•生物编目•

利用红外相机监测四川大相岭自然保护区 鸟兽物种多样性

刘 鹏^{1,2} 付明霞³ 齐敦武^{1,2} 宋心强³ 韦 伟⁴ 杨琬婧⁴
陈玉祥^{1,2} 周延山^{1,2} 刘家斌^{1,2} 马 锐^{1,2} 余 吉³
杨 洪³ 陈 鹏^{1,2*} 侯 蓉^{1,2*}

1 (成都大熊猫繁育研究基地, 四川省濒危野生动物保护生物学重点实验室, 成都 610086)

2 (四川省大熊猫科学研究院, 成都 610086)

3 (四川大相岭自然保护区管理局, 四川荣经 625200)

4 (西华师范大学生命科学学院, 四川南充 637002)

摘要: 红外相机调查技术已成为地栖兽类与鸟类物种多样性研究的重要手段之一, 2017年10月至2018年10月, 我们在四川大相岭自然保护区布设167台红外相机进行生物多样性监测。红外相机累计工作6,738个工作日, 共获得独立有效照片3,317张, 其中野生兽类2,673张、野生鸟类644张。鉴定出野生兽类5目14科23种, 野生鸟类5目11科33种。国家一级重点保护野生动物有3种, 即大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、四川羚牛(*Budorcas tibetanus*)和林麝(*Moschus berezovskii*); 国家二级重点保护野生动物有10种, 分别是藏酋猴(*Macaca thibetana*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、小熊猫(*Ailurus fulgens*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)、水鹿(*Cervus equinus*)、血雉(*Ithaginis cruentus*)、白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)和红腹角雉(*Tragopan temminckii*)。其中, 属于《中国脊椎动物红色名录》中极危的有1种, 即林麝, 易危的有9种, 近危的有10种; 被IUCN红色名录评估为濒危的有2种, 易危的有5种, 近危的有3种; 被CITES附录I收录的有4种, 附录II收录的有6种。新记录物种7种, 分别是灰鼯鼠(*Petaurista xanthotis*)、水鹿、黄颈啄木鸟(*Dendrocopos darjellensis*)、星鸦(*Nucifraga caryocatactes*)、白眉鸫(*Turdus obscurus*)、蓝短翅鸫(*Brachypteryx montana*)和红翅噪鹛(*Trochalopteron formosum*)。物种相对丰富度最高的3种动物分别是毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*, RAI = 125.26)、藏酋猴(RAI = 64.71)和红腹角雉(RAI = 43.34)。本次监测初步掌握了四川大相岭自然保护区内大中型兽类和林下活动鸟类的种类组成和相对多度, 为野生动物的研究与保护管理提供了参考依据。

关键词: 红外相机; 大相岭自然保护区; 物种多样性; 相对丰富度

Camera-trapping survey of wild mammals and birds in Daxiangling Nature Reserve, Sichuan Province

Peng Liu^{1,2}, Mingxia Fu³, Dunwu Qi^{1,2}, Xinqiang Song³, Wei Wei⁴, Wanjing Yang⁴, Yuxiang Chen^{1,2}, Yanshan Zhou^{1,2}, Jiabin Liu^{1,2}, Rui Ma^{1,2}, Ji Yu³, Hong Yang³, Peng Chen^{1,2*}, Rong Hou^{1,2*}

1 Chengdu Research Base of Giant Panda Breeding, Sichuan Key Laboratory of Conservation Biology for Endangered Wildlife, Chengdu 610086

2 Sichuan Academy of Giant Panda, Chengdu 610086

3 Administrative Bureau of Daxiangling Nature Reserve, Yingjing, Sichuan 625200

4 College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002

Abstract: Camera-tapping is one of the most efficient tools for surveying terrestrial mammals and birds. Between October 2017 and October 2018, we placed 167 infrared-triggered cameras to investigate the

收稿日期: 2019-12-04; 接受日期: 2020-05-09

基金项目: 四川省科技计划(2018JY0096)、成都大熊猫繁育研究基金会资助项目(CPF Research2014-02, 2014-05)和成都大熊猫繁育研究基地自立课题(CPB2018-02; CPB2018-01)

* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: capricorncp@163.com; 405536517@qq.com

biodiversity of wild mammals and birds in Daxiangling Nature Reserve, Sichuan Province. A total of 3,317 independent wildlife photographs were collected with an extensive survey effort of 6,738 camera-days. These included 2,673 photographs of 23 mammal species belonging to 5 orders and 14 families, and 644 photographs of 33 bird species from 5 orders and 11 families. Among these, 3 species including *Ailuropoda melanoleuca*, *Budorcas tibetanus*, *Moschus berezovskii* are listed as national first-class protected wild animals, and 10 species including *Macaca thibetana*, *Ursus thibetanus*, *Ailurus fulgens*, *Martes flavigula*, *Capricornis milneedwardsi*, *Cervus equinus*, *Ithaginis cruentus*, *Chrysolophus amherstiae*, *Lophura nycthemera*, *Tragopan temminckii* are listed as national second-class protected wild animals in China. Of the species identified, *Moschus berezovskii* is Critically Endangered (CR), 9 species are Vulnerable (VU), and 10 species are Near Threatened (NT) in the Red List of China's Vertebrates. Among the recorded species, 2 species are listed as Endangered (EN), 5 species are listed as Vulnerable (VU), 3 species are listed as Threatened (NT) by the IUCN Red List. Four species are also listed in Appendix I and six other species are in Appendix II of the CITES regulations. *Petaurista xanthotis*, *Cervus equinus*, *Dendrocopos darjellensis*, *Nucifraga caryocatactes*, *Turdus obscurus*, *Brachypteryx montana* and *Trochalopteron formosum* are new record species in Daxiangling Nature Reserve. We found that *Elaphodus cephalophus* (RAI = 125.26) had the highest relative abundance, followed by *Macaca thibetana* (RAI = 64.71) and *Tragopan temminckii* (RAI = 43.34). This study provides basic information on the species composition and relative abundance of large and mid-sized mammals and terrestrial birds in Daxiangling Nature Reserve; it will also provide information and references to wildlife management and protection.

Key words: infrared-triggered camera; Daxiangling Nature Reserve; species diversity; relative abundance index

四川大相岭自然保护区(以下简称大相岭保护区)位于四川省荥经县西南(102°29'36"-102°52'24"E、29°28'33"-29°43'54"N),大相岭南段余脉东北侧。其南北长28.6 km,东西宽36.7 km,总面积29,000 ha,其中核心区为12,730 ha,缓冲区为5,380 ha,实验区为10,890 ha。气候以亚热带季风气候为基带的山地气候为主,气温偏低,年均温13.6℃,年降水量1,790 mm以上,冬季温暖干燥、夏季高温湿润;总日照数不足700 h,1月、6月日照偏多,平均霜期在60天左右,无霜期在300天左右,在海拔2,000 m以上山地冬季有冻土现象。植被具有明显垂直分布,从山麓向上依次为常绿阔叶林(1,500 m以下)、常绿与落叶阔叶混交林(1,500-2,100 m)、针阔混交林(2,100-2,600 m)、针叶林(2,600-3,100 m)、亚高山草甸(3,100 m以上),此外分布有温性竹林(1,900-2,500 m)(符建荣等,2008)。

大相岭保护区拥有丰富的动植物资源,以大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、四川羚牛(*Budorcas tibetanus*)、珙桐(*Davidia involucrata*)、红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *chinensis*)等珍稀濒危野生动植物及其栖息环境为主要保护对象。大相岭保护区最近一次综合科学考察是在2007年,其报告中记录该区共有兽类7目27科79种(国家重点保护兽类17种,其中

国家I级重点保护兽类4种,国家II级重点保护兽类13种),鸟类17目53科263种(国家重点保护鸟类27种,其中国家I级重点保护鸟类3种,国家II级重点保护鸟类3种)^①。此后,未开展大规模野生动物多样性调查与监测。然而,受到调查手段等限制,一些物种记录并不十分准确,历史记录数据不能完全反映该区域当前动物资源的现状。随着生态保护力度进一步加大,天然林资源保护工程的实施及野生动物保护工作不断完善,重新调查评估保护区内的野生动物资源非常必要,可以为之后的野生动物保护及科研积累宝贵资料。

红外相机调查技术具有“准确性、长期性、非损伤性”等优点,已成为野生动物本底资源调查和生物多样性监测的重要手段(李晟等,2014)。本研究于2017年10月至2018年10月,对大相岭保护区野生兽类和鸟类开展红外相机监测,以了解该区野生动物资源现状,掌握区内大中型哺乳动物与地面活动鸟类的种类、相对多度与分布,为该区域大中型哺乳动物与地栖鸟类的研究和管理提供最新的本底资料。同时,该保护区是大熊猫野外放归重点区域之一,对其生物多样性的监测结果能为大熊猫的保

