



• 研究报告 • 中国猫科动物研究与保护专题

评估荒漠猫的日活动节律：基于红外相机与卫星颈圈数据的对比

孔玥峤^{1,2}, 刘炎林³, 贺成武^{4,5}, 李天醒³, 李全亮^{4,5}, 马存新^{4,5}, 王大军^{1,2}, 李晟^{1,2*}

1. 北京大学生命科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学生态研究中心, 北京 100871; 3. 中国猫科动物保护联盟, 北京 100875; 4. 祁连山国家公园青海省管理局, 西宁 810000; 5. 祁连山国家公园国家长期科研基地, 西宁 810000

摘要：对于活动隐秘、难以直接观察的野生猫科动物，红外相机与卫星追踪颈圈是目前研究其日活动节律的两种主要采样工具。日活动节律基于对动物活跃状态(即活跃或不活跃)的判断，由于获取数据的机制不同，两种方法所获得的动物日活动节律模式之间可能存在差异，但缺乏基于野外实地调查的系统对比评估和分析。荒漠猫(*Felis bieti*)分布于青藏高原东部，是唯一的中国特有猫科动物，被列为国家I级重点保护野生动物。本研究以荒漠猫为例，使用红外相机和卫星追踪颈圈两种工具，于2020年6月至2021年12月对青海祁连山地区的荒漠猫进行调查，分别基于放置在荒漠猫洞口(相机位点2个，独立有效探测173次)、兽径(相机位点23个，独立有效探测423次)两种红外相机布设方式和卫星追踪颈圈(追踪个体10只，总有效定位点62,942个)所得的数据，评估了该物种的日活动节律，并对不同途径所得的活动节律模式间的差异进行了对比。结果显示，荒漠猫全天都有活动，在黄昏17:00–19:00时段存在一个活动高峰。全部红外相机探测数据与颈圈活动量数据获得的活动曲线重叠系数最高，为0.89。与卫星追踪颈圈方法相比，红外相机数据反映出16:00–21:00的活动水平更高；这一时间段较高的活动主要来自洞口位点的红外相机探测数据。荒漠猫行为谱的对比分析结果显示，不同方法所判断的动物“活跃”状态所对应的行为类型不同：安装在洞口处的红外相机记录以繁殖、育幼相关的社会行为为主；安装在兽径处的红外相机记录以移动、觅食等行为为主；而卫星追踪颈圈只能相对粗略地区分荒漠猫的移动和静止。本研究的结果表明，不同方法所获得的野生猫科动物的“日活动节律”之间存在差异；在不同方法记录到的数据中，二元化的“活跃”或“不活跃”分类背后所反映的动物行为类别和含义是不同的。在对比不同方法获得的活动节律时需要谨慎，应在对动物的行为模式和规律深入全面了解的基础上，对数据做出恰当、准确的解读。

关键词：动物行为；日活动节律；小型猫科动物；荒漠猫；红外相机；卫星追踪颈圈

孔玥峤, 刘炎林, 贺成武, 李天醒, 李全亮, 马存新, 王大军, 李晟 (2022) 评估荒漠猫的日活动节律：基于红外相机与卫星颈圈数据的对比. 生物多样性, 30, 22081. doi: 10.17520/biods.2022081.

Kong YQ, Liu YL, He CW, Li TT, Li QL, Ma CX, Wang DJ, Li S (2022) Determining the daily activity pattern of Chinese mountain cat (*Felis bieti*): A comparative study based on camera-trapping and satellite collar tracking data. Biodiversity Science, 30, 22081. doi: 10.17520/biods.2022081.

Determining the daily activity pattern of Chinese mountain cat (*Felis bieti*): A comparative study based on camera-trapping and satellite collar tracking data

Yueqiao Kong^{1,2}, Yanlin Liu³, Chengwu He^{4,5}, Tianti Li³, Quanliang Li^{4,5}, Cunxin Ma^{4,5}, Dajun Wang^{1,2}, Sheng Li^{1,2*}

1 School of Life Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 Institute of Ecology, Peking University, Beijing 100871

3 Chinese Felid Conservation Alliance, Beijing 100875

4 Qilian Mountain National Park Qinghai Provincial Administration Bureau, Xining 810000

收稿日期: 2022-02-18; 接受日期: 2022-06-29

基金项目: 祁连山国家公园青海管理局荒漠猫专项调查(SDTH-2019-067)、质兰基金会(2021100471B)和穆罕默德·本·扎耶德物种保护基金(The Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund) (210527262)

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

<https://www.biodiversity-science.net>

ABSTRACT

Aims: For elusive and difficult to observe wild cats, camera trap and satellite tracking collar are widely used sampling methods to determine daily activity patterns. While satellite tracking collars can continuously monitor a limited number of captured individuals, camera traps have the potential to monitor all population members in a given area. The detection probability of camera traps for wild cat activity patterns is likely influenced by the selected spatial placement of the cameras. The activity patterns are constructed based on the binary classification of target animals' active status (i.e., active or inactive). Although the different methods of monitoring wild cats may lead to different activity patterns, few empirical studies have examined the difference between the patterns. The Chinese mountain cat (*Felis bieti*), a small felid endemic to China, is distributed in the eastern and northern edge of the Qinghai-Tibet Plateau at low density. The Chinese mountain cat was uplisted to Class-I National Key Protected Wildlife of China in 2021, is listed as Vulnerable (VU) by the IUCN Red List, and is considered Critically Endangered (CR) in China's Red List. However, the existing surveys and data are insufficient to carry out conservation of Chinese mountain cat. Therefore, urgent field investigations about the ecological activities of the Chinese mountain cat are needed.

Methods: From June 2020 to December 2021, we investigated activity patterns of Chinese mountain cats in Qilian Mountains of Qinghai Province using camera traps and satellite-tracking collars. We compared daily activity patterns derived from camera traps placed at den sites (2 sites, 173 independent detections) and animal trails (23 sites, 423 independent detections), to satellite-tracking collars fitted on Chinese mountain cats (10 individuals, 62,942 fixed locations).

Results: Results show Chinese mountain cats were active all day long, with peak activity from 17:00 to 19:00. A daily activity curve produced by camera traps showed a high level of overlap with results produced by the activity sensor implanted in the collars; the coefficient of overlap is 0.89. However, the camera traps showed significantly higher levels of activity from 16:00 to 21:00. Detection of activity from 16:00 to 21:00 was primarily concentrated at a small range of den sites. Concurrently, activity records of the collars were relatively lower. Based on the ethogram of Chinese mountain cat, activity patterns recorded from the camera traps placed at den sites predominantly represents social behaviors related to reproduction and nursing while activity records from the trail camera traps generally represent movement and foraging. The satellite-tracking collar was limited to distinguishing just the movement and still of an individually tracked animal.

Conclusions: Our results indicate considerable differences between the activity patterns of wild cats obtained via camera-trapping and a satellite collar tracking. The binary classification of "active" or "inactive" used to construct activity patterns reflect different behaviors in data derived from different methods. Caution should be taken for researchers when comparing the activity patterns derived from different studies. Proper and accurate interpretation of data should be made on the basis of in-depth and comprehensive understanding of the target animal's behaviors.

Key words: animal behavior; daily activity pattern; small cats; Chinese mountain cat; camera trap; satellite tracking collar

动物在一天之中不同时段内的活动强度及其周期性变化规律被称为日活动节律(赵联军等, 2020)。日活动节律的形成有利于动物更高效地利用环境, 同时降低自身受到的风险, 如被捕食或对资源利用的竞争(尚玉昌, 2005)。对动物日活动节律的研究有助于了解其环境适应策略, 并可探究其受到的干扰程度和环境压力(Norris et al, 2010), 是生态学研究的重要组成部分, 也可为保护管理政策的制定提供理论基础(孙儒泳, 2001)。

传统上, 野生动物活动节律的研究主要依赖于行为学观察, 正在进行移动、觅食、警戒、玩耍等个体行为和个体间互动(即社会行为)的动物被认为处于“活跃”(active)状态, 而在静止休息中的动物被认为处于“不活跃”(inactive)状态。近二十年间, 红

外相机技术凭借其对动物干扰小、数据量大、易于标准化推广等优点, 已被越来越多地应用到野生动物调查中(肖治术等, 2014; 李晟, 2020), 尤其是那些数量稀少、行踪隐秘、对人类干扰敏感的动物类群(李勤等, 2013; 李晟等, 2014)。红外相机技术提供了目标动物大量的时空、行为信息, 被广泛地应用于国内外众多野生动物活动节律的研究, 如雪豹(*Panthera uncia*)、亚洲金猫(*Catopuma temminckii*)等多种野生猫科动物(王渊等, 2019; 施小刚等, 2021)。在这些研究中, 通常认为动物被红外相机拍摄到的概率与其活动强度(即处于“活跃”状态的时间比例)呈正相关, 这一假设被作为红外相机活动节律分析的前提与基础(Azlan & Sharma, 2006; Li et al, 2010)。

近年来, 卫星定位技术的迅速发展为野生动物研究提供了更多可能性。卫星定位追踪颈圈能够近乎实时地提供较精确的位置信息(Lashley et al, 2018), 其优点在于可以自动采集并反馈信息, 无需人力监测(Matthews et al, 2013; Goldingay, 2015)。由于追踪颈圈可以提供动物的连续移动的时空信息, 因此能够利用连续定位点求得一段时间内的移动距离(Ordiz et al, 2017), 进而获得动物在此期间的移动速率, 表征动物的活动节律(Lashley et al, 2018; Edwards et al, 2021)。近十年来, 颈圈中增加配置了多轴加速度计, 可以记录动物活动的加速度信息, 进而计算一定时间段内动物的活动量, 为动物活动节律的估算提供了更直接的信息(Edwards et al, 2021)。但由于价格相对昂贵、需要对动物进行捕捉等方面的限制, 卫星追踪颈圈在野生猫科动物活动节律研究中的应用目前还相对较少。

荒漠猫(*Felis bieti*)是分布于青藏高原东部的小型猫科动物。目前, 对于荒漠猫的分类地位仍存有争议。Yu等(2021)基于全基因组测序数据对荒漠猫的分类地位进行了系统的遗传学分析, 认为荒漠猫应被划分为野猫的一个亚种, 拉丁名为*Felis silvestris bieti*; 而在IUCN受威胁物种红色名录(Riordan et al, 2015)、《中国兽类名录(2021版》(魏辅文等, 2021; 余文华等, 2021)和中国国家重点保护野生动物名录(<http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/5586227/files/e007df5cdb364bcdcb89d169047d6c5.pdf>)中, 荒漠猫均被列为独立种, 是世界37种野生猫科动物中唯一的中国特有种。荒漠猫为国家I级重点保护野生动物, 被IUCN和《中国生物多样性红色名录》分别评估为易危(VU)和极危(CR)(Riordan et al, 2015; <http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/5586227/files/e007df5cdb364bcdcb89d169047d6c5.pdf>; 蒋志刚等, 2021)。荒漠猫多发现于青海、甘肃、四川三省, 在新疆、西藏、内蒙古、宁夏也有历史记录(Riordan et al, 2015; 刘少英等, 2020)。但由于历史记录中可能混淆了形态特征相似的荒漠猫、亚洲野猫(*F. silvestris ornata*)甚至家猫(*F. catus*), 因此现在的研究多认为青海祁连山南麓至四川北部、青海东南部是已知荒漠猫的主要分布区(He et al, 2004; Riordan et al, 2015)。根据已有的观察记录, 荒漠猫的栖息地主要分布在干草原、荒漠

半荒漠、草原草甸、山地针叶林缘、高山灌丛和高山草甸地带, 海拔范围为2,800–4,100 m (廖炎发, 1988; 刘少英等, 2020)。雌性荒漠猫使用洞穴养育幼崽, Han等(2020)记录到亚成体在出生当年12月份离洞独立。

红外相机和卫星追踪颈圈是目前研究野生猫科动物活动节律的两种主要手段。但由于这两种方法的数据获取机制不同, 在评估目标个体的活动强度时, 对于动物是否处于“活跃”(active)状态的判断存在差异, 因此可能带来不同的估算结果。然而, 目前缺乏对于两种方法的比较研究(Lashley et al, 2018; Edwards et al, 2021)。为了系统对比不同的数据收集方法获得的野生猫科动物活动节律模式之间的差异, 探究其背后可能的原因, 本研究选择祁连山国家公园青海片区为研究区域, 以青海省门源回族自治县的荒漠猫为例, 同时使用两种方法获取荒漠猫的活动数据: (1)红外相机记录(安装于洞口处、兽径处以及两者组合); (2)卫星追踪颈圈记录的活动量数据。首先探究红外相机或卫星追踪颈圈是否可以作为全面估算动物活动节律的准确方法, 其次结合动物行为学, 识别在“活跃”或“不活跃”的二元化分类中, 不同数据收集方法对目标动物各类细分行为的判断, 以探究不同方法所得出的活动模式背后的行为学与生态学意义。本研究的结果可以帮助我们更深入地了解野生猫科动物的行为模式与生态特征, 为相关方法在野生动物活动节律和行为研究中的应用和研究结果的解读提供参考。

1 研究区域

研究区域位于青海省门源回族自治县(37.34°–37.52° N, 101.42°–101.76° E), 地处祁连山国家公园试点区青海片区东侧边缘, 北临祁连山, 南靠达坂山, 形成气候相对湿润、水量充足的盆地地形(贾慧萍等, 2021)。研究区域海拔2,900–3,100 m, 属于高原亚寒带气候, 1月均温–13.4℃, 7月均温11.9℃, 年均降水量520 mm (<http://www.weather.com.cn/>)。研究区内有较大面积的农田和由沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)、青海云杉(*Picea crassifolia*)等组成的人工造林地。前期调查发现, 研究区内分布有较稳定的荒漠猫野生种群, 它们对造林地及农田有较高的利用率, 对人工改造

后的环境表现出高度的适应性。

2 方法

2.1 数据收集与处理

2.1.1 红外相机

2020年5月至2021年6月, 在研究区域内荒漠猫活动较为频繁、利用率较高的造林地内放置25台红外相机(型号为易安卫士L710)(图1)。红外相机布设在有荒漠猫活动痕迹(如荒漠猫粪便)的兽径(23台)和洞口(2台)。相机固定在木桩或树干上, 距离地面约40 cm。相机前尽量保证无遮挡, 并避免镜头朝南, 以减少空拍。同一周期布设的红外相机调查位点间距不小于500 m。记录每个相机安装位点的经纬度、海拔等信息, 每2–3个月进行一次相机检查维护与数据回收。

对获取的红外相机照片进行人工筛选和物种鉴定, 使用开源的图像管理程序digiKam (V7.3.0) (<https://www.digikam.org/about/>)为照片添加物种标注。使用R 3.4软件(R Core Team, 2018)的“camtrapR”程序包提取照片的编号、相机位点编号、拍摄日期、时间、物种标注等信息, 自动汇总生成表格(Ihaka & Gentleman, 1996; Niedballa et al, 2016)。提取每种动物的独立有效拍摄, 即同一台相机拍摄同一种动物的照片如果间隔时间大于30 min, 则记为不同的独立有效拍摄, 若两次拍摄间隔不足30 min, 则记为

同一次独立有效拍摄(O’Connell et al, 2011)。

2.1.2 卫星追踪颈圈

2021年3–10月, 经国家林业和草原局、青海省林业和草原局、祁连山国家公园管理局等管理部门的审批许可, 在研究区域内使用捕捉笼捕捉野生荒漠猫, 佩戴卫星定位追踪颈圈(环球信士HQAN40S, 颈圈重量150 g, 低于荒漠猫体重的3%)后随即原地放归(附录1)。共成功捕捉荒漠猫成年个体10只, 其中7只为雌性, 3只为雄性(表1)。

卫星追踪颈圈为“GPS + 北斗”双模定位, 设置为每20 min至3 h定位一次。如颈圈电压充足, 则保持每20 min一次的定位频率; 如颈圈出现低电压报警, 则定位频率自动调整为每3 h一次, 待颈圈通过太阳能充电、电压回升后再调整回原定位频率。颈圈数据通过GSM网络回传, 包括颈圈编号、日期、时间、经纬度坐标、海拔、定位精度等。颈圈内内置有运动传感器(三轴加速度计), 可以自动计算两次定位时间段内荒漠猫的活动步数, 作为“活动量”包含在回传数据中。

2.2 数据分析

2.2.1 红外相机数据

使用核密度估算(kernel-density estimation)的方法(Ridout & Linkie, 2009), 根据红外相机调查所得荒漠猫每次独立探测的拍摄时间(UTC/GMT+08:00), 绘制荒漠猫的活动强度曲线, 估算荒漠猫

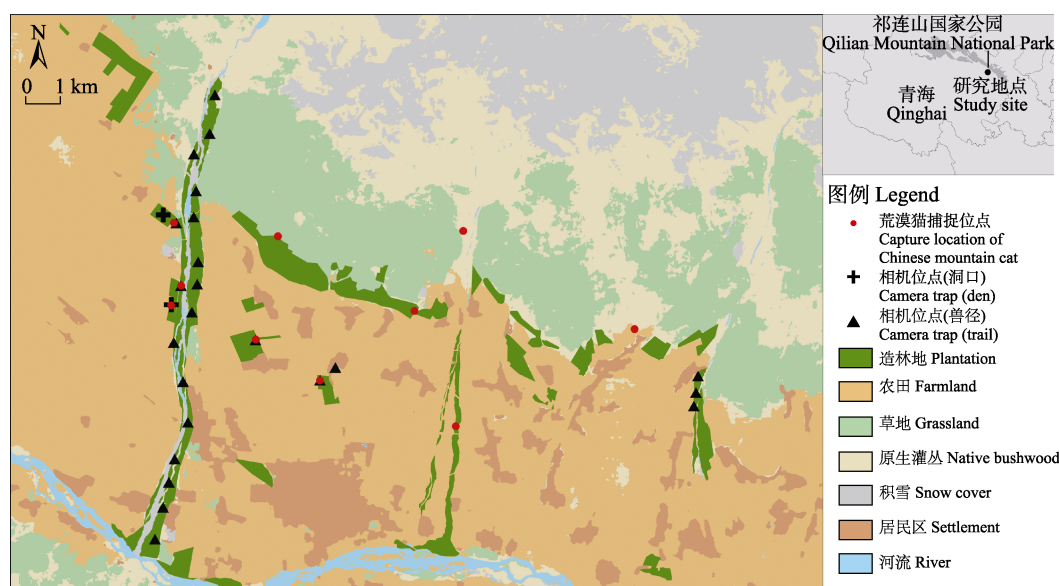


图1 研究区域内红外相机布设点及荒漠猫捕捉位点

Fig. 1 The camera stations and capture locations of Chinese mountain cats within the study area

表1 本研究中佩戴卫星追踪颈圈的10只荒漠猫信息
Table 1 Summary of the 10 individuals of Chinese mountain cats fitted with satellite tracking collars in this study

编号 ID	性别 Gender	有效追踪天数 Effective tracking days	定位点数量 Number of fixed locations
PKU001	雌 Female	279	9,922
PKU002	雌 Female	278	13,969
PKU003	雌 Female	274	14,865
PKU004	雄 Male	230	7,396
PKU005	雄 Male	44	4,548
PKU006	雌 Female	73	2,029
PKU007	雌 Female	70	3,639
PKU008	雄 Male	69	3,802
PKU009	雌 Female	69	2,229
PKU010	雌 Female	46	543

的日活动节律。该方法假设: (1)目标动物在特定时间内的活动强度与其被红外相机拍摄到的概率成正比; (2)红外相机的每次探测(独立有效拍摄)均为独立事件, 是对目标动物在一天24 h中特定时间段内被红外相机拍摄到的概率分布的随机采样; (3)上述分布的概率密度函数即可认为是该物种的活动节律(Ridout & Linkie, 2009; 朱博伟等, 2019), 其公式为:

$$f(x; \nu) = \frac{1}{n} \sum K_{\nu}[d(x, x_i)] \quad (1)$$

式中, K_{ν} 为von Mises分布的概率密度函数, $d(x, x_i)$ 为任意一点与样本量 i 之间的角度距离(Ridout & Linkie, 2009; 朱博伟等, 2019)。

按照红外相机不同的安装位置, 将数据分为洞口处、兽径处、全部(也即两者组合)3组, 基于核密度估算的方法分别建立上述3组数据的荒漠猫日活动节律模型。上述活动节律分析使用R 3.4的“overlap”程序包完成(Meredith & Ridout, 2021)。

2.2.2 卫星追踪颈圈数据

对于卫星追踪颈圈的活动量数据, 首先将其转换为一天24 h的连续数据。将活动量数值作为随机时间点的数量输出, 例如, 在8:00–9:00期间, 活动量数值为300, 那么就在此期间随机抽取300个时间点(即, 相当于红外相机的独立探测) (Lashley et al, 2018; Edwards et al, 2021)。由于此种方法生成的数据量庞大, 为了便于后续分析, 在全部数据点中随机抽取10%的时间点作为样本进行后续计算。将时间全部转化为弧度数据, 随后, 基于前述核密度估

算的方法, 建立基于卫星追踪颈圈数据的荒漠猫日活动节律模型(陈立军等, 2019)。

2.2.3 不同调查方法所得日活动节律对比

使用重叠系数对上述调查方法所得的日活动节律进行对比。重叠系数是一个0–1之间的连续变量, 为两条密度曲线重叠区域的面积, 当重叠系数为1时, 表明两条曲线完全一致(Ridout & Linkie, 2009)。重叠系数预测值与样本量大小有关, 由最小一组样本量决定: 当最小样本数量小于50时, Δ_1 预测值表现最好; 而当样本数量大于75时, Δ_4 预测值表现最好(Ridout & Linkie, 2009)。根据较小的样本量, 选择合适的重叠系数, 判断重叠度。采用平滑自主抽样计算重叠系数的95%置信区间。重叠系数和置信区间的计算使用R 3.4软件的“overlap”程序包完成(Meredith & Ridout, 2021)。使用沃尔德检验(Wald test)判断不同方法所得日活动节律之间的差异是否显著, 该检验使用R 3.4软件的“activity”程序包完成(Rowcliffe, 2016)。

为了进一步探究不同方法所获得的动物活动记录所对应的行为类别和背后的行为学意义, 参考动物行为学研究中猫科动物的行为分类与定义(Stanton et al, 2015), 结合本研究期间人为观察记录, 编制了荒漠猫的简化行为谱。根据行为谱中的各类行为, 分别统计传统行为学观察、安装在洞口处红外相机的探测、安装在兽径处红外相机的探测、卫星追踪颈圈记录这4种方法所记录到的荒漠猫的各类行为, 并判别: (1)该行为是否可以被该方法有效探测记录到, 分为可以被有效记录到(√)、少部分被记录到(R)和无法被记录到(×); (2)该行为发生时, 目标动物会被该方法判断为处于“活跃(记录为A)”还是“不活跃(记录为I)”状态。其中, 在本研究的卫星追踪颈圈方法中, 某类行为“被记录到”指该行为可以在颈圈内内置的三轴加速度计中有效产生计步数据。然后, 以对基于不同来源数据所获得的日活动节律模式之间的差异进行对比讨论。

3 结果

2020年5月至2021年6月, 25台红外相机共工作5,810个有效相机日(camera-days), 获取照片或视频记录272,484条。其中, 荒漠猫记录2,988条, 独立探测596次(设置在洞口与兽径的相机获得的荒漠猫独

立探测数分别为173次与423次)。本研究调查的两个洞口, 其中一个记录到由1只雌性成体及2只亚成体组成的母幼群, 另一个只记录到成体荒漠猫。10只佩戴颈圈的荒漠猫的累积有效追踪天数共1,432天, 回传数据共62,942条。基于回传数据中的活动量数据生成随机时间点28,465,800个, 进一步随机抽样10%后获得时间点2,846,580个。

安装于不同位置的红外相机与卫星追踪颈圈数据所获得的日活动节律曲线如图2所示。根据全部红外相机探测数据估算荒漠猫日活动节律: 荒漠猫在全天均保持活跃, 在黄昏17:00–19:00时段有一个活动高峰, 其他时段也具有一定的活动量。安装于洞口处的红外相机结果显示: 荒漠猫在洞口附近的的活动具有明显的晨昏性, 在5:00–7:00有一个较小的活动高峰, 而在14:00–15:00出现活动低谷, 18:00–19:00存在一个突出的活动高峰, 夜间表现出一定的活动强度。安装于兽径处的红外相机结果显示: 荒漠猫的活动强度在9:00之后增加, 14:00–19:00活动强度较高, 之后活动强度减弱。然而, 基于卫星追踪颈圈数据绘制的日活动节律曲线显示, 荒漠猫的活动节律没有明显的昼夜区别, 全天都具有一定的活动强度, 仅在18:00–19:00活动强度稍高。

(1)对比安装在洞口处与兽径处的红外相机,

两者都在傍晚显示出较高的活动强度, 洞口的探测数据在18:00–19:00显示出更突出的活动高峰, 兽径处探测结果相对更平缓, 17:00–20:00洞口探测活动强度明显高于兽径, 9:00–16:00兽径探测活动强度明显高于洞口。日活动曲线差异显著($P < 0.01$), 重叠系数为0.69 (95%置信区间为0.63–0.76) (图2a);

(2)对比全部的红外相机探测结果与卫星追踪颈圈的结果, 两种探测方法所得活动节律曲线大致走势类似, 但相机探测结果在17:00–21:00期间活动强度明显较颈圈结果有更明显的活动高峰。日活动节律曲线差异显著($P < 0.01$), 两者重叠系数最高, 为0.89 (95%置信区间为0.86–0.93) (图2b);

(3)对比洞口处的红外相机探测结果与卫星追踪颈圈结果, 17:00–20:00洞口探测活动强度明显高于颈圈, 9:00–16:00颈圈活动强度明显高于洞口。活动曲线差异显著($P < 0.01$), 重叠系数为0.73 (95%置信区间为0.67–0.79) (图2c);

(4)对比兽径处的红外相机探测结果与卫星追踪颈圈结果, 都显示出傍晚较高的活动强度, 9:00–20:00 (主要是白昼)兽径探测活动强度略高于颈圈, 20:00至次日9:00 (主要是夜晚)颈圈探测活动强度略高于兽径。活动曲线差异显著($P < 0.01$), 重叠系数为0.87 (95%置信区间为0.81–0.93) (图2d)。

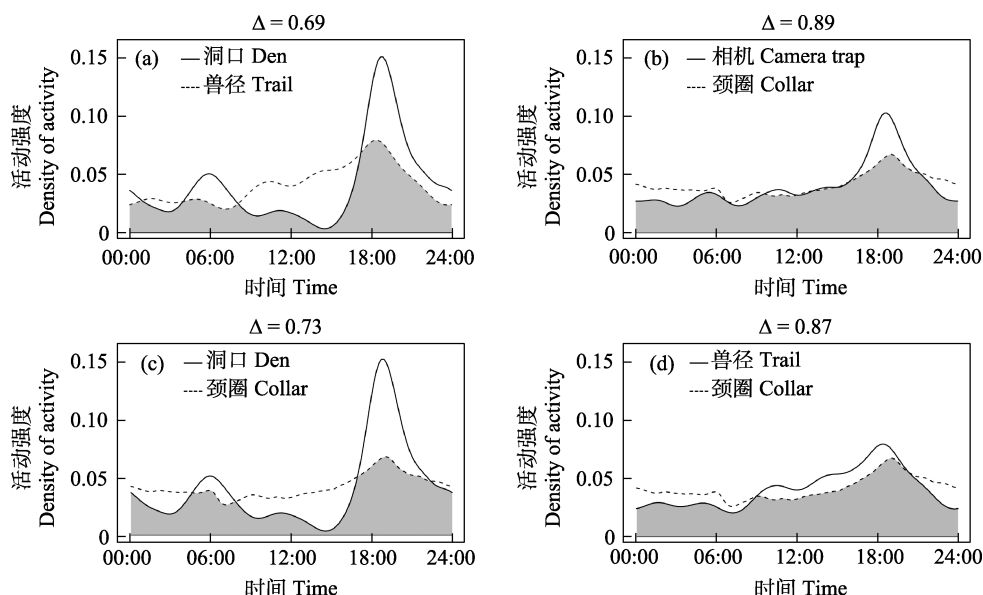


图2 不同调查方法所得荒漠猫日活动节律曲线比较。(a)安装于洞口处的相机与安装于兽径处的相机; (b)全部红外相机与颈圈; (c)安装于洞口处的相机与颈圈; (d)安装于兽径处的相机与颈圈。

Fig. 2 The daily activity curves of Chinese mountain cat estimated from (a) camera traps placed at den and trail, (b) all camera traps and satellite tracking collars, (c) camera traps placed at den and satellite tracking collars, (d) camera traps placed at trail and satellite tracking collars.

表2 荒漠猫简化行为谱以及各类行为是否可以在不同调查方法中被有效记录以及被判断为“活跃”状态

Table 2 A simplified ethogram of Chinese mountain cats and whether each behavior can be effectively recorded in different investigation methods and whether it will be identified as “active”

行为类别 Behavior category	传统行为 观察 Traditional visual observation	洞口处 红外相 机 Camera traps at den	兽径处 红外相 机 Camera traps at trail	卫星追 踪颈圈 Satellite tracking collars
个体行为 Individual behavior				
1 移动 Locomotion	√, A	√, A	√, A	√, A
2 休息 Rest	√, I	√, A	×, A	×, I
3 警戒 Alert	√, A	√, A	×, A	×, I
4 觅食 Foraging	√, A	R, A	√, A	√, A
5 修饰/梳理 Maintenance	√, A	√, A	×, A	×, I
6 排便 Defecation/Urination	√, A	R, A	R, A	×, I
7 嗅闻 Sniff	√, A	√, A	√, A	×, I
8 标记 Scent marking	√, A	√, A	√, A	×, I
9 玩耍 Play	√, A	√, A	R, A	√, A
10 发声 Vocalization	√, A	R, A	×, A	×, I
社会行为 Social behavior				
1 亲昵行为(梳理、玩耍等) Affinitive	√, A	√, A	×, A	R, I
2 攻击行为 Aggressive	√, A	R, A	R, A	√, A
3 繁殖行为 Reproductive	√, A	R, A	×, A	R, I
4 母幼行为 Mother/Infant	√, A	√, A	R, A	R, I
5 其他 Other	√, A	R, A	R, A	R, I

√: 可以被有效记录到; R: 少部分被记录到; ×: 无法被记录到; A: 被判断为“活跃”; I: 被判断为“不活跃”。
√, Can be effectively recorded; R, Can be occasionally recorded; ×, Can not be effectively recorded; A, Classified as active; I, Classified as inactive.

在荒漠猫的简化行为谱中, 包含2大类行为: (1)个体行为, 即行为的发生和过程只涉及个体自身的行为, 共包括10种行为类别; (2)社会行为, 即涉及2个或2个以上个体的行为, 共包括5种行为类别(表2, 附录2)。在传统行为观察法中, 全部10种个体行为(行为类别占比100%)和全部5种社会行为(100%)都可以被有效记录到, 其中除“休息”以外的9种个体行为(90%)和全部5种社会行为(100%)会被判断为目标个体处于“活跃”状态。在红外相机调查中, 放置于洞口的红外相机可以有效记录到7种个体行为(70%)和2种社会行为(即亲昵行为、母幼行为; 40%), 放置于兽径的红外相机可以有效记录到4种个体行为(即移动、取食、嗅闻、标记; 40%)而难以有效记

录到社会行为(0%); 被红外相机拍摄到的动物, 无论其具体在进行何种行为, 通常全部被作为目标个体处于“活跃”状态的记录, 用于活动模式的计算。在卫星追踪颈圈记录中, 仅有3种个体行为(即移动、取食、玩耍; 30%)和1种社会行为(即攻击行为; 20%)会在颈圈的三轴加速度计中有效产生计步数据, 从而被基于计步活动量的记录归为“活跃”状态。

4 讨论

技术的进步为野生动物监测提供了更多的可能性, 近年来越来越多的研究使用红外相机或卫星追踪颈圈进行日活动节律分析, 但对比相机安装位置、方式以及卫星追踪颈圈之间的差异带来影响的研究却很少(Lashley et al, 2018; Edwards et al, 2021)。

4.1 不同安装位置红外相机记录的差异

本研究红外相机探测结果表明, 荒漠猫的活动没有明显的昼夜差异, 但偏好在黄昏时段活动。当对比安装于洞口、兽径处的红外相机时, 发现两者所得活动曲线重叠系数仅为0.69, 洞口处的红外相机在晨昏两个时间段记录到较高的活动强度, 表明荒漠猫这段时间多在洞口附近活动; 而在晨昏两个时间段中间, 兽径处记录到的活动强度明显高于洞口, 这说明荒漠猫在这段时间倾向于离开洞口, 多出现于兽径处。综合不同位置的红外相机探测结果, 发现16:00–21:00的活动水平较高, 但这一时间段较高的活动主要来自洞口位点的红外相机探测数据, 这表明, 尽管荒漠猫在16:00–21:00期间明显较活跃, 但此时对它们的探测主要集中在小范围的洞口处。

本研究中, 安装在洞口处的红外相机记录到大量成体荒漠猫的休息、警戒行为, 亚成体荒漠猫的玩耍, 以及母幼行为。在繁殖期, 野生猫科动物通常使用土洞或岩石缝隙形成的洞穴作为繁殖洞, 洞穴为幼崽提供躲避不利天气和捕食者的避难所(Bleich et al, 1996; Benson et al, 2008), 也作为稳定的休息地(Zielinski et al, 2004)。自身不具备挖洞能力的中小型猫科动物如兔狲(*Otocolobus manul*)、荒漠猫通常会使用同域分布的喜马拉雅旱獭(*Marmota himalayana*)挖掘的洞穴(Ross et al, 2010; Han et al, 2020)。根据Han等(2020)使用红外相机对

荒漠猫繁殖洞的观察, 12月至次年1月中旬, 当年出生的亚成体荒漠猫离洞, 2月初, 母猫离洞, 放置在洞口处的红外相机记录到大量的母幼行为及亚成体荒漠猫玩耍行为。本研究中, 除5月至次年1月外, 其他时段没有在洞口的红外相机中记录到亚成体荒漠猫, 但记录到成体荒漠猫进出洞穴、在洞口标记或嗅闻。因此安装于洞口处的红外相机数据以繁殖、育幼相关的活动模式占主导。

在兽径上放置红外相机, 常用于调查野生猫科动物, 如虎(*Panthera tigris*) (Lynam et al, 2009)、美洲狮(*Puma concolor*) (Negrões et al, 2010)、亚洲金猫(王渊等, 2019)。与随机放置红外相机相比, 安装于兽径处具有更高的探测率(Mann et al, 2015; Kolowski & Forrester, 2017)。结合红外相机记录的行为分析, 荒漠猫在兽径处的行为多为移动行为和觅食行为, 也记录到嗅闻、标记和母幼、排便行为。本研究的野外调查中, 发现荒漠猫粪便集中于兽径处, 其中某些地方会被作为多次使用的“厕所”, 虽然红外相机的记录中该行为较少。

4.2 红外相机与卫星追踪颈圈记录的差异

卫星追踪颈圈数据估算的活动曲线表明荒漠猫的日活动节律没有明显的昼夜区别, 全天都具有一定的活动强度, 在18:00–19:00活动强度稍高, 呈现一定的偏好黄昏时段活动的特征。通过对比红外相机与卫星追踪颈圈两种不同的调查方法, 发现当使用全部红外相机探测记录与卫星追踪颈圈对比时, 得到的活动曲线重叠系数最大, 为0.89。这表明, 综合不同红外相机位点的探测方式可以相对更全面地表征荒漠猫的活动量。与卫星追踪颈圈方法相比, 红外相机探测到从16:00到21:00的活动水平更高, 结合洞口与兽径的红外相机结果可知, 这一时间段对荒漠猫的探测主要集中在小范围的洞口处, 此时颈圈记录到的活动量数据偏小。这一结果与Edwards等(2021)关于棕鬃狗(*Parahyaena brunnea*)的研究结果类似, 包含有不同位置的红外相机数据与卫星追踪颈圈数据的重叠系数最高, 高于任一类位置的红外相机数据与卫星追踪颈圈数据重叠系数。

由本研究的结果可知, 红外相机和卫星追踪颈圈都可以作为研究野生猫科动物日活动节律的有效工具, 但由于两者获取数据的机制不同, 所得结

果也会受到多种因素的影响。红外相机放置在固定区域, 可以获得拍摄区域内可能在相机前出现的物种的活动时间信息, 所拍摄到的部分照片或视频影像中可分辨出动物具体的行为类别; 但如果动物在拍摄区域外活动, 则红外相机无法探测到(Frey et al, 2017)。对于难以通过图像进行个体识别的动物, 无法获取个体的节律信息。此外, 红外相机安装是否使用诱饵、附近是否有竞争者的存在、小尺度安装位置的差异都可能导致不同的结果, 如: 放置食草动物饲料的红外相机位点会比未放置饲料的位点拍摄到更多的食草动物, 并记录到更多的觅食行为(Lashley et al, 2018); 放置在水源处的红外相机记录到几种食肉动物彼此差异出没, 体型差异大的物种表现出更大的时间生态位分离(Edwards et al, 2015); 在同一群棕鬃狗的活动范围内, 安装在其洞口和固定排泄点的红外相机记录到不同的行为及活动节律(Edwards et al, 2021)。卫星追踪颈圈佩戴在固定的个体身上, 可以不断进行采样, 不受空间限制, 记录该动物全天全部活动范围内的时间空间数据(Ensing et al, 2014)。但动物的活动节律可能存在明显的个体差异, 因此少量个体的活动数据可能无法准确表征群体的活动节律(Hertel et al, 2017)。另一方面, 颈圈只能记录动物运动状态下的活动, 如果动物的某种行为运动量较小, 颈圈则无法准确表征活动量(Edwards et al, 2021)。新一代的卫星追踪颈圈可以内置高精度三轴加速度传感器, 以记录动物运动时的三轴加速度信息。有研究发现, 高时间分辨率的加速度信息可以很好地与直接观察得到的动物不同的行为相对应, 因而被用于监测动物的行为(Brown et al, 2013)。Wang等(2015)使用三轴加速度计数据对美洲狮(*Puma concolor*)进行行为监测, 可分辨美洲狮的移动、休息和捕猎行为。本研究使用的颈圈中的运动传感器仅提供简单的计步数据而缺乏精确的三轴加速度数据, 因此暂时无法对荒漠猫的活动节律进行更准确深入的研究。

4.3 其他潜在影响因素

除了调查工具的差异, 还有多种因素可能对动物的日活动节律调查结果产生影响。如: 生境类型、种群密度、性别、捕食者、猎物、人为干扰和个体差异等(Schmidt et al, 2008; Assis Morais et al, 2020; Leonard et al, 2020; Figel et al, 2021)。本研究中佩戴

卫星定位颈圈的荒漠猫共10只, 其中7只为雌性, 仅有3只为雄性, 具有一定的雌性偏向。由于佩戴卫星追踪颈圈的个体数量较少, 追踪时间暂时无法覆盖全年, 我们目前无法确定荒漠猫的活动节律是否存在明显的性别差异。因此, 今后的研究应基于更长时间、更多个体的数据, 开展更加深入全面的探讨, 例如个体性别的差异、季节差异、栖息地差异等。另一方面, 通过卫星追踪颈圈展示的荒漠猫活动大致范围(附录1)可知, 荒漠猫的活动涉及造林地、农田、原生灌丛、草地等多种生境类型, 而本研究仅在荒漠猫出现频率最高的造林地中安装了红外相机, 因此, 为了获得更为全面的荒漠猫活动节律信息, 在未来研究中, 应扩大红外相机的布设范围, 尽可能全面地覆盖荒漠猫活动涉及的生境类型。尽管如此, 本研究基于目前有限的数据库, 探究了不同采样方法在进行野生动物日活动节律估算时存在的差异, 并讨论了采样过程中存在的不足可能对结果产生的差异, 希望可以为未来更深入全面的野生动物研究工作提供借鉴与思考。






在以往使用红外相机进行活动节律分析的研究中, 通常认为动物被红外相机拍摄到的概率与其活动强度呈正相关, 并基于此假设进行活动节律估算(Azlan & Sharma, 2006; Li et al, 2010)。根据本研究结果可知, 红外相机受限于安装位置, 通常无法完整记录动物一天内处于活跃状态时所有的行为, 因此, 安装位置的不同可能导致记录结果由动物某一活动模式占主导, 进而无法全面地表征动物的日活动节律。因此, 该假设应建立在一个重要的前提条件上, 即选用的方法所采集的数据应尽可能地全面覆盖动物的各种行为, 使数据能够表征动物一天中全部活动的强度, 这样才能尽量准确地反映目标物种真实的活动节律。

本研究的结果显示, 直接的行为观察可以最为全面、细致地记录动物的行为类别, 准确判断各类行为是否可以作为动物的“活跃”状态, 进而客观评估目标动物的日活动节律。与行为观察相比, 红外相机难以对动物的所有行为类别进行全面有效的记录, 且调查中通常没有对所拍摄影像中动物的具体行为类别进行区分, 而是把所有拍摄的记录都作为动物处于“活跃”状态的数据, 因此所得到的日活动节律模式可能与真实情况之间存在偏差。卫星追

踪颈圈将三轴加速度计的计步数据或定位点间的移动距离数据作为动物活跃程度的代理指标, 研究者无法从中识别出动物的具体行为类别, 且在动物的所有行为类别中, 这些指标仅能反映出移动、觅食等少数行为的记录, 由此所估算得到的日活动节律模式与前两种方法相比可能存在更大的偏差。然而, 传统的行为观察方法对调查人员的能力要求高, 且调查过程中受人力资源有限、调查时段有限(例如难以在夜间时段开展观察, 工作人员在野外难以长期驻留)的影响较大。红外相机和卫星追踪颈圈则凭借自动化设备的优势, 可以全天候工作, 持续采集、记录数据, 提供覆盖时间更长、样本量更大的数据集。由于红外相机与卫星追踪颈圈的工作原理不同, 基于两者调查所得的动物“日活动节律”背后的行为学和生态学含义也是不同的。因此, 在动物日活动节律和其他行为习性的研究中, 研究者都应首先对动物的行为模式和规律有深入的了解, 然后根据各调查方法的原理、特点及其适用情境, 筛选出最适合的方法或综合使用多种方法, 更加合理地设计调查方案, 并对数据做出恰当、准确的解读。在对不同方法所得的日活动节律进行对比分析时, 应注意结合调查工具的特性与动物本身的行为模式, 分析产生差异的原因, 谨慎进行对比与判断。

致谢: 感谢祁连山国家公园管理局及门源回族自治县老虎沟管护站对本研究的支持。感谢祁连山国家公园青海省管理局张毓、高雅月、严频发等提供的帮助。感谢中国猫科动物保护联盟成员曾婧媛及志愿者们的辛勤付出。感谢中国农业大学金艺鹏、高宇航、石宇琦团队对荒漠猫野外捕捉的支持。感谢北京大学夏凡在数据处理中付出的努力, 刘鸣章、卜红亮、王江月在成文思路及数据分析中提供的指导和建议。

ORCID

孔玥峇  <https://orcid.org/0000-0002-0622-1635>
刘炎林  <https://orcid.org/0000-0003-1424-8552>
李天醒  <https://orcid.org/0000-0002-7598-1064>
王大军  <https://orcid.org/0000-0002-4551-5572>
李晟  <https://orcid.org/0000-0001-7200-9539>

参考文献

Assis Morais T, Rosa CA, Viana-Junior AB, Santos AP,

- Passamani M, Azevedo CS (2020) The influence of population-control methods and seasonality on the activity pattern of wild boars (*Sus scrofa*) in high-altitude forests. *Mammalian Biology*, 100, 101–106.
- Azlan JM, Sharma DSK (2006) The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia. *Oryx*, 40, 36–41.
- Benson JF, Lotz MA, Jansen D (2008) Natal den selection by Florida panthers. *Journal of Wildlife Management*, 72, 405–410.
- Bleich VC, Pierce BM, Davis JL, Davis VL (1996) Thermal characteristics of mountain lion dens. *Great Basin Naturalist*, 56, 276–278.
- Brown DD, Kays R, Wikelski M, Wilson R, Klimley AP (2013) Observing the unwatchable through acceleration logging of animal behavior. *Animal Biotelemetry*, 1, 20–36.
- Chen LJ, Shu ZF, Xiao ZS (2019) Application of camera-trapping data to study daily activity patterns of Galliformes in Guangdong Chebaling National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 27, 266–272. (in Chinese with English abstract) [陈立军, 束祖飞, 肖治术 (2019) 应用红外相机数据研究动物活动节律——以广东车八岭保护区鸡形目鸟类为例. *生物多样性*, 27, 266–272.]
- Edwards S, Gange AC, Wiesel I (2015) Spatiotemporal resource partitioning of water sources by African carnivores on Namibian commercial farmlands. *Journal of Zoology*, 297, 22–31.
- Edwards S, Noack J, Heyns L, Rodenwaldt D (2021) Are camera traps a reliable method for estimating activity patterns? A case study comparing technologies for estimating brown hyaena activity curves. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 7, 129–138.
- Ensing EP, Ciuti S, de Wijs FALM, Lentferink DH, Ten Hoedt A, Boyce MS, Hut RA (2014) GPS based daily activity patterns in European red deer and North American elk (*Cervus elaphus*): Indication for a weak circadian clock in ungulates. *PLoS ONE*, 9, e106997.
- Figuel JJ, Botero-Cañola S, Sánchez-Londoño JD, Racero-Casarrubia J (2021) Jaguars and pumas exhibit distinct spatiotemporal responses to human disturbances in Colombia's most imperiled ecoregion. *Journal of Mammalogy*, 102, 333–345.
- Frey S, Fisher JT, Burton AC, Volpe JP (2017) Investigating animal activity patterns and temporal niche partitioning using camera-trap data: Challenges and opportunities. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3, 123–132.
- Goldingay RL (2015) A review of home-range studies on Australian terrestrial vertebrates: Adequacy of studies, testing of hypotheses, and relevance to conservation and international studies. *Australian Journal of Zoology*, 63, 136–146.
- Han XS, Chen HQ, Dong ZY, Xiao LY, Zhao X, Lü Z (2020) Discovery of first active breeding den of Chinese mountain cat (*Felis bieti*). *Zoological Research*, 41, 341–344.
- He L, Garcia-Perea R, Li M, Wei FW (2004) Distribution and conservation status of the endemic Chinese mountain cat (*Felis bieti*). *Oryx*, 38, 55–61.
- Hertel AG, Swenson JE, Bischof R (2017) A case for considering individual variation in diel activity patterns. *Behavioral Ecology*, 28, 1524–1531.
- Ihaka R, Gentleman R (1996) R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 299–314.
- Jia HP, Hu Y, Wang HC, Zhang Y, Wang FC, Qiao FP, Li CJ, Song XK (2021) Study on wild medicinal plant resource diversity in Xianmi Forest Farm of Menyuan County. *Chinese Wild Plant Resources*, 40, 70–73, 94. (in Chinese with English abstract) [贾慧萍, 胡樱, 王慧春, 张毓, 王发春, 乔福鹏, 李春菁, 宋锡康 (2021) 门源县仙米林场野生药用植物资源多样性研究. *中国野生植物资源*, 40, 70–73, 94.]
- Jiang ZG, Wu Y, Liu SY, Jiang XL, Zhou KY, Hu HJ (2021) China's Red List of Biodiversity•Vertebrates (Vol. I): Mammals. Science Press, Beijing. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 吴毅, 刘少英, 蒋学龙, 周开亚, 胡慧建 (2021) 中国生物多样性红色名录•脊椎动物(第一卷): 哺乳动物. 科学出版社, 北京.]
- Kolowski JM, Forrester TD (2017) Camera trap placement and the potential for bias due to trails and other features. *PLoS ONE*, 12, e0186679.
- Lashley MA, Cove MV, Chitwood MC, Penido G, Gardner B, DePerno CS, Moorman CE (2018) Estimating wildlife activity curves: Comparison of methods and sample size. *Scientific Reports*, 8, 4173.
- Leonard JP, Tewes ME, Lombardi JV, Wester DW, Campbell TA (2020) Effects of sun angle, lunar illumination, and diurnal temperature on temporal movement rates of sympatric ocelots and bobcats in South Texas. *PLoS ONE*, 15, e0231732.
- Li Q, Wu JG, Kou XJ, Feng LM (2013) Applications of camera trap in wildlife population ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24, 947–955. (in Chinese with English abstract) [李勤, 邬建国, 寇晓军, 冯利民 (2013) 相机陷阱在野生动物种群生态学中的应用. *应用生态学报*, 24, 947–955.]
- Li S (2020) Development progress and outlook of the wildlife camera-trapping networks in China. *Biodiversity Science*, 28, 1045–1048. (in Chinese) [李晟 (2020) 中国野生动物红外相机监测网络建设进展与展望. *生物多样性*, 28, 1045–1048.]
- Li S, McShea WJ, Wang DJ, Shao LK, Shi XG (2010) The use of infrared-triggered cameras for surveying phasianids in Sichuan Province, China. *Ibis*, 152, 299–309.
- 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.]
- Liao YF (1988) Some biological informations of desert cat in Qinghai. Acta Theriologica Sinica, 8, 128–131. (in Chinese with English abstract) [廖炎发 (1988) 青海荒漠猫的一些生物学资料. 兽类学报, 8, 128–131.]
- Liu SY, Wu Y, Li S (2020) Handbook of the Mammals of China, 2nd edn. The Straits Publishing & Distributing Group, Fuzhou. (in Chinese) [刘少英, 吴毅, 李晟 (2020) 中国兽类图鉴(第二版). 海峡出版发行集团, 福州.]
- Lynam AJ, Rabinowitz A, Myint T, Maung M, Latt KT, Po SHT (2009) Estimating abundance with sparse data: Tigers in northern Myanmar. Population Ecology, 51, 115–121.
- Mann GKH, O’Riain MJ, Parker DM (2015) The road less travelled: Assessing variation in mammal detection probabilities with camera traps in a semi-arid biodiversity hotspot. Biodiversity and Conservation, 24, 531–545.
- Matthews A, Ruykys L, Ellis B, FitzGibbon S, Lunney D, Crowther MS, Glen AS, Purcell B, Moseby K, Stott J, Fletcher D, Wimpenny C, Allen BL, van Bommel L, Roberts M, Davies N, Green K, Newsome T, Ballard G, Fleming P, Dickman CR, Eberhart A, Troy S, McMahon C, Wiggins N (2013) The success of GPS collar deployments on mammals in Australia. Australian Mammalogy, 35, 65–83.
- Meredith M, Ridout M (2021) Overlap: Estimates of Coefficient of Overlapping for Animal Activity Patterns. Version 0.3.4. <https://CRAN.R-project.org/package=overlap>. (accessed on 2022-01-01)
- Negrões N, Sarmiento P, Cruz J, Eira C, Revilla E, Fonseca C, Sollmann R, Törres NM, Furtado MM, Jácomo ATA, Silveira L (2010) Use of camera-trapping to estimate puma density and influencing factors in central Brazil. Journal of Wildlife Management, 74, 1195–1203.
- Niedballa J, Sollmann R, Courtiol A, Wilting A (2016) camtrapR: An R package for efficient camera trap data management. Methods in Ecology and Evolution, 7, 1457–1462.
- Norris D, Michalski F, Peres CA (2010) Habitat patch size modulates terrestrial mammal activity patterns in Amazonian forest fragments. Journal of Mammalogy, 91, 551–560.
- O’Connell AF, Nichols JD, Karanth KU (2011) Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analyses. Springer, New York.
- Ordiz A, Sæbø S, Kindberg J, Swenson JE, Støen OG (2017) Seasonality and human disturbance alter brown bear activity patterns: Implications for circumpolar carnivore conservation? Animal Conservation, 20, 51–60.
- R Core Team (2018) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. (accessed on 2021-01-01)
- Ridout MS, Linkie M (2009) Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 14, 322–337.
- Riordan P, Sanderson J, Bao W, Abdukadir A, Shi K (2015) *Felis bieti*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T8539A50651398. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T8539A50651398.en>. (accessed on 2021-05-05)
- Ross S, Kamnitzer R, Munkhtsog B, Harris S (2010) Den-site selection is critical for Pallas’s cats (*Otocolobus manul*). Canadian Journal of Zoology, 88, 905–913.
- Rowcliffe M (2016) Activity: Animal Activity Statistics. Version 1.3.1. <https://CRAN.R-project.org/package=activity>. (accessed on 2021-02-04)
- Schmidt K, Nakanishi N, Izawa M, Okamura M, Watanabe S, Tanaka S, Doi T (2008) The reproductive tactics and activity patterns of solitary carnivores: The Iriomote cat. Journal of Ethology, 27, 165–174.
- Shang YC (2005) Animal Behavior. Peking University Publishing House, Beijing. (in Chinese) [尚玉昌 (2005) 动物行为学. 北京大学出版社, 北京.]
- Shi XG, Shi XY, Hu Q, Feng X, Jin SL, Cheng YH, Zhang J, Yao M, Li S (2021) Spatiotemporal relationships between snow leopard (*Panthera uncia*) and red fox (*Vulpes vulpes*) in Qionglai Mountains, Sichuan Province. Acta Theriologica Sinica, 41, 115–127. (in Chinese with English abstract) [施小刚, 史晓昀, 胡强, 冯茜, 金森龙, 程跃红, 张静, 姚蒙, 李晟 (2021) 四川邛崃山脉雪豹与赤狐时空生态位关系. 兽类学报, 41, 115–127.]
- Stanton LA, Sullivan MS, Fazio JM (2015) A standardized ethogram for the Felidae: A tool for behavioral researchers. Applied Animal Behaviour Science, 173, 3–16.
- Sun RY (2001) Principles of Animal Ecology, 3rd edn. Beijing Normal University Publishing House, Beijing. (in Chinese) [孙儒泳 (2001) 动物生态学原理(第三版). 北京师范大学出版社, 北京.]
- Wang Y, Li S, Liu WL, Zhu XL, Li BZ (2019) Coat pattern variation and activity rhythm of Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*) in Yarlung Zangbo Grand Canyon National Nature Reserve of Tibet, China. Biodiversity Science, 27, 638–647. (in Chinese with English abstract) [王渊, 李晟, 刘务林, 朱雪林, 李炳章 (2019) 西藏雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区金猫的色型类别与活动节律. 生物多样性, 27, 638–647.]
- Wang YW, Nickel B, Rutishauser M, Bryce CM, Williams TM, Elkaim G, Wilmers CC (2015) Movement, resting, and attack behaviors of wild pumas are revealed by tri-axial accelerometer measurements. Movement Ecology, 3, 2–14.
- Wei FW, Yang QS, Wu Y, Jiang XL, Liu SY, Li BG, Yang G, Li M, Zhou J, Li S, Hu YB, Ge DY, Li S, Yu WH, Chen

- BY, Zhang ZJ, Zhou CQ, Wu SB, Zhang L, Chen ZZ, Chen SD, Deng HQ, Jiang TL, Zhang LB, Shi HY, Lu XL, Li Q, Liu Z, Cui YQ, Li YC (2021) Catalogue of mammals in China (2021). *Acta Theriologica Sinica*, 41, 487–501. (in Chinese with English abstract) [魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 蒋学龙, 刘少英, 李保国, 杨光, 李明, 周江, 李松, 胡义波, 葛德燕, 李晟, 余文华, 陈炳耀, 张泽钧, 周材权, 吴诗宝, 张立, 陈中正, 陈顺德, 邓怀庆, 江廷磊, 张礼标, 石红艳, 卢学理, 李权, 刘铸, 崔雅倩, 李玉春 (2021) 中国兽类名录(2021版). *兽类学报*, 41, 487–501.]
- Xiao ZS, Li XH, Jiang GS (2014) Applications of camera trapping to wildlife surveys in China. *Biodiversity Science*, 22, 683–684. (in Chinese) [肖治术, 李欣海, 姜广顺 (2014) 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.]
- Yu H, Xing YT, Meng H, He B, Li WJ, Qi XZ, Zhao JY, Zhuang Y, Xu X, Yamaguchi N, Driscoll CA, O'Brien SJ, Luo SJ (2021) Genomic evidence for the Chinese mountain cat as a wildcat conspecific (*Felis silvestris bieti*) and its introgression to domestic cats. *Science Advances*, 7, eabg0221.
- Yu WH, He K, Fan PF, Chen BY, Li S, Liu SY, Zhou J, Yang QS, Li M, Jiang XL, Yang G, Wu SB, Lu XL, Hu YB, Li BG, Li YC, Jiang TL, Wei FW, Wu Y (2021) Taxonomic and systematic research progress of mammals in China. *Acta Theriologica Sinica*, 41, 502–524. (in Chinese with English abstract) [余文华, 何锴, 范鹏飞, 陈炳耀, 李晟, 刘少英, 周江, 杨奇森, 李明, 蒋学龙, 杨光, 吴诗宝, 卢学理, 胡义波, 李保国, 李玉春, 江廷磊, 魏辅文, 吴毅 (2021) 中国兽类分类与系统演化研究进展. *兽类学报*, 41, 502–524.]
- Zhao LJ, Liu MZ, Luo CP, Bu HL, Ma DY, Shang XT, Li S (2020) Daily activity rhythm of *Lthaginiis cruentus* in the Wanglang National Nature Reserve, Sichuan. *Sichuan Journal of Zoology*, 39, 121–128. (in Chinese with English abstract) [赵联军, 刘鸣章, 罗春平, 卜红亮, 马东源, 尚晓彤, 李晟 (2020) 四川王朗国家级自然保护区血雉的日活动节律. *四川动物*, 39, 121–128.]
- Zielinski WJ, Truex RL, Schmidt GA, Schlexer FV, Schmidt KN, Barrett RH (2004) Resting habitat selection by fishers in California. *Journal of Wildlife Management*, 68, 475–492.
- Zhu BW, Wang B, Ran JH, Li B, Huang F, Li XQ, Gu XD (2019) Seasonal variation of daily activity patterns and diet of yellow-throated marten (*Martes flavigula*). *Acta Theriologica Sinica*, 39, 52–61. (in Chinese with English abstract) [朱博伟, 王彬, 冉江洪, 李波, 黄峰, 李晓清, 古晓东 (2019) 黄喉貂日活动节律及食性的季节变化. *兽类学报*, 39, 52–61.]

(责任编辑: 乔慧捷 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附录1 本研究中佩戴卫星追踪颈圈的10只荒漠猫的活动范围示意图

Appendix 1 Movement range of the 10 individuals of Chinese mountain cats fitted with satellite tracking collars in this study
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022081-1.pdf>

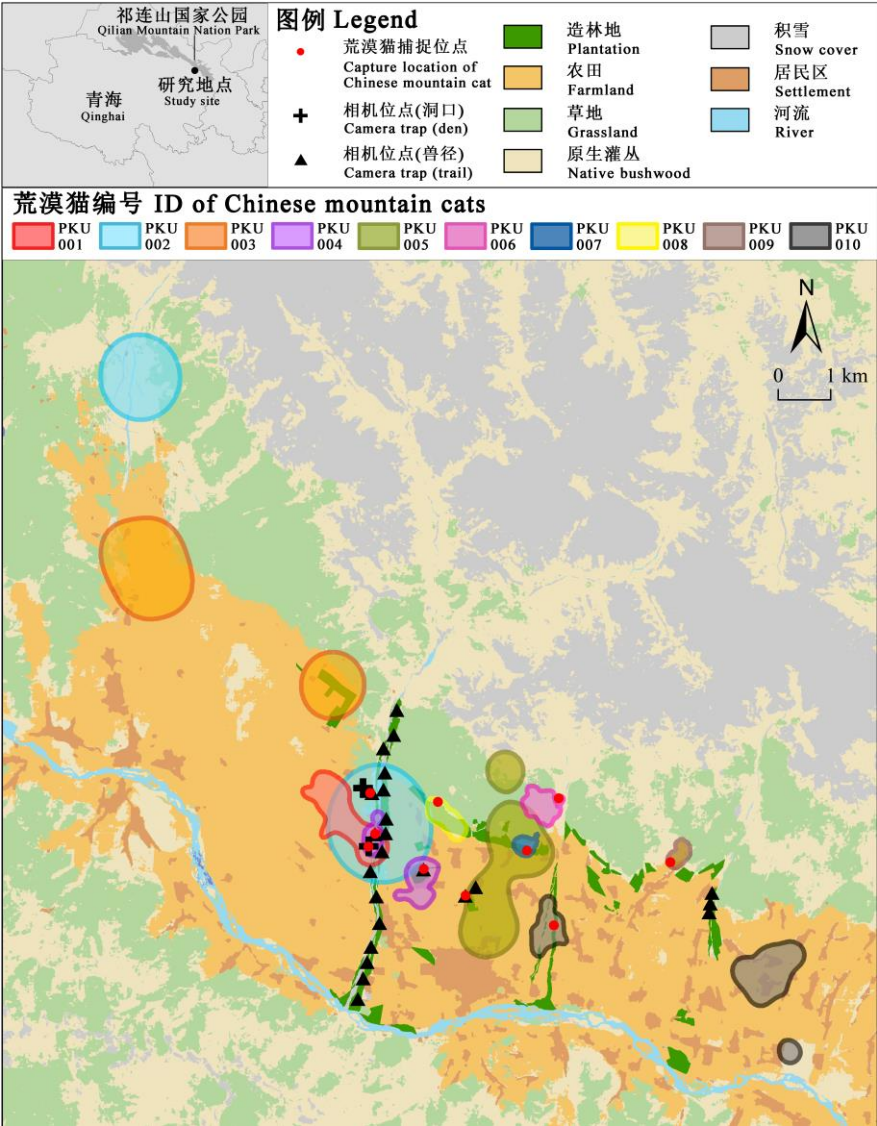
附录2 荒漠猫简化行为谱及各类行为的定义

Appendix 2 A simplified ethogram of Chinese mountain cats and the definition of each behavior
<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022081-2.pdf>

孔玥峤, 刘炎林, 贺成武, 李天醜, 李全亮, 马存新, 王大军, 李晟 (2022) 评估荒漠猫的日常活动节律: 基于红外相机与卫星颈圈数据的对比. 生物多样性, 30, 22081. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2022081>

附录1 本研究中佩戴卫星追踪颈圈的10只荒漠猫的活动范围示意图

Appendix 1 Movement range of the 10 individuals of Chinese mountain cats fitted with satellite tracking collars in this study



孔玥峤, 刘炎林, 贺成武, 李天醜, 李全亮, 马存新, 王大军, 李晟 (2022) 评估荒漠猫的日活动节律: 基于红外相机与卫星颈圈数据的对比. 生物多样性, 30, 22081. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2022081>

附录 2 荒漠猫简化行为谱及各类行为的定义
Appendix 2 A simplified ethogram of Chinese mountain cats and the definition of each behavior

行为类别 Behavior category	定义 Definition
个体行为 Individual behavior	
1. 移动 Locomotion	前后肢交错着地, 使身体移动超过1个身长的距离。包括走、跑、跳等
2. 休息 Rest	以放松姿势俯卧或躺, 身体不移动, 无其他活动
3. 警戒 Alert	保持警惕, 细心地关注周围环境; 眼睛可能锁定在某一特定方向, 或伴随头部的转动而扫视周围
4. 取食 Foraging	寻找、跟踪、追逐、捕捉、进食猎物
5. 修饰/梳理 Maintenance	通过舔舐、抓、咬、蹭等动作清理自身皮毛或身体某一区域
6. 嗅闻 Sniff	鼻部靠近某一物体, 通过鼻子吸入空气来闻气味, 伴随有鼻孔扩张
7. 排便 Defecation/Urination	排出体内粪便或尿液
8. 标记 Scent marking	站立时尾巴垂直抬起, 向某物体喷射尿液(伴随排尿行为); 或使用身体的某部位摩擦物体表面, 留下自己的气味或毛发
9. 玩耍 Play	玩弄物体或尾巴等自身身体部位; 或无具体对象, 通过跳跃、翻滚等动作玩耍
10. 发声 Vocalization	通过口腔或喉部发出声音
社会行为 Social behavior	
1. 亲昵行为(梳理、玩耍等) Affinitive	个体间相互舔舐皮毛或进行其他友好互动, 如无攻击性的扑或追逐
2. 攻击行为 Aggressive	个体间进行有身体接触的打斗, 或无身体接触的恐吓
3. 繁殖行为 Reproductive	繁殖后代有关的行为, 包括求偶、交配、生产等
4. 母幼行为 Mother/Infant	成年雌性个体与其幼崽(未独立生活时)之间以哺育为主的互动行为
5. 其他 Other	个体之间发生的其他行为