



•研究报告•

雅鲁藏布大峡谷鸟兽多样性及其海拔和季节分布

史湘莹^{1,2}, 李雪阳³, 魏春玥¹, 孙戈⁴, 刘震⁵, 赵翔¹, 周嘉鼎¹, 樊简¹, 李成^{6*}, 吕植^{1,3*}

1. 山水自然保护中心, 北京 100871; 2. 北京大学国家发展研究院, 北京 100871; 3. 北京大学生命科学院, 北京 100871; 4. 中国林业科学研究院森林生态环境与自然保护研究所, 北京 100091; 5. 西藏自治区林芝市墨脱县林业和草原局, 西藏林芝 860700; 6. 西子江生态保育中心, 广东深圳 518112

摘要: 雅鲁藏布大峡谷地区海拔高差大, 开发程度较低, 生物多样性高, 生态系统保存相对完整, 近年来不断有新的物种和记录发现。2020年10月至2021年11月, 我们在西藏墨脱县、波密县和米林县雅鲁藏布大峡谷区域内布设红外相机进行生物多样性本底调查, 选择了7个不同海拔样区, 累计布设116个红外相机位点(海拔范围646–4,360 m), 监测24,741个相机工作日, 获得独立有效视频12,010段。近一年的调查共记录到物种136种, 其中可确定物种的兽类37种, 分属4目14科, 此外还记录到难以定种的鼠兔、鼠类和蝙蝠; 鸟类99种, 分属9目28科; 记录到国家I级重点保护野生动物共14种, 国家II级重点保护野生动物37种。本次拍摄到10个之前红外相机监测未拍摄到的兽类和雉类物种, 包括林麝(*Moschus berezovskii*)、马麝(*M. chrysogaster*)、棕熊(*Ursus arctos*)、亚洲狗獾(*Meles leucurus*)、黄鼬(*Mustela sibirica*)、灰头小鼯鼠(*Petaurista caniceps*)、黑白飞鼠(*Hylopetes alboniger*)、灰鼯鼠(*Petaurista xanthotis*)、白尾梢虹雉(*Lophophorus sclateri*)和灰腹角雉(*Tragopan blythii*)。通过比较不同海拔段和季节物种相对多度、Shannon-Wiener多样性指数和Pianka指数, 本研究发现本区域物种多样性丰富, 各个海拔段食肉动物、有蹄类动物分布存在差异。与雨季(4–9月)相比, 豺(*Cuon alpinus*)、野猪(*Sus scrofa*)等物种旱季(10月至翌年3月)相对多度更高。本研究为雅鲁藏布大峡谷区域生物多样性研究补充了更全面的基础数据, 建议成立雅鲁藏布大峡谷国家公园以进一步加强对该区域生态系统和物种的保护和管理。

关键词: 雅鲁藏布大峡谷; 红外相机; 生物多样性

史湘莹, 李雪阳, 魏春玥, 孙戈, 刘震, 赵翔, 周嘉鼎, 樊简, 李成, 吕植 (2023) 雅鲁藏布大峡谷区域鸟兽多样性红外相机调查. 生物多样性, 31, 22491. doi: 10.17520/biods.2022491

Shi XY, Li XY, Wei CY, Sun G, Liu Z, Zhao X, Zhou JD, Fan J, Li C, Lü Z (2023) Camera-trap survey to determine avian and mammal diversities in Yarlung Zangbo Grand Canyon area, China. Biodiversity Science, 31, 22491. doi: 10.17520/biods.2022491.

Avian and mammal diversities and their altitudinal and seasonal distribution patterns in Yarlung Zangbo Grand Canyon, China

Xiangying Shi^{1,2}, Xueyang Li³, Chunyue Wei¹, Ge Sun⁴, Zhen Liu⁵, Xiang Zhao¹, Jiading Zhou¹, Jian Fan¹, Cheng Li^{6*}, Zhi Lü^{1,3*}

1 Shan Shui Conservation Center, Beijing 100871

2 National School of Development, Peking University, Beijing 100871

3 School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

4 Ecology and Nature Conservation Institute, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091

5 Forestry and Grassland Bureau of Medog County, Linzhi, Tibet 860700

6 Xizijiang Conservation Center, Shenzhen, Guangdong 518112

ABSTRACT

Aims: Due to its altitude and limited human development, the Yarlung Zangbo Grand Canyon area boasts high degree of biodiversity and intact ecosystems. These conditions, have been favorable to the study and discovery of new species in recent years. In this study, we present the results of a comprehensive camera trap survey method implemented

收稿日期: 2022-08-25; 接受日期: 2022-11-24

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: 326516420@qq.com; luzhi@pku.edu.cn

throughout the Yarlung Zangbo Grand Canyon area that shows the distribution patterns of the surveyed species.

Methods: From October 2020 to November 2021, infrared remote cameras were set in the Medog County, Bomi County, and Milin County of Yarlung Zangbo Grand Canyon area to determine degree of biodiversity. Camera traps were placed in 116 sites in seven monitoring areas with different altitudes ranging from 646 m asl (above sea level) to 4,360 m asl. With a total survey effort of 24,741 camera days, 12,010 independent detections were obtained and relative abundance index (RAI) were calculated. Shannon-Wiener diversity index in different altitude bins and Pianka index were used to analyze the species altitudinal distribution. Seasonal distribution patterns of dry season (October 2020 to March 2021) and rainy season (April 2021 to September 2021) were also compared using seasonal RAI at different camera trap sites.

Results: 37 mammal species, which belong to 4 orders and 14 families, and 99 bird species, which belong to 9 orders and 28 families, were identified. Of these, 51 of the identified species were classified as State Key Protected Species. Ten species were documented with the use of camera for the first time in Yarlung Zangbo Grand Canyon area. These species were the forest musk deer (*Moschus berezovskii*), alpine musk deer (*Moschus chrysogaster*), brown bear (*Ursus arctos*), Asian badger (*Meles leucurus*), Siberian weasel (*Mustela sibirica*), yellow-bellied weasel (*Mustela kathiah*), grey-headed flying squirrel (*Petaurista caniceps*), particolored flying squirrel (*Hylopetes alboniger*), Chinese giant flying squirrel (*Petaurista xanthotis*), Sclater's monal (*Lophophorus sclateri*) and Blyth's tragopan (*Tragopan blythii*). Species like the dhole (*Cuon alpinus*) and wild boar (*Sus scrofa*) have higher RAI during the rainy season than in the dry season.

Conclusion: This study revealed high degree of biodiversity in the Yarlung Zangbo Grand Canyon area, with high heterogeneity of the altitudinal and seasonal distribution pattern of carnivore and ungulates. The result of this survey provides a biodiversity baseline and a scientific basis for the protection and management of the Yarlung Zangbo Grand Canyon area.

Key words: Yarlung Zangbo Grand Canyon; camera trap; biodiversity

雅鲁藏布大峡谷地处我国西藏东南部, 位于全球34个生物多样性热点地区之一的东喜马拉雅地区(CEPF, 2005)。该区域处于山脉交界处, 地质环境复杂, 加之高原历史地质活动影响, 海拔落差大, 自然垂直带明显, 具有我国最完整的植物垂直分布类型, 分布有东洋界和古北界两个动物地理区系的鸟兽及青藏高原特有种, 具有多样而独特的物种组成(冯祚建等, 1980; 王祖祥, 1982; 徐凤翔, 1995; 中国科学院登山科学考察队, 1995)。

基于其重要的保护价值, 雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区于2000年成立, 由墨脱县和周边的波密县、巴宜区、米林县的部分区域组成, 总面积9,168 km²(王渊等, 2019a)。雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区生物多样性丰富, 有国家I级重点保护野生动物近30种。虽然峡谷内环境艰险、调查难度大, 但随着考察力度加大和技术手段提升, 近年不断发现脊椎动物新种甚至新属, 如墨脱湍蛙(*Amolops medogensis*) (赵文阁等, 2005)、白颊猕猴(*Macaca leucogenys*) (Li et al, 2015)、墨脱鼯(*Alpiscaptulus medogensis*) (Chen et al, 2021)等。红外相机的应用也促使地区物种新记录层出不穷, 如温立嘉等(2014)、吴建普等(2016)的调查记录到的

帚尾豪猪(*Atherurus macrourus*)、云猫(*Pardofelis marmorata*)、戴帽叶猴(*Trachypithecus shortridgei*)等。孟加拉虎(*Panthera tigris tigris*)在2000年后鲜见, 王渊等(2019a)仅记录到痕迹, 而Li等(2021a)在2019年1月首次用红外相机记录到孟加拉虎。

雅鲁藏布大峡谷及周边地区生态环境脆弱, 多种综合因素带来的地质灾害如冰崩岩崩(刘传正等, 2019)、气候变化引起的冰川退缩与冻土消融(Hugonnet et al, 2021), 可能威胁着区域生态系统的稳定性、完整性与多样性。因而, 在雅鲁藏布大峡谷开展全面、持续的生物多样性监测, 对丰富本底信息、开展动态监测以及规划适应性保护行动具有重要意义。

红外相机适合探测活动隐秘、数量稀少的动物, 可应用于多样性及种群监测、行为学等方面的研究(李晟等, 2014; 肖治术等, 2014)。本区域以往的红外相机调查主要集中在旱季(10月至次年3月)(温立嘉等, 2014; 吴建普等, 2016; Li et al, 2021a), 缺乏雨季(4-9月)的调查, 并且调查海拔多在4,000 m以下, 未能完整呈现出生物多样性的时空分布格局。针对这些研究空缺, 本研究在雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区开展红外相机监测, 旨在获得区域内

