡嘎山狼的分布、群体大小和活动节律. *兽类学报*, 43(3): 248–257.
- 尚玉昌. 1986. 《动物行为学》讲座(一)第一讲动物行为学概论. *生物学杂志*, 3(2): 34–38.
- 尚玉昌. 2005. *动物行为学*. 北京: 北京大学出版社.
- 王朝斌, 黄燕, 董鑫, 等. 2017. 彩鹇繁殖期行为谱及 PAE 编码系统. *四川动物*, 36(4): 412–419.
- 王盼, 李玉杰, 张晋东, 等. 2018. 卧龙国家级自然保护区野生岩羊行为谱及 PAE 编码系统. *四川动物*, 37(2): 211–218.
- 魏辅文. 2022. *中国兽类分类与分布*. 北京: 科学出版社.
- 魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 等. 2021. *中国兽类名录(2021版)*. *兽类学报*, 41(5): 487–501.
- 吴彤, 连新明, 苗紫燕, 等. 2021. 藏羚行为的 PAE 编码系统. *生态学杂志*, 40(5): 1449–1457.
- 杨光美, 李佳琦, 张明明, 等. 2022. 贵州坡岗喀斯特森林自然保护区红外相机兽类和鸟类监测及活动节律分析. *兽类学报*, 42(3): 325–338.
- 杨兆萍, 张小雷, 徐晓亮, 等. 2017. 新疆天山世界自然遗产. 北京: 科学出版社.
- 张方, 吴孝兵, 朱家龙, 等. 2005. 夏秋两季饲养条件下扬子鳄的行为谱和活动节律初步研究. *水生生物学报*, 29(5): 488–494.
- 张晋东, 李玉杰, 黄金燕, 等. 2018. 利用红外相机建立野生水鹿行为谱及 PAE 编码系统. *兽类学报*, 38(1): 1–11.
- 张楠, 刘鹏, 李宗智, 等. 2021. 基于红外相机技术的贺兰山阿拉善马鹿集群行为研究. *四川动物*, 40(6): 632–639.
- 张振群, 谷德海, 王姣姣, 等. 2016. 笼养黑鹇求偶行为谱及其 PAE 编码. *河北大学学报: 自然科学版*, 36(3): 300–306.
- 孜拉吉古丽·西克然木, 热沙来提·吐尔地, 布左拉·吐尔逊, 等. 2014. 新疆天山马鹿 (*Cervus elaphus songaricus*) 南山种群遗传多样性研究. *干旱区资源与环境*, 28(12): 132–137.

## 附录 1 天山马鹿行为的 PAE 编码系统

Appendix 1 PAE coding system for the behavior of the *Cervus elaphus songaricus*

行为 Behaviors	成年雌性 Adult males	成年雄性 Adult females	幼体 Fawns	序号 Sequential code	PAE 编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Act (A)	环境 Environment (E)
摄食行为 Ingestive behavior							
饮水 Drinking	++	+	+	1	1	6、5、19	3、4
舔冰 Licking ice	+			2	1	5、17	3、7
搜索 Searching	++	++	+	3	1、2	5、6、8、47	1、2、3、4、6
咀嚼 Chewing	+	+	+	4	1	16	2、6
站式采食 Feeding while standing	++	++	+	5	1	5、6、16、14、15、 23、20、18	2、6、4
卧式采食 Feeding while lying	+			6	4	1、6、14、15、15	2
刨式采食 Feeding from a crater	+	+		7	1	14、20、42	2、6
行式采食 Feeding while walking	++	++	+	8	2	5、14、15、16、 20、47	1、2、3、4、6
排泄行为 Eliminate behavior							
站式排粪 Defecating while standing	+	+		9	1	51、64、66	1
站式排尿 Urinating while standing	+	+		10	1	65	1
调温行为 Thermo-regulatory behavior							
聚卧 Huddling	+	+		11	4	31	13、2
颤抖 Shivering	+		+	12	1	63	2
树下卧息 Lying under trees	+	+		13	4	16、31	1、6、2
泥中卧息 Lying in mud		+		14	4	31	5
发情行为 Estrous behavior							
挂草 Antler decorated with grasses and veins		+		15	1	7、23	1、2
吼叫 Roaring		+		16	1、2、3	1、6、21	1、2
舔阴 Licking genital region	+			17	1	11、17	2、6
追逐 Chasing	+	+	+	18	3、7	47	1、2
翘尾 Tail raised	+	+	+	19	1、2	66	1、2
静立 Standing	+	+		20	1		1、2
滚泥 Mud bathing		+		21	4、8	2、54、55	5
挑泥 Antler swags mud		+		22	1	5、8、7、61	5
育幼行为 Parental behavior							
舔仔 Licking the cubs	+			23	4	17	1
舔乳 Mammary licking	+			24	1	11、17、24、59	2
舔毛 Licking	++	+	+	25	1、4	11、5、17、59、62	2、6
哺乳 Nursing	+			26	9		2
舔鼻 Licking the nose	+			27	1	17	2、12
冲突行为 Conflict behavior							
平行 Parallel walking	+	+	+	28	2	5	1
驱赶 Driving		+		29	2	3	6、4
角斗 Fighting		+		30	1、5	13、12、3、6	1、2、5

