

# 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

李 晟<sup>1\*</sup> 王大军<sup>1</sup> 肖治术<sup>2</sup> 李欣海<sup>2</sup> 王天明<sup>3</sup> 冯利民<sup>3</sup> 王 云<sup>4</sup>

1 (北京大学生命科学院, 北京 100871)

2 (中国科学院动物研究所, 北京 100101)

3 (北京师范大学生命科学院, 北京 100875)

4 (中国交通运输部科学研究院, 北京 100029)

**摘要:** 20年来, 红外相机技术在国内外野生动物研究、监测与保护中得到了广泛应用。基于红外相机技术, 我国在野生动物生态学研究、动物行为学研究、稀有物种的探测与记录、动物本底资源调查、生物多样性监测及保护地管理与保护评价等领域取得了众多成果。目前, 数学模型、统计分析方法和新的概念正在促进红外相机技术在野生动物监测研究与保护管理中的发展和推广应用。同时, 随着红外相机技术的成熟、成本降低和应用普及, 这一技术也将会被更多的野生动物研究人员、管理人员和自然保护区管理者所采用, 并成为全国各级保护地和区域生物多样性监测研究的关键技术和方法。今后, 建立并完善系统化的监测网络和数据共享平台、开发新一代的数据分析方法与模型, 将是此项技术进一步发展和应用的主要方向。

**关键词:** 红外相机, 野生动物保护, 监测指标, 种群参数, 生态学模型

## Camera-trapping in wildlife research and conservation in China: review and outlook

Sheng Li<sup>1\*</sup>, Dajun Wang<sup>1</sup>, Zhishu Xiao<sup>2</sup>, Xinhai Li<sup>2</sup>, Tianming Wang<sup>3</sup>, Limin Feng<sup>3</sup>, Yun Wang<sup>4</sup>

1 School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

3 School of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875

4 China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029

**Abstract:** During the last two decades, infrared-triggered camera-trapping has been widely used in wildlife and biodiversity research and conservation. In the areas of wildlife ecology research, animal species inventory, biodiversity monitoring and protected area management in China, considerable outputs have been produced by scientific research and conservation applications based on camera-trapping. This technique has been successfully used to detect rare or elusive species, conduct biodiversity inventory, study animal behavior, estimate population parameters, and evaluate the effectiveness of protected area management. Along with the rapid development of modern ecological analysis and modeling tools, camera-trapping will play a more important role in wildlife research at various levels. Meanwhile, along with improvements in techniques, decreasing cost and increasing application interests, camera-trapping will be adopted by more researchers, wildlife managers and protected areas, and can be used for systematic wildlife monitoring using standard protocols. Efforts devoted to its future development and applications should focus on establishing systematically-designed monitoring networks and data-sharing protocols, and developing new analytical approaches and statistical models specifically based on camera-trapping data.

**Key words:** camera-trapping, wildlife ecology, monitoring index, population parameter, ecological modeling

收稿日期: 2013-09-25; 接受日期: 2014-11-13

基金项目: 国家自然科学基金(31270567, 31200410)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: shengli@pku.edu.cn

在野生动物研究领域, 红外相机技术是红外触发相机陷阱技术(infrared-triggered camera-trapping)的简称, 也被称作红外触发拍摄技术(infrared-triggered photography), 通常也被简称为红外相机技术。该技术是相机陷阱调查技术(camera-trapping)中的一类, 是指使用红外感应设备在无人操作的情况下, 自动拍摄野生动物的静态照片或动态影像的技术与方法(Cutler & Swann, 1999)。红外相机装置的核心部件是红外/热传感器。根据红外传感器工作原理的不同, 可以把红外相机分为被动式和主动式两种(图1)。通常, 广义的红外相机技术还包括相关的相机数据分析方法、模型和原理框架。

红外相机的前身为采用多种机械方式(绊绳、踏板等)触发的相机陷阱(camera trap), 其历史可以追溯到19世纪末20世纪初, 用来拍摄和记录野生动物(Sanderson & Trolle, 2005; Kucera & Barrett, 2011)。20世纪90年代中期以后, 采用红外传感器的相机陷阱被摄影家、生物学家、猎人等越来越广泛地用于各个领域(Kucera & Barrett, 2011)。2005年前后, 数码照相技术与红外相机技术相结合, 生产出了新一代数码红外相机装置, 性能得到极大提升, 有力地促进了其在野生动物研究中的应用。2010年之后, 数码红外相机的性能得到进一步完善, 价格也大幅下降, 被广泛应用于野生动物种群监测、多样性调查、种群密度评估等科研和保护工作(Cutler & Swann, 1999; O'Connell *et al.*, 2011; 李勤等, 2013)(图2A)。

红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与国外基本同步, 也始于20世纪90年代中期, 首先在云南省高黎贡山地区(马世来和Harris, 1996)和台湾地区(Pei, 1995; 裴家骥, 1998), 被用于野生动物物种分布的记录和活动模式的研究。2002年开始, Li等(2010b)在西南地区的有关自然保护区推广和普及红外相机调查技术, 与传统的生物多样性监测相结合, 以建立更为有效和标准化的大中型兽类监测网络。随后, 红外相机技术在国内被越来越多地应用于野生动物的科研、保护和管理。随着2010年之后此技术的进一步普及, 相关的研究成果从2013年开始呈现出快速增长(图2B)。

本文首先回顾红外相机技术在我国野生动物监测研究和保护管理中取得的重要进展, 然后将根据近年来国内外的发展趋势, 探讨我国红外相机技术进一步应用的前景。

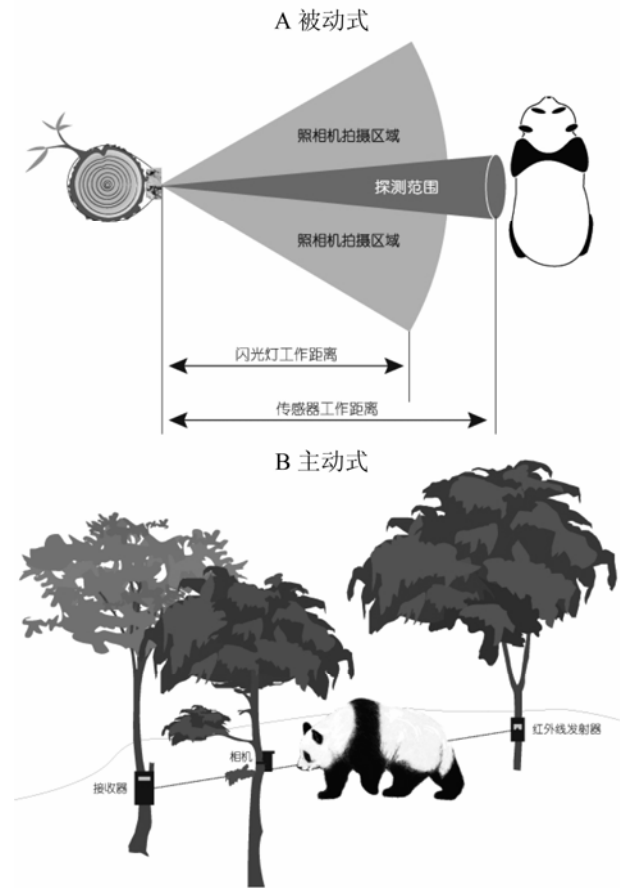


图1 被动式(A)与主动式(B)红外相机装置工作原理示意图(绘图: 于薇)