鸟兽分布及相对多度信息; 探讨不同海拔的物种分布差异; 探讨不同季节对物种(特别是大中型兽类)活动情况的影响, 从而获得雅鲁藏布大峡谷区域鸟兽分布格局及季节分布规律, 以期为开展更完整、全面的保护提供依据与基础。

1 研究地点和方法

1.1 监测区概况

本次研究的监测区域位于雅鲁藏布大峡谷(94°39'–96°06' E, 29°05'–30°22' N), 属于喜马拉雅山东侧亚热带湿润气候区, 植被类型多样, 本次调查海拔范围内主要包括热带季节性雨林(海拔500–1,100 m)、亚热带常绿阔叶林(1,100–2,500 m)、针阔混交林(2,500–2,800 m)、常绿硬叶阔叶林(北坡, 2,800–3,500 m)、暗针叶林(2,800–3,700 m)和高山灌丛(3,700–4,200 m) (李渤生, 1985; 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1988; Li et al, 2021a)。该区域年均温 18.4 °C, 年均降水量约 2,330 mm (<http://www.linzi.gov.cn/mtx/zjmt/202110/9712bcfe81ec4fcd9a4401fbca4310df.shtml>)。

本次研究在保护区内选择不同海拔段、不同植

被类型的7个代表性区域作为监测样区, 分别为位于波密县的巴卡和普热(暗针叶林至高山灌丛)、位于米林县的派镇(常绿硬叶阔叶林、暗针叶林、高山灌丛)和位于墨脱县的德尔贡村、格林村、马迪村(亚热带常绿阔叶林为主)、德果村(季节性雨林为主)、格当乡(针阔混交林为主) (图1)。部分监测样区的海拔分布有所重叠, 已覆盖了雅鲁藏布大峡谷区域的大部分森林生境。

1.2 监测方法

2020年10月至2021年11月在保护区的7个监测样区内各选择1条样线, 通过对动物痕迹和生境的观察判断, 选择远离人为干扰的鸟兽适宜生境, 沿样线布设相机(猎科6210和东方红鹰两种型号), 累计116个相机位点, 80台红外相机, 布设位置海拔646–4,360 m。本次调查主要通过前期调研和访谈信息, 按照具有代表性的生境类型, 选取野生动物的适宜生境作为调查区域(表1)。样线的选择则通过村民访谈和实地勘察选取样区内的主要山脊和兽径, 确定可行的布设路线, 并根据地形条件和可到达性沿海拔梯度布设红外相机, 尽量保证每台相机位点间距大于100 m, 但由于低海拔森林生境多位于

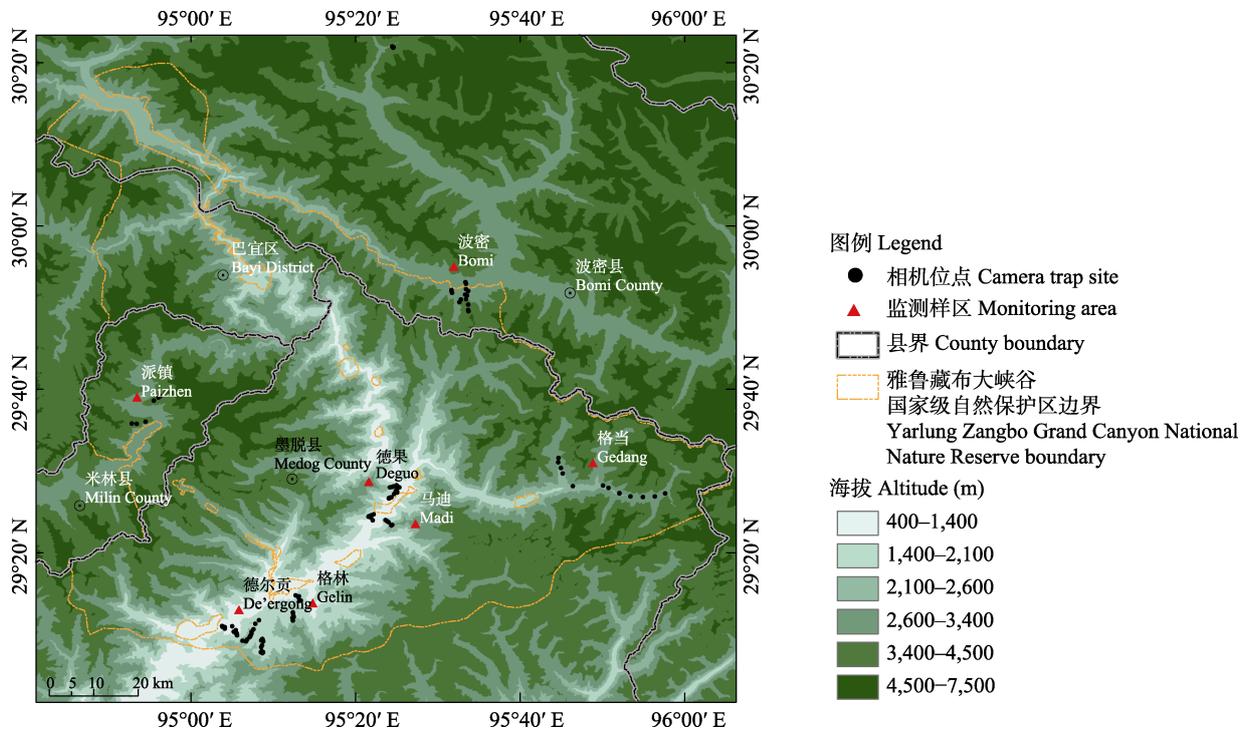


图1 雅鲁藏布大峡谷红外相机布设位点示意图

Fig. 1 Sketch map of camera trap sites in Yarlung Zangbo Grand Canyon, China

表1 雅鲁藏布大峡谷7个监测样区红外相机布设情况

Table 1 Details of camera trap surveys carried out in seven monitoring areas in Yarlung Zangbo Grand Canyon, China

监测样区 Monitoring area	相机位点数 No. of camera trap sites	相机位点海拔范围 Site elevation range (m)	相机位点平均海拔 Site average elevation (m)	相机工作日 Total camera days
波密 Bomi	17	2,674–4,274	3,266	4,466
派镇 Paizhen ^①	6	3,676–4,360	4,055	435
德尔贡 De'ergong	38	646–2,613	1,726	7,847
格林 Gelin ^②	9	1,559–2,302	1,970	2,217
德果 Deguo	28	972–2,121	1,363	6,023
马迪 Madi	5	1,746–2,607	2,148	1,244
格当 Gedang	13	2,174–2,880	2,605	2,509

① 2021年5月开始监测; ② 2021年1月开始监测

① Survey was started from May 2021; ② Survey was started from January 2021.

无人区, 地形复杂, 地质灾害频发, 尽最大调查努力的同时, 为了更多地捕获野生动物活动信息, 有14台相机位点间距小于100 m。相机灵敏度设为“中”, 设置为每次触发后拍摄1段15 s的视频, 24 h连续工作。相机与地面平行安装在树干上约20–50 cm高处, 安装后使用GPS获取和记录经纬度信息。拍摄过程中相机无遮蔽或伪装, 未使用诱饵。2020年10月进行第一批次的布设, 每隔4–5个月采集一批数据(2021年1月、2021年5月、2021年11月; 共三批数据), 更换电池和SD卡, 并对部分相机的位点进行更换, 以覆盖更多的生境类型。相机工作时长共计24,741工作日。

1.3 数据分析

对获取的影像数据进行整理和归档, 并参考《中国兽类野外手册》(Smith和解焱, 2009)和《中国鸟类观察手册》(刘阳和陈水华, 2021)进行影像中的物种识别, 动物分类采用《中国兽类野外手册》(Smith和解焱, 2009)、郑光美(2017)、蒋志刚等(2017)和魏辅文等(2021)的分类系统, 其中部分近缘物种, 如鬣羚属(*Capricornis*)、麂属(*Muntiacus*)、麝属(*Moschus*)等的物种鉴定方式见附录1。同一物种的连续照片和视频以间隔30 min作为1次独立捕获(O'Brien et al, 2003), 将识别结果汇总并建立Excel数据库。采用R的vegan包绘制物种累积曲线(Oksanen et al, 2020), 其余数据处理和分析使用Python 3.9和Microsoft Excel 2019完成。

通过计算各物种每100个相机工作日里的独立捕获次数, 得到其相对多度(relative abundance index, RAI) (O'Brien et al, 2003), 计算公式为:

$$RAI = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \times 100 \quad (1)$$

其中 T_i 为相机位点*i*的相机工作天数, N_i 为相机位点*i*某一物种的独立捕获次数。

通过计算监测区域各物种的相对多度, 以及计算整个区域的生物多样性指数, 可以作为本区域生物多样性情况的评估指标。同时, 也可以与其他区域进行比较。我们利用Shannon-Wiener多样性指数(H')来评估物种多样性(Shannon, 1948; Spellerberg & Fedor, 2003), 并对不同海拔段(以1,000 m为间隔)的生物多样性指数进行比较, 计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

