•生物编目•

新疆阿尔泰山喀纳斯河谷鸟兽物种的 红外相机监测

崔绍朋^{1,2,3} 陈代强^{2,3} 王金宇¹ 孙吉舟⁴
初红军^{5,6} 李春旺^{2,3} 蒋志刚^{2,3*}

1 (山西农业大学林学院, 山西晋中 030801)

2 (中国科学院动物研究所动物生态与保护生物学重点实验室, 北京 100101)

3 (中国科学院大学, 北京 100049)

4 (新疆喀纳斯国家级自然保护区, 新疆阿勒泰 836600)

5 (新疆卡拉麦里山有蹄类自然保护区, 新疆阿勒泰 836500)

6 (新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 2014年6月至2016年8月, 利用红外相机技术对新疆喀纳斯国家级自然保护区内喀纳斯河谷的兽类和鸟类多样性进行了调查, 共布设36个相机位点, 累计12,006个拍摄日, 收集独立有效照片2,038张, 共鉴定野生动物51种, 其中兽类4目8科15种, 鸟类9目15科36种。记录到国家I级重点保护野生动物3种, 即紫貂(*Martes zibellina*)、貂熊(*Gulo gulo*)和黑鹳(*Ciconia nigra*); 国家II级保护动物11种。9种被中国脊椎动物红色名录列为受威胁物种, 其中极危(CR) 1种, 即驼鹿(*Alces alces*); 濒危(EN) 3种, 即貂熊、马鹿(*Cervus canadensis*)和松鸡(*Tetrao urogallus*); 易危(VU) 5种。白背啄木鸟(*Dendrocopos leucotos*)等14种鸟类为保护区新记录, 我们首次在野外拍摄到驼鹿指名亚种(*A. a. alces*)。物种相对多度指数(relative abundance index, RAI)分析结果显示, 马鹿为喀纳斯河谷兽类优势种(RAI = 9.878), 鸟类中星鸦(*Nucifraga caryocatactes*)相对多度最高(0.258)。我们建议保护区进一步对雪豹(*Panthera uncia*)、原麝(*Moschus moschiferus*)等物种开展专项调查和评估。本论文为阿尔泰山喀纳斯河谷鸟兽多样性研究提供了基础数据, 有助于后续物种保护和管理计划的开展。

关键词: 阿尔泰山; 红外相机; 物种编目; 泰加林; 喀纳斯国家级自然保护区

Camera-trapping survey on mammals and birds in the Kanas River Valley of Altai Mountains, Xinjiang, China

Shaopeng Cui^{1,2,3}, Daiqiang Chen^{2,3}, Jinyu Wang¹, Jizhou Sun⁴, Hongjun Chu^{5,6}, Chunwang Li^{2,3}, Zhigang Jiang^{2,3*}

1 College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030801

2 Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

4 Kanas National Nature Reserve, Altay, Xinjiang 836600

5 Mt. Kalamaili Ungulate Nature Reserve, Altay, Xinjiang 836500

6 College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046

Abstract: We conducted a camera-trapping survey in the Kanas River Valley of Xinjiang Kanas National Nature Reserve (XKNNR), China specifically for inventorying the mammal and bird diversity. We collected 2,038 independent detections from June 2014 to August 2016 over 12,006 camera-days at 36 locations. The survey identified 51 species, including 15 mammal species belonging to four orders and eight families, and

收稿日期: 2020-04-30; 接受日期: 2020-06-08

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0503303)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA23080101)、国家科技基础性工作专项(2013FY110300)和新疆国际科技合作项目(20136026-2)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jiangzg@ioz.ac.cn

36 avian species classified into nine orders and 15 families. The sable *Martes zibellina*, wolverine *Gulo gulo*, and black stork *Ciconia nigra* are listed as Class I National Protected Wildlife and 11 species as Class II. According to the Red List of China's Vertebrates, nine species are threatened in the reserve, while the moose *Alces alces* is Critically Endangered (CR), three species including the wolverine, wapiti *Cervus canadensis*, and capercaillie *Tetrao urogallus* as Endangered (EN), and five species as Vulnerable (VU). Fourteen avian species including white-backed woodpecker *Dendrocopos leucotos* were newly recorded in XKNNR along with the first photograph of *A. a. alces* in the wild taken during the survey. The relative abundance index (RAI) results showed *Cervus canadensis* was a dominant species at Kanas River Valley (RAI = 9.878). The most abundant avian species was the spotted nutcracker (*Nucifraga caryocatactes*, 0.258). Further investigations are recommended to determine the status and threats of the species, especially the musk deer *Moschus moschiferus* and snow leopard *Panthera uncia*. Our results added new data to the mammal and bird diversity in the Kanas River Valley of Altai Mountains, which can assist in improving species conservation and reserve management in the area.

