

DOI: 10.20103/j.stxb.202502190346

吴佳忆, 路晓平, 安峥旭, 桑珠扎西, 孙谢怿, 王熙平, 冯春婷, 杨俊毅, 乔娜, 朱印酒, 李宁, 王进进, 孟秀祥. 三江源国家公园唐北区域及周边地区哺乳类和鸟类多样性及区系分析. 生态学报, 2025, 45(23): - .

Wu J Y, Lu X P, An Z X, Samdurptashi, Sun X Y, Wang X P, Feng C T, Yang J Y, Qiao N, Zhu Y J, Li N, Wang J J, Meng X X. Diversity and fauna of mammals and birds in Tangbei Area of Sanjiangyuan National Park and surrounding areas. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(23): - .

三江源国家公园唐北区域及周边地区哺乳类和鸟类多样性及区系分析

吴佳忆¹, 路晓平¹, 安峥旭¹, 桑珠扎西², 孙谢怿¹, 王熙平¹, 冯春婷¹, 杨俊毅¹, 乔娜³, 朱印酒², 李 宁¹, 王进进⁴, 孟秀祥^{1,2,4}

1 中国人民大学生态环境学院, 北京 100872

2 西藏大学生态环境学院, 拉萨 850000

3 中华人民共和国人与生物圈国家委员会秘书处, 北京 100864

4 西昌学院资源与环境学院, 西昌 615013

摘要:长江源唐古拉山以北区域是多种珍稀濒危野生动物的栖息地,其主体部分于 2021 年纳入三江源国家公园,是三江源生态安全和生物多样性保护的重要组成部分,被称为三江源国家公园唐北区域(简称唐北区域)。2024 年 6 月—11 月,综合采用样线调查、红外相机调查和访查等方法在唐北区域及周边地区开展野生哺乳类和鸟类资源调查并进行区系分析。调查共选取 401 个红外相机位点,累计获得 21872 个有效相机工作日,采集照片 131908 张,其中独立有效照片 14417 张;累计样线 12 条,样线总长 622km。结果发现,区域内分布有鸟类 13 目 26 科 52 属 85 种,哺乳类 6 目 12 科 26 属 30 种,含国家 I 级重点保护野生动物 13 种, II 级重点保护野生动物 22 种;列入中国脊椎动物红色名录极危种 1 种,濒危种 7 种,易危种 8 种;中国特有种 13 种。监测到新分布种白斑翅雪雀(*Montifringilla nivalis*)、褐柳莺(*Phylloscopus fuscatus*)和大麻鵂(*Botaurus stellaris*)。区域内古北界物种最多(84 种,73.0%),其次是东洋界物种(16 种,13.9%)和广布种(15 种,13.0%);哺乳类和鸟类的分布型均为高地型物种最多(17 种与 22 种)。区域内鸟兽物种多样性较高,G-F 指数达 0.75,鸟类 G-F 指数为 0.85,高于哺乳类(0.51)。Jaccard 指数分析结果表明,区域内的雁石坪区域与岗尼区域($C_j=0.776$)的物种组成极相似,其余相邻乡镇区域均为中等相似。物种相对多度指数(relative abundance index, RAI)最高的五种哺乳类是高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)、灰尾兔(*Lepus oiostolus*)、藏狐(*Vulpes ferrilata*)、藏原羚(*Procapra picticaudata*)和岩羊(*Pseudois nayaur*);鸟类是白腰雪雀(*Onychostruthus taczanowskii*)、赭红尾鹟(*Phoenicurus ochruros*)、棕颈雪雀(*Pyrgilauda ruficollis*)、地山雀(*Pseudopodoces humilis*)和角百灵(*Eremophila alpestris*)。影响唐北区域哺乳类和鸟类多样性的主要因素是放牧、道路交通、草场围栏和人兽冲突。在未来的生态保护实践中,建议构建重点物种分布区固定监测样线及迁徙廊道、候鸟栖息地季节性动态监测网络,强化地栖鸟类及小型啮齿动物的系统性监测;加大野生动物肇事赔偿力度并将房屋损失纳入损害赔偿范围;为迁徙路线被道路和草场截断的藏羚等野生有蹄类物种预留生态廊道。同时,将三江源国家公园生态保护工作与发展社区民生结合,提升生物多样性保护的可持续性。

关键词:唐北区域;物种多样性;区系;哺乳类;鸟类

Diversity and fauna of mammals and birds in Tangbei Area of Sanjiangyuan National Park and surrounding areas

WU Jiayi¹, LU Xiaoping¹, AN Zhengxu¹, Samdurptashi², SUN Xieyi¹, WANG Xiping¹, FENG Chunting¹, YANG Junyi¹, QIAO Na³, ZHU Yinjiu², LI Ning¹, WANG Jinjin⁴, MENG Xiuxiang^{1,2}

基金项目:国家自然科学基金(32170489, 32470531),中国人民大学 2023 年度拔尖创新人才培养资助计划成果

收稿日期:2025-02-19; **网络出版日期:**2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: meng2014@ruc.edu.cn

1 School of Ecology and Environment, Renmin University of China, Beijing 100872, China

2 College of Ecology and Environment, Tibet University, Lasha 850000, China

3 Secretariat of Chinese National Committee for the United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO)'s Man and the Biosphere Programme, Beijing 100864, China

