•研究报告•

中华鬣羚行为谱及PAE编码系统的建立

刘怀君^{1,2}, 吕旭^{2,5}, 王晓芳², 寇卫利^{3*}, 缪国辉^{2,4}, 袁华¹

1. 西南林业大学林学院, 昆明 650224; 2. 理县林业和草原局, 四川理县 623100; 3. 西南林业大学大数据与智能工程学院, 昆明 650224;
4. 什邡市自然资源和规划局, 四川什邡 618400; 5. 四川米亚罗自然保护区, 四川理县 623100

摘要: 栖息地破碎化、人为干扰等因素影响着中华鬣羚(*Capricornis sumatraensis*)的生存。目前, 中华鬣羚的行为研究还比较匮乏, 因此有必要构建中华鬣羚的行为谱及PAE (posture-act-environment)编码系统, 以期促进其基础行为资料的完善, 为深入开展科学研究和保护工作奠定基础。本文旨在: (1)参照国内常用的动物行为编码方法, 以“姿势-动作-环境”为轴心, 建立中华鬣羚的行为谱及PAE编码系统, 并随机抽取20%的中华鬣羚视频作为检测样本, 对行为谱的实际使用效果进行测试。(2)对中华鬣羚的行为数据进行统计并通过计算行为多样性指数, 分析各特定年龄组间的行为多样性差异, 检验特定年龄组与行为多样性指数间的相关性。结果显示: (1)通过区别和归类中华鬣羚的10种姿势、80种动作、9种环境、78种行为, 首次建立了中华鬣羚的行为谱及PAE编码系统。经测试, 该行为谱能够客观地对中华鬣羚行为进行识别和归类。(2)与亚成体和幼体相比, 中华鬣羚成体特定行为类型的行为多样性指数(A_{variable})、绝对行为多样性指数(A)、相对行为多样性指数(r)和校正行为多样性指数($r\text{-variable}$)均为最高; 中华鬣羚亚成体特定行为类型的行为多样性指数(A_{variable})、绝对行为多样性指数(A)、相对行为多样性指数(r)介于成体和幼体之间; 中华鬣羚幼体的特定行为类型的行为多样性指数(A_{variable})、绝对行为多样性指数(A)和相对行为多样性指数(r)最低, 校正行为多样性指数($r\text{-variable}$)高于亚成体。(3)中华鬣羚行为谱可用于其行为学研究, 今后应获取繁殖行为的图像数据, 更新行为谱及PAE编码系统。(4) 3个特定年龄组中华鬣羚的各行行为多样性指数之间差异不显著($F = 0.013, P = 0.987$), 从幼体到成体, 中华鬣羚的特定行为类型的行为多样性指数(A_{variable})、绝对行为多样性指数(A)和相对行为多样性指数(r)随年龄的增大呈递增趋势。综上所述, 我们应深入研究中华鬣羚行为学, 为其保护工作提供科学支撑。

关键词: 中华鬣羚; 行为谱; PAE编码系统

刘怀君, 吕旭, 王晓芳, 寇卫利, 缪国辉, 袁华 (2021) 中华鬣羚行为谱及PAE编码系统的建立. 生物多样性, 29, 1650–1657. doi: 10.17520/biods.2021207.

Liu HJ, Lü X, Wang XF, Kou WL, Miu GH, Yuan H (2021) Behavioral ethogram and posture-act-environment coding system of *Capricornis sumatraensis*. Biodiversity Science, 29, 1650–1657. doi: 10.17520/biods.2021207.

Behavioral ethogram and posture-act-environment coding system of *Capricornis sumatraensis*

Huaijun Liu^{1,2}, Xu Lü^{2,5}, Xiaofang Wang², Weili Kou^{3*}, Guohui Miu^{2,4}, Hua Yuan¹

1 College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224

2 Lixian Forestry and Grassland Bureau, Lixian, Sichuan 623100

3 College of Big Data and Intelligent Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224

4 Shifang Natural Resources and Planning Bureau, Shifang, Sichuan 618400

5 Miyaluo Nature Reserve, Lixian, Sichuan 623100

ABSTRACT

Aims: Habitat fragmentation and human disturbance are factors that affect the survival of *Capricornis sumatraensis*. Protecting *C. sumatraensis*, in-depth study of the behavioral and ecological characteristics of this species is the prerequisite and basis for taking necessary protective measures. Behavioral research of *C. sumatraensis* is relatively scarce, so it is necessary to build a behavioral ethogram and posture-act-environment (PAE) coding system of *C.*

收稿日期: 2021-05-23; 接受日期: 2021-07-20

基金项目: 国家自然科学基金(31760181; 31400493)、云南省农业基础研究联合专项项目(2017FG001-034; 2018FG001-059)和生物资源数字化开发应用项目(202002AA10007)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: kwl_eric@163.com

sumatraensis in order to promote the improvement of their basic behavior data, and lay the foundation for further scientific research and protection.

Methods: (1) Referring to the commonly used animal behavior coding methods in China, the behavior ethogram and PAE coding system of *C. sumatraensis* were established based on the PAE axis. Twenty percent of *C. sumatraensis* videos were randomly selected from the video database to test the effectiveness of the behavioral ethogram. (2) The behavioral data of *C. sumatraensis* were counted and the behavioral diversity index was calculated. The differences between the behavioral diversity of specific age groups were analyzed, and the correlation between specific age groups and behavioral diversity index was calculated.

Results: (1) This paper classifies 10 postures, 80 actions, 9 environments and 78 behaviors of *C. sumatraensis*, and establishes the behavior ethogram and PAE coding system of *C. sumatraensis* for the first time. Through the behavior ethogram, it can objectively identify and classify *C. sumatraensis* behaviors. (2) Compared with sub-adults and cub, adult *C. sumatraensis* had the highest $A_{variable}$, A , r , $r-variable$. The $A_{variable}$, A , r of *C. sumatraensis* sub-adults were lower than adults but higher than cub. Cub *C. sumatraensis* had the lowest $A_{variable}$, A , r , and the $r-variable$ was higher than that of sub-adults. (3) The behavior ethogram of the *C. sumatraensis* can be generally used in the study of its behavior. The results could be improved by obtaining images of reproductive behavior, and updating the behavior ethogram and PAE coding system. (4) The behavioral diversity index of *C. sumatraensis* was not significantly different among the three age groups ($F = 0.013$, $P = 0.987$). From cub to adult, the $A_{variable}$, A , r of *C. sumatraensis* increased with age.

