

利用红外相机监测数据分析佛坪国家级自然保护区豹猫和黄喉貂活动节律及空间分布

刘小斌^① 赵凯辉^① 王勳^{②*}

① 陕西佛坪国家级自然保护区 佛坪 723400; ② 中国科学院动物研究所, 动物生态与保护生物学院重点实验室 北京 100101

摘要: 豹猫 (*Prionailurus bengalensis*) 和黄喉貂 (*Martes flavigula*) 均为国家 II 级重点保护野生动物, 常同域分布, 但是其生态位差异和共存机制尚不明确。为了探究这一问题, 从 2013 年 9 月至 2018 年 12 月, 在陕西省佛坪国家级自然保护区内共计布设 37 台触发式红外相机。37 台相机均持续工作 5 年, 用于对这两种中小型食肉动物的聚群模式、日活动节律、季节性动态和空间分布进行系统监测, 累计相机工作日 72 076 d, 共捕获到独立有效事件豹猫 290 次、黄喉貂 84 次。结果表明, 豹猫是典型的独居型物种, 偏好夜行性, 其夜间活动指数 D_{RAI} 为 77.4%; 而黄喉貂更倾向于聚群活动, 是昼行性生物, 其昼间活动指数 D_{RAI} 为 94.1%。豹猫的季节相对多度指数 S_{RAI} , 冷季显著高于暖季 ($t = 2.82$, $df = 11$, $P < 0.05$); 而黄喉貂的季节相对多度指数暖季显著高于冷季 ($t = -3.09$, $df = 11$, $P < 0.05$), 两种动物的月相对多度指数 M_{RAI} 都呈现出明显的季节性波动规律。豹猫和黄喉貂在空间分布上存在明显的相互回避, 在距离人类活动的道路较近的区域, 即距离道路小于 500 m 范围内, 豹猫的活动比黄喉貂更加频繁, 其相机位点多度指数 C_{RAI} 显著高于黄喉貂 (Wilcoxon 秩和检验 $P < 0.001$)。本研究结果显示, 这两种小型食肉动物可以通过占据不同的时空生态位来减少竞争, 从而达到大范围区域共存。

关键词: 红外相机技术; 黄喉貂; 豹猫; 活动节律; 空间分布

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2022) 01-009-10

Using Infrared Camera Traps to Monitor the Activity Rhythm and Spatial Distribution Pattern of Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) and Yellow-throated Marten (*Martes flavigula*) in Foping National Nature Reserve

LIU Xiao-Bin^① ZHAO Kai-Hui^① WANG Meng^{②*}

① *Foping National Nature Reserve, Shanxi Province, Foping 723400*; ② *Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*

Abstract: [Objectives] The Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) and Yellow-throated Marten (*Martes flavigula*) are both the national second-class protected species. However, as sympatric species, their ecological niche and coexistence mechanism are nevertheless unclear. **[Methods]** From September 2013 to December

* 通讯作者, E-mail: wangmeng@ioz.ac.cn;

第一作者简介 刘小斌, 男, 工程师; 研究方向: 自然保护区管理和野生动物保护; E-mail: 1104103227@qq.com.

收稿日期: 2021-03-31, 修回日期: 2021-11-13 DOI: 10.13859/j.cjz.202201002

2018, 37 infrared camera traps were set up in the Foping National Nature Reserve in Shaanxi Province. Our study area and camera trap sites can be seen from Fig. 1. Based on the monitoring data, we calculated the relative abundance index to model the cluster pattern, daytime-and-night activity rhythm, seasonal dynamics and spatial distribution of these two small and medium sized carnivores. Seasonal activity rhythm were tested by *t*-test and spatial activity pattern were tested by Wilcoxon rank sum test. Daily activity rhythm was modeled by kernel density method and inverse distance weighted method (weight = 5) was used to draw spatial activity pattern. All the analysis were conducted in R 3.6.3. **[Results]** There were a total of 72 076 camera working days and captured 290 independent and effective incidents of Leopard Cats and 84 independent and effective incidents of Yellow-throated Martens. The results showed that the Leopard Cat is a typical solitary species, preferring activity in the night (daytime-and-night relative abundance index, $D_{RAI} = 77.4\%$). While the Yellow-throated Marten is more gregarious and more activity in the day time ($D_{RAI} = 94.1\%$) (Fig. 2a). Leopard Cats reach their activity peak in a day between 3:00 and 4:00 am and the activity peak of Yellow-throated Martens appeared at 17:00 (Fig. 2a). The relative seasonal abundance index S_{RAI} of Leopard Cats is significantly higher in the cold season than in the warm season ($t = 2.82$, $df = 11$, $P < 0.05$), while the S_{RAI} of Yellow-throated Marten is significantly higher in the warm season than in the cold season ($t = -3.09$, $df = 11$, $P < 0.05$) (Fig. 3a). The monthly relative abundance index M_{RAI} of the two species showed obvious seasonal fluctuations (Fig. 3b). There was significant mutual avoidance between Leopard Cats and Yellow-throated Martens in spatial distribution. However, Leopard Cats is more frequently recorded in the area active moved more frequently in areas closer to human paths than Yellow-throated Martens (Fig. 4a). The camera site abundance of index C_{RAI} to the road within 500 m is significantly higher for Leopard cat's than that of Yellow-throated Marten (Distance, Wilcoxon rank sum test: $P < 0.001$) (Fig. 4b). **[Conclusion]** The two small carnivorous mammals occupied different spatial and temporal ecological niches to reduce competition and achieve coexistence in a large region.

