



•生物编目•

# 基于红外相机技术对广东车八岭国家级自然保护区大中型兽类与雉类的编目清查与评估

肖治术<sup>1,3\*</sup> 陈立军<sup>1</sup> 宋相金<sup>2</sup> 束祖飞<sup>2</sup> 肖荣高<sup>2</sup> 黄小群<sup>1</sup>

1 (中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

2 (广东车八岭国家级自然保护区管理局, 广东韶关 512500)

3 (中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 近年来, 红外相机技术已被广泛应用于国内外自然保护地内地栖鸟兽的物种编目和动态评估。本文以广东车八岭国家级自然保护区为例, 探讨基于红外相机技术如何进行保护区全境大中型兽类和雉鸡类的物种编目清查与评估。通过对车八岭保护区全境为期1年的调查, 共记录兽类和雉鸡类18种, 其中兽类15种, 鸡形目鸟类3种。基于物种累计曲线, 采用全年数据所需的最小调查网格数、最少调查相机日均要少于雨季或旱季, 而旱季调查需要的最小调查网格数和最少调查相机日比雨季更少。通过红外相机图像数据获得了车八岭保护区的大中型兽类和地栖雉鸡类物种名录、物种丰富度、每个物种的相对多度、分布图和凭证标本等重要内容。

**关键词:** 自然保护区; 红外相机技术; 物种编目评估; 大中型兽类与雉类

## Species inventory and assessment of large- and medium-size mammals and pheasants using camera trapping in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province

Zhishu Xiao<sup>1,3\*</sup>, Lijun Chen<sup>1</sup>, Xiangjin Song<sup>2</sup>, Zufei Shu<sup>2</sup>, Ronggao Xiao<sup>2</sup>, Xiaoqun Huang<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

2 Guangdong Chebaling National Nature Reserve Administration Bureau, Shaoguan, Guangdong 512500

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

**Abstract:** Infrared-camera technology (i.e. camera trapping) has been widely used recently for species inventories and related assessment of terrestrial vertebrates in protected areas across the world. In this study, we provide a case study for how to assess species inventory data of terrestrial birds and mammals based on camera trapping in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province. Using camera trapping data from 2017 across the whole area with 80 grids (grid size, 1 km<sup>2</sup>) in the reserve, we recorded 15 medium and large mammal species and three pheasant species. Based on species accumulation curves as a function of grids and camera days when 90% of expected species richness was recorded in the reserve, the minimum grids with fixed camera days and the minimum camera days with fixed grids were less during the wet season (June–August) than during the dry season (October–December). Moreover, the minimum grids with fixed camera days and the minimum camera days with fixed grids during the dry season were less than during the wet season. Based the camera trapping data, the species inventory assessment in the reserve can cover species lists and species richness of terrestrial birds and mammals, as well as relative abundance, distribution and voucher images of each species. Therefore, the Chebaling case based on the whole-area species inventory and assessment can provide technical references for China's natural protected areas.

**Key words:** nature reserve; species inventory assessment; camera trapping; large- and medium-size mammals and pheasants

收稿日期: 2019-01-11; 接受日期: 2019-03-19

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0503802; 2016YFC0500105)、中央林业改革发展资金和中国科学院生物多样性监测与研究网络兽类多样性监测网运行经费