Conclusion: Further research on the behavior of *C. sumatraensis* is needed to provide scientific support for its protection.

Key words: *Capricornis sumatraensis*; behavior ethogram; PAE coding system

动物行为是其适合度的外在表现(侯金等, 2020), 是其在演化过程中为了适应独特的生存环境而形成的特有姿势和动作的组合, 相同的动物姿势和动作在不同的环境条件下可能行使着不同的生物学功能(吴彤等, 2021), 具有明显的环境适应机能(蒋志刚, 2000), 可以反映动物的生理习性和生理生态需求(尚玉昌, 2014)。因此依据动物行为的姿势、动作和环境3个要素编制行为谱(ethogram), 有助于探讨动物行为的功能、行为之间的转化和相互关系, 是深入开展动物行为学研究的基础(李勇等, 2013)。目前国内关于动物行为谱和行为编码的研究涉及到的兽类主要有麋鹿(*Elaphurus davidianus*, 蒋志刚, 2000)、矮岩羊(*Pseudois schaeferi*, 龙帅等, 2008)、太行山猕猴(*Macacamulatta tcheliensis*, 田军东等, 2011)、黔金丝猴(*Rhinopithecus brelichi*, 崔多英等, 2014)、水鹿(*Rusa unicolor*, 张晋东等, 2018)、大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*, 侯金等, 2020)、藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*, 吴彤等, 2021)等, 但绝大多数行为谱的研究对行为只做了描述性的定义, 很少被用到兽类行为多样性的研究中(宁致远等, 2017)。动物行为多样性作为生物多样性的一个基础问题, 与濒危动物的成功保护相关。为了更好地探讨动物行为的多样性, 可以在物种层面研究个体的行为, 记录每种行为的发生频次, 并在此基础上计

算行为多样性指数(孟秀祥等, 2006; 宁致远等, 2017), 准确分析同种动物不同性别、不同年龄个体间行为多样性的差异, 更直接、更包容地反映动物的行为特征(韩红金等, 2018)。不同野生动物的姿势、动作和行为存在差异, 行为谱及PAE编码系统也各不相同(蒋志刚, 2000; 李勇等, 2013; 王盼等, 2018)。因此, 不同种类的野生动物需要开展针对性的行为学研究。

中华鬣羚(*Capricornis sumatraensis*)又名苏门羚、山驴子、天马等, 被列为易危物种(蒋志刚等, 2016), 在国内主要分布于陕西、甘肃、青海、四川、云南、贵州、西藏(陆雪等, 2007), 主要栖息在针阔混交林或多岩石的杂灌林中, 一般在9-10月发情, 孕期8个月, 每胎产1仔, 喜夜间独自活动, 其独特的生存方式使人类对于该物种的研究难以深入(王才益和胡新波, 2012; 孙佳欣等, 2018), 我国中华鬣羚的研究和保护工作滞后(吴鹏举等, 2009; 王才益和胡新波, 2012; 陈永春等, 2013; 李才武等, 2016)。目前, 栖息地破碎化和人为干扰因素严重影响着中华鬣羚的生存, 采取必要的保护措施(如栖息地保护)刻不容缓(侯金等, 2020), 而这些保护措施的制定均要求深入了解中华鬣羚的行为生态特征。为此, 本研究选择四川米亚罗自然保护区, 对中华鬣羚近3年的红外相机连续监测照片和视频数据进行分类

汇总, 参照当前国内动物行为编码方法, 以“姿势–动作–环境” (posture-act-environment, PAE) 为中心, 建立中华鬣羚的行为谱及PAE编码系统, 以期促进中华鬣羚基础行为资料的完善, 为深入开展中华鬣羚的科学研究和保护工作奠定基础。

1 方法

1.1 研究区域概况

米亚罗自然保护区位于四川省阿坝藏族羌族自治州理县境内, 地理位置为102°35′–103°31′ E, 31°11′–31°47′ N, 与四川草坡自然保护区和卧龙国家级自然保护区交界, 是以大熊猫、川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellanae*)、林麝 (*Moschus berezovskii*) 等为主要保护对象的自然保护区。保护区总面积160,731 ha, 年平均气温6–9℃, 年降水量700–1,000 mm。地势由西北向东南倾斜, 呈东低西高的趋势, 生态系统涵盖了森林、灌丛、草地、湖泊、温泉等类型。保护区有兽类76种, 鸟类210种, 爬行类17种, 两栖类10种, 鱼类12种(刘怀君等, 2021)。

1.2 监测设备及物种鉴别

2017年10月至2020年10月, 在研究区内选择野生动物资源丰富的鸡心梁、箭竹峡、桦椒沟, 在野生动物通道、水源地、动物痕迹点等处累计安装了23台红外相机, 型号为易安卫士710。红外相机设置为拍照和摄像模式, 照相为3次连拍, 拍摄间隔为1s, 视频录制时间20 s, 每3–6个月对红外相机进行维护, 采集野生动物图像资料(王巧燕等, 2018; 穆君等, 2019)。红外相机监测获得的图像由专业人员进行判读, 以确定照片拍摄的内容, 并鉴定其中的动物物种, 分析中华鬣羚的体型、鬃毛长度、毛色等, 咨询专家和保护区周边村民, 结合其生活习性, 将中华鬣羚按性别分为雄性和雌性, 按年龄分为成体、亚成体、幼体(蒋志刚, 2000; 李勇等, 2013; 侯金等, 2020)。