①扶志宏,符建荣(2008)2007年四川大相岭自然保护区综合科学考察报告。

护提供科学依据。

1 研究方法

1.1 红外相机布设与数据采集

2017年10月至2018年10月, 我们使用167台红外相机对大相岭保护区进行野生动物多样性调查与监测(图1, 附录1)。调查前采用公里网格预设红外相机架设位点, 在GIS软件中将整个保护区划分为若干个 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 的公里网格, 每一个网格作为一个调查样方, 共99个。在实际架设过程中, 考虑到地形因素, 对其中4个样方按照 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的公里网格再次划分为16个样方, 故一共划分了111个(其中有4个在保护区外)调查样方(图1)。

红外相机的架设按照1台/公里网格的标准进行, 位点选择在野生动物经常活动的地点(如兽径、水源点、取食痕迹较多处), 每个网格的调查位点均记录GPS信息(经度、纬度和海拔)和其他环境信息。相机固定于离地面50–100 cm的树干上, 相机镜头与地面平行或与地面呈小于 5° 的俯角, 要求相机固定牢固、取景适宜, 避免日光直射, 不放置任何诱饵, 并清除镜头前的杂草、遮挡物。为了保证数据的独

立性和有效性, 相邻的两个布设位点间至少相距500 m。

本次使用的红外相机品牌为Ltl Acorn (100台)、Loreda (30台)、Bestguarder (37台), 架设前按照统一标准对其技术参数、性能进行调试, 确保三者工作性能一致。红外相机拍照像素设置为800万, 模式设置为“拍照 + 视频”, 连拍3张照片后录像10 s, 灵敏度设置为“中”, 拍照时间间隔1 s, 采用24 h监测。每间隔3–6个月收集存储卡数据、更换电池、检查机体是否正常, 更换电池时查看相机拍摄的内容, 对于拍摄野生动物活动较多的位点, 直接更换存储卡和电池; 而拍摄野生动物活动较少的位点, 则在附近区域另选合适位点重新架设红外相机, 并更换存储卡和电池。

在地形、气候、植被等因素影响下, 本次调查实际共在62个调查样方(占调查样方总数的55.86%)内布设红外相机, 架设位点海拔高度为1,307–2,809 m, 其中有27台位于保护区边界外附近的大熊猫等珍稀濒危野生动物栖息地内(图1)。

1.2 数据分析

监测数据回收后, 筛选出有物种的独立有效照

图1 大相岭自然保护区红外相机布设位点

Fig. 1 Camera-trapping sites in Daxiangling Nature Reserve

片(视频也当作照片处理),确定相应位点的环境、物种等信息。采用O'Brien等(2003)的标准定义独立有效照片,即同一相机所拍摄的同一物种在相隔30 min以上的照片确定为独立有效照片(李晟等, 2016; 田成等, 2018)。鸟兽物种的鉴定和分类分别参考《中国鸟类野外手册》(约翰·马敬能等, 2000)、《中国兽类野外手册》(Smith和解焱, 2009)、《中国鸟类分类与分布名录(第3版)》(郑光美, 2017)和《中国哺乳动物多样性》(蒋志刚等, 2017)。物种保护级别参考CITES附录(<http://www.cites.gov.cn/>)与《国家重点保护野生动物名录》(<http://www.forestry.gov.cn>),濒危等级参考《中国脊椎动物红色名录》(蒋志刚等, 2016)与IUCN红色名录(<https://www.iucnredlist.org/>)。使用相对丰富度指数(relative abundance index, RAI)评估物种相对种群数量(李晟等, 2016; 陈立军等, 2019),其计算公式为:

$$RAI = A_i / N \times 1000 \quad (1)$$

其中, A_i 代表第*i*类($i = 1, 2, \dots$)动物出现的独立有效照片数, N 为总有效相机工作日。

2 结果

红外相机累计工作6,738个工作日,共获得有效照片24,073张。除去家畜(1,305张)、工作人员(5,075张)、其他人员(2,100张)照片,以及无法鉴定的照片(72张),野生动物照片共15,521张。其中野生哺乳动物照片13,349张(鉴定不到种的小型啮齿类或食虫类照片774张),野生鸟类照片2,172张(鉴定不到种的雉科类照片2张、鹰科类3张)。经鉴别,本次调查共获得野生动物独立有效照片3,317张,其中野生兽类2,673张、鸟类644张。共鉴定野生动物10目25科56种,包括兽类5目14科23种,鸟类5目11科33种(附录2, 附录3)。