4 School of Environment & Resource, Xichang University, Xichang 615013, China

Abstract: The source area of the Yangtze River in the northern Tanggula Mountains encompassed critical habitats of rare and endangered species. Its core zone was incorporated into the Sanjiangyuan National Park plan in 2021, becoming a key component of regional ecological security and biodiversity conservation. From June to November 2024, we conducted field investigations on wildlife resources in the Tangbei area of Sanjiangyuan National Park and surrounding regions using infrared cameras, line transects, and interview surveys. A total of 401 infrared camera sites were established, collecting 14417 independent images (out of 131908 images) over 21872 camera-days. A total of 12 line transects have been completed, with a total travel path of approximately 622km. The results showed that there existed 85 avian species from 13 orders, 26 families and 52 genus, and 30 mammalian species from 6 orders, 12 families and 26 genus. 13 species are listed as Class I National Protected Wildlife and 22 species as class II. 1 critically endangered (CR), 7 endangered (EN) and 8 vulnerable (VU) species were in China's Vertebrate Red List, and 13 species were endemic to China. We recorded three newly distributed species, which were *Montifringilla nivalis*, *Phylloscopus fuscatus* and *Botaurus stellaris*. The Palaearctic realm species was dominated (84 species, 73.0%), followed by Oriental realm (16 species, 13.9%), and wide spread species (15 species, 13.0%). Both mammals and birds were primarily represented by highland-type species (17 and 22 species). The G-F index was 0.75, indicating a high level of species diversity. The G-F index for birds was 0.85, higher than mammals (0.51). The Jaccard index showed that the species composition of Yanshiping and Gangni ($C_j=0.776$) was highly similar, while the similarity among other adjacent towns was moderate. Relative abundance index (RAI) demonstrated that the most prevalent mammals were *Ochotona curzoniae*, *Lepus oiostolus*, *Vulpes ferrilata*, *Procapra picticaudata* and *Pseudois nayaur*, and the most prevalent birds were *Onychostruthus taczanowskii*, *Phoenicurus ochruros*, *Pyrgilauda ruficollis*, *Pseudopodoces humilis* and *Eremophila alpestris*. The main factors influencing mammalian and avian diversity in the Tangbei region were found to be livestock grazing, road infrastructure, pasture fencing, and human-wildlife conflicts. For improved ecological conservation, it was proposed to establish fixed monitoring transects in critical species habitats and migration corridors, along with seasonal monitoring networks for migratory bird sites, while enhancing systematic surveys of ground-nesting birds and small rodents. Additionally, the study recommended enhancing compensation for wildlife-inflicted damages by expanding coverage to include property losses (particularly housing damages), and establishing ecological corridors for migratory ungulates such as the Tibetan antelope whose traditional routes were fragmented by road infrastructure and grazing lands. Furthermore, linking conservation initiatives in Sanjiangyuan National Park with community welfare programs was identified as a strategy to ensure long-term biodiversity protection sustainability.

Key Words: Tangbei area; species biodiversity; fauna; mammal; bird

生物多样性是人类生存和发展的基础,但近代以来受海陆开发利用、环境污染、生物入侵和气候变化等因素及其协同作用的影响,全球生物多样性衰退速度和物种灭绝速度不断加快^[1-3]。对重要的生物类群和生态系统的监测是中国实现保护目标必不可少的一环^[4],查清生物多样性本底资源,了解重点保护和珍稀濒危物种的现状,已成为生物多样性资源保护、管理和利用领域的重要研究课题^[5-6]。动物区系包含大量地理与历史信息,可提供物种起源、进化、分布及环境变化相关的基础研究资料^[7-8]。区系调查可了解某一地区环境变化与开发程度的影响,有利于提出因地制宜的生物多样性保护建议^[9]。

三江源地处青藏高原腹地,是高原生物多样性最集中的地区。长江源唐古拉山以北区域位于三江源西南

部,以高寒湿地和高寒草原草甸为主,是藏羚(*Pantholops hodgsonii*)、野牦牛(*Bos mutus*)、雪豹(*Panthera uncia*)和黑颈鹤(*Grus nigricollis*)等珍稀濒危动物的集中分布地,也是藏羚重要的迁徙通道,具有极高的保护价值,在青藏高原乃至全球高寒生态系统中都具典型性。2021年三江源国家公园在体制试点基础上将唐北区域主体部分纳入规划范围,称为三江源国家公园唐北区域(以下简称唐北区域)。已有对三江源国家公园野生动物资源的研究多通过样线法、红外相机法、无人机和直升机等调查方法在三江源国家公园长江源、澜沧江源和黄河源三个园区内开展调查^[10-13],但迄今为止缺乏对唐北区域内生物多样性的研究。自然资源、地理位置和人为活动的区别均可能导致国家公园内动物资源的差异^[14],唐北区域经济社会条件基础差,和三江源国家公园其他三区存在较大差距,是否产生物种多样性的差别也尚不明晰。为更好地掌握唐北区域内野生动物资源的组成与分布情况,本研究通过综合运用样线法、红外相机监测等手段,对唐北区域及周边地区内野生哺乳类和鸟类的物种组成、区系特征和保护现状进行监测,同时分析人为活动的影响,为三江源生物多样性保护提供基础数据并提出具有针对性的监测保护建议,强化三江源国家公园生态全要素保护和一体化管理。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

唐北区域地处青藏高原腹地,位于青海、西藏交界,地理位置在 $89^{\circ}37'42''$ — $94^{\circ}36'04''$ E, $32^{\circ}26'37''$ — $34^{\circ}45'00''$ N之间,东至唐古拉山东段霞舍日阿巴山东麓当曲源头,西邻西藏自治区羌塘国家级自然保护区,南连唐古拉山,北与三江源国家公园长江源区接壤。唐北区域面积 4.87 万 km^2 ,占三江源国家公园面积的 25.5% 。平均海拔约 4600m ,为典型的高原大陆性气候,全年平均气温为 -4.2°C ,平均降水量 275.5mm 。唐北区域行政区界涉及安多县、聂荣县和巴青县,本研究调查范围包括安多县雁石坪镇、玛曲乡、多玛乡、玛荣乡、岗尼乡和色务乡6个乡镇,6个乡镇辖区内国家公园面积占三江源国家公园唐北区域总面积的 83.6% ,涵盖具代表性的高寒草原草甸生态系统和湿地生态系统等核心资源,以及高寒荒漠、流石滩和垫状植被等特殊生境类型。其中色务乡与岗尼乡以裸地为主,植被类型主要为草原和垫状植被;玛曲乡和雁石坪镇以草地为主,植被类型主要为草甸与垫状植被;多玛乡与玛荣乡以草地和裸地为主,植被类型主要为草甸^[15]。