雄性: 体型较大, 背、腰等部位的毛色深黑, 部分视频中可以观测到生殖器, 除交配时外, 基本为单独活动。

雌性: 体型较小, 背、腰等部位的毛色浅黑至深黑, 除交配时外, 独行或与幼体结对活动。

成体: 体型大, 鬃毛较长, 角黑色, 毛色为浅

黑至深黑。

亚成体: 体型较小, 鬃毛较短或不明显, 毛色为暗棕色。

幼体: 体型小, 角短小或未长出, 鬃毛很短或未长出, 毛色为棕色, 与母体结对活动, 几乎不单独活动。

1.3 行为谱及PAE编码方法

参照野生麋鹿(蒋志刚, 2000)、水鹿(张晋东等, 2018)、野生岩羊(王盼等, 2018)、藏羚羊(吴彤等, 2021)的行为编码方法, 将中华鬣羚的行为定义为在某一环境条件下, 为了生存及生理需求而以一定的姿势来完成的各种动作(蒋志刚, 2000), 可划分为姿势、动作、环境3类。首先, 利用红外相机获取自然状态下中华鬣羚行为数据并进行整理和分类, 观察和记录其行为在各个年龄组和性别组之间发生的频次、季节、环境(李勇等, 2013)。其次, 分解行为层次, 再依据中华鬣羚的生态功能进行归类, 建立行为谱及PAE编码系统(蒋志刚, 2000; 崔多英等, 2014)。最后, 随机抽取中华鬣羚20%的有效视频作为本次检测样本, 对其行为谱及PAE编码系统的实际使用效果进行测试, 如果能对所有抽样视频记录的行为进行准确识别和归类, 则认定该行为谱及PAE编码系统可以用于中华鬣羚的行为学研究(侯金等, 2020); 反之, 则需要对行为谱及PAE编码系统进行修正和完善。

1.4 行为多样性分析

参照圈养马麝 (*Moschus chrysogaster*) 和半放养阿拉伯猎狒 (*Papio hamadryas*) 的行为多样性研究方法, 计算中华鬣羚的各行为多样性指数。分别统计3个特定年龄组的全部行为频次, 计算样本的绝对行为多样性指数 (absolute diversity index, A)、最大行为多样性指数 ($A_{\max}$)、相对多样性指数 (relative diversity index, r) 和校正多样性指数 (r -variable) (宁致远等, 2017)。各指数计算公式如下:

$$A = -\sum_{i=1}^S (P_i \log_2 P_i) \quad (1)$$

其中, $P_i = f_i / \sum f$, f_i 为中华鬣羚第 i 种行为的发生频次。

$$A_{\max} = \log_2 N \quad (2)$$

其中, N 为中华鬣羚行为谱中所含行为类别数。

$$r = A / A_{\max} \quad (3)$$

$$r\text{-variable} = A/A_{\text{variable}} \tag{4}$$

其中, A_{variable} 代表特定行为类型(依据变量variable划分)的行为多样性指数, $A_{\text{variable}} = \log_2 n$, n 为中华鬣羚特定行为类别的所有行为元素。

采用Kolmogorov-Smirnov test对中华鬣羚的各行行为多样性指数进行正态分布检验, 如果呈正态分布, 用One-Way ANOVA分析特定年龄组中华鬣羚各行行为多样性指数的差异性(孟秀祥等, 2006; 宁致远等, 2017); 呈非正态分布, 用Mann-Whitney分析特定年龄组中华鬣羚各行行为多样性指数的差异(宁致远等, 2017; 白瑞丹等, 2019)。最后, 采用Pearson检验特定年龄组与行为多样性指数间的相关性。使用Excel和SPSS23.0软件对中华鬣羚的行为数据进行统计和分析。

2 结果

2.1 中华鬣羚行为谱及PAE编码系统

通过仔细观察记录, 区别和归类了中华鬣羚10种姿势, 并进行编码(表1), 其中: 站、跪、卧、躺、行、跑、跳、攀爬等8种姿势为雌、雄共有, 顶和哺2种姿势是母体和幼体之间所特有; 站、跪、卧、躺等4种为静止姿势, 行、跑、跳、攀爬、顶、哺等6种为运动姿势。将中华鬣羚的身体部位划分为头颈部、眼鼻耳部、嘴部、四肢、腰荐腹部等5大类, 共记录到80种不同的动作, 并进行编码(表2)。根据中华鬣羚出现的非生物环境与生物环境、性别和特定年龄组、出现个体或群体, 将其环境归纳为9种, 并进行编码(表3), 其中: 石块、山脊、山坡、水源等4种为非生物环境; 乔木、灌木、雄性、雌性、母幼等5种为生物环境。

将姿势编码、动作编码、环境编码综合为PAE行为编码系统(附录1), 共11类78种行为, 其中: 摄食行为15种、排遗行为6种、调温行为5种, 这些属于生存行为; 休息行为4种、运动行为11种, 这些属于个体行为; 冲突行为3种、通讯行为6种、聚群行为5种, 这些属于社会行为; 发情行为6种、育幼行为3种, 这些属于繁殖行为; 杂类行为14种。

2.2 行为多样性指数

中华鬣羚行为谱的行为型元素共78种, 因此, $A_{\text{max}} = \log_2 78$, 经检验, 3个特定年龄组的 A_{max} 、 A 、 A_{variable} 、 r 、 $r\text{-variable}$ 以及各指数的平均值均呈正态

表1 中华鬣羚姿势编码

Table 1 Posture codes of *Capricornis sumatraensis*

姿势 Posture	编码 Code
站 Standing	1
跪 Kneeling	2
卧 Sitting	3
躺 Lying	4
行 Walking	5
跑 Running	6
跳 Jumping	7
攀爬 Climbing	8
顶 Butting	9
哺 Nursing	10

分布, 存在显著差异。中华鬣羚成体的行为型元素共72种, 与亚成体和幼体相比, A_{variable} 、 A 、 r 、 $r\text{-variable}$ 均为最高(表4); 中华鬣羚亚成体的行为型元素共54种, A_{variable} 、 A 、 r 介于成体和幼体之间; 中华鬣羚幼体的行为型元素共39种, A_{variable} 、 A 、 r 最低, 但 $r\text{-variable}$ 高于亚成体。随着年龄的增长, 即从幼体到成体, 中华鬣羚的 A_{variable} 、 A 、 r 等3个行为多样性指数呈递增趋势(表4)。3个特定年龄组中华鬣羚的各行行为多样性指数之间无显著差异($F = 0.013$, $P = 0.987$)。