在记录到的野生动物中,有国家一级重点保护野生动物3种,即大熊猫、四川羚牛、林麝(*Moschus berezovskii*),国家二级重点保护野生动物10种,即藏酋猴(*Macaca thibetana*)、黑熊(*Ursus thibetanus*)、小熊猫(*Ailurus fulgens*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)、中华鬣羚(*Capricornis milneedwardsii*)、水鹿(*Cervus equinus*)、血雉(*Ithaginis cruentus*)、白腹锦鸡(*Chrysolophus amherstiae*)、红腹角雉(*Tragopan temminckii*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)(附录3)。

CITES附录I收录的野生动物有4种,即黑熊、小熊猫、大熊猫、中华鬣羚;附录II收录的有6种,即林麝、四川羚牛、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)、藏酋猴、血雉、红嘴相思鸟(*Leiothrix lutea*)(附录3)。其中,被《中国脊椎动物红色名录》列为极危(CR)的有1种,即林麝;被列为易危(VU)的有9种,即大熊猫、四川羚牛、小熊猫、藏酋猴、黑熊、豹猫、小鹿(*Muntiacus reevesi*)、中华鬣羚、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*);被列为近危(NT)的有10种,即黄喉貂、鼬獾(*Melogale moschata*)、猪獾(*Arctonyx collaris*)、果子狸(*Paguma larvata*)、水鹿、红腹角雉、血雉、白腹锦鸡、眼纹噪鹛(*Garrulax ocellatus*)、三趾鸦雀(*Cholornis paradoxus*)(附录3)。被IUCN红色名录评估为濒危的有2种(EN),即小熊猫和林麝;被评估为易危(VU)的有5种,即黑熊、大熊猫、猪獾、水鹿、四川羚牛;被评估为近危(NT)的有3种,即藏酋猴、毛冠鹿、中华鬣羚。本研究还发现了之前调查未被发现的物种7种,其中兽类2种,即灰鼯鼠(*Petaurista xanthotis*)和水鹿;鸟类5种,即白眉鸫(*Turdus obscurus*)、黄颈啄木鸟(*Dendrocopos darjellensis*)、星鸦(*Nucifraga caryocatactes*)、蓝短翅鸫(*Brachypteryx montana*)、红翅噪鹛(*Trochalopteron formosum*)(附录3)。

在大相岭保护区调查期间,相对丰富度排前5位的野生动物是毛冠鹿($RAI = 125.26$)、藏酋猴($RAI = 64.71$)、红腹角雉($RAI = 43.34$)、野猪(*Sus scrofa*)($RAI = 35.77$)、中华鬣羚($RAI = 35.17$)(附录3)。毛冠鹿、藏酋猴、野猪、中华鬣羚、岩松鼠(*Sciurotamias davidianus*)($RAI = 33.99$)是相对丰富度前5位的野生兽类(附录3),红腹角雉、白腹锦鸡($RAI = 17.07$)、紫啸鸫(*Myophonus caeruleus*)($RAI = 8.16$)、白鹇($RAI = 6.38$)、眼纹噪鹛($RAI = 4.60$)是相对丰富度前5位的野生鸟类(附录3)。红外相机拍摄位点数排前5位的兽类依次是毛冠鹿(103个)、中华鬣羚(80个)、藏酋猴(76个)、野猪(60个)、岩松鼠(59个),前5位的鸟类是红腹角雉(60个)、白腹锦鸡(21个)、眼纹噪鹛(18个)、紫啸鸫(14个)、红翅噪鹛(13个)(附录3)。

物种累积曲线显示:在2,000个工作日以下时,兽类的物种数增长较快,之后其增长缓慢,并在6,000个工作日时停止增长(稳定在23种)(图2)。鸟类的物种数在4,000个工作日之前增长较快,之后增

图2 大相岭自然保护区红外相机工作量与拍摄到物种数量间的关系

Fig. 2 Relationship between the camera-trapping efforts and the number of species recorded in Daxiangling Nature Reserve