1.2 调查方法

1.2.1 红外相机调查法

综合考虑研究区域内植被型完整性与代表性、海拔、人为活动、地形地貌及可达性等因素,并提前对唐北区域保护站工作人员和周边社区的牧民进行访谈后,将 401 台红外相机安装于野生鸟兽经常活动的高寒草原、高寒草甸等典型生态系统,覆盖小型沟壑区、山顶裸岩区和平坦草地靠山体区域等地形,以及鸟兽痕迹密集处、目击记录处和水源地附近。其中岗尼布设 54 台,玛曲布设 88 台,玛荣布设 100 台,多玛布设 63 台,雁石坪布设 56 台,色务布设 40 台;三江源国家公园范围内布设 289 台,国家公园范围外布设 112 台。相邻相机位点间距尽量保持在 500m 以上。由于研究区域内主要植被为灌丛、草原和草甸,缺少树木,红外相机多固定于石块或现场钉下的木桩上,少量固定在电线杆上,相机安装高度在 0.5 — 1.2m ,固定完成后记录经纬度。相机灵敏度设置为“中”,以减少误启动和漏拍。工作模式设置为触发后拍摄三张照片和 20s 录像,以保证物种鉴别的准确性和行为内容的完整性。于 2024 年 6 月— 11 月进行红外相机布设工作, 8 月和 11 月更换两次存储卡和电池。存储卡回收后使用Bio-Photo(V2.0)处理相机数据,批量提取拍摄日期、时间、文件类型等信息,匹配位点编号,生成.csv格式报表^[16],照片鉴定由专业人员完成并复核。

1.2.2 样线调查法

共布设样线 12 条,样线总长 622km ,每条样线平均长度为 51.9km ,其中岗尼布设 208km ,玛曲布设 122km ,玛荣布设 99km ,多玛布设 164km ,雁石坪布设 30km ;三江源国家公园范围内样线总长 480km ,国家公园范围外样线总长 142km 。样线涵盖高寒草原、高寒草甸、湿地、流石滩等多种主要生境。选择研究区域内现有的主干道路和草原小路作为调查线路,采取驾车(车速 10 — 15km/h)和步行相结合的方式进行调查。沿途

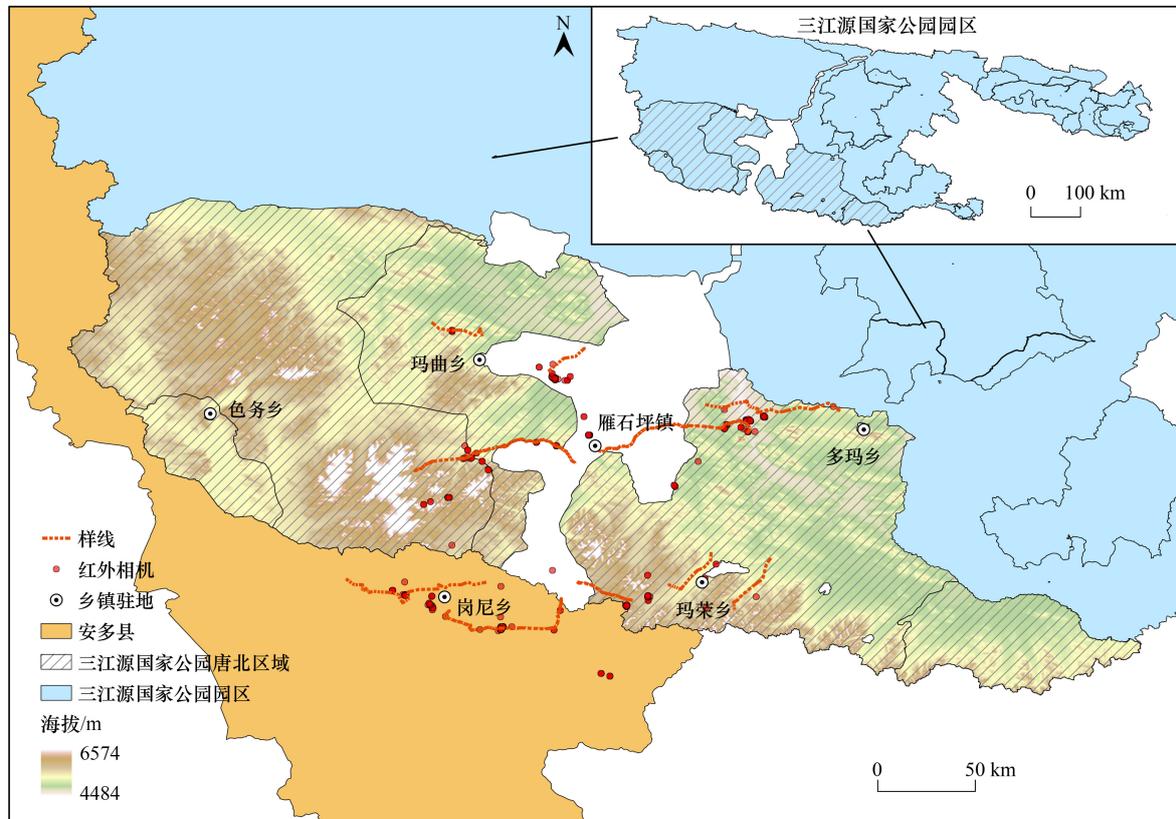


图1 唐北区域位置与红外相机及样线布设点

Fig.1 The location of Tangbei area and infrared camera sites and line transects

观察记录路线两侧遇到的野生动物,间隔适当距离下车向两侧进行人工踏查,记录野生动物种类、个体数量、痕迹、位置、干扰因素以及生境类型等资料。在样线调查的同时,采用铗日法与笼日法调查小型啮齿类动物。

1.2.3 访问调查法

对三江源国家公园唐北区域管理部门和保护站野外巡护经验丰富、野生动物辨识能力高的工作人员、生态巡护员和当地牧民进行访问,查看并确认受访者在当地拍摄的动物音视频资料、家中保存的标本或毛皮、鼠害调查记录。对于中大型、识别度较高或较为常见的动物,如雪豹、棕熊 (*Ursus arctos*)、黑颈鹤等,使用专业图鉴的图片让受访者进行辨识,确定在区域内有分布的物种。同时进行人兽冲突调查,记录冲突物种、冲突时间、冲突地点和冲突类型,以及补偿政策的实行情况等^[17-18]。

1.3 数据分析

1.3.1 物种鉴定和区系分析

主要参考《中国兽类野外手册》《中国鸟类图志(上下卷)》《中国鸟类野外手册》《三江源国家公园自然图鉴》^[19-22]进行鉴定。名录及分类系统参考 SP2000《中国生物物种名录》2024 版。保护级别、濒危程度及是否为中国特有种根据《国家重点保护野生动物名录(2021)》和《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷(2020)》^[23]。动物区系参考《中国动物地理》^[24]。

1.3.2 物种多样性与相似性分析

计算属的物种多样性 D_C 、科的多样性 D_F 以及标准化的 G-F 指数^[25],计算公式如下:

(1) 科的多样性指数 (D_F)

在一个特定的科 k 中,

$$D_{FK} = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

$$p_i = s_{ki} / S_k$$

式中, S_k 为 k 科的物种数, s_{ki} 为 k 科中 i 属的物种数, n 为 k 科中的属数。

一个地区的 D_F 指数,

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fki}$$

式中, m 为哺乳动物科数,

(2) 属的多样性指数 (D_G):

$$D_G = - \sum_{j=1}^p D_{Gj} = - \sum_{j=1}^p q_j \ln q_j$$

$$q_j = s_j / S$$

式中, s_j 为 j 属中的物种数, S 为物种数, p 为属数。

(3) G-F 指数 (D_{G-F}):

$$D_{G-F} = 1 - \frac{D_G}{D_F}$$

$0 \leq D_{G-F} \leq 1$ 。区域的非单种科越多, D_{G-F} 指数越高。

计算 Jaccard 系数以比较相邻乡镇区域的物种相似性。Jaccard 指数是 β 多样性的测算方法之一, 可测度群落或生境间的相似程度。两个群落中共有种越多, Jaccard 指数越高。计算公式为:

$$C_j = \frac{j}{a+b-j}$$

式中, j 为两个地区共有种数; a 和 b 分别为区域 A 和区域 B 的物种数。根据 Jaccard 相似性系数原理, 当 $C_j = 0.00-0.25$ 时, 为极不相似; 当 $C_j = 0.25-0.50$ 时, 为中等不相似; 当 $C_j = 0.50-0.75$ 时, 为中等相似; 当 $C_j = 0.75-1.00$ 时, 为极相似。

1.3.3 相对多度分析

将 30min 内同一相机位点触发拍摄的同种野生动物、家畜或者人类活动的一张或多张照片视为一张独立有效照片。1 台红外相机持续工作 24h 计为 1 个有效相机工作日。物种相对种群数量评估的指标选取物种相对多度指数 (RAI, Relative Abundance Index)^[26], 计算公式如下:

$$RAI = A_i / N \times 1000$$

式中, A_i 为红外相机所拍摄到的第 i 种的独立照片数, N 为所有相机位点的总相机日。

2 结果

2.1 鸟兽物种组成

本研究共统计到三江源国家公园唐北区域及周边地区鸟类 13 目 26 科 52 属 85 种, 哺乳类 6 目 12 科 26 属 30 种。红外相机安放 21872 台日, 每台相机有效相机工作日在 2—165 台日间, 平均 54.5 台日; 拍摄照片与影像 131908 份, 独立有效照片 14417 份。野外调查到鸟类 10 目 20 科 39 属 64 种, 哺乳类 5 目 10 科 18 属 20 种。访问调查补充鸟类 10 目 16 科 19 属 21 种, 哺乳类 5 目 6 科 9 属 10 种。其中国家 I 级重点保护野生动物 13 种, 包括黑颈鹤、猎隼 (*Falco cherrug*)、草原雕 (*Aquila nipalensis*)、金雕 (*Aquila chrysaetos*)、胡兀鹫 (*Gypaetus barbatus*)、秃鹫 (*Aegypius monachus*)、白唇鹿 (*Przewalskium albirostris*)、藏羚、盘羊 (*Ovis hodgsoni*)、野牦牛、藏野驴 (*Equus kiang*)、雪豹和荒漠猫 (*Felis bieti*); II 级保护动物 22 种, 包括蓑羽鹤 (*Grus virgo*)、藏雪鸡 (*Tetraogallus tibetanus*)、蒙古百灵 (*Melanocorypha mongolica*)、藏雀 (*Carpodacus roborowskii*)、红隼 (*Falco tinnunculus*)、游隼 (*Falco peregrinus*)、雕鸮 (*Bubo bubo*)、纵纹腹小鸮 (*Athene noctua*)、大天鹅 (*Cygnus Cygnus*)、

大鵟 (*Buteo hemilasius*)、普通鵟 (*Buteo japonicus*)、高山兀鹫 (*Gyps himalayensis*)、岩羊 (*Pseudois nayaur*)、藏原羚 (*Procapra picticaudata*)、豹猫 (*Prionailurus bengalensis*)、猞猁 (*Lynx lynx*)、兔狲 (*Otocolobus manul*)、藏狐 (*Vulpes ferrilata*)、赤狐 (*Vulpes vulpes*)、狼 (*Canis lupus*)、棕熊和石貂 (*Martes foina*)。列入中国物种红色名录的受威胁物种共 16 种,包括 1 种极危 (CR) 物种荒漠猫,7 种濒危 (EN) 物种猎隼、草原雕、白唇鹿、雪豹、猞猁、兔狲和石貂,8 种易危 (VU) 物种黑颈鹤、蒙古百灵、金雕、大鵟、藏雀、野牦牛、豹猫和棕熊。监测到 13 种中国特有种,包括藏雪雀 (*Montifringilla henrici*)、藏雀、地山雀 (*Pseudopodoces humilis*)、白唇鹿、藏羚、盘羊、藏原羚、藏鼯鼠 (*Sorex tibetanus*)、藏仓鼠 (*Urocrictus kamensis*)、青海松田鼠 (*Neodon fuscus*)、高原松田鼠 (*Neodon irene*)、间颅鼠兔 (*Ochotona cansus*) 和荒漠猫。监测到三个新分布种,为白斑翅雪雀 (*Montifringilla nivalis*)、褐柳莺 (*Phylloscopus fuscatus*) 和大麻鵟 (*Botaurus stellaris*)。

鸟类中雀形目最多,为 53 种,占鸟类种数的 62.4%,其次是鹰形目 7 种,占 8.2%,鹤形目和雁形目 5 种,均占 5.9%。不同居留型的鸟类中留鸟最多,共 42 种,占 49.4%;其次是夏候鸟,共 36 种,占 42.4%。不同生态类群的鸟类中鸣禽最多,共 52 种,占 62.4%;其次是猛禽,共 12 种 (14.1%)。哺乳类中食肉目最多,为 13 种,占哺乳类种数的 43.3%,其次是鲸偶蹄目 6 种,占 20.0%,兔形目 5 种,占 16.7%。