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

近年来,红外相机技术在我国自然保护区兽类和鸟类资源的物种编目和科学研究中得到了大力发展(李晟等,2014;肖治术等,2014a;肖治术,2016)。目前全国约80%的国家级自然保护区均布设有红外相机,每个保护区的红外相机数量在数十台到500台以上。据不完全统计,全国累计布设红外相机超过30,000台,其中东北虎豹国家公园内布设的红外相机数量已超过了5,000台,且在其未来3-5年的科研监测规划中预计将布设超过30,000台红外相机(见《东北虎豹国家公园总体规划2017-2025》征求意见稿,2017-12)。可见,红外相机技术的广泛应用为我国近期国家公园体制建设的科学决策和试点提供了科学数据支撑。然而,近期我国的野生动物调查结果显示,许多猫科、犬科、有蹄类等动物类群在各自然保护区出现了局域种群消失,或者种群数量呈现显著下降、分布区严重萎缩等情况(朴正吉等,2011,2012;Li et al,2015)。目前,由原国家林业规划研究院和中国科学院动物研究所等负责起草的《全国陆生野生动物资源调查自动相机法技术细则》已由国家林业与草原局于2017年发布实施,用于全国第二次陆生野生动物资源调查。然而,针对我国各类自然保护区尚未制定基于红外相机技术的有关监测技术规范或标准(肖治术等,2014a)。因此,我国政府应大力加强以国家公园为主体的各类自然保护地野生动物资源监测体系建设,对重要野生动植物资源进行全面清查编目和常规监测,将为我国自然保护地生态保护提供关键的基础科学数据。

本文以广东车八岭国家级自然保护区(以下简称车八岭保护区)为例,探讨基于红外相机技术如何开展保护区全境地栖鸟兽(即大中型兽类和雉鸡类)的物种清查与编目评估。其主要目标是以2017年保护区全境红外相机调查数据为基础,建立车八岭保护区大中型兽类和雉鸡类等物种编目评估的参考基线,并通过案例分析探讨红外相机技术在自然保护区鸟兽编目清查与评估中的优势和局限性。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

车八岭保护区位于广东省始兴县东南部,总面积75.45 km<sup>2</sup>,地势西北高东南低,最高峰天平架海拔1,256 m,最低处樟栋水海拔330 m。该区年均温

度19.6℃,最高温38.4℃,最低温-5.5℃。年降水量1,150-2,126 mm。森林覆盖率达95%以上,植物区系为南亚热带向中亚热带过渡类型,是南岭山脉南缘保存完整、面积较大、分布集中、原生性较强的具有代表性的中亚热带常绿阔叶林(徐燕千,1993)。

### 1.2 保护区全境清查方案

将整个车八岭保护区制作成公里网格地图(网格大小为1 km<sup>2</sup>),共设置80个调查网格,并对所有网格进行编号(图1)。采用系统抽样调查,每个网格布设1个相机位点(即1台红外相机,型号为猎科Ltl-6511MC)。对陆生大中型兽类和雉鸡类进行为期1年的物种编目调查,时间为2016年12月底至2018年1月初,每隔3-5月采集一批数据(共3批数据),更换电池和SD卡。相机位点通常以每个网格的中心点作为参考坐标点,依据地形、植被和动物活动痕迹等来进行选择,然后根据监测结果对监测位点进行适当调整。相机捆绑在树上,距地面高度约0.5 m,镜头朝向避免阳光直射,设置要求为拍照+录像模式(连拍3张+10 s视频),时间间隔1 s、灵敏度中。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。所有调查位点均不放置任何诱饵。所采集的红外相机数据和相机位点信息上传到图像数据管理系统CameraData (<http://cbl.cameradata.ioz.ac.cn/>,肖治术等,2014b),全部3次采集数据的序列号分别为CBL201704001-CBL201704080, CBL201709001-CBL201709080和CBL201801001-CBL201801080。通过CameraData对所有采集图像数据进行物种识别和相关数据信息的挖掘,由系统直接导出Excel数据表进行综合评估分析。

### 1.3 抽样评估

基于车八岭保护区80个网格单元在2017年的调查结果,本文通过稀疏曲线来评估并确定在固定调查网格数量情况下的最少调查时间以及固定调查时间下的最小网格数量,并保证全保护区90%以上的目标物种被记录到。车八岭保护区的目标物种为大中型兽类(但包括松鼠类和华南兔等可识别的小型兽类)和雉鸡类,其余物种在本文中未作分析。

分别对全年(1-12月)、雨季(5-7月)、旱季(10-12月)进行分析,考虑季节对物种抽样的影响。全保护区有部分网格由于相机丢失或未工作而导致数据缺失,其中雨季数据来自61个网格,旱季数据来自