其中, P_i 是物种*i*的独立捕获次数占全部物种独立捕获总次数的比例, S 是整个监测区或各海拔段的全部物种数。

通过比较不同海拔段的野生动物相对多度来比较不同海拔和植被类型中的生物多样性丰富度。为了直观反映物种随海拔分布的情况, 文章选择了独立捕获次数较高的食肉动物和有蹄类动物, 用Python的seaborn可视化包中的violinplot工具(Waskom, 2021)绘制各物种的海拔分布提琴图, 以比较不同海拔的物种组成, 并使用Pianka指数(O_{jk}) (Pianka, 1973; Jennings & Veron, 2011)计算物种在海拔利用上的生态位重叠程度, 计算公式如下:

$$O_{jk} = \frac{\sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n p_{ij}^2 \sum_i^n p_{ik}^2}} \quad (3)$$

其中, p_{ij} 和 p_{ik} 是物种*j*和物种*k*对第*i*个海拔段(以200 m

为间隔, 600–800 m, ..., 4,200–4,400 m, $n = 19$) 的利用程度, 采用相对多度表示。

另一方面, 通过比较旱季和雨季物种相对多度的差异, 也可以比较食肉动物与有蹄类在季节分布上的动态变化与关系, 补充已有文献在雨季监测数据上的空缺。选取旱季(2020年10月至2021年3月)和雨季(2021年4–9月)均进行监测的相机位点(共78个), 采用Wilcoxon Signed-Rank检验比较各物种在两个季节的相对多度差异。

2 结果

2.1 监测区生物多样性现状

本次调查回收206台次相机, 累计监测24,741个相机工作日, 共获得野生动物的独立有效视频12,010段, 其中兽类9,613段, 鸟类1,906段, 无法识别的物种491段, 此外亦拍摄到人类及家畜活动的独立有效视频1,800段。共记录到物种136种, 其中可确定物种的兽类37种, 分属4目14科, 此外还记录到难以定种的鼠兔、鼠类和蝙蝠; 鸟类99种, 分属9目28科(附录2)。拍摄到的动物中, 有国家I级重点保护野生动物共14种, 其中兽类10种, 即豺(*Cuon alpinus*)、金猫(*Catopuma temminckii*)、云豹(*Neofelis nebulosa*)、大灵猫(*Viverra zibetha*)、喜马拉雅鬣羚(*Capricornis thar*)、羚牛(*Budorcas taxicolor*)^①、赤斑羚(*Naemorhedus baileyi*)、黑麝(*Moschus fuscus*)、林麝(*M. berezovskii*)和马麝(*M. chrysogaster*); 鸟类4种, 即灰腹角雉(*Tragopan blythii*)、棕尾虹雉(*Lophophorus impejanus*)、白尾梢虹雉(*L. sclateri*)和黄喉雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*)。另有国家II级重点保护野生动物37种: 兽类13种, 鸟类24种。被IUCN红色名录评估为濒危(EN)的动物5种, 即豺、小熊猫(*Ailurus fulgens*)^②、黑麝、林麝和马麝。CITES附录I物种15种, 附录II

① 羚牛(*Budorcas taxicolor*)又称扭角羚(Wei & Hu, 2022), 亦有研究者将其分为贡山羚牛(*B. taxicolor*, 又称高黎贡羚牛、米什米羚牛)、不丹羚牛(*B. whitei*)、四川羚牛(*B. tibetana*)、秦岭羚牛(*B. bedfordi*) 4个物种(Groves & Grubb, 2011; 蒋志刚等, 2017), 此外也有研究者采用喜马拉雅羚牛(*B. taxicolor*, 包含贡山羚牛和不丹羚牛两个亚种)和中华羚牛(*B. tibetana*, 包含四川羚牛和秦岭羚牛两个亚种)两个物种的分类(Yang et al, 2022)。本调查中拍摄到的羚牛属于喜马拉雅羚牛, 其中派镇的部分相机位点拍摄到的羚牛形态近似不丹羚牛, 其他相机位点拍摄到的羚牛形态近似贡山羚牛。

② 亦有研究者将小熊猫(*Ailurus fulgens*)分类为喜马拉雅小熊猫(*A. fulgens*)和中华小熊猫(*A. styani*)两个物种(Hu et al, 2020)。本调查中拍摄到的小熊猫在形态上近似中华小熊猫。

物种17种。

整个监测区内相对多度最高的物种是赤鹿(*Muntiacus vaginalis*, 11.72), 其次为黄喉貂(*Martes flavigula*, 2.55)、猕猴(*Macaca mulatta*, 2.40)、赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*, 1.90)、喜马拉雅鬣羚(1.81); 鸟类中相对多度最高的为黑鹇(*Lophura leucomelanos*, 2.48), 其次为紫啸鸫(*Myophonus caeruleus*, 1.16)、环颈山鹧鸪(*Arborophila torqueola*, 0.49)、长尾地鸫(*Zoothera dixonii*, 0.38)、红喉山鹧鸪(*Arborophila rufogularis*, 0.36)。各样区各物种相对多度见附录2。

整个监测区的Shannon-Wiener多样性指数(H')为3.026, 且随海拔梯度上升呈先增加后减少的趋势, 在2,500–3,500 m海拔段达到峰值3.074, 海拔段1,500–2,500 m ($H' = 2.799$)和3,500–4,500 m ($H' = 2.800$)的Shannon-Wiener多样性指数相近, 低海拔段(500–1,500 m)的Shannon-Wiener多样性指数较低($H' = 2.174$), 物种累积曲线显示整个监测区内记录到的兽类物种数趋于饱和(图2)。

2.2 食肉动物与有蹄类动物的海拔分布变化

将主要食肉动物和有蹄类动物不同海拔的分布统计制成提琴图(图3)。从海拔分布的结果来看, 食肉动物中, 豺($2,265 \pm 565$ m; 分布范围1,060–4,086 m)、金猫($2,103 \pm 779$ m; 分布范围1,060–4,274 m)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*, $1,669 \pm 592$ m; 分布范围646–3,699 m)、黑熊(*Ursus thibetanus*, $2,192 \pm 917$ m; 分布范围738–4,086 m)和黄喉貂($2,302 \pm 683$ m; 分布范围646–4,214 m)的海拔分布范围较广, 云豹($1,445 \pm 452$ m; 分布范围

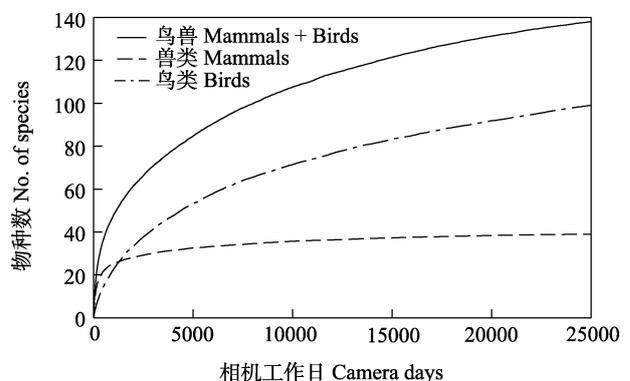


图2 雅鲁藏布大峡谷红外相机调查物种累积曲线
Fig. 2 Species accumulative curve of camera trapping survey in Yarlung Zangbo Grand Canyon, China