从动物地理区划上看 (图 2) 古北界物种占绝对优势,共 84 种 (73.0%),包括高地型、古北型、全北型、中亚型与东北型 5 种分布型,其中高地型最多,包括 22 种鸟类与 17 种哺乳类;其次是古北型最多,包括 14 种鸟类与 3 种哺乳类。东洋界物种共 16 种,占 13.9%,包括喜马拉雅-横断山区型、东洋型、南中国型与季风区型 4 种分布型,其中喜马拉雅-横断山区型物种最多,包括 9 种鸟类与 1 种哺乳类。广布种有 15 种,占 13.0%,包括 14 种鸟类与 1 种哺乳类。

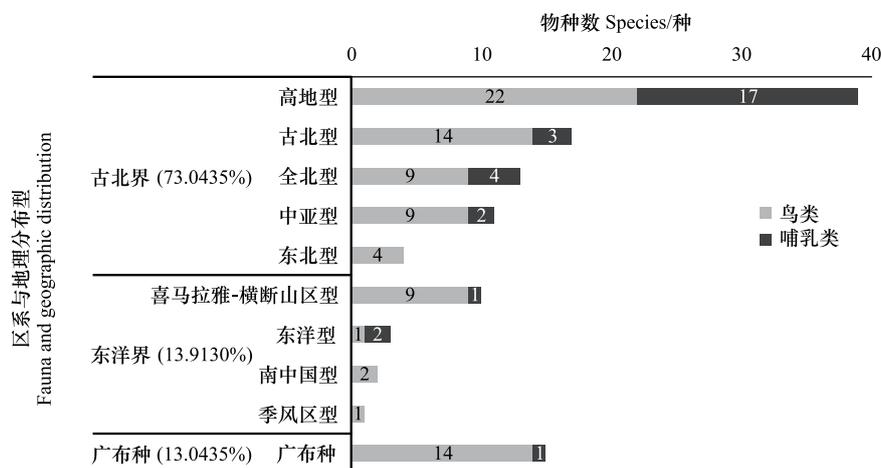


图 2 唐北区域各区系与地理分布型物种数

Fig.2 Number of species by fauna and geographic distribution in the Tangbei area

2.2 物种多样性与相似性指数计算结果

唐北区域 D_F 、 D_G 、 D_{G-F} 值分别为 16.62、4.13 和 0.75。鸟类的 D_F 、 D_G 、 D_{G-F} 值分别为 26.00、3.78 和 0.85,哺乳类的 D_F 、 D_G 、 D_{G-F} 值分别为 6.22、3.04 和 0.51。

相邻区域的 Jaccard 指数如表 1 所示。雁石坪与岗尼 ($C_j = 0.776 > 0.75$) 的物种组成为极相似,其余相邻乡镇区域的相似度均为中等相似 ($C_j = 0.50 - 0.75$)。

2.3 红外相机物种相对多度指数计算结果

唐北区域 RAI 位列前 5 位的哺乳类依次是高原鼠兔 (*Ochotona curzoniae*) (RAI = 172.69)、灰尾兔 (*Lepus oiostolus*) (RAI = 69.45)、藏狐 (RAI = 58.07)、藏原羚 (RAI = 28.90) 和岩羊 (RAI = 22.95); 鸟类依次是白腰雪雀 (*Onychostruthus aczanowskii*) (RAI = 38.41)、赭红尾鹟 (*Phoenicurus ochruros*) (RAI = 21.76)、棕颈雪雀

(*Pyrgilauda ruficollis*) (RAI = 16.09)、地山雀 (RAI = 11.66) 和角百灵 (*Eremophila alpestris*) (RAI = 7.41)。同时,红外相机还记录到放牧活动 1316 次 (RAI = 60.17), 交通活动 131 次 (RAI = 5.99), 牧民 81 次 (RAI = 3.70), 家马 36 次 (RAI = 1.65), 狗 10 次 (RAI = 0.46)。

2.4 人兽冲突调查结果

本研究共发放问卷 100 份,回收有效问卷 89 份,根据访谈结果,冲突报告次数最多的肇事物种为棕熊、狼和雪豹三类食肉动物,其次是野牦牛、藏羚、岩羊和藏野驴等食草动物。最主要的野生动物损害类型是破坏草场 (39.3%, $n = 89$),其次是损害家庭财产 (27.0%, $n = 89$) 和伤害家禽家畜 (23.6%, $n = 89$),人身安全损害的比例较低 (2.20%, $n = 89$) 但仍需关注。人兽冲突的高发月份为 3—5 月与 10—11 月。对当前唐北区域内野生动物肇事补偿金额的调查结果显示,牦牛的补偿金额在 800—5000 元间,平均补偿额度为每只牦牛 (1648.49±154.61) 元 (mean±SE)。家羊的补偿金额在 150—500 元间,平均补偿额度为每只家羊 (229.00±12.78) 元;房屋的补偿金额为受损者每人 150 元。根据每只牦牛与家羊的市场价格 (牦牛为每只 15000—20000 元,家羊为每只 1200—2000 元),冲突致死的家畜赔付金额仅约占损失的 10%—20%。

3 讨论

3.1 物种组成及区系

动物区系特征是动物在长期进化过程中与周围环境相适应的结果,区系调查有助于研究生物多样性面临的威胁^[27-28]。中国在世界动物地理区划里分属于东洋界与古北界,第三纪后期青藏高原隆起促成了分界的形成,成为许多物种的分化中心^[29]。曾经由于青藏高原地广人稀,绝大部分地区几乎未开发,青藏高原动物区系受人类活动的干预和影响极小^[30],然而随着全球变暖和人类活动的加剧,青藏高原物种、群落和生态系统都面临着前所未有的变化^[9]。

