• 研究报告 •

基于红外相机技术对四川卧龙国家级自然保护区雪豹(*Panthera uncia*)的研究

唐卓^{1,2} 杨建² 刘雪华^{1*} 王鹏彦² 李周园¹¹ (清华大学环境学院, 北京 100084)² (卧龙国家级自然保护区管理局, 四川汶川 623006)

摘要: 2013年11月至2016年3月, 在四川卧龙国家级自然保护区内布设20台Ltl-6210MC红外相机, 对雪豹(*Panthera uncia*)及其同域野生动物进行研究。相机工作日7,056个, 拍摄记录约12万条。雪豹的有效探测43次, 相对多度指数为6.09。28个月中红外相机持续记录到雪豹, 并且记录中还有幼雪豹, 说明卧龙国家级自然保护区雪豹的生存状况较好。数据分析表明, 雪豹年活动高峰是1月, 日活动高峰为18:00–20:00, 日活动节律存在季节差异。关于环境因子, 雪豹偏好生境为高山流石滩, 尤其常见于高山流石滩的山脊, 其活动最适宜的参考温度范围为–10℃到–3℃。此外, 本文提出了月相活动强度指数, 用于评价夜间不同光照强度下野生动物的活动情况。结果显示, 雪豹夜行能力较强, 月相对其夜间活动有显著影响($P < 0.01$)。本研究为进一步开展雪豹及其同域野生动物的保护和研究提供了第一手资料, 对全面了解雪豹的生态习性及其栖息地评价有参考意义。

关键词: 雪豹; 红外相机; 卧龙国家级自然保护区; 活动规律; 生境选择; 月相

Research on snow leopards (*Panthera uncia*) using camera-trapping in Wolong National Nature Reserve, China

Zhuo Tang^{1,2}, Jian Yang², Xuehua Liu^{1*}, Pengyan Wang², Zhouyuan Li¹¹ School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084² Administration Bureau of Wolong National Nature Reserve, Wenchuan, Sichuan 623006

Abstract: Between November 2013 and March 2016, twenty Ltl-6210MC infrared-triggered camera-traps were installed in Wolong National Nature Reserve, Sichuan, China, to monitor snow leopards (*Panthera uncia*) and other wildlife. A total of 7,056 camera-days of data were collected, including approximately 120,000 photos and video clips. The effective number of snow leopard samples collected by the infrared cameras was 43, and the calculated relative abundance index (RAI) for this species was 6.09. During the 28 months of continuous data collection using infrared cameras, records of snow leopards, including leopard cubs, demonstrated that Wolong National Nature Reserve is a relatively hospitable environment for this species. The analytical results indicate that the annual activity peaked in January, and the daily activity peaked between the hours of 18:00–20:00, and daily activity patterns showed seasonal variations. When considering environmental factors, the preferred habitat is the alpine scree where snow leopards appeared most in the ridge areas and the range of preferred reference temperatures for snow leopard activity was found between –10℃ and –3℃. In addition, the lunar-phase relative abundance index was originally created to assess the appearance of wildlife under different night lightness levels. It was found that the snow leopard is fairly active at night, and the lunar-phase has a significant impact on its level of nocturnal activity ($P < 0.01$). We provided primary sources for further protection and research of snow leopards and the other wildlife. This study could be utilized to comprehensively learn the ecological characteristics and assess snow leopard habitat.

收稿日期: 2016-11-03; 接受日期: 2016-12-14

基金项目: 香港特别行政区支持四川灾后重建川港卧龙自然保护区持续合作计划资助项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xuehua-hjx@tsinghua.edu.cn

Key words: snow leopard; infrared camera; Wolong National Nature Reserve; activity pattern; habitat selection; lunar-phase

雪豹(*Panthera uncia*)属于猫科豹亚科豹属,是山地生物多样性的旗舰物种。雪豹主要生活在12或13个境内有高山或高原的国家和地区,如中国、阿富汗、不丹、印度、俄罗斯等。全球雪豹的活动区域为124万–240万km²,其中60万–120万km²在中国;野外种群数量4,500–7,350只,中国有2,500–3,500只(马鸣等, 2013)。此前已有不少关于雪豹的研究积累,主要涉及雪豹的饲养与繁殖(廖炎发等, 1986)、分类地位(于宁等, 1996)、生境选择(Jackson, 1996)、地理分布(Hunter & Jackson, 1997)、形态学(McCarthy & Chapron, 2003)、食性(刘楚光等, 2003)、数量和密度(Jackson et al, 2006)、和主要猎物之间的关系(Namgail, 2007)、与人的冲突及保护对策(Xu et al, 2008)、遗传多样性(周芸芸等, 2014)、生存现状(Alexander, 2015)、行为学^①等,研究区域集中于尼泊尔、蒙古、巴基斯坦、印度以及中国新疆、青海、西藏等地。有关四川的雪豹研究很少,仅彭基泰(2009)采用痕迹调查、访问调查和贸易统计等方法研究了甘孜地区的雪豹资源并估算了雪豹的数量。