2.3 中华鬣羚行为谱检验

在获取的273段视频中随机抽取55段作为测试样本, 对中华鬣羚行为谱的实际使用效果进行了测试, 通过该行为谱, 能够客观地对被测试视频中的中华鬣羚全部行为进行识别和归类, 说明中华鬣羚的行为谱及编码系统可以用于其行为学研究。

3 讨论

本次研究首次建立了中华鬣羚的行为谱及PAE编码系统, 填补了中华鬣羚行为研究的空白, 丰富了中华鬣羚的基础资料, 为其研究和保护提供了数据支撑。另外, 本研究首次采用图像数据分析、生活习性分析、咨询访问相结合的方法, 对中华鬣羚成体、亚成体进行了性别鉴别, 是利用图像数据对该物种进行性别鉴别的一次尝试。该物种独特的外形特征导致目前还不能准确鉴别幼体的性别, 因此, 本研究没有分性别组开展行为多样性分析, 仅分成体、亚成体和幼体3个特定年龄组分析行为多样性, 利用图像数据鉴别幼体性别是建立中华鬣羚行为

表2 中华鬣羚动作编码

Table 2 Action codes of *Capricornis sumatraensis*

动作 Acts	编码 Code	动作 Acts	编码 Code
头颈部 Head and neck			
摇头 Shake	1	耳后伏 Ears laid back	41
甩头 Toss	2	鼻翼撑张 Nose-wing open	42
抬头 Head up	3	呼气 Expire	43
回头 Turn back	4	吸气 Inspire	44
低头 Bow head	5	嗅 Sniff	45
左转 Turn left	6	四肢 Limbs	
右转 Turn right	7	直立 Stand	46
后转 Turn back	8	踏步 Step	47
顶 Bunt	9	前迈步 Step forward	48
前伸 Extend forward	10	后迈步 Step back	49
角挠 Scratch with horn	11	侧迈步 Step diagonal	50
角撞 Clash horn	12	跑 Run	51
蹭 Rub	13	跳 Jump	52
擦 Wipe	14	爬 Climb	53
嘴部 Mouth		前肢伸直 Foreleg straight	54
啃 Gnaw	15	单前肢弯曲 One foreleg bends	55
扯 Pull	16	后肢伸直 Hindlegs straight	56
嚼 Chew	17	单后肢弯曲 One hindleg bends	57
舔 Lick	18	单后肢抬起 One hindleg hangs	58
咬 Bite	19	四肢对齐站立 Stand with four legs together	59
舔嘴唇 Lick lip	20	前肢开叉站立 Stand with fore legs apart	60
张嘴 Open mouth	21	后肢开叉站立 Stand with hind legs apart	61
吐舌 Stick out tongue	22	后肢蹲 Hind legs spuat	62
卷唇 Lip curl	23	刨 Paw	63
流涎 Salivate	24	挠 Scratch	64
咂嘴 Lip flipper	25	腰荐腹部 Hindquarter	
露齿 Show teeth	26	伸腰 Stretch	65
吞咽 Swallow	27	直腰 Back straight	66
磨齿 Crind teeth	28	弯腰 Bend	67
闭嘴 Close mouth	29	左转身 Turn left	68
鸣叫 Bleat	30	右转身 Turn right	69
眼鼻耳部 Eye, ear and nose		转圈 Circle	70
闭眼 Close eyes	31	收腹 Contraction	71
眨眼 Nictation	32	翘尾 Tail raised	72
瞪目 Stare	33	卷尾 Tail arched	73
注视 Watch	34	扫尾 Tail swapped	74
观望 Attention	35	尾下垂 Tail down	75
耳前转 Ears turn forward	36	蹭 Rub	76
耳后转 Ears turn back	37	抖动 Shieve	77
耳侧立 Ears turn to aside	38	抽动 Twitch	78
扇动耳朵 Fan ear	39	排粪 Defecate	79
耳前伏 Ears laid forward	40	排尿 Urinate	80

表3 中华鬣羚环境码

Table 3 Environment codes of *Capricornis sumatraensis*

环境 Environment	非生物环境 Abiotic	生物环境 Biotic	编码 Code	环境 Environment	非生物环境 Abiotic	生物环境 Biotic	编码 Code
乔木 Arbor		+	1	水源 Water	+		6
灌丛 Shrub		+	2	雄性 Male		+	7
石块 Stone	+		3	雌性 Female		+	8
山脊 Ridge	+		4	母幼 Mother and cub		+	9
山坡 Hillside	+		5				

表4 不同特定组中华鬣羚的行为多样性

Table 4 Behavioral diversity in different group of *Capricornis sumatraensis*

行为多样性指数 Behavioral diversity index	成体 Adult	亚成体 Subadult	幼体 Cub	平均 Average	年龄组与指数的相关性 Correlation between age group and index	
					R	P
最大行为指数 Maximum diversity index (A_{max})	6.29	6.29	6.29	6.29	—	—
特定行为类型的行为多样性指数 Specific types of behavior diversity index ($A_{variable}$)	6.17	5.75	5.29	5.74	1	0.017
绝对行为多样性指数 Absolute diversity index (A)	2.97	2.63	2.51	2.70	0.964	0.172
相对行为多样性指数 Relative diversity index (r)	0.47	0.42	0.40	0.43	0.971	0.154
校正行为多样性指数 Regulate diversity index (r -variable)	0.48	0.46	0.47	0.47	0.500	0.667