高原寒冷严峻的自然条件在许多动物不可逾越的障碍,青藏高原物种总体较为贫乏,种类始终与其他亚区相似性较远,生存着大量适应高寒的特有物种^[27,31-32]。唐北区域在中国动物地理区划上属于古北界中亚亚界青藏区羌塘高原亚区,自然区上属于青藏高寒区,典型物种为高地型。本研究调查到的高地型鸟类包括藏雪鸡、西藏毛腿沙鸡 (*Syrhaptes tibetanus*)、地山雀和六种雪雀,高地型哺乳类包括藏羚、野牦牛、藏野驴,藏狐和雪豹等。除这些典型物种外,本研究也记录到蒙新区典型中亚型和北方型物种,如草原雕 (中亚型)、鵟属 (*Oenanthe* spp.) (中亚型) 和角百灵 (全北型),其中角百灵 RAI 位列鸟类第五。这些物种的分布推测是由于青藏高原北缘干燥的气候条件和北部蒙新区的干旱地区相似,蒙新区的一些种类可适应高寒环境,导致两区物种出现互相渗透的现象^[33]。同时,本研究还记录到东洋界物种出现。东洋界温热潮湿、植被茂盛,其物种在高寒的青藏区出现的原因主要分为以下几类,一是自身分布地广,如适应能力强、食性广的大嘴乌鸦,二是候鸟迁徙路径途径唐北区域,或是将唐北区域作为繁殖地,如小云雀 (*Alauda gulgula*) 和红尾鸫属 (*Phoenicuropsis* spp.);三是气候变暖和气候带北移^[23];四是过去缺乏调查记录、物种自身扩展能力强和个体迷途等原因^[34],如豹猫活动能力和迁移能力强,适应森林、灌丛和草甸等各类环境,在青藏高原东北缘也有发现记录^[35]。栖息在高原的豹猫主要以资源丰富的鼠兔为食,唐北区域可满足豹猫的食物需求。

G-F 指数高可表明某区域在科、属水平上有较高的物种多样性,物种在属间分布均匀,而较低的 G-F 指数

	色务	岗尼	多玛	玛曲	玛荣	雁石坪
雁石坪	0.741	0.776	0.682	0.689	0.667	1
玛荣	0.698	0.687	0.628	0.653	1	
玛曲	0.739	0.709	0.667	1		
多玛	0.716	0.709	1			
岗尼	0.731	1				
色务	1					

图 3 不同乡镇区域物种组成的 Jaccard 相似性指数
Fig.3 Jaccard index of species composition in different towns

则表明拥有较多的单种科和单属科^[25]。G-F 指数也反映了区域内生态类群的物种分化大小和种间亲缘关系的远近^[14]。唐北区域整体 G-F 指数较高(0.75),表明该地区物种多样性丰富。该结果与蔡振媛等^[10]、高红梅等^[11]的研究结果类似,表明唐北区域与三江源国家公园另外三大园区一样具备较高的生物多样性水平。鸟类 G-F 指数(0.85)比哺乳类(0.51)高,表明鸟类物种多样性以及科间、属间多样性均高于哺乳类,在属间分布也较均匀。鸟类的运动能力强于哺乳类,可进行长距离迁徙的候鸟会丰富区域内鸟类多样性。唐北区域的鸟类包括苍鹭(*Ardea cinerea*)、蓑羽鹤、斑头雁(*Anser indicus*)等候鸟,因此鸟类多样性比哺乳类高。Jaccard 指数显示雁石坪与岗尼的物种组成为极相似,推测是由于这两对区域植被与海拔相近,主要植被均为垫状植被、丛生蒿草草甸和根茎禾草草甸,因此物种组成相近。

本研究记录到三江源国家公园历史文献中的大部分大中型哺乳类,但记录到的鸟类中,游禽、涉禽和攀禽种数较少,未记录到的原因推测是由于研究区域海拔较高,处于大部分鸟类的分布海拔之上;区域内适宜鸣禽和攀禽的森林生境稀少。本研究记录的小型啮齿动物也较少,基本为样线调查和访问调查中采集到的标本,红外相机虽具有对野生动物干扰小、能监测活动隐蔽的物种的优点^[36],但对于小型啮齿类动物,监测效率会受限于体型特征及布设高度^[37],本次调查获取的小型啮齿动物照片多难以鉴别,未来的研究可结合物种特征与生态习性,优化相机部署位置以提升监测效率。

3.2 濒危物种调查情况

青藏高原的野生动物面临诸多因素的威胁,历史上的过度捕猎导致藏羚、野牦牛和白唇鹿等有蹄类和雪豹、猞猁等猫科动物数量急剧下降,气候变化和人类活动导致物种的栖息地丧失与破碎化,道路建设和草场围栏影响有蹄类迁徙活动,人兽冲突也会导致报复性猎杀^[31,38-41]。根据实地调查,本研究中大部分区域仍处于人为干扰较少的原生状态,主要威胁为放牧和公路建设。放牧导致的栖息地丧失和草地退化会使野生有蹄类动物可利用的植物量减少,导致野生动物与家畜产生竞争。公路建设则加重生境破碎化,增加藏羚、藏原羚及藏野驴等物种在迁徙和繁殖过程中的风险^[40]。

本研究记录到 6 种鲸偶蹄目物种均为国家重点保护野生动物,13 种食肉目物种中 10 种为国家重点保护野生动物,且藏原羚、岩羊与藏狐等保护动物 RAI 均较高,表明研究区域为濒危物种提供了适宜的生存环境。藏羚记录在色务、玛曲和雁石坪区域相对较多,这三个乡镇地理位置上属于唐北区域西北侧,靠近羌塘的藏羚重要迁徙通道^[42]。雪豹被公认为青藏高原的旗舰种,既对生态系统维持有重要作用,也能引起很高的公众关注度;兔狲作为小型食肉动物也是具有重要生态调控功能的关键物种^[43]。这两个物种在色务记录较多,推测是由于色务岩石山多,为兔狲提供了适宜的石洞环境^[44],同时为雪豹提供了主要猎物岩羊。玛曲与多玛和三江源国家公园长江源区接壤处为雪豹与岩羊的高适宜区^[45-46],本研究在这两个乡镇也有发现上述两个物种。

3.3 人兽冲突分析

唐北区域内突出的人兽冲突有人熊、人狼和人豹冲突。受访牧民提到棕熊经常到居民点的生活垃圾场翻找食物,夏季闯入长期无人居住的房屋破坏家具;狼与雪豹捕食家畜,而牧民缺乏有效驱赶手段,很难防护或避免冲突,围栏等事前预防措施效果也不明显。藏原羚、藏野驴、野牦牛和藏羚等野生食草动物虽有和家畜共用草场、迁徙季践踏草场的情况,但牧民并不认为这是人兽冲突,普遍表示自己会像对待家畜一样善待这些野生动物。