长缓慢,整体呈上升趋势(图2)。在2,400个工作日之前,监测的兽类种数高于鸟类,之后兽类低于鸟类;整体鸟类的物种数增长快于兽类,并一直处于上升状态(图2)。这表明本次调查对兽类的监测较为充分,对鸟类的监测不够充分。鸟兽物种数的增长曲线与鸟类的相似,但总体上讲,前者的增长速度高于后者,这表明鸟兽物种数的增长主要与鸟类的增长有关(图2)。

3 讨论

红外相机适合监测地面活动的兽类和林下鸟类(李晟等, 2016; 朱淑怡等, 2017; 李佳等, 2018; 胡茜茜等, 2018), 本次调查通过6,738个有效工作日在大相岭保护区监测记录到56种鸟兽, 与卧龙国家级自然保护区(施小刚等, 2017)、四姑娘山国家级自然保护区(胡茜茜等, 2018)、白水河国家级自然保护区(杨纬和等, 2019) 3个同属四川盆地与青藏高原过渡地带的保护区相比, 取得较好的监测效果。

本次调查在大相岭保护区记录到9种国家重点保护兽类, 占保护区总数的52.94% (在2007年大相岭保护区综合考察中, 发现17种国家重点保护兽类), 均为林下活动的大中型兽类, 仅监测到白腹锦鸡等4种地栖型国家重点二级保护鸟类。由于该保护区的国家重点保护兽类以林下地面活动大中型兽类为主, 而鸟类以猛禽与涉禽为主, 其生态类型不属地栖型, 且生境一般不在森林和灌丛^①。因此,

本次调查对国家重点保护兽类的监测效果比较好, 而鸟类相对较差, 提示我们红外相机布控需要考虑选择多样化的生境, 以更为全面地调查不同生境类型中的鸟类。本次调查发现水鹿等7种新记录种(附录3), 体现了红外相机技术适合用于探测行为隐蔽、种群密度低的物种的优势(李晟等, 2016; 房以好等, 2018; 张倩雯等, 2018; 钱海源等, 2019)。Zhang等(2007)认为大相岭山系特殊的地貌空间分布格局可能使大熊猫在邛崃山系与本地区具有明显的廊道阻隔效应, 全国大熊猫调查也显示邛崃山系和大相岭山系的大熊猫都在向泥巴山走廊带扩散, 该区域被认定为大相岭山系与邛崃山系大熊猫种群的连接通道(四川省林业厅, 2015)。因此, 对于新记录到的水鹿是否是通过潜在的生态廊道从周围山系(邛崃山系)扩散过来的, 还需进一步验证。本次调查对穴居、飞行、树栖生活的小型兽类, 以及林间、林冠活动鸟类的监测效果不好, 与其他地区的结果类似(李晟等, 2016; 房以好等, 2018; 张倩雯等, 2018; 王丞等, 2019)。针对这些动物类群, 保护区在后续的监测工作中需要采用与其他方法(样线法、铗日法、笼捕法、网捕法、录音法等)结合的方式进行综合调查。

与邻近的邛崃山系的四川卧龙国家级自然保护区、四姑娘山国家级自然保护区相比, 大相岭保护区同样具有丰富的有蹄类动物资源, 但缺乏食物链顶端的大中型肉食动物。卧龙最新记录到有豺(*Cuon alpinus*)、狼(*Canis lupus*)、金钱豹(*Panthera pardus*)、雪豹(*P. uncia*) 4种大型食肉动物(施小刚等, 2017; 张冬玲等, 2019), 在所有大熊猫保护区中为最多; 四姑娘山最新记录到有狼、雪豹2种(胡茜茜等, 2018); 本次调查中未见大相岭保护区本底名录上原有记录的豹、金猫(*Pardofelis temminckii*)等大中型肉食动物, 仅发现黑熊这一杂食性的大型食肉目动物。因此, 我们认为保护区有蹄类动物资源丰富, 可能主要跟区内栖息地质量较高与缺乏食肉动物捕食压力有关。对卧龙、四姑娘山两个区域的研究表明, 缺乏食肉动物捕食压力是有蹄类动物资源丰富的重要原因(施小刚等, 2017; 胡茜茜等, 2018)。胡茜茜等(2019)的研究认为有蹄类动物资源丰富可能与栖息地质量较高有关, 因此, 大相岭保护区食草动物栖息地质量与有蹄类动物种群数量的关系还需进一步的研究。