谱及PAE编码最大的难点, 主要原因是: (1)通过毛色差异不能准确鉴别中华鬣羚的性别(李桂垣, 1993; 刘小斌等, 2017; 唐卓等, 2017), 而雉科的红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)、红腹角雉(*Tragopan temminckii*)、绿尾虹雉(*Lophophorus lhuysii*)则通过毛色差异就能准确鉴别雌雄; (2)通过牙齿和角等外形特征不能准确鉴别中华鬣羚的性别(王西之和胡锦矗, 1998; 邓亚平等, 2020; 刘彬等, 2021), 而麝科的林麝(*Moschus berezovskii*)、鹿科的毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)和水鹿则可以通过上犬齿是否露出唇外、是否有角等特征就能准确鉴别雌雄(王西之和胡锦矗, 1998)。本次研究尚未获取到中华鬣羚交配和分娩的图像数据, 所以行为谱及PAE编码系统缺少交配和分娩两类行为, 今后应继续加强监测以获取繁殖行为的图像数据, 补充和更新行为谱及PAE编码系统。我们建议具备圈养中华鬣羚条件的科研单位, 可以尝试综合焦点取样、扫描取样和连续记录等方法(孟秀祥等, 2006; 宁致远等, 2017), 完善行为谱及PAE编码系统, 深入分析不同年龄、不同性别、不同季节的中华鬣羚行为多样性, 为系统地研究中华鬣羚行为学提供理论和技术支撑。

ORCID

刘怀君 <https://orcid.org/0000-0003-4643-6937>

寇卫利 <https://orcid.org/0000-0003-4390-7895>

参考文献

Bai RD, Cai YH, Zheng CL, Cheng JG, Fu WL, Sheng Y, Meng XX (2019) Relationship between behavioral diversity and musk secretion of captive forest musk deer. *Journal of Zhejiang A&F University*, 36, 343–348. (in Chinese with English abstract) [白瑞丹, 蔡永华, 郑程莉, 程建国, 付文龙, 盛岩, 孟秀祥 (2019) 圈养林麝泌香期的行为多样性及与麝香分泌的关系. *浙江农林大学学报*, 36, 343–348.]

Chen YC, Xiao L, Li XY (2013) Preliminary study on the population abundance and distribution of Chinese serow (*Capricornis milneedwardsii*) at Baima Xueshan Reserve. *Chinese Journal of Wildlife*, 34, 253–255, 306. (in Chinese with English abstract) [陈永春, 肖林, 李学友 (2013) 白马雪山中华鬣羚种群数量和分布初步调查. *野生动物*, 34, 253–255, 306.]

Cui DY, Niu KF, Luen TC, Yang MY, Zhang YY, Zhang JG, Yang YQ (2014) Behavior coding and ethogram of Guizhou snub-nosed monkey (*Rhinopithecus brelichi*). *Sichuan Journal of Zoology*, 33, 815–828. (in Chinese with English abstract) [崔多英, 牛克锋, Luen TC, Yang MY, 张媛媛, 张金国, 杨业勤 (2014) 黔金丝猴的行为谱及PAE编码系统. *四川动物*, 33, 815–828.]

Deng YP, Peng JJ, Peng J, Gao HM, Huang PY, Sun N, Wang X, Yuan XD, Zhou HY, Zhang CL (2020) Preliminary investigation on feeding habits of *Moschus berezovskii* in Jinpo Mountain National Nature Reserve in Chongqing. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*,

37(3), 27–34, 146. (in Chinese with English abstract) [邓亚平, 彭建军, 彭杰, 高红梅, 黄飘逸, 孙念, 王霞, 袁旭东, 周洪艳, 张承伦 (2020) 重庆市金佛山国家级自然保护区林麝食性的初步调查. 重庆师范大学学报(自然科学版), 37(3), 27–34, 146.]

Han HJ, Qiao JL, Cai YH, Cheng JG, Fu WL, Meng XX (2018) Behavioral diversity and influencing factors in captive forest musk deer (*Moschus berezovskii*). Special Wild Economic Animal and Plant Research, 40(1), 1–4, 31. (in Chinese with English abstract) [韩红金, 乔佳伦, 蔡永华, 程建国, 付文龙, 孟秀祥 (2018) 迁地保育林麝行为多样性及影响因素研究. 特产研究, 40(1), 1–4, 31.]

Hou J, Yan LL, Li L, Li YJ, Liao YS, Zhang JD (2020) Behavior coding and ethogram of the free-ranging giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*). Acta Theriologica Sinica, 40, 446–457. (in Chinese with English abstract) [侯金, 严淋露, 黎亮, 李玉杰, 廖玉杉, 张晋东 (2020) 野生大熊猫行为谱及PAE编码系统. 兽类学报, 40, 446–457.]

Jiang ZG (2000) Behavior coding and ethogram of the Père David's deer. Acta Theriologica Sinica, 20, 1–12. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚 (2000) 麋鹿行为谱及PAE编码系统. 兽类学报, 20, 1–12.]

Jiang ZG, Jiang JP, Wang YZ, Zhang E, Zhang YY, Li LL, Xie F, Cai B, Cao L, Zheng GM, Dong L, Zhang ZW, Ding P, Luo ZH, Ding CQ, Ma ZJ, Tang SH, Cao WX, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Chen YY, Li JT, Feng ZJ, Wang Y, Wang B, Li C, Song XL, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Fang HX, Ping XG (2016) Red List of China's Vertebrates. Biodiversity Science, 24, 501–551. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹖, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华, 曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽 (2016) 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24, 501–551.]

Li CW, Qu CM, Jin SY, He YG, Yang Q, Yang B, Wang CD, Liu SC, Li DS (2016) An analysis of serow mortality in Wolong Nature Reserve. Chinese Journal of Wildlife, 37, 147–150. (in Chinese with English abstract) [李才武, 瞿春茂, 金森燕, 何永果, 杨乾, 杨波, 王承东, 刘世才, 李德生 (2016) 卧龙自然保护区一鬣羚死亡原因剖析. 野生动物学报, 37, 147–150.]

Li GY (1993) Atlas of Birds in Sichuan. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [李桂垣 (1993) 四川鸟类原色图鉴. 中国林业出版社, 北京.]

