•生物编目•

贵州麻阳河国家级自然保护区红外相机鸟兽监测

杨雄威^{1,2#} 吴安康^{3#} 邹启先³ 李光容¹ 张明明^{1,2} 胡灿实¹ 栗海军^{1,2*}

1 (贵州大学生物多样性与自然保护研究中心, 贵阳 550025)

2 (贵州大学林学院, 贵阳 550025)

3 (贵州麻阳河国家级自然保护区管理局, 贵州沿河 565300)

摘要: 为进一步查清贵州麻阳河国家级自然保护区鸟兽多样性, 丰富生物编目, 我们于2018年7月至2019年8月利用红外相机进行公里网格全境布设监测。共记录兽类5目10科18属20种、鸟类7目18科34属42种, 其中新增保护区记录11种, 记录国家I级重点保护野生动物2种, 分别是黑叶猴(*Trachypithecus francoisi*)和白颈长尾雉(*Syrmaticus ellioti*), 国家II级重点保护野生动物大灵猫(*Viverra zibetha*)、白冠长尾雉(*Syrmaticus reevesii*)等7种。相对多度指数计算结果表明, 小鹿(*Muntiacus reevesi*)、猪獾(*Arctonyx collaris*)和野猪(*Sus scrofa*)是该区域内常见兽类, 而地栖雉类则以红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)和灰胸竹鸡(*Bambusicola thoracicus*)为主。分时段的相对多度指标表明, 小鹿在6:00–15:00和17:00–21:00两个时段均保持活跃, 猪獾则偏好5:00–6:00和19:00–23:00活动, 野猪在6:00–7:00最为活跃, 红腹锦鸡活动高峰在12:00–13:00, 而灰胸竹鸡的活动高峰分别为14:00–15:00和16:00–17:00。在物种丰度上, 单个相机位点的平均拍摄物种数显示, 在缓冲区、灌丛及针阔混交林以及800–1,200 m海拔段上物种较多。监测结果有利于进一步掌握此区域的动物多样性资源并促进资源的保护与管理。

关键词: 红外相机监测; 鸟兽多样性; 生物编目; 活动节律; 麻阳河国家级自然保护区

Field monitoring of mammals and birds using infrared cameras in Mayanghe National Nature Reserve, Guizhou, China

Xiongwei Yang^{1,2#}, Ankang Wu^{3#}, Qixian Zou³, Guangrong Li¹, Mingming Zhang^{1,2}, Canshi Hu¹, Haijun Su^{1,2*}

1 Research Center for Biodiversity and Nature Conservation of Guizhou University, Guiyang 550025

2 College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025

3 Mayanghe National Nature Reserve Administration, Yanhe, Guizhou 565300

Abstract: To characterize the mammal and bird diversity and enrich the bio-inventory resources of Mayanghe, a national nature reserve in Guizhou Province, China, a year-around field monitoring study was conducted by means of camera-trapping via an installation scheme of a kilometer grid across the whole region, from July 2018 to August 2019. We identified up to 20 species of mammals (taxonomically belonging to 5 orders, 10 families, 18 genera) and 42 species of birds (7 orders, 18 families, 34 genera). Among them, 11 species were newly recorded in the nature reserve, and 2 species (*Trachypithecus francoisi* and *Syrmaticus ellioti*) are Class I, 7 species are Class II national protected animals including *Viverra zibetha*, *Syrmaticus reevesii*, etc. Based on the general relative abundance index (RAI) of photographed species, *Muntiacus reevesi*, *Arctonyx collaris*, and *Sus scrofa* were common mammals in this region, while *Chrysolophus pictus* and *Bambusicola thoracicus* were the most frequently photographed terrestrial birds. The time-period RAI revealed *Muntiacus reevesi* can keep active in the periods of 6:00–15:00 and 17:00–21:00 in this region. *Arctonyx collaris* preferred to be active in the early morning (5:00–6:00) and night (19:00–23:00), while *Sus scrofa* was most active from 6:00 to 7:00. Comparatively, pheasants frequently moved at noon or in the afternoon. *Chrysolophus pictus* had its highest activity peak from 12:00 to

收稿日期: 2019-09-26; 接受日期: 2020-03-04

基金项目: 2018 年中央林业改革发展资金国家级自然保护区补助校地科技合作项目、国家自然科学基金(31860610)、贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2018]5781号)、生态环境部生物多样性保护专项(2110404)和贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2842号、黔科合平台人才[2018]5781-39号)

共同第一作者 Co-first authors

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hjsu@gzu.edu.cn

13:00, and *Bambusicola thoracicus* had two activity periods, one from 14:00–15:00 and another from 16:00–17:00. Species richness measured by the average captured species per camera, indicated that mammals and birds were relatively abundant in the buffer zone, shrub, and coniferous–broad-leaved mixed forest, as well as in elevation ranges of 800–1,200 m. Our results are useful for understanding current biodiversity and promoting the conservation management in this region.