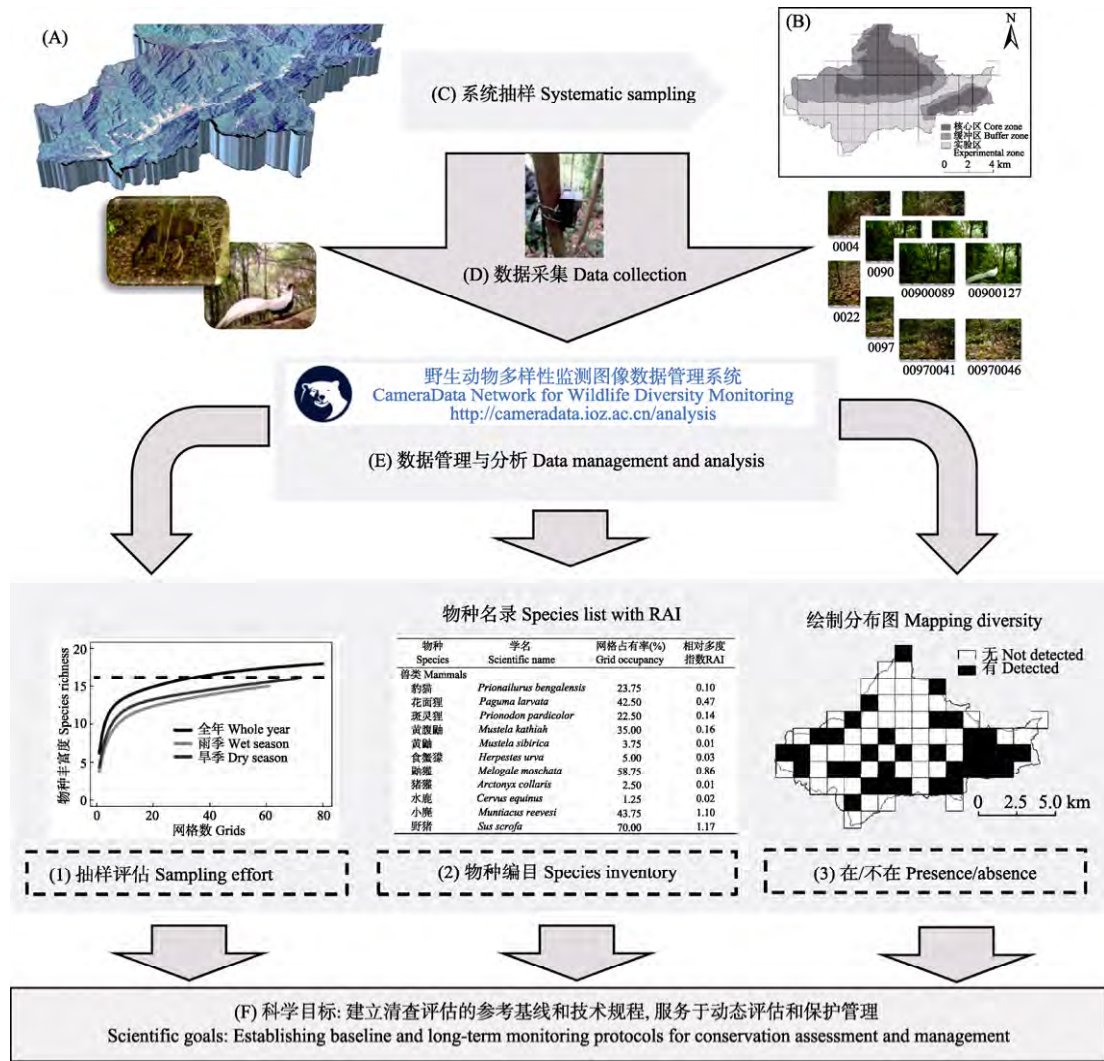


图1 基于红外相机技术对广东车八岭国家级自然保护区地栖鸟兽快速编目评估的流程

Fig. 1 Diagram for the rapid assessment of species inventory of ground-dwelling mammals and birds using camera trapping in the Guangdong Chebaling National Nature Reserve