Li Y, Ren BP, Li YH, Li DY, Hu J (2013) Behavior ethogram and PAE coding system of *Rhinopithecus bieti*. Sichuan Journal of Zoology, 32, 641–650. (in Chinese with English abstract) [李勇, 任宝平, 李艳红, 黎大勇, 胡杰 (2013) 滇金丝猴的行为谱及PAE编码系统. 四川动物, 32, 641–650.]

Liu B, An YT, Xue DD, Sun DM, Wang LB, Liu DY, Ren YJ, Shen H (2021) Impacts of human activities and protection measures on the survival of wild *Elaphurus davidianus*. Sichuan Journal of Zoology, 40, 176–182. (in Chinese with English abstract) [刘彬, 安玉亭, 薛丹丹, 孙大明, 王立波, 刘德元, 任义军, 沈华 (2021) 人类活动对野化麋鹿生存的影响及保护对策. 四川动物, 40, 176–182.]

Liu HJ, Kou WL, Lü X, Chen BQ, Huang P (2021) Study on the influence of yak grazing on activity of Chinese serow in Miyaluo Nature Reserve of Sichuan Province based on infrared camera monitoring. Chinese Journal of Wildlife, 42, 14–20. (in Chinese with English abstract) [刘怀君, 寇卫利, 吕旭, 陈帮乾, 黄萍 (2021) 基于红外相机监测研究四川米亚罗自然保护区牦牛放牧对鬣羚活动节律的影响. 野生动物学报, 42, 14–20.]

Liu XB, Wei W, Zheng XG, Zhao KH, He SW, Zhou WL (2017) Activity rhythms of golden pheasant (*Chrysolophus pictus*) and satyr tragopan (*Tragopan temminckii*) revealed by infrared-triggered cameras. Chinese Journal of Zoology, 52, 194–202. (in Chinese with English abstract) [刘小斌, 韦伟, 郑筱光, 赵凯辉, 何少文, 周文良 (2017) 红腹锦鸡和红腹角雉活动节律——基于红外相机监测数据. 动物学杂志, 52, 194–202.]

Long S, Zhou CQ, Wang WK, Hu JC, Huang YC, Tang L (2008) Behavior coding and ethogram of the dwarf blue sheep. Acta Ecologica Sinica, 28, 5632–5640. (in Chinese with English abstract) [龙帅, 周材权, 王维奎, 胡锦矗, 黄艺川, 唐伦 (2008) 矮岩羊(*Pseudois schaeferi*)行为谱及PAE编码系统. 生态学报, 28, 5632–5640.]

Lu X, Yuan XQ, Yu YJ, Hu JC (2007) Preliminary analysis of *Capricornis sumatraensis* classification and distribution. Sichuan Journal of Zoology, 26, 929–930, 935. (in Chinese with English abstract) [陆雪, 袁兴勤, 余依建, 胡锦矗 (2007) 鬣羚分类与分布的初步研究. 四川动物, 26, 929–930, 935.]

Meng XX, Yang QS, Feng ZJ, Xia L, Feng JC, Zhou YJ, Xu HF (2006) Behavioral diversity of captive alpine musk deer in Xinglongshan Musk Deer Farm. Acta Zoologica Sinica, 52, 1026–1033. (in Chinese with English abstract) [孟秀祥, 杨奇森, 冯祚建, 夏霖, 冯金朝, 周宜君, 徐宏发 (2006) 兴隆山圈养马麝的行为多样性. 动物学报, 52, 1026–1033.]

Mu J, Wang JJ, Zhang L, Li YB, Li ZM, Su HJ (2019) Field monitoring using infrared cameras and activity rhythm analysis on mammals and birds in Xishui National Nature Reserve, Guizhou, China. Biodiversity Science, 27, 683–688. (in Chinese with English abstract) [穆君, 王娇娇, 张雷, 李云波, 李筑眉, 粟海军 (2019) 贵州习水国家级自然保护区红外相机鸟兽监测及活动节律分析. 生物多样性, 27, 683–688.]

Ning ZY, Dong GX, Tang H, Lan DY, Hu HJ (2017) Behavioral diversity of semi-captive hamadryas baboons (*Papio hamadryas*) on the basis of the PAE coding system.

