

探讨我国森林野生动物红外相机监测规范

肖治术^{1*} 李欣海¹ 王学志² 周岐海³ 权锐昌⁴ 申小莉⁵ 李 晟⁶

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 (中国科学院计算机网络信息中心, 北京 100190)

3 (广西师范大学广西珍稀濒危动物生态学重点实验室, 广西桂林 541004)

4 (中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态学重点实验室, 云南西双版纳 666303)

5 (中国科学院植物研究所植被与环境变化重点实验室, 北京 100093)

6 (北京大学生命科学学院, 北京 100871)

摘要: 野生动物多样性是生物多样性监测与保护管理评价的关键指标, 因此对野生动物进行长期监测是中国森林生物多样性监测网络(CForBio)等大尺度生物多样性监测研究计划的一个重要组成部分。2011年以来, CForBio网络陆续在多个森林动态监测样地开展以红外相机来监测野生动物多样性。随着我国野生动物红外相机监测网络的初步形成, 亟待建立和执行基于红外相机技术的统一监测规范。基于3年来在我国森林动态监测样地红外相机监测的进展情况, 以及热带生态评价与监测网络针对陆生脊椎动物(兽类和鸟类)所提出的红外相机监测规范, 本文从监测规范和监测注意事项等方面探讨了我国森林野生动物红外相机监测的现状和未来。

关键词: 红外相机技术, 中国森林生物多样性监测网络, 野生动物监测, 监测规范

Developing camera-trapping protocols for wildlife monitoring in Chinese forests

Zhishu Xiao^{1*}, Xinhai Li¹, Xuezhi Wang², Qihai Zhou³, Ruichang Quan⁴, Xiaoli Shen⁵, Sheng Li⁶

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

2 *Computer Network Information Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190*

3 *Guangxi Key Laboratory of Rare and Endangered Animal Ecology, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi 541004*

4 *Center for Integrative Conservation, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Xishuangbanna, Yunnan 666303*

5 *State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093*

6 *School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871*

Abstract: Wildlife monitoring is one key indicator used for biodiversity assessment. Therefore, developing wildlife monitoring protocols is an important component of large-scale biodiversity monitoring program such as the Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network (CForBio). Since 2011, the CForBio Network launched an initiative to investigate wildlife diversity using camera traps among forest dynamic plots in China. Because of this initiative, there is an urgent need to develop standardized camera trapping protocols. One important premise of camera-trapping protocols is that camera trap data can be used to conduct comparative research among different plots. Here, we propose camera-trapping protocols based on our own experience in using camera traps for wildlife surveys, and on the terrestrial vertebrate (camera trap) protocol implementation manual produced by the TEAM (Tropical Ecology Assessment & Monitoring) Network. We hope that these protocols can serve as the basis for a standardized tool used in wildlife diversity monitoring in forest ecosystems. We also provide recommendations for plot design, data management and long-term

收稿日期: 2014-04-10; 接受日期: 2014-10-08

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-EW-N-05)、“十二五”国家科技支撑项目(2012BAD19B02)和国家科技基础条件平台工作重点项目(2005DKA21402)

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

monitoring programs for wildlife diversity monitoring.

Key words: camera-trapping, Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, wildlife monitoring, monitoring protocols

野生动物监测自动相机技术(automated-camera wildlife monitoring technology)或红外相机技术(camera-trapping)是指通过自动相机系统(如被动式/主动式红外触发相机或定时拍摄相机等)来获取野生动物图像数据(如照片和视频)。这些图像数据可用于分析野生动物的物种组成、分布、种群数量、行为和生境利用等基础信息,从而为野生动物保护管理和资源利用提供重要参考资料(Rowcliffe & Carbone, 2008; O'Connell *et al.*, 2011)。作为一种非损伤性的取样技术,红外相机技术正广泛应用于兽类和地栖性鸟类的监测与研究。近年来,我国也在多个领域陆续采用红外相机技术开展研究,包括珍稀濒危物种的重新发现和记录,如东北虎(*Panthera tigris altaica*) (李志兴, 2003)、印支虎(*P. tigris corbetti*) (冯利民和张劲硕, 2008)、雪豹(*Uncia uncia*) (马鸣等, 2006), 野生动物监测和保护现状评价(马世来和Harris, 1996; 卢学理等, 2005; 马鸣等, 2006; Shek *et al.*, 2007), 野生动物的空间分布格局和活动模式(裴家骥等, 1997; 裴家骥, 1998; Wang *et al.*, 2010; 武鹏峰等, 2012; 赵玉泽等, 2013; Liu *et al.*, 2013), 青藏铁路沿线动物通道利用状况的监测和评价(张洪峰等, 2009)等。然而,目前我国尚未制定针对野生动物红外相机监测的有关技术标准或监测规范。

