

DOI: 10.5846/stxb202004130878

王丞, 王亚强, 李海波, 冉伟, 杨朝辉, 樊涵, 张明明. 梵净山保护区食蟹獾(*Herpestes urva*) 栖息地选择与日活动节律. 生态学报, 2021, 41(4): 1603-1612.

Wang C, Wang Y Q, Li H B, Ran W, Yang Z H, Fan H, Zhang M M. Habitat selection and daily activity patterns of *Herpestes urva* in Fanjingshan National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(4): 1603-1612.

梵净山保护区食蟹獾(*Herpestes urva*) 栖息地选择与日活动节律

王 丞¹, 王亚强², 李海波², 冉 伟², 杨朝辉¹, 樊 涵¹, 张明明^{1,*}

¹ 贵州大学林学院, 贵州大学生物多样性与自然保护研究中心, 贵阳 550025

² 贵州梵净山国家级自然保护区管理局, 铜仁 554400

摘要: 野生动物栖息地选择与日活动节律是其长期生存适应的结果, 对物种生存繁衍具有重要意义。2017 年 4 月至 2019 年 7 月, 组在梵净山国家级自然保护区内布设了 41 台红外相机进行监测和研究。基于红外相机监测数据, 利用占域模型 (Occupancy model) 和核密度估计方法 (Kernel density estimation), 对食蟹獾 (*Herpestes urva*) 的栖息地选择和日活动节律进行了分析探讨。结果表明: (1) 食蟹獾在常绿落叶阔叶混交林出现频率最高, 在落叶阔叶林和针阔混交林出现频率最低, 并集中出现于中低海拔区域; (2) 在 8 种栖息地选择影响因素中, 具有重要影响的因子为针阔混交林、海拔、水源地和常绿阔叶落叶混交林 4 种。其中, 食蟹獾明显选择常绿阔叶落叶混交林 ($\beta = 1.79 \pm 1.19$ SE), 明显排斥针阔混交林 ($\beta = -1.93 \pm 1.30$ SE), 海拔高度、离水源地的距离与占用率呈明显负相关; (3) 日活动节律显示, 食蟹獾在雨季活动明显增多, 4—9 月的活动频次在全年活动中占比达 83.50%; (4) 食蟹獾为完全昼行性物种, 日活动时间分配较为平均, 在 9:00—10:00 和 13:00—14:00 活跃度低, 日活动高峰出现在 11:00—13:00。梵净山地区作为食蟹獾分布区的北端, 其典型的山地气候特征和植被类型与其他分布区存在显著差异, 并面临不同的捕食风险和不同程度的人为干扰, 食蟹獾对栖息地的选择方式和活动节律也出现了适应性的变化。

关键词: 食蟹獾; 栖息地选择; 活动节律; 红外相机; 梵净山保护区

Habitat selection and daily activity patterns of *Herpestes urva* in Fanjingshan National Nature Reserve

WANG Cheng¹, WANG Yaqiang², LI Haibo², RAN Wei², YANG Zhaozhui¹, FAN Han¹, ZHANG Mingming^{1,*}

¹ College of Forestry, Guizhou University, Research Center for Biodiversity and Nature Conservation of Guizhou University, Guiyang 550025, China

² Fanjingshan National Nature Reserve Administration, Tongren 554400, China

Abstract: Habitat selection and daily activity patterns, resulted from environment adaptation, are of great significance to the survival and reproduction of wild animals. From April 2017 to July 2019, our research team set up 41 infrared cameras in Fanjingshan National Nature Reserve for monitoring the wildlife in the area. Based on the data acquired from *Herpestes urva*, the habitat selection and daily activity patterns were analyzed and discussed by using the occupancy model and kernel density estimation method. The results showed that: (1) The appearance of *Herpestes urva* was concentrated in the low and middle altitude area with the highest frequency in the evergreen deciduous broad-leaved forest, and the lowest frequency in the deciduous broad-leaved forest and theopencedrymion. (2) Among 8 factors influencing habitat selection, altitude, water source, theopencedrymion, and evergreen deciduous broad-leaved forest are of great significance. *Herpestes urva*

基金项目: 生态环境部典型生态系统的生物多样性观测与评估项目 (2018-02-06-M2019-48); 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑[2019]2842 号); 黔科合平台人才[2018]5781-39 号

收稿日期: 2020-04-13; 网络出版日期: 2020-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mmzhang@gzu.edu.cn

prefers living in the evergreen deciduous broad-leaved forest ($\beta = 1.79 \pm 1.19$ SE), and obviously repels the *theropencedrymion* ($\beta = -1.93 \pm 1.30$ SE). Altitude and water source distance significantly negatively correlate to occupancy rate. (3) The annual activity patterns show that the activity of *Herpestes urva* significantly increased in rainy season, and the activity frequency from April to September accounted for 83.50% of the annual activity. (4) The *Herpestes urva* is a complete diurnal species. Its daily activity time is relatively equally distributed with the lows at 9:00—10:00 and 13:00—14:00, and the peaks at 11:00—13:00. As the northern part of the *Herpestes urva* distribution area, the climate and vegetation types of Fanjingshan area are significantly different from other distribution areas. *Herpestes urva* living in this area are faced with different predators and certain degree of human interference, which incurs adaptive changes to their habitat selection and daily activity patterns.

