



•研究报告•

基于红外相机调查上海市区小灵猫的活动节律、栖息地利用及其对人类活动的响应

王怡涵^{ID}, 赵倩倩^{ID}, 刁奕欣^{ID}, 顾伯健^{ID}, 翁悦^{ID}, 张卓锦^{ID}, 陈泳滨^{ID}, 王放^{ID*}

复旦大学生命科学院生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海 200438

摘要: 快速的城市化进程使城市生物多样性保护面临巨大挑战。小灵猫(*Viverricula indica*)作为国家一级重点保护野生动物, 对其在城市环境下分布和栖息地的研究存在显著空缺。本研究基于红外相机监测技术, 在2020年6月至2021年10月调查了上海新江湾区域25个位点, 累计总有效红外相机工作日1,581 d, 在9个位点独立探测到小灵猫65次。基于红外相机影像完成了对小灵猫初步的个体识别, 探明了上海市新江湾区域存在一个至少包含5只小灵猫个体的极小种群。研究发现, 小灵猫的活动节律呈严格夜行性, 日活动曲线呈双峰分布, 活动高峰分别出现在夜间21:00和凌晨02:00前后。小灵猫对于人类活动和流浪猫呈现不同程度的时间和空间回避, 与人类活动时间重叠度指数低($\Delta = 0.15$), 并显著回避人类相对活动高的区域; 与流浪猫活动空间回避不显著, 但在时间上显著回避。在栖息地利用上, 小灵猫多分布在新江湾区域靠近水域的林灌丛生境中, 其适宜生境在城市环境中很可能处于快速退缩中, 具有独特的研究和保护价值。研究结果初步填补了国内相关研究空缺, 能够为推动以小灵猫为代表的城市生物多样性的保护和管理提供科学支持。

关键词: 小灵猫; 红外相机; 日活动节律; 栖息地选择; 城市生物多样性

王怡涵, 赵倩倩, 刁奕欣, 顾伯健, 翁悦, 张卓锦, 陈泳滨, 王放 (2023) 基于红外相机调查上海市区小灵猫的活动节律、栖息地利用及其对人类活动的响应. 生物多样性, 31, 22294. doi: 10.17520/biods.2022294.

Wang YH, Zhao QQ, Diao YX, Gu BJ, Weng Y, Zhang ZJ, Chen YB, Wang F (2023) Diel activity, habitat utilization, and response to anthropogenic interference of small Indian civets (*Viverricula indica*) in Shanghai urban areas based on camera trapping. Biodiversity Science, 31, 22294. doi: 10.17520/biods.2022294.

Diel activity, habitat utilization, and response to anthropogenic interference of small Indian civets (*Viverricula indica*) in Shanghai urban areas based on camera trapping

Yihan Wang^{ID}, Qianqian Zhao^{ID}, Yixin Diao^{ID}, Bojian Gu^{ID}, Yue Weng^{ID}, Zhuojin Zhang^{ID}, Yongbin Chen^{ID}, Fang Wang^{ID*}

Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200438

ABSTRACT

Aims: Rapid urbanization processes have brought great challenges to the conservation of urban biodiversity. The small Indian civet (*Viverricula indica*) is a national first-class key protected wild animal, yet ecological research about its wild populations in urban environments is rare. The aims of this study are to: (1) understand how small Indian civets respond to stray cats and human activities in time and space in urban landscapes; (2) investigate the habitat characteristics of small Indian civets in a human-dominated landscape; and (3) evaluate habitat changes of small Indian civets during the time period of 2000–2020.

Methods: We used infrared camera traps to investigate the small Indian civets in the urban environment. From June 2020 to October 2021, we conducted camera trap surveys at 25 sites in the Xinjiangwan area, Yangpu District,

收稿日期: 2022-06-01; 接受日期: 2022-08-08

基金项目: 国家自然科学基金(32270543)和兽类红外相机调查(上海半封闭生境区域试点) 2020 (SGH1322202)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: wfang@fudan.edu.cn

Shanghai. We conducted individual identification, and then analyzed species diel activity pattern and measured the overlapping index and calculated the avoidance-attraction ratios between small Indian civets and stray cats and humans, respectively. In addition, we calculated the relative abundance index (RAI) of humans, stray cats, and birds, and used an independent sample *t*-test to test the site differences where small Indian civets were detected and not detected. Lastly, we utilized remote sensing data to analyze the landscape changes of small Indian civet habitat during the time period of 2000–2020.

Results: We have achieved a sampling effort of 1,581 camera days, and obtained 65 independent small Indian civet detections at night sites. We identified 5 small Indian civet individuals. The diel activity pattern of small Indian civet was strictly nocturnal, with two nighttime activity peaks around 21:00 and 02:00. The temporal overlap index of small Indian civet and human activities was 0.15, and that of stray cats was 0.66. The avoidance-attractive ratio between small Indian civet and stray cats was 9.94 ± 7.84 . Human activity at sites where small Indian civets were detected was significantly less than that of the sites where the species was not undetected ($t = -2.539$, $P = 0.021$). Landscape analysis results indicated that most of the green space was replaced by artificial landscapes, and the degree of fragmentation and isolation increased during the past two decades.

Conclusion: Small Indian civets demonstrate spatial and temporal avoidance to human activities and stray cats. The existing landscapes that are potentially suitable for small Indian civet are fragmented, and immediate actions are needed to conserve the remaining small Indian civet population in urban landscapes.