红外相机技术在野生动物领域中广泛应用于物种监测(刘芳等, 2012; Liu et al, 2013; 陈声文等, 2016)、活动节律研究(武鹏峰等, 2012; 贾晓东等, 2014; 李峰和蒋志刚, 2014; 张晋东等, 2015)、数量估计(Li et al, 2014; 李治霖等, 2014; 宋大昭等, 2014)、行为研究(薛亚东等, 2014b; 王长平等, 2015)、道路影响评价(李佳等, 2015)等。一些科研人员还深入探讨了红外相机技术在我国野生动物保护与研究中的应用和前景、问题与限制以及监测规范等(李晟等, 2014; 肖治术等, 2014; 张履冰等, 2014)。2009年,卧龙国家级自然保护区管理局和北京大学以及山水自然保护中心合作,首次运用红外相机证实了雪豹在卧龙自然保护区的存在(Li et al, 2010),但是没有进行更深入的研究。本文运用红外相机技术研究了卧龙自然保护区雪豹的活动规律,拟为进一步开展雪豹及其同域野生动物以及高山生态系统的保护和研究提供基础数据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

卧龙国家级自然保护区位于四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县,距离四川省省会成都市约120 km,处于四川盆地向青藏高原的过渡地带,地理坐标为102°52'–103°24' E、30°45'–31°25' N。该保护区建于1963年,总面积2,000 km²,东部木江坪海拔高度1,150 m,西北部四姑娘山海拔高度6,250 m,相对高差达5,100 m。卧龙自然保护区主要河流有皮条河、正河、西河和中河,河流两侧发育有各级支流,形成树枝状水系(周世强等, 2016)。该保护区主要保护对象为大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、川金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)、四川羚牛(*Budorcas tibetanus*)、珙桐(*Davidia involucrata*)、水青树(*Tetracentron sinense*)等珍稀濒危动植物以及高山生态系统。

卧龙自然保护区具有典型的亚热带、温带、寒温带、寒带、高寒带、极高寒冰雪带等不同的气候垂直带谱(陈利顶等, 1999),植被类型主要有常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、温性针叶林、温性针阔混交林、寒温性针叶林、高山灌丛、高山草甸和高山流石滩稀疏植被等(黄金燕等, 2007)。该保护区年平均气温9.8℃,月平均气温最低–1.7℃(1月),最高17℃(7月),年平均日照时数926.7 h,年均降水量1,800 mm,年均蒸发量873.9 mm,相对湿度80%以上。

1.2 红外相机数据获取

2013年11月至2016年3月,我们在卧龙自然保护区内的银厂沟热水、梯子沟木香坡和魏家沟毛狗洞(以下简称为银厂沟、梯子沟和魏家沟)的雪豹栖息地安装了20台Ltl-6210MC红外相机。相机布设在雪豹的痕迹点、山脊、兽径等地,和地面的高度40–50 cm,距离预计拍摄位置3–5 m,未使用引诱剂(附录1)。相机位点海拔高度3,536–4,481 m,生境类型包括高山灌草丛、高山草甸和高山流石滩,部分位点设2台相机以获取雪豹的不同侧面进行个体识别。根据坡位、生境类型等情况的不同,相邻相机位点的直线距离在100–500 m。相机全天工作,拍

① 潘国梁 (2016) 低海拔笼养雪豹行为特征探究. 硕士学位论文, 北京林业大学, 北京.

3张照片后摄制10–20 s的视频, 拍摄周期时间间隔20 s, 灵敏度中档。研究过程中相机丢失4台, 损坏3台, 进行了补安装。相机位点一共是27个, 包括梯子沟13个、银厂沟9个和魏家沟5个(图1)。

1.3 红外相机数据处理

红外相机数据包括照片和视频。本文对照片进行了分析, 视频用于协助物种鉴定等。

1.3.1 独立有效照片的提取

为了降低同一种动物红外相机照片的相关性, 参考Yasuda (2004)和薛亚东等(2014a)的方法, 按以下步骤提取出独立有效照片: 每1台相机能够准确鉴定动物物种的照片中, 与上一张照片动物物种相同且时间间隔 ≥ 30 min或动物物种不同的照片记为有效照片; 比对可能重复的有效照片, 删除动物物种相同且时间间隔 < 30 min的照片。

1.3.2 有效探测的信息录入

每张独立有效照片中的每种动物视为1次有效探测, 用红外相机数据管理系统录入动物物种、数量、时间、月相、温度等信息。

1.4 红外相机数据分析

1.4.1 雪豹相对多度指数

相对多度指数(relative abundance index, *RAI*)以红外相机调查中的拍摄率为基础, 数值的高低与动物种群数量之间存在正相关的函数关系(李晟等, 2016), 公式如下:

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

式中, *RAI*代表雪豹的相对种群数量; *A*代表雪豹的有效探测次数; *N*代表相机工作日天数。1台红外相机持续正常工作24 h记为1个相机工作日。

1.4.2 雪豹年活动节律和季节活动节律

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(李明富等, 2011), 因此相对多度指数的大小可以反映雪豹的活动强度。分别比较雪豹在各个月份和季节的相对多度指数大小, 分析其年和季节活动节律。根据卧龙自然保护区的物候特征, 定义3–5月为春季, 6–8月为夏季, 9–11月为秋季, 12月至翌年2月为冬季。

1.4.3 雪豹日活动节律及其季节差异

通过时间段活动强度指数(time-period activity intensity index, *TAII*)分析雪豹的日活动节律及其季节差异, 公式如下:

$$TAII = (A_i/A) \times 100 \quad (2)$$

式中, *TAII*代表雪豹在第*i*个时间段($i = 1, \dots, 12$, 以每2个小时为1个时间段)的活动强度; *A_i*代表雪豹在第*i*个时间段的有效探测次数。

1.4.4 雪豹夜间活动强度和月相活动强度

通过夜间活动强度指数(night-time activity intensity index, *NAII*)分析雪豹的夜间活动能力, 公式如下:

$$NAII = (D/A) \times 100 \quad (3)$$

式中, *NAII*代表雪豹在夜间时段(20:00–06:00)的活动强度; *D*代表雪豹在夜间时段的有效探测次数。

图1 四川卧龙国家级自然保护区雪豹研究的红外相机位点及其海拔高度信息。A: 银厂沟(3,536–4,214 m); B: 魏家沟(4,221–4,418 m); C: 梯子沟(3,985–4,481 m)。

Fig. 1 Map of infrared cameras installation sites for studying snow leopards with altitude information in the Wolong National Nature Reserve, Sichuan Province. A, Yinchang Valley (3,536–4,214 m); B, Weijia Valley (4,221–4,418 m); C, Tizi Valley (3,985–4,481 m).

通过月相活动强度指数(lunar-phase activity intensity index, LAI)探讨月相对雪豹夜间活动的影响, 公式如下:

$$LAI = (D_i/D) \times 100 \quad (4)$$

式中, LAI 代表雪豹在夜间时段中第*i*种月相($i = 1, \dots, 6$, Ltl-6210MC相机包括娥眉月、盈凸月、满月、亏凸月、残月和新月共6种月相)的活动强度; D_i 代表雪豹在夜间时段中第*i*种月相的有效探测次数。针对结果, 我们利用Excel数据分析工具计算不同月相下 D_i 之间的统计指标, 进行单因素方差分析(ANOVA), 判断月相对雪豹夜间活动影响的显著性。

1.4.5 雪豹的生境和坡位选择

比较雪豹在高山灌草丛、高山草甸和高山流石滩相对多度指数的大小, 分析雪豹的生境选择。梯子沟的部分相机安装在山脊, 生境类型是高山流石滩。通过雪豹在高山流石滩的山脊和非山脊相对多度指数的大小探讨雪豹对高山流石滩的坡位选择。

1.4.6 雪豹活动对环境温度的选择

通过温度活动强度指数(temperature activity intensity index, $TEAI$)分析雪豹活动对环境温度的选择, 公式如下:

$$TEAI = (T_i/A) \times 100 \quad (5)$$

式中, $TEAI$ 代表雪豹在温度为 $i^\circ\text{C}$ ($i = -15, -14, -13, \dots, 13, 14, 15$)的活动强度; T_i 代表雪豹在温度为 $i^\circ\text{C}$ 的有效探测次数。其中, 环境温度数据读取自红外相机照片上显示的温度值, 该值为照片拍摄时刻周边环境的参考温度。

2 研究结果

2.1 红外相机工作状况及雪豹拍摄概况

经统计, 相机工作日7,056个; 在月份上, 4月(449个)最少, 7月(717个)最多; 在季节上, 春季(1,457个)最少, 夏季(1,988个)最多。红外相机的照片和视频文件约12万个, 从中得到野生动物有效探测2,251次。雪豹的有效探测43次, 占野生动物有效探测次数的1.91%, 相对多度指数是6.09。10个相机位点拍摄到雪豹, 银厂沟和魏家沟各有3个, 梯子沟有4个, 海拔高度区间是3,536–4,481 m (图1)。

拍摄到雪豹最早和最晚的时间分别是2014年1月和2016年3月, 基本贯穿了整个研究期间。2015

年1月、5月和10月, 红外相机分别在银厂沟3个不同的位点记录到2只或3只雪豹同时活动的情形, 其中1月和5月是雌性雪豹带着幼雪豹。从雪豹的生物学特性和幼雪豹个体大小判断, 2只幼雪豹是2014年6月左右出生。图2是本研究中红外相机拍摄的4张有代表性的雪豹照片。