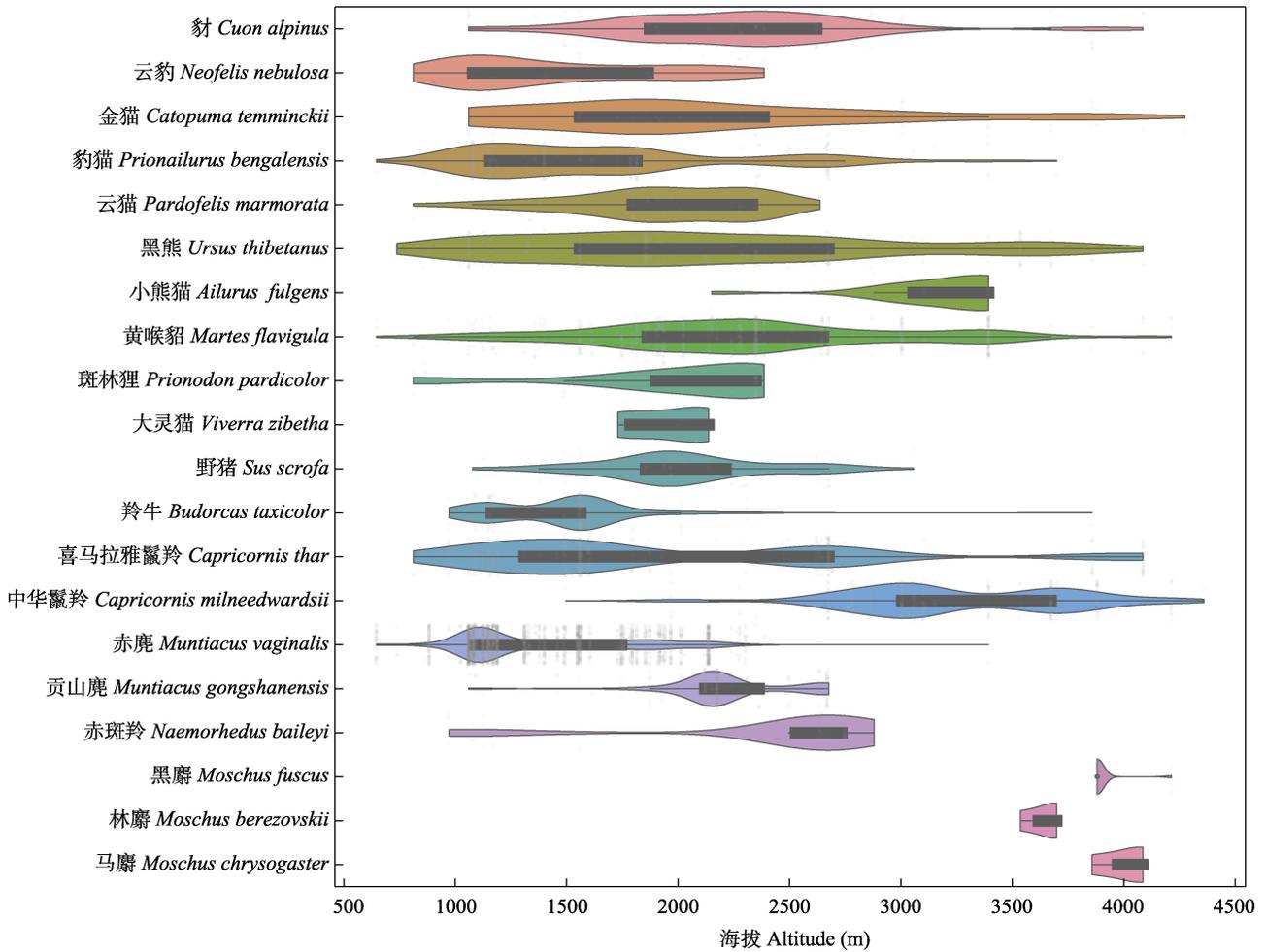


图3 雅鲁藏布大峡谷食肉动物和有蹄类动物海拔分布提琴图
Fig. 3 Violin plot of the elevation distribution of carnivores and ungulates in Yarlung Zangbo Grand Canyon, China

812–2,386 m)和云猫(1,907 ± 405 m; 分布范围812–2,637 m)主要分布在中低海拔, 分布的海拔段相似, 小熊猫(3,193 ± 304 m; 分布范围2,152–3,393 m)则主要分布在中高海拔。Pianka指数(附录3)显示豺和云豹两种顶级食肉动物的海拔分布重叠度较低($\alpha = 0.27$), 而豺与金猫($\alpha = 0.75$)和云猫($\alpha = 0.70$)这两种中小型猫科动物的海拔分布重叠度较高, 云豹和云猫虽均分布在中低海拔, 但海拔分布重叠度较低($\alpha = 0.37$)。

有蹄类动物中(图3), 中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)主要分布在中高海拔(3,268 ± 480 m; 分布范围1,496–4,360 m), 喜马拉雅鬣羚主要分布在中低海拔(1,990 ± 901 m; 分布范围812–4,086 m), 在米林派镇也有在高海拔区域的记录(3,858 m, 4,086 m), 中华鬣羚和喜马拉雅鬣羚的海拔分布重

叠度很低($\alpha = 0.06$); 野猪(*Sus scrofa*, 2,057 ± 427 m; 分布范围1,078–3,056 m)、赤麂(1,389 ± 389 m; 分布范围646–3,393 m)、贡山麂(*Muntiacus gongshanensis*, 2,230 ± 286 m; 分布范围1,060–2,676 m)、赤斑羚(2,370 ± 619 m; 分布范围972–2,880 m)主要分布在中低海拔, 赤麂和贡山麂的海拔分布重叠度较低($\alpha = 0.24$), 羚牛则除在米林派镇有1次3,858 m的记录外, 主要记录于中低海拔(1,439 ± 366 m; 分布范围972–3,858 m); 黑麝(3,899 ± 75 m; 分布范围3,881–4,214 m)、林麝(3,645 ± 77 m; 分布范围3,536–3,699 m)和马麝(4,010 ± 108 m; 分布范围3,858–4,086 m)均分布在海拔3,500 m以上的高海拔区域, 但由于捕获次数较少, 尚无法看出海拔分布的分化。

通过比较食肉动物与有蹄类动物的分布海拔

可发现, 豺和野猪的海拔分布重叠度较高($\alpha = 0.62$), 云豹则与赤鹿($\alpha = 0.72$)的海拔分布重叠度较高。各样区内物种间海拔分布重叠度基本符合整体的海拔分布重叠度特征。

2.3 食肉动物与有蹄类动物活动的季节分布变化

对拍摄到主要食肉动物和有蹄类动物的相机位点分旱季和雨季分别统计各位点该物种的相对多度, 并检验是否有显著差异(图4)。从季节分布的结果来看, 食肉动物中豺、云豹、金猫、云猫相对多度在旱季显著高于雨季, 花面狸(*Paguma larvata*)则在雨季显著高于旱季; 有蹄类动物中野猪和喜马拉雅鬣羚的旱季相对多度显著高于雨季, 赤斑羚呈现同样的趋势, 但区别不显著, 其余几种有蹄类动物在两个季节的活动无明显区别, 其中羚牛的雨季记录主要集中在4月。

3 讨论

3.1 较丰富的物种多样性

本次监测共记录到兽类37种, 鸟类99种, 其中国家I级、II级重点保护野生动物共51种。结合已有文献中调查的结果(温立嘉等, 2014; 吴建普等, 2016; 李学友等, 2020; Li et al, 2021a, b; 李学友, 2022^③), 雅鲁藏布大峡谷现有红外相机调查共记录到43科157种, 其中兽类14科45种, 鸟类29科112种。

在其他拥有丰富生物多样性的热带季雨林区域, 如高黎贡山国家级自然保护区, 红外相机调查记录的兽类在12–37种, 鸟类在5–44种, 其中国家I级、II级重点保护野生动物数量累积为41种(陈奕欣等, 2016; 高歌等, 2017; Li et al, 2019; 李学友等, 2020); 西双版纳国家级自然保护区的红外相机调查记录的兽类在12–43种, 鸟类在16–50种, 其中国家I级、II级重点保护野生动物为52种(张明霞等, 2014; 白德凤等, 2018; 贺如川等, 2020; 李学友等, 2020); 海南尖峰岭国家级自然保护区的红外相机调查记录兽类17种, 鸟类47种, 国家I级、II级重点保护野生动物21种(莫锦华等, 2019, 2021)。与以上区域相比, 本次为期一年的雅鲁藏布大峡谷红外相

机调查记录的物种多样性高, 濒危物种种类多, 峡谷区域亟待更多保护与研究投入。雅鲁藏布大峡谷较高的生物多样性可能得益于峡谷内巨大的海拔落差, 多种生境类型为不同物种提供了多样的栖息地; 且雅鲁藏布大峡谷处于喜马拉雅山脉与横断山脉之间, 位于多个动物区系的交汇地带, 例如从动物地理区划看, 墨脱地区属于东洋界, 却在本次调查中记录到了棕熊(*Ursus arctos*)这一古北界的物种(张荣祖和郑昌琳, 1985)。

本次记录到10个之前红外相机监测(温立嘉等, 2014; 吴建普等, 2016; 徐婉芸等, 2020; 李学友等, 2020; Li et al, 2021a, b)未拍摄到的兽类和雉类物种, 即林麝、马麝、棕熊、亚洲狗獾(*Meles leucurus*)、黄鼬(*Mustela sibirica*)、灰头小鼯鼠(*Petaurista caniceps*)、黑白飞鼠(*Hylopetes alboniger*)、灰鼯鼠(*Petaurista xanthotis*)、白尾梢虹雉和灰腹角雉, 进一步增补了物种记录, 表明保护区内开展红外相机物种监测仍具潜力。在保护区内持续开展基于红外相机的物种调查, 有助于监测濒危物种的状态与变化、发现潜在的新记录种和新物种。

此外, 本研究有8个位点在同一位置记录到云豹和豺两种大型食肉动物。云豹和豺曾在我国多个省份有分布(张荣祖, 1997), 但目前豺仅在甘肃、西藏、青海、新疆、四川和云南有零星记录(Kamler et al, 2015; Xue et al, 2015; Li et al, 2020), 云豹更是仅记录于云南、西藏的部分区域(马子馥等, 2022)。本研究中云豹和豺的相对多度分别为0.18和0.82, 在国内的红外相机调查中处于较高的水平(施小刚等, 2017; 白德凤等, 2018; 宋志勇等, 2019)。此外, 金猫的相对多度高达0.69, 在已有国内外研究中也处于较高的水平(Azlan & Sharma, 2006; 武阿莉等, 2014; Yongdrup et al, 2019; 宋志勇等, 2019)。大型食肉动物作为其所在生态系统中的顶级捕食者, 与次级捕食者共同塑造生态系统的营养与群落结构, 因此其种群数量是一个健康完整的生态系统的重要标志(Ripple et al, 2014); 雅鲁藏布大峡谷因交通闭塞, 人类活动少于其他区域, 所以栖息地较为完整, 猎物资源相对丰富(本研究中记录有蹄类动物11种)。

3.2 不同海拔食肉动物和有蹄类动物分布

海拔可通过影响气温、降水、氧浓度、植被等

③ 李学友 (2022) 雅鲁藏布江大峡谷国家级自然保护区红外相机记录兽类物种多样性采样清单(2021). 国家青藏高原科学数据中心, DOI: 10.11888/HumanNat.tpdc.272650. CSTR: 18406.11.HumanNat.tpdc.272650.