Key words: small Indian civet; camera trapping; diel activity pattern; habitat selection; urban biodiversity

2021年,全球57%的人口居住在城市,这一数值预计将在2050年增至68% (<https://statisticstimes.com/demographics/world-urban-population.php/>)。快速的城市化进程显著改变了土地利用方式(Zhou & Chen, 2018; Mukherjee & Singh, 2020),使城市本土野生动物生存空间被挤压、栖息地破碎化和异质性程度加剧(Liu et al, 2016; Chen et al, 2021),导致城市生物多样性快速下降(Wan et al, 2018; Piano et al, 2020; Dri et al, 2021)。以上海市为例,作为我国超大城市之一,上海本土野生兽类组成丰富,但随着城市化程度不断增加,国家一级重点保护野生动物大灵猫(*Viverra zibetha*)和国家二级重点保护野生动物欧亚水獭(*Lutra lutra*)、豹猫(*Prionailurus bengalensis*)和赤狐(*Vulpes vulpes*)已在上海消失(上海市农林局, 2004; 上海市野生动植物保护管理站, 2011^①);曾在上海郊区普遍分布的狗獾(*Meles leucurus*)仅存奉贤区和松江区零星分布点(崔勇等, 2013; 吴彤等, 2017)。因此,如何对城市现存的野生动物开展行之有效的研究和管理,是当下城市生物多样性保护面临的巨大挑战之一(Huang et al, 2018)。

小灵猫(*Viverricula indica*)是国家一级重点保护野生动物(蒋志刚等, 2021),曾广泛分布于南方城市与城郊生态系统中,分布区域也包括上海市区

(<https://news.sina.com.cn/s/2005-03-22/03475424067.s.shtml>)。但近年来,小灵猫分布区域快速退缩,种群数量很可能出现了显著下降,现存分布区域不明(蒋志刚等, 2021)。目前国内对于小灵猫的研究工作主要集中在养殖、驯化与利用等方面,缺乏对于小灵猫野生种群的生态学研究,难以为保护工作的开展提供科学支持。尽管东南亚以及台湾南部等地区曾开展过有关森林生境中小灵猫食性(Chen et al, 2009)及活动模式(Altaf, 2017; Debata & Swain, 2018; Kumbhojkar et al, 2021)的研究,但森林生境和我国城市小灵猫的分布区环境差异巨大,难以作为保护管理工作的基础。城市环境下,人类在一定程度上将取代顶级捕食者的下行调控作用(Oriol et al, 2015),可能在时间和空间上对动物的分布和活动产生负面影响(Gaynor et al, 2018);城市中大量分布的流浪猫也可能与其他食肉目动物间存在竞争关系(Stokeld et al, 2018);且城市景观组成往往处于快速变化之中(Kabisch et al, 2019)。

因此,本团队在上海市新江湾区域开展调查,首次利用红外相机记录到上海市小灵猫的影像资料。我们基于红外相机数据对小灵猫进行了初步的个体识别,研究了小灵猫对流浪猫和人类活动的时空响应,初步评估了这一物种的栖息地需求,并利用遥感数据对小灵猫分布区的环境变化进行了评价,以期填补小灵猫在城市里的行为及栖息地方面的空白,为城市生物多样性的保护和管理提供科学支持。

① 上海市野生动植物保护管理站 (2011) 2011年上海市野生动物监测与管理调查报告。

1 研究区域概况

上海市地处长江口冲积平原, 地势平坦, 平均海拔约4 m。本区属亚热带季风性气候, 四季分明, 年平均气温17.6℃, 年降水量1,173.4 mm。新江湾区域(121°29′–121°31′ E, 31°20′–31°18′ N) (图1)位于上海市杨浦区西北部, 占地约9.53 km², 曾建设有江湾机场, 1989年机场废弃后该区域少有人为干扰, 逐渐演替出大面积的林灌丛生境, 物种组成丰富(金杏宝等, 2004)。随着2003年该区域开始新一轮的城市开发与建设, 周边自然生境逐渐被人造地表替代, 仅江湾生态走廊附近尚存相对连贯的绿地。

2 研究方法

2.1 红外相机监测

2020年6月至2021年10月, 根据植被密度、人类活动情况、水源、动物痕迹及林下实际情况, 结合现场调查走访, 共在新江湾区域25个位点布设红外相机, 取样区域涵盖了混交林、河岸、草地等代表性区域。实际布设中, 相机装置用不易被盗取的自锁钢丝绳捆绑, 固定在树干上距离地面20–60 cm处,

前方正对预期野生动物会出现的位置, 距离2–5 m(李勤等, 2014)。在开阔空间中, 红外相机对于类似小灵猫体型的目标物种探测距离约15–20 m, 参数设置为触发连拍3张照片后拍摄一段20 s视频, 时间间隔为零, 灵敏度为中, 24 h连续监测, 监测期间每3个月更换一次电池并收集数据(李晟等, 2014)。

2.2 红外相机数据处理

按照红外相机位点建立对应文件夹, 整理相机记录的原始数据, 利用Bio-Photo V21软件导出表格, 删除空白照片, 对其余照片逐一进行物种识别, 记录物种类别、数量和独立探测事件(同一位点拍摄时间间隔超过30 min的物种探测)(肖治术等, 2014)。

2.3 遥感数据获取

从Google Earth获取覆盖研究区的分辨率为5 m的历史遥感影像(2000年), 在ArcGIS 10.7 (1995–2019 Esri, <http://www.esri.com>)中进行目视解译得到研究区域2000年的土地利用类型数据; 从OpenStreetMap下载上海市2020年路网、水系、土地利用数据, 通过ArcGIS 10.7的裁剪和重采样功能, 同时结合Google影像, 得到研究区域2020年土地利用类型数据。