71个网格。基于物种探测情况, 构建相机日或网格和物种数的分布矩阵, 利用R语言vegan程序包中的specaccum函数和iNEXT包(Hsieh et al, 2016)对车八岭保护区的兽类和雉鸡类的物种丰富度进行稀疏曲线分析, 以此拟合物种-抽样强度之间的关系, 可估计出全年、雨季或旱季各自达到期望90%所记录的物种数时所需的最小调查网格数和最少调查相机日(Si et al, 2014)。稀疏化分析中的抽样单位为1个相机日(每台相机连续有效工作24 h为1个相机日), 或者1个网格单元(网格大小为1 km<sup>2</sup>)。

#### 1.4 物种编目评估

通过红外相机图像数据获得车八岭保护区的大中型兽类和雉鸡类物种名录、物种丰富度、每个

物种的相对多度指数(relative abundance index, RAI)、网格占有率(grid occupancy, %)、分布图和凭证标本等重要内容(附录1-3)。

RAI为某一调查区域(保护区)内, 每100个单位相机日所获取某一物种在所有相机位点( $i = 1, 2, \dots$ )的独立有效照片数(Kawanishi et al, 1999; O'Brien et al, 2003; Azlan & Sharma, 2006), 其计算公式如下:

$$RAI = \frac{\sum_{i=1} d_i}{\sum_{i=1} t_{n_i}} \times 100 \quad (1)$$

其中,  $t_{n_i}$ 为相机位点*i*的相机工作日,  $d_i$ 为相机位点*i*

拍摄某一物种的独立有效照片数。

网格占有率也被称为物种相机位点出现率,指某一调查区域内,某物种被拍到的网格单元数或相机位点数占所有正常工作的网格单元数的百分率。

以花面狸(*Paguma larvata*)在车八岭保护区不同网格的有/无探测以及RAI值的分布情况为例,制作了该物种在全年、雨季和旱季的分布图。

## 2 结果

### 2.1 抽样评估

采用全年、雨季或旱季来抽样调查车八岭保护区大中型兽类和鸡形目物种所需的调查强度不同。采用全年数据所需的最小调查网格数、最少调查相机日均要少于雨季或旱季(图2,表1)。记录全保护区90%的物种数时,全年调查所需的最小调查网格数为35个,而旱季调查所需的最小调查网格数为77个(因11%的网格缺失数据),雨季调查所需的最小

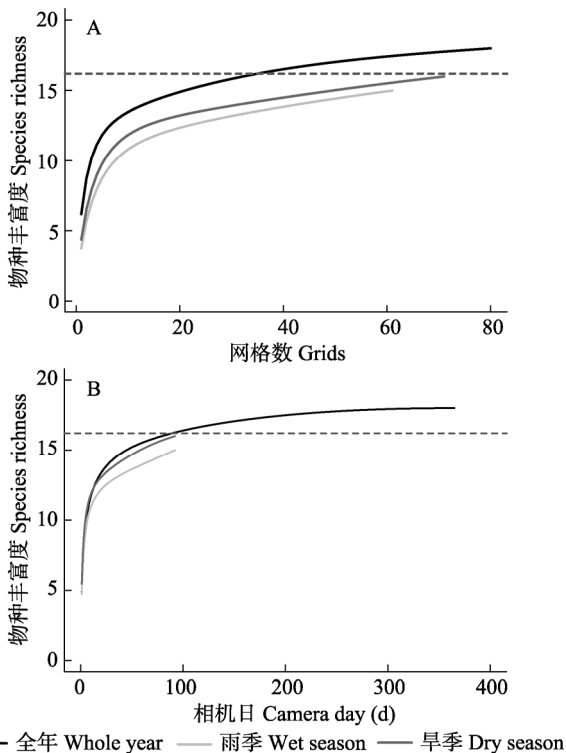


图2 稀疏曲线分析物种与抽样强度之间的关系(2017)。A, 基于调查网格数的物种丰富度累计曲线; B, 基于相机日的物种丰富度累计曲线。虚线为车八岭国家级自然保护区所记录的期望物种数达90% (N = 18)的参考线。

Fig. 2 Species accumulative curve based on grids (A) and camera days (B) (2017). Dash line indicates 90% of expected species richness recorded in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province.