尽管已有一些文献(如Rovero *et al.*, 2010)和专著(O'Connell *et al.*, 2011)系统介绍了红外相机技术在野生动物监测研究中的应用,但目前仅热带生态评价与监测网络(Tropical Ecology Assessment and Monitoring Network, TEAM Network)提出并执行了一个针对陆生脊椎动物(兽类和鸟类)多样性的红外相机监测规范(Team Network, 2008; Ahumada *et al.*, 2011), 并已在南美洲、非洲、亚洲等地的16个热带森林监测样地执行,其中包括了世界热带森林研究中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS; <http://www.ctfs.si.edu/>)设置的多个森林动态监测样地所在区域。然而,对于亚热带、温带等地的生态系统仍缺乏针对野生动物多样性的红外相机监测规范(Li *et al.*, 2010; O'Connell *et al.*, 2011)。

野生动物多样性是生物多样性监测与保护管理评价的关键指标。开展野生动物监测将有助于了解野生动物与森林植被动态之间的关系。例如,食果动物可通过取食、扩散种子等行为过程来影响植物种群更新及其分布,它们也是森林生态系统中物种多样性维持的重要驱动因子。对野生动物进行长期监测是中国森林生物多样性监测网络(Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, CForBio)等大尺度生物多样性监测研究计划的一个重要组成部分。2009年以来,CForBio网络陆续在10个森林动态监测样地开展以红外相机来监测野生动物多样性(肖治术, 2014a)。随着野生动物红外相机监测网络的初步形成,亟待建立和执行基于红外相机技术的统一监测规范。

基于3年来在CForBio样地野生动物红外相机监测经验及发现的问题,以及TEAM Network(2008)所提出的陆生脊椎动物红外相机监测规范,本文从监测规范和监测注意事项等方面探讨了我国森林野生动物多样性红外相机监测的现状和未来。

1 监测规范

野生动物红外相机监测规范的建立和执行应包括4个环节:相机布设方案、监测计划实施和数据采集方案、数据管理方法及数据分析方法。

1.1 相机布设方案

相机布设方案的核心内容是根据监测目标确定抽样方法。只有建立了统一的抽样方法才有可能实现大区域尺度上不同监测样地之间的数据共享和对比研究。

1.1.1 监测目标

野生动物多样性红外相机监测的主要目标是对陆生兽类和地栖性鸟类群落和种群动态进行监测,为生物多样性保护管理和资源利用提供基础数据。具体内容包括:

(1)掌握森林野生动物多样性及种群的动态变化,揭示并评价影响其动态变化的关键因子。但我国多数区域缺乏详细的野生动物本底资料,因此近

期需要首先对每个监测区的物种进行清查,初步掌握它们的分布、种群大小和活动规律等,建立物种名录及其分布数据库。

(2)揭示野生动物群落构成、种群动态与植被动态之间的相互关系。随着资料的积累和完善,可开展动植物相互关系等研究。

1.1.2 抽样方案

为促进野生动物多样性监测数据共享、科研合作和信息交流,各样地需要建立统一的抽样方案。因为大尺度的长期监测计划如CForBio覆盖了我国多种森林植被类型,因此抽样方案不能针对每个样地的特殊性来设计,而应充分考虑区域尺度的抽样标准,以保证不同样地之间监测数据的可比性。抽样方案应考虑4个基本的原则:独立性、重复性、连续性和可比性。独立性是指同一监测样地设置的相机位点之间所拍摄的个体或物种是否影响其他个体或物种的抽样。重复性是保证抽样是否满足统计分析的基本要求,同时保证抽样误差最小化,提高抽样的精确程度。连续性是指在时间和空间上保证对同一相机位点进行连续监测,这对长期监测计划是非常重要的。可比性是指不同监测样地之间应在同一监测季节(如冬季或旱季)完成相同抽样强度(如时间为30 d,30个相机位点)的监测任务。