① 扶志宏, 符建荣 (2008) 2007 年四川大相岭自然保护区综合科学考察报告

大中型食肉兽类在生态系统中具有重要作用,可以通过捕食来调控处于较低营养级的食草动物种群,进而间接对植被的结构和更新产生影响;其存在与否和数量多少可以作为整个生态系统健康程度的快速评价指标(施小刚等, 2017; 杨纬和等, 2019; 胡茜茜等, 2019)。大型食肉动物缺失可能会导致食草动物种群过度,进而对生态系统结构及功能产生不利的影响(Terborgh et al, 2001; Dexter et al, 2013)。其他的研究表明,大中型肉食动物的红外相机监测发现率低,与栖息地破坏、偷猎与报复性猎杀等人为干扰有关,也可能与架设红外相机的过程产生的干扰有关,还可能与架设位点数量不足、未深入其栖息地、监测时间过短等因素有关(胡茜茜等, 2018, 2019; 杨纬和等, 2019)。因此,我们在未来需要加强对有蹄类动物、大中型肉食动物的监测,增加红外相机在其栖息地的架设率、监测时间,以确认保护区内金猫、豹等食肉动物是否还有分布,了解其栖息地与生存状态,进而评估该保护区生态系统的健康程度。

从物种累积曲线看,物种数(主要是鸟类)的增长还没有完全稳定,这种情况的出现是由于如下几个原因:(1)监测时间不够长,仅为1年;(2)监测未实现对不同生境分层取样,存在抽样误差;(3)在保护区物种丰富的核心区布设的位点过少,部分位点在保护区边界附近;(4)架设的监测位点不能对林间层和林冠层鸟类实现有效监测。因此,为更好地监测大相岭保护区鸟兽的生物多样性,需要做到如下几个方面:(1)延长监测时间,实现对不同生境的分层取样监测;(2)增加核心区监测位点,实现对保护区不同功能区的分层取样;(3)调整监测方案,使其能监测栖息于不同林层的鸟类。