Key words: camera trapping; mammal and bird diversity; biodiversity inventory; activity rhythm; Mayanghe National Nature Reserve

野生动物资源监测是生物多样性与生态系统监测的重要内容,开展野生动物监测有助于探明野生动物与周围环境之间的动态关系,也是评估生物多样性保护成效的重要方式(马克平, 2011)。目前,红外相机技术已成为野生动物资源监测与生态学研究的重要技术手段,并得到广泛应用(马鸣等, 2006; 肖治术等, 2014; 胡茜茜等, 2018)。在自然保护区开展红外相机野生动物监测,不仅有助于积累珍贵的物种影像资料,补充和厘定区域生物编目,也有助于进一步开展物种生态学或保护生物学研究,进而为管理者制定保护计划和开展保护实践提供科学依据,而区域性的监测数据也可以是国家层面执行的生物多样性监测网络的有益补充,可成为大尺度生态学研究及生态评估的基础性数据(肖治术, 2016)。

贵州麻阳河国家级自然保护区(以下简称麻阳河保护区, 28°37'33"–28°54'27" N, 108°3'39"–108°20'25" E)位于大娄山脉北东段,是中国武陵山生物多样性保护优先区内的重要保护区(图1),其主要保护对象是黑叶猴(*Trachypithecus francoisi*)及其栖息地,是全球目前已知的最大的黑叶猴自然种群的分布区,数量逾700只,占全球数量的1/3(牛克锋等, 2016)。保护区总面积为311.13 km²,其中核心区105.43 km²,缓冲区150.22 km²,实验区55.48 km²。区内海拔290–1,441 m,海拔800–1,000 m以上地段地势开阔,800 m以下则多为喀斯特峡谷。全区为典型的喀斯特地貌,属中亚热带温暖季风气候,雨量充沛,温度适中(吴安康等, 2006)。区内动植物资源丰富,已记录种子植物1,168种,鸟类198种,兽类44种,两栖爬行动物44种,鱼类55种(苟光前等, 2017)。区内河流水道丰富,包括麻阳河、兰字厂河及洪渡河等,强烈的河流切割与喀斯特崖壁洞穴、良好的植被条件,为黑叶猴的生存提供了优越的栖息条件(Hu et al, 2018)。保护区总体森林覆盖率为

65%,范围内仍有7个乡镇,居民人口达22,800余人,人为干扰较为严重。

尽管麻阳河保护区已有过综合性科学考察(苟光前等, 2017),但之前主要采用的是样线调查、访谈等方法,不仅缺乏物种影像资料,且很多物种是否仍然存在以及物种丰度及分布如何均不清楚。为此,我们于2018年7月至2019年8月期间利用公里网格开展全域红外相机布设,通过一整年时间监测,以期能基本摸清该区域鸟兽多样性,为构建区域性物种影像与编目数据库和促进保护管理服务。

1 研究方法

将麻阳河保护区全域划分为1 km × 1 km的网格(图1),每2 km²隔行交错在一个网格设置1个相机位点,每个位点布设1台红外相机(猎豹 Ltl 6210MC或东方红鹰 E1B),共连续设置151个相机监测位点。相机安装在各网格中心点周围20 m区域的适宜位置(人为干扰少、生境条件好、野生动物痕迹多样的兽径、水源地等),部分不能到达的区域、网格内人为活动干扰强烈或网格中心没有合适布设的区域,根据实际情况做出相应调整,但两网格安置的相机距离均小于500 m。记录相机安装位点坐标、生境(海拔、坡向、植被类型等)、与道路、居民区和水源的距离等。相机参数设置为拍照模式、连拍3张、时间间隔1 s、灵敏度“中”、确保时间调试正确和编号设置(开),安装方法及相机维护等参照肖治术等(2014)。内存卡和电池每4–5个月更换1次。