Fig. 1 The mechanism of passive (A) and active (B) infrared-triggered camera-trapping devices

## 1 应用领域及研究进展

### 1.1 野生动物本底资源调查

红外相机装置隐蔽和能够持续工作的特点使其十分适用于探测活动隐秘、数量稀少的动物。由于前期研究与历史数据的缺乏, 我国许多区域野生动物本底资源仍不清楚, 科学家和保护管理者对很多地区野生动物物种的组成与分布等本底信息了解很少。因此, 红外相机被用于探测和记录众多珍稀物种在特定区域内的存在与否, 包括荒漠猫(*Felis bieti*)(Yin *et al.*, 2007)、华南虎(*Panthera tigris amoyensis*)(Tilson *et al.*, 2004)、印支虎(*P. t. corbetti*)(Feng *et al.*, 2008)、雪豹(*Uncia uncia*)(马鸣等, 2006)、远东豹(*Panthera pardus orientalis*)(Feng *et al.*, 2011)、华北豹(*P. p. japonensis*)(宋大昭等, 2014), 并用于研究野外难以观察的夜行性倭蜂猴(*Nycticebus*

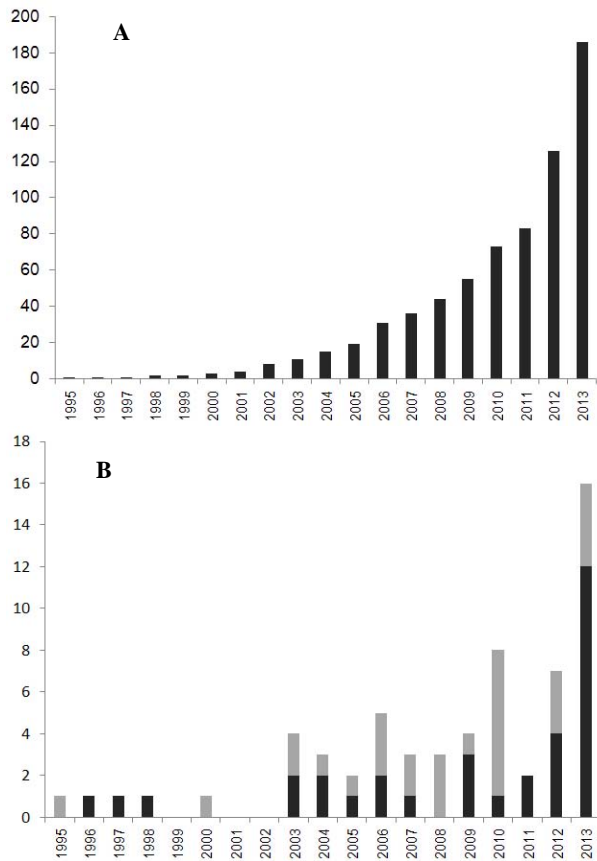


图2 20世纪90年代中期以来全球(A)和国内(B)应用红外相机技术的野生动物研究文献篇数。(A)全球英文学术论文数量。数据来源为Web of Science™期刊论文数据库。我们以“camera trap”和“camera trapping”为主题检索词,统计每年发表的英文科学论文数量。检索的学科领域包括:生态学,动物学,生物多样性保护,环境科学,生物学,鸟类学,林业,行为学和进化生物学。非野生动物相关的文献已被剔除。(B)国内研究发表的学术论文数量(英文为灰色,中文为黑色)。数据来源包括中国知网CNKI中文期刊数据库、中国期刊网全文数据库、Web of Science™期刊论文数据库和作者的收集(以上数量统计均只计数发表在学术刊物上的研究论文,不包括与红外相机技术和数据相关的研究报告、会议摘要、学术专著、新闻报道、科普著作等)。

Fig. 2 Annual publication of peer-reviewed articles on wildlife research involving camera-trapping since mid-1990s. (A) Number of articles published in English globally. Data source: Web of Science™ database. Searching key words: “camera trap” and “camera trapping”. Searched area: Ecology, Zoology, Biodiversity Conservation, Environment Science, Biology, Ornithology, Forestry, Ethology and Evolution. Articles that are not related to wildlife are excluded. (B) Number of articles of research conducted in China (grey for articles published in English, black for that in Chinese). Data source: CNKI database, Web of Science™ database, and the authors’ collection. (Only include articles published on peer-reviewed academic journals, not include the project reports, conference abstracts, monographs, news reports, educational articles etc. that involving camera trapping)

*pygmaeus*)和蜂猴(*N. bengalensis*)(余梁哥等, 2013)。近年来红外相机被越来越广泛地应用于自然保护区和偏远地区的生物多样性本底调查,作为野外调查的重要手段之一,记录这些区域内生活的大中型兽类和大型地栖鸟类的情况(卢学理等, 2005; 刘芳等, 2012)。据不完全统计,目前我国各地通过红外相机所记录的兽类已超过100种,鸟类已超过150种(来自首届野生动物多样性红外相机监测培训研讨会提交的墙报资料, 2014),充分显示了运用红外相机技术调查兽类和地栖性鸟类本底资源的优势。

## 1.2 动物行为学研究

红外相机能够在野外24 h不间断地持续工作,因此在野生动物的行为学研究中,被用来评估雉类(Li *et al.*, 2010a; 赵玉泽等, 2013)、小型食肉类(Chen *et al.*, 2009)和有蹄类(李明富等, 2011; 章书声等, 2012)等多种动物的活动节律和时间分配。按照“特定时间段内动物被红外相机记录到的概率与其本身活动强度成正相关”的前提假设,基于红外相机的照片拍摄率可确定目标物种的活动强度指数(relative activity index, RAI),从而评估目标物种的日活动强度和日活动节律(李明富等, 2011)。利用红外相机拍摄的视频片段,还可研究大型猫科动物(如东北虎(*P. t. altaica*)和远东豹)领地标记行为(冯利民, 个人交流)。此外,红外相机还被用来确定在四川岷山的森林生态系统中取食动物尸体的食肉类和食腐类动物的类别(Wang *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2014),记录青藏高原上雪豹等食肉动物的气味标记行为(Li *et al.*, 2013),记录和监测阿尔金山北坡野生动物对于水源地的利用(薛亚东等, 2014),记录巢捕食行为(王佳佳等, 2014; 李敏等, 2014)。

## 1.3 种群及群落参数估算

### 1.3.1 种群数量及密度

估算动物种群的数量及密度是红外相机技术应用中的重点。对于能够根据动物体表特征进行个体识别的物种,红外相机获取的调查数据可以在“标记-重捕”模型(Mark-Recapture Model或Capture-Recapture Model)的理论框架下,使用专用数据分析软件(例如MARK, CAPTURE等)(表1)估算此物种的种群大小和密度(Karanth, 1995; Karanth & Nichols, 1998)。个体识别可以基于动物本身的自然特征,例如猫科动物的体表斑纹(Karanth, 1995; Jackson *et al.*, 2006),也可以基于人为标记,例如佩戴的耳