- Biodiversity Science, 25, 1008–1018. (in Chinese with English abstract) [宁致远, 董贵信, 唐虹, 蓝道英, 胡慧建 (2017) 基于PAE编码系统的半放养阿拉伯狒狒的行为多样性. 生物多样性, 25, 1008–1018.]
- Shang YC (2014) Animal Behavior. Peking University Press, Beijing. (in Chinese) [尚玉昌 (2014) 动物行为学. 北京大学出版社, 北京.]
- Sun JX, Li JQ, Wan YQ, Li S, Guan TP, Wang J, Xia WC, Xu HG (2018) Study on the activity rhythms of nine ungulates in summer and autumn in Sichuan. Journal of Ecology and Rural Environment, 34, 1003–1009. (in Chinese with English abstract) [孙佳欣, 李佳琦, 万雅琼, 李晟, 官天培, 王杰, 夏万才, 徐海根 (2018) 四川9种有蹄类动物夏秋季活动节律研究. 生态与农村环境学报, 34, 1003–1009.]
- Tang Z, Yang J, Liu XH, Wang PY, Li ZY, Simon LC (2017) Activity pattern of *Lophophorus lhuysii* by camera-trapping in Wolong National Nature Reserve, China. Sichuan Journal of Zoology, 36, 582–587. (in Chinese with English abstract) [唐卓, 杨建, 刘雪华, 王鹏彦, 李周园, Simon LC (2017) 利用红外相机研究卧龙国家级自然保护区绿尾虹雉的活动规律. 四川动物, 36, 582–587.]
- Tian JD, Wang ZL, Lu JQ, Guo XB, Liu JD (2011) PAE coding system-based ethogram of Taihangshan macaque (*Macaca mulatta tcheliensis*), Jiyuan, Henan Province, China. Acta Theriologica Sinica, 31, 125–140. (in Chinese with English abstract) [田军东, 王振龙, 路纪琪, 郭相保, 刘金栋 (2011) 基于PAE编码系统的太行山猕猴行为谱. 兽类学报, 31, 125–140.]
- Wang CY, Hu XB (2012) Serow behavior observation. Chinese Journal of Wildlife, 33(1), 5–7, 53. (in Chinese with English abstract) [王才益, 胡新波 (2012) 鬣羚的行为观察. 野生动物, 33(1), 5–7, 53.]
- Wang P, Li YJ, Zhang JD, Yang J, Zhou CQ (2018) Ethogram and PAE coding system of wild *Pseudois nayaur* in Wolong National Nature Reserve. Sichuan Journal of Zoology, 37, 211–218. (in Chinese with English abstract) [王盼, 李玉杰, 张晋东, 杨建, 周材权 (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, 211–218.]
- Wang QY, He YC, Zhang MX, Song JP, Tao YX, Zhang ZY, Yan ZJ, Yang HP (2018) Application of infrared cameras for wildlife surveys in the Bulong Nature Reserve, Xishuangbanna Prefecture, Yunnan Province. Acta Theriologica Sinica, 38, 513–518. (in Chinese with English abstract) [王巧燕, 何有才, 张明霞, 宋军平, 陶永祥, 张忠员, 岩章尖, 杨鸿培 (2018) 利用红外相机技术调查云南布龙州级保护区野生动物. 兽类学报, 38, 513–518.]
- Wang YZ, Hu JC (1998) Atlas of Animals in Sichuan. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [王酉之, 胡锦涛 (1998) 四川兽类原色图鉴. 中国林业出版社, 北京.]
- Wu PJ, Guo GP, Zhang ED (2009) Study on interspecific relationship of habitat use by *Budorcas taxicolor* and *Capricornis sumatraensis* in southeast Tibet, China. Chinese Journal of Zoology, 44(4), 64–69. (in Chinese with English abstract) [吴鹏举, 郭光普, 张恩迪 (2009) 藏东南地区羚牛和鬣羚栖息地利用的种间关系. 动物学杂志, 44(4), 64–69.]
- Wu T, Lian XM, Miao ZY, Li HQ, Chen JP, Wang D, Zhang TZ (2021) Ethogram and PAE coding system for Tibetan antelope (*Pantholops hodgsonii*). Chinese Journal of Ecology, 40, 1449–1457. (in Chinese with English abstract) [吴彤, 连新明, 苗紫燕, 李宏奇, 陈佳萍, 王东, 张同作 (2021) 藏羚行为的PAE编码系统. 生态学杂志, 40, 1449–1457.]
- Zhang JD, Li YJ, Huang JY, Bai WK, Zhou SQ, Li YH, Zhou CQ (2018) Behavior coding and ethogram of the sambar (*Rusa unicolor*) in field environment. Acta Theriologica Sinica, 38, 1–11. (in Chinese with English abstract) [张晋东, 李玉杰, 黄金燕, 白文科, 周世强, 李应洪, 周材权 (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, 1–11.]

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 中华鬣羚PAE编码系统

Appendix 1 Posture-act-environment codes of *Capricornis sumatraensis*
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2021207-1.pdf>

附录1 中华鬣羚PAE编码系统

Appendix 1 Posture-act-environment codes of *Capricornis sumatraensis*

行为 Behaviors	雄性 Male	雌性 Female	母幼 Mother and cub	季节 Season	PAE编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Action (A)	环境 Environment (E)
摄食行为 Ingestive behaviors							
觅食 Foraging	++	++	+	Y	5	5, 45, 50	1, 2
站式采食 Feeding while standing	++	++	++	Y	1	5, 15, 17, 27, 41, 58	1, 2
行式采食 Feeding while walking	++	++	++	Y	5	5, 15, 17, 18, 27, 50	1, 2
卧式采食 Feeding while lying	+	+		Y	3	17, 27, 34	1, 2
跪式采食 Feeding while kneeling down	+	+		Y	2	5, 15, 17, 27	1, 2
前肢分叉站立采食 Feeding while forelegs standing	+	+	+	Y	1	5, 15, 16, 17	1, 2
啃树皮 Debarking	+	+		w	1	15, 17, 21, 26	1
刨式采食 Feeding from a crater	+	+		w	1	5, 19, 21, 63	3, 4, 5
扯草 Pulling grass	+	+		Y	1	16, 17, 29, 54	1, 2
饮水 Drinking	+	+	+	Y	1, 3	18, 22, 25, 27	6
舔石块 Licking stone	+	+	+	S	1, 2, 3	18, 20, 34	3
舔食盐 Licking salt	+	+		w	1	18, 20, 23, 34	4, 5
吸乳 Sulking			+	S, a	1, 2, 9, 10	18, 19, 34	9
顶乳 Bunting			+	S, a	9	3, 9, 18, 19, 34	9
反刍 Ruminating	++	+	+	Y	1, 2, 3, 4	17, 27, 39, 59, 60, 61	7, 8, 9
休息行为 Resting behavior							
跪式卧息 Kneeling and sitting	+	+	+	Y	2	31, 32, 34, 43, 44	1, 2, 3
侧卧 Lying	+	+		Y	3	31, 32, 39	1, 2, 3
站立休憩 Standing and resting	++	++	+	Y	1	32, 39, 42	1, 2, 3, 4, 5
站立打盹 Napping while standing	+	+	+	Y	1	24, 25, 31, 44	7, 8, 9