Key words: Altai Mountains; camera trap; species inventory; Taiga; Kanas National Nature Reserve

物种编目是生物多样性研究与保护的基础, 中国是世界上生物多样性最丰富的国家之一, 但物种编目研究起步较晚, 目前尚有一些地区缺乏全面系统的本底资料调查(Gaston, 2000; 马克平, 2015)。在全球气候变化与区域经济发展的双重压力下, 生物多样性正面临人类活动的深刻影响, 而一些地区的物种本底数据仍源自20世纪末期, 并受限于传统调查手段, 调查范围、调查对象等并不全面(肖治术, 2019)。种群多度、空间分布等相关数据不足或者更新不及时, 大大降低了物种保护和管理工作的针对性及有效性(Primack, 2014)。

作为一种非损伤性调查和监测方法, 红外相机技术目前已经成为动物本底调查的常规手段(肖治术, 2019)。相比于样线法等传统调查方法, 红外相机技术具有人工成本低、全天候监测、对动物干扰小、易于记录隐蔽种、可标准化操作等优点(O'Brien et al, 2003; O'Connell et al, 2011; 李晟等, 2014), 被广泛应用于野外工作中, 为野生动物的科学保护和有效管理提供了有力支持(肖治术等, 2014)。

新疆喀纳斯国家级自然保护区(以下简称喀纳斯保护区)成立于1980年, 是我国最早建立的自然保护区之一。保护区位于我国西北端(86°54'–87°54' E, 48°35'–49°11' N), 是阿尔泰山生物多样性保护优先区内仅有的两个国家级保护区之一(环境保护部, 2011), 地处WWF Global 200关键生态区之一的阿尔泰-萨彦生态区(Altai-Sayan Ecoregion)南缘(Olson & Dinerstein, 2002), 具有典型的泰加林景观及动物类群, 是我国唯一位于古北界欧洲-西伯利

亚生物地理区的国家级保护区(马勇等, 1987; 张荣祖, 1999)。保护区地处四国交界, 地势由西南向东北逐步抬升, 海拔范围1,000–4,374 m, 相对高差在3,000 m以上, 区内最高海拔点友谊峰是阿尔泰山在中国境内的主峰。保护区总面积220,162 ha, 气候特征为典型的温带大陆性气候, 年均降水量在1,060 mm, 气温垂直梯度变化明显, 年均温–0.2°C, 7月高山雪线以下的地区平均温度为15.9°C, 1月均温为–16.0°C^①。主要保护对象为西伯利亚泰加林森林生态系统及自然景观, 典型植物包括西伯利亚红松(*Pinus sibirica*)、西伯利亚云杉(*Picea obovata*)等。

目前, 喀纳斯保护区兽类和鸟类本底调查资料特别是系统的实地调查记录很少。1987年, 林业部(现国家林草局)在该保护区组织开展了唯一一次多学科综合野外调查, 历时44 d, 记录到39种兽类和117种鸟类(林业部中南调查规划设计院, 1989)。周永恒等(1994)在喀纳斯保护区获得驼鹿指名亚种(*Alces alces alces*)标本, 首次证实我国阿尔泰山有驼鹿分布, 也是国内首次发现该亚种。马合木提等(1995)在后续调查中发现, 该保护区内驼鹿种群数量有40余头。此外, 马勇等(1987)在包括喀纳斯保护区在内的新疆北部地区针对啮齿动物开展了多次调查。在上述工作的基础上, 阿布力米提等(1999)通过补充调查和文献汇总分析, 报道喀纳斯保护区兽类共计6目17科50种。进入21世纪后, 未见喀纳斯保护区兽类相关调查报道。鸟类方面, 虽然整个

