•生物编目•

拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线野生鸟兽的红外相机调查

肖宏强¹, 张永兵², 韦伟¹, 洪明生¹, 唐俊峰¹, 周宏^{1*}, 张泽钧^{1*}

1. 西华师范大学生命科学学院, 四川南充 637009; 2. 四川省唐家河国家级自然保护区管理处, 四川广元 628100

摘要: 野生动物调查是开展生物多样性研究和保护的基础。本研究以国家重大工程建设为契机, 于2019年3月至2020年3月, 利用红外相机技术对拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线的兽类和鸟类进行了初步调查。共布设相机85台, 获得56台相机数据, 累计获得20,440个相机工作日, 共获得独立有效照片3,656张, 其中野生兽类2,571张, 野生鸟类565张。记录到野生兽类与鸟类共57种, 其中兽类26种, 隶属5目12科, 鸟类31种, 隶属4目14科。国家I级重点保护野生动物有5种, 即金钱豹(*Panthera pardus*)、马麝(*Moschus chrysogaster*)、荒漠猫(*Felis bieti*)、黑颈鹤(*Grus nigricollis*)和黄喉雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*), 国家II级重点保护野生动物有棕熊(*Ursus arctos*)、猕猴(*Macaca mulatta*)等18种。被IUCN评估为濒危(EN)的物种2种, 即马麝和矮岩羊(*Pseudois schaeferi*); 易危(VU)和近危(NT)的物种分别为7种和5种。被CITES纳入附录I、附录II和附录III的物种分别为7种、8种和4种。兽类中相对多度指数(relative abundance index, RAI)最高的为毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*, RAI = 8.366), 鸟类中相对多度指数最高的为血雉(*Ithaginis cruentus*, RAI = 0.861)。本研究利用红外相机对拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)非保护区区域进行兽类和鸟类的调查研究, 确定了物种丰富度较高的4处区域, 为后续铁路建设中的保护措施提供了科学依据。

关键词: 川藏铁路; 甘孜州; 兽类; 鸟类; 红外相机调查

肖宏强, 张永兵, 韦伟, 洪明生, 唐俊峰, 周宏, 张泽钧 (2021) 拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线野生鸟兽的红外相机调查. 生物多样性, 29, 1396–1402. doi: 10.17520/biods.2021133.

Xiao HQ, Zhang YB, Wei W, Hong MS, Tang JF, Zhou H, Zhang ZJ (2021) Preliminary report of an infrared camera survey on wild birds and mammals along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding-Batang section). Biodiversity Science, 29, 1396–1402. doi: 10.17520/biods.2021133.

Preliminary report of an infrared camera survey on wild birds and mammals along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding-Batang section)

Hongqiang Xiao¹, Yongbing Zhang², Wei Wei¹, Mingsheng Hong¹, Junfeng Tang¹, Hong Zhou^{1*}, Zejun Zhang^{1*}

1 College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009

2 Tangjiahe National Nature Reserve Management Office, Guangyuan, Sichuan 628100

ABSTRACT

Aim: We aim to investigate the biological inventory of large and medium-sized mammals and ground-dwelling birds along the Sichuan-Tibet Railway (Kangding-Batang section) using camera-trapping techniques.

Methods: Eighty-five camera-traps were placed between 3,100 m and 4,400 m a.s.l. from March 2019 to March 2020. The relative abundance index (RAI) was used to evaluate the population sizes of different species.

Results: During 20,440 camera-days, 3,656 independent photographs were recorded including 2,571 of mammals and 565 of birds. Twenty-six wild mammal species (5 orders and 12 families) and 31 bird species (4 orders and 14 families) were identified. Five of these species are listed as first-class National Protected Wildlife (*Panthera pardus*, *Moschus chrysogaster*, *Felis bieti*, *Grus nigricollis* and *Tetraophasis szechenyii*), and 18 species are listed as second-class National Protected Wildlife (*Ursus arctos*, *Macaca mulatta*, *Capricornis milneedwardsii*, and others). Two species (*Moschus chrysogaster* and *Pseudois schaeferi*) were listed as Endangered, Seven as Vulnerable and five as Near Threatened according to the IUCN Red List. Seven species were listed as Appendix I, eight as Appendix II and four as

收稿日期: 2021-04-12; 接受日期: 2021-07-14

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察(2019QZKK05010502)和四川省重点研发项目: 川藏铁路重大工程风险识别与对策研究(2019YFG0460)

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: zhouhong1026@163.com; zhangzj@ioz.ac.cn

Appendix III according to the CITES. The most detected species of mammal was the tufted deer (*Elaphodus cephalophus*, RAI = 8.366), and the most detected species of bird was the blood pheasant (*Ithaginis cruentus*, RAI = 0.861).

Conclusions: These findings indicate the Sichuan-Tibet Railway (Kangding-Batang section) has a high species diversity that include rare and endangered species. This study provides an important foundation for further biodiversity investigations.