表1 广东车八岭国家级自然保护区全境红外相机清查编目结果汇总与稀疏曲线抽样评估(2017年)

Table 1 Summary of species inventory and rarefaction sampling assessments based on camera trapping data in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province (2017)

抽样季节 Sampling season	全年 Whole year	雨季 Wet season	旱季 Dry season
网格数 Grids	80	80 (61 <sup>+</sup> )	80 (71 <sup>+</sup> )
总相机日 Total camera day	25,876	5,612	6,532
物种数 Species richness	18	15	16
稀疏曲线分析 Rarefaction curve analysis <sup>#</sup>			
最小调查网格数 Minimum grids	35	91	77
最少调查相机日 Minimum camera days (≥ 90 d/grid)	7,200	8,845 (≥ 110 d/grid)	7,313 (≥ 92 d/grid)

\* 为雨季和旱季有数据的网格数,因部分网格有相机丢失或未工作而造成数据缺失。# 达到评估抽样期望物种数的90%时所需的最小调查网格数(相机日固定)和最少调查相机日(网格数固定)。

\* The data were missing for some grids due to camera loss or malfunction during the wet or dry seasons; # The minimum grids with fixed camera days and the minimum camera days with fixed grids when 90% of expected species richness is recorded in a given nature reserve.

调查网格数为91个(因近25%的网格缺失数据)。记录全保护区90%的物种数时,全年和旱季调查所需的最少调查相机日均为不小于90 d(所有网格调查时间累计不低于7,200 d),但雨季调查所需的最少调查相机日略长一些,为不少于110 d(所有网格调查时间累计不低于8,800 d)(表1)。因此,由于部分网格缺失数据,雨季或旱季的最小调查网格数或最少调查相机日均高于全年的抽样强度,而在相同调查相机日时雨季比旱季需要的调查网格数更多或每个调查网格需要的调查时间更长。

### 2.2 物种编目评估

通过对车八岭保护区全境为期1年的调查,共记录大中型兽类和雉鸡类18种,其中兽类有15种,分别隶属于食肉目(8种)、啮齿目(3种)、兔形目(1种)和偶蹄目(3种);鸡形目鸟类3种,即白鹇(*Lophura nycthemera*)、灰胸竹鸡(*Bambusicola thoracica*)和白眉山鹇(*Arborophila atrogularis*) (附录1),凭证影像见附录3。国家II级重点保护物种有白鹇、水鹿(*Cervus equinus*)和斑灵狸(*Prionodon pardicolor*)等3种,其中水鹿为车八岭保护区2003年开展红外相机调查以来首次获得该物种的清晰影像。与全年的调查结果相比,雨季共记录15种,未记录到赤腹松鼠

(*Callosciurus erythraeus*)、食蟹獾(*Herpestes urva*)和水鹿, 而旱季调查共记录16种, 未记录到黄鼬(*Mustela sibirica*)和赤腹松鼠(附录1)。在雨季或旱季未被记录到物种的RAI指数和网格占有率均较低, 仅分布在保护区的1-4个网格内, 表明对于RAI指数或占域率较低的物种需要更大的抽样强度才能记录这些物种。

每个物种的RAI指数和网格占有率在全年、雨季和旱季均呈现相似的结果。白鹇的RAI指数和网格占有率最高, 其次为红腿长吻松鼠(*Dremomys pyrrhomerus*)、赤麂(*Muntiacus vaginalis*)、野猪(*Sus scrofa*)、鼬獾(*Melogale moschata*)、白眉山鹧鸪和灰胸竹鸡等(附录1)。花面狸在全年、雨季和旱季的分布格局基本相似, 但旱季的网格分布明显低于雨季(附录2)。