^① 新疆喀纳斯国家级自然保护区管理局 (2011) 新疆喀纳斯国家级自然保护区总体规划(2011–2020)。内部资料, 林产工业规划设计院, 北京。

阿尔泰山地区有过多次鸟类调查(向礼祥和黄人鑫, 1986; 兰欣和谷景和, 1993; 马鸣, 1997; 阿布力米提等, 2003), 但至今未见针对该保护区鸟类的报道。另一方面, 上述调查主要在喀纳斯湖周围及其南部进行, 喀纳斯湖北部区域一直缺乏深入的实地科学考察。本研究利用红外相机技术对喀纳斯河谷兽类和鸟类进行了调查监测, 旨在进一步掌握保护区内的鸟兽资源现状, 为喀纳斯保护区的物种管理实践提供科学依据。

1 研究方法

1.1 红外相机布设

为确定红外相机布设区域, 2013年7–10月我们在喀纳斯保护区进行了预调查。喀纳斯河谷植被垂直分布明显, 主要包括山地灌草丛、针阔混交林、针叶林、高山草甸和冰川积雪带。综合考虑植被带谱完整性、生境代表性、人为影响状况等, 结合已有的研究基础和初步拍摄结果, 选择喀纳斯河谷作为相机布设地点。该河谷面积近110 km², 保留着典型的西伯利亚泰加林自然景观, 是保护区最有代表性的核心区域, 多年来一直被严格保护。沿河谷设有湖头站、阿克吐鲁克站和白湖站3个管护站, 禁止游客和牧民进入(阿布力米提等, 1999; Cui et al, 2016)。依据动物活动痕迹丰富程度, 确定了36个红外相机监测点(图1), 相机布设密度约为1台/3 km²。

红外相机布设范围覆盖整个喀纳斯河谷, 从喀纳斯湖东部至中俄边境的白湖边缘(图1)。垂直方向上, 结合分层抽样和系统抽样原理, 将第一台相机放置在河边, 然后沿垂直等高线方向往山顶方向每700–1,000 m布设下一台相机, 将该过程所安放的相机视为对调查区所有生境类型的一次整体垂直抽样。按相同布设方法, 沿河谷方向每间隔2–3 km进行下一次抽样, 以期最大程度维持不同抽样之间的空间独立性(O'Connell et al, 2011)。红外相机监测位点覆盖了除冰川积雪带外所有其他生境, 每个植被带内都包含一定数量比例的相机位点。

2014–2016年, 每年6月沿喀纳斯河谷依次安放红外相机, 8–9月检查相机运行状态, 存储照片并更换电池, 以便将相机留置越冬。次年6月取回相机后, 重复上述过程, 直至2016年8月收回所有相机。夏秋季调查时, 相机布设高度一般为40–70 cm, 考虑到

图1 喀纳斯河谷红外相机布设位点图

Fig. 1 The map of camera sites in Kanas River Valley

积雪的可能影响, 越冬相机设置高度为1.5 m, 并使其俯视拍摄。相机型号为猎科Ltl-6210MC, 参数设置、布设程序、记录内容等参考红外相机调查技术规范(肖治术等, 2014)。

1.2 数据处理与分析

依据蒋志刚等(2017)和郑光美(2017)对红外相机拍摄到的兽类和鸟类进行鉴定和分类, 其中啮齿类动物(松鼠科除外)多于夜间拍摄且体形较小, 难以识别到种, 因而未纳入分析。保护级别和濒危程度参考《国家重点保护野生动物名录》(<http://www.forestry.gov.cn>)和《中国脊椎动物红色名录》(蒋志刚等, 2016)。

采用相对多度指数(relative abundance index, RAI)评估喀纳斯保护区鸟兽的相对种群大小(李晟等, 2014; 陈立军等, 2019)。该指数基于红外相机拍摄率, 其数值大小与动物种群大小密切相关(O'Brien et al, 2003), 计算公式如下:

$$RAI_j = \left(\sum_{i=1} d_i / \sum_{i=1} n_i \right) \times 100 \quad (1)$$

式中: RAI_j表示物种j的相对多度指数, d_i表示该物种在相机位点 i 的有效探测(独立照片)数, n_i为相机在位点 i 的有效工作日数。相机可以自动记录触发时间, 每次安放相机时先拍摄1张照片以检查相机运行状态并记录起始时间, 相机被取回或停止拍摄前的最后一次触发时间视为工作结束, 计算拍摄时数并将相机连续运行24 h视为1个有效工作日。