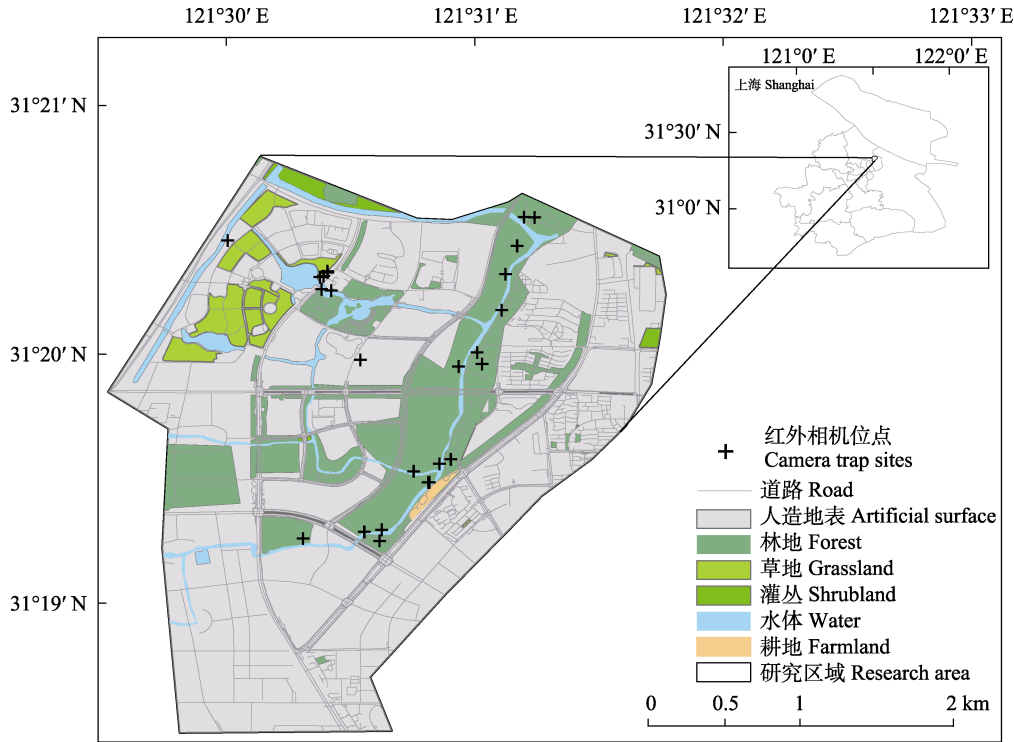


图1 上海杨浦区新江湾区域红外相机布设位点示意图
Fig. 1 Location of camera trap sites in the Xinjiangwan area, Yangpu District, Shanghai

2.4 数据处理

2.4.1 小灵猫个体识别

通过对比红外相机拍摄到的照片与视频, 识别小灵猫身体不同部位的斑点、花纹等特征并建立特征库, 进行个体识别。按照身体不同部位(头部、体侧、后肢、尾部)提取4个区域的特征, 个体特征库中关键指标包括: (1)体侧斑纹(清晰/浅淡/无); (2)尾部环纹(清晰/无); (3)尾基部的斑纹排列形状(间断/连续) (李治霖等, 2014; 史春妹等, 2021; Shi et al, 2022)。此外, 我们还通过参照物初步判断了小灵猫不同个体的体型大小, 以作为辅助参考。

对于每一次独立探测事件, 选择最清晰的1张或数张照片, 提取3个关键指标, 再将拍摄角度相近的照片一一进行比对(清晰度不足无法提取指标的照片归类为无法比较)。首先由团队中的两人分别给出“相同”或“不同”的判断, 再由第三人重新回看, 经由分析讨论, 个体识别结果达成一致(杨子诚等, 2018)。

2.4.2 小灵猫的时间活动特征

将小灵猫、流浪猫以及人类活动的探测时间转换为格林威治时间(GMT), 即平均太阳时间以消除时间差, 然后根据观测点的经纬度将太阳时间转换为真太阳时(Nouvellet et al, 2012)。使用核密度估计法(kernel density estimation, KDE), 根据探测记录, 在R 4.5.1中使用overlap包(Meredith & Ridout, 2021)生成物种日活动曲线, 评估物种的昼夜活动节律, 识别活动高峰, 并分别计算小灵猫与流浪猫、人类活动的时间重叠度指数(overlapping coefficient, Δ) (Ridout & Linkie, 2009)。

在此基础上, 利用回避-吸引指数(avoidance-

attraction ratios, AAR)指标评价两物种在时间上是否存在回避、吸引等关系(Parsons et al, 2016)。本研究使用红外相机探测到的小灵猫和同一位点的流浪猫数据, 生成流浪猫和小灵猫的出现时间序列, 计算AAR:

$$AAR = T2 / T1 \quad (1)$$

其中, T2代表没有流浪猫出现时, 小灵猫两次出现之间的时间间隔, T1代表有流浪猫出现时, 小灵猫两次出现之间的时间间隔(图2)。AAR可以衡量流浪猫通过前后小灵猫的活动是否会受到影响, 显示小灵猫和流浪猫之间是否存在复杂的回避、吸引关系。当AAR > 1时表明两个物种之间存在非随机的时间关系(Parsons et al, 2016)。

2.4.3 小灵猫的空间分布特征

计算每个位点人类、流浪猫、鸟类的相对多度指数(relative abundance index, RAI):

$$RAI = T / N \times 100 \quad (2)$$

其中, T表示研究对象在该位点相机总工作日内的独立探测数, N表示相机工作日总天数(Bengsen et al, 2011)。

将相机位点分为探测到小灵猫和未探测到小灵猫两组, 首先采用Kolmogorov-Smirnov Z-test检验两组间的人类RAI、流浪猫RAI、鸟类RAI数据的正态性, 不符合正态分布的数据先进行转换使其符合正态分布, 再采用独立样本t检验来检验两组间的人类RAI、流浪猫RAI、鸟类RAI是否有显著性差异, 以此初步分析小灵猫的出现位点特征。