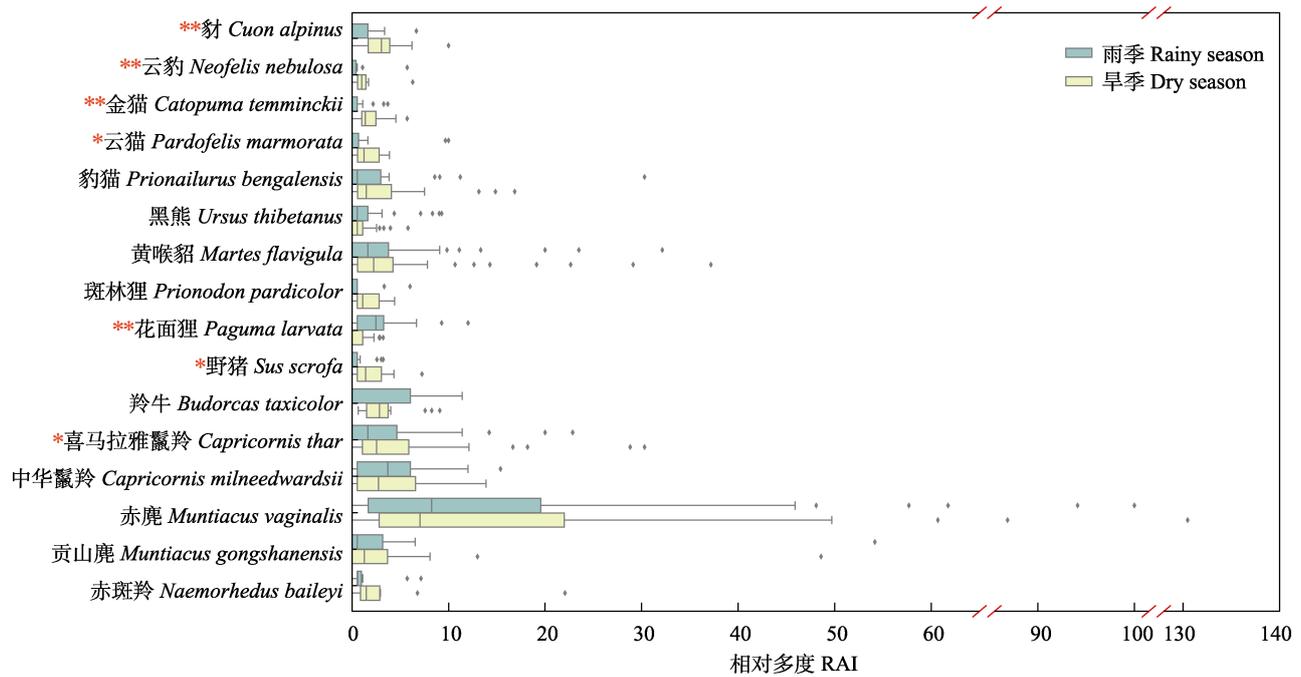


图4 雅鲁藏布大峡谷食肉动物和有蹄类动物各位点相对多度在雨季和旱季间的差异。* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。
 Fig. 4 Relative abundance index (RAI) differences between rainy season and dry season of carnivores and ungulates in Yalu Zangbo Grand Canyon, China. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

多种因素综合影响动物分布(韩菡等, 2017; 王作波等, 2020), 本研究区域内海拔落差大, 植被垂直分布明显, 包括热带季雨林、亚热带山地常绿阔叶林、温带针叶林、暗针叶林、高山灌丛和裸岩(Li et al, 2021a), 多样的植被类型提供了不同类型的栖息地, 为多物种的共存提供了基础, 在分析中不同海拔的食肉动物、有蹄类动物也呈现出分布差异, 如云豹和豺、赤麂和贡山麂、中华鬣羚和喜马拉雅鬣羚。

食肉动物的分布与猎物密切相关, 本研究中, 豺与野猪相较豺与其他有蹄类动物海拔分布重叠度最高, 也与以往对豺的食性研究相符(Kawanishi & Sunquist, 2008; Hayward et al, 2014); 中小型食肉动物如金猫、黄喉貂、豹猫海拔分布范围较广, 可能是由于其食性多样, 捕食的小型脊椎动物分布广, 本次调查甚至在林线以上拍摄到金猫(波密, 海拔 4,274 m), 是海拔最高的金猫记录点之一(Grassman et al, 2005; Zhou et al, 2011; Xiong et al, 2017; Kamler et al, 2020)。

本研究显示, 保护区内不同海拔食肉动物与有蹄类动物的分布和重叠度均存在差异, 不同海拔可能均存在完整营养结构。为保护整个生态系统的稳定性与完整性, 应对保护区各海拔均开展监测与保护。

3.3 食肉动物和有蹄类动物季节活动规律变化

本研究首次补充了雨季调查结果, 得以探讨兽类季节活动变化规律。以往研究显示, 季节可能通过影响食物资源分布、可利用生境数量从而影响兽类对不同海拔、栖息地类型的利用情况(吴鹏举和张恩迪, 2004; Qamar et al, 2008; Srivastava & Kumar, 2018), 其季节活动规律也会受行为规律(如发情、冬眠)影响(贾晓东等, 2014)。

花面狸和黑熊为杂食动物, 两者均以植食性为主(吴家炎, 1983; 王捷和胡锦矗, 1990; 刘务林, 2004; Zhou et al, 2011; 涂飞云等, 2016), 因而可能在食物充沛的雨季活动更频繁, 且花面狸的季节活动也有显著差异。而黑熊的冬眠时间约从11月开始, 多为半睡状态, 冬眠情况与气候、食源相关(吴家炎, 1983; 王捷和胡锦矗, 1990; 刘务林, 2004), 本研究中定义旱季为10月至次年3月, 可能纳入了黑熊冬眠前的活动高峰, 因而未出现显著差异。11月至次年3月黑熊的活动频率则显著低于4-10月($P < 0.05$)。

有蹄类动物的季节活动规律可能受多种因素影响: 苏门羚(*Capricornis sumatraensis*)发情季集中在旱季(Boonsong & McNeely, 1977; Lovari et al,

2020), 这也可能是喜马拉雅鬣羚旱季活动增加的原因; 野猪旱季活动显著增加, 与以往研究相符, 可能是受食物资源、繁殖情况等综合因素影响(Guo et al, 2017), 雨季食物资源更集中, 活动范围可能更小。而食肉动物中的豺、云豹、金猫的旱季活动频次增加, 可能与繁殖周期、猎物活动与气候适应相关(Johnsingh, 1982; 陈鹏和师杜鹃, 2013; 王渊等, 2019b)。

以往研究显示, 秦岭羚牛、喜马拉雅鬣羚随季节存在海拔迁徙, 冬季会在偏低海拔活动(Wang et al, 2010; Srivastava & Kumar, 2018)。本研究中记录到的羚牛多集中在1,000–2,000 m之间, 与以往研究相比偏低(吴鹏举和张恩迪, 2006; 陈超等, 2019), 可能的原因是羚牛雨季迁徙到高海拔区域, 而本研究高海拔相机位点未覆盖羚牛的生境, 存在采样偏差; 本研究在雨季记录的羚牛多为4月, 正值羚牛的迁徙期(Wang et al, 2010), 也解释了部分相机位点雨季羚牛的高相对多度。低海拔区域也是人类活动较为频繁的区域, 在不丹的研究显示, 豺对家畜的捕食强度与放牧的季节变化有关(Thinley et al, 2011)。后续应关注保护区内放牧情况等人类活动对野生动物的影响及人兽冲突, 特别是旱季的情况。

3.4 雅鲁藏布大峡谷保护的挑战与展望

本研究显示, 本区域物种多样性丰富, 各个海拔段食肉动物和有蹄类动物的群落结构存在差异。与雨季相比, 旱季中低海拔区域记录到的物种更加丰富。调查过程中发现本区域仍然存在猎套、兽铗等盗猎威胁。近年来, 随着交通变得便捷, 雅鲁藏布大峡谷保护区外来人为活动和工程建设越来越频繁, 可能带来垃圾、对野生动物干扰、栖息地破坏等一系列负面影响, 对中低海拔地区影响尤为明显, 因此更应加强整体保护与管理(Li et al, 2021b)。

现有的雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区、工布自然保护区等由于保护范围与级别等因素的限制, 无法应对本区域未来面临的各种复杂挑战; 尤其是对于大规模的工程规划建设, 其生态影响急需评估和谨慎决策。有学者呼吁选择在雅鲁藏布江下游及支流区域生态与景观价值典型、集中的区域建立国家公园, 以保护该区域生态系统的原真性和完整性(Wang et al, 2021)。

本研究通过调查和分析西藏雅鲁藏布大峡谷

的物种多样性, 进一步支持论证了本区域的生态价值和保护迫切性, 为未来国家公园等保护地的规划和论证提供了数据支持, 建议相关保护部门、研究机构、社会组织和社区共同合作, 进一步加强本地区完整的生态系统和生物多样性的保护和管理。

致谢: 本研究得到国家林业和草原局、西藏自治区林业和草原局、林芝市林业和草原局、墨脱县人民政府和墨脱县林业和草原局的指导和支持。广汽丰田对本研究的开展提供了支持。山水自然保护中心更永依严、求尼旦土、郭钰琦等同事参加了红外相机野外数据收集和照片鉴定工作。谨此一并致谢!