行为 Behaviors	雄性 Male	雌性 Female	母幼 Mother and cub	季节 Season	PAE编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Action (A)	环境 Environment (E)
运动行为 Locomotive behavior							
缓步 Walking	++	++	++	Y	1, 5	46, 48, 50, 59	1, 2, 4, 5
前行 Walking forward	++	++	++	Y	2, 5	2, 34, 36, 37, 48, 60	1, 2, 4, 5
侧行 Walking aside	+	+	+	Y	5	48, 49, 50, 68, 69, 70	4, 5
踏步 Stepping	+			Y	1	43, 44, 47, 50	1, 2, 5
小跑 Trotting	+	+		Y	5, 6	51,	1, 2, 4, 5, 7, 8
奔跑 Galloping	+	+		Y	5, 6	51, 74	1, 5, 7, 8
跳跃 Jumping	+			Y	7	52, 71	1, 4, 5, 6, 7, 8
攀登 Climbing	+	+		Y	7, 8	35, 52, 53, 71	4, 7
接近 Approaching	+	+	+	Y	1, 5	2, 50	9
离开 Departing	+	+	+	Y	5, 6, 8	1, 7, 34, 50, 57	1, 2
跟随 Following			++	Y	1, 4, 5	51, 52	9
排遗行为 Eliminate behavior							
站式排便 Defecating while standing	+	+	+	Y	1	59, 74, 79	1, 2, 3
行式排便 Defecating while walking	+	+	+	Y	5	38, 39, 79	1, 2, 3
蹲式排便 Defecating while squatting	++	++	+	Y	1	3, 10, 62, 67, 79	1, 2, 3
站式排尿 Urinating while standing	+	+	+	Y	1	59, 74, 80	1, 2, 3
行式排尿 Urinating while walking	+	+	+	Y	5	38, 39, 80	1, 2, 3
蹲式排尿 Urinating while squat	++	++	++	Y	1	3, 10, 62, 67, 80	1, 2, 3
调温行为 Thermo-regulatory behavior							
颤抖 Shivering	+	+	+	W, s	1	2, 44, 77	7, 8, 9
树下卧息 Lying under trees	+	+	+	Y	3	31, 74	
树下站息 Standing under trees	++	++	++	Y	1	13, 14	1, 2

行为 Behaviors	雄性 Male	雌性 Female	母幼 Mother and cub	季节 Season	PAE编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Action (A)	环境 Environment (E)
岩石下站息 Standing under rock	+	+	+	Y	1	13, 14, 55, 56, 76	3
岩石下卧息 Lying under rock	+	+	+	Y	3	24, 31, 74	3
冲突行为 Conflict behavior							
顶角 Sparing	+			s	1, 9	5, 9, 10, 12	7
双耳后伏 Ears back	++			s	1, 7	41	7
逃走 Flee	+			s	6	33, 41, 51, 75	7
通讯行为 Communication behavior							
擦草 Grass rubbing	+	+		Y	1, 9	13, 14	1, 2
嗅 Smelling	++	++	+	Y	1	5, 23, 45	1, 2, 9
鸣叫 Calling	+	+		Y	1, 5, 6, 7, 8	30	7, 8
咂嘴 Lip flipper	+	++		Y	1, 3, 4, 5	25	1, 2, 3, 4, 5
吐舌 Tongue flipper	+	++	+	Y	1, 3, 4, 5	22	1, 2, 3, 4, 5
摇头 Head shaking	+	+	+	Y	1, 5	1, 2	1, 2, 3, 4, 5
聚群行为 Aggregation behavior							
母仔 Mother fawn grouping			++	sp, s, a			9
雌雄 Female and sexual	+	+		Y			7, 8
警戒 Alert	+	+		Y	1	10, 35, 36, 59	3, 4, 6
注视 Watch	+	+	+	Y	1, 4, 5, 6, 7, 8	34, 36, 38, 41	1, 2, 3, 4, 5
观望 Attention	++	++	+	Y	1, 5, 7, 8	4, 35	1, 2, 3, 4, 5
发情行为 Rutting and estrous behavior							
卷唇 Flehmen	+			s, a	1, 5	23	1, 2, 7
嗅尿 Urine sniffing	+			s, a	1, 5	5, 45	1, 2, 7
追逐 Chasing	+			s, a	6	8, 51	1, 2, 7

行为 Behaviors	雄性 Male	雌性 Female	母幼 Mother and cub	季节 Season	PAE编码 PAE code		
					姿势 Posture (P)	动作 Action (A)	环境 Environment (E)
磨角 Antler sharpening	+			s, a	1	1, 13, 14	1, 2, 3, 7
吼叫 Roaring	+			s, a	1	30	1, 2, 7
阴茎抽动 Penis twitchling	+			s	1	67, 78	1, 2, 7
育幼行为 Parental behavior							
舔毛 Licking			+	sp, s, a	1	18,	9
寻仔 Searching for fawn			++	sp, s, a	5, 6	4, 30, 35, 51	9
哺乳 Nursing			+	sp, s, a	1, 9, 10	18, 19, 27	9
杂类行为 Miscellaneous behavior							
玩耍 Playing			+	Y	5, 6, 7	51, 52	1, 2, 9
舔鼻 Nasal licking	+	+	+	Y	1, 3, 4	18	7, 8, 9
角搔背 Scratching body with antlers	+			Y	1	11	1, 2
磨背 Scratching body against	+			Y	1	13, 14, 66	1, 2, 3
角搔后肢 Scratching hindleg with antlers	+			Y	1	11, 51	1, 2
后肢搔 Scratching with handoff	+			Y	1	57	1, 2
鼻镜触 Muzzle tossing	+	+		Y	1, 5	5, 42	1, 2
皮肤抖动 Skin shaking	+	+		Y	1	1, 77	1, 2
抖身体 Trembling	+	+	+	Y	1, 5	2, 41, 59, 77	1, 2
卷尾 Tail arching	+	++		Y	1, 5, 6	72, 73	1, 2
尾巴扫蝇 Tail swapping	++	+		s	1	74, 75	1, 2, 6
摆耳赶蝇 Ears swaying	+	+		s	1, 5	36, 37, 39	1, 2, 3, 4, 5
站立伸腰 Standing stretch	+	+		Y	1	46, 57	1, 2
行走伸腰 Walk stretch	+	+		Y	5	48, 57	1, 2

+表示可能发生, +越多发生的频次越高。Y表示全年, sp, s, a, w分别代表春、夏、秋、冬。
+ indicates that it may occur, and the more + occurs, the higher the frequency. Y represents the whole year, SP, s, a, w represent spring, summer, autumn, winter respectively.