2.4.4 小灵猫的栖息地景观格局变化

通过ArcGIS 10.7重分类功能将土地利用类型分为绿地(林地、灌丛、草地)、水体(水体、海域)、

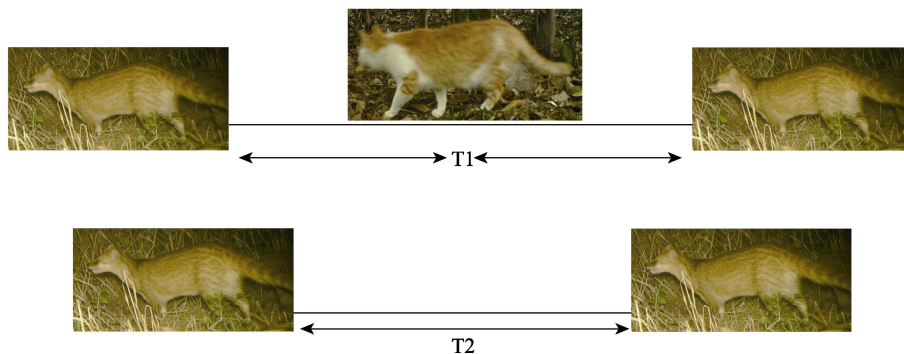


图2 小灵猫和流浪猫之间的时间响应模型图

Fig. 2 Avoidance-attraction ratio model between small Indian civet and stray cat

人造地表和耕地4大类, 分别将研究区域2000年和2020年的土地利用栅格数据导入Fragstats 4.2.1 (www.umass.edu/landeco/research/fragstats), 计算斑块面积(CA)、斑块个数(NA)、斑块面积比(PLAND)、平均斑块大小(AREA_MN)、景观类型连接度(CONNECT) 5个景观指数, 评价研究区域景观类型从2000年到2020年的变化。

3 结果

3.1 红外相机调查结果

2020年6月至2021年10月, 累计在新江湾区域调查了25个位点, 红外相机总有效工作日1,581 d。其中共在9个位点拍摄到小灵猫照片213张、视频70段, 独立探测事件为65次。探测到小灵猫的9个位点分布在江湾生态走廊的中部和南部区域以及复旦大学江湾校区, 在临近的新江湾城公园、图书馆、滑板公园、小区周边绿地等区域未探测到小灵猫活动(图1)。

除小灵猫外, 这些位点大量记录到流浪猫、人类以及鸟类活动。共在23个位点拍摄到流浪猫照片2,910张、视频937段, 独立探测事件为692次; 在23个位点拍摄到鸟类照片9,789张、视频3,219段, 独立探测事件为2,087次; 在24个位点拍摄到人类活动照片6,784张、视频2,255段, 独立探测事件为749次。在探测到小灵猫的9个位点中, 有8个均拍摄到流浪猫、人类和鸟类(附录1)。

3.2 个体识别结果

共识别出5只小灵猫个体, 分别在体侧斑纹、尾部环纹以及尾基部的斑纹排列形状上有明显区别(图3, 表1)。5只个体中, 个体4和个体5体型明显小于其余3个个体。此外, 因照片角度、清晰度等限制, 尚有部分未知个体难以进行个体识别。

3.3 小灵猫的活动节律

研究区域小灵猫的活动时间均为夜间, 呈现严格的夜行性, 夜间活动节律呈双峰型分布, 活动高峰分别出现在夜间21:00和凌晨02:00前后, 持续时间约2 h, 日间活动强度为零。整体而言, 小灵猫在夜间20:00至凌晨5:00间保持着相对较高的活动强度, 日出以后未记录到任何活动。其中小灵猫与人类活动的时间重叠指数为0.15 (图4a), 与流浪猫的时间重叠指数为0.66 (图4b)。

小灵猫-野猫-小灵猫的回避-吸引指数为 9.94 ± 7.84 , 显著大于1 ($P < 0.05$), 显示当流浪猫出现后, 小灵猫再次出现在相同区域的间隔时间显著增加。

表1 小灵猫个体特征表

Table 1 Individual characteristics of small Indian civets

编号 No.	体侧斑纹 Side spots	尾部环纹 Tail stripe	尾基部的斑纹排列形状 Spots on buttock
1	无 None	明显 Clear	无斑纹 No spot
2	浅淡 Light	明显 Clear	未知 Unknown
3	无 None	无 None	不明显 Unclear
4	明显 Clear	明显 Clear	斑纹间断 Discrete stripe
5	明显 Clear	明显 Clear	斑纹连续 Continuous stripe



图3 小灵猫个体识别图(红框展示的是尾基部的间断和连续斑纹排列)

Fig. 3 Individual identification of small Indian civets (red box indicates discrete and continuous stripes)

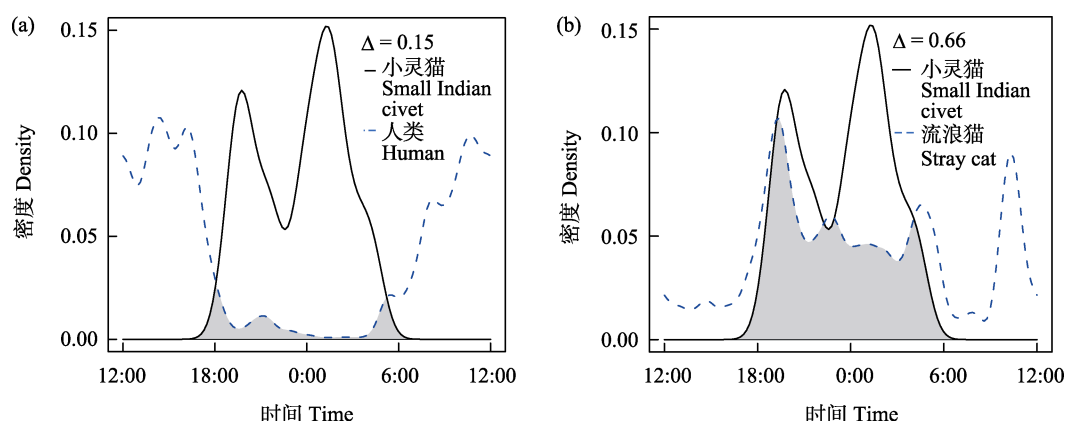


图4 小灵猫与人类(a)、流浪猫(b)日活动节律的关系

Fig. 4 Diel activity pattern of small Indian civet, human (a) and stray cat (b)