ORCID

史湘莹  <https://orcid.org/0000-0003-4017-7495>
李雪阳  <https://orcid.org/0000-0003-1873-9439>
魏春玥  <https://orcid.org/0000-0002-2778-2626>
孙戈  <https://orcid.org/0000-0002-0392-1433>
周嘉鼎  <https://orcid.org/0000-0003-0870-6596>
吕植  <https://orcid.org/0000-0001-7428-2846>

参考文献

- Azlan JM, Sharma DSK (2006) The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia. *Oryx*, 40, 36–41.
- Bai DF, Chen Y, Li JS, Tao Q, Wang LF, Piao Y, Shi K (2018) Mammal diversity in Shangyong Nature Reserve, Xishuangbanna, Yunnan Province. *Biodiversity Science*, 26, 75–78. (in Chinese) [白德凤, 陈颖, 李俊松, 陶庆, 王利繁, 飘优, 时坤 (2018) 西双版纳尚勇自然保护区哺乳动物物种多样性. *生物多样性*, 26, 75–78.]
- Boonsong L, McNeely JA (1977) *Mammals of Thailand*. Association for the Conservation of Wildlife, Bangkok, Thailand.
- CEPF (2005) *Ecosystem Profile: Eastern Himalayas Region*. WWF-US, Asia Program, Washington, DC.
- Chen C, He XY, Xue YD (2019) Habitat selection of takins in Gaoligong Mountain National Nature Reserve in Yunnan Province. *Forest Resources Management*, (4), 151–158. (in Chinese with English abstract) [陈超, 和晓阳, 薛亚东 (2019) 云南高黎贡山国家级自然保护区羚牛生境选择. *林业资源管理*, (4), 151–158.]
- Chen P, Shi DJ (2013) The vertical distribution and seasonal activity patterns of Asian golden cat in Changqing National Nature Reserve. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (1), 22–24. (in Chinese with English abstract) [陈鹏, 师杜鹃 (2013) 长青自然保护区金猫垂直分布和季节性活动规律研究. *陕西林业科技*, (1), 22–24.]

- Chen YX, Xiao ZS, Li M, Wang XW, He CX, He GP, Li HS, Shi SJ, Xiang ZF (2016) Preliminary survey for the biodiversity of mammal and bird using camera traps in the west slope of mid-section Mt. Gaoligong. *Acta Theriologica Sinica*, 36, 302–312. (in Chinese with English abstract) [陈奕欣, 肖治术, 李明, 王新文, 何臣相, 何贵品, 李海曙, 施顺金, 向左甫 (2016) 利用红外相机对高黎贡山中段西坡兽类和鸟类多样性初步调查. *兽类学报*, 36, 302–312.]
- Chen ZZ, He SW, Hu WH, Song WY, Jiang XL (2021) Morphology and phylogeny of scalopine moles (Eulipotyphla: Talpidae: Scalopini) from the eastern Himalayas, with descriptions of a new genus and species. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 193, 432–444.
- Feng ZJ, Zheng CL, Cai GQ (1980) On mammals from southeastern Xizang (Tibet). *Acta Zoologica Sinica*, 26, 91–97. (in Chinese with English abstract) [冯祚建, 郑昌琳, 蔡桂全 (1980) 西藏东南部兽类的区系调查. *动物学报*, 26, 91–97.]
- Gao G, Wang B, He CX, Luo X (2017) Biodiversity of birds and mammals in alpine habitat of Mt. Gaoligong, Lushui County, Yunnan. *Biodiversity Science*, 25, 332–339. (in Chinese with English abstract) [高歌, 王斌, 何臣相, 罗旭 (2017) 云南泸水高黎贡山高山生境的鸟兽多样性. *生物多样性*, 25, 332–339.]
- Grassman LI, Tewes ME, Silvy NJ, Kreetiyutanont K (2005) Ecology of three sympatric felids in a mixed evergreen forest in north-central Thailand. *Journal of Mammalogy*, 86, 29–38.
- Groves CP, Grubb P (2011) *Ungulate Taxonomy*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Guo W, Cao G, Quan RC (2017) Population dynamics and space use of wild boar in a tropical forest, Southwest China. *Global Ecology and Conservation*, 11, 115–124.
- Han H, Mu HQ, Wei W, Zhang ZJ, Hu JC, Zhou H (2017) The richness and diversified elevation patterns of small nonvolant mammal in Fengtongzhai Nature Reserve and its correlation with vegetation factors. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, 38, 241–247. (in Chinese with English abstract) [韩菡, 母华强, 韦伟, 张泽钧, 胡锦矗, 周宏 (2017) 蜂桶寨自然保护区小型地栖兽类丰富度和多样性海拔分布及与植被的关系. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 38, 241–247.]
- Hayward MW, Lyngdoh S, Habib B (2014) Diet and prey preferences of dholes (*Cuon alpinus*): Dietary competition within Asia's apex predator guild. *Journal of Zoology*, 294, 255–266.
- He RC, Wang L, Quan RC (2020) Introduction to Transboundary Animal Diversity Monitoring Platform of Southern Yunnan, China and Southeast Asia. *Biodiversity Science*, 28, 1097–1103. (in Chinese with English abstract) [贺如川, 王林, 权锐昌 (2020) 中国滇南-东南亚跨境动物多样性监测平台概述. *生物多样性*, 28, 1097–1103.]
- Hu YB, Thapa A, Fan HZ, Ma TX, Wu Q, Ma S, Zhang DL, Wang B, Li M, Yan L, Wei FW (2020) Genomic evidence for two phylogenetic species and long-term population bottlenecks in red pandas. *Science Advances*, 6, eaax5751.
- Hugonnet R, McNabb R, Berthier E, Menounos B, Nuth C, Girod L, Farinotti D, Huss M, Dussaillant I, Brun F, Kääb A (2021) Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. *Nature*, 592, 726–731.
- Jennings AP, Veron G (2011) Predicted distributions and ecological niches of 8 civet and mongoose species in Southeast Asia. *Journal of Mammalogy*, 92, 316–327.
- Jia XD, Liu XH, Yang XZ, Wu PF, Songer M, Cai Q, He XB, Zhu Y (2014) Seasonal activity patterns of ungulates in Qinling Mountains based on camera-trap data. *Biodiversity Science*, 22, 737–745. (in Chinese with English abstract) [贾晓东, 刘雪华, 杨兴中, 武鹏峰, Melissa Songer, 蔡琼, 何祥博, 朱云 (2014) 利用红外相机技术分析秦岭有蹄类动物活动节律的季节性差异. *生物多样性*, 22, 737–745.]
- Jiang ZG, Liu SY, Wu Y, Jiang XL, Zhou KY (2017) China's mammal diversity (2nd edition). *Biodiversity Science*, 25, 886–895. (in Chinese with English abstract) [蒋志刚, 刘少英, 吴毅, 蒋学龙, 周开亚 (2017) 中国哺乳动物多样性 (第2版). *生物多样性*, 25, 886–895.]
- Johnsingh AJT (1982) Reproductive and social behaviour of the dhole, *Cuon alpinus* (Canidae). *Journal of Zoology*, 198, 443–463.
- Kamler JF, Songsasen N, Jenks K, Srivathsa A, Sheng L, Kunkel K (2015) *Cuon alpinus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T5953A72477893. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T5953A72477893.en>. (accessed on 2023-02-22)
- Kamler JF, Inthapanya X, Rasphone A, Bousa A, Vongkhamheng C, Johnson A, MacDonald DW (2020) Diet, prey selection, and activity of Asian golden cats and leopard cats in northern Laos. *Journal of Mammalogy*, 101, 1267–1278.
- Kawanishi K, Sunquist ME (2008) Food habits and activity patterns of the Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*) and dhole (*Cuon alpinus*) in a primary rainforest of Peninsular Malaysia. *Mammal Study*, 33, 173–177.
- Li BS (1985) The zonation of vegetation in the Mt. Namjagbarwa region. *Journal of Mountain Research*, 3, 291–298. (in Chinese with English abstract) [李渤生 (1985) 南迦巴瓦峰地区植被水平地带. *山地研究*, 3, 291–298.]
- Li C, Zhao C, Fan PF (2015) White-cheeked macaque (*Macaca leucogenys*): A new macaque species from Medog, southeastern Tibet. *American Journal of Primatology*, 77, 753–766.
- Li F, Huang XY, Zhang XC, Zhao XX, Yang JH, Chan BPL (2019) Mammals of Tengchong Section of Gaoligongshan National Nature Reserve in Yunnan Province, China. *Journal of Threatened Taxa*, 11, 14402–14414.