青藏高原是少数民族聚居地区,生态保护修复工程需要取得当地群众理解,支持其生计诉求,进一步鼓励其参与工程^[47],而人兽冲突造成的损失会降低牧民的保护意愿,不利于保护工作的开展^[48]。目前唐北区域对人兽冲突最主要的解决方式是事后补偿的野生动物肇事保险。虽然金额较低,但牧民普遍认为有赔偿比没有要好,如果能提高赔偿额度就会更满意。然而牧民对赔付时间和手续繁琐程度满意度较低。现在的赔付手续需要牧民现场拍照被咬死的牛羊,还有可能被保险公司以现场没有血迹、肇事地点在河边等理由拒绝赔付;通过审批后,赔偿金额到账时间耗时约一年。此外,棕熊破坏食物、家具和房屋的肇事行为赔偿额度极小,牧民对此满意度较低。

综上所述,本研究首次对唐北区域进行了哺乳类和鸟类多样性调查,所得结果丰富了三江源国家公园的野生动物研究基础。依据本研究,提出以下建议:(1)持续加强唐北区域的生物多样性监测,在河流湿地等水体生境增设红外相机监测位点,在小型啮齿类洞穴及活动路径布设低高度红外相机,加强地栖鸟类及啮齿类种群监测;在野生动物集中分布区建立固定监测样线,在食草动物迁徙路径和候鸟聚集区建立季节性监测样线,定期追踪群落动态,及时调整保护策略。(2)提升区域内的野生动物肇事赔偿力度,扩大赔偿范围,将野生动物造成的牲畜损失及家具和房屋等财产损失均纳入赔偿范围;建议重点针对牲畜损失及房屋破坏开发标准化损害鉴定流程,对管理人员进行损害痕迹识别培训;减少申领环节,简化手续,建立绿色通道、线上通道等方式缩短流程,使野生动物损害在三个月至半年内得到快速补偿。(3)为迁徙路线被草场或公路截断的野生动物预留充足的生态廊道,沿廊道布设红外相机监测位点,实时追踪野生动物通行效率并阻隔人为干扰,确保不会因人为干扰影响野生动物的正常迁徙。(4)将生态保护与民生改善结合,借助三江源国家公园唐北区域生态保护工作宣传生态文明建设,通过增加生态巡护员岗位及开展能力培训促进就业、支持民生,将生态保护与社区生计改善结合,综合实现三江源区域的社会经济可持续发展和生物多样性保护。

致谢:感谢安多县自然资源局对本次调查工作的支持,感谢西藏大学生态环境学院的扎西在野外工作做出的贡献,感谢黄维、王晓龙、易思民、崔瀚、张茜、陈乐童和刘馨云在红外相机物种识别和整理工作中做出的贡献。

参考文献(References):

- [1] Tilman D, Clark M, Williams D R, Kimmel K, Polasky S, Packer C. Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 2017, 546(7656): 73-81.
- [2] Andermann T, Faurby S, Turvey S T, Antonelli A, Silvestro D. The past and future human impact on mammalian diversity. *Science Advances*, 2020, 6(36): eabb2313.
- [3] Díaz S, Malhi Y. Biodiversity: concepts, patterns, trends, and perspectives. *Annual Review of Environment and Resources*, 2022, 47: 31-63.
- [4] Mi X C, Feng G, Hu Y B, Zhang J, Chen L, Corlett R T, Hughes A C, Pimm S, Schmid B, Shi S H, Svenning J C, Ma K P. The global significance of biodiversity science in China: an overview. *National Science Review*, 2021, 8(7): nwab032.
- [5] 胡天宇, 王宁宁, 赵晓倩, 米湘成, 郭庆华, 马克平. 生物多样性监测网络建设进展. *遥感学报*, 2018, 22(4): 709-712.
- [6] 李佳琦, 徐海根, 万雅琼, 孙佳欣, 李晟, 蔡蕾. 全国哺乳动物多样性观测网络(China BON-Mammals)建设进展. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(1): 12-19.
- [7] 卜向丽, 王静, 吴佳忆, 孙太福, 向荣伟, 鲁庆斌, 郝映红, 崔绍朋, 盛岩, 孟秀祥. 太行山东北部哺乳动物区系及多样性. *生物多样性*, 2021, 29(3): 331-339.
- [8] 杨渺, 江腊海, 谢强, 吴瑕, 艾蕾. 四川省维管植物和脊椎动物空间分布格局研究. *环境科学研究*, 2022, 35(10): 2357-2366.
- [9] 张宪洲, 杨永平, 朴世龙, 包维楷, 汪诗平, 王根绪, 孙航, 罗天祥, 张扬建, 石培礼, 梁尔源, 沈妙根, 王景升, 高清竹, 张懿锂, 欧阳华. 青藏高原生态变化. *科学通报*, 2015, 60(32): 3048-3056.
- [10] 蔡振媛, 覃雯, 高红梅, 吴彤, 迟翔文, 杨俊东, 苗紫燕, 张婧捷, 宋鹏飞, 连新明, 苏建平, 张同作. 三江源国家公园兽类物种多样性及区系分析. *兽类学报*, 2019, 39(4): 410-420.
- [11] 高红梅, 蔡振媛, 覃雯, 黄岩淦, 吴彤, 迟翔文, 张婧捷, 苗紫燕, 宋鹏飞, 连新明, 张同作. 三江源国家公园鸟类物种多样性研究. *生态学报*, 2019, 39(22): 8254-8270.
- [12] 刘周, 周虎, 吴国生, 陈康民, 章书声, 蔡平, 徐爱春. 三江源查旦乡夏季大中型兽类与鸟类物种多样性和垂直分布格局. *兽类学报*, 2020, 40(5): 520-531.
- [13] 王钊齐, 赵亮, 李奇, 张同作, 江峰, 张桂峰, 赵星涛, 郑凯, 马涛, 向明学, 赵新全. 三江源国家公园大型动物多样性监测技术及应用. *国家公园: 中英文*, 2025(1): 1-13.
- [14] 张勇, 徐哲超, 吴力博, 刘佳隄, 樊卫东, 张筱. 秦岭国家植物园陆栖脊椎动物多样性及区系分析. *自然保护地*, 2023, 3(3): 45-66.
- [15] 张丽云, 郭克疾, 李炳章, 吕永磊, 张路, 欧阳志云. 唐古拉山以北地区生态资产核算. *生态学报*, 2020, 40(10): 3229-3235.
- [16] 李晟, William J. McShea, 王大军, 申小莉, 卜红亮, 官天培, 王放, 古晓东, 张晓峰, 廖灏泓. 西南山地红外相机监测网络建设进展. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1049-1058.
- [17] 赵晓娜, 陈琼, 陈婷. 三江源国家公园人兽冲突现状与牧民态度认知研究. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(4): 39-46.
- [18] 吴佳忆, 袁乃秀, 申立泉, 周鑫, 吕青昕, 耿硕, 杨歆雨, 郑启泽, 朱印酒, 盛岩, 孟秀祥. 太行山东北部区域野生动物损害及损害赔偿.