除21台相机因损坏被盗数据无法使用外,130个相机位点(附录1)共拍摄有效照片41,216张,空照片77,864张,每个相机位点的平均有效工作日为157.97 ± 29.61 d,累积监测21,234个相机工作日。共获取独立有效照片6,060张,兽类(包含小型鼠类)占59.70%,鸟类占26.11%。由于啮齿目小型鼠类难以

图1 麻阳河国家级自然保护区位置及红外相机布设位点。A: 保护区在中国武陵山生物多样性保护优先区位置; B: 监测地景观; C: 保护区功能分区及红外相机布设位点

Fig. 1 The location of Mayanghe National Nature Reserve (MNNR) and the layout of camera sites. A, Location of MNNR within the Wulingshan Priority Area for Bio-diversity Conservation of China; B, Landscape of monitoring site; C, Division of functional zone of MNNR, and the locations of camera sites set up for monitoring.

鉴定到种, 因此未计入分析。使用Bio-Photo V2.1对照片按位点进行编号并生成Excel表(李晟等, 2014), 统计物种种类、名称、数量、性别、是否独立探测首张、干扰类型等信息并进行整理, 拍摄的每个视频看作单张照片。兽类分类系统参考蒋志刚等(2017), 鸟类参考郑光美(2017)。

将单个相机位点在野外连续工作24 h记为1个相机工作日, 研究区域所有相机位点从开始工作到相机回收时拍摄的最后1张工作照片的时间间隔累计相加的工作日计为总有效相机工作日(李晟等, 2016)。为保证数据的独立有效性, 将同一相机位点拍摄到同一物种且时间间隔小于30 min的连续照片视为1张独立有效照片(independent photograph)(O'Brien et al, 2003; 肖治术等, 2014; 穆君等, 2019)。以红外相机位点的拍摄率为依据, 计算相对多度指数(relative abundance index, RAI, 胡茜茜等, 2018), 采用时间段相对丰富度(time-period relative abundance index, TRAI, 武鹏峰等, 2012)分析麻阳

河保护区主要鸟类和兽类的日活动节律, 计算方法分别为: $RAI = (\text{独立有效照片数} / \text{总有效相机工作日}) \times 100$; $TRAI = (\text{物种}i\text{在}t\text{时间段内的拍摄照片数} / \text{物种}i\text{拍摄的照片总数}) \times 100$ 。

2 研究结果

物种累积曲线表明, 在麻阳河红外相机监测到115 d后, 拍摄到兽类物种数趋于稳定, 155 d后鸟类物种数趋于稳定, 而总体上看, 约55 d时拍摄到的物种数从激增转为缓慢增长, 表明本次连续1年监测时长已完全达到抽样要求(图2)。

经鉴定, 红外相机共记录野生鸟兽62种, 其中包括野生兽类20种, 隶属于5目10科18属, 有国家I级重点保护野生动物1种, 为黑叶猴; 国家II级重点保护野生动物3种, 即猕猴(*Macaca mulatta*)、黄喉貂(*Martes flavigula*)和大灵猫(*Viverra zibetha*)。记录鸟类42种, 隶属于7目18科34属, 有国家I级重点保护野生动物1种, 为白颈长尾雉(*Syrnaticus ellioti*);

图2 麻阳河国家级自然保护区红外相机监测物种累积曲线
Fig. 2 Accumulation curve of captured species by camera-trapping in Mayanghe National Nature Reserve

国家Ⅱ级重点保护野生动物4种,即白冠长尾雉(*S. reevesii*)、松雀鹰(*Accipiter virgatus*)、红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)和斑头鸫鹛(*Glaucidium cuculoides*)。在记录的物种中,被IUCN红色名录列为濒危(EN)的2种、易危(VU)的2种;被列入CITES附录I的1种、附录II的6种(附录2)。本次新增11种保护区新记录,即红腿长吻松鼠(*Dremomys pyrrhomerus*)、中华竹鼠(*Rhizomys sinensis*)、丘鹑(*Scolopax rusticola*)、白尾蓝地鸫(*Myiomela leucurum*)、灰头鸫(*Turdus rubrocanus*)、橙头地鸫(*Geokichla citrina*)、灰翅噪鹛(*Garrulax cineraceus*)、红喉歌鸫(*Calliope calliope*)、蓝歌鸫(*Larvivora cyane*)、宝兴歌鸫(*Turdus mupinensis*)和点胸树雀(*paradoxornis guttaticollis*)。