Key words: Camera trap; Leopard Cat, *Prionailurus bengalensis*; Yellow-throated Marten, *Martes flavigula*; Activity rhythms; Spatial pattern

生态位相似的物种同域分布共存机制是动物生态学和生物多样性保护研究重点之一, 不同物种间长期稳定共存依赖于种间生态位的分化 (Gause 1934, 孙儒泳 1992)。同域物种生态位分化较为多元, 包括时间生态位 (Chesson 1994)、空间生态位 (MacArthur 1958) 以及资源生态位 (Tilman 1982) 的分化等。各物种在不同的种间作用中通过调整行为策略来改变其生态位宽度与范围, 以获取收益最大化 (Schoener 1974, Bruno et al. 2003)。生态位理论的研究对阐明生物群落中种间竞争及共存机制起着非常重要的作用。

食肉目动物作为高营养级与食物链高层级

物种, 在维持生态系统结构与功能的稳定性方面发挥了重要作用, 而食肉目物种的区域共存机制等一系列问题近年来也成为保护生物学及动物生态学研究的热点问题 (李治霖等 2021)。英国南部美洲水鼬 (*Neovison vison*) 和林鼬 (*Mustela putorius*) 两种中型食肉动物的同域共存基础是避免同时使用重叠区域, 如林鼬以夜间活动为主, 而美洲水鼬以日间活动为主 (Macdonald 2008)。体型较为相似的竞争者, 如美洲豹 (*Panthera onca*) 和美洲狮 (*Puma concolor*) 以及美洲狮和豹猫 (*Prionailurus bengalensis*) 之间, 大多会表现出较强的时间生态位分化, 精细时间尺度上活动模式差异有

助于它们在热带环境中维持共存 (Herrera et al. 2018)。对于同域分布的东北虎 (*Panthera tigris* ssp. *altaica*) 与东北豹 (*P. pardus orientalis*) 研究发现, 因适宜栖息地面积较小, 二者共存的重要基础也是时间生态位的分化 (Li et al. 2019)。

豹猫和黄喉貂 (*Martes flavigula*) 分别属于猫科豹猫属和鼬科貂属的食肉目物种, 均是国家 II 级重点保护野生动物。二者在我国广泛分布于东北、华中、华南、东部沿海以及藏东南地区, 主要生活在山地森林或丘陵地带, 其分布范围绝大部分存在重叠 (IUCN 2020)。二者体型相近, 又同属食物链的二级消费者, 对森林生态系统中的小型啮齿类动物种群数量起到调控作用, 在生态系统中所发挥的功能类似 (王庭林等 2014)。豹猫主要以小型哺乳动物为食, 黄喉貂除却捕食小型哺乳动物外还会摄入一定量的植物类食物 (Bu et al. 2016)。豹猫和黄喉貂同是生物多样性和生态系统稳定的重要维持者和贡献者 (李艳红等 2007), 对人类干扰和栖息地破碎化等较为敏感, 被认为是森林生态系统健康的指示种 (Saro et al. 2017)。因此, 保护森林生态系统中这两种小型食肉目动物, 对于维持生态平衡和有效发挥生态系统功能有着非常重要的意义 (朱博伟等 2019)。豹猫和黄喉貂虽不属于近缘种, 但由于相似的生境选择、生理需求、形态特征, 导致其在栖息地内必然存在对资源的分化利用, 即“竞争排除法则” (Hardin 1960)。利用红外相机对岷山山系这两个同域分布物种研究发现, 黄喉貂主要在白天活动, 豹猫则主要在夜间和黄昏活动; 在季节活动方面, 黄喉貂在冬季最为活跃, 豹猫则与其相反 (Bu et al. 2016)。但是秦岭山系的气候、植被特征和环境干扰类型均与岷山山系存在显著差异, 这些差异会改变动物的行为方式, 如岷山山系和秦岭山系的乔木特征会影响野生大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 的标记方式选择 (Zhou et al. 2019)。同时, 前期的研究关于人类活动 (尤其是道路建设) 对这

两种小型食肉目动物活动的影响探讨也比较缺乏。因此, 开展秦岭区域这两种小型食肉目动物的活动节律、生态位分化和人类干扰影响等相关的生态学研究非常必要。

近年来, 红外相机技术被广泛应用于野生动物多样性监测 (李晟等 2014, 肖治术等 2014, 张履冰等 2014, 周文良等 2014)、日活动节律、季节性行为变化和空间生态位分化等一系列研究 (刘小斌等 2017, 李友邦等 2021, 晏鸣霄等 2021, 邹启先等 2021), 为动物生态与保护生物学等领域知识的丰富和完善做出了很大贡献 (O'Connell et al. 2010, Burton et al. 2015)。本文提取分析红外相机中豹猫和黄喉貂的出现数据来探究二者的时空生态位分化, 即空间分布和活动节律的差异, 有助于更深入理解同域分布相似物种间的共存机制。同时, 探究人类活动干扰对二者活动的影响, 便于了解不同物种在人类活动胁迫下的适应性。这些研究将为生物多样性的维护以及后期野生动物有效保护管理和资源利用提供重要科学依据。