根据监测物种或类群的个体大小和活动范围,可分别采用2种空间尺度的抽样方案:公顷网格抽样方案和公里网格抽样方案。

(1)公顷网格抽样方案。首先在每个公顷网格中心预设潜在相机布设位点,在其附近20 m范围内选择实际相机布设位点(主要考虑靠近动物活动路径的位置),确定和记录每个相机布设位点的经度、纬度和海拔等基本信息。相机布设密度为1台/ha或1台/2 ha。

按照这一方案,考虑CForBio各样地的面积多在15–30 ha之间,2011年起在每个森林动态监测样地分别布设16–40台不等的红外相机,覆盖面积在25–80 ha。这一抽样方案对于常规监测计划而言相对容易完成,但由于没有考虑不同兽类物种的活动家域,相机位点之间的独立性和重复性易被质疑。

(2)公里网格抽样方案。这是TEAM Network (2008)提出并执行的监测规范。自2007年以来,TEAM Network陆续在热带森林区域16个监测样地执行该监测方案。该方案建议在每个监测区域建立

2–3个公里网格的监测样方,按20–30台相机组成一个相机列阵,相机布设密度为1台/2 km²或1台/km²(图1),覆盖面积可达60–120 km²。每个相机位点在每年旱季(热带和亚热带区域)或秋冬季(温带区域)完成为期30 d的监测。在相机数量少的情况下,30 d后相机组需要轮换到下一个监测样方。监测样方的选择需考虑植被类型、海拔梯度和人类活动干扰梯度等。而具体相机位点的设置和布设可根据当地地形、行走路线、工作难度和安全性等进行综合考虑。

公里网格抽样方案考虑了多数大中型兽类的活动范围和分布情况。但目前对大型猫科动物的监测效果不理想(Wearn *et al.*, 2013)。此外,作为野生动物长期监测方案,公里网格抽样方案是对代表性植被类型的常规性监测,不是针对整个区域(如保护区)的全面监测,监测强度适中,有一定的可操作性。从2014年起CForBio陆续在各森林动态监测样地执行公里网格抽样方案,相关数据也可与TEAM Network所辖的样地之间进行对比研究。

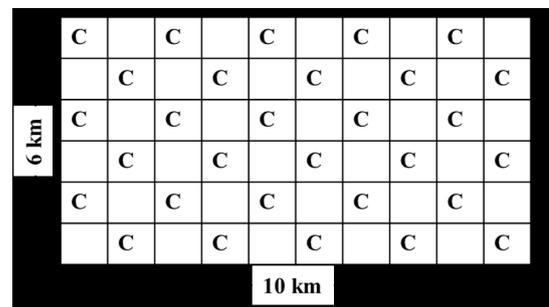


图1 野生动物多样性红外相机公里网格抽样方案示意图(参考TEAM Network 2008)

Fig. 1 Camera-trapping grid (1 camera trap per 2 km²) for wildlife diversity monitoring (Ref. TEAM Network 2008)

1.2 监测计划实施和数据采集方案

这一环节的重点是执行所制定的监测规范。为了保证不同监测样地之间严格执行监测规范,需要制定野外相机布设计划,包括成立相机布设小组、野外布设、技术培训和相关后勤保障等。具体细节见下文中的注意事项部分。

1.3 数据管理方法

通过红外相机所获取的大量图像数据需要建立规范的数据库,统一存档管理,相机位点所记录

的数据信息(附表I, II, III)也需要建立规范的记录表格和相应的数据库。对于图像数据和相机位点的数据信息需要及时录入、存贮、备份, 并上传到中心数据库。此外, 由于图像不是可直接统计分析的数据, 因此需要从照片数据库中筛选出有效照片(即拍摄到动物的照片), 完成物种识别和其他信息(环境因子)的挖掘。