RAI最高的3种兽类分别是小鹿(*Muntiacus reevesi*, 6.22)、猪獾(*Arctonyx collaris*, 1.24)和野猪(*Sus scrofa*, 1.15),最高的地栖性鸟类是红腹锦鸡(3.42)和灰胸竹鸡(*Bambusicola thoracicus*, 0.83)。这些物种的日活动节律均呈现多峰格局(图3)。TRA表明,小鹿、猪獾和野猪在24 h内均有活动,但小鹿主要在6:00–15:00和17:00–21:00活动;猪獾活动主要集中在5:00–6:00、19:00–20:00、23:00–24:00三个时间段;而野猪只在6:00–7:00有1个活动高峰,其余时间高峰并不明显。地栖雉类中,红腹锦鸡活动高峰在12:00–13:00;灰胸竹鸡2个活动顶峰分别为14:00–15:00和16:00–17:00期间。

物种丰度分布上,缓冲区拍摄到的物种数最多(48种, 77.4%),实验区次之(41种, 66.1%),核心区最少(33种, 53.2%)。在植被类型上,从物种总数上看,针叶林(44种)和针阔混交林最多(42种),但在单个相机位点平均拍摄到的物种数上,却是灌丛和针

图3 麻阳河国家级自然保护区主要鸟兽物种日活动节律。
A: 兽类; B: 鸟类。

Fig. 3 Daily activity rhythm of main birds and mammals in Mayanghe National Nature Reserve. A, Mammals; B, Birds.

阔混交林居多。在海拔梯度上,400–800 m和800–1,200 m海拔段的物种总数和单个相机位点平均拍摄的物种数均最高(表1)。

3 讨论

本次监测覆盖面广、布设规律且周期完整,基本摸清了麻阳河保护区大中型兽类和地栖鸟类的多样性、分布规律与活动节律。监测结果进一步确认了一些珍稀物种的种群分布,丰富了该区生物编目和物种生态学知识,虽然麻阳河以黑叶猴及其栖息生境为主要保护对象,但其他珍稀鸟兽也十分丰富(附录2)。

本次监测共记录鸟类42种、兽类20种,与保护区历史记录比较,新增兽类2种,鸟类9种,使该保护区兽类记录达到46种、鸟类达到207种,分别占贵州省兽类总数(161种)的28.6% (李子忠等, 2011)和

表1 麻阳河国家级自然保护区不同功能分区、生境和海拔的相机位点分布及拍摄物种数量

Table 1 The distribution of camera sites and number of captured species in different functional zones, habitats and elevation ranges in Mayanghe National Nature Reserve

项目 Items	相机位点数 Number of camera sites	总照片数 Total photographs	独立有效照片数 Number of independent photographs	物种数 Number of captured species	单个相机位点平均拍摄 物种数 Mean species number per camera (mean ± SD)
功能分区 Functional zone					
核心区 Core zone	45	11,749	2,083	33	6.52 ± 3.60
缓冲区 Buffer zone	46	20,073	2,448	48	7.24 ± 4.27
实验区 Experimental zone	39	9,394	1,529	41	6.59 ± 4.45
植被类型 Vegetation type					
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	22	7,157	756	22	5.73 ± 3.66
灌丛 Shrub	6	3,763	701	27	10.00 ± 6.88
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	16	4,150	825	32	6.81 ± 4.32
针阔混交林 Coniferous-broad-leaved mixed forest	40	15,822	2,230	42	7.29 ± 4.03
针叶林 Coniferous forest	43	9,930	1,492	44	6.63 ± 3.44
竹林 Bamboo forest	2	349	51	9	5.00 ± 4.00
海拔 Elevation (m)					
< 400	4	648	148	13	6.25 ± 4.55
400–800	52	13,123	2,192	44	6.79 ± 4.40
800–1,200	64	25,734	3,467	55	6.97 ± 3.89
> 1,200	10	1,711	253	22	5.90 ± 3.70

鸟类总数(510种)的40.6%^①。一些珍稀濒危物种如白颈长尾雉、白冠长尾雉、大灵猫等均得到影像确认(附录3),但科考记载的一些大中型食肉动物如豹(*Panthera pardus*)、云豹(*Neofelis nebulosa*)、豺(*Cuon alpinus*)以及中国穿山甲(*Manis pentadactyla*)、林麝(*Moschus berezovskii*)等极危物种(苟光前等, 2017),并没有拍到。另外,由于红外相机监测技术对于小型啮齿类、翼手类拍摄仍有局限性,相信该区域兽类种数在这些物种上可能仍有增加。