Key words: Sichuan-Tibet Railway; Ganzi Prefecture; mammals; birds; camera-trapping survey

20世纪90年代中期以来, 红外相机技术逐渐成为野生动物资源监测与生态学研究的重要手段(李晟等, 2014; 肖治术等, 2014), 并得到广泛应用。红外相机技术具有非损伤性、隐蔽性强、24小时监测、周期长、成本低以及抗环境干扰能力强等优点(李涛等, 2020), 对调查大中型哺乳动物, 尤其是行踪诡秘、夜行性、数量稀少和外形易于识别的物种更加有效(李佳琦等, 2018)。

川藏铁路起于四川成都, 止于西藏拉萨, 全长1,932.9 km (黄艳磊等, 2015)。在四川境内可分为成雅段和雅昌段, 其中成雅段建成并已通车, 雅昌段在四川境内涉及到的主要区域为四川省甘孜藏族自治州(以下简称甘孜州)。一直以来, 针对甘孜州地区生物多样性调查的研究较少, 且多集中于自然保护区。虽然近年来对境内国家级自然保护区进行过生物本底资源调查(胡茜茜等, 2019; 刘炎林等, 2020)、活动节律(赵栋等, 2019)以及时间生态位(陈超等, 2021)研究, 获得了重要的物种信息数据, 但不足以全面评估该区域野生动物资源分布现状。

基于国家重大工程川藏铁路建设需求, 我们于2019年3月至2020年3月, 在该地区川藏铁路涉及到的施工区域布设红外相机, 以期摸清该段铁路沿线野生动物分布情况, 补充甘孜州地区生物本底资料,

为进一步研究该地区的生物多样性以及环境生态评估提供数据支撑。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

本文研究区域为甘孜州的康定市、雅江县、理塘县、白玉县和巴塘县等地, 属于青藏高原的东南和横断山脉的北段, 地形地貌复杂多样, 高山峡谷纵横, 海拔落差大, 最低海拔1,000 m, 最高海拔7,556 m, 平均海拔3,500 m以上。植被的垂直地带性明显, 植被类型丰富, 从阔叶林到针叶林再到高山灌丛、草甸以及荒漠流石滩, 形成一个完整的垂直带谱。该区域属青藏高原大陆性气候, 气温低、冬季长、日照足, 年平均气温8℃以下, 年降水量400–600 mm, 雨季多在6–9月, 干湿季明显, 日照长, 蒸发量大(彭基泰和周华明, 2000)。林草覆盖率达83.1%, 为野生动物提供了良好的栖息繁衍环境(彭基泰等, 2006)。

1.2 红外相机安放

沿拟建川藏铁路的线路走向, 在其中的甘孜州区域铁路工程涉及到的施工区范围2 km内(包括主体工程和辅助工程)进行选点布设红外相机(图1), 在非保护区地带选择有动物活动痕迹(卧迹、足迹、

图1 拟建川藏铁路(康定至巴塘段)红外相机布设点的位置

Fig. 1 The location of the infrared camera deployment point of the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding-Batang section)

粪便等)或者离水源较近的区域设置红外相机点位。相机点位布设在3类12处区域: (1)铁路隧道类型区域: 折多山隧道出口、莫西隧道、高尔寺隧道、雅江八角楼乡、迎金山、巴塘德达乡、松多乡、列衣乡、白玉沙马乡; (2)露天渣场区域: 康定毛家沟、新都桥; (3)桥梁区域: 理塘禾尼乡, 共布设红外相机85台。相邻红外相机直线距离在200–500 m之间, 涉及区域的植被类型为落叶阔叶林、寒温性针叶林和高山灌丛、草甸, 海拔跨度为3,100–4,400 m。相机布设在兽径旁的较高大乔木上, 距地面0.5–1 m, 红外相机安放完成后清除掉相机前方的杂草。记录各相机位点的经纬度坐标、海拔、坡度、坡向、安放时间、植被类型、安放人员以及相机编号等信息(附录1)。红外相机型号为猎科Ltl-6511M, 设置为拍照 + 摄像模式, 先连拍3张, 然后摄像10 s, 灵敏度设置为“低”, 编号为地名 + 数字(如CZ01代表川藏铁路1号相机), 每隔4个月更换1次电池和SD卡。

1.3 数据处理与分析

将拍摄到的照片和视频根据内容归为7类: 鸟类、兽类、家畜、工作人员、其他人员、无效照片和其他。统计鸟类和兽类的独立有效照片数并进行物种的识别与鉴定。鸟类的鉴定参考《常见鸟类野外识别手册》(郭冬生, 2007)、《中国鸟类野外手册》(约翰·马敬能等, 2000)和《中国鸟类分类与分布名录(第三版)》(郑光美, 2017), 兽类的鉴定主要参考《中国哺乳动物多样性(第2版)》(蒋志刚等, 2017), 国家重点保护物种参照2021年2月发布的《国家重点保护野生动物名录》并汇总整理鸟类和兽类的名录, 包括保护等级、特有种、IUCN或《中国脊椎动物红色名录》物种、有效照片数以及相对多度指数等信息。所有的数据分析均在SPSS 22.0中进行。

将1台相机在野外连续工作24 h记为1个有效相机工作日, 所有相机拍摄到的第1张野外工作照片(工作照或空白照)和最后一张野外工作照片的日期间隔累计加起来的工作日记为总相机工作日(李晟等, 2014)。为保证数据的有效性, 将同一台相机在30 min内连续拍摄到的同一物种的照片保留数量最多的1张, 记为1张独立有效照片(independent photograph)(胡茜茜等, 2018; 穆君等, 2019)。根据有效照片数量, 分别计算鸟类和兽类的相对多度指数(relative abundance index, RAI)(胡茜茜等, 2018),

计算公式为: $RAI = \text{物种独立有效照片数} / \text{总有效相机工作日}$ 。

2 调查结果

研究区域共安放红外相机85台, 获得56台相机数据, 累计获得20,440个相机工作日, 共获得独立有效照片3,656张(附录2), 其中野生兽类2,571张, 野生鸟类565张, 家畜324张, 工作人员112张, 其他人类干扰照片84张, 56处位点中有19处监测到家畜活动频繁。