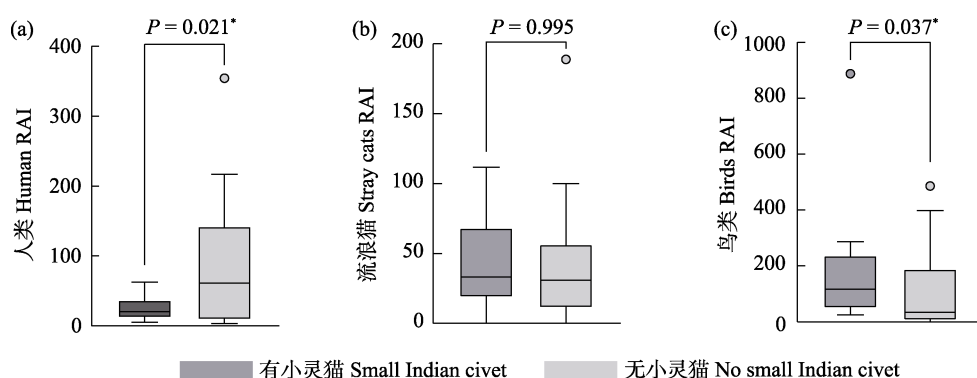


图5 小灵猫分布与人类活动(a)、流浪猫(b)、鸟类(c)相对多度指数(RAI)之间的关系。* $P < 0.05$ 。

Fig. 5 Relationship between the distribution of small Indian civet and human (a), stray cat (b), and bird (c) relative abundance index (RAI). * $P < 0.05$.

3.4 小灵猫的空间分布

探测到小灵猫的9个位点的人类RAI为 24.91 ± 17.95 , 显著低于未探测到小灵猫的16个位点(RAI = 84.59 ± 95.81) ($t = -2.539$, $P = 0.021$)。

探测到小灵猫的位点的流浪猫RAI为 44.17 ± 32.54 , 未探测到小灵猫的位点的流浪猫RAI为 44.29 ± 35.58 , 二者无显著差异($t = -0.007$, $P = 0.995$)。

探测到小灵猫的位点的鸟类RAI为 206.82 ± 253.03 , 显著高于未探测到小灵猫的位点(RAI = 149.52 ± 146.30) ($t = 2.214$, $P = 0.037$) (图5)。

3.5 栖息地评价

近20年间新江湾区域的景观类型变化总体表现为绿地和耕地面积减少, 进而转换为人造地表。具体而言, 绿地(森林、草地和灌木)面积由390.84 ha 缩小至215.21 ha, 面积占比由41.03%减少至

22.59%。除整体绿地面积减小外, 残存绿地斑块数量由6个增加至42个, 导致平均斑块面积显著减小, 连接性指数由91.5降为23.45, 表明破碎化程度增加, 仅在江湾生态走廊沿岸地区尚存大面积连续的绿地(表2)。

4 讨论

本文首次对城市环境下的野生小灵猫种群开展调查, 初步探明在上海市新江湾区域存在一个至少包含5只小灵猫个体的极小种群, 其活动节律呈现严格夜行性, 并对人类活动和流浪猫呈现出显著的回避。在栖息地利用上, 小灵猫更多分布在人类干扰低的林下生境, 探测到小灵猫的位点鸟类相对多度较高且靠近水源。研究结果初步填补了野生小灵猫在城市环境的分布、活动节律和种间关系等方面信息, 随着后续更多工作的开展, 将为小灵猫未

表2 2000年与2020年上海市杨浦区新江湾区域景观指数
Table 2 Landscape indices of Xinjiangwan area, Yangpu District, Shanghai in 2000 and 2020

	绿地 Green space		人造地表 Artificial surface		水体 Water		耕地 Farmland		裸地 Barren	
	2000	2020	2000	2020	2000	2020	2000	2020	2000	2020
斑块面积 Patch area (ha)	390.84	215.21	453.60	715.77	10.53	20.25	8.82	1.42	89.55	0
斑块面积占比 Percentage of patch area (%)	41.03	22.59	47.55	75.13	1.10	2.13	0.92	0.15	9.39	0
斑块个数 Number of patch	6	42	2	11	6	9	2	1	3	0
斑块平均面积 Mean patch area (ha)	65.14	5.16	226.8	65.07	1.76	2.25	4.41	1.42	29.85	0
连接度指数 Connect index	91.5	23.45	86.1	54.5455	33.33	36.11	0	0	83.3	0

绿地包含林地、草地、灌丛; 斑块面积占比表示各种类型地类占总面积的比例; 连接度指数是反映景观中斑块之间连接程度的指标。
Green space includes forest, grassland, and shrubland; The percentage of patch area represents the proportion of different land types to the total area; Connect index reflects the degree of connectivity between patches in the landscape.