麻阳河常见大中型兽类主要是在次生林、林缘或灌丛地易见的小鹿、猪獾和野猪。物种日活动节律受到环境因素影响,因而相同的物种可能因分布地不同产生不同的活动节律(贾晓东等, 2014)。麻阳河的猪獾主要偏好清晨(5:00–6:00)和夜间(19:00–23:00)行动,这与江西武夷山基本相同(郭洪兴等, 2019),未体现明显的地域特殊性。麻阳河的小鹿从6:00–21:00均较为活跃,比相距不远的贵州宽阔水国家级自然保护区的小鹿(8:00–19:00)有更长的活跃时间(栗海军等, 2018)。而麻阳河的野猪仅在清晨6:00–7:00较为活跃,与贵州宽阔水(栗海军等, 2018)

和观音山(武鹏峰等, 2012)等地相比,既无多峰出现,也没有这些地方的活跃时间长。喜灌丛生境的红腹锦鸡和灰胸竹鸡在麻阳河白天各时段均能拍摄到,但不同于贵州宽阔水和习水保护区,本地的红腹锦鸡有更多的活跃高峰(栗海军等, 2018; 穆君等, 2019)。这些物种的日活动时长与活跃高峰特征可能与麻阳河的生境结构及人为干扰有关。

生境的异质性和海拔梯度都可能是导致物种多样性分布不均的重要原因(Chesson, 2000; Guo et al, 2013)。在单个相机位点平均拍摄物种数上,缓冲区、灌丛及针阔混交林、400–800 m和800–1,200 m海拔段上拍摄到的物种较多(表1)。麻阳河以800–1,200 m以下的黑叶猴及其栖居的喀斯特河谷生境为主要保护对象,1,200 m以上则为人居较多的开阔山地,次生和人工植被较多而原生植被残存较少(苟光前等, 2017; Hu et al, 2018),因此,这样的拍摄物种丰度分布特点可能与麻阳河植被及地形地貌特征有关。此外,麻阳河人为干扰较为严重,本次监测的49个位点拍摄到人为活动(RAI = 0.91),共2,313张有效照片(核心区占11.06%、缓冲区占55.76%),建议未来进一步加强社区宣传与资源保护管理。

① 贵州省现有鸟类记录 510 种,与李筑眉个人通讯(贵州省生物研究所研究员, lizml13@163.com)

致谢: 本研究得到贵州麻阳河国家级自然保护区管理局及凉桥、龚溪口、毛坝、大河坝、务川管理站的配合和帮助, 其中冉茂权、田茂其、毛洪跃、黎功荣等16名护林员参与了相机安装与维护工作, 贵州大学林学院穆浪、沈拓、田基鹏、刘坤等多名学生参与了数据处理, 在此一并致谢!