标、颈圈的编号等(Carthew & Slater, 1991; Martorello *et al.*, 2001)。其中, 红外相机在可基于自然特征进行个体识别的动物中应用最为广泛, 在国内被用于估算雪豹(马鸣等, 2006)、东北虎等大型猫科动物的种群现状。Royle等(2009)还开发出空间“标记-重捕”模型(Spatially Explicit Capture-Recapture, SECR), 充分考虑了不同动物个体在调查位点空间阵列中移动时, 经过特定位点的概率和在此位点上被探测到的概率, 将传统的非空间封闭种群模型和描述点过程的模型相结合, 形成一个等级模型(Hierarchical Model), 采用贝叶斯方法对此模型输出的数据进行累加分析, 从而更加准确地估算目标物种的种群密度。不过, “标记-重捕”模型能够适用的物种种类比较有限, 大部分的野生动物物种不具有个体特异性的体表特征, 难以通过照片进行个体识别。

近年来, Rowcliffe等(2008)发展出一个基于动物个体随机运动和相机探测模式的理论框架, 通过测量动物个体或群体移动速度、相机设置的方位和朝向、动物被相机记录时的距离和角度, 利用气体分子碰撞率模型计算单个动物个体或群体被红外相机探测到的概率, 进而估算出研究区域内动物个体或群体的总数量。章书声等(2013)利用气体分子碰撞率模型对浙江古田山森林生态系统中啮齿类的密度进行了估算。但是, 由于动物个体随机运动的前提假设与现实情况中的动物运动模式之间存在较大差异, 这一模型的应用还有很多局限(Foster & Harmsen, 2012), 迫切需要发展一些新的种群模型来估计种群密度。

### 1.3.2 种群相对多度

估算动物种群的数量和密度(绝对多度)对数据的质量、相机的野外设置和后期的数据分析有比较高的要求, 需要花费比较大的人力和物力。因此, 在很多野生动物调查和管理项目中, 更为简单、直观的相对多度指标实际上得到了更广泛的应用。相对多度是基于相机拍摄率计算得到指数(通常表述为相对多度指数Relative Abundance Index), 用以代表动物种群的相对数量, 指数越高, 表明此物种的种群数量越大。相对多度指数的数值不能转换为绝对的种群数量, 不同物种的相对多度指数之间的比较则更需要谨慎, 因为除了与种群数量相关之外, 红外相机对特定物种的拍摄率还会受到动物体型、

行为模式、社会结构等方面的影响(Li *et al.*, 2012b)。李晟等(2014)基于红外相机数据计算了秦岭南坡同域分布的7种有蹄类在不同海拔段的相对多度指数, 以研究有蹄类动物群落的组成和垂直分布特征。肖治术等(2014a)应用红外相机数据分析了四川汶川地震后龙潭-虹口自然保护区内光光山峡谷区的兽类和鸟类的相对丰度。

### 1.3.3 占有率

占域模型(Occupancy Analysis Model)由Mackenzie等(2002, 2006)提出, 可以在目标物种占据某区域但不能每次都被探测到的情况下, 通过多次重复调查, 从而科学地估算单次调查对目标物种的探测概率(detection probability), 进而估算出特定位点或区域被目标物种占有的概率。由于可以方便地把每个位点上的调查历史分为若干连续的重复取样单元, 红外相机调查的数据十分适合采用这种模型进行分析(Mackenzie *et al.*, 2006)。近年来, 此模型已被国内研究者用于多种野生动物红外相机调查数据的分析(Li *et al.*, 2010a, 2012a; Wang *et al.*, 2014), 物种的占有率和探测概率也被越来越广泛地用作红外相机调查或监测项目中的重要种群参数(Li *et al.*, 2012a)。

### 1.3.4 群落内物种丰度

无论采用哪种调查方法, 随着调查工作量的增加, 都可以绘制出物种丰度累积曲线(species accumulation curve; Li *et al.*, 2012b), 进而估算调查区域内特定动物类群的物种数。通过把红外相机调查数据的总工作量划分为若干连续的重复取样单元, 可以利用在“标记-重捕”模型的基础上发展的SPECRICH2 程序(<http://mbr-pwrc.usgs.gov/software/specrich2.shtml>)(Rexstad & Burnham, 1991; Hines *et al.*, 1999), 估算大中型陆栖动物群落的物种丰度(Li *et al.*, 2012b)。Li等(2012b)使用此模型估算了四川王朗自然保护区内大中型兽类群落的物种丰度, 并与传统的痕迹样线监测数据进行了对比。该研究结果显示: 模型估算出的物种丰度高于调查中直接记录到的物种数, 而红外相机监测比传统的痕迹样线监测更为有效; 红外相机与痕迹样线相结合, 则能够更全面、更高效地记录到区域内的物种。Si等(2014)在物种增长曲线的基础上, 探讨了要完整记录动物群落内物种丰度所需的最少红外相机工作量。

表1 红外相机技术在我国不同尺度野生动物研究中的应用及评估参数  
Table 1 Applications of camera-trapping in China's wildlife research

研究尺度 Scale	研究内容 Research topic	评估指标 Index	模型/算法 Model	独立计算机程序 Computer program	国内应用案例 Study cases in China
个体 Individual	活动节律 Activity pattern	活动强度指数 Relative activity index	基于照片拍摄率 Based on photographic rate	-	Li <i>et al.</i> , 2010a; 李明富等, 2011; 赵玉泽等, 2013
	动物集群行为 Group behavior	集群大小 Group size	基于照片拍摄率 Based on photographic rate	-	黄沛琳 <sup>①</sup> , 2014
	巢捕食Nest predation	捕食率 Predation rate	基于巢捕食率 Based on nest predation rate	-	李敏等, 2014; 王佳佳等, 2014
	相对多度 Relative abundance	相对多度指数 Relative abundance index	基于照片拍摄率 Based on photographic rate	-	Li <i>et al.</i> , 2014; 李晟等, 2014; 肖 浩术等, 2014
	种群大小/密度 Population size/density	种群数量/密度 Population size/density	"标记-重捕"模型 Capture-recapture model	MARK, CAPTURE	马鸣等, 2006
群落 Community	栖息地占有 Occupancy	占有率, 探测概率 Occupancy rate, detection probability	"空间-重捕"模型 SECR	-	肖文宏, 2014
	空间分布 Spatial distribution	栖息地适宜度 Habitat suitability	"基于动物运动模式和相机探测模式的模型" b 基于动物运动模式和相机探测模式的模型	-	章书声等, 2013; 李欣海等, 2014
	物种多样性 Biodiversity	物种丰富度 Species richness	单物种占域模型 Single-species occupancy model	PRESENCE	Li <i>et al.</i> , 2010a; Li <i>et al.</i> , 2012a; Wang <i>et al.</i> , 2014; 李雪娇 <sup>②</sup> , 2013; 肖文宏, 2014
	种间作用 Inter-species interaction	物种共存, 活动节律重叠 Occupancy rate, species co-occurrence, activity overlap	物种分布模型 Species distribution models	SPECRICH2	Li <i>et al.</i> , 2012b
	群落动态 Community dynamic	野生动物图片指数 Wildlife Picture Index, WPI	基于封闭种群"标记-重捕"模型 Mark-recapture modeling-close population model	PRESENCE, OVERLAP package in R	肖文宏, 2014
景观 Landscape	迁移通道与栖息地连通性 Movement corridor and habitat connectivity	栖息地适宜度, 迁移代价 Habitat suitability, movement cost	多物种占域模型 Multiple-species occupancy model	-	暂无
			占域模型 Occupancy model	CIRCUITSCAPE	Wang <i>et al.</i> , 2014