参考O'Brien等(2003), 我们定义有效探测的含义如下: 相机触发时所拍动物能根据照片或视频进

行准确物种鉴定,则该次拍摄视为对此物种的一次有效探测;若拍到相同物种,则相邻探测间隔应 ≥ 30 min,即一次有效探测之后30 min内该相机连续拍到的相同物种(即使拍到不同个体)都视为同一次探测;每次有效探测与红外相机当时拍到的动物个体数量无关。

2 结果

经过系统地布设红外相机,36个位点累计监测12,006个有效拍摄日,共获得独立有效照片2,038张,其中兽类1,871张,鸟类94张,家畜53张,人类活动20张,分别占独立有效照片总数的91.8%、4.6%、2.6%和1.0%(附录1,2)。

共鉴定出兽类15种,隶属于4目8科,占喀纳斯保护区历史记录兽类总数(50种)的33.3%;鸟类36种,隶属于9目15科,占喀纳斯保护区历史记录鸟类总数(117种)的32.5%。本次调查记录国家I级重点保护野生动物3种,即紫貂(*Martes zibellina*)、貂熊(*Gulo gulo*)和黑鹇(*Ciconia nigra*)。国家II级重点保护野生动物11种,包括棕熊(*Ursus arctos*)、马鹿(*Cervus canadensis*)、驼鹿、雪兔(*Lepus timidus*)、花尾榛鸡(*Tetrastes bonasia*)、黑琴鸡(*Lyrurus tetrrix*)等(附录1)。与历史数据相比,豆雁(*Anser fabalis*)、欧斑鸠(*Streptopelia turtur*)、丘鹑(*Scolopax rusticola*)、大鵟(*Buteo hemilasius*)、欧亚鵟(*B. buteo*)、棕尾鵟(*B. rufinus*)、白背啄木鸟(*Dendrocopos leucotos*)、虎斑地鸫(*Zoothera aurea*)、黑喉鸫(*Turdus atrogularis*)、新疆歌鸫(*Luscinia megarhynchos*)、红胁蓝尾鸫(*Tarsiger cyanurus*)、红腹红尾鸫(*Phoenicurus erythrogastrus*)、白翅交嘴雀(*Loxia leucoptera*)和红腹灰雀(*Pyrrhula pyrrhula*)等14种鸟类为保护区新记录种。同时,我们首次在野外拍摄到驼鹿指名亚种的生态照片(附录3)。

依据《中国脊椎动物红色名录》(蒋志刚等,2016),共调查到受威胁物种9种,其中驼鹿被列为极危(CR),貂熊、马鹿和松鸡(*Tetrao urogallus*)属于濒危(EN),棕熊、紫貂、黑鹇等5种被评为易危(VU)。

物种相对多度指数结果表明,马鹿RAI值远远大于其余物种(RAI = 9.878),其独立照片数占总数的58.2%。此外,兽类中松鼠(*Sciurus vulgaris*, 1.791)、狍(*Capreolus pygargus*, 1.066)、雪兔(0.933)、紫貂(0.691)和棕熊(0.591)相对多度较高,鸟类中星鸦

图2 喀纳斯河谷红外相机调查物种累积曲线

Fig. 2 Species accumulative curve of camera-trapping survey in Kanas River Valley

(*Nucifraga caryocatactes*, 0.258)、新疆歌鸫(0.083)和黑喉石鸫(*Saxicola maurus*, 0.058)相对多度较高。

物种累积曲线分析结果表明(图2),兽类取样比较充分,在500个有效相机工作日以下时,物种数随着相机日的增加而急速上升,至1,200个相机工作日时曲线逐渐趋于稳定;鸟类累积曲线在0–500个相机日快速上升,但此后物种数并未趋于平缓,在6,000个相机日时又呈现明显的升高趋势。