2.1 兽类组成

共调查到野生兽类5目12科26种(附录3), 其中食肉目最多(13种), 占调查到兽类物种数的50.00%; 其次是偶蹄目(8种), 占30.77%; 最少的兔形目只有1种, 占3.85%。由于相机晚上拍摄的照片模糊且啮齿目动物个体太小, 没有鉴定到种的鼠科动物独立有效照片129张。

记录到的野生兽类中, 有国家I级重点保护野生动物3种: 金钱豹(*Panthera pardus*)、马麝(*Moschus chrysogaster*)和荒漠猫(*Felis bieti*), 占调查到兽类物种数的11.54%; 国家II级重点保护野生动物13种, 即藏酋猴(*Macaca thibetana*)、猕猴(*M. mulatta*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、猯(*Lynx lynx*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、棕熊(*Ursus arctos*)、亚洲黑熊(*U. thibetanus*)、狼(*Canis lupus*)、赤狐(*Vulpes vulpus*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)、水鹿(*Cervus unicolor*)、中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)和中华斑羚(*Naemorhedus caudatus*), 占调查到兽类种数的50.00%; 其中, 中国特有种4种, 分别为藏酋猴、荒漠猫、中华斑羚和岩松鼠(*Sciurotamias davidianus*), 占调查到兽类种数的15.38%。在IUCN物种红色名录(2021)(<https://www.iucnredlist.org/>)中, 被列为濒危(EN)的有2种: 马麝和矮岩羊(*Pseudois schaeferi*); 被列为易危(VU)的有7种: 猪獾(*Arctonyx collaris*)、荒漠猫、金钱豹、亚洲黑熊、中华鬣羚、中华斑羚和水鹿; 被列为近危(NT)的有3种: 藏酋猴、香鼬(*Mustela altaica*)和毛冠鹿。被CITES纳入附录I的有5种: 金钱豹、棕熊、亚洲黑熊、中华斑羚和中华鬣羚; 纳入附录II的有7种: 藏酋猴、猕猴、荒漠猫、猯、豹猫、狼和马麝; 纳入附录III的有4种: 黄喉貂、香鼬、花面狸

(*Paguma larvata*) 和喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*); 相对多度指数较高的前五个物种分别是: 毛冠鹿(RAI = 8.366)、灰尾兔(*Lepus oiostolus*, RAI = 0.636)、岩松鼠(RAI = 0.631)、中华鬣羚(RAI = 0.607)和野猪(*Sus scrofa*, RAI = 0.504)。

2.2 鸟类组成

共调查到鸟类4目14科31种(附录3), 其中雀形目最多(24种), 占所调查鸟类物种数的77.42%; 其次是鸡形目(5种), 占16.13%; 最少的为犀鸟目和鹤形目, 均只有1种, 分别占3.23%。

记录到的野生鸟类中, 有国家I级重点保护野生动物2种: 黑颈鹤(*Grus nigricollis*)和黄喉雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*), 占调查到鸟类种数的6.45%; 国家II级重点保护野生动物5种: 白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、白马鸡(*Crossoptilon crossoptilon*)、血雉(*Ithaginis cruentus*)、橙翅噪鹛(*Trochalopteron elliotii*)和大噪鹛(*Garrulax maximus*), 占16.13%; 中国特有种8种: 白腹锦鸡、白马鸡、血雉、黄喉雉鹑、宝兴歌鸲(*Turdus mupinensis*)、橙翅噪鹛、大噪鹛和曙红朱雀(*Carpodacus waltoni*), 占25.81%。在IUCN物种红色名录中, 被列为近危(NT)的有2种: 黑颈鹤和白马鸡。被CITES纳入附录I的有白马鸡和黑颈鹤2种; 纳入附录II的有血雉1种。相对多度指数较高的前五个物种分别是: 血雉(RAI = 0.861)、白马鸡(RAI = 0.426)、大噪鹛(RAI = 0.294)、高原山鹑(*Perdix hodgsoniae*, RAI = 0.284)和褐岩鹛(*Prunella fulvescens*, RAI = 0.225)。

2.3 物种丰富区域

通过对红外相机数据的整理分析, 发现拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线珍稀野生动物物种丰富度较高的4处区域, 分别为毛家沟渣场区域、折多山隧道出口区域、迎金山隧道区域和莫西隧道区域(图2), 需要重点关注。4处区域合计拍摄野生动物41种(附录3), 其中, 野生兽类23种, 占调查到兽类总数的88.46%; 野生鸟类18种, 占调查到鸟类总数的58.06%; 国家级保护动物20种, 占调查到国家级保护动物的86.96%。

3 讨论

甘孜州地区有鸟类436种, 哺乳动物125种(彭

图2 拟建川藏铁路(康定至巴塘段)红外相机各布设区域拍摄物种数

Fig. 2 The number of species captured by infrared cameras in each deployment area of the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding-Batang section)

基泰等, 2005^①, 2006), 本研究经过一整年的红外相机监测, 获得野生鸟类31种, 兽类26种, 分别占该地区鸟、兽种数的7.11%和20.80%。与彭基泰等(2006)的研究结果相比, 红外相机所获得物种数较少, 原因在于: (1)红外相机调查技术适合于拍摄大中型兽类和地栖鸟类, 而对非地栖鸟类以及小型兽类并不是一种有效的调查手段(李晟等, 2014; 张履冰等, 2014), 如在本研究中, 由于体型太小而鉴定不到具体种的啮齿目鼠科以及翼手类物种的独立有效照片达129张。在生物多样性调查中, 多种调查方法并用有助于调查结果的完整性和准确性, 如肖宏强等(2021)采用红外相机法、样线法和样点法对