- Li S, Wang DJ, Xiao ZS, Li XH, Wang TM, Feng LM, Wang Y (2014) Camera-trapping in wildlife research and conservation in China: Review and outlook. *Biodiversity Science*, 22, 685–695. (in Chinese with English abstract) [李晟, 王大军, 肖治术, 李欣海, 王天明, 冯利民, 王云 (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, 685–695.]
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Gu XD, Zhang XF, Zhang L, Shen XL (2020) Retreat of large carnivores across the giant panda distribution range. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 1327–1331.
- Li XY, Hu WQ, Pu CZ, Li Q, Yu QP, Hu ZC, Bleisch WV, Jiang XL (2020) Camera-trapping monitoring platform for mammals and pheasants in the Longitudinal Range and Gorge Region of Southwest China: Protocol, progress and future outlook. *Biodiversity Science*, 28, 1090–1096. (in Chinese with English abstract) [李学友, 胡文强, 普昌哲, 李权, 于秋鹏, 胡哲畅, William V. Bleisch, 蒋学龙 (2020) 西南纵向岭谷区兽类及雉类红外相机监测平台: 方案、进展与前景. *生物多样性*, 28, 1090–1096.]
- Li XY, Bleisch WV, Liu XW, Jiang XL (2021a) Camera-trap surveys reveal high diversity of mammals and pheasants in Medog, Tibet. *Oryx*, 55, 177–180.
- Li XY, Bleisch WV, Liu XW, Hu WQ, Jiang XL (2021b) Human disturbance and prey occupancy as predictors of carnivore richness and biomass in a Himalayan hotspot. *Animal Conservation*, 24, 64–72.
- Liu CZ, Lü JT, Tong LQ, Chen HQ, Liu QQ, Xiao RH, Tu JN (2019) Research on glacial/rock fall-landslide-debris flows in Sedongpu basin along Yarlung Zangbo River in Tibet. *Geology in China*, 46, 219–234. (in Chinese with English abstract) [刘传正, 吕杰堂, 童立强, 陈红旗, 刘秋强, 肖锐铨, 涂杰楠 (2019) 雅鲁藏布江色东普沟崩滑-碎屑流堵江灾害初步研究. *中国地质*, 46, 219–234.]
- Liu WL (2004) Study on ecology and resources of black bear in Tibet. *Tibet's Science and Technology*, (8), 21–25. (in Chinese) [刘务林 (2004) 西藏黑熊生态学和资源状况研究. *西藏科技*, (8), 21–25.]
- Liu Y, Chen SH (2021) A Guide to the Bird in China. Hu'nan Science and Technology Press, Changsha. (in Chinese) [刘阳, 陈水华 (2021) 中国鸟类观察手册. 湖南科学技术出版社, 长沙.]
- Lovari S, Mori E, Procaccio EL (2020) On the behavioural biology of the mainland serow: A comparative study. *Animals*, 10, 1669.
- Ma ZY, He ZX, Wang YQ, Song DZ, Xia F, Cui SM, Su HX, Deng JL, Li P, Li S (2022) An update on the current distribution and key habitats of the clouded leopard (*Neofelis nebulosa*) populations in China. *Biodiversity Science*, 30, 59–73. (in Chinese with English abstract) [马子驭, 何再新, 王一晴, 宋大昭, 夏凡, 崔士明, 苏红信, 邓建林, 李平, 李晟 (2022) 中国云豹种群分布现状与关键栖息地信息更新. *生物多样性*, 30, 59–73.]
- Mo JH, Ji YR, Xu H, Li DQ, Liu F (2021) Camera-trapping survey on mammals and birds in a forest dynamics plot in Hainan Jianfengling National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 29, 819–824. (in Chinese with English abstract) [莫锦华, 姬云瑞, 许涵, 李迪强, 刘芳 (2021) 海南尖峰岭国家级自然保护区森林动态监测样地鸟类和兽类多样性. *生物多样性*, 29, 819–824.]
- Mo JH, Li J, Liu F, Li XG, Li DQ (2019) A survey of mammals and birds diversity in Jianfengling District of Hainan Province by using camera-trapping. *Scientia Silvae Sinicae*, 55, 203–210. (in Chinese with English abstract) [莫锦华, 李佳, 刘芳, 李晓光, 李迪强 (2019) 利用红外相机调查海南尖峰岭地区兽类和鸟类多样性. *林业科学*, 55, 203–210.]
- Mountaineering Scientific Expedition Team of Chinese Academy of Sciences (1995) Species in Mt. Namjubarwa Region of Xizang. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院登山科学考察队 (1995) 南迦巴瓦峰地区生物. 科学出版社, 北京.]
- O'Brien TG, Kinnaird MF, Wibisono HT (2003) Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 6, 131–139.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'hara R, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H (2020) vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>. (accessed on 2022-07-26)
- Pianka ER (1973) The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 53–74.
- Qamar Q, Anwar M, Minhas R (2008) Distribution and population status of Himalayan musk deer (*Moschus chrysogaster*) in the Machiara National Park, AJ&K. *Pakistan Journal of Zoology*, 40, 159–163.
- Ripple WJ, Estes JA, Beschta RL, Wilmers CC, Ritchie EG, Hebblewhite M, Berger J, Elmhagen B, Letnic M, Nelson MP, Schmitz OJ, Smith DW, Wallach AD, Wirsing AJ (2014) Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*, 343, 1241484.
- Shannon CE (1948) A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423.
- Shi XG, Hu Q, Li JQ, Tang Z, Yang J, Li WJ, Shen XL, Li S (2017) Camera-trapping surveys of the mammal and bird diversity in Wolong National Nature Reserve, Sichuan Province. *Biodiversity Science*, 25, 1131–1136. (in Chinese with English abstract) [施小刚, 胡强, 李佳琦, 唐卓, 杨建, 李文静, 申小莉, 李晟 (2017) 利用红外相机调查四川卧龙国家级自然保护区鸟兽多样性. *生物多样性*, 25, 1131–1136.]
- Smith AT, Xie Y (2009) A Guide to the Mammals of China. Hunan Education Publishing House, Changsha. (in Chinese) [Smith AT, 解焱 (2009) 中国兽类野外手册. 湖南教育出版社, 长沙.]
- Song ZY, Li JH, Wen SR, Li JS, Wan ZL, Liu SQ (2019)

- Application of infrared camera technology in biodiversity monitoring of mammals and birds in Xishuangbanna National Nature Reserve. *Forest Inventory and Planning*, 44(4), 53–59. (in Chinese with English abstract) [宋志勇, 李金华, 文世荣, 李俊松, 万正林, 刘生强 (2019) 红外相机技术在西双版纳国家级自然保护区兽类和鸟类多样性监测中的运用. *林业调查规划*, 44(4), 53–59.]
- Spellerberg IF, Fedor PJ (2003) A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the ‘Shannon-Wiener’ Index. *Global Ecology and Biogeography*, 12, 177–179.
- Srivastava T, Kumar A (2018) Seasonal habitat use in three species of wild ungulates in Sikkim Himalaya. *Mammalian Biology*, 88, 100–106.
- Thinley P, Kamler JF, Wang SW, Lham K, Stenkewitz U, Macdonald DW (2011) Seasonal diet of dholes (*Cuon alpinus*) in northwestern Bhutan. *Mammalian Biology*, 76, 518–520.
- Tibetan Plateau Scientific Expedition Team of Chinese Academy of Sciences (1988) *Vegetation of Tibet*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [中国科学院青藏高原综合科学考察队 (1988) 西藏植被. 科学出版社, 北京.]
- Tu FY, Han WJ, Sun ZY, Huang T, Huang XF (2016) Status and perspective of the research on *Paguma larvata*. *South China Forestry Science*, 44(6), 70–73. (in Chinese with English abstract) [涂飞云, 韩卫杰, 孙志勇, 黄挺, 黄晓凤 (2016) 果子狸研究现状与展望. *南方林业科学*, 44(6), 70–73.]
- Wang F, Zhang ZX, Li C, Sun G, Zhao X, Lu Z (2021) Add Himalaya’s Grand Canyon to China’s first national parks. *Nature*, 592, 353.
- Wang J, Hu JC (1990) Primary study on black bear biology in west Sichuan Plateau. *Journal of Henan Normal University (Natural Science)*, 18, 124–130. (in Chinese with English abstract) [王捷, 胡锦涛 (1990) 川西高原黑熊生物学的初步研究. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 18, 124–130.]
- Wang TJ, Skidmore AK, Zeng ZG, Beck PSA, Si YL, Song YL, Liu XH, Prins HHT (2010) Migration patterns of two endangered sympatric species from a remote sensing perspective. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76, 1343–1352.
- Wang Y, Li S, Liu WL, Zhu XL, Li BZ (2019a) Coat pattern variation and activity rhythm of Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*) in Yarlung Zangbo Grand Canyon National Nature Reserve of Tibet, China. *Biodiversity Science*, 27, 638–647. (in Chinese with English abstract) [王渊, 李晟, 刘务林, 朱雪林, 李炳章 (2019a) 西藏雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区金猫的色型类别与活动节律. *生物多样性*, 27, 638–647.]
- Wang Y, Liu WL, Liu F, Li S, Zhu XL, Jiang ZG, Feng LM, Li BZ (2019b) Investigation on the population of wild Bengal tiger (*Panthera tigris tigris*) in Medog, Tibet. *Acta Theriologica Sinica*, 39, 504–513. (in Chinese with English abstract) [王渊, 刘务林, 刘锋, 李晟, 朱雪林, 蒋志刚, 冯利民, 李炳章 (2019b) 西藏墨脱县孟加拉虎种群数量调查. *兽类学报*, 39, 504–513.]
- Wang ZB, Hu YM, Zhou ZX, Liang JC, Huang ZW, Zheng SY, Zhou J, Hu HJ (2020) Verification of the vertical distribution pattern of species diversity of non-flying small mammal in the Lebu Valley of Eastern Himalayas, China. *Acta Theriologica Sinica*, 40, 493–502. (in Chinese with English abstract) [王作波, 胡一鸣, 周智鑫, 梁健超, 黄志文, 郑舒昶, 周江, 胡慧建 (2020) 东喜马拉雅勒布沟非飞行小型兽类物种多样性垂直分布格局. *兽类学报*, 40, 493–502.]
- Wang ZX (1982) Avifauna of Medog Region, Xizang. *Acta Biologica Plateau Sinica*, 1, 123–134. (in Chinese with English abstract) [王祖祥 (1982) 西藏墨脱地区的鸟类区系. *高原生物学集刊*, 1, 123–134.]
- Waskom M (2021) Seaborn: Statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021.
- Wei FW, Yang QS, Wu Y, Jiang XL, Liu SY, Li BG, Yang G, Li M, Zhou J, Li S, Hu YB, Ge DY, Li S, Yu WH, Chen BY, Zhang ZJ, Zhou CQ, Wu SB, Zhang L, Chen ZZ, Chen SD, Deng HQ, Jiang TL, Zhang LB, Shi HY, Lu XL, Li Q, Liu Z, Cui YQ, Li YC (2021) Catalogue of mammals in China (2021). *Acta Theriologica Sinica*, 41, 487–501. (in Chinese with English abstract) [魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 蒋学龙, 刘少英, 李保国, 杨光, 李明, 周江, 李松, 胡义波, 葛德燕, 李晟, 余文华, 陈炳耀, 张泽钧, 周材权, 吴诗宝, 张立, 陈中正, 陈顺德, 邓怀庆, 江廷磊, 张礼标, 石红艳, 卢学理, 李权, 刘铸, 崔雅倩, 李玉春 (2021) 中国兽类名录(2021版). *兽类学报*, 41, 487–501.]
- Wei FW, Hu YB (2022) *Budorcas taxicolor* in Catalogue of Life China: 2022 Annual Checklist, Beijing. http://www.sp2000.org.cn/species/show_species_details/fd2370aeb792442b986fa97902c4a6de. (accessed on 2022-07-25)
- Wen LJ, Shi K, Huang J, Song Y, Guo YM (2014) Preliminary analysis of mammal and bird diversity monitored with camera traps in Medog, Tibet. *Biodiversity Science*, 22, 798–799. (in Chinese) [温立嘉, 时坤, 黄建, 宋阳, 郭玉民 (2014) 西藏墨脱鸟兽红外相机监测初报. *生物多样性*, 22, 798–799.]
- Wu AL, Chen P, Zhang XF (2014) Shooting rate of *Catopuma temminckii* by auto-induction infrared camera and estimation of population density in Changqing Nature Reserve. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (1), 22–24. (in Chinese with English abstract) [武阿莉, 陈鹏, 张晓峰 (2014) 长青保护区自动感应红外相机金猫拍摄率与种群密度. *陕西林业科技*, (1), 22–24.]
- Wu JP, Luo H, Zhu XL, Li BZ, Liu WL, Ci P (2016) Monitoring mammals and birds with camera traps at different altitudes of Medog, Tibet. *Biodiversity Science*, 24, 351–354. (in Chinese) [吴建普, 罗红, 朱雪林, 李炳章, 刘务林, 次平 (2016) 西藏墨脱不同海拔区鸟兽红外