来的保护和管理提供科学支持。

以往研究表明, 中型捕食者在栖息地和资源利用上与顶级捕食者和竞争者产生空间和时间的分化, 是其降低生存风险的一种有效策略(Valeix et al, 2009)。本研究发现小灵猫的活动节律呈现严格夜行性, 与人类活动时间重叠指数较低, 探测到小灵猫的位点也大多是距离步道较远区域自然演替形成的次生林和灌丛生境, 表明小灵猫对人类活动的干扰存在显著回避。本研究中, 被纵横交错的步道所分隔的部分城市绿地斑块尽管面积较大, 但因为居民活动频繁, 小灵猫反而会回避在该区域活动(Watchorn et al, 2022)。同时, 小灵猫和流浪猫的活动习性以及食物需求可能存在部分重叠(图4b, 图5c), 导致二者之间可能存在空间和资源上的竞争关系。小灵猫和流浪猫的回避-吸引指数结果显示, 当流浪猫出现后小灵猫再次出现在相同区域的间隔时间会显著增加, 这说明小灵猫对流浪猫的活动存在时间上的回避, 活动节律曲线也显示小灵猫的活动高峰与流浪猫的活动高峰并不重叠, 这种在时间上的分化可能是减弱二者间竞争的方式之一。

近年来由于城市化进程对野生动物栖息地的挤压, 大中型野生动物进入到城市与人共存的情形越来越常见(郝辉等, 2009; Zari, 2018; Conejero et al, 2019)。本研究中稳定探测到小灵猫的位点均分布在新江湾区域靠近水域的林灌丛生境中。一方面林灌丛生境为小灵猫的活动提供了绝佳的隐蔽场所, 另一方面该生境中大量分布的鸟类、青蛙以及蜥蜴等小型脊椎动物能为小灵猫提供丰富的食物来源(Mudappa et al, 2007)。因为目前阶段的数据限制, 本文使用鸟类RAI作为栖息地食物组成的简单指标,


未对研究区域中小灵猫的潜在食物(两栖动物、昆虫等)进行调查, 这一数据缺失将在后续调查中加以补充。城市绿地中鸟类的多度往往与林下郁闭度、水源距离、昆虫和两栖动物丰富程度相关(Fillooy et al, 2019; Villaseñor & Escobar, 2019), 因此是否探测到小灵猫的两组位点间鸟类RAI的显著差异, 仍能在一定程度上反映出小灵猫的栖息地利用特征。结合景观分析结果, 新江湾区域北部与黄浦江相邻, 但周边区域已随着城市开发逐渐转变为小灵猫难以生存的硬化地表和人造景观, 高楼林立的周边环境不利于小灵猫的迁移扩散。因此, 新江湾区域作为小灵猫在上海城市环境现存唯一的已知栖息地斑块, 具有重要的研究和保护价值(Aronson et al, 2017)。为保护城市环境之中的国家一级重点保护野生动物小灵猫, 在后续的新江湾区域的规划与改造过程中, 应当结合小灵猫本身的生物学习性, 尽量保留未经过多人为干预的林灌丛生境, 加强对城市流浪猫的管控与治理, 采用乡土物种营造近自然的植被环境, 为小灵猫及其他重点保护物种在城市生境中的长期维持创造条件(Li et al, 2020)。

本研究作为拟围绕小灵猫进行长期研究的前期工作, 周期较短、数据量有限, 旨在快速调查小灵猫在新江湾区域的分布情况, 填补相关空白, 也为今后的保护与研究工作提供数据基础。后续工作将扩大研究范围, 获取更长时间的监测数据, 系统地研究小灵猫对城市环境的响应机制, 评估上海市小灵猫的适宜栖息地和潜在栖息地, 并结合占域模型(occupancy model) (MacKenzie et al, 2004)、空间标记-重捕模型(spatially explicit capture-recapture, SECR) (Borchers & Efford, 2008)和DNA分子标记等

技术对上海市小灵猫的栖息地选择、种群密度和遗传结构进行研究, 以期为城市生物多样性保护长期政策的制定提供科学支持。

致谢: 本研究得到上海市林业总站及上海市杨浦区绿化和市容管理局的支持与指导, 野外红外相机的布设得到了复旦大学肖乐遥、李骥玄、臧少平、夏希昱、丁雨顺等同学的协助, 在此表示最诚挚的谢意!

ORCID

王怡涵  <https://orcid.org/0000-0002-0225-4915>
赵倩倩  <https://orcid.org/0000-0001-8546-8689>
刁奕欣  <https://orcid.org/0000-0002-6090-5683>
顾伯健  <https://orcid.org/0000-0002-6361-6246>
翁悦  <https://orcid.org/0000-0002-1926-700X>
张卓锦  <https://orcid.org/0000-0002-6481-8624>
陈泳滨  <https://orcid.org/0000-0001-8656-1287>
王放  <https://orcid.org/0000-0002-3922-5851>