① 彭基泰, 周华明, 刘伟, 刘洪, 樊高强, 呷它, 曾国伟, 蒲永洲, 袁登华 (2005) 青藏高原东南横断山脉甘孜地区鸟类调查、区系及地理分布型研究报告。见: 第八届中国动物学会鸟类学分会全国代表大会暨第六届海峡两岸鸟类学研讨会论文集, 46-61页。海口。

甘孜州新都桥地区春夏季鸟类的多样性进行调查,基本摸清了该地区的鸟类资源现状。因此,在后期的调查过程中,补充样线法、样点法以及诱捕法等传统调查方法至关重要。(2)红外相机布设点位为铁路沿线涉及到的施工范围,海拔跨度为3,100–4,400 m之间,相机数量相对较少,相机覆盖范围相对于整个甘孜州的面积较小,可能是导致调查物种数较少的重要原因。(3)部分历史记录的物种可能由于多年来气候变化以及受人类活动的影响,其种群数量已经极为稀少或区域性灭绝,如豺(*Cuon alpinus*)在近年来该区域所在的国家级自然保护区(亚丁、贡嘎山)调查中也未被记录到(胡茜茜等, 2019; 赵栋等, 2019)。

红外相机拍摄到了23种国家级保护野生动物的影像资料,获得了物种分布的直接证据,补充了当地的物种本底资料,证实了金钱豹、马麝、荒漠猫、黄喉雉鹑、黑颈鹤等5种国家I级保护野生动物和猕猴、黄喉貂、猓獾等18种国家II级保护野生动物在该区域的分布。该地区生物多样性较丰富一方面与甘孜州境内较完善的生态系统密切相关,另一方面可能也与当地藏民笃信藏传佛教,与其“不杀生”的教义有关(彭基泰, 2004)。李晟等(2020)在甘孜新龙监测到7种猫科动物,本次研究红外相机最高监测海拔为4,400 m,调查到其中的4种(金钱豹、荒漠猫、豹猫、猓獾),其他如兔狲、雪豹海拔分布较高(4,500 m以上),本次未调查到。在今后的监测过程中,为了获得铁路沿线更多物种分布的信息,需要增加红外相机布设区域,扩大监测面积,延长监测时间。

本研究在保护区范围外拍摄到5种国家I级保护动物,说明现有的保护范围是不充分的,对于生物多样性的研究主要集中在保护区而忽视了非保护区。随着国家近年来退耕还林、天然林保护等工程的实施以及对于环境保护的重视,生态环境得到改善,野生动物适宜栖息地总体上呈现好转趋势,野生动物的活动范围不仅仅局限在保护区范围中,因此,在未来也应重视非保护区范围的生物多样性调查。

本次红外相机调查到食肉目13种,虽然拍摄到了金钱豹、亚洲黑熊、棕熊、猓獾、狼,但相对多度指数较低,这可能与金钱豹、棕熊等大型食肉动

物的野外种群数量较少有关。建议在扩大该地区野生动物监测范围的同时,加大对金钱豹、棕熊等大型食肉动物的监测,以更好地掌握其种群动态。

通过对收回的红外相机照片整理发现,该区域人为活动干扰较强烈、放牧较多。本次调查中有11.16%的独立有效照片是家畜(牦牛、羊)和其他人员(挖虫草、松茸等),33.93%的红外相机监测点有频繁的家畜活动,但在干扰较为强烈的监测点上,也记录到了较为丰富的野生动物,说明家畜与野生动物存在栖息地重合现象。家畜在该区域可能在食物资源以及空间利用方面同生态位相近的野生有蹄类动物产生竞争,并增加传染性疾病预防的风险(陈星等, 2020),影响野生动物的种群生存现状。

及时掌握区域内野生动物资源现状,并制定科学有效的保护管理措施对于物种的保护与研究至关重要(马克平, 2015)。川藏铁路工程涉及珍稀野生动物资源较丰富的4处区域,建议后期对这4处区域持续监测,扩大监测面积,延长监测时间,以期获得更多物种信息。后期铁路施工可能会对野生动物的觅食等活动造成一定程度的影响,建议渣场设置能尽量远离毛家沟,在其他隧道进出口设立防护栏、隔离网等保护措施;避免在夜晚以及野生动物繁殖期间施工,为动物营造安全的环境条件;借鉴青藏铁路建立野生动物通道措施(胡忠军等, 2005),在野生动物种类丰富的区域设置专门的野生动物通道;大面积的低道路密度区域是大型脊椎动物的适宜生境(李月辉等, 2003),在物种丰富度较高区域内合理规划施工道路,降低其密度;后期对野生动物建立完善的跟踪措施。

本次研究利用红外相机对拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线兽类和鸟类的分布情况有了初步掌握,确定了沿线生物多样性较为丰富的区域,为后续该段的铁路工程建设中野生动物保护措施提供了参考依据,对于该段铁路沿线的生物多样性保护具有积极意义,也为进一步研究甘孜州地区的生物多样性奠定了基础。

致谢: 阮涛、邱兰、高玉林、汪挥胜、田春坡、何欣曼等同学参与了红外相机的安装、更换SD卡和电池的工作,在此一并感谢。

ORCID

肖宏强 <https://orcid.org/0000-0001-6116-1797>周宏 <https://orcid.org/0000-0003-0221-1859>