1 研究区域概况

陕西佛坪国家级自然保护区 (107°41' ~ 107°55' E, 33°33' ~ 33°46' N) 位于陕西秦岭中段南麓佛坪县境内, 是秦岭地区生物多样性最为丰富的区域。保护区面积 292.4 km², 区内最低海拔 980 m, 最高海拔 2 904 m。佛坪国家级自然保护区内气候四季分明, 根据当地特点将 4 ~ 10 月划分为暖季, 11 月到次年 3 月划分为冷季 (党超琪等 2019)。该保护区 1978 年 12 月经国务院批准建立, 是以保护大熊猫和森林生态系统为主的国家级自然保护区。保护区气候条件适宜, 食物资源充足, 存在着丰富的兽类资源, 除大熊猫以外, 还有川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*)、林麝 (*Moschus berezovskii*) 和金钱豹 (*P. pardus*) 等多种国家 I 级重点保护野生动物。前期的生物多样性调查发现, 豹猫和黄喉貂在保护区全境皆有分布, 是区域内相对多度指数较高的物种 (马亦生等

2020),为探究二者时空生态位差异提供了重要便利条件。

2 研究方法

2.1 红外相机布设

2013年9月至2018年12月期间,在佛坪国家级自然保护区三官庙保护站辖区依据不同的地形地貌特征,结合黄喉貂与豹猫经常出没或者粪便、足迹等痕迹明显处布设37台红外相机(HC600, Reconyx, USA)(图1)。相机拍摄模式设置为触发式10连拍,间隔1s,相机固定在离地0.5~1.2m的树干上,日期、温度、光线、天气、物种行为和数量等信息均被记录下来。37台相机持续工作5年,每隔3或4个月定期巡护检查维修设备,更换存储卡(8G或16G)和电池。

2.2 数据处理分析

将收集来的照片与视频数据下载到计算

机,按照样线编号与相机编号进行整理,使用Bio-Photo(V2.0)软件(软件开发人:陈茂,申小莉,李晟)参照李晟等(2014)方法整理分析。所拍摄照片,兽类物种鉴定依据《中国兽类野外手册》(史密斯等2000)、《中国哺乳动物多样性(第二版)》(蒋志刚等2017)。个体在镜头前出现一次,不论连拍了多少张,均记录为“一次独立捕获事件”,当同一个体被识别反复多次捕获时,时间间隔小于30min的记作一次独立捕获事件,大于30min的则记作两次独立捕获事件(马亦生等2020)。接下来针对豹猫和黄喉貂的每次个体有效数量进行统计分析,分别计算这两种小型兽类的日活动节律、年活动节律和空间活动节律。

采用基于核密度估计方法分析这两种动物的日活动节律,纵轴密度(density)代表相应时段上检测到相应物种的概率,核密度计算方法参考陈立军等(2019),主要涉及R软件的