照片或视频所记录的主要数据包括物种及其群体大小、分布(相机位点信息)、拍摄照片数、行为(重点为活动节律)和生境(植被、海拔等)。根据这些数据可从种群、群落和行为等方面来分析动物在监测区域的基本特征。红外相机数据详细记录了每张有效照片中动物个体(群体)的活动时间和空间位置, 可用于分析各物种在时间和空间生态位上的规律, 如捕食者与猎物、资源竞争等(Linkie & Ridout, 2011)。每个物种所拍摄照片数不能直接用于估计种群密度, 首先需要折算为独立有效照片数, 如单位时间(30 min或1 h)内同一相机位点中含同种个体的相邻有效照片为1张独立有效照片(O'Brien *et al.*, 2003), 然后根据有关统计模型来估计种群密度、相对丰富度指数和空间占有率等。此外, 根据每个监测区域的监测结果可确定该区域内动物群落水平的特征, 如物种丰富度、多样性指数等(Ahumada *et al.*, 2011)。

1.4 数据分析方法

将照片数据信息提取和挖掘后, 对有关数据(物种组成、物种分布、种群密度、行为、生境等)进一步进行统计分析。然后把图像数据及其统计分析的结果整理成监测报告、科研论文(论著)、新闻报道、科普宣传材料等以便对外公布。

估计不同物种的种群密度和群落多样性指标是野生动物监测的重要内容。基于公顷网格抽样方案和公里网格抽样方案所采集的野生动物数据, 目前可采用的统计分析模型主要包括标记-重捕模型(mark-recapture model)、随机相遇模型(random encounter model)、占域模型(occupancy model)和野生动物图片指数(wildlife picture index, WPI)等。

1.4.1 标记-重捕模型

标记-重捕模型是通过捕获、标记和再捕获的过程, 得到标记和未标记个体的比例, 从而估计整个种群的大小。该方法在1896年由Peterson首次使用(Southwood & Henderson, 2000), 种群大小为:

$N=MC/R$, 其中 M 为第一次捕获和标记的个体总数, C 为第二次捕获的总数, R 为第二次捕获时带有标记的个数。之后, 该模型经过多次改进, 已经可以用于涉及个体迁入和迁出、出生和死亡的开放系统(Seber, 1982; Krebs, 1999)。由于部分动物类群(如猫科动物)可基于体表毛色和斑纹进行个体识别, 红外相机所拍摄的照片可以看作是捕获和标记过程。再次拍摄时(例如累计10 d的红外相机监测), 比较以前拍摄过的和新拍摄个体的比例, 就可以按照标记-重捕模型来估计种群密度(Karanth & Nichols, 1998; Silver *et al.*, 2004; Karanth *et al.*, 2006; Kelly & Holub, 2008; Rovero & Marshall, 2009)。

1.4.2 随机相遇模型

对于难以进行个体识别的动物(如有蹄类), Rowcliffe等(2008)设计了一个随机相遇模型来估计物种密度。该模型假设动物个体像气体分子一样随机运动, 并认为动物与相机的接触率(拍到的照片数)与动物的种群密度、运动速度、相机布设的时间、相机监测的面积成正比。种群密度(D)为:

$$D = \frac{y}{t} \frac{\pi}{vr(2+\theta)}$$

其中 r 是相机拍摄距离, t 是监测时间, v 是动物移动速度, y 是照片数, θ 是相机拍摄的最大角度。

目前, 随机相遇模型已被用来估计难以个体识别物种的种群密度(Manzo *et al.*, 2012; 章书声等, 2013)。Rowcliffe等(2011)进一步估计了监测率和相机与动物间距离的关系, 即量化了动物触发相机的概率随着距离的增加而降低的程度, 进一步优化了随机相遇模型。

1.4.3 占域模型

占域模型是估计一个研究区域或监测样方是否被动物占据的模型, 是近年来发展起来的方法体系(MacKenzie, 2006)。占域模型的一个核心问题是评估物种占据一个区域却没有被监测到的概率。在一个地点, 某物种被发现的概率为:

$$p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

其中 n 为调查次数, p_i 为第 i 次调查发现物种的概率。 p_i 不但与物种存在的概率有关, 还与发现率(发现的个体数或频率/实际个体数或频率)有关。发现率一般受调查的强度、时间、隐蔽程度、地形和地貌等