3 讨论

本次调查共记录36种鸟类,与以往的历史资料(林业部中南调查规划设计院,1989)相比,增加了14种保护区新记录鸟类。本次调查中鸟类独立照片数较低,仅占独立照片总数的4.6%,多种鸟类仅拍到1张有效照片,并且大部分生活在森林生境。与兽类相比,鸟类物种累积曲线在调查后期仍呈逐渐升高趋势,这主要是由于红外相机调查主要适用于大中型的地栖性鸟类,但实际上非地栖性鸟类数量更多,而这些鸟类是否能被红外相机拍摄到具有偶然性。红外相机陷阱技术并不适合进行非地栖性鸟类物种编目研究,仅可作为其补充调查手段(朱淑怡等,2017)。

本次调查记录到的15种兽类在以往文献中均有记载。与阿布力米提等(1999)的研究结果相比,本次红外相机调查未拍摄到北山羊(*Capra sibirica*)、原麝(*Moschus moschiferus*)和盘羊(*Ovis ammon*)等3种有蹄类,雪豹(*Panthera uncia*)、猞猁(*Lynx lynx*)和兔狲(*Otocolobus manul*)等猫科动物也均未发现。原因可能是本次相机布设范围相对较小,空间上没

有覆盖一些物种的特定活动家域,也可能是红外相机在探测动物类群上的局限性所致。2014年3月,我们协助保护区在实验区安放了红外相机,拍到了猓獾照片。对于兔狲,我们在非监测点拍到一张照片,也证实了该物种的存在。尽管红外相机技术具有非损伤、干扰小等诸多优点,但目前该技术并不适用于小型、夜行性或非地栖兽类,红外相机对这些物种通常难以进行有效探测或后续的物种鉴定困难(李晟等, 2014; 肖治术等, 2014)。本次调查对小型食肉动物的监测可能并不充分,而对于食虫目、啮齿目、翼手目等动物类群,需要采用活捕笼等针对性调查手段才能进行物种编目。此外,本次调查并未发现保护区内有盘羊分布,这与1987年开展的保护区综合考察结果(林业部中南调查规划设计院, 1989)相同。尽管阿布力米提等(1999)将盘羊准噶尔亚种(*O. a. sairensis*)列入保护区名录,但未具体说明列入依据。

对于雪豹,尽管有一些目击事件在民间流传,但迄今为止还没有在喀纳斯保护区拍到清晰的影像资料,保护区内是否有雪豹分布尚无确切证据。不过值得注意的是,雪豹是典型的跨境物种,我国新疆是其分布中心,全球12个雪豹分布国中有8个与新疆接壤,而阿尔泰山是雪豹在新疆的重要分布山系之一(马鸣等, 2013)。2017年,位于阿尔泰山东部的两河源自然保护区首次开展雪豹专项调查,并首次拍摄到清晰的雪豹照片(刘沿江等, 2019)。与此类似,2010年以来,在WWF等国际组织的资助下,在紧邻喀纳斯保护区的俄罗斯阿尔泰共和国境内,研究人员布设的红外相机多次拍到清晰的雪豹照片,明确了该物种的足迹(Nyhus et al, 2016)。关于原麝,尽管喀纳斯保护区标本馆收藏有原麝标本(疑为20世纪80年代综合考察所得),但经过三年多的野外监测,我们在喀纳斯河谷并未拍摄到原麝,也未发现其活动痕迹。同时,多位学者近些年来对阿尔泰山其他地区的调查也没有发现原麝(高行宜等, 2002; 初红军等, 2009; 刘元超等, 2014),因此我们推测该物种可能已在阿尔泰山局部绝灭。

本次调查的马鹿种群相对多度远高于狍、野猪等有蹄类,究其原因可能是:(1)与物种生态学特征有关。一方面,马鹿本身是喀纳斯河谷的兽类优势物种,在泰加林中占主导地位。泰加林是河谷内面