### 3 讨论

通过对车八岭保护区全境红外相机调查所获得的为期一年的物种编目结果进行综合评估分析, 建立了该保护区基于红外相机数据开展全境清查评估的技术方案及参考基线。

相比传统编目调查, 红外相机技术为开展保护区全境资源本底编目评估及进一步制定清查技术规程提供了新的技术方法, 使编目结果具有可重复性、可比性和长效性。通过红外相机技术可全面客观地掌握自然保护区陆生大中型兽类和雉鸡类等重要物种(类群)的种群、群落动态和分布等重要编目内容, 并提供所记录物种的清晰影像作为凭证标本。2017年的红外相机调查结果记录兽类15种和雉鸡类3种, 分别占保护区物种库(徐燕千, 1993)的47%和43%。红外相机技术重点用于大中型兽类和松鼠类等昼行性小兽调查。对鸟类调查来说, 红外相机方法对地栖鸟类(特别是雉鸡类)的调查比较充分, 但对森林中上层活动鸟类的调查极为有限, 应辅以样线调查和其他鸟类调查方法, 以对保护区鸟类进行全面调查。通过物种累计曲线分析, 要达到期望90%以上的物种编目要求, 只需在旱季完成3-4个月的调查即可满足, 除非需进行季节比较分析, 可不必采用全年调查。通过保护区全境编目清查与评估获得了保护区内重要物种种群的详实分布情况, 这是传统编目调查难以实现的。然而, 近30年来, 保护区内缺乏系统监测调查和有效的观测

技术方法, 许多物种的存在与否难以判定, 缺乏实体标本和影像凭证。目前, 貉(*Nyctereutes procyonoides*)、金猫(*Catopuma temminckii*)、云豹(*Neofelis nebulosa*)、豹(*Panthera pardus*)、华南虎(*P. tigris*)、红颊鬣(*Herpestes javanicus*)、水獭(*Lutra lutra*)、狗獾(*Meles meles*)、小灵猫(*Viverricula indica*)、毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*)、黑麂(*Muntiacus crinifrons*)、小麂(*M. reevesii*)、中华斑羚(*Naemorhedus caudatus*)、中华穿山甲(*Manis pentadactyla*)等14种大中型兽类可能已经消失了, 但仍需进一步确证。

本研究基于红外相机技术开展保护区物种清查与评估仍有一定的局限性:

(1)相机由于易受亚热带和热带高热高湿的气候影响而有较为严重的损坏, 容易造成雨季数据存在较多缺失而导致抽样不足。因此, 基于红外相机技术对地栖鸟兽进行编目调查时, 在诸如广东车八岭等类似条件的保护区应尽可能选择在旱季进行调查。当然, 为了保证保护区内一些稀有、隐秘的重要物种被调查到或者确证其存在与否, 在条件许可的情况下增加调查时间或增加每个网格单元的调查位点密度也是非常必要的。

(2)广东车八岭保护区面积不大, 加上地形条件有利, 能实现保护区全境的系统清查编目(浙江古田山的全保护区编目结果也是如此, 见陈声文等, 2016)。但是本文所提出的解决方法在面积超过300 km<sup>2</sup>或更大面积的保护区如何实现全境物种清查与编目评估时仍面临巨大人力和物力的挑战。根据这些保护区的植被、海拔、地形等环境梯度按分层抽样方法可能更有利于完成这些保护区的系统编目调查和评估。

致谢: 野外调查工作得到了广东车八岭国家级自然保护区管理局和当地村民的积极支持和帮助。图1A的车八岭地形图由中国科学院遥感与数字地球研究所马勇博士提供。

### 参考文献

- Azlan JM, Sharma DSK (2006) The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia. *Oryx*, 40, 36-41.
- Chen SW, Yu JP, Chen XN, Shen XL, Li S, Ma KP (2016) Camera-trapping survey on the diversity of mammal and pheasant species in Gutianshan National Nature Reserve,