因素的影响。物种存在的概率一般受植被、海拔、干扰等因素的影响。野外调查的结果(某物种被发现的概率)实际上是发现率和物种存在概率的乘积,是两个独立事件(物种存在、被发现)的联合概率分布。占域模型可以结合其他参数(如生死过程),共同确定物种被发现的概率。在模型的参数估计上,因为多个模型(拟合物种存在概率的逻辑斯蒂回归、拟合发现率的多元回归)并列,同时计算模型参数比较困难,一般应用贝叶斯方法进行估计。

1.4.4 野生动物图片指数

野生动物图片指数(WPI)是O'Brien等(2010)提出的用于估计中型和大型陆地鸟类和兽类相对丰富度的指标。基于红外相机监测数据, WPI应用占域模型估计每个物种在一段时间和一个地点的存在概率,在时间段*j*和地点*k*的WPI就是*k*调查点上所有*n*个物种前后两个时相存在概率的比值*o*的几何平均值:

$$WPI_{jk} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n O_{ijk}}$$

WPI是一个综合性的生物多样性指标,主要用于比较野生动物多样性在特定地区时间上和空间上的动态。

2 监测注意事项

2.1 相机选择

随着数码影像技术和网络信息技术的发展,目前红外相机的种类和型号非常多,相关功能也越来越多样化,为野生动物监测提供了更多方便(如照片的清晰度越来越高、能拍摄且存储更多照片、小型化、安装简便、照片数据可即时网络传输等)。限于篇幅,关于红外相机技术的演化历史可参阅文献Rovero等(2010)和O'Connell等(2011)。相机选择时主要考虑触发时间、对温度的灵敏度、照片清晰度、连拍照片数、存储卡容量、电池寿命和是否闪光等。相对于主动式红外相机(由发射器、接收器和自动聚焦调节曝光相机3个主要部件所组成),被动式红外相机(所有部件组装成一个小相机)因便于野外携带和安装而使用日益广泛(O'Connell *et al.*, 2011)。

目前, CForBio各样地多使用被动式红外相机(如Ltl ACORN 5210)。该相机的参数与其他同类型的被动式红外相机(如SV650)接近,如感应动物后

的触发时间约为1 s,对温度较为灵敏,照片像素为500万,可连拍照片3张(也可拍摄视频),存储卡容量2–16 G,电池寿命较长(8节5号碱性电池可维持工作2–4个月,具体时长受拍摄照片数量和环境温度等因素影响),内置红外感应器,不闪光(仅红外补光)。但该相机在南方潮湿环境(如西双版纳样地)中使用时容易发生故障,而且所拍摄照片的质量也欠佳。目前,我国许多样地也正在用其他款式的红外相机,如Ltl ACORN 6210、SV650、SG007等。

采用不同型号的相机对监测数据(如对不同物种的发现率)可能会产生一定的影响,因此数据分析时需要进行比较和校正。所有监测样地的相机类型应尽可能统一型号,保证监测标准的一致性。

2.2 相机参数调试

相机使用前需要对相机的有关参数进行设置。重要的参数包括日期与时间(非常重要),拍摄模式(照片),SD卡均需格式化,时间间隔调为“1 s”,连拍3张(目前的相机类型可连拍5–9张,具体可根据调查目的确定),设置照片编号、密码,灵敏度设置为“中”或“高”,定时为“关”等。关于拍摄模式,建议常规动物监测采用“照片”模式,便于照片数据快速处理,而采用“视频”模式则主要用于监测目标动物的行为,如研究松鼠取食和贮藏种子的行为过程。调试时需要试拍2–3张照片,以了解相机和SD卡是否正常工作。由2人进行调试,1人负责设置,另1人负责核对。

2.3 监测时间

监测时间最好选择在旱季进行。由于我国南方雨季长、湿度大,常年连续监测导致了弄冈、西双版纳、鼎湖山和八大公山等监测样地近一半的相机无法正常工作。北方的温带区域也应考虑在旱季(秋冬季)进行,可以与冬季样线调查(基于雪后足迹调查)紧密结合。