<sup>a</sup> 可以根据照片对目标动物进行个体识别; <sup>b</sup> For animal species that can be individually identified based on camera-trapping photograph;  
<sup>b</sup> 不可以根据照片对目标动物进行个体识别; <sup>b</sup> For animal species that can not be individually identified based on camera-trapping photograph;  
<sup>①</sup> 黄沛琳 (2014) 东北梅花鹿种群丰富度、占据率、活动节律和集群行为研究. 北京师范大学硕士学位论文.  
<sup>②</sup> 李雪娇 (2013) 基于相机陷阱法的东北虎猎物种群密度、分布和占据率研究. 北京师范大学硕士学位论文.

### 1.3.5 群落动态

依托标准化的红外相机监测平台,结合生态学模型与统计方法,就可以通过长期连续的监测,评估动物群落的总体动态变化。O'Brein等(2010)基于占域模型设计的野生动物图片指数(Wildlife Picture Index, WPI),就是一个在群落水平上评估野生动物变化趋势的指标,并已经在中南美洲等地区得到了实践应用(Ahumada *et al.*, 2013)。在我国,还未见有基于红外相机数据的动物群落动态的研究发表,但随着监测数据的积累,目前已经有研究者在开展这方面的工作。可以预期,在今后两年内将有相关成果发表,以填补国内这方面的空白。

## 1.4 生物多样性监测与保护管理

### 1.4.1 保护区动物监测

我国各级自然保护区和其他保护地(protected area)是我国生物多样性保护的重要区域,而对这些保护区内野生动物进行清查和长期监测,是各级自然保护区的重要职责之一。在以大中型地栖野生动物为主要保护或管理对象的森林生态系统类型的保护区中,样线调查(计数目击或痕迹多度)是传统的动物种群监测和调查的主要手段。目前,红外相机技术正在广泛用于这些保护区野生动物的监测研究和保护管理中(Martins *et al.*, 2007, Li *et al.*, 2010b; 武鹏峰等, 2012)。在荒漠生态系统类型的保护区内,这项技术也得到了越来越广泛的应用。薛亚东等(2014)在阿尔金山北坡的研究显示,基于水源地的红外相机监测是荒漠生态系统有效的野生动物调查方法,所获取的数据和信息可以为荒漠地区水资源管理和保护提供参考。相比传统监测手段,红外相机调查可以提供更为准确的数据和更为丰富的信息,例如动物出现的具体时间、先后次序和社会结构等(李晟, 2009; Li *et al.*, 2010a)。通过将红外相机调查技术与传统监测方法的整合,新的监测体系在工作效率、成本花费、数据质量和数据深入挖掘的潜力等方面都可以得到相当程度的改善(Li *et al.*, 2010b, 2012b)。因此,在四川、陕西、吉林等地的自然保护区体系中,红外相机技术作为一种新的监测方法,已经被纳入保护区的大中型地栖野生动物监测系统,不仅仅在单个保护区内,还在涉及相邻多个保护区的范围内,建立起局域性的系统化监测网络(Li *et al.*, 2010b)。相关的保护区主管部门也正在编写相应的地方性行业技术标准(古晓东等,

个人交流),以对红外相机调查技术在保护区内的应用进行标准化规范。

### 1.4.2 保护地管理成效评估

除了自然保护区之外,在我国还广泛存在着多种多样的其他保护地(protected area)类型,包括国家公园、森林公园、社区保护地等。在保护地的管理中,红外相机技术被用于获取野生动物分布数据,通过建模和统计分析来评估野生动物的数量和分布对于保护行动的响应(Wang *et al.*, 2006)、保护地管理措施的有效性(Li *et al.*, 2012a)和特定栖息地类型中野生动物群落的多样性和不同营养级结构的完整性(Datta *et al.*, 2008; McShea *et al.*, 2009)。红外相机可以在调查中同时获取不同野生动物物种的分布和多度数据,使得我们可以在这些评估中对调查区域内的整个大中型兽类群落作出分析,估算各个物种的种群参数,判明保护地的保护行动对哪些物种具有正面的作用。Li等(2012a)使用标准化的红外相机调查方案,对我国西南地区一系列的自然保护区和林场的大中型兽类进行了系统的取样和调查。结果显示,保护地的管理水平高低对大部分大中型兽类物种的栖息地占有率都有显著的正向影响,大中型兽类群落可以作为评估森林类型保护地的管理成效的指示类群。随着红外相机在保护地日常工作和监测研究中的逐渐普及,可以预见其应用也将越来越广泛。

### 1.4.3 尺度生物多样性监测与评估

目前,国内已经建立起若干区域性和全国性的大尺度红外相机监测网络,包括北京大学与史密森研究院(Smithsonian Institution)合作自2002年起在西南地区依托自然保护区建立起的大中型兽类监测网络(李晟, 2009; Li *et al.*, 2010b),北京师范大学自2007年起在东北地区建立的针对大型猫科动物及其猎物的监测网络(Feng *et al.*, 2011),中国科学院自2011年起结合中国森林生物多样性监测网络(CForBio)建立起的红外相机监测体系(肖治术等, 2014c),国家林业局和东北林业大学合作成立的猫科动物研究中心自2012年起在东北虎、豹主要分布的部分林业局或保护区建立的红外相机监测平台。这些经过系统设计的红外相机网络将成为我国生物多样性监测研究的基础平台,为大中型兽类、地栖性鸟类的多样性现状评估和动态监测提供系统的数据和信息。

### 1.5 猫科动物专项调查与研究

猫科动物的调查研究是当前红外相机技术应用最为成功的领域之一。相机陷阱技术在发展早期, 就已被用于虎的拍摄和调查上(Champion, 1927)。目前, 红外相机技术已经广泛应用于世界范围内的猫科动物物种调查。猫科动物每个个体身体上的斑点或者条纹图形都是独一无二的, 可以识别出个体, 再结合“标记-重捕”模型来有效估算种群密度和种群生存参数等信息, 这是红外相机技术能在该领域获得广泛成功应用的主要原因之一。