Key Words: *Herpestes urva*; habitats selection; activity patterns; camera trapping; Fanjingshan reserve

野生动物的栖息地选择是对多种环境因素(食物资源、生境条件、气候等)的非随机利用,以维持自身正常生命活动过程,是野生动物长期生存适应的结果,可直接影响到物种的生存力和适合度等^[1-2]。如在异质性环境中,野生动物往往会选择食物资源丰富的、可隐蔽的高质量生境^[3];当存在生态位相似的竞争物种时,处于竞争劣势者也会选择次优的生境,以减少竞争带来的生存风险^[4];同时,为躲避天敌,野生动物还会优先选择易于藏匿和发现捕食者的生境^[5]。另外,人类活动对自然生境造成的负面影响(如栖息地破碎和丧失、环境污染、气候变暖等)也极大地影响着野生动物的栖息选择,迫使物种迁移到环境资源条件较差的地区生存^[6-7]。可见野生动物在应对不同环境因素影响时,总是偏向于选择能提供满足自身生存、繁衍需求的适宜生境。日活动节律作为野生动物重要的生存策略之一,是对昼夜变化的一种综合性适应,也同样受到多种环境因素的影响^[8-9]。分布在不同地理环境条件(光、温度、水等)的同一种野生动物,日活动节律常表现出与之环境相适应的活动时间调整^[10];当存在竞争者、天敌或人类活动等外界生物因素干扰时,野生动物也会改变其活动规律,以降低或躲避潜在风险^[9,11]。因而,野生动物如何在适宜栖息地内合理安排活动时间,并将能量收支成本最优化,对其生存繁衍具有重要意义。

食蟹獾 *Herpestes urva*, 隶属于食肉目 Carnivora, 獾科 Herpestidae, 广泛分布于长江以南地区^[12], 在中国脊椎动物红色名录被列为近危物种^[13]。该物种依赖于河流沟谷周边的有林地生存, 主要以昆虫、两栖类等动物为食, 是评估溪流及其周遭森林生态环境的重要指示物种^[14]。传统研究中, 学者们通过对圈养群体的观测和野外痕迹调查, 对食蟹獾的生态习性进行调查研究^[15-16], 存在较高的人为干扰, 未能完全展示其自然状态下的生态行为。随着红外相机技术的发展, 对食蟹獾的野外种群生态研究也获得了进一步的认识^[17-19], 但其研究都集中在中国台湾、东南亚等低海拔亚热带雨林地区, 而对处于亚热带季风区的种群生态行为了解甚少。因此, 本研究基于红外相机监测技术, 对梵净山保护区的食蟹獾种群进行了调查研究, 以期了解其种群的栖息地选择和日活动节律等生态学信息以及主要影响因素, 为该物种的保护管理提供必要的科学理论依据。

1 研究地概况

梵净山国家级自然保护区(以下简称梵净山保护区)地处云贵高原向湘西丘陵过渡的斜坡地带, 是武陵山脉的主峰, 地理位置为北纬 27°49′50″—28°1′30″, 东经 108°45′55″—108°48′30″, 总面积 419.00 km²。该地区属于中亚热带季风湿润气候, 湿润多雨, 年平均气温 16℃, 年降水量 1300 mm, 降雨一般集中在 4—9 月(图 1)。保护区内相对高差高达 2000 m 以上, 沟谷切割较深, 海拔 500—2570 m, 构成了多样的高山峡谷地形^[20]。植被分布有明显的植被垂直分布带, 并交错分布, 主要植被类型有:(1)常绿落叶阔叶混交林, 主要分布于海拔 800—1800 m 范围内;(2)常绿阔叶林, 主要分布于海拔 1400 m 以下范围;(3)针阔混交林, 受人干扰较重, 有明显次生特点, 并主要镶嵌于海拔 1300 m 以下低山常绿阔叶林中;(4)落叶阔叶林, 严重的

人为干扰导致原有植被消失而出现新的次生植物群落,主要分布于海拔 1000—1800 m 范围内^[21]。此外,梵净山保护区作为联合国“人与生物圈保护区网”成员和重要世界自然遗产地,其独特的森林景观和悠久的佛教文化,吸引着大量的游客,在保护区周边公路可达的村落和观光区域存在较为密集的人类活动。

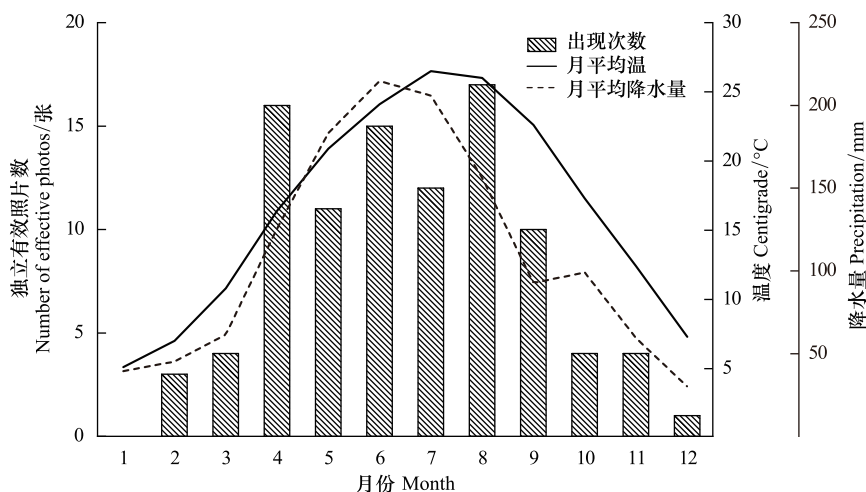


图1 梵净山保护区食蟹獾的年活动规律

Fig. 1 The annual activity patterns of *Herpestes urva* in Fanjingshan national nature reserve