积最大的生境类型,本研究在该类生境中布设了20个相机监测位点,占总数的55.6%。野外工作时发现,针叶林内马鹿的粪便痕迹数量明显高于其他有蹄类。另一方面,不同物种的空间分布特征有差异,我们进一步讨论喀纳斯河谷主要兽类的时空分布特征时发现,喀纳斯河谷不同兽类空间分布明显分化,马鹿、驼鹿等物种海拔分布范围广泛(1,350–2,250 m),而狍和野猪偏好下游低海拔河滩区域(待发表)。(2)红外相机调查和分析技术的局限性所致。首先,该技术无法做到本底物种的全面普查,因此研究结果不能作为鸟兽物种多样性的一般特征;其次,作为一种计算简单的指标,相对多度指数应用广泛,但易受物种自身特征的影响,易被探测或家域大的物种的RAI值会被高估,而隐蔽性强或聚集分布的物种RAI偏低(Sollmann et al, 2013; 陈立军等, 2019)。(3)红外相机监测位点数量较少,取样量可能不够,同时仅调查了喀纳斯河谷区域,研究结果代表性较局限。

此外,调查还显示喀纳斯河谷有人类活动,进一步识别发现所拍摄照片均为保护区工作人员和护林员所骑马匹,并未发现外来人员或牧民家畜。以往喀纳斯河谷非法采挖虫草现象极为严重,并且屡禁不止,近些年保护区管理局在3个管护站增加了马匹数量(共约25匹),以加强河谷的日常巡护力度,有效遏制了非法采药等行为。实际上,除了护林员巡山用的马道之外,喀纳斯河谷没有其他道路,并且至今没有任何电力设施,与外界沟通困难,仅位于南端的湖头管护站拥有一部卫星电话,人为影响极小,是保护区最核心地带。不过我们发现管护站对巡山马匹的管理比较粗放,建议保护区加强管理,减少巡山马匹对野生动物的潜在影响。

综上所述,本研究首次对喀纳斯河谷进行了红外相机调查,获得了大量影像资料,丰富了保护区及其所在阿尔泰山区域的野生动物研究基础。建议在后续的野外工作中,增加监测位点数量,将保护区其他功能区以及白湖西北部核心区纳入调查范围,建立野外长期监测机制,不断补充更新保护区的野生动物本底数据。此外,亟需进一步对雪豹和原麝开展物种专项调查并完善物种管理计划,这将对两个物种在新疆阿尔泰山地区的生态研究和保护具有深远意义。