参考文献

- Chen C, Hou R, Wu W, Zhang ZH, Gu XD, Qi DW (2021) Study on the temporal niche characteristics and overlaps of carnivores and their preys using infrared cameras in Xinlong County. *Sichuan Journal of Zoology*, 40, 15–22. (in Chinese with English abstract) [陈超, 侯蓉, 吴蔚, 张志和, 古晓东, 齐敦武 (2021) 利用红外相机研究新龙县食肉目兽类及其猎物的时间生态位特征与重叠. *四川动物*, 40, 15–22.]
- Chen X, Hu XX, Liu MX, Li JQ, Peng YH, Lü X, Wang XF, Li S, Guan TP (2020) Preliminary report of camera trapping survey for mammals and birds in Miyaluo Provincial Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Theriologica Sinica*, 40, 634–645. (in Chinese with English abstract) [陈星, 胡茜茜, 刘明星, 李佳琦, 彭永红, 吕旭, 王晓芳, 李晟, 官天培 (2020) 四川米亚罗省级自然保护区鸟兽多样性红外相机监测初报. *兽类学报*, 40, 634–645.]
- Guo DS (2007) *A Photographic Guide to Birds of China*. Chongqing University Press, Chongqing. (in Chinese) [郭冬生 (2007) 常见鸟类野外识别手册. 重庆大学出版社, 重庆.]
- Hu XX, Li JQ, Luo X, Zewengtaxu, Chen X, Zhang LS, Guan TP (2019) Preliminary survey of mammal and bird biodiversity using camera traps in the Yading National Nature Reserve of Sichuan Province, China. *Acta Theriologica Sinica*, 39, 333–343. (in Chinese with English abstract) [胡茜茜, 李佳琦, 罗旭, 泽翁他许, 陈星, 张卢水, 官天培 (2019) 基于红外相机的四川亚丁国家级自然保护区鸟兽多样性初报. *兽类学报*, 39, 333–343.]
- Hu XX, Zheng WC, Li JQ, Li S, Yang H, Chen X, Guan TP (2018) Preliminary survey on mammal and bird diversity at Siguniang Mountains National Nature Reserve, Sichuan, China. *Biodiversity Science*, 26, 1325–1331. (in Chinese with English abstract) [胡茜茜, 郑维超, 李佳琦, 李晟, 杨晗, 陈星, 官天培 (2018) 四姑娘山国家级自然保护区鸟兽多样性初步调查. *生物多样性*, 26, 1325–1331.]
- Hu ZJ, Yu CQ, Xu HF, Wang Y (2005) Ecological effects of roads on terrestrial animals. *Chinese Journal of Ecology*, 24, 433–437. (in Chinese with English abstract) [胡忠军, 于长青, 徐宏发, 王涓 (2005) 道路对陆栖野生动物的生态学影响. *生态学杂志*, 24, 433–437.]
- Huang YL, Deng JQ, Zhang HW (2015) Schematic study on limiting gradient of Chengdu-Lhasa Railway. *High Speed Railway Technology*, 6(3), 97–101. (in Chinese) [黄艳磊, 邓军桥, 张红伟 (2015) 川藏铁路限制坡度方案研究. *高速铁路技术*, 6(3), 97–101.]
- 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.]
- Li JQ, Xu HG, Wan YQ, Sun JX, Li S, Cai L (2018) Progress in construction of China Mammal Diversity Observation Network (China BON-Mammals). *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34, 12–19. (in Chinese with English abstract) [李佳琦, 徐海根, 万雅琼, 孙佳欣, 李晟, 蔡蕾 (2018) 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*, 34, 12–19.]
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Shen XL, Bu HL, Guan TP, Wang F, Gu XD, Zhang XF, Liao HH (2020) Construction progress of the Camera-trapping Network for the Mountains of Southwest China. *Biodiversity Science*, 28, 1049–1058. (in Chinese with English abstract) [李晟, McShea WJ, 王大军, 申小莉, 卜红亮, 官天培, 王放, 古晓东, 张晓峰, 廖灏泓 (2020) 西南山地红外相机监测网络建设进展. *生物多样性*, 28, 1049–1058.]
- 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 T, Meng DH, Teng LW, Si YH, Gao H, Liu ZS (2020) The diversity of birds and mammals in Ningxia Luoshan National Nature Reserve, China based on infrared camera. *Chinese Journal of Wildlife*, 41, 757–766. (in Chinese with English abstract) [李涛, 孟德怀, 滕丽微, 司雨蕙, 高惠, 刘振生 (2020) 基于红外相机对宁夏罗山国家级自然保护区鸟兽多样性初报. *野生动物学报*, 41, 757–766.]
- Li YH, Hu YM, Li XZ, Xiao DN (2003) A review on road ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14, 447–452. (in Chinese with English abstract) [李月辉, 胡远满, 李秀珍, 肖笃宁 (2003) 道路生态研究进展. *应用生态学报*, 14, 447–452.]
- Liu YL, Song DZ, Liu BB, Xia F, Chen YL, Wang YQ, Huang QW (2020) Overview of the Camera-trapping Platform for Felid Species in China: Data integration by a conservation NGO. *Biodiversity Science*, 28, 1067–1074. (in Chinese with English abstract) [刘炎林, 宋大昭, 刘蓓蓓, 夏凡, 陈月龙, 王一晴, 黄巧雯 (2020) 中国猫科动物红外相机监测平台介绍: 民间环保机构的数据整合. *生物多样性*, 28, 1067–1074.]
- 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.]
- MacKinnon J, Phillipps K, He FQ (2000) *A Field Guide to the Birds of China*. Hunan Education Publishing House,

Changsha. (in Chinese) [约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯, 何芬奇 (2000) 中国鸟类野外手册. 湖南教育出版社, 长沙.]