中国猫科动物拥有占世界约1/3的物种, 分布于中国境内的大部分生境和生态系统(Smith *et al.*, 2008)。猫科动物作为生态系统顶级捕食者, 处于食物链的顶端, 在生态系统中扮演重要角色。然而, 中国猫科动物的保护和调查研究一度非常滞后, 其主要原因是猫科动物行踪诡异、很难直接观察, 过去只能依赖历史资料记载、传统问卷调查、足迹识别、样线调查等方法, 然而其结果的可靠性和应用条件一直存在争议(Riordan, 1998; Karanth, 1988, 1998; 冯利民等, 2013); 并且中国猫科动物野生生态学研究缺乏长期积累, 对行为学和足迹识别等缺乏经验和知识, 导致无法掌握和有效评估猫科动物的野外种群分布、数量及动态情况。这也是导致中国境内虎、豹、雪豹等物种保护拯救措施滞后的重要原因之一(Tilson *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2010)。随着红外相机技术的快速发展, 该技术首先在确定雪豹、印支虎、远东豹、东北虎、华北豹、云豹(*Neofelis nebulosa*)、亚洲金猫(*Catopuma temminckii*)、荒漠猫的存在与分布调查中得到成功应用(马鸣等, 2006; Feng *et al.*, 2008, 2011; Feng & Jutzeler, 2010; Sanderson *et al.*, 2010; 肖文宏, 2014), 并被用于系统评估西南地区各山系猫科动物及其猎物的分布现状(Li *et al.*, 2010c)。目前, 红外相机技术在虎、豹、雪豹3种濒危大型猫科动物种群现状、猎物种群资源、捕食者-猎物之间的关系、日活动节律和栖息地生境适宜性评价等研究中已经取得了很大的进展(马鸣等, 2006; 冯利民, 2011; 肖文宏, 2014; 宋大昭等, 2014)。另外, 中国在猫科动物的保护方面开始注重长期生态学研究。例如, 自2007年北京师范大学建立的“中俄边界东北虎、远东豹及有蹄类动物多样性长期监测平台”, 使用红外相机技术对中国东北虎、远东豹及其猎物开展全面系统的调查,

已经逐步获得了这两个珍稀濒危物种在中国境内的种群现状、扩散和定居动态、领域大小等。例如, 他们首次报道了东北虎在中国的繁殖行为(Wang *et al.*, 2014)。随着长期积累, 目前红外相机技术的应用已逐步扩展到种群动态和行为等研究, 这必将极大促进中国大型猫科动物的保护。同时, 由于目前国内研究的热点主要集中于受人关注的大型猫科动物, 而同样在生态系统中占有重要地位的其他中小型猫科动物的调查研究长期滞后, 应该尽快将红外相机技术应用于相关的调查研究中。

从研究方法进展来看, 近几年发展起来的空间“标记-重捕”模型SECR和占域模型已广泛应用于大型猫科动物及猎物的基础生态学研究中(Carter *et al.*, 2012; Gopaldaswamy *et al.*, 2012; Sunarto *et al.*, 2012; Athreya *et al.*, 2013)。红外相机调查技术成为“标记-重捕”模型和占域模型数据调查的主要方式之一。这些研究方法的应用也必将推动中国猫科动物的研究和保护。

### 1.6 野生动物通道监测与道路交通影响研究

近年来, 我国一些区域采用红外相机对野生动物通道利用情况和道路交通对野生动物的影响进行评估与研究。对青藏铁路动物通道的监测表明, 藏羚羊(*Pantholops hodgsonii*)已基本适应了桥梁通道, 2007年上迁与回迁全部利用通道, 其中可可西里通道利用率最高(Xia *et al.*, 2007; 李耀增等, 2008; 付鹏等, 2011; 封托等, 2013)。另外, 青藏铁路大量的小桥也被藏羚羊、藏野驴(*Equus kiang*)、藏原羚(*Procapra picticaudata*)、狼(*Canis lupus*)、沙狐(*Vulpes corsac*)、高原兔(*Lepus oiostolus*)等利用(张洪峰等, 2009)。发现大中型食草动物、中小型食肉动物对不同类型通道的偏好性差异不显著, 并发现犬科动物喜欢小桥和涵洞(封托等, 2013)。在道路交通对野生动物的影响评估方面, 王云等(2013)在毗邻长白山国家级自然保护区的环长白山旅游公路, Wang等(2014)在穿越巴基斯坦红其拉甫国家公园的中巴喀喇昆仑公路沿线均使用红外相机, 调查并监测了公路沿线野生动物的分布与活动情况。

## 2 发展趋势分析

### 2.1 建立和完善我国野生动物红外相机监测网络与监测数据共享平台

无论在国内还是国际上, 建立系统性的红外相

机监测网络与数据共享平台都是公认的一个发展方向(肖治术等, 2014b, c)。在国内, 目前已经建立起若干区域性和全国性的红外相机监测研究网络; 在国际上, 也已建成若干类似的网络并持续运转, 例如“热带生态监测网络(TEAM)”。这些已有的红外相机监测网络已经成为全球和区域生物多样性监测和环境变化监测的平台, 持续提供有关大中型地栖动物的“大数据”, 在国内和国际科研与保护管理相关领域中起到了不可替代的作用。中国科学院动物研究所研发了基于红外相机数据的野生动物多样性监测图像数据管理系统CameraData(<http://cameradata.ioz.ac.cn>, 于2013年9月起开始运行), 有力地推动了我国野生动物红外相机监测研究网络的形成和发展(肖治术等, 2014c)。但是, 目前这些网络之间在方案设计、调查规程、数据格式等方面都不尽相同, 在一定程度上限制了数据与信息的共享和进一步应用。今后, 完善现有的红外相机监测网络, 推动网络之间调查规程的统一和标准化, 促进网络之间的整合, 将是需要研究者和管理者们共同努力的方向之一。

红外相机技术作为野生动物研究、保护与管理中一项相对较新的工具, 其效力和优势在实践中已经得到了充分检验, 已在全国范围内被众多的自然保护区、林场、科研院所和高等院校等单位所使用。随着该技术的快速普及, 众多的使用单位和使用者对于调查方案设计、相机的操作规程、数据管理与分析方法的培训产生了巨大的需求。近年来, 相关的单位和研究者已经面向红外相机的使用者举办了一系列的培训班和研讨会, 对于该技术的普及和推广起到了积极的作用。

在红外相机技术中, 设备的更新换代、数据分析方法的创新与发展都非常迅速, 因此, 加强各研究团队和单位之间的合作交流, 推动不同区域、不同单位之间的数据共享, 将有力地促进我国相关领域整体研究水平的快速提升。具体的内容可以包括以下方式: 建立红外相机研究人员的工作网络, 创建不同单位间双边和多边的合作机制, 开发新一代基于互联网的红外相机数据库和数据平台, 设立不同数据集之间交换的元数据标准和数据共享协议。