参考文献

- Aptimi A, Noriyuki O, Mahmut H, Hayashida E (1999) Characteristics of mammalian fauna and its distribution of the Kanas National Nature Reserve. *Arid Zone Research*, 16(2), 25–30. (in Chinese with English abstract) [阿布力米提·阿布都卡迪尔, 大泰司纪之, 马合木提·哈力克, 林田绘里子 (1999) 哈纳斯自然保护区兽类区系与分布特征. 干旱区研究, 16(2), 25–30.]
- Aptimi A, Sun MJ, Shao MQ (2003) Diversity and fauna characteristics of the birds and mammals in mountain areas of Xinjiang. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 17(3), 117–122. (in Chinese with English abstract) [阿布力米提·阿布都卡迪尔, 孙铭娟, 邵明勤 (2003) 新疆山地鸟类和哺乳类多样性及其区系特征. 干旱区资源与环境, 17(3), 117–122.]
- Central South Inventory and Planning Institute of Forestry Department (1989) Scientific Survey of the Kanas Nature Reserve of China. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [林业部中南调查规划设计院 (1989) 哈纳斯科学考察. 中国林业出版社, 北京.]
- Chen LJ, Xiao WH, Xiao ZS (2019) Limitations of relative abundance indices calculated from camera-trapping data. *Biodiversity Science*, 27, 243–248. (in Chinese with English abstract) [陈立军, 肖文宏, 肖治术 (2019) 物种相对多度指数在红外相机数据分析中的应用及局限. 生物多样性, 27, 243–248.]
- Chu HJ, Jiang ZG, Qi YJ, Tao YS, Li B (2009) Winter bed-site selection by argali *Ovis ammon sairensis*, *O. a. darwini* in Mt. Kekesen and Mt. Kalamaili in southern Altai Mountains. *Acta Theriologica Sinica*, 29, 125–132. (in Chinese with English abstract) [初红军, 蒋志刚, 戚英杰, 陶永善, 李斌 (2009) 阿尔泰山南部科克森山和卡拉麦里山盘羊冬季卧息地的选择. 兽类学报, 29, 125–132.]
- Cui SP, Luo X, Chen DQ, Sun JZ, Chu HJ, Li CW, Jiang ZG (2016) The adder *Vipera berus* in Southern Altay Mountains: Population characteristics, distribution, morphology and phylogenetic position. *PeerJ*, 4, e2342.
- Gao XY, Yang WK, Qiao JF, Xu KF (2002) Wild life in the Beita Mountain region, Xinjiang. *Arid Zone Research*, 19(4), 75–82. (in Chinese with English abstract) [高行宜, 杨维康, 乔建芳, 许可芬 (2002) 新疆北塔山地区的野生动物. 干旱区研究, 19(4), 75–82.]
- Gaston KJ (2000) Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405, 220–227.
- 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, 500–551. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 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, 500–551.]
- 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.]
- Lan X, Gu JH (1993) The species and distribution of birds in Xinjiang and its micro-computer information system. *Arid Zone Research*, 10(1), 22–28. (in Chinese with English abstract) [兰欣, 谷景和 (1993) 新疆鸟类种类与分布及其微机信息系统. 干旱区研究, 10(1), 22–28.]
- 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.]
- Liu YC, Huang XW, Chu HJ, Liu DZ, Zhang F, Chen G, Qi YJ (2014) Camera trap survey of wildlife in Buergen Beaver National Nature Reserve, Xinjiang. *Biodiversity Science*, 22, 800–803. (in Chinese) [刘元超, 黄效文, 初红军, 刘冬志, 张帆, 陈刚, 戚英杰 (2014) 新疆布尔根河狸国家级自然保护区野生动物的红外相机监测. 生物多样性, 22, 800–803.]
- Liu YJ, Li XY, Liang XC, Liu YL, Cheng C, Li J, Tang PP, Qi HY, Bian XX, He B, Xing R, Li S, Shi XG, Yang CM, Xue YD, Lian XM, Awangjiumei, Xierannima, Song DZ, Xiao LY, Lü Z (2019) Where and How many? The status of snow leopard (*Panthera uncia*) density surveys and knowledge gaps in China. *Biodiversity Science*, 27, 919–931. (in Chinese with English abstract) [刘沿江, 李雪阳, 梁旭昶, 刘炎林, 程琛, 李娟, 汤飘飘, 齐惠元, 卞晓星, 何兵, 邢睿, 李晟, 施小刚, 杨创明, 薛亚东, 连新明, 阿旺久美, 谢然尼玛, 宋大昭, 肖凌云, 吕植 (2019) “在哪里”和“有多少”? 中国雪豹调查与空缺. 生物多样性, 27, 919–931.]
- Ma KP (2015) Species catalogue of China: A remarkable achievement in the field of biodiversity science in China. *Biodiversity Science*, 23, 137–138. (in Chinese) [马克平 (2015) 中国生物多样性编目取得重要进展. 生物多样性, 23, 137–138.]
- Ma M (1997) Animal fauna in Jintasi Glassland Nature Reserve in Altay Mountains. *Environmental Protection of Xinjiang*, 19(1), 58–61. (in Chinese) [马鸣 (1997) 阿尔泰山金塔斯草原自然保护区的动物类型. 新疆环境保护, 19(1), 58–61.]
- Ma M, Xu F, Cheng Y (2013) Snow Leopards in Xinjiang. Science Press, Beijing. (in Chinese) [马鸣, 徐峰, 程芸 (2013) 新疆雪豹. 科学出版社, 北京.]