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.]

Peng JT, Zhou HM (2000) Investigation on Bird of Prey in Garze Prefecture, Sichuan Province. *Sichuan Journal of Zoology*, 19, 62–64. (in Chinese with English abstract) [彭基泰, 周华明 (2000) 四川甘孜地区的猛禽调查. 四川动物, 19, 62–64.]

Peng JT, Zhou HM, Liu W (2006) Investigation on mammal and fauna in Ganzi Prefecture in Hengduan Mountains, southeast of Qinghai-Tibet Plateau. *Sichuan Journal of Zoology*, 25, 747–753. (in Chinese with English abstract) [彭基泰, 周华明, 刘伟 (2006) 青藏高原东南横断山脉甘孜地区哺乳动物调查及区系研究报告. 四川动物, 25, 747–753.]

Xiao HQ, Yang Y, Han H, Zhang ZJ, Zhou H (2021) Investigation and research on bird diversity in Xindu Bridge section of Sichuan-Tibet railway. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 39, 41–48. (in Chinese with English abstract) [肖宏强, 杨毅, 韩茜, 张泽

钧, 周宏 (2021) 川藏铁路新都桥段春夏季鸟类多样性调查与研究. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 39, 41–48.]

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.]

Zhang LB, Cui SP, Huang YJ, Chen DQ, Qiao HJ, Li CW, Jiang ZG (2014) Infrared camera traps in wildlife research and monitoring in China: Issues and insights. *Biodiversity Science*, 22, 696–703. (in Chinese with English abstract) [张履冰, 崔绍朋, 黄元骏, 陈代强, 乔慧捷, 李春旺, 蒋志刚 (2014) 红外相机技术在我国野生动物监测中的应用: 问题与限制. 生物多样性, 22, 696–703.]

Zhao D, Yang CM, He MX, Chen LX, He XC, Ran JH (2019) Habitat suitability assessment and daily activity patterns of *Otocolobus manul* in the Gongga Mountain National Nature Reserve. *Sichuan Journal of Zoology*, 38, 320–327. (in Chinese with English abstract) [赵栋, 杨创明, 和梅香, 陈俪心, 何兴成, 冉江洪 (2019) 贡嘎山国家级自然保护区兔狲的活动节律与适宜栖息地预测. 四川动物, 38, 320–327.]

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.]

(责任编辑: 李彬彬 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)红外相机位点信息

Appendix 1 Infrared camera location information along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding to Batang section)
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2021133-1.pdf>

附录2 拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)红外相机拍摄到的部分重要动物照片

Appendix 2 Some important animal photos taken by infrared cameras along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding to Batang section)
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2021133-2.pdf>

附录3 拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)红外相机兽类和鸟类监测结果

Appendix 3 Mammals and birds monitoring results of infrared cameras along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding to Batang section)
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2021133-3.pdf>

附录 1 拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)红外相机位点信息
Appendix 1 Infrared camera location information along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding to Batang section)

相机编号 Camera ID	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)	生境 Habitat
ZD01	101.87°	29.99°	3,323	寒温性针叶林
ZD02	101.87°	29.99°	3,342	寒温性针叶林
ZD04	101.85°	29.97°	3,422	寒温性针叶林
ZD05	101.84°	29.97°	3,458	寒温性针叶林
ZD07	101.87°	29.98°	3,279	寒温性针叶林
ZD08	101.87°	29.98°	3,347	寒温性针叶林
ZD09	101.87°	29.98°	3,338	寒温性针叶林
ZD10	101.87°	29.98°	3,298	寒温性针叶林
ZD14	101.85°	30.01°	3,681	寒温性针叶林
ZD25	101.85°	30.01°	3,601	寒温性针叶林
ZD27	101.85°	30.01°	3,576	寒温性针叶林
ZD26	101.85°	30.01°	3,612	寒温性针叶林
ZD23	101.85°	30.01°	3,656	寒温性针叶林
ZD28	101.85°	30.01°	3,690	寒温性针叶林
ZD15	101.73°	30.05°	3,923	寒温性针叶林
ZD16	101.73°	30.05°	3,938	寒温性针叶林
ZD19	101.73°	30.05°	3,965	寒温性针叶林
ZD20	101.73°	30.05°	3,956	寒温性针叶林
ZD17	101.72°	30.05°	3,858	寒温性针叶林
ZD18	101.72°	30.06°	3,917	寒温性针叶林
CZ30	101.44°	30.06°	3,586	寒温性针叶林
CZ32	101.44°	30.08°	3,573	寒温性针叶林
CZ33	101.43°	30.07°	3,647	寒温性针叶林
CZ34	101.43°	30.07°	3,619	寒温性针叶林
CZ36	101.23°	30.08°	3,467	寒温性针叶林
CZ37	101.25°	30.09°	3,486	寒温性针叶林
CZ38	101.25°	30.09°	3,374	寒温性针叶林
CZ40	101.25°	30.09°	3,508	寒温性针叶林
CZ42	100.78°	30.06°	4,180	寒温性针叶林
CZ43	100.78°	30.05°	3,962	寒温性针叶林
CZ44	100.77°	30.05°	3,999	寒温性针叶林
CZ45	100.79°	30.05°	3,954	寒温性针叶林
CZ46	100.79°	30.05°	3,929	寒温性针叶林
CZ100	100.82°	30.11°	3,101	寒温性针叶林
CZ101	100.82°	30.11°	3,102	寒温性针叶林
CZ47	100.71°	30.10°	4,251	寒温性针叶林
CZ48	100.71°	30.10°	4,249	寒温性针叶林
CZ52	99.40°	30.29°	3,679	寒温性针叶林
CZ53	99.28°	30.37°	3,336	落叶阔叶林
CZ54	99.28°	30.37°	3,290	落叶阔叶林
CZ55	99.27°	30.37°	3,365	落叶阔叶林