## 2.2 开发并完善新的种群和群落参数分析模型

与传统调查方法不同, 目前用于红外相机监测数据分析的有关种群和群落参数的模型仍处于发

展阶段。虽然“标记-重捕”模型在基于动物个体识别的分析中已经得到了成功的应用, 但由于大多数物种无法通过照片进行个体识别, 亟待建立和发展新的种群和群落参数分析模型。这是目前红外相机技术进一步发展所面临的重要瓶颈之一。在国内, Si等(2014)和李欣海等(个人交流)已在这些领域开展了有益的尝试。

2010年之后, 红外相机技术在我国野生动物监测研究中的应用出现了快速增长, 但大多数研究都局限于生物多样性编目和分布现状报道, 集中在单一时间断面的种群和物种水平, 而探究格局与机理的高质量研究成果较少, 仅有少量研究涉及到多物种共存和物种间交互作用(肖文宏, 2014; 王放, 个人交流)。随着更多的科研力量与资源的投入, 以及更长时间的数据与经验的积累, 以红外相机为技术手段的研究应进一步着眼于动物群落乃至生态系统、景观的层次, 从现象到机理, 从静态到动态, 对动物多样性分布格局、动物群落的结构与动态维持机制、动植物相互作用等生态学问题开展深入研究, 从而提升我国在生态学和保护生物学领域的总体科研水平和影响力。

**致谢:** 文中两幅红外相机工作原理示意图由于薇协助绘制, 特此感谢。

## 参考文献

- Ahumada JA, Hurtado J, Lizcano D (2013) Monitoring the status and trends of tropical forest terrestrial vertebrate communities from camera trap data: a tool for conservation. *PLoS ONE*, **8**, e73707.
- Athreya V, Odden M, Linnell JD, Krishnaswamy J, Karanth U (2013) Big cats in our backyards: persistence of large carnivores in a human dominated landscape in India. *PLoS ONE*, **8**, e57872.
- Azlan JM, Sharma DSK (2006) The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia. *Oryx*, **40**, 36–41.
- Can DN, Abramov AV, Tikhonov AN, Averianov AO (2001) Annamite striped rabbit *Nesolagus timminsi* in Vietnam. *Acta Theriologica*, **46**, 437–440.
- Carter NH, Shrestha BK, Karki JB, Pradhan NMB, Liu J (2012) Coexistence between wildlife and humans at fine spatial scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **109**, 15360–15365.
- Carthew SM, Slater E (1991) Monitoring animal activity with automated photography. *The Journal of Wildlife Management*, **55**, 689–692.
- Champion FW (1927) *With a Camera in Tiger-land*. Chatto & Windus, London.



- Chen MT, Tewes ME, Pei KJ, Grassman LI Jr. (2009) Activity patterns and habitat use of sympatric small carnivores in southern Taiwan. *Mammalia*, **73**, 20–26.
- Cutler TL, Swann DE (1999) Using remote photography in wildlife ecology: a review. *Wildlife Society Bulletin*, **27**, 571–581.
- Datta A, Anand MO, Naniwadekar R (2008) Empty forests: large carnivore and prey abundance in Namdapha National Park, north-east India. *Biological Conservation*, **141**, 1429–1435.
- Dinata Y, Nugroho A, Haidir IA, Linkie M (2008) Camera trapping rare and threatened avifauna in west-central Sumatra. *Bird Conservation International*, **18**, 30–37.
- Feng LM, Jutzeler E (2010) Clouded leopard. *Cat News* (Special Issue), **5**, 34–36.
- Feng LM, Lin L, Zhang LT, Wang LF, Wang B, Yang SH, Smith JLD, Luo SJ, Zhang L (2008) Evidence of wild tigers in Southwest China—a preliminary survey of the Xishuangbanna National Nature Reserve. *Cat News*, **48**, 4–6.
- Feng LM (冯利民), Wang LF (王利繁), Wang B (王斌), Smith JLD, Zhang L (张立) (2013) Population status of the Indo-Chinese tiger (*Panthera tigris cobetti*) and density of the three primary ungulate prey species in Shangyong Nature Reserve, Xishuangbanna, China. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), **33**, 308–318. (in Chinese with English abstract)
- Feng LM, Wang TM, Mou P, Kou XJ, Ge JP (2011) First image of an Amur leopard recorded in China. *Cat News*, **55**, 9.
- Feng T (封托), Zhang HF (张洪峰), Wu XM (吴晓民) (2013) Utilization of wildlife underpasses on Qinghai-Tibet railway during the operation. *Shaanxi Forest Science and Technology* (陕西林业科技), (6), 42–45. (in Chinese with English abstract)
- Foster ML, Humphrey SR (1995) Use of highway underpasses by Florida panthers and other wildlife. *Wildlife Society Bulletin*, **23**, 95–100.
- Foster RJ, Harmsen BJ (2012) A critique of density estimation from camera-trap data. *Journal of Wildlife Management*, **76**, 224–236.
- Fu P (付鹏), Zhang Y (张宇), Wu XM (吴晓民), Wang GL (王光磊) (2011) Validity analysis on animal passages along Qinghai-Tibet Railway. *Environmental Science and Management* (环境科学与管理), **36**, 98–106. (in Chinese with English abstract)
- Gopalaswamy AM, Royle JA, Delampady M, Nichols JD, Karanth KU, Macdonald DW (2012) Density estimation in tiger populations: combining information for strong inference. *Ecology*, **93**, 1741–1751.
- Hernandez F, Rollins D, Cantu R (1997) An evaluation of Trailmaster camera system for identifying ground-nest predators. *Wildlife Society Bulletin*, **25**, 848–853.
- Hines JE, Boulonier T, Nichols JD, Sauer JR, Pollock KH (1999) COMDYN: software to study the dynamics of animal communities using a capture-recapture approach. *Bird Study*, **46**, 209–217.
- Huang Z, Qi X, Garber PA, Jin T, Guo S, Li S, Li B (2014) The use of camera traps to identify the set of scavengers preying on the carcass of a golden snub-nosed monkey (*Rhinopithecus roxellana*). *PLoS ONE*, **9**, e87318.
- Jackson RM, Roe JD, Wangchuk R, Hunter DO (2005) *Surveying Snow Leopard Populations with Emphasis on Camera Trapping: A Handbook*. The Snow Leopard Conservancy, Sonoma, California.
- Jackson RM, Roe JD, Wangchuk R, Hunter DO (2006) Estimating snow leopard population abundance using photography and capture-recapture techniques. *Wildlife Society Bulletin*, **34**, 772–781.
- Jacobson HA, Kroll JC, Browning RW, Koerth BH, Conway MH (1997) Infrared-triggered cameras for censusing white-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin*, **25**, 547–556.
- Karanth KU (1988) Analysis of predator-prey balance in Bandipur Tiger Reserve with reference to census reports. *Journal of the Bombay Natural History Society*, **85**, 1–8.
- Karanth KU (1995) Estimating tiger (*Panthera tigris*) populations from camera-trap data using capture-recapture models. *Biological Conservation*, **71**, 333–338.
- Karanth KU, Nichols JD (1998) Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, **79**, 2852–2862.
- Kucera TE, Barrett RH (2011) A history of camera trapping. In: *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses* (eds O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU), pp. 9–26. Springer, New York.
- Li J, Schaller GB, McCarthy TM, Wang D, Jiagong Z, Cai P, Basang L, Lu Z (2013) A communal sign post of snow leopard (*Panthera uncia*) and other species on the Tibetan Plateau, China. *International Journal of Biodiversity*, **2013**, Article ID 370905, 1–8.
- Li M (李敏), Wang JC (汪继超), Liu HW (刘海伟), Shi HT (史海涛) (2014) Simulation of *Cuora galbinifrons* nest predation. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **33**, 1629–1633. (in Chinese with English abstract)
- Li Q (李勤), Wu JG (邬建国), Kou XJ (寇晓军), Feng LM (冯利民) (2013) Applications of camera trap in wildlife population ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **24**, 947–955. (in Chinese with English abstract)
- Li S (李晟) (2009) *The Diversity of Large- and Medium-sized Mammals and Pheasants in Minshan and Qionglai Mountains: Status Assessment, Determinate Factor Analysis, and Application in Conservation Management* (岷山及邛崃山大中型兽类和雉类多样性: 现状评估, 影响因子分析, 及保护管理应用). PhD dissertation, Peking University, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Shao LK, Shi XG (2010a) The use of infrared-triggered cameras for surveying phasianids in Sichuan Province, China. *IBIS*, **152**, 299–309.
- Li S, Wang DJ, Gu XD, McShea WJ (2010b) Beyond pandas, the need for a standardized monitoring protocol for large mammals in Chinese nature reserves. *Biodiversity and Conservation*, **19**, 3195–3206.
- Li S, Wang DJ, Lu Z, McShea WJ (2010c) Cats living with pandas: the status of wild felids within giant panda range, China. *Cat News*, **52**, 20–23.

- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Lu Z, Gu XD (2012a) Gauging the impact of management expertise on the distribution of large mammals across protected areas. *Diversity and Distributions*, **18**, 1166–1176.
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Huang JZ, Shao LK (2012b) A direct comparison of camera-trapping and sign transects for monitoring wildlife in a giant panda reserve, China. *Wildlife Society Bulletin*, **36**, 538–545.
- Li S (李晟), Zhang XF (张晓峰), Chen P (陈鹏), Wang J (王军), Xiang DQ (向定乾), Dong W (董伟), Zhang XM (张希明), He BS (何百锁), Sun RQ (孙瑞谦), Zhao NX (赵纳勋), Wang DJ (王大军) (2014) The community structure and evelvational patterns of forest ungulates at the southern slope of the Qinling Mountains, China. *Chinese Journal of Zoology* (动物学杂志), **49**, 633–643. (in Chinese with English abstract)
- Li XY, Buzzard P, Jiang XL (2014) Habitat associations of four ungulates in mountain forests of southwest China, based on camera trapping and dung counts data. *Population Ecology*, **56**, 251–256.
- Li YZ (李耀增), Zhou TJ (周铁军), Jiang HB (姜海波) (2008) Utilization effect of wildlife passages in Golmud-Lhasa Section of Qinghai-Tibet railway. *China Railway Science* (中国铁道科学), **29**, 127–131. (in Chinese with English abstract)
- Liu F (刘芳), Li DQ (李迪强), Wu JG (吴记贵) (2012) Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **32**, 730–739. (in Chinese with English abstract)
- Lu J, Hu DF, Yang LL (2010) Legal status and conservation of cat species in China. *Cat News*, Special Issue **5**, 5–6.
- Lu XL (卢学理), Jiang ZG (蒋志刚), Tang JR (唐继荣), Wang XJ (王学杰), Xiang DQ (向定乾), Zhang JP (张建平) (2005) Auto-trigger camera traps for studying giant panda and its sympatric wildlife species. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **51**, 495–500. (in Chinese with English abstract)
- Ma M (马鸣), Xu F (徐峰), Chundawat RS, Jumabay K, Wu YQ (吴逸群), Aizezi (艾则孜), Zhu MH (朱玛洪) (2006) Camera trapping of snow leopards for the photo capture rate and population size in the Muzat Valley of Tianshan Mountains. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **52**, 788–793. (in Chinese with English abstract)
- Ma SL (马世来), Harris RB (1996) Use of remote camera systems to document wildlife species presence in forested areas of Yunnan. *Zoological Research* (动物学研究), **17**, 360–370. (in Chinese with English abstract)
- Martins SS, Sanderson JG, Silva-Junior JS (2007) Monitoring mammals in the Caxiua National Forest, Brazil- first results from the Tropical Ecology, Assessment and Monitoring (TEAM) program. *Biodiversity and Conservation*, **16**, 857–870.
- Martorello DA, Eason TH, Pelton MR (2001) A sighting technique using cameras to estimate population size of black bears. *Wildlife Society Bulletin*, **29**, 560–567.
- McShea WJ, Stewart C, Peterson L, Erb P, Stuebing R, Gimán B (2009) The importance of secondary forest blocks for terrestrial mammals within an Acacia/secondary forest matrix in Sarawak, Malaysia. *Biological Conservation*, **142**, 3108–3119.
- O'Brien TG, Baillie JEM, Krueger L, Cuke M (2010) The wildlife picture index: monitoring top trophic levels. *Animal Conservation*, **6**, 131–139.
- O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2011) *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses*. Springer, New York.
- Pei JQ (裴家骥) (1998) An evaluation of using auto-trigger cameras to record activity patterns of wild animals. *Taiwan Journal of Forest Science* (台湾林业科学), **13**, 317–324. (in Chinese with English abstract)
- Pei K (1995) Activity rhythm of the spinous country rat (*Niviventer coxingi*) in Taiwan. *Zoological Studies*, **34**, 55–58.
- Rexstad E, Burnham KP (1991) *User's Guide for Interactive Program CAPTURE*. Colorado Cooperative Fish & Wildlife Research Unit, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Riordan P (1998) Unsupervised recognition of individual tigers and snow leopards from their footprints. *Animal Conservation*, **1**, 253–262.
- Rowcliffe JM, Carbone C (2008) Surveys using camera traps: are we looking to a brighter future? *Animal Conservation*, **11**, 185–186.
- Rowcliffe JM, Field J, Turvey ST, Carbone C (2008) Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, **45**, 1228–1236.
- Royle JA, Nichols JD, Karanth KU, Gopalaswamy AM (2009) A hierarchical model for estimating density in camera-trap studies. *Journal of Applied Ecology*, **46**, 118–127.
- Sanderson JG, Trolle M (2005) Monitoring elusive mammals- unattended cameras reveal secrets of some of the world's wildest places. *American Scientist*, **93**, 148–155.
- Sanderson J, Yin Y, Drubgayal N (2010) Of the only endemic cat species in China. *Cat News* (Special Issue), **5**, 18–21.
- 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.
- Smith AT, Xie Y, Gemma F (2008) *A Guide to the Mammals of China*. Princeton University Press, New Jersey.
- Song DZ (宋大昭), Wang BP (王卜平), Jiang JY (蒋进原), Wan SP (万绍平), Cui SM (崔士明), Wang TM (王天明), Feng LM (冯利民) (2014) Using camera trap to monitor a population of North Chinese leopard (*Panthera pardus japonensis*) and their main ungulate prey. *Biodiversity Science* (生物多样性), **22**, 733–736. (in Chinese with English abstract)
- Sunarto S, Kelly MJ, Parakkasi K, Klenzendorf S, Septayuda E, Kurniawan H (2012) Tigers need cover: multi-scale occupancy study of the big cat in Sumatran forest and plantation landscapes. *PLoS ONE*, **7**, e30859.
- Swann DE, Hass CC, Dalton DC, Wolf SA (2004) Infra-red-triggered cameras for detecting wildlife: an evaluation