参考文献

- Aronson MF, Lepczyk CA, Evans KL, Goddard MA, Lerman SB, MacIvor JS, Nilon CH, Vargo T (2017) Biodiversity in the city: Key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology & the Environment*, 15, 189–196.
- Altaf M (2017) First record of small Indian civet (*Viverricula indica*) from Azad Jammu and Kashmir Himalaya, Pakistan. *Journal of Wildlife and Ecology*, 1, 17–24.
- Bengsen AJ, Leung LK, Lapidge SJ, Gordon IJ (2011) Using a general index approach to analyze camera-trap abundance indices. *Journal of Wildlife Management*, 75, 1222–1227.
- Borchers DL, Efford M (2008) Spatially explicit maximum likelihood methods for capture-recapture studies. *Biometrics*, 64, 377–385.
- Chen L, Wei Q, Fu Q, Feng D (2021) Spatiotemporal evolution analysis of habitat quality under high-speed urbanization: A case study of urban core area of China Lin-Gang Free Trade Zone (2002–2019). *Land*, 10, 167.
- Chen MT, Tewes ME, Peil KJ, Lon IG (2009) Activity patterns and habitat use of sympatric small carnivores in southern Taiwan. *Mammalia*, 73(6), 20–26.
- Conejero C, Castillo-Contreras R, González-Crespo C, Serrano E, Mentaberre G, Lavín S, López-Olvera JR (2019) Past experiences drive citizen perception of wild boar in urban areas. *Mammalian Biology*, 96, 68–72.
- Cui YY, Xie ZG, Xu X, Chu KL, Jiang WZ, Pei EL, Yuan X, Xu HF (2013) Activity laws and feeding behavior of introduced badgers. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 41, 3407–3409. (in Chinese with English abstract) [崔勇勇, 谢志刚, 徐循, 褚可龙, 蒋文忠, 裴恩乐, 袁晓, 徐宏发 (2013) 引入狗獾活动规律和取食行为的研究. *安徽农业科学*, 41, 3407–3409.]
- Debata S, Swain KK (2018) Estimating mammalian diversity and relative abundance using camera traps in a tropical deciduous forest of Kuldiha Wildlife Sanctuary, Eastern India. *Mammal Study*, 43, 1–9.
- Dri GF, Fontana CS, Dambros CS (2021) Estimating the impacts of habitat loss induced by urbanization on bird local extinctions. *Biological Conservation*, 256, 109064.
- Filloy J, Zurita GA, Bellocq MI (2019) Bird diversity in urban ecosystems: The role of the biome and land use along urbanization gradients. *Ecosystems*, 22, 213–227.
- Gaynor KM, Hohnowski CE, Carter NH, Brashares JS (2018) The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science*, 360, 1232–1235.
- Hao H, Chu KL, Pei EL, Xu HF (2009) Activity patterns of badgers in suburbs of Shanghai. *Sichuan Journal of Zoology*, 28, 111–114. (in Chinese with English abstract) [郝辉, 褚可龙, 裴恩乐, 徐宏发 (2009) 上海郊区狗獾活动规律的初步研究. *四川动物*, 28, 111–114.]
- Huang CW, McDonald RI, Seto KC (2018) The importance of land governance for biodiversity conservation in an era of global urban expansion. *Landscape and Urban Planning*, 173, 44–50.
- Jiang ZG, Wu Y, Liu SY, Jiang XL, Zhou KY, Hu HJ (2021) China's Red List of Biodiversity: Vertebrates, Vol. 1, Mammals (I). 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(上册). 科学出版社, 北京.]
- Jin XB, Zhou BC, Qin XK, Cui ZX, Xia JH, Si Q, Liu MP (2004) The biodiversity of the derelict Jiangwan Airport in Shanghai. In: *Advances in Biodiversity Conservation and Research in China VI—Proceedings of the Sixth National Symposium on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in China* (ed. Ma KP), pp. 394–410. China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese with English abstract) [金杏宝, 周保春, 秦祥堃, 崔志兴, 夏建宏, 司强, 刘漫萍 (2004) 上海江湾机场的生物多样性. 见: 中国生物多样性编号与研究进展VI——第六届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集(马克平主编), 394–410页. 气象出版社, 北京.]
- Kabisch N, Selsam P, Kirsten T, Lausch A, Bumberger J (2019) A multi-sensor and multi-temporal remote sensing approach to detect land cover change dynamics in heterogeneous urban landscapes. *Ecological Indicators*, 99, 273–282.
- Kumbhojkar S, Yosef R, Kosicki JZ, Kwiatkowska PK, Tryjanowski P (2021) Dependence of the leopard *Panthera pardus fusca* in Jaipur, India, on domestic animals. *Oryx*, 55, 692–698.
- Li Y, Wan Y, Zhang Y, Gong Z, Li Z (2020) Understanding how free-ranging cats interact with humans: A case study in China with management implications. *Biological Conservation*, 249, 108690.
- Li Q, Wu JG, Kou XJ, Feng LM (2014) 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 (2014) 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, Wang DJ, Xiao ZS, Li XH, Wang TM, Feng LM, Wang Yun (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 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, 康霭黎, 郎建民, 薛延刚, 任毅, 朱志文, 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.]
- Liu Z, He C, Wu J (2016) The relationship between habitat loss and fragmentation during urbanization: An empirical evaluation from 16 world cities. PLoS ONE, 11, e0154613.
- MacKenzie DI, Bailey LL, Nichols JD (2004) Investigating species co-occurrence patterns when species are detected imperfectly. Journal of Animal Ecology, 73, 546–555.
- Meredith M, Ridout MS (2021) Overlap: Estimates of coefficient of overlapping for animal activity patterns. <https://cran.r-project.org/web/packages/overlap>. (accessed on 2022-07-03)
- Mudappa D, Noon BR, Kumar A, Chellam R (2007) Responses of small carnivores to rainforest fragmentation in the southern Western Ghats, India. Small Carnivore Conservation, 36, 18–26.
- Mukherjee F, Singh D (2020) Assessing land use–land cover change and its impact on land surface temperature using LANDSAT data: A comparison of two urban areas in India. Earth Systems and Environment, 4, 385–407.
- Nouvellet P, Rasmussen GSA, MacDonald DW, Courchamp F (2012) Noisy clocks and silent sunrises: Measurement methods of daily activity pattern. Journal of Zoology, 286, 179–184.
- Oriol-Cotterill A, Macdonald DW, Valeix M, Ekwanga S, Frank LG (2015) Spatiotemporal patterns of lion space use in a human-dominated landscape. Animal Behaviour, 101, 25–37.
- Parsons AW, Bland C, Forrester T, Baker Whatton MC, Schuttler SG, McShea WJ, Costello R, Kays R (2016) The ecological impact of humans and dogs on wildlife in protected areas in eastern North America. Biological Conservation, 203, 75–88.
- Piano E, Souffreau C, Merckx T, Baardsen LF, Backeljau T, Bonte D, Brans KI, Cours M, Dahirel M, Debortoli N, Decaestecker E, De Wolf K, Engelen JMT, Fontaneto D, Gianuca AT, Govaert L, Hanashiro FTT, Higuti J, Lens L, Martens K, Matheve H, Matthysen E, Pinseel E, Sablon R, Schön I, Stoks R, Van Doninck K, Van Dyck H, Vanormelingen P, Van Wichelen J, Vyverman W, De Meester L, Hendrickx F (2020) Urbanization drives cross-taxon declines in abundance and diversity at multiple spatial scales. Global Change Biology, 26, 1196–1211.
- 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.
- Shanghai Agriculture and Forestry Bureau (2004) Terrestrial Wildlife Resources in Shanghai. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. (in Chinese) [上海市农林局 (2004) 上海陆生野生动植物资源. 上海科学技术出版社, 上海.]
- Shi C, Xu J, Roberts NJ, Liu D, Jiang G (2023) Individual automatic detection and identification of big cats with the combination of different body parts. Integrative Zoology, 18, 157–168.
- Shi CM, Xie JJ, Gu JY, Liu D, Jiang GS (2021) Amur tiger individual automatic identification based on object detection. Acta Ecologica Sinica, 41, 4685–4693. (in Chinese with English abstract) [史春妹, 谢佳君, 顾佳音, 刘丹, 姜广顺 (2021) 基于目标检测的东北虎个体自动识别. 生态学报, 41, 4685–4693.]
- Stokeld D, Fisher A, Gentles T, Hill B, Triggs B, Woinarski JCZ, Gillespie GR (2018) What do predator diets tell us about mammal declines in Kakadu National Park? Wildlife Research, 45, 92–101.
- Valeix M, Fritz H, Loveridge AJ, Davidson Z, Jane E, Murindagomo F, MacDonald DW (2009) Does the risk of encountering lions influence African herbivore behaviour at waterholes? Behavioral Ecology and Sociobiology, 63, 1483–1494.
- Villaseñor NR, Escobar MA (2019) Cemeteries and biodiversity conservation in cities: How do landscape and patch-level attributes influence bird diversity in urban park cemeteries? Urban Ecosystems, 22, 1037–1046.
- Wan HY, Cushman SA, Ganey JL (2018) Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity of the Mexican spotted owl: A simulation study using empirical resistance models. Genes, 9, 403.
- Watchorn DJ, Cowan MA, Driscoll DA, Nimmo DG, Ashman KR, Garkaklis MJ, Wilson BA, Doherty TS (2022) Artificial habitat structures for animal conservation: Design and implementation, risks and opportunities. Frontiers in Ecology and the Environment, 20, 301–309.
- Wu T, Chu KL, Jiang WZ, Gu GL, Yuan X, Xu HF (2017) Setts habitat features of reintroduced *Meles meles* after Release. Sichuan Journal of Zoology, 36, 94–99. (in Chinese with English abstract) [吴彤, 褚可龙, 蒋文忠, 顾国林, 袁晓, 徐宏发 (2017) 重引入狗獾释放后定居巢的生境特征. 四川动物, 36, 94–99.]
- 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,