2.2 雪豹年活动节律和季节活动节律

雪豹的年活动高峰是1月。从3月开始雪豹的活动逐渐减少, 最少的是6、7月。8月雪豹活动也比较频繁, 是全年的次高峰。从季节上看, 雪豹在冬季最活跃, 春季次之, 秋季第三, 夏季活动最少(图3)。

2.3 雪豹日活动节律及其季节差异

雪豹的日活动强度在16:00–18:00迅速上升, 18:00–20:00达到高峰之后急剧下降(图4)。20:00至次日08:00雪豹比较活跃, 8:00–16:00很少活动。雪豹在夏秋季节比冬春季节更集中在夜间活动。春季雪豹在10:00–14:00也比较活跃, 黄昏的活动高峰有所提前。

2.4 雪豹夜间活动强度和月相活动强度

雪豹的43次有效探测中, 夜间时段的有效探测是19次, 夜间活动强度指数为44.19, 说明雪豹具有较强的夜行能力。19次有效探测中, 亏凸月、盈凸月、残月各5次, 满月和新月各2次, 娥眉月0次。雪豹在盈凸月、满月、亏凸月和残月这4种比较明亮月相的月相活动强度指数之和占有所有月相的月相活动强度指数之和的89.47% (图5)。ANOVA分析结果显示, 不同月相下 D_i 值之间存在极显著差异($P < 0.01$), 可见月相对雪豹夜间活动有显著影响。

2.5 雪豹的生境和坡位选择

雪豹在高山灌草丛、高山草甸和高山流石滩的相对多度指数分别是1.10、0和7.64, 在高山流石滩的山脊和非山脊的相对多度指数分别是24.20和3.81。以上数据说明雪豹更偏好高山流石滩尤其是高山流石滩的山脊。

2.6 雪豹活动对环境温度的选择

拍摄到雪豹的最低环境温度是 -13°C , 最高环境温度是 14°C , 平均环境温度是 -2.44°C 。统计发现雪豹的温度活动强度指数呈偏峰分布, 较高的温度活动强度指数集中在 -10°C 到 -3°C , 可以认为这是雪豹活动最适宜的参考环境温度范围(图6)。

图2 卧龙国家级自然保护区红外相机拍摄的雪豹照片。a, b, c: 白天活动的雪豹; d: 夜间活动的雪豹。
Fig. 2 The photos of the snow leopards trapped by the infrared cameras in Wolong National Nature Reserve. Snow leopards taken during the days in picture a, b, c; snow leopard taken in the night in picture d.

图3 卧龙国家级自然保护区雪豹年和季节活动节律
Fig. 3 Annual and seasonal activity rhythm of the snow leopards in Wolong National Nature Reserve

3 讨论

3.1 红外相机技术在卧龙自然保护区雪豹研究中的应用

卧龙自然保护区雪豹栖息地海拔高, 地形复杂, 气候多变, 传统的研究方法如样线法实施难度大, 并且不易估计其准确性。本研究表明, 红外相

机技术在雪豹研究中具有较强的适用性。王亮等(2014)在甘肃安西极旱荒漠自然保护区检验并分析了红外相机技术在山区动物种类调查中的优缺点, 认为其在大型兽类、猫科动物及夜行性动物调查中具有明显优势, 可以弥补样线法的不足。本文在约28个月的监测期间, 银厂沟、魏家沟和梯子沟的红外相机分别持续记录到雪豹, 在银厂沟还拍摄到母子雪豹(图2b)。由此可见, 雪豹在卧龙自然保护区的生存状况较好。

在计算方法上, 本研究采用了有效探测次数而不是独立有效照片数量进行计算, 结果更加准确。本文中雪豹的有效探测次数较小, 一方面是由于雪豹作为一种大型猫科动物, 种群密度极低。Alexander等(2016)使用红外相机技术在甘肃祁连山国家级自然保护区识别出17–19只雪豹, 种群密度是1.46–3.29只/100 km²。另一方面, 为了保证红外相机照片的独立性, 本文的照片处理方法考虑了同一台红外相机照片的自相关性和邻近红外相机照片

图4 卧龙国家级自然保护区雪豹日活动节律及其季节差异
Fig. 4 Daily activity rhythm of the snow leopards and its seasonal differences in Wolong National Nature Reserve

图5 月相对卧龙国家级自然保护区雪豹夜间活动的影响
Fig. 5 Impacts of lunar-phase on the night activity of the snow leopards in Wolong National Nature Reserve

图6 卧龙国家级自然保护区雪豹活动对环境温度的选择
Fig. 6 Preference for ambient temperature by the snow leopards in Wolong National Nature Reserve