- Ma Y, Wang FG, Jin SK, Li SH (1987) Classification and Distribution of Rodent in Northern Xinjiang. Science Press, Beijing. (in Chinese) [马勇, 王逢桂, 金善科, 李思华 (1987) 新疆北部地区啮齿动物的分类和分布. 科学出版社, 北京.]
- Mahmut H, Li XP, Abuduwaili, Huang RX, Jin G, Paizidula (1995) A preliminary inspection on the elk (*Alces alces*) in Xinjiang Altai Mountain. Acta Theriologica Sinica, 15, 121, 159. (in Chinese) [马合木提·哈力克, 李新平, 阿布都外力, 黄人鑫, 金刚, 排孜都拉 (1995) 新疆阿尔泰山驼鹿的初步考察. 兽类学报, 15, 121, 159.]
- Ministry of Environmental Protection (2011) China National Biodiversity Conservation Strategy and Action Plan (2011–2030). China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese) [环境保护部 (2011) 中国生物多样性保护战略与行动计划(2011–2030年). 中国环境科学出版社, 北京.]
- Nyhus PJ, McCarthy T, Mallon D (2016) Snow Leopards: Biodiversity of the World: Conservation from Genes to Landscapes. Academic Press, London.
- 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.
- O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2011) Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses. Springer, New York.
- Olson DM, Dinerstein E (2002) The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. Annals of the Missouri Botanical Garden, 89, 199–224.
- Primack RB (translated by Ma KP, Jiang ZG) (2014) Essentials of Conservation Biology. Science Press, Beijing. (in Chinese) [马克平, 蒋志刚 (译) (2014) 保护生物学. 科学出版社, 北京.]
- Sollmann R, Mohamed A, Samejima H, Wilting A (2013) Risky business or simple solution—Relative abundance indices from camera-trapping. Biological Conservation, 159, 405–412.
- Xiang LG, Huang RX (1986) Study on birds in the Altai of Xinjiang. I. Distribution of birds. Journal of Xinjiang University, 3(3), 90–107. (in Chinese with English abstract) [向礼陔, 黄人鑫 (1986) 新疆阿尔泰山鸟类的研究(I) —— 鸟类的分布. 新疆大学学报, 3(3), 90–107.]
- Xiao ZS (2019) Application of camera trapping to species inventory and assessment of wild animals across China's protected areas. Biodiversity Science, 27, 235–236. (in Chinese) [肖治术 (2019) 红外相机技术在我国自然保护区野生动物清查与评估中的应用. 生物多样性, 27, 235–236.]
- Xiao ZS, Li XH, Wang XZ, Zhou QH, Quan RC, Shen XL, Li S (2014) Developing camera-trapping protocols for wildlife monitoring in Chinese forests. Biodiversity Science, 22, 704–711. (in Chinese with English abstract) [肖治术, 李欣海, 王学志, 周岐海, 权锐昌, 申小莉, 李晟 (2014) 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. 生物多样性, 22, 704–711.]
- Zhang RZ (1999) Zoogeography of China. Science Press, Beijing. (in Chinese) [张荣祖 (1999) 中国动物地理. 科学出版社, 北京.]
- 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 YH, Wang L, Gu JH, Rouzibali M, Liang GD (1994) New record of *Alces alces alces* in China. Acta Theriologica Sinica, 14, 208, 239. (in Chinese with English abstract) [周永恒, 王伦, 谷景和, 肉孜巴里·马合木提, 梁果栋 (1994) 新疆发现欧洲驼鹿——我国兽类一亚种新记录. 兽类学报, 14, 208, 239.]
- Zhu SY, Duan F, Li S (2017) Promoting diversity inventory and monitoring of birds through the camera-trapping network in China: Status, challenges and future outlook. Biodiversity Science, 25, 1114–1122. (in Chinese with English abstract) [朱淑怡, 段菲, 李晟 (2017) 基于红外相机网络促进我国鸟类多样性监测: 现状、问题与前景. 生物多样性, 25, 1114–1122.]

(责任编辑: 蒋学龙 责任编辑: 周玉荣)

附录 Supplementary Material

附录1 喀纳斯河谷红外相机调查兽类和鸟类物种名录

Appendix 1 List of mammal and bird species recorded by a camera-trapping survey in the Kanas River Valley
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020184-1.pdf>

附录2 喀纳斯河谷红外相机位点信息

Appendix 2 The locations of sampled camera traps in the Kanas River Valley
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020184-2.pdf>

附录3 喀纳斯河谷红外相机调查所得部分兽类和鸟类物种照片

Appendix 3 Photograph examples of mammal and bird species taken by camera traps in the Kanas River Valley
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2020184-3.pdf>