致谢: 野外调查工作得到了四川大相岭自然保护区领导、工作人员及当地村民的积极支持和帮助,在此一并致谢。

参考文献

- 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.]
- Dexter N, Hudson M, James S, MacGregor C, Lindenmayer DB (2013) Unintended consequences of invasive predator control in an Australian forest: Overabundant wallabies and vegetation change. *PLoS ONE*, 8, e69087.
- Fang YH, Ren GP, Gao Y, Zhang SX, Wang HH, Li YP, Huang ZP, Cui LW, Xiao W (2018) Impact of ground and canopy camera-trapping installation on wildlife monitoring. *Biodiversity Science*, 26, 717–726. (in Chinese with English abstract) [房以好, 任国鹏, 高颖, 张淑霞, 王浩瀚, 李延鹏, 黄志旁, 崔亮伟, 肖文 (2018) 红外相机安放于地面和林冠层对野生动物监测结果的影响. 生物多样性, 26, 717–726.]
- Fu JR, Sun ZY, Liu SY, Fu ZH, Liu Y, Wang X, Zhao J, Cai G (2008) A survey of bird resources in Daxiangling Nature Reserve in Sichuan Province. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 29(3), 342. (in Chinese with English abstract) [符建荣, 孙治宇, 刘少英, 扶志宏, 刘洋, 王新, 赵杰, 蔡国 (2008) 四川大相岭自然保护区的鸟类资源. 四川林业科技, 29(3), 36–42.]
- 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.]
- 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.]
- Li J, Liu F, Ye LX, Liu SL, Peng H, Li DQ (2018) Camera-trapping survey of the diversity of mammals and birds in Fengyang Mountain of Zhejiang Province, China. *Acta Theriologica Sinica*, 38, 95–103. (in Chinese with English abstract) [李佳, 刘芳, 叶立新, 刘胜龙, 彭辉, 李迪强 (2018) 利用红外相机调查浙江省凤阳山兽类和鸟类多样性. 兽类学报, 38, 95–103.]
- Li S, Wang DJ, Bu HL, Liu XG, Jin T (2016) Camera-trapping survey on the mammal diversity of the Laohegou Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Theriologica Sinica*, 36, 282–291. (in Chinese with English abstract) [李晟, 王大军, 卜红亮, 刘小庚, 靳彤 (2016) 四川省老河沟自然保护区兽类多样性红外相机调查. 兽类学报, 36, 282–291.]
- 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.]
- 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.]
- 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.
- Qian HY, Yu JP, Shen XL, Ding P, Li S (2019) Diversity and composition of birds in the Qianjiangyuan National Park pilot. *Biodiversity Science*, 27, 76–80. (in Chinese with English abstract) [钱海源, 余建平, 申小莉, 丁平, 李晟 (2019) 钱江源国家公园体制试点区鸟类多样性与区系组成. 生物多样性, 27, 76–80.]
- 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.]
- Sichuan Provincial Bureau of Forestry (2015) The Pandas of Sichuan: The 4th Survey Report on Giant Panda in Sichuan Province. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu. (in Chinese) [四川省林业厅 (2015) 四川的大熊猫: 四川省第四次大熊猫调查报告. 四川科技出版社, 成都.]
- 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.]
- Terborgh J, Lopez L, Nuez P, Rao M, Shahabuddin G, Orihuela G, Riveros M, Ascanio R, Adler GH, Lambert TD, Balbas L (2001) Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science*, 294, 1923–1926.
- Tian C, Li JQ, Yang XY, Yu L, Yuan D, Li YX (2018) Preliminary surveys of wild animals using infrared camera in Wanglang National Nature Reserve, Sichuan Province. *Biodiversity Science*, 26, 620–626. (in Chinese with English abstract) [田成, 李俊清, 杨旭煜, 余麟, 袁丹, 黎运喜 (2018) 利用红外相机技术对四川王朗国家级自然保护区野生动物物种多样性的初步调查. 生物多样性, 26, 620–626.]
- Wang C, Zhou DQ, Liang S, Su HJ, Hu CS, Zhang MM (2019) Camera-trapping survey on mammals and birds in Guizhou Chishui *Alsophila* National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 27, 1147–1152. (in Chinese with English abstract) [王丞, 周大庆, 梁盛, 粟海军, 胡灿实, 张明明 (2019) 贵州赤水桫欏国家级自然保护区鸟兽多样性红外相机初步监测. 生物多样性, 27, 1147–1152.]
- Yang WH, Chen YL, Deng Y, Wang XZ, Chen LJ, Hu DM, Luo XH, Song DZ, Xiao ZS (2019) Preliminary surveys of mammals and birds by infrared camera traps in the Sichuan Baishuihe National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 27, 1012–1015. (in Chinese with English abstract) [杨伟和, 陈月龙, 邓玥, 王兴哲, 陈立军, 胡大明, 罗秀海, 宋大昭, 肖治术 (2019) 利用红外相机对四川白水河国家级自然保护区鸟兽资源的初步调查. 生物多样性, 27, 1012–1015.]
- Zhang BW, Li M, Zhang ZJ, Goossens B, Zhu LF, Zhang SN, Hu JC, Bruford MW, Wei FW (2007) Genetic viability and population history of the giant panda, putting an end to the “evolutionary dead end”? *Molecular Biology and Evolution*, 24, 1801–1810.
- Zhang DL, He K, Yang ZS (2019) An investigation on the biodiversity of large and medium mammals in Wolong National Nature Reserve. *Journal of China West Normal University (Natural Sciences)*, 40, 15–21. (in Chinese with English abstract) [张冬玲, 何可, 杨志松 (2019) 卧龙国家级自然保护区大中型兽类多样性调查. 西华师范大学学报(自然科学版), 40, 15–21.]
- Zhang QW, Gong YN, Song XJ, Wang XC, Yang CT, Shu ZF, Zou FS (2018) Comparing the effectiveness of camera trapping to traditional methods for biodiversity surveys of forest birds. *Biodiversity Science*, 26, 229–237. (in Chinese with English abstract) [张倩雯, 龚粤宁, 宋相金, 王新财, 杨昌腾, 束祖飞, 邹发生 (2018) 红外相机技术与其他几种森林鸟类多样性调查方法的比较. 生物多样性, 26, 229–237.]
- Zheng GM (2017) A Checklist on the Classification and Distribution of Birds in 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.]
- 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.]

(责任编委: 李晟 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 大相岭自然保护区红外相机位点与野生动物监测记录

Appendix 1 Coordinate of camera traps and wildlife monitoring records in Daxiangling Nature Reserve

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019381-1.xlsx>

附录2 大相岭自然保护区红外相机拍摄的部分兽类和鸟类照片

Appendix 2 Some photographs of mammals and birds recorded by camera trapping in Daxiangling Nature Reserve

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019381-2.pdf>

附录3 大相岭自然保护区红外相机监测到的物种名录

Appendix 3 List of species recorded by camera trapping in Daxiangling Nature Reserve

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019381-3.xlsx>