- Zhejiang Province. *Acta Theriologica Sinica*, 36, 292–301. (in Chinese with English abstract) [陈声文, 余建平, 陈小南, 申小莉, 李晟, 马克平 (2016) 利用红外相机网络调查古田山自然保护区的兽类及雉类多样性. *兽类学报*, 36, 292–301.]
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A (2016) iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451–1456.
- Kawanishi K, Sahak AM, Sunquist M (1999) Preliminary analysis on abundance of large mammals at Sungai Relau, Taman Negara. *Journal of Wildlife and Parks*, 17, 62–82.
- 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 XH, Jiang GS, Tian HD, Xu L, Yan C, Wang ZW, Wei FW, Zhang ZB (2015) Human impact and climate cooling caused range contraction of large mammals in China over the past two millennia. *Ecography*, 38, 74–82.
- 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.
- Piao ZJ, Sui YC, Cui ZG, Zhang GL, Wang Q, Fu XK (2011) The history and current status of felid population in Changbai Mountain Nature Reserve. *Chinese Journal of Zoology*, 46, 78–84. (in Chinese with English abstract) [朴正吉, 睢亚臣, 崔志刚, 张国利, 王群, 傅学魁 (2011) 长白山自然保护区猫科动物种群数量变化及现状. *动物学杂志*, 46, 78–84.]
- Piao ZJ, Piao LG, Wang ZC, Luo YM, Wang C, Sui YC (2012) Population size variation of black bear (*Ursus thibetanus*) and brown bear (*U. arctos*) between 1986 to 2010 in the Changbai Mountain Nature Reserve, China. *Chinese Journal of Zoology*, 47, 66–72. (in Chinese with English abstract)
- [朴正吉, 朴龙国, 王卓聪, 罗玉梅, 王超, 睢亚橙 (2012) 长白山自然保护区黑熊和棕熊种群数量动态分析. *动物学杂志*, 47, 66–72.]
- Si X, Kays R, Ding P (2014) How long is enough to detect terrestrial animals? Estimating the minimum trapping effort on camera traps. *PeerJ*, 2, e374.
- Xiao ZS (2016) Wildlife resource inventory using camera-trapping in nature reserves in China. *Acta Theriologica Sinica*, 36, 270–271. (in Chinese) [肖治术 (2016) 红外相机技术促进我国自然保护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 (2014a) 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 (2014a) 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.]
- Xiao ZS, Li XH, Jiang GS (2014b) An introduction to CameraData: An online database of wildlife camera trap data. *Biodiversity Science*, 22, 712–716. (in Chinese with English abstract) [肖治术, 李欣海, 姜广顺 (2014b) 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.]
- Xu YQ (1993) A comprehensive report on investigation in Chebaling National Nature Reserve. In: *Collected Papers for Investigation in Chebaling National Nature Reserve* (ed. Editorial Committee of Collected Papers for Investigation in Chebaling National Nature Reserve), pp. 1–7. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou. (in Chinese with English abstract) [徐燕千 (1993) 车八岭国家级自然保护区调查研究综合报告. 见: *车八岭国家级自然保护区调查研究论文集* (车八岭国家级自然保护区调查研究论文集编委会编), 1–7页. 广东科技出版社, 广州.]

(责任编辑: 蒋志刚 责任编辑: 黄祥忠)

## 附录 Supplementary Material

附录1 广东车八岭国家级自然保护区红外相机所记录的大中型兽类和雉鸡类物种的网格占有率和相对多度指数

Appendix 1 Grid occupancy (%) and relative abundance index (RAI) for each mammal and pheasant species based on camera trapping data in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019008-1.pdf>

附录2 花面狸(*Paguma larvata*)在广东车八岭国家级自然保护区全年的探测分布图及相对多度分布图(RAI指数)

Appendix 2 Mapping the distribution of *Paguma larvata* based on detection and relative abundance index (RAI) in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019008-2.pdf>

附录3 广东车八岭国家级自然保护区重要物种的凭证影像标本(基于红外相机图像)

Appendix 3 Voucher images for each mammal and pheasant species recorded by camera trapping in the Chebaling National Nature Reserve, Guangdong Province  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019008-3.pdf>