气象数据来源于中国气象数据网 <https://data.cma.cn/>

2 研究方法

2.1 红外相机布设方案

本研究利用 ArcGIS 10.2 平台网格工具,将梵净山自然保护区全区以 1 km² 网格化,每网格预计布设 1 台红外相机。结合保护区内植被和河流水系的分布特点,本研究选择了 2 个监测样区,1 号样区布设 20 台,2 号样区布设 21 台,共计布设 41 台(图 2)。在实际安装过程中,考虑人为可达性与动物活动特点,则选择在野生动物活动痕迹和靠近水源的林间开阔地布设红外相机。

红外相机(猎科 LTL—6210MC)被固定于距地面 0.5—1.0 m 的树干上,镜头与地面尽量保持平行、避开阳光直射,并为了防止视野遮挡,合理清除周围倒木枯枝。同时记录监测位点的 GPS 位置、植被类型和海拔高度等地理、环境因子。参数设置为拍照模式,触发连拍 3 张,时间间隔 10 s,灵敏度为中。监测期间(2017.4—2019.7)每 4 个月更换一次,期间共收集数据和相机维护 7 次。

2.2 占域模型

占域模型(Occupancy model)是基于调查过程中目标物种的出现次数(出现记为“1”;未出现记为“0”),而形成的探测矩阵(如:01010)^[25]。继而结合多个调查地点的探测矩阵,采用最大似然函数原理,分析某个时期内目标物种的出现情况,获得目标物种在调查单元内的探测率(p)和占用率(ψ)^[26]。占用率作为模型的重要指示参数,表示某样点或斑块被目标物种占据的概率,即该物种在此栖息地中分布的比例。同时,模型可纳入环境因素,可对应获得环境影响协变量的 β 回归系数,以用来衡量协变量对占用率的影响程度以及栖息地的选择倾向^[27]。

为了解食蟹獾在梵净山的栖息地选择情况,本研究利用协变量对占用率的影响变化,构建了食蟹獾的单物种单季模型(Single-species occupancy model)。考虑到食蟹獾的年活动情况(图 1)和依赖水源的生态习性^[14],结合梵净山的气候特征^[28],建模时间选择在温热多雨的 5—8 月。而后统计建模时间内的出现概率,经模型拟合,本研究选择 15 d 作为一个采样周期,期间共采样 8 次。根据已有食蟹獾的生态研究^[17-18]和梵

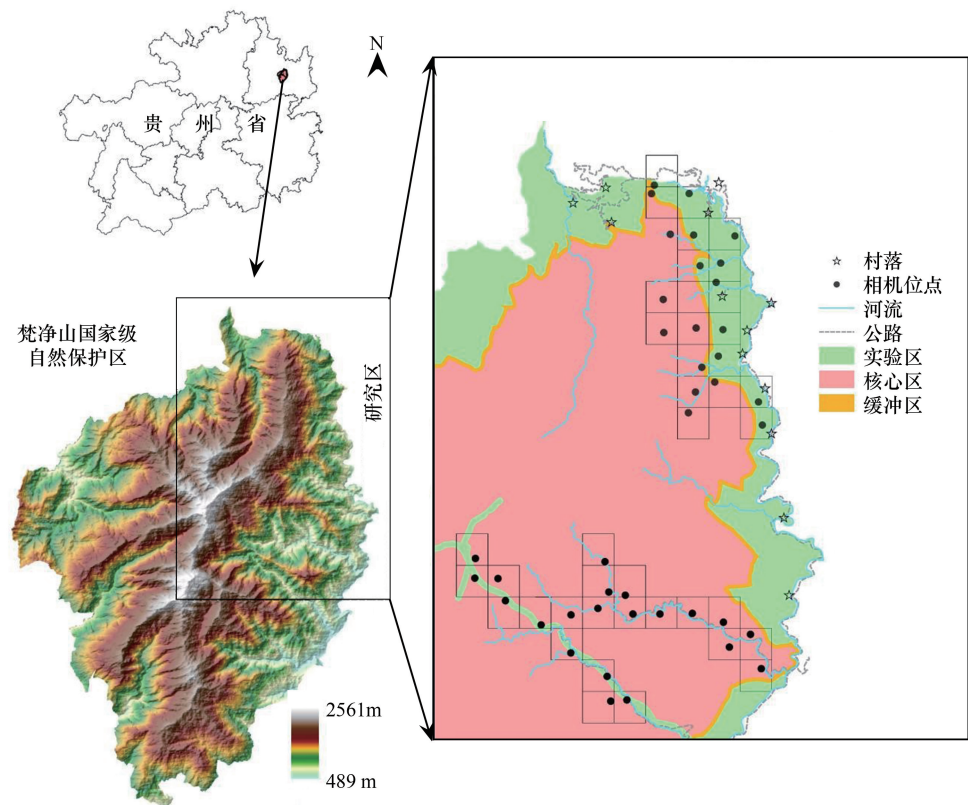


图2 梵净山国家级自然保护区红外相机布设方案

Fig. 2 The infrared camera locations in Fanjingshan National Nature Reserve

净山生境特征^[20]，本研究共选择了8个占用率协变量(表1)，以了解对食蟹獾的栖息地选择具有重要影响的因素有哪些。建模之前，所有的连续变量进行Z—标准化，以压缩变量减少离散。模型的优劣根据 Akaike 信息准则(AIC)进行排序，AIC 值最低的为最优模型， $\Delta AIC < 2$ 为同等重要的等效模型，并比较所有协变量累加的等效模型，认为合计权重 >0.5 的协变量对食蟹獾栖息选择具有重要影响^[29-30]。数据处理采用 Presence 软件(www.usgs.gov/software/presence)。