肖宏强, 张永兵, 韦伟, 洪明生, 唐俊峰, 周宏, 张泽钧 (2021) 拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线野生鸟兽的红外相机调查. 生物多样性, 29, 1396–1402. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021133>

相机编号 Camera ID	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)	生境 Habitat
CZ56	99.27°	30.37°	3,404	落叶阔叶林
CZ57	99.27°	30.45°	3,617	落叶阔叶林
CZ59	99.27°	30.46°	3,697	落叶阔叶林
CZ60	99.27°	30.45°	3,583	落叶阔叶林
CZ61	99.27°	30.45°	3,622	落叶阔叶林
CZ62	99.27°	30.46°	3,692	落叶阔叶林
CZ63	99.24°	30.53°	3,924	落叶阔叶林
CZ65	99.24°	30.53°	3,945	落叶阔叶林
LT02	100.14°	29.94°	4,352	高山灌丛、草甸
LT03	100.14°	29.94°	4,334	高山灌丛、草甸
LT04	100.14°	29.94°	4,325	高山灌丛、草甸
LT05	99.74°	30.20°	4,250	高山灌丛、草甸
LT06	99.74°	30.20°	4,235	高山灌丛、草甸
LT07	100.74°	30.20°	4,246	高山灌丛、草甸
LT08	100.09°	30.04°	4,071	高山灌丛、草甸

附录 2 拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)红外相机拍摄到的部分重要动物照片

Appendix 2 Some important animal photos taken by infrared cameras along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding to Batang section)

金钱豹 *Panthera pardus*

棕熊 *Ursus arctos*

马麝 *Moschus chrysogaster*

中华鬣羚 *Capricornis milneedwardsii*

猞猁 *Lynx lynx*

猕猴 *Macaca mulatta*

肖宏强, 张永兵, 韦伟, 洪明生, 唐俊峰, 周宏, 张泽钧 (2021) 拟建川藏铁路(康定至巴塘段)沿线野生鸟兽的红外相机调查. 生物多样性, 29, 1396–1402. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2021133>

水鹿 *Cervus unicolor*

毛冠鹿 *Elaphodus cephalophus*

黄喉貂 *Martes flavigula*

豹猫 *Prionailurus bengalensis*

中华斑羚 *Naemorhedus griseus*

亚洲黑熊 *Ursus thibetanus*

赤狐 *Vulpes vulpus*

野猪 *Sus scrofa*

白马鸡 *Crossoptilon crossoptilon*

黑颈鹤 *Grus nigricollis*

白腹锦鸡 *Chrysolophus amherstiae*

血雉 *Ithaginis cruentus*

黄喉雉鹑 *Tetraophasis szechenyii*

大噪鹱 *Garrulax maximus*

橙翅噪鹱 *Garrulax elliotii*

高原山鹑 *Perdix hodgsoniae*

附录3 拟建川藏铁路沿线(康定至巴塘段)红外相机兽类和鸟类监测结果

Appendix 3 Mammals and birds monitoring results of infrared cameras along the proposed Sichuan-Tibet Railway (Kangding to Batang section)

物种名 Species	特有种 Endemic species	国家保 护级别 National protected category	CITES 附录 CITES Appendix	濒危等级 IUCN Red List	独立有效 照片数 No. of independent effective photographs	相对多度 指数 Relative abundance index (RAI)	相机位点 数 No. of camera sites
兽类							
一 灵长目 PRIMATES							
1) 猴科 Cercopithecidae							
1 藏酋猴 <i>Macaca thibetana</i>	Y	II	II	NT	12	0.059	4
2 猕猴 <i>Macaca mulatta</i>		II	II	LC	79	0.386	12
二 食肉目 CARNIVORA							
2) 鼬科 Mustelidae							
3 黄喉貂 <i>Martes flavigula</i>		II	III	LC	5	0.024	4
4 香鼬 <i>Mustela altaica</i>			III	NT	7	0.034	1
5 猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>				VU	7	0.034	4
6 亚洲狗獾 <i>Meles leucurus</i>				LC	5	0.024	3
3) 猫科 Felidae							
7 荒漠猫 <i>Felis bieti</i>	Y	I	II	VU	1	0.005	1
8 猞猁 <i>Lynx lynx</i>		II	II	LC	5	0.024	1
9 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>		II	II	LC	6	0.029	6
10 金钱豹 <i>Panthera pardus</i>		I	I	VU	3	0.015	3
4) 灵猫科 Viverridae							
11 花面狸 <i>Paguma larvata</i>			III	LC	3	0.015	2
5) 熊科 Ursidae							
12 棕熊 <i>Ursus arctos</i>		II	I	LC	4	0.02	2
13 亚洲黑熊 <i>Ursus thibetanus</i>		II	I	VU	5	0.024	4
6) 犬科 Canidae							
14 狼 <i>Canis lupus</i>		II	II	LC	2	0.01	1
15 赤狐 <i>Vulpes vulpus</i>		II		LC	34	0.166	15
三 偶蹄目 ARTIODACTYLA							
7) 鹿科 Cervidae							
16 毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>		II		NT	1710	8.366	56
17 水鹿 <i>Cervus unicolor</i>		II		VU	36	0.176	13
18 狍 <i>Capreolus pygargus</i>				LC	2	0.01	1
8) 牛科 Bovidae							
19 中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i>		II	I	VU	124	0.607	30
20 中华斑羚 <i>Naemorhedus caudatus</i>	Y	II	I	VU	6	0.029	5
21 矮岩羊 <i>Pseudois schaeferi</i>				EN	1	0.005	1
9) 麝科 Moschidae							
22 马麝 <i>Moschus chrysogaster</i>		I	II	EN	17	0.083	10
10) 猪科 Suidae							
23 野猪 <i>Sus scrofa</i>				LC	103	0.504	24
四 啮齿目 RODENTIA							