## 续附录 1

行为 Behaviors	成年雌性 Adult males	成年雄性 Adult females	幼体 Fawns	序码 Sequential code	PAE 编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Act (A)	环境 Environment (E)
追逐 Chasing	+	++		31	3、7	5、6	1、2、6
顶角 Sparing		+		32	1	3、6	2
逃走 Fleeing		+		33	3、7	8、70	2
前肢踢 Foreleg kicking	+			34	1	57、44	3、7
后肢踢 Hindleg kicking	+		+	35	7	10、58、70、71	2
双耳后伏 Ears back	+			36	1、2	39	1、2、6
通讯行为 Communication behavior							
擦草 Grass rubbing		+		37	1	8、7、4、2	2
喷尿 Urine anointing	+			38	1	65	2
吐舌 Tongue flipper	++	++	+	39	1	24	4
摆头 Head shaking	+	+	+	40	1、2	8	1、2、3、6
聚群行为 Aggregation behavior							
注意 Attention	++	++		41	1、2	13、12、32、38	1、2、6、4、3
警戒 Alert	++	+		42	1	32、37、38	1、2、6、4
雌性群 Female grouping	+			43	P	A	9
雄性群 Male grouping		+		44	P	A	8
母仔群 Mother Fawn grouping	+		+	45	P	A	12
混合群 Mixed grouping	+	+	+	46	P	A	13
单一个体群 Single grouping	++	+	+	47	P	A	11
休息行为 Resting behavior							
跪式卧息 Kneeling and sitting	+	+		48	4、11	53	1、2
单肢前伸式卧息 Sitting with a single foreleg stick forward	+			49	4	56	2
运动行为 Locomotive behavior							
跳 Jumping	+	+		50	7、2、3	41	2
跟随 Following	++	+	++	51	2	47	1、2、3、4、6
侧行 Walk aside	+			52	2	49	2
后退 Retreating	++	+		53	1、2、3		1、2
缓步 Walking		+		54	2	47	1、2
惊跳 Alert jumping		+		55	3、7		2
起身 Standing up	+	+		56	1、4	43	2
小跑 Trotting	+	+		57	3	48	1、2、6、3
打滑 Skidding	+			58	10		3、7
踏步 Stepping	++		+	59	1、2	46、45	2、6
半蹲 Half squatting	+			60	1	51	2
前行 Walking forward	++	++	+	61	2	47	E1
奔跑 Galloping	+	++		62	3	48	1、2、6、3
接近 Approaching	+	+	+	63	2	47	2
离开 Departing	+	+	+	64	2	47	1、2、6

## 续附录 1

行为 Behaviors	成年雌性 Adult males	成年雄性 Adult females	幼体 Fawns	序码 Sequential code	PAE 编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Act (A)	环境 Environment (E)
杂类行为 Miscellaneous behavior							
擦角 Antler sharpening		+		65	1	2	2
后肢搔 Scratching with handoff	++	+	+	66	1	59	1、2
脚搔头 Scratching head with foot	+			67	1	11、59	2、6
模仿 Imitating	+		+	68	P		12
爬跨 Mounting	+		+	69	6		2
舔后肢 Hindlimb licking	+	+	+	70	1	11、17、59	2
舔蹄 Licking hoof	+	+	+	71	1	11、17	1、2
头蹭树干 Rubbing head against the trunk	+			72	1	6、62	1
尾部扫蝇 Tail swapping	+			73	1、2	67	2
玩耍 Playing	++		++	74	P		2、12
露齿 Showing teeth	+	+	+	75	1	26	4

+ 表示行为可能发生，++ 表示发生频次更高。表中 PAE 编码下的各个数据表示表 1 ~ 3 中对天山马鹿不同姿势、动作和环境的数字编码。

+ indicates the behavior is likely to be occurred, ++ indicates higher frequency of the behavior. Individual data under the PAE codes in the table represent the numerical coding of different postures, acts, and environments of the Tianshan Red Deer in Tables 1 to 3.