表1 食蟹獾占用率的潜在影响因素

Table 1 Potential factors influencing the occupancy of *Herpestes urva*

协变量 Covariate	描述 Description	协变量类型 Covariate type
海拔 Elevation(EL)	相机安装点位的海拔高度(范围:700—2300 m)	连续变量
水源地 River resource (RR)	相机点位到最近水源距离	连续变量
坡度 Slope(SL)	基于地理空间云平台(www.gscloud.cn)30m 分辨率的 DEM 数据,获取到相机安装点位的实际坡度(8°—45°)	连续变量
人为干扰 Human disturbance(HD)	相机点位到暴露于人类活动区域的距离	连续变量
常绿落叶阔叶林 Evergreen deciduous broad-leaved forest(EBF)	常绿落叶阔叶林记为1,其他记为0	分类变量
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaf forest(EF)	常绿阔叶林记为1,其他记为0	分类变量
落叶阔叶林 Broadleaved deciduous forest(BF)	落叶阔叶林记为1,其他记为0	分类变量
针阔混交林 Theropencedrymion(TF)	针阔混交林记为1,其他记为0	分类变量

* 所有连续变量进行 Z—标准化处理

2.3 日活动节律

在回收的照片中,筛选出可识别的食蟹獾照片。为避免重复记录,将 30 min 内拍摄到的首张照片作为一次独立有效探测,并记为一次有效日活动时间^[22]。为了解食蟹獾的日活动节律,本研究采用核密度估计方法(Kernel density estimation),该方法是将物种的有效日活动时间固定在以 24 h 为周期的循环内,其中某时刻的有效活动事件是在连续循环时间分布中的随机取样,统计描述为物种在某个特定时间段被发现的概率^[23]。可视化后,生成横轴为时间,纵轴为该时间点上的活动概率曲面图,其中曲面图所构成的曲线下的面积积分值为 1。数据处理采用 R 软件 v3.2 的“overlap”包^[24]。

3 结果

3.1 食蟹獾的栖息地选择

2017 年 4 月至 2019 年 7 月监测期间,累计有效监测相机工作日为 22382 天。在 41 个相机位点中,有 21 个位点记录到食蟹獾,共拍摄到 320 张食蟹獾照片,其中独立有效照片 97 张。食蟹獾在常绿阔叶阔叶混交林出现频率最高(0.71),落叶阔叶林和针阔混交林出现频率最低(0.05)(表 2),并集中出现在中低海拔段(图 3)。

表 2 食蟹獾在不同植被类型中的出现率

Table 2 Occurrence rate of *Herpestes urva* in different vegetation types

森林类型 Forest types	相机台数 Number of cameras	出现频率 Occurrence rate	森林类型 Forest types	相机台数 Number of cameras	出现频率 Occurrence rate
常绿阔叶阔叶混交林(EBF)	14	0.71	常绿阔叶林(EF)	14	0.19
落叶阔叶林(BF)	8	0.05	针阔混交林(TF)	5	0.05

* 出现频率是在不同森林类型中所获物种的独立有效照片占比

占域模型结果共获 29 个等效模型($\Delta AIC < 2$),其中 $\psi(EBF+TF+EL)$, $p(\cdot)$ 为最优模型(表 3)。在等效模型中,对食蟹獾的栖息选择具有重要影响的协变量有针阔混交林(TF)($\text{Sum}=0.69$)、海拔(HD)($\text{Sum}=0.57$)、水源(RR)($\text{Sum}=0.56$)、常绿阔叶落叶混交林(EBF)($\text{Sum}=0.55$)4 种(表 4)。

在植被类型选择中,食蟹獾明显倾向于选择在人为干扰较低的植被群落中栖息(图 4)。其中,食蟹獾明显不选择针阔混交林($\beta=-1.93 \pm 1.30 \text{ SE}$)和落叶阔叶林($\beta=-0.90 \pm 1.07 \text{ SE}$),尤其是人为干扰更为严重、存在明显次生性质的针阔混交林;选择以原生性植被组成的常绿阔叶阔叶混交林($\beta=1.79 \pm 1.19 \text{ SE}$)和常绿阔叶林($\beta=0.96 \pm 0.98 \text{ SE}$)。

在其他环境影响因素中,海拔高度、水源距离和坡度大小 3 种协变量对食蟹獾栖息选择都呈负相关(图 5)。与占用率关系表现为,在海拔 700—2300 m 范围内,占用率随着海拔的升高而降低;在距离水源 0—1200 m 范围内,占用率随距离的增加而降低;在 8—45°的坡度范围内,随着坡度增加占用率有所降低。而人为干扰距离对食蟹獾栖息选择,呈正相关,占用率随着远离人类活动区而增加。