的互相关性。另外, 本研究中雪豹的有效探测次数还不足以确定卧龙自然保护区雪豹的种群数量。

因为红外相机丢失、损坏等原因, 各个月份的相机工作日数量不同。本研究中相对多度指数的计

算用到相机工作日数量, 而相机工作日数量和有效探测次数正相关, 并且本文中相机工作日数量较大, 因此各个月份的相机工作日数量不同不会明显影响计算结果。

红外相机在拍摄照片的同时也记录了环境温度、月相等信息。结合最新相关研究可知, 红外相机的工作原理是被拍摄对象所散发的热辐射与周围环境的热量差异触发相机拍摄, 其温度传感装置比较灵敏, 所记录的环境温度信息有一定参考意义 (Welbourne et al, 2016)。同一环境下, 红外相机所测量的温度与温湿仪等专业仪器所测量的温度可能存在一定差异, 因此本文中雪豹活动最适宜的环境温度范围仅供参考。如需获得更准确的环境温度信息, 可以通过校正等方式实现。

3.2 卧龙自然保护区雪豹的活动规律

本研究的结果反映出温度、生境、光照是雪豹活动的重要环境影响因子。McCarthy等(2005)运用无线电和卫星项圈研究了蒙古阿尔泰山低密度猎物区的4只成年雪豹, 发现它们在夜间更加活跃, 喜欢有蹄类猎物丰富的地区, 偏好陡峭、崎岖的地形和栖息地的边缘。徐峰等(2006)对新疆雪豹的活动痕迹进行调查后指出雪豹喜欢较崎岖的区域。李娟(2012)的研究表明, 雪豹主要生活在岩羊 (*Pseudois nayaur*) 密度高、年均温较低和崎岖度较大的地方, 喜欢山脊、峡谷和破碎的悬崖。这些研究结果可以和本文的结果互相印证。

关于本文首次提出的月相活动强度指数, 尽管雪豹在夜间时段的有效探测次数有限, 但其反映的雪豹夜间活动规律值得深入探究。月相盈亏, 周而复始、渐变对称。从本研究所使用的Ltl-6210MC红外相机的月相设置上看, 满月和亏凸月是农历中旬, 是夜间光照强度最高的两种月相; 盈凸月和残月夜间光照强度中等; 夜间光照强度最低的是娥眉月和新月。研究结果显示雪豹在盈凸月和残月的月相活动强度指数之和最高, 在娥眉月和新的月相活动强度指数之和最低, 我们认为这是由于雪豹夜间捕食等活动需要一定的光照强度。但是雪豹在满月和亏凸月的月相活动强度指数之和反而低于盈凸月和残月的月相活动强度指数之和, 推测此时雪豹的猎物岩羊等动物因为夜视能力增强而更难捕获, 导致雪豹活动也相应减少。这一推测尚有待进一步检验和论证。

3.3 卧龙自然保护区雪豹的研究方向

关于卧龙自然保护区的雪豹还有很多问题亟待深入研究, 比如种群数量和密度、遗传多样性、食性、人为干扰对其影响等。科研人员已在其他区域进行了探索。Mishra等(2003)评估了在印度和蒙古实施的雪豹保护激励项目的成效, 并提出扩大该项目的实施范围。马鸣等(2006)在新疆天山托木尔峰自然保护区运用红外相机技术计算雪豹拍摄率, 并结合雪后痕迹调查法估计雪豹的数量和密度。张于光等(2008)在青藏高原和蒙古南部3个独立的雪豹分布区采集粪便样品, 运用mtDNA进行基因分型, 分别鉴定出4只、1只和5只雪豹。Lovari等(2009)在尼泊尔索鲁坤布区萨加玛塔国家公园通过雪豹粪便分析雪豹的食性、性别和种群数量, 发现当地有2雄2雌共4只雪豹, 它们的主要猎物是塔尔羊(*Hemitragus jemlahicus*)。这些探索可以为研究卧龙国家级自然保护区的雪豹提供很好的参考。

致谢: 野外工作期间得到卧龙国家级自然保护区管理局邓生保护站全体职工以及卧龙特别行政区卧龙镇杨春贵、杨攀峰、万宝红等人的帮助; 香港海洋公园保育基金赞助本文作者唐卓在清华大学攻读硕士研究生的学费。在此一并表示衷心的感谢!

参考文献

- Alexander JS (2015) Advancing Research and Conservation of Snow Leopards in the Qilianshan Mountains of China: Management and Methodological Implications. PhD dissertation, Beijing Forestry University, Beijing.
- Alexander JS, Zhang CC, Shi K, Riordan P (2016) A granular view of a snow leopard population using camera traps in Central China. *Biological Conservation*, 197, 27–31.
- Chen LD, Liu XH, Fu BJ (1999) Evaluation on giant panda habitat fragmentation in Wolong Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 19, 291–297. (in Chinese with English abstract) [陈利顶, 刘雪华, 傅伯杰 (1999) 卧龙自然保护区大熊猫生境破碎化研究. *生态学报*, 19, 291–297.]
- 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.]
- Huang JY, Zhou SQ, Tan YC, Zhou XP, Wang PY, Zhang HM (2007) Study on the species diversity of plant community in the giant panda habitat of Wolong Natural Reserve: species richness, species diversity and evenness. *Scientia Silvae Sinicae*, 43(3), 73–78. (in Chinese with English abstract) [黄金燕, 周世强, 谭迎春, 周小平, 王鹏彦, 张和民 (2007) 卧龙自然保护区大熊猫栖息地植物群落多样性研究: 丰富度、物种多样性指数和均匀度. *林业科学*, 43(3), 73–78.]
- Hunter DO, Jackson RM (1997) A range wide model of potential snow leopard habitat. In: *Proceedings of the Eighth International Snow Leopard Symposium* (eds Jackson RM, Ahmad A), pp. 51–56. International Snow Leopard Trust, Seattle and WWF Pakistan, Lahore, Islamabad.
- Jackson RM (1996) Home Range, Movements and Habitat Use of Snow Leopard (*Uncia uncia*) in Nepal. PhD dissertation, University of London, London.
- Jackson RM, Roe JD, Wangchuk R, Hunter DO (2006) Estimating snow leopard abundance using photography and capture-recapture techniques. *Wildlife Society Bulletin*, 34, 772–781.
- Jia XD, Liu XH, Yang XZ, Wu PF, Songer M, 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, Songer M, 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.]
- Li F, Jiang ZG (2014) Is nocturnal rhythm of Asian badger (*Meles leucurus*) caused by human activity? A case study in the eastern area of Qinghai Lake. *Biodiversity Science*, 22, 758–763. (in Chinese with English abstract) [李峰, 蒋志刚 (2014) 狗獾夜间活动节律是受人类活动影响而形成的吗? 基于青海湖地区的研究实例. *生物多样性*, 22, 758–763.]
- Li J (2012) Ecology and Conservation Strategy of Snow Leopard (*Panthera uncia*) in Sanjiangyuan Area on the Tibetan Plateau. PhD dissertation, College of Life Sciences, Peking University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [李娟 (2012) 青藏高原三江源地区雪豹 (*Panthera uncia*) 的生态学研究及保护. 博士学位论文, 北京大学生命科学院, 北京.]
- Li J, Cong J, Liu X, Zhou YY, Wang XL, Li GL, Li DQ (2015) Effect of tourist roads on mammal activity in Shennongjia National Nature Reserve based on the trap technique of infrared cameras. *Chinese Journal of Ecology*, 34, 2195–2200. (in Chinese with English abstract) [李佳, 丛静, 刘晓, 周芸芸, 王秀磊, 李广良, 李迪强 (2015) 基于红外相机技术调查神农架旅游公路对兽类活动的影响. *生态学杂志*, 34, 2195–2200.]
- Li MF, Li S, Wang DJ, McShea WJ, Guan TP, Chen LM (2011) The daily activity patterns of takin *Budorcas taxicolor* in winter and spring at Tangjiahe Nature Reserve, Sichuan Province. *Sichuan Journal of Zoology*, 30, 850–855. (in Chinese with English abstract) [李明富, 李晟, 王大军,

- McShea WJ, 官天培, 谌利民 (2011) 四川唐家河自然保护区扭角羚冬春季日活动模式研究. 四川动物, 30, 850–855.]
- Li S, Wang DJ, Bu HL, Liu XG, Jin T (2016) Camera-trapping survey on the mammal diversity in 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 S, Wang DJ, Lü Z, McShea WJ (2010) Cats living with pandas: the status of wild felids within giant panda range, China. Cat News, 52, 20–23.
- Li XY, Buzzard P, Jiang XL (2014) Validity of the camera trapping method for abundance estimate and its application to a habitat association analysis for four ungulate species in mountain forests. Population Ecology, 56, 251–256.
- Li ZL, Kang AL, Lang JM, Xue YG, Ren Y, Zhu ZW, Ma JZ, Liu PQ, Jiang GS (2014) On the assessment of big cats and their prey populations based on camera trap data. Biodiversity Science, 22, 725–732. (in Chinese with English abstract) [李治霖, 康磊黎, 郎建民, 薛延刚, 任毅, 朱治文, 马建章, 刘培琦, 姜广顺 (2014) 探讨基于红外相机技术对大型猫科动物及其猎物的种群评估方法. 生物多样性, 22, 725–732.]
- Liao YF, Luo HW, Liu DN, Xu SR, Yuan BK (1986) A preliminary study on the rearing and breeding of ounce, *Panthera uncia*. Acta Theriologica Sinica, 6, 93–100. (in Chinese with English abstract) [廖炎发, 罗焕文, 刘德宁, 许树仁, 袁秉奎 (1986) 雪豹饲养与繁殖的初步研究. 兽类学报, 6, 93–100.]
- Liu CG, Zheng SW, Ren JR (2003) Research foods and foods source about snow leopard (*Panthera uncia*). Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 31, 154–159. (in Chinese with English abstract) [刘楚光, 郑生武, 任军让 (2003) 雪豹的食性与食源调查研究. 陕西师范大学学报(自然科学版), 31, 154–159.]
- Liu F, Li DQ, Wu JG (2012) Using infrared cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 32, 730–739. (in Chinese with English abstract) [刘芳, 李迪强, 吴记贵 (2012) 利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种. 生态学报, 32, 730–739.]
- Liu XH, Wu PF, Cai Q, He XB, Songer M, Zhu Y, Shao XM (2013) Monitoring wildlife abundance and diversity with infrared camera traps in Guanyinshan Nature Reserve of Shaanxi Province, China. Ecological Indicators, 33(10), 121–128.
- Lovari S, Boesi R, Minder I, Mucci N, Randi E, Dematteis A, Ale SB (2009) Restoring a keystone predator may endanger a prey species in a human-altered ecosystem: the return of the snow leopard to Sagarmatha National Park. Animal Conservation, 12, 559–570.
- Ma M, Xu F, Cheng Y (2013) Snow Leopards in Xinjiang. Science Press, Beijing. (in Chinese) [马鸣, 徐峰, 程芸 (2013) 新疆雪豹. 科学出版社, 北京.]
- Ma M, Xu F, Chundawat RS, Jumabay K, 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, Jumabay K, 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.]
- McCarthy T, Chapron G (2003) Snow Leopard Survival Strategy. International Snow Leopard Trust and Snow Leopard Network, Seattle.
- McCarthy T, Fuller T, Munkhtsog B (2005) Movements and activities of snow leopards in Southwestern Mongolia. Biological Conservation, 124, 527–537.
- Mishra C, Allen P, McCarthy T, Madhusudan M, Bayarjargal A, Prins H (2003) The role of incentive programs in conserving the snow leopard. Conservation Biology, 17, 1512–1520.
- Namgail T (2007) Vigilance behavior of the Tibetan argali *Ovis ammon hodgsoni* in the Indian Trans-Himalaya. Acta Zoologica Sinica, 53, 195–200.
- Peng JT (2009) An investigation on snow leopard resources in Ganzi prefecture in the Hengduan Mountains on the southeast of the Qinghai-Tibet Plateau. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 30, 57–59. (in Chinese with English abstract) [彭基泰 (2009) 青藏高原东南横断山脉甘孜地区雪豹资源调查研究. 四川林业科技, 30, 57–59.]
- Song DZ, Wang BP, Jiang JY, Wan SP, Cui SM, Wang TM, Feng LM (2014) Using camera trap to monitor a North Chinese leopard (*Panthera pardus japonensis*) population and their main ungulate prey. Biodiversity Science, 22, 733–736. (in Chinese with English abstract) [宋大昭, 王卜平, 蒋进原, 万绍平, 崔士明, 王天明, 冯利民 (2014) 山西晋中庆城林场华北豹及其主要猎物种群的红外相机监测. 生物多样性, 22, 733–736.]
- Wang CP, Liu XH, Wu PF, Cai Q, Shao XM, Zhu Y, Songer M (2015) Research on behavior and abundance of wild boar (*Sus scrofa*) via infrared camera in Guanyinshan Nature Reserve in Qinling Mountains, China. Acta Theriologica Sinica, 35, 147–156. (in Chinese with English abstract) [王长平, 刘雪华, 武鹏峰, 蔡琼, 邵小明, 朱云, Songer M (2015) 应用红外相机技术研究秦岭观音山自然保护区内野猪的行为和丰富度. 兽类学报, 35, 147–156.]
- Wang L, Zhao W, Yang ZW, Tao JD, Bao XK (2014) The application of infrared camera-trapping in wildlife survey in

- mountainous regions. Chinese Journal of Wildlife, 35, 381–387. (in Chinese with English abstract) [王亮, 赵伟, 杨增武, 陶金鼎, 包新康 (2014) 红外触发相机技术在山区动物调查中的应用. 野生动物学报, 35, 381–387.]
- Welbourne DJ, Claridge AW, Paull DJ, Lambert A (2016) How do passive infrared triggered camera traps operate and why does it matter? Breaking down common misconceptions. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 2, 77–83.
- Wu PF, Liu XH, Cai Q, He XB, Songer M, 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, Songer M, 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, 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.]
- Xu AC, Jiang ZG, Li CW, Guo JX, Da SL, Cui QH, Yu SY, Wu GS (2008) Status and conservation of the snow leopard *Panthera uncia* in the Gouli Region, Kunlun Mountains, China. Oryx, 42, 460–463.
- Xu F, Ma M, Yin SJ, Chundawat RS, Mardan, Niu YL (2006) Preliminary study on the habitat selection of *Uncia uncia*. Arid Zone Research, 23, 471–474. (in Chinese with English abstract) [徐峰, 马鸣, 殷守敬, Chundawat RS, 买尔旦, 牛亚林 (2006) 雪豹栖息地选择研究初报. 干旱区研究, 23, 471–474.]
- Xue YD, Liu F, Guo TZ, Yuan L, Li DQ (2014a) Using camera traps to survey wildlife at water sources on the northern slope of the Altun Mountains, China. Acta Theriologica Sinica, 34, 164–171. (in Chinese with English abstract) [薛亚东, 刘芳, 郭铁征, 袁磊, 李迪强 (2014a) 基于相机陷阱技术的阿尔金山北坡水源地鸟兽物种监测. 兽类学报, 34, 164–171.]
- Xue YD, Liu F, Zhang YG, Li DQ (2014b) Grouping behavior of wild camel (*Camelus ferus*) referred from video data of camera trap in Kumtag Desert. Biodiversity Science, 22, 746–751. (in Chinese with English abstract) [薛亚东, 刘芳, 张于光, 李迪强 (2014b) 利用红外相机视频数据进行库姆塔格沙漠地区野骆驼集群行为研究的可行性. 生物多样性, 22, 746–751.]
- Yasuda M (2004) Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: a case study on Mount Tsukuba, central Japan. Mammal Study, 29, 37–46.
- Yu N, Zheng CL, Wang XL, He GX, Zhang ZH, Zhang AJ, Lü WQ, Tang F (1996) A revision of genus *Uncia* (Gray, 1854) based on mitochondrial DNA restriction site maps. Acta Theriologica Sinica, 16, 105–108. (in Chinese with English abstract) [于宁, 郑昌琳, 王行亮, 何光昕, 张志和, 张安居, 吕文其, 唐飞 (1996) 雪豹线粒体DNA(mtDNA)研究及其分类地位的探讨. 兽类学报, 16, 105–108.]
- Zhang JD, Li YJ, Li RG (2015) Application of infrared camera technology in studies of mammal activity patterns. Sichuan Journal of Zoology, 34, 671–676. (in Chinese with English abstract) [张晋东, 李玉杰, 李仁贵 (2015) 红外相机技术在珍稀兽类活动模式研究中的应用. 四川动物, 34, 671–676.]
- Zhang LB, Cui SP, Huang YJ, Chen DQ, Qiao HJ, Li CW, Jiang ZG (2014) Infrared camera traps in wildlife research and monitoring in China: issues and insights. Biodiversity Science, 22, 696–703. (in Chinese with English abstract) [张履冰, 崔绍朋, 黄元骏, 陈代强, 乔慧捷, 李春旺, 蒋志刚 (2014) 红外相机技术在我国野生动物监测中的应用: 问题与限制. 生物多样性, 22, 696–703.]
- Zhang YG, Janecka JE, Li DQ, Duo HR, Jackson R, Murphy WJ (2008) Population survey and genetic diversity of snow leopards *Panthera uncia* as revealed by fecal DNA. Acta Zoologica Sinica, 54, 762–766. (in Chinese with English abstract) [张于光, Janecka JE, 李迪强, 朵海瑞, Jackson R, Murphy WJ (2008) 基于粪便DNA的雪豹种群调查和遗传多样性. 动物学报, 54, 762–766.]
- Zhou SQ, Hull V, Zhang JD, Huang JY, Liu D, Huang Y, Li DS, Zhang HM (2016) Comparative space use patterns of wild giant pandas and livestock. Acta Theriologica Sinica, 36, 138–151. (in Chinese with English abstract) [周世强, Hull V, 张晋东, 黄金燕, 刘巅, 黄炎, 李德生, 张和民 (2016) 野生大熊猫与放牧家畜的空间利用格局比较. 兽类学报, 36, 138–151.]
- Zhou YY, Feng JC, Duo HR, Yang HL, Li J, Li DQ, Zhang YG (2014) Population survey and genetic diversity of snow leopard (*Uncia uncia*) in Qinghai-Tibet Plateau as revealed by fecal DNA. Acta Theriologica Sinica, 34, 138–148. (in Chinese with English abstract) [周芸芸, 冯金朝, 朵海瑞, 杨海龙, 李娟, 李迪强, 张于光 (2014) 基于粪便DNA的青藏高原雪豹种群调查和遗传多样性分析. 兽类学报, 34, 138–148.]

(责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 卧龙国家级自然保护区雪豹研究的红外相机安装位置及其生境示例

Appendix 1 The demonstration of habitats in the infrared cameras installation sites for the snow leopards in Wolong National Nature Reserve

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016313-1.pdf>

唐卓, 杨建, 刘雪华, 王鹏彦, 李周园. 基于红外相机技术对四川卧龙国家级自然保护区雪豹(*Panthera uncia*)的研究. 生物多样性, 2017, 25 (1): 62–70.
<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016313>

附录1 卧龙国家级自然保护区雪豹研究的红外相机安装位置及其生境示例。a: 梯子沟; b: 魏家沟; c: 银厂沟; d: 图c的局部放大。

Appendix 1 The demonstration of habitats in the infrared cameras installation sites for the snow leopards in Wolong National Nature Reserve. a, Tizi Valley; b, Weijia Valley; c, Yinchang Valley; d, Magnified part of figure c.