参考文献

- Chesson P (2000) Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 31, 343–366.
- Gou GQ, Wei LM, Xie SX (2017) Study on Biodiversity of Mayanghe National Nature Reserve in Guizhou Province. Guizhou Science and Technology Press, Guiyang. (in Chinese) [苟光前, 魏鲁明, 谢双喜 (2017) 贵州麻阳河国家级自然保护区生物多样性研究. 贵州科技出版社, 贵阳.]
- Guo HX, Cheng L, Cheng SL, Yuan RB, Mao YX (2019) Using auto-trigger camera to observe mating behavior of the hog-badger (*Arctonyx collaris*). *Acta Theriologica Sinica*, 39, 344–346. (in Chinese with English abstract) [郭洪兴, 程林, 程松林, 袁荣斌, 毛夷仙 (2019) 基于红外相机视频的猪獾交配行为观察. 兽类学报, 39, 344–346.]
- Guo QF, Kelt DA, Sun ZY, Liu HX, Hu LJ, Ren H, Wen J (2013) Global variation in elevational diversity patterns. *Scientific Reports*, 3, 3007.
- Hu G, Dong X, Zhou CQ, Wei Y (2018) Black Phantoms—the Francois Langurs: Their Ecology and Behavior in Southwest China. Science Press, Beijing.
- 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.]
- Jia XD, Liu XH, Yang XZ, Wu PF, Melissa S, 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 S, 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.]
- 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.]
- Li ZZ, Li DH, Li ZM, Wei G, Chen HM, Yang X (2011) List of Wildlife in Guizhou. Guizhou Science and Technology Press, Guiyang. (in Chinese) [李子忠, 黎道洪, 李筑眉, 魏刚, 陈会明, 杨兴 (2011) 贵州野生动物名录. 贵州科技出版社, 贵阳.]
- Ma KP (2011) Assessing progress of biodiversity conservation with monitoring approach. *Biodiversity Science*, 19, 125–126. (in Chinese) [马克平 (2011) 监测是评估生物多样性保护进展的有效途径. 生物多样性, 19, 125–126.]
- Ma M, Xu F, Chundawat RS, Kubanych J, Wu YQ, Ai ZZ, Zhu MH (2006) Camera trapping of snow leopards for the photo capture rate and population size in the Muzat Valley of Tianshan Mountains. *Acta Zoologica Sinica*, 52, 788–793. (in Chinese with English abstract) [马鸣, 徐峰, Chundawat RS, Kubanych J, 吴逸群, 艾则孜, 朱玛洪 (2006) 利用自动照相术获得天山雪豹拍摄率与个体数量. 动物学报, 52, 788–793.]
- 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.]
- Niu KF, Xiao Z, Wang B, Yang D, Chia LT, Zhang P, Yan XG, Wang H, Yu B, Yang TY, Fan JD, Cui DY, Zou QX, Wu AK, Wei LM, Zou H, Marco G, Cristina G, Yang YQ (2016) Population estimates and distribution of François' langurs (*Trachypithecus francoisi*) in Mayanghe National Nature Reserve, China. *Chinese Journal of Zoology*, 51, 925–938. (in Chinese with English abstract) [牛克锋, 肖志, 王彬, 杨德, Chia LT, 张鹏, 颜修刚, 王华, 余波, 杨天友, 樊均德, 崔多英, 邹启先, 吴安康, 魏鲁明, 邹浩, Marco G, Cristina G, 杨业勤 (2016) 中国麻阳河国家级自然保护区黑叶猴种群数量估计与分布. 动物学杂志, 51, 925–938.]
- 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.
- Su HJ, Li GR, Chen GP, Yao XG, Zhang MM, Hu CS (2018) A preliminary report on wildlife camera-trapping monitoring in Kuankuoshui National Nature Reserve, Guizhou Province. *Acta Theriologica Sinica*, 38, 221–229. (in Chinese

- with English abstract) [粟海军, 李光容, 陈光平, 姚小刚, 张明明, 胡灿实 (2018) 贵州宽阔水自然保护区野生动物红外相机调查初报. 兽类学报, 38, 221–229.]
- Wu AK, Luo Y, Wang SL, Chen ZR, Wang B (2006) Preliminary study on the breeding periodicity of wild Francois' langurs (*Trachypithecus francoisi*) in Mayanghe Nature Reserve, Guizhou. *Acta Theriologica Sinica*, 26, 303–306. (in Chinese with English abstract) [吴安康, 罗杨, 王双玲, 陈正仁, 王彬 (2006) 贵州麻阳河自然保护区黑叶猴繁殖周期的初步研究. 兽类学报, 26, 303–306.]
- Wu PF, Liu XH, Cai Q, He XB, Melissa S, Zhu Y, Shao XM (2012) The application of infrared camera in mammal research in Guanyinshan Nature Reserve, Shaanxi. *Acta Theriologica Sinica*, 32, 67–71. (in Chinese with English abstract) [武鹏峰, 刘雪华, 蔡琼, 何祥博, Melissa S, 朱云, 邵小明 (2012) 红外相机技术在陕西观音山自然保护区兽类监测研究中的应用. 兽类学报, 32, 67–71.]
- Xiao ZS (2016) Wildlife resource inventory using camera-trapping in natural reserves in China. *Acta Theriologica Sinica*, 36, 270–271. (in Chinese with English abstract) [肖治术 (2016) 红外相机技术促进我国自然保护区野生动物资源编目调查. 兽类学报, 36, 270–271.]
- 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.]
- 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: 肖治术 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 麻阳河国家级自然保护区红外相机监测的相机位点信息

Appendix 1 The locations of camera trapping sites in Mayanghe National Nature Reserve
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019306-1.pdf>

附录2 麻阳河国家级自然保护区红外相机所记录的鸟兽物种名录

Appendix 2 Species list of mammals and birds recorded by camera trapping in Mayanghe National Nature Reserve
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019306-2.pdf>

附录3 麻阳河国家级自然保护区红外相机所获得的重要物种图像

Appendix 3 Some pictures of endangered or dominant species captured by camera-trapping in Mayanghe National Nature Reserve
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019306-3.pdf>