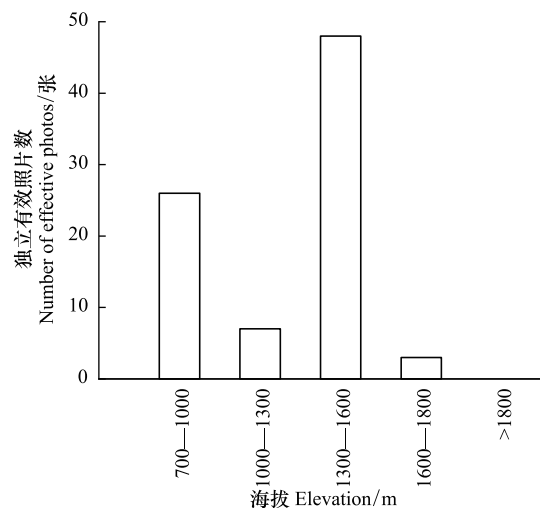


图 3 不同海拔下的食蟹獾出现次数

Fig. 3 Occurrences of *Herpestes urva* at different elevations

表 3 梵净山保护区食蟹獾的等效模型

Table 3 Equivalent model of *Herpestes urva* in Fanjingshan National Nature Reserve

模型 Model	ΔAIC	AIC wgt	No. Par	-2L
$\psi(\text{EBF}+\text{TF}+\text{EL}), p(\cdot)$	0	0.07	5	266.54
$\psi(\text{TF}+\text{RR}), p(\cdot)$	0.22	0.06	4	268.76
$\psi(\text{TF}+\text{RR}+\text{HD}), p(\cdot)$	0.35	0.06	5	266.89
$\psi(\text{EBF}+\text{EL}), p(\cdot)$	0.54	0.05	4	269.08
$\psi(\text{EBF}+\text{TF}+\text{RR}), p(\cdot)$	0.79	0.04	5	267.33
$\psi(\text{EBF}+\text{TF}+\text{EL}+\text{SL}), p(\cdot)$	0.8	0.04	6	265.34
$\psi(\text{EBF}+\text{RR}), p(\cdot)$	1.06	0.04	4	269.6
$\psi(\text{EBF}+\text{TF}+\text{RR}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.18	0.04	6	265.72
$\psi(\text{RR}+\text{HD}), p(\cdot)$	1.19	0.04	4	269.73
$\psi(\text{TF}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.25	0.04	4	269.79
$\psi(\text{TF}+\text{RR}+\text{HD}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.28	0.03	6	265.82
$\psi(\text{EBF}+\text{TF}+\text{HD}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.48	0.03	6	266.02
$\psi(\text{BF}+\text{TF}+\text{RR}), p(\cdot)$	1.51	0.03	5	268.05
$\psi(\text{EBF}+\text{EL}+\text{SL}), p(\cdot)$	1.55	0.03	5	268.09
$\psi(\text{TF}+\text{RR}+\text{SL}), p(\cdot)$	1.56	0.03	5	268.1
$\psi(\text{TF}+\text{HD}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.58	0.03	5	268.12
$\psi(\text{EBF}+\text{EF}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.58	0.03	5	268.12
$\psi(\text{TF}+\text{RR}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.65	0.03	5	268.19
$\psi(\text{EBF}+\text{EF}+\text{RR}), p(\cdot)$	1.68	0.03	5	268.22
$\psi(\text{RR}), p(\cdot)$	1.72	0.03	3	272.26
$\psi(\text{TF}+\text{RR}+\text{HD}+\text{SL}), p(\cdot)$	1.78	0.03	6	266.32
$\psi(\text{EBF}+\text{RR}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.85	0.03	5	268.39
$\psi(\text{EF}+\text{TF}+\text{RR}), p(\cdot)$	1.87	0.03	5	268.41
$\psi(\text{EBF}+\text{HD}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.91	0.03	5	268.45
$\psi(\text{EBF}+\text{TF}+\text{RR}+\text{HD}), p(\cdot)$	1.94	0.03	6	266.48
$\psi(\text{EBF}+\text{EF}+\text{TF}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.98	0.02	6	266.52
$\psi(\text{BF}+\text{EBF}+\text{EF}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.98	0.02	6	266.52
$\psi(\text{BF}+\text{EBF}+\text{TF}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.98	0.02	6	266.52
$\psi(\text{BF}+\text{EF}+\text{TF}+\text{EL}), p(\cdot)$	1.98	0.02	6	266.52

ΔAIC : 各模型与最佳模型之间 AIC 值的差异 Difference in AIC values between each model and the best model; AIC wgt: AIC 模型权重 AIC model weight; No. Par: 参数个数 Number of parameters; -2L: 负似然对数的两倍 Twice the negative log-likelihood

表 4 等效模型的各协变量权重和

Table 4 Summed model weight of each covariates in the equivalent models

	落叶阔叶林 (BF)	常绿落叶阔叶 混交林(EBF)	常绿阔叶林 (EF)	针阔混交林 (TF)
合计权重 Summed weights(Sum)	0.10	0.55	0.15	0.69
	水源(RR)	人为干扰(HD)	海拔(EL)	坡度(SL)
合计权重 Summed weights(Sum)	0.56	0.27	0.57	0.13