- 相机监测. 生物多样性, 24, 351–354.]
- Wu JY (1983) Preliminary observation on diet of black bear in Qinling Mountains. Chinese Journal of Zoology, 18(4), 48–51. (in Chinese) [吴家炎 (1983) 秦岭黑熊食性的初步观察. 动物学杂志, 18(4), 48–51.]
- Wu PJ, Zhang ED (2004) Habitat selection and its seasonal change of serow (*Capricornis sumatraensis*) in Cibagou Nature Reserve, Tibet. Acta Theriologica Sinica, 24, 6–12. (in Chinese with English abstract) [吴鹏举, 张恩迪 (2004) 西藏慈巴沟自然保护区鬣羚生境选择的季节性变化. 兽类学报, 24, 6–12.]
- Wu PJ, Zhang ED (2006) Habitat selection of takin (*Budorcas taxicolor*) in Cibagou Nature Reserve of Tibet, China. Acta Theriologica Sinica, 26, 152–158. (in Chinese with English abstract) [吴鹏举, 张恩迪 (2006) 西藏慈巴沟自然保护区羚牛栖息地选择. 兽类学报, 26, 152–158.]
- Xiao ZS, Li XH, Jiang GS (2014) Applications of camera trapping to wildlife surveys in China. Biodiversity Science, 22, 683–684. (in Chinese) [肖治术, 李欣海, 姜广顺 (2014) 红外相机技术在我国野生动物监测研究中的应用. 生物多样性, 22, 683–684.]
- Xiong MY, Wang DJ, Bu HL, Shao XN, Zhang D, Li S, Wang RJ, Yao M (2017) Molecular dietary analysis of two sympatric felids in the Mountains of Southwest China Biodiversity Hotspot and conservation implications. Scientific Reports, 7, 41909.
- Xu FX (1995) Ecological Research on Plateau Forest in Tibet. Liaoning University Press, Shenyang. (in Chinese) [徐凤翔 (1995) 西藏高原森林生态研究. 辽宁大学出版社, 沈阳.]
- Xu WY, Liu YR, Meng M, Yu JJ, Zong C (2020) Analyzing species tolerance to human disturbance in Southeast Tibet using infrared camera data. Chinese Journal of Ecology, 39, 3164–3173. (in Chinese with English abstract) [徐婉芸, 刘琰冉, 梦梦, 于晶晶, 宗诚 (2020) 利用红外相机数据分析藏东南地区物种对人为干扰的耐受性. 生态学杂志, 39, 3164–3173.]
- Xue YD, Li DQ, Xiao WF, Zhang YG, Feng B, Jia H (2015) Records of the dhole (*Cuon alpinus*) in an arid region of the Altun Mountains in western China. European Journal of Wildlife Research, 61, 903–907.
- Yang L, Wei FW, Zhan XJ, Fan HZ, Zhao PP, Huang GP, Chang J, Lei YH, Hu YB (2022) Evolutionary conservation genomics reveals recent speciation and local adaptation in threatened takins. Molecular Biology and Evolution, 39, msac111.
- Yongdrup P, Sherub K, Tshering U, Chaida L, Chaten C (2019) Abundance and distribution of Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii* Vigors and Horsfield) and clouded leopard (*Neofelis nebulosa* Griffith) in Jomotsangkha Wildlife Sanctuary, Bhutan. Bhutan Journal of Natural Resources and Development, 6, 19–26.
- Zhang MX, Cao L, Quan RC, Xiao ZS, Yang XF, Zhang WF, Wang XZ, Deng XB (2014) Camera trap survey of animals in Xishuangbanna forest dynamics plot, Yunnan. Biodiversity Science, 22, 830–832. (in Chinese) [张明霞, 曹林, 权锐昌, 肖治术, 杨小飞, 张文富, 王学志, 邓晓保 (2014) 利用红外相机监测西双版纳森林动态样地的野生动物多样性. 生物多样性, 22, 830–832.]
- Zhang RZ (1997) Distribution of Mammalian Species in China. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [张荣祖 (1997) 中国哺乳动物分布. 中国林业出版社, 北京.]
- Zhang RZ, Zheng CL (1985) The Geographical Distribution of Mammals and the Evolution of Mammalian Fauna in Qinghai-Xizang Plateau. Acta Geographica Sinica, 40, 225–231. (in Chinese with English abstract) [张荣祖, 郑昌琳 (1985) 青藏高原哺乳动物地理分布特征及区系演变. 地理学报, 40, 225–231.]
- Zhao WG, Rao DQ, Lü SQ, Dong BJ (2005) Herpetological surveys of Xizang Autonomous Region 2. Medog. Sichuan Journal of Zoology, 24, 250–253, 227. (in Chinese with English abstract) [赵文阁, 饶定齐, 吕顺清, 董丙君 (2005) 西藏两栖爬行动物考察报告2. 墨脱. 四川动物, 24, 250–253, 227.]
- Zheng GM (2017) A Checklist on the Classification and Distribution of the Birds of China, 3rd edn. Science Press, Beijing. (in Chinese) [郑光美 (2017) 中国鸟类分类与分布名录(第三版). 科学出版社, 北京.]
- Zhou YB, Newman C, Buesching CD, Zalewski A, Kaneko Y, MacDonald DW, Xie ZQ (2011) Diet of an opportunistically frugivorous carnivore, *Martes flavigula*, in subtropical forest. Journal of Mammalogy, 92, 611–619.

(责任编辑: 蒋学龙 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 部分有蹄类物种(鬣羚属、麝属、麝属)的鉴定方式

Appendix 1 Species identification methods for certain ungulates (i.e., *Capricornis* spp., *Muntiacus* spp., *Moschus* spp.)

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022491-1.pdf>

附录2 雅鲁藏布大峡谷区域不同监测样区鸟兽多样性

Appendix 2 Mammals and birds at different monitoring areas in Yarlung Zangbo Grand Canyon area, China

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022491-2.pdf>

史湘莹等: 雅鲁藏布大峡谷鸟兽多样性及其海拔和季节分布

附录3 犬科、猫科食肉动物与有蹄类动物海拔生态位重叠的Pianka指数

Appendix 3 Pianka index indicating elevational niche overlap of Canidae, Felidae, and ungulates
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022491-3.pdf>

附录4 雅鲁藏布大峡谷区域红外相机新拍摄到的物种

Appendix 4 Species newly recorded by camera traps in Yarlung Zangbo Grand Canyon area, China
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022491-4.pdf>