2.4 相机布设

(1)布设前对整个监测样方通过GIS制成1 km²或1 ha的网格,预设相机位点(通常为每个网格的中心点),打印在地图上。(2)根据监测区域的行走路线确定相机布设的路径,将相机位点预设位置(经纬度)导入GPS导航仪。(3)通过GPS导航找到预设相机位点,并以此位点为圆点,20 m为半径的圆内寻找适合相机安放的位置(通常选择靠近动物痕迹或路径的位置),这样可保证两相邻网格中机位的最小

间距至少有60 m。(4)对实际相机位点进行确认,重新记录相机位点的GPS信息。

布设时尽可能选择动物利用的兽径和水源,地面灌草较少的位置(在植物生长季节需要特别注意灌草的生长);相机前不应有叶片大的植物,尽量避开阳光直射的地方;可设置一些障碍,但注意预留动物活动的通道,保证动物通过相机前的时间最长。相机捆绑在树干0.5 m左右的高度,相机机头平行于地面(Ahumada *et al.*, 2011)。安装前拍摄1张照片,看是否正常工作(非常重要)。安装和取卡(或回收)时,均需拍摄1张写有相机位点信息(安装人、相机位点编号、日期)的“白板照片”(非常重要)。注意记录实际相机位点的GPS信息。多样性监测时不得使用诱饵或嗅味剂(Ahumada *et al.*, 2011)。相机布设时注意隐蔽和伪装,防止相机被盗。相机布设前后需要对相机情况和相机布设样点的有关信息进行详细记录,主要包括3个记录表,即相机审核表、相机情况表、相机位点信息表等(见附录I, II, III)。相机(正常、失灵、损坏、被盗)和记忆卡(正常、损坏)要在布设和数据采集过程中记录是否正常工作。

2.5 数据管理

记录表格(附录I, II, III)的数据在相机布设完成后1周内应及时录入Excel表格,并将有关数据上传到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)(肖治术等, 2014b)。照片数据在采集后1周内上传到CameraData,并及时分析整理。数据采集1-2个月内应完成物种识别,导出所需数据进行统计分析,撰写调查总结等。

图像数据副本按以下目录分级进行存储,采用4级目录结构。具体存储结构定义示例如下:

监测样区编号(鼎湖山)DHS

相机布设年月201202

小样地编号(如大样地)DYD-相机编号P01

照片编号IMAG0001.JPG

2.6 技术培训和讨论总结

相机布设前后对参加野外相机布设队员进行培训和集中讨论是十分必要的。布设前成立野外工作小组(3-5人),确定小组长。培训和讨论内容包括监测任务、相机布设要领、监测样方的地理位置、工作日程、工作纪律、后勤保障(食物、水、交通工具)、必备工具及其使用(GPS、指南针、相机、砍

刀、背包、记号笔、铅笔、标签、通讯工具、地图、地形图、预设相机位点地图)、记录表格等。此外,相机布设后应及时讨论,总结经验,并提交相机布设工作总结。

2.7 相机维护

为了延长相机的使用寿命,需要进行定期维护。建议每次取卡或取回相机后立即对相机进行干燥、清洁等。相机不用时应置于放有干燥剂(硅胶)的防潮箱内保存,任何电池都需要从相机取走(非常重要)。内存卡取出,干燥保存。相机布设尽量在旱季进行,雨季需要更多的维护以延长相机寿命(取回需要立即干燥、清洁)。

3 展望

红外相机技术在野生动物保护与管理方面将有极好的发展前景(O'Brien *et al.*, 2010; O'Connell, 2011)。然而,作为一项新的野生动物常规监测手段,该方法仍有许多技术或标准等问题亟待解决。建立野生动物多样性的长期监测计划应重视以下6个方面的要求:(1)监测类群应相对全面,不针对单一物种或类群;(2)监测应做到定时(固定监测时间)、定点(固定监测样方和监测样点)和定量(固定监测面积),保证时间和空间上的长期性和连续性;(3)监测技术客观,建立统一的监测规范;(4)数据管理(如存储和分析)规范化和标准化,建立统一的数据库;(5)监测数据信息实现网络化和可视化;(6)成立协作团队,建立区域性的监测网络。