物种名 Species	特有种 Endemic species	国家保 护级别 National protected category	CITES 附录 CITES Appendix	濒危等级 IUCN Red List	独立有效 照片数 No. of independent effective photographs	相对多度 指数 Relative abundance index (RAI)	相机位点 数 No. of camera sites
11) 松鼠科 Sciuridae							
24 喜马拉雅旱獭 <i>Marmota himalayana</i>			III	LC	6	0.029	2
25 岩松鼠 <i>Sciurotamias davidianus</i>	Y			LC	129	0.631	23
五 兔形目 LAGOMORPHA							
12) 兔科 Leporidae							
26 灰尾兔 <i>Lepus oiostolus</i>				LC	130	0.636	10
鸟类							
一 鸡形目 GALLIFORMES							
1) 雉科 Podicipedidae							
1 白腹锦鸡 <i>Chrysolophus amherstiae</i>	Y	II		LC	20	0.098	5
2 白马鸡 <i>Crossoptilon crossoptilon</i>	Y	II	I	NT	87	0.426	21
3 高原山鹑 <i>Perdix hodgsoniae</i>				LC	58	0.284	6
4 血雉 <i>Ithaginis cruentus</i>	Y	II	II	LC	176	0.861	26
5 黄喉雉鹑 <i>Tetraophasis szechenyii</i>	Y	I		LC	5	0.024	3
二 犀鸟目 BUCEROTIFORMES							
2) 戴胜科 Upupidae							
6 戴胜 <i>Upupa epops</i>				LC	2	0.01	1
三 鹤形目 GRUIFORMES							
3) 鹤科 Gruidae							
7 黑颈鹤 <i>Grus nigricollis</i>		I	I	NT	1	0.005	1
四 雀形目 PASSERIFORMES							
4) 鹎科 Muscicapidae							
8 白喉红尾鹎 <i>Phoenicurus schisticeps</i>				LC	1	0.005	1
9 黑胸歌鸲 <i>Calliope pectoralis</i>				LC	4	0.02	1
10 蓝大翅鸲 <i>Grandala coelicolor</i>				LC	2	0.01	2
5) 鸲科 Turdidae							
11 宝兴歌鸲 <i>Turdus mupinensis</i>	Y			LC	3	0.015	2
12 虎斑地鸲 <i>Zoothera aurea</i>				LC	2	0.01	1
13 灰头鸲 <i>Turdus rubrocanus</i>				LC	6	0.029	3
14 乌鸲 <i>Turdus mandarinus</i>				LC	3	0.015	1
15 棕背黑头鸲 <i>Turdus kessleri</i>				LC	9	0.044	2
6) 噪鹛科 Leiothrichidae							
16 橙翅噪鹛 <i>Trochalopteron elliotii</i>	Y	II		LC	39	0.191	10
17 大噪鹛 <i>Garrulax maximus</i>	Y	II		LC	60	0.294	12
7) 燕雀科 Fringillidae							
18 白眉朱雀 <i>Carpodacus dubius</i>				LC	1	0.005	1
19 喜山白眉朱雀 <i>Carpodacus thura</i>				LC	7	0.034	1
20 曙红朱雀 <i>Carpodacus waltoni</i>	Y			LC	8	0.039	1
8) 山雀科 Paridae							
21 四川褐头山雀 <i>Poecile weigoldicus</i>				LC	1	0.005	1

物种名 Species	特有种 Endemic species	国家保 护级别 National protected category	CITES 附录 CITES Appendix	濒危等级 IUCN Red List	独立有效 照片数 No. of independent effective photographs	相对多度 指数 Relative abundance index (RAI)	相机位点 数 No. of camera sites
9) 鸦科 Corvidae							
22 大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>				LC	2	0.01	1
23 红嘴山鸦 <i>Pyrhacorax pyrrhacorax</i>				LC	1	0.005	1
24 喜鹊 <i>Pica pica</i>				LC	9	0.044	3
25 小嘴乌鸦 <i>Corvus corone</i>				LC	3	0.015	1
10) 岩鹀科 Prunellidae							
26 褐岩鹀 <i>Prunella fulvescens</i>				LC	46	0.225	5
27 鹀岩鹀 <i>Prunella rubeculoides</i>				LC	1	0.005	1
11) 伯劳科 Laniidae							
28 灰背伯劳 <i>Lanius tephronotus</i>				LC	1	0.005	1
12) 百灵科 Alaudidae							
29 角百灵 <i>Eremophila alpestris</i>				LC	3	0.015	1
13) 鹀科 Motacillidae							
30 树鹀 <i>Anthus hodgsoni</i>				LC	3	0.015	1
14) 鹀科 Emberizidae							
31 灰眉岩鹀 <i>Emberiza godlewskii</i>				LC	1	0.005	1

CR: 极危; EN: 濒危; VU: 易危; NT: 近危; LC: 无危

CR, Critically endangered; EN, Endangered; VU, Vulnerable; NT, Near Threatened; LC, Least Concern