王怡涵等: 基于红外相机调查上海市区小灵猫的活动节律、栖息地利用及其对人类活动的响应

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.]

Yang ZC, Chen Y, Li JS, Wang LF, Piao Y, Song ZY, Shi K (2018) Individual identification and population size assessment for Asian elephant based on camera-trapping techniques. *Acta Theriologica Sinica*, 38, 18–27. (in Chinese with English abstract) [杨子诚, 陈颖, 李俊松, 王利繁, 飘优, 宋志勇, 时坤 (2018) 基于红外相机技术对亚洲象个

体识别和种群数量的评估. 兽类学报, 38, 18–27.]

Zari MP (2018) The importance of urban biodiversity—An ecosystem services approach. *Biodiversity International Journal*, 2, 357–360.

Zhou X, Chen H (2018) Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. *Science of the Total Environment*, 635, 1467–1476.

(责任编辑: 李晟 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 上海市杨浦区新江湾区域各红外相机位点小灵猫、流浪猫、鸟类和人类独立探测事件数

Appendix 1 Number of independent detection events of small Indian civets, stray cats, birds and human at each camera trap sites in the Xinjiangwan area, Yangpu District, Shanghai

<https://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2022294-1.pdf>

王怡涵, 赵倩倩, 刁奕欣, 顾伯健, 翁悦, 张卓锦, 陈泳滨, 王放 (2023) 基于红外相机调查上海市区小灵猫的活动节律、栖息地利用及其对人类活动的响应. 生物多样性, 31, 22294. <https://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2022294>.

附录1 上海市杨浦区新江湾区域各红外相机位点小灵猫、流浪猫、鸟类和人类独立探测事件数
Appendix 1 Number of independent detection events of small Indian civets, stray cats, birds and human at each camera trap sites in the Xinjiangwan area, Yangpu District, Shanghai

相机位点	Camera sites	小灵猫	Small Indian civet	流浪猫	Stray cat	鸟类	Bird	人类	Human
Site 1		1		48		434		58	
Site 2		2		16		14		17	
Site 3		3		28		34		30	
Site 4		23		67		112		3	
Site 5		17		71		23		22	
Site 6		13		13		136		12	
Site 7		3		57		191		16	
Site 8		3		9		302		7	
Site 9		1		0		34		5	
Site 10		0		12		201		4	
Site 11		0		6		3		3	
Site 12		0		1		33		28	
Site 13		0		2		5		39	
Site 14		0		36		15		32	
Site 15		0		0		2		30	
Site 16		0		36		175		78	
Site 17		0		23		0		85	
Site 18		0		16		191		29	
Site 19		0		68		53		55	
Site 20		0		83		11		92	
Site 21		0		54		16		29	
Site 22		0		35		17		71	
Site 23		0		6		83		3	
Site 24		0		2		2		1	
Site 25		0		3		0		0	