鉴于目前我国森林野生动物红外相机监测网络已初步形成,我们提出以下3个建议来进一步稳定和发展该监测网络:(1)我国森林和其他生态系统应统一制定并严格执行有关红外相机监测规范,保证数据的有效性和可比性。(2)进一步发挥野生动物多样性监测图像数据管理系统CameraData在红外相机监测库图像数据管理、数据分析和信息交流等方面的服务作用,建立和完善我国野生动物多样性监测数据库和开放的监测数据网络信息平台,促进数据共享和对比研究。(3)对我国野生动物多样性监测予以稳定支持,发展和壮大监测队伍,开展技术培训,加强学术交流,有效促进国内和国际的科研合作。

红外相机技术虽然近年来在我国的应用有所发展,但对我国许多科研人员和基层技术人员而言

仍属于一种相对新的监测技术, 执行标准会因研究者或调查者各自的研究目标、经验和所掌握的信息资料不同而存在较大差异。因此, 需要定期组织相关培训和学术研讨, 从而推动我国野生动物多样性红外相机监测规范的建立和执行。要做到对每个监测样地中所有生物类群的全面监测是极为困难的。如受相机设置限制, 很难监测到在林冠层活动的动物类群。监测规范应充分考虑野生动物在时间和空间上分布和活动的异质性。公里网格抽样方案的建立和执行有利于监测到更多动物种类。但仍需针对不同抽样标准(包括公里网格抽样方案和公顷网格抽样方案)进行深入研究和评价, 以便建立和执行更加合理、有效的监测规范。此外, 对一些有条件的监测样地可建立和执行针对整个区域的野生动物多样性监测规范。例如, 我们目前正在与长白山自然保护区和纳板河流域国家级自然保护区合作开展针对整个区域的野生动物多样性监测研究。整个区域的监测规范将涉及红外相机、样带调查和标记-重捕等多种监测方法, 从而保证更多物种得到有效监测。

致谢: 感谢中国森林生物多样性监测网络总负责人马克平研究员对野生动物红外相机监测工作的积极推动和大力支持, 也感谢各森林动态监测样地相关负责同志的友好协助和积极配合。

参考文献

- Ahumada JA, Silva K, Gajapersad C, Hallam J, Hurtado E, Martin A, McWilliam B, Mugerwa T, O'Brien T, Rovero F (2011) Community structure and diversity of tropical forest mammals, data from a global camera trap network. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences*, **366**, 2703–2711.
- Feng LM (冯利民), Zhang JS (张劲硕) (2008) Feline animal field appeared in the wild. *Chinese National Geography* (中国国家地理), **575**(9), 56–67. (in Chinese)
- Karanth KU, Nichols JD (1998) Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, **79**, 2852–2862.
- Karanth KU, Nichols JD, Kumar NS, Hines JE (2006) Assessing tiger population dynamics using photographic capture–recapture sampling. *Ecology*, **87**, 2925–2937.
- Kelly MJ, Holub EL (2008) Camera trapping of carnivores: trap success among camera types and across species, and habitat selection by species, on Salt Pond Mountain, Giles County, Virginia. *Northeastern Naturalist*, **15**, 249–262.
- Krebs CJ (1999) *Ecological Methodology*. Benjamin/Cummings Menlo Park, California.
- Li S, Wang D, Gu X, McShea WJ (2010) Beyond pandas, the need for a standardized monitoring protocol for large mammals in Chinese nature reserves. *Biodiversity and Conservation*, **19**, 3195–3206.
- Li ZX (李志兴) (2003) China's first photo of wild tiger using infrared camera. *Chinese Wildlife* (野生动物), **24**, 12. (in Chinese)
- Linkie M, Ridout MS (2011) Assessing tiger-prey interactions in Sumatran rainforests. *Journal of Zoology*, **284**, 224–229.
- Liu XH, Wu PF, Songer M, Cai Q, He XB, Zhu Y, Shao XM (2013) Monitoring wildlife abundance and diversity with infra-red camera traps in Guanyinshan Nature Reserve of Shanxi Province, China. *Ecological Indicators*, **33**, 121–128.
- 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**, 95–100. (in Chinese with English abstract)
- Ma M (马鸣), Xu F (徐峰), Chundawat RS, Jumabay K, Wu YQ (吴逸群), Ai ZZ (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)
- MacKenzie DI (2006) *Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence*. Academic Press, Burlington.
- Manzo E, Bartolommei P, Rowcliffe JM, Cozzolino R (2012) Estimation of population density of European pine marten in central Italy using camera trapping. *Acta Theriologica*, **57**, 165–172.
- 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.
- O'Brien T, Baillie J, Krueger L, Cuke M (2010) The Wildlife Picture Index: monitoring top trophic levels. *Animal Conservation*, **13**, 335–343.
- O'Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2011) *Camera Traps in Animal Ecology, Methods and Analyses*. Springer, New York.
- Pei KQ (裴家骥) (1998) An evaluation of using auto-trigger camera to record activity patterns of wild animals. *Taiwan Journal of Forestry Science* (台湾森林科学), **13**, 317–324. (in Chinese with English abstract)
- Pei KQ (裴家骥), Chen CZ (陈朝圳), Wu ST (吴守徒), Teng MQ (滕民强) (1997) Use of camera-trapping and geographic information system to study spatial distribution of forest wildlife. *Quarterly Journal of Chinese Forestry* (中