生态学报, 2023, 43(7): 2605-2613.

- [19] Andrew T. Smith, 解焱. 中国兽类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社, 2009.
- [20] 段文科, 张正旺. 中国鸟类图志(上下卷). 北京: 中国林业出版社.
- [21] 约翰·马敬能. 中国鸟类野外手册. 北京: 商务印书馆, 2022.
- [22] 王湘国, 吕植. 三江源国家公园自然图鉴. 南京: 译林出版社, 2021.
- [23] 生态环境部, 中国科学院. 中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷(2020). [2023-05-19]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/W020230522536559098623.pdf>
- [24] 张荣祖. 中国动物地理. 北京: 科学出版社, 2011.
- [25] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法. 生物多样性, 1999, 7(3): 220-225.
- [26] 刘志发, 王新财, 龚粤宁, 陈道剑, 张强. 基于红外相机监测的广东南岭国家级自然保护区鸟兽多样性及其垂直分布特征. 生物多样性, 2023, 31(8): 35-48.
- [27] 王开锋, 张继荣, 雷富民. 中国动物地理亚区繁殖鸟类地理分布格局与时空变化. 动物分类学报, 2010, 35(1): 145-157.
- [28] Kubelka V, Sandercock B K, Székely T, Freckleton R P. Animal migration to northern latitudes: environmental changes and increasing threats. *Trends in Ecology & Evolution*, 2022, 37(1): 30-41.
- [29] 莫申国, 张百平, 程维明, 谭娅, 肖飞, 武红智. 青藏高原的主要环境效应. 地理科学进展, 2004, 23(2): 88-96.
- [30] 沈孝宙. 西藏哺乳动物区系特征及其形成历史. 动物学报, 1963, 9(1): 139-150.
- [31] 刘璐, 迟瑶, 吴朝宁, 钱天陆, 王结臣. 陆栖哺乳动物的地理隔离研究进展. 生物多样性, 2021, 29(8): 1134-1145.
- [32] 王湘国. 三江源国家公园保护价值与管理模式. 国家公园: 中英文, 2023(1): 62-66.
- [33] 陈振宁. 青海省鸟类区系调查、群落多样性及动物地理区划研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2021.
- [34] 任金龙, 安辉, 杨瞳, 王凯, 许绍才, 吴普初, 韦书宝, 黄小霞, 李家堂. 广西十万大山国家级自然保护区两栖爬行动物调查及区系分析. 四川动物, 2018, 37(1): 95-107.
- [35] 张红勇, 张德喜, 毛锐锐, 王一竹, 周倩, 徐涛, 张立勋. 甘肃兴隆山森林生态系统豹猫及其潜在猎物的日活动模式. 野生动物学报, 2023, 44(2): 239-247.
- [36] 周鸭仙, 李言阁, 李佳琦, 刘武华, 邵瑞清, 钟毅峰, 曹开强. 基于红外相机技术调查桃红岭梅花鹿国家级自然保护区鸟兽多样性. 生态学报, 2019, 39(13): 4975-4984.
- [37] 崔绍朋, 陈代强, 王金宇, 孙吉舟, 初红军, 李春旺, 蒋志刚. 新疆阿尔泰山喀纳斯河谷鸟兽物种的红外相机监测. 生物多样性, 2020, 28(4): 435-441.
- [38] Zhuo Y Y, Wang M Y, Liu Z J, Xu W X, Abdalnazar A, Rajabi A M, Davletbakov A, Haider J, Khan M Z, Loik N, Faryabi S P, Michel S, Ostrowski S, Moheb Z, Ruckstuhl K, da Silva A A, Alves J, Yang W K. Border fences reduce potential for transboundary migration of Marco Polo Sheep (*Ovis ammon Polii*) in the Pamir Plateau. *Science of The Total Environment*, 2024, 912: 169298.
- [39] 张同作, 江峰, 徐波, 李斌, 梁程博, 顾海峰. 青藏高原濒危兽类保护与管理研究进展. 兽类学报, 2022, 42(5): 490-507.
- [40] 张同作, 江峰, 张婧捷, 蔡振媛, 高红梅, 顾海峰, 宋鹏飞. 三江源国家公园野生动物保护与管理对策. 兽类学报, 2023, 43(2): 193-205.
- [41] Alexander J S, Zhang C C, Shi K, Riordan P. A spotlight on snow leopard conservation in China. *Integrative Zoology*, 2016, 11(4): 308-321.
- [42] Cao Y F, Foggini M, Zhao X Q. Tibetan Antelope migration during mass calving as parasite avoidance strategy. *Innovation*, 2022, 3(6): 100326.
- [43] 王东, 赛青高娃, 王子涵, 赵宏秀, 连新明. 长江源区同域分布兔孙、藏狐和赤狐的时空重叠度. 生物多样性, 2022, 30(9): 123-132.
- [44] 赵栋, 杨创明, 和梅香, 陈倾心, 何兴成, 冉江洪. 贡嘎山国家级自然保护区兔孙的活动节律与适宜栖息地预测. 四川动物, 2019, 38(3): 320-327.
- [45] 肖凌云, 程琛, 万华伟, 张德海, 王永财, 才旦, 侯鹏, 李娟, 杨欣, 吕植, 刘玉平. 三江源地区雪豹保护优先区规划. 生物多样性, 2019, 27(9): 943-950.
- [46] 迟翔文, 江峰, 高红梅, 覃雯, 吴彤, 张婧捷, 蔡振媛, 张同作. 三江源国家公园雪豹和岩羊生境适宜性分析. 兽类学报, 2019, 39(4): 397-409.
- [47] 王军, 傅伯杰, 张骁, 刘焱序, 赵文武. 基于自然的青藏高原一体化生态保护修复优化管理. 中国科学院院刊, 2024, 39(7): 1123-1130.
- [48] 赵晓娜, 刘峰贵, 陈琼, 李振宇, 支泽民. 三江源国家公园牧民对野生动物容忍度研究. 野生动物学报, 2022, 43(2): 463-470.