3.2 食蟹獾的活动节律

年活动情况显示(图 1), 4 月进入雨季后, 随着降水量的增多和温度的升高, 食蟹獾活动明显增多, 在 4—9 月活动频次达到最高, 占比达全部出现次数的 83.50%。当 9 月入秋, 随着降水量减少和温度的降低, 食蟹獾活动明显减少, 并在最冷月(1 月)未探测到食蟹獾的活动情况。

核密度曲面积分结果表明, 食蟹獾 95% 日活动时间落在 6:00—18:00 时段内, 属于完全昼行性物种

(图 6),日活动节律呈梯形。一天中从日出开始活动,日活动逐渐增强,记录到最早活动时间为 6:03;日活动低谷时段出现在 9:00—10:00 和 13:00—14:00;日活动高峰出现在 11:00—13:00;日落前活动迅速减弱,记录到最晚活动时间出现为 18:55。

4 讨论

在复杂多样的环境中,选择和利用特定的资源,是野生动物适应环境的一种生态行为。梵净山保护区的食蟹獾对水源地表现明显的依赖性,其占用率与水源地距离呈明显负相关(图 4;图 5),与其他地区相关研究结果类似^[17-18]。水源的高度依赖与食蟹獾的觅食策略密切相关,该生境条件下生存的昆虫、两栖类和爬行类等动物是其主要食物来源^[14],并在长期进化适应过程中,其指间特化的半蹼也使得该物种在水生环境更易运动和捕食。在高差较大的梵净山山地,受东南亚海洋季风影响,常年温润多雨(图 1),低地峡谷带

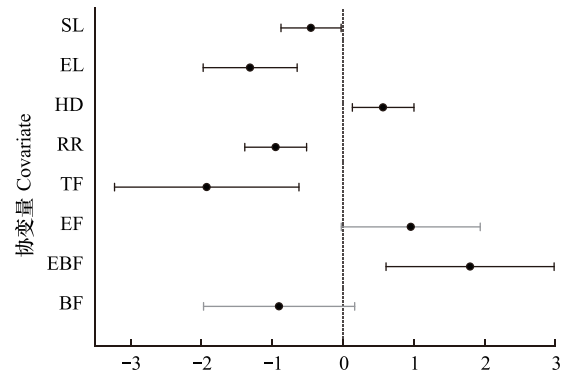


图 4 食蟹獾等效模型的变量 β 系数

Fig.4 Variable β coefficient of equivalent model for *Herpestes urva*

SE 没越过 0 表示相关显著(黑色误差线),SE 越过 0 表示相关不显著(灰色误差线);SL: 坡度;EL: 海拔;HD: 人为干扰;RR: 水源地;TF: 针阔混交林;EF: 常绿阔叶林;EBF: 常绿落叶阔叶林;BF: 落叶阔叶林

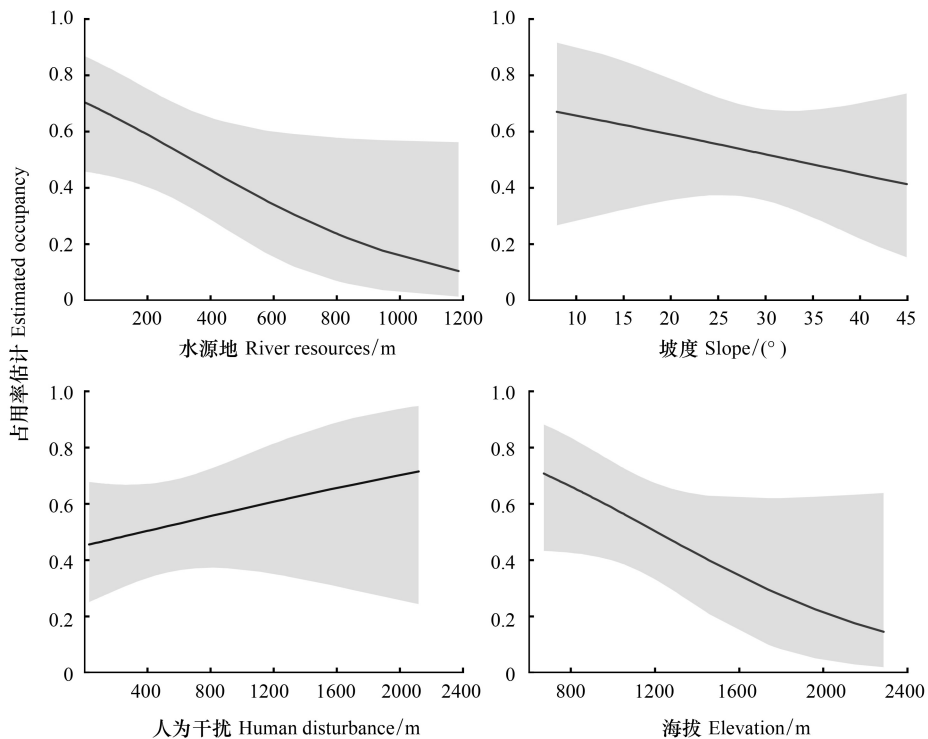


图 5 食蟹獾栖息地选择概率与协变量的关系

Fig.5 Correlations between *Herpestes urva* estimated habitat use probability and covariates of River resources, slope, Human disturbance, Elevation

汇集了众多的溪沟、河流,环境条件更温润高湿^[20],可极大的满足食蟹獾的水环境需求。因而,食蟹獾表现明显的低海拔的栖息偏好,占用率与海拔呈明显负相关。但由于对人类活动的排斥以及保护区周边低海拔地区又临近人类活动地带,食蟹獾则主要栖息于远离人类活动的海拔 1300—1600 m 范围(图 3)。在植被类