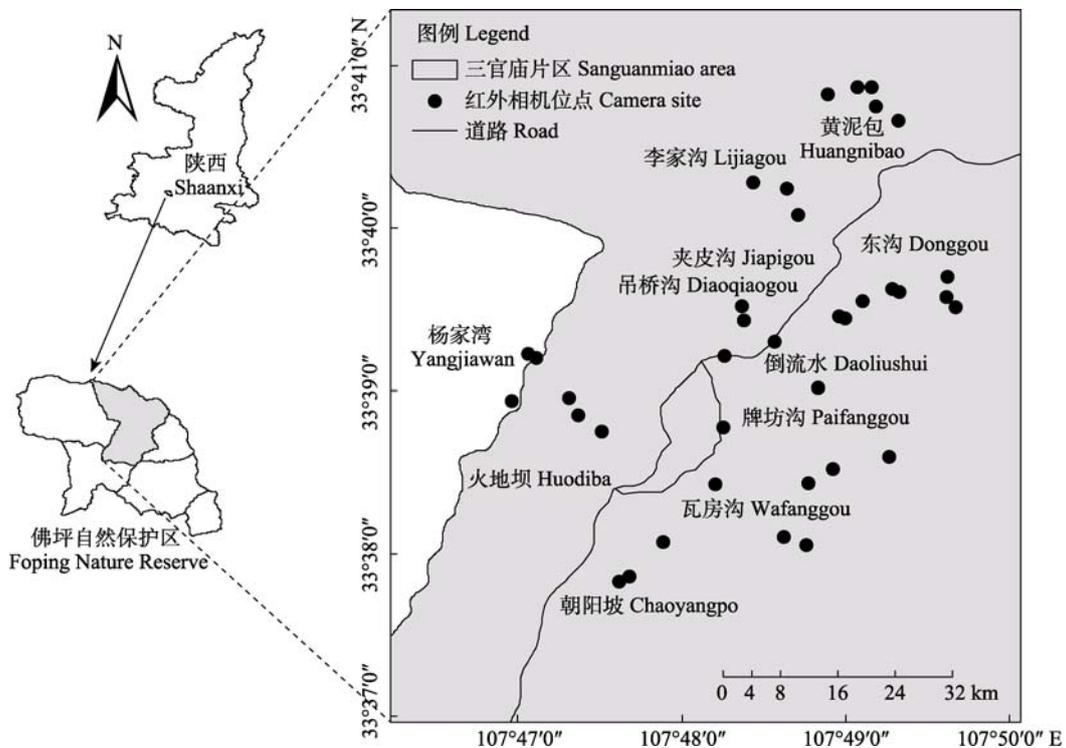


图1 佛坪保护区红外相机布设位点示意图

Fig. 1 The location of camera-traps in Foping National Nature Reserve

overlap 包 (Martin et al. 2009)。昼间定义为 7:00~19:00 时, 夜间定义为 19:00 时至次日 7:00 时, 并分别计算两个物种昼夜两个时段的相对多度指数 (daytime-and-night relative abundance index, D_{RAI}), $D_{RAI} = (D_{ij}/N_i) 100$, 全年 12 个月中每个月份区间的月相对多度指数 (monthly relative abundance index, M_{RAI}), $M_{RAI} = (M_{ij}/N_i) 100$, 冷季和暖季的季节相对多度指数 (seasonal relative abundance index, S_{RAI}), $S_{RAI} = (S_{ij}/N_i) 100$, 对于豹猫和黄喉貂的空间活动节律, 在每个红外相机探测位点计算了相机位点相对多度指数 (camera relative abundance index, C_{RAI}) $C_{RAI} = (C_{ij}/N_i) 100$, 上述式中, D_{ij} 表示物种 i 在时间段 j (昼夜两个时段) 中出现的独立捕获次数, M_{ij} 表示物种 i 在时间段 j (全年 12 个月份) 中出现的独立捕获次数, S_{ij} 表示物种 i 在时间段 j (冷、暖两个季节) 中出现的独立捕获次数, C_{ij} 表示物种 i 在探测点 j 中出现的独立捕获次数, N_i 代表物种 i 总独立捕获次数之和。物种的相对多度指数的计算方法参考文献 (O'Brien et al. 2003)。

在得到豹猫和黄喉貂每个位点的相对多度值后, 生成一个最小凸多边形将所有样线区域包括在内, 周围生成 1 km 的缓冲区, 运用反距离权重法 (weight = 5) (Shepard 1968) 在区域内使用 R 软件包“spatstat” (Baddeley et al. 2015) 进行相对多度指数的插值分析, 并分别生成相对多度指数的空间分布热图, 来探究这两个物种在空间分布上的规律和差异 (Lai et al. 2020)。将物种出现位点与道路的距离分为三个等级, 小于 500 m、500 ~ 1 000 m 和大于 1 000 m, 并分别检验豹猫和黄喉貂在此三个等级的空间相对多度差异, 来探究人类活动对这两个物种的影响。

对于两物种在一天中不同时段和一年中不同月份活动差异以及空间相对多度差异, 首先使用 Shapiro-Wilk 检验分析数据正态性, 符合正态性分布的采用 t 检验, 不符合正态性分布的采用 Wilcoxon 秩和检验。以上所有的分析都在

R 3.6.3 软件中完成 (R Core Team 2020)。

3 结果

2013 年 9 月至 2018 年 12 月, 37 台相机自始至终均正常工作, 总工作日为 1 948 d, 相机总工作日 (camera-day) 为 72 076 d, 回收有效红外相机位点 37 个。研究共拍摄到豹猫照片 3 064 张, 为 290 次独立有效捕获事件, 探测位点 33 个; 黄喉貂照片 1 028 张, 为 84 次独立有效捕获事件, 探测位点 20 个。豹猫为典型的独居型物种, 红外相机调查中仅发现 3 次捕获事件中有 2 只个体同时出现, 占有独立捕获事件的 1.03%; 黄喉貂比豹猫更倾向于聚群活动, 本次调查研究共发现 17 次聚群事件, 占有独立捕获事件的 20.23%, 通常形成 2~4 只规模的聚群。

3.1 日活动节律

比较二者白昼 (7:00 至 19:00 时) 和黑夜 (19:00 至次日 7:00 时) 两个时段相对多度, 发现豹猫为夜行性物种, 其夜间活动指数 D_{RAI} 为 77.4%, 是白昼活动指数的 3 倍多; 而黄喉貂则为昼行性物种, 其白昼活动指数 D_{RAI} 为 94.1%, 远高于夜间活动指数 (图 2a)。

对两种动物每小时时间段的活动节律进行比较发现, 豹猫在 3:00~4:00 时达到一天之中活动最高峰, 在 6:00~8:00 时活动频率逐渐降低, 日间活动量几近于零, 但随着夜色降临, 豹猫的活动频率逐渐增加。黄喉貂的日活动节律与豹猫刚好相反, 在 4:00~5:00 时活动量开始间断上升, 并在 8:00~9:00 时出现活动早高峰, 中午活动减弱, 12:00~17:00 时活动量持续上升, 且达到一天中活跃顶峰, 并随着夜晚的来临, 活动频率逐渐下降。二者的活动节律在 7:00 时及 20:00 时有短暂重叠 (图 2b)。

3.2 季节性活动变化

Shapiro-Wilk 正态性检验的结果显示, 黄喉貂与豹猫的月相对丰富度指数均符合正态分布。 t 检验的结果显示, 豹猫在暖季 (4~10 月) 和冷季 (11 月至次年 3 月) 的季节相对多度指

数 S_{RAI} 存在显著差异, 在暖季其相对多度指数显著低于冷季 ($t = 2.82, df = 11, P < 0.05$, 图 3a)。豹猫的月相对多度指数 M_{RAI} 自 11 月至次年 3 月一直维持在一个高的水平, 相对多度指

数最高的月份是 3 月, 而后在夏季相对多度指数逐渐下降, 8 月份降至最低 (图 3b)。黄喉貂在冷季和暖季的季节相对多度指数 S_{RAI} 也存在显著差异, 但是与豹猫的季节性动态恰好相反,

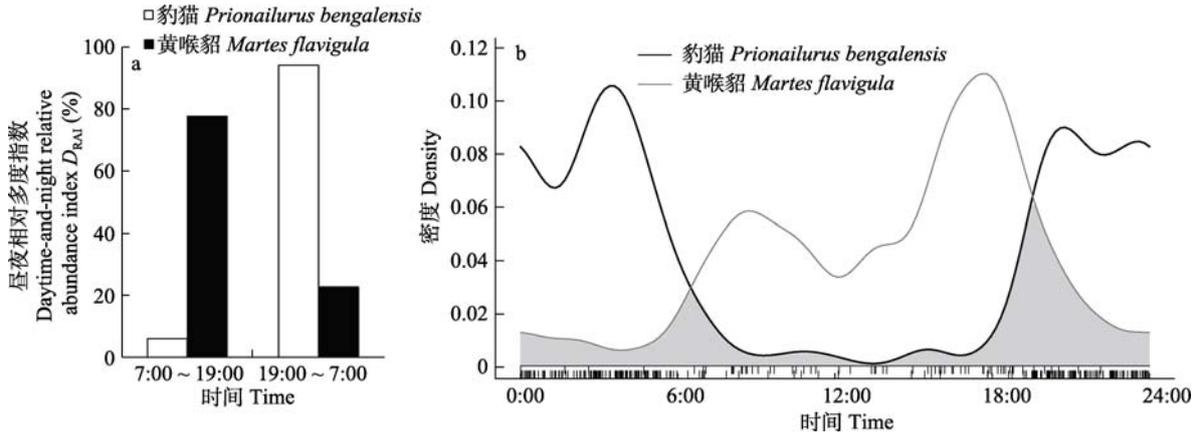


图 2 佛坪保护区豹猫和黄喉貂昼夜活动节律 (a) 和日活动节律 (b)

Fig. 2 The daytime-and-night activity rhythms (a) and daily activity rhythms (b) of Leopard Cat and Yellow-throated Marten in Foping National Nature Reserve

图 2b 中灰色重叠部分为两个物种日活动节律重叠部分, 横轴细线代表相应时段数据密度。

The gray part in Fig 2b represents the overlap of the two species in daily activity rhythms, and the lines on the x-axis represent the data density in corresponding periods.

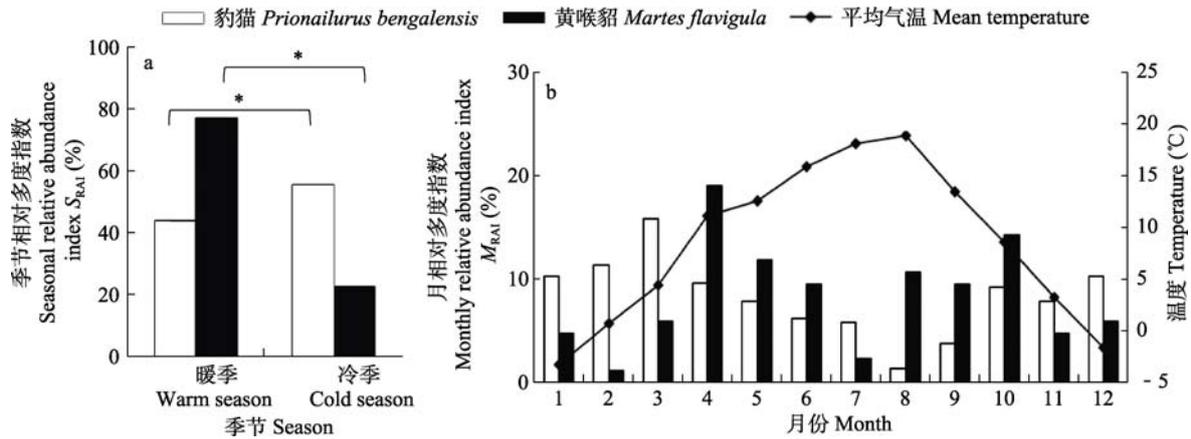


图 3 佛坪保护区豹猫和黄喉貂冷暖季活动差异 (a) 和月活动节律 (b)

Fig. 3 The activity difference in warm and cold seasons (a) and monthly activity rhythms (b) of Leopard Cat and Yellow-throated Marten in Foping National Nature Reserve

“*” 代表 t 检验显著水平小于 0.05。

The “*” symbol stands for the significant level is less than 0.05.

其在暖季的相对多度指数要高于冷季 ($t = -3.09$, $df = 11$, $P < 0.05$, 图 3a)。黄喉貂的月相对多度指数 M_{RAI} 在春夏交际的 4~6 月份和夏秋交际的 8~10 月份最高, 存在两个高峰, 分别是 4 月份和 10 月份, 在 2 月份和 7 月份相对多度指数则最低 (图 3b)。

3.3 空间分布差异

对比豹猫和黄喉貂的空间分布发现, 豹猫在火地坝和牌坊沟道路周围相机位点相对多度指数 C_{RAI} 最高, 夹皮沟、瓦房沟和杨家湾等几

处出现频次较高, 李家沟处次之; 而黄喉貂在黄泥包区域的相对多度指数 C_{RAI} 最高, 并向西北方向扩散, 在瓦房沟和牌坊沟附近也有一定活动迹象 (图 4a)。豹猫对靠近道路这类人为干扰景观并没有表现出排斥, 在道路附近相对多度指数反而很高; 而黄喉貂则正好相反, 其活动明显表现出偏离道路这一人类干扰景观。

经检验, 豹猫与黄喉貂的相机位点相对多度指数 C_{RAI} 不符合正态分布, 在距离人类活动道路 500 m 之内, 红外相机捕获豹猫相对多度

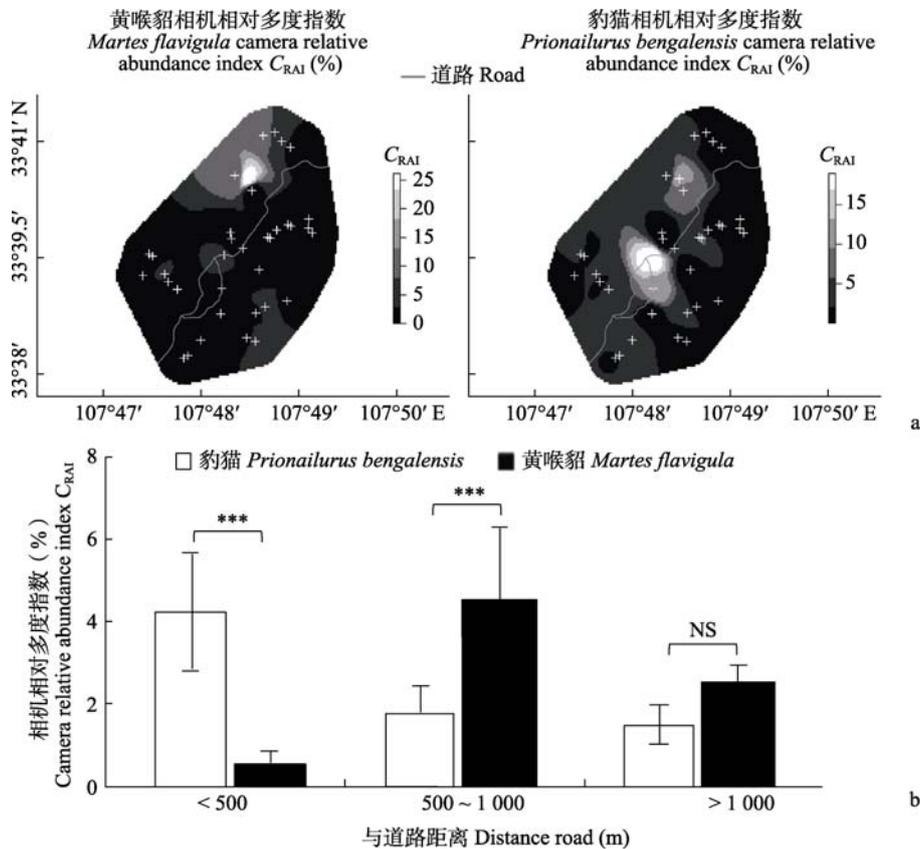


图 4 佛坪保护区豹猫和黄喉貂空间分布比较 (a) 及豹猫和黄喉貂相对多度指数与道路距离关系 (b)

Fig. 4 The spatial distribution patterns (a) and the relationship between C_{RAI} and spatial distance to road (b) of Leopard Cat and Yellow-throated Marten in Foping National Nature Reserve

白色“+”代表相机位点, C_{RAI} 色标从黑到白代表空间相对多度指数从低到高, “***”代表秩和检验显著水平小于 0.001, “NS”表示无显著差异。

The “+” symbol stands for camera site and the C_{RAI} color scale ranges from black to white indicates that the camera relative abundance index from low to high. The “***” symbol stands for the significant level of the Wilcoxon test is less than 0.001, and “NS” indicates that there is no significant difference.

指数显著高于黄喉貂 (Wilcoxon 秩和检验, $P < 0.001$), 而在距离道路 500 ~ 1 000 m 范围内黄喉貂的相对多度指数则高于豹猫 (Wilcoxon 秩和检验, $P < 0.001$), 当红外相机离道路距离大于 1 000 m 时, 二者之间的相对多度指数没有显著差异 (Wilcoxon 秩和检验, $P > 0.05$, 图 4b)。

4 讨论

动物的活动节律与空间分布是对周围环境适应的结果, 而动物的活动强度与被红外相机探测到的概率成正比 (李明富等 2011)。豹猫和黄喉貂生性机警且行动敏捷, 很难对其进行近距离跟踪观察, 因此通过红外相机对佛坪国家级自然保护区这两种同域分布物种的行为活动进行研究。结果发现, 二者在聚群、活动节律和空间分布等方面均存在显著差异, 豹猫是典型的独居型物种, 偏好夜行性, 受人类活动干扰较少; 而黄喉貂更倾向于聚群活动, 白天是其主要活动时间, 活动范围远离人类干扰。本研究支持了前人在其他不同保护区的研究结果 (章书声等 2017, 朱博伟等 2019)。

豹猫和黄喉貂的体型及食性均相似, 通常同域分布, 二者通过多种不同层级的调节方式来减少或避免直接竞争。首先, 聚群模式的差异会导致其捕食猎物对象存在差异, 黄喉貂有时通过团体协作集群捕杀大型兽类 (马逸清等 1986), 例如赤鹿 (*Muntiacus muntjak*) 等中小型有蹄类动物也会成为其食物 (Pierce et al. 2014), 而豹猫则只能捕获啮齿类、鸟类和一些两栖爬行类等体型较小的动物 (王培潮等 1977, 罗杨等 1995, 张迺嘉等 2011), 二者捕食猎物范围的差异在一定程度上会减缓其竞争的激烈程度。其次, 本研究发现, 豹猫为典型的夜行性物种, 而黄喉貂则为昼行性物种, 二者在时间生态位上存在显著差异。再次, 本研究中黄喉貂种群主要集中在黄泥包区域, 而豹猫则主要集中在火地坝、李家沟和牌坊沟区域, 二者在空间分布上显示出一定回避性。捕食方式、日活动节律和空间生态位等方面的差异或

分化是二者在同一区域大量共存的重要生态基础。

同时, 本研究发现豹猫不仅没有回避人类活动干扰, 相反在人类活动相对频繁的道路区域的相对多度指数较高, 而黄喉貂则明显表现出回避道路等人类活动干扰。因此推测, 二者昼夜习性是影响这一特征的主要因素, 保护区白天人类活动频繁, 对黄喉貂造成了一定程度的干扰; 在夜间, 没有人类活动, 方便平坦的道路自然就成了豹猫活动的兽径。但是由于本研究范围限制, 根据空间插值结果也只能说明豹猫在李家沟和倒流水区域对道路利用的喜好, 加之没有控制其他环境变量, 例如植被、地形等, 所以这一结论是否广泛适用, 还需要扩大研究范围、布设更多的相机和增加其他环境变量影响分析, 以验证本推测。豹猫和黄喉貂都表现出明显的季节性动态, 冷季和暖季表现出明显的活跃性差异。黄喉貂属于典型的广谱食性动物, 中小型哺乳类、鸟类、昆虫甚至植物和其种子都能够成为其食物 (Zhou et al. 2010)。因而食物变化有可能是导致其一年之中活动节律的主要原因之一。本研究中, 黄喉貂在春、秋两季各表现出一个活动高峰, 推测春季动物性食源增多, 黄喉貂四处猎食补充高营养食物, 为 6 和 7 月份产仔做准备 (张建军 2000); 而在秋季, 许多植物开始挂果结实, 相对于动物性食源来说, 植物性食源更为充足。对于豹猫来说, 虽偶有采食植物性食源, 但鼠类和鸟类等才是其主要食物来源。本研究结果显示, 豹猫在秋冬季节活动量维持在一个稳定水平, 推测豹猫在食物相对贫乏的秋冬季节为了捕猎扩大了其活动范围, 因此, 这一时间段红外相机的探测概率仍保持一定的水平。总体来说本研究的 37 台相机 5 年多时间的监测可以满足野外调查需求, 但野生动物对栖息地的利用多存在偏好, 所以产生的数据多是离散、不均匀的, 这在一定程度上会影响空间插值精度。

秦岭地区存在以豹猫和黄喉貂为代表的中小型食肉动物群落, 这二者体型、食性和濒危

等级都相似。通过研究对该地区豹猫和黄喉貂两个物种的聚群模式、昼夜习性、日活动节律、季节性动态、空间分布和人类活动对其的影响等有了初步了解。同域分布的物种倾向于在时空尺度上划分有限的资源以促进共存。本研究为同域物种共存理论提供了豹猫与黄喉貂的节律和空间数据支持。这为解决野生动物之间的矛盾冲突,尤其是这两种国家 II 级重点保护野生动物的保护管理工作及其生态学研究提供了基础资料。

参 考 文 献

- Baddeley A, Rubak E, Turner R. 2015. Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R. London: Chapman and Hall/CRC Press.
- Bruno J F, Stachowicz J J, Bertness M D. 2003. Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(3): 119–125.
- Bu H, Fang W, Mcshea W J, et al. 2016. Spatial co-occurrence and activity patterns of mesocarnivores in the temperate forests of Southwest China. *PLoS One*, 11(10): e0164271.
- Burton A C, Neilson E, Moreira D, et al. 2015. Wildlife camera trapping: A review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology*, 52(3): 675–685.
- Chesson P. 1994. Multispecies competition in variable environments. *Theoretical Population Biology*, 45(3), 227–276.
- Gause G F. 1934. *The Struggle for Existence*. New York: Hafner.
- Hardin G. 1960. The competitive exclusion principle. *Science*, 131(3409): 1292–1297.
- Herrera H, Chávez E J, Alfaro L D, et al. 2018. Time partitioning among jaguar *Panthera onca*, puma *Puma concolor* and ocelot *Leopardus pardalis* (Carnivora: Felidae) in Costa Rica's dry and rainforests. *Revista de Biología Tropical*, 66(4): 1575–1584.
- IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-2. [EB/OL]. [2021-03-04]. <https://www.iucnredlist.org>.
- Lai X L, Zhou W L, Gao H L, et al. 2020. Impact of sympatric carnivores on den selection of wild giant pandas. *Zoological Research*, 41(3): 273–280.
- Li Z L, Wang T M, Smith J L D. 2019. Coexistence of two sympatric flagship carnivores in the human-dominated forest landscapes of Northeast Asia. *Landscape Ecology*, 34(2): 291–305.
- MacArthur R H. 1958. Population ecology of some warblers of northeastern coniferous forests. *Ecology*, 39(4): 599–619.
- Macdonald H. 2008. Spatial and temporal relationships between invasive American mink and native European polecats in the southern United Kingdom. *Journal of Mammalogy*, 89(4): 991–1000.
- Martin R, Matthew L. 2009. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 14(3): 322–337.
- O'Brien T G, Kinnaird M F, Wibisono H T. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 6(2): 131–139.
- O'Connell A F, Nichols J D, Karanth K U. 2010. *Camera Traps in Animal Ecology: Methods and Analysis*. New York: Springer.
- Pierce A J, Sukumal N, Khamcha D. 2014. A yellow-throated marten *Martes flavigula* feeding on a red muntjac *Muntiacus muntjak* carcass. *Small Carnivore Conservation*, 51(1): 76–78.
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>.
- Saro L, Sunmin L, Wonkyong S, et al. 2017. Habitat potential mapping of marten (*Martes flavigula*) and leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in South Korea using Artificial Neural Network Machine Learning. *Applied Sciences*, 7(9): 912.
- Schoener T W. 1974. Resource partitioning in ecological communities. *Science*, 185(4145): 27–39.
- Shepard D. 1968. A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data // ACM. Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference. New York: ACM, 517–524.
- Tilman D. 1982. *Resource Competition and Community Structure*. Princeton: Princeton University Press.
- Zhou W L, Nie Y G, Hu Y B, et al. 2019. Seasonal and reproductive variation in chemical constituents of scent signals in wild giant pandas. *Science China-Life Science*, 62(5): 648–660.
- Zhou Y B, Newman C, Xu W T, et al. 2010. Biogeographical variation in the diet of martens (genus *Martes*, Mammalia: Carnivora: Mustelidae): Adaptive foraging in generalists. *Journal*

- of Biogeography, 38(1): 137–147.
- 党超琪, 赵凯辉, 刘新玉. 2019. 气象因子对秦岭大熊猫季节性垂直迁徙等活动的影响. 陕西林业科技, 47(3): 1–5, 13.
- 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(3): 266–272.
- 蒋志刚, 刘少英, 吴毅, 等. 2017. 中国哺乳动物多样性(第 2 版). 生物多样性, 25(8): 886–895.
- 李晟, 王大军, 肖治术, 等. 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(6): 685–695.
- 李明富, 李晟, 王大军, 等. 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(6): 850–855.
- 李艳红, 吴攀文, 胡杰. 2007. 四川栗子坪自然保护区的兽类区系与资源. 四川动物, 26(4): 841–845.
- 李友邦, 农娟丽, 杨婉琳, 等. 2021. 弄岗同域分布赤腹松鼠和红颊长吻松鼠活动节律研究. 广西师范大学学报: 自然科学版, 39(1): 71–78.
- 李治霖, 多立安, 李晟, 等. 2021. 陆生食肉动物竞争与共存研究概述. 生物多样性, 29(1): 81–97.
- 刘小斌, 韦伟, 郑筱光, 等. 2017. 红腹锦鸡和红腹角雉活动节律——基于红外相机监测数据. 动物学杂志, 52(2): 194–202.
- 罗杨, 朱惊毅, 李明晶. 1995. 贵州豹猫生态的初步研究. 贵州农学院学报, (3): 21–24.
- 马亦生, 马青青, 何念军, 等. 2020. 基于红外相机技术调查佛坪国家级自然保护区兽类和鸟类多样性. 生物多样性, 28(2): 226–230.
- 马逸清, 程继臻, 傅承钊, 等. 1986. 黑龙江省兽类志. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社.
- Smith A T, 解焱. 2000. 中国兽类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社.
- 孙儒泳. 1992. 动物生态学原理. 2 版. 北京: 北京师范大学出版社, 334–348.
- 王培潮, 钱国桢, 盛和林, 等. 1977. 貉与豹猫的冬季食性. 动物学杂志, 12(2): 43–35.
- 王庭林, 邹波, 刘青, 等. 2014. 山西省隰县鼬类食性的分析研究. 山西科技, 29(5): 47–49.
- 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(6): 683–684.
- 晏鸣霄, 孙楠, 顾伯健, 等. 2021. 同域分布的绿孔雀与白鹇时空生态位分化. 四川动物, 40(2): 150–158.
- 张建军. 2000. 黄喉貂生态特性的初步观察. 河北林果研究, (增刊 1): 195–196.
- 张迺嘉, 王安梦, 袁梨, 等. 2011. 内蒙古赛罕乌拉自然保护区 4 种小型食肉目动物的食性构成的初步分析. 兽类学报, 31(1): 55–61.
- 张履冰, 崔绍朋, 黄元骏, 等. 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(6): 696–703.
- 章书声, 李佳琦, 郑而重, 等. 2017. 基于红外相机技术监测浙江省自然保护区豹猫生存状况. 浙江林业科技, 37(4): 12–17.
- 周文良, 潘涛, 李斌, 等. 2014. 利用红外相机对安徽天马国家级自然保护区鸟兽的初步调查. 生物多样性, 22(6): 776–778.
- 朱博伟, 王彬, 冉江洪, 等. 2019. 黄喉貂日活动节律及食性的季节变化. 兽类学报, 39(1): 52–61.
- 邹启先, 彭彩淳, 杨雄威, 等. 2021. 两种同域分布鹿科动物的共存时空格局. 野生动物学报, 42(1): 5–13.