- and review. *Wildlife Society Bulletin*, **32**, 357–365.
- Thorn M, Scott DM, Green M, Bateman PW, Cameron EZ (2009) Estimating brown hyaena occupancy using baited camera traps. *South African Journal of Wildlife Research*, **39**, 1–10.
- Tilson R, Hu DF, Jeff M, Nyhus PJ (2004) Dramatic decline of wild South China tigers: field survey of priority tiger reserves. *Oryx*, **38**, 40–47.
- Trolle M, Kery M (2003) Estimation of ocelot density in the Pantanal using capture-recapture analysis of camera-trapping data. *Journal of Mammalogy*, **84**, 607–614.
- Wang DJ, Li S, McShea WJ, Li MF (2006) Use of remote-trip cameras for wildlife surveys and evaluating the effectiveness of conservation activities at a nature reserve in Sichuan Province, China. *Environmental Management*, **38**, 942–951.
- Wang DJ, Li S, Jin T, Shao LK (2012) How important is meat in the diet of giant pandas, the most herbivorous bear? *International Bear News*, **21**, 7–9.
- Wang F, McShea WJ, Wang D, Li S, Zhao Q, Wang H, Lu Z (2014) Evaluating landscape options for corridor restoration between giant panda reserves. *PLoS ONE*, **9**, e105086.
- Wang JJ (王佳佳), Yu ZG (余志刚), Li ZM (李筑眉), Jiang H (蒋鸿), Liang W (梁伟) (2014) Identifying predators of ground nests of birds in Kuankuoshui Nature Reserve, Guizhou, southwestern China. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **33**, 352–357. (in Chinese with English abstract)
- Wang T, Yang H, Xiao W, Feng L, Mou P, Ge J (2014) Camera traps reveal Amur tiger breeding in NE China. *Cat News*, **61**, 18–19.
- Wang Y (王云), Piao ZJ (朴正吉), Guan L (关磊), Kong YP (孔亚平) (2013) Influence of Ring Changbai Mountain Scenic Highway on wildlife. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **32**, 425–435. (in Chinese with English abstract)
- Wang Y, Wang YD, Tao SC, Chen XP, Kong YP, Asif S, Ye CY, Pang M (2014) Using infra-red camera trapping technology to monitor mammals along Karakorum Highway in Khunjerab National Park, Pakistan. *Pakistan Journal of Zoology*, **46**, 725–731.
- Whitfield J (1998) A saola poses for the camera. *Nature*, **396**, 410.
- Wu PF (武鹏峰), Liu XH (刘雪华), Cai Q (蔡琼), He XB (何祥博), Songer M, Zhu Y (朱云), Shao XM (邵小明) (2012) The application of infrared camera in mammal research in Guanyinshan Nature Reserve, Shaanxi. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), **32**, 67–71. (in Chinese with English abstract)
- Xia L, Yang QS, Li ZC, Wu YH, Feng ZJ (2007) The effect of the Qinghai-Tibet railway on the migration of Tibetan antelope *Pantholops hodgsonii* in Hoh-xil National Nature Reserve, China. *Oryx*, **41**, 352–357.
- Xiao WH (肖文宏) (2014) *Amur Tiger (Panthera tigris altaica) and Its Prey in Hunchun Nature Reserve, Jilin, China: Their Population Size, Distribution and Occupancy* (东北虎(*Panthera tigris altaica*)与猎物的种群分布、数量和占据研究). PhD dissertation, Beijing Normal University, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Xiao ZS (肖治术), Hu L (胡力), Wang X (王翔), Shang T (尚涛), Zhu DH (朱大海), Zhao ZL (赵志龙), Huang XQ (黄小群) (2014a) Wildlife diversity after Wenchuan Earthquake: a case from Guangguangshan Valley of Longxi-Hongkou National Nature Reserve, Southwest China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **22**, 794–797. (in Chinese)
- Xiao ZS (肖治术), Wang XZ (王学志), Li XH (李欣海) (2014b) An introduction to CameraData: an online database of wildlife camera trap data. *Biodiversity Science* (生物多样性), **22**, 712–716. (in Chinese with English abstract)
- Xiao ZS (肖治术), Li XH (李欣海), Wang XZ (王学志), Zhou QH (周岐海), Quan RC (权锐昌), Shen XL (申小莉), Li S (李晟) (2014c) Developing camera-trapping protocols for wildlife monitoring in Chinese forests. *Biodiversity Science* (生物多样性), **22**, 704–711. (in Chinese with English abstract)
- Xue YD (薛亚东), Liu F (刘芳), Guo TZ (郭铁征), Yuan L (袁磊), Li DQ (李迪强) (2014) Using camera traps to survey wildlife at water sources on the northern slope of the Altun Mountains, China. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), **34**, 164–171. (in Chinese with English abstract)
- Yin YF, Drubgyal, Achu, Lu Z, Sanderson J (2007) First photographs in nature of the Chinese mountain cat. *Cat News*, **47**, 6–7.
- Yu LG (余梁哥), Chen MJ (陈敏杰), Yang SJ (杨士剑), Li XY (李学友), Shi L (师蕾) (2013) Camera trapping survey of *Nycticebus pygmaeus*, *Nycticebus coucang* and other sympatric mammals at Dawei Mountain, Yunnan. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), **32**, 814–818. (in Chinese with English abstract)
- Zhang HF (张洪峰), Feng T (封托), Ji MZ (姬明周), Kong F (孔飞), Wu XM (吴晓民) (2009) Monitor wildlife using small bridges along Qinghai-Tibet railway. *Bulletin of Biology* (生物学通报), **44**(10), 8–10. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SS (章书声), Bao YX (鲍毅新), Wang YN (王艳妮), Fang PF (方平福), Ye B (叶彬) (2012) Activity rhythms of black muntjac (*Muntiacus crinifrons*) revealed with infrared camera. *Acta Theriologica Sinica* (兽类学报), **32**, 368–372. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SS (章书声), Bao YX (鲍毅新), Wang YN (王艳妮), Fang PF (方平福), Ye B (叶彬) (2013) Estimating rodent density using infrared-triggered camera technology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **33**, 3241–3247. (in Chinese with English abstract)
- Zhao YZ (赵玉泽), Wang ZC (王志臣), Xu JL (徐基良), Luo X (罗旭), An LD (安丽丹) (2013) Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant (*Syrnaticus reevesii*) using infrared camera. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **33**, 6021–6027. (in Chinese with English abstract)