- 华林学季刊), 30, 279–289. (in Chinese with English abstract)
- Rovero F, Tobler M, Sanderson J (2010) Camera trapping for inventorying terrestrial vertebrates. In: *Manual on Field Recording Techniques and Protocols for All Taxa Biodiversity Inventories and Monitoring* (eds Eymann J, Degreef J, Hauser C, Monje JC, Samyn Y, VandenSpiegel D), pp. 100–128. The Belgian National Focal Point to the Global Taxonomy Initiative.
- Rovero F, Marshall AR (2009) Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates. *Journal of Applied Ecology*, 46, 1011–1017.
- Rowcliffe JM, Carbone C, Jansen PA, Kays R, Kranstauber B (2011) Quantifying the sensitivity of camera traps: an adapted distance sampling approach. *Methods in Ecology and Evolution*, 2, 464–476.
- 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.
- Rowcliffe JM, Carbone C (2008) Surveys using camera traps: are we looking to a brighter future? *Animal Conservation*, 11, 185–186.
- Seber GA (1982) *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*, 2nd edn. Macmillan, New York.
- Shek CT, Chan CSM, Wan YF (2007) Camera trap survey of Hong Kong terrestrial mammals in 2002–06. *Hong Kong Biodiversity*, 15, 1–11.
- Southwood TRE, Henderson P (2000) *Ecological Methods*, 3rd edn. Blackwell Science, Oxford.
- TEAM Network (2008) *Terrestrial Vertebrate (Camera Trap) Protocol Implementation Manual*, v. 3.0. Tropical Ecology, Assessment and Monitoring Network, Center for Applied Biodiversity Science, Conservation International, Arlington, VA, USA.
- Wang TJ, Skidmore AK, Zeng ZG, Beck PSA, Si YL, Song YL, Liu XH, Prins HHT (2010) Migration patterns of two endangered sympatric species from a remote sensing perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76, 1343–1352.
- Wearn OR, Rowcliffe JM, Carbone C, Bernard H, Ewers RM (2013) Assessing the status of wild felids in a highly-disturbed commercial forest reserve in Borneo and the implications for camera trap survey design. *PLoS ONE*, 8, e77598.
- Wu PF (武鹏峰), Liu XH (刘雪华), Cai Q (蔡琼), He XB (何祥博), Melissa S, 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)
- Xiao ZS (肖治术) (2014a) An introduction to wildlife camera trapping monitoring from Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network (CForBio). *Biodiversity Science (生物多样性)*, 22, 808–809. (in Chinese with English abstract)
- 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)
- Zhang HF (张洪峰), Feng T (封托), Ji MZ (姬明周), Kong F (孔飞), Wu XM (吴晓民) (2009) Study on monitoring of wild animal Tibetan antelope utilization of Qinghai Tibet railway bridge. *Bulletin of Biology (生物学通报)*, 44(10), 8–10. (in Chinese)
- 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)

(责任编辑: 蒋学龙 责任编辑: 周玉荣)

附录 Supplementary Material

附录I 相机审核表

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-075-1.pdf>

附录II 相机情况表

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-075-2.pdf>

附录III 相机位点信息表

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2014-075-3.pdf>