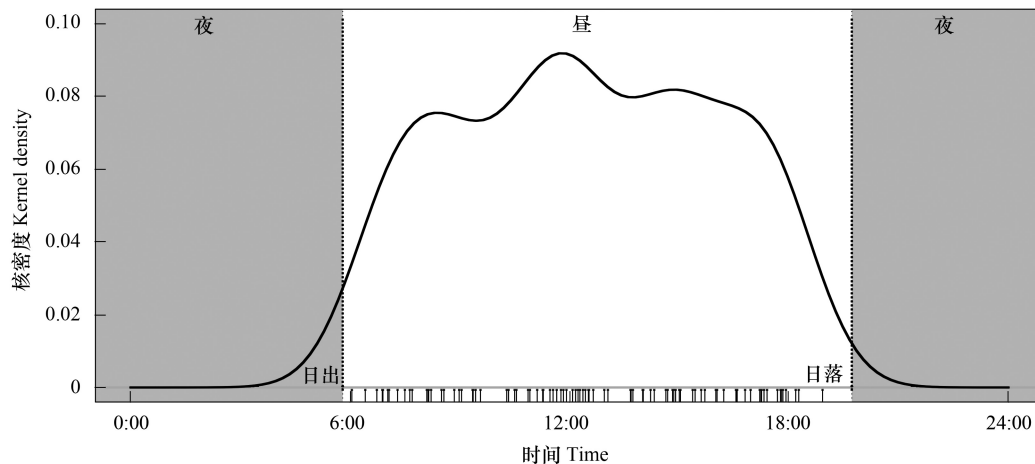


图6 梵净山保护区食蟹獾的日活动节律

Fig. 6 The Daily activity patterns of *Herpestes urva* in Fanjingshan national nature reserve

型的选择上,食蟹獾同样表现出类似的远离人类的栖息选择方式,其明显倾向于选择原生性的常绿落叶阔叶混交林,明显排斥存在人类活动干扰影响、具有明显次生性质的针阔混交林(图4),并相较于以杉木(*Cyclobalanopsis argyrotricha*)林、马尾松(*Pinus massoniana*)林等组成简单、树种单一的针阔混交林,以亮叶水青冈(*Fagus lucida*)林、贵州青冈(*Cyclobalanopsis argyrotricha*)林等组成复杂、树种丰富的常绿落叶阔叶混交林则拥有更高的生物量及生物多样性^[20-21],可为食蟹獾提供丰富的食物资源。另外,前期红外相机监测结果显示^[31],该区域内仅发现一种大型食肉动物—亚洲黑熊(*Ursus thibetanus*),但它是以植物为主食的杂食性动物^[32],不存在直接利益关系,对食蟹獾的栖息选择潜在威胁较低。综上可见,梵净山保护区的食蟹獾选择低海拔、近水源、远离人居的常绿落叶阔叶林中栖息,是其对生存利益与风险之间进行权衡的长期生存适应结果。

日活动节律是动物长期适应温度、光照等自然条件的结果,对了解动物行为生态极其重要。过去通过人为观测调查认为食蟹獾主要在晨昏时段活动^[15],但本研究发现梵净山保护区栖息的食蟹獾在午间活动更为活跃。中国台湾多地区的研究表明,不同温湿、人为干扰等外在环境条件下食蟹獾的日活动节律变化明显,存在两种不同的日活动时间分配模式,并主要表现在午间活动的活跃程度不同^[17-19]。在人为干扰频繁的低地次生林(海拔<500 m),食蟹獾日活动节律减少了午间活动,明显以晨昏活动为主;而在极少存在人类活动的原生林山地(海拔130—3100 m),食蟹獾的日活动时间分配与本研究相似,其活动时间分配更为均衡,增加了午间活动强度。Aronson 等人认为动物的日活动节律差异是面对可预测环境变化的普遍适应,并选择合适的活动时间应对特定的变化^[33]。如在干旱平原地区,红额狐猴(*Eulemur rufifrons*)对水源地的使用时间与马岛长尾狸猫(*Cryptoprocta ferox*)和马岛鬣鹰(*Polyboroides radiatus*)出现明显的错峰活动特征,原因在于马岛长尾狸猫与马岛鬣鹰对其存在直接捕食威胁^[34];在人类活动频繁地区,受人为活动影响,食肉动物昼间活动也会明显减少^[35]。而梵净山保护区的食蟹獾,面对主要捕食者的缺失,并选择远离人类活动区域栖息,增加了其活动时间的宽度,可将日活动时间合理、高效的分配,以维持自身正常代谢和应对环境的固有变化,有效地保证其生存繁衍。

使用红外相机手段对野生动物的日活动节律开展研究存在一定局限性,无法对某一群体或个体进行实时连续跟踪监测,缺失物种的动态行为过程^[36]。但该方法在数据采集方面具有无损伤、低影响、高连续性等优点,对量化野生动物自然状态下的活动行为与活动节律非常重要^[37]。另外,透过红外相机视角,研究获悉了食蟹獾的栖息偏好以及在温润多雨时期的栖息选择影响因素,但考虑到本地区的气候变化,其栖息选择方式可能会产生季节性的适应改变。如与之生态习性相似的红颊獾(*Herpestes javanicus*),面对旱季、雨季

的交替,其栖息选择和家域范围表现明显的季节性差异^[38]。梵净山地区作为食蟹獾分布区的北端,其典型的山地气候特征和植被类型与其他分布区存在显著差异,因而要了解食蟹獾在该地区的季节性栖息选择以及变化影响因素,还需进一步加深加大监测调查力度。

致谢:贵州梵净山国家级自然保护区管理局与黑湾河、冷家坝等管理站给予帮助;杨胜龙、夏德群等帮助野外调查,特此致谢。

参考文献(References):

- [1] Hutto R L. Habitat selection by nonbreeding, migratory land birds//Cody M L, ed. *Habitat Selection in Birds*. Florida: Academic Press Inc., 1985:455-476.
- [2] Block W M, Brennan L A. The habitat concept in ornithology: theory and applications//Power D M, ed. *Current Ornithology*. Boston: Springer, 1993:35-91.
- [3] Denny C K, Stenhouse G B, Nielsen S E. Scales of selection and perception: landscape heterogeneity of an important food resource influences habitat use by a large omnivore. *Wildlife Biology*, 2018, 2018(1), doi:10.2981/wlb.00409.
- [4] Stewart K M, Bowyer R T, Kie J G, Cimon N J, Johnson B K. Temporospatial distributions of elk, mule deer, and cattle: resource partitioning and competitive displacement. *Journal of Mammalogy*, 2002, 83(1):229-244.
- [5] Kamler J F, Ballard W B, Fish E B, Lemons P R, Mote K, Perchellet C C. Habitat use, home ranges, and survival of swift foxes in a fragmented landscape: conservation implications. *Journal of Mammalogy*, 2003, 84(3):989-995.
- [6] Kennedy-Slaney L, Bowman J, Walpole A A, Pond B A. Northward bound: the distribution of white-tailed deer in Ontario under a changing climate. *Wildlife Research*, 2018, 45(3):220-228.
- [7] Can Ö E, Yadav B P, Johnson P J, Ross J, D'Cruze N, Macdonald D W. Factors affecting the occurrence and activity of clouded leopards, common leopards and leopard cats in the Himalayas. *Biodiversity and Conservation*, 2020, 29(3):839-851.
- [8] Schoener T W. Resource partitioning in ecological communities. *Science*, 1974, 185(4145):27-39.
- [9] Kronfeld-Schor N, Dayan T. Partitioning of time as an ecological resource. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2003, 34:153-181.
- [10] 黄乘明, 周岐海, 李友邦. 黑叶猴的行为生态与保护生物学. 上海: 上海科学技术出版社, 2018.
- [11] Sovie A R, Greene D U, Frock C F, Potash A D, McCleery R A. Ephemeral temporal partitioning may facilitate coexistence in competing species. *Animal Behaviour*, 2019, 150:87-96.
- [12] 张荣祖. 中国哺乳动物分布. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [13] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹗, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华, 曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽. 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 2016, 24(5):501-551.
- [14] Chuang S A, Lee L L. Food habits of three carnivore species (*Viverricula indica*, *Herpestes urva*, and *Melogale moschata*) in Fushan Forest, northern Taiwan. *Journal of Zoology*, 1997, 243(1):71-79.
- [15] 陳順其. 食蟹獾(*Herpestes urva*)行为及生态之初步研究[D]. 台北: 国立台湾师范大学, 1988.
- [16] 黄美秀. 福山试验林食蟹獾(*Herpestes urva*)族群与资源利用之研究[D]. 台北: 国立台湾大学, 1995.
- [17] Chen M T, Tewes M E, Pei K J, Grassman Jr L I. Activity patterns and habitat use of sympatric small carnivores in southern Taiwan. *Mammalia*, 2009, 73(1):20-26.
- [18] Chiang P J, Pei K J C, Vaughan M R, Li C F. Niche relationships of carnivores in a Subtropical Primary Forest in Southern Taiwan. *Zoological Studies*, 2012, 51(4):500-511.
- [19] 胡正恒, 赵国容, 宋国彰. 多年自动相机调查: 比较南北台湾两处低地森林的食蟹獾行为. 中华林学季刊, 2018, 51(1):53-67.
- [20] 周政贤. 梵净山研究. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990.
- [21] 杨海龙, 李迪强, 朵海瑞, 马剑. 梵净山国家级自然保护区植被分布与黔金丝猴生境选择. 林业科学研究, 2010, 23(3):393-398.
- [22] O'Brien T G, Kinnaird M F, Wibisono H T. Crouching tigers, hidden prey: sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 2003, 6(2):131-139.
- [23] Ridout M S, Linkie M. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2009, 14(3):322-337.

- [24] Meredith M, Ridout M. Overlap: estimates of coefficient of overlapping for animal activity patterns. Version 0.3.3. [2017-07-20]. <http://CRAN.R-project.org/package=overlap>.
- [25] MacKenzie D I, Nichols J D, Lachman G B, Droege S, Royle J A, Langtimm C A. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 2002, 83(8):2248-2255.
- [26] MacKenzie D I, Bailey L. Assessing the fit of site—occupancy models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2004, 9(3):300-318.
- [27] MacKenzie D I, Nichols J D, Royle J A, Pollock K H, Bailey L L, Hines J E. *Occupancy Estimation and Modeling: inferring patterns and dynamics of species occurrence*. Burlington: Academic Press, 2006.
- [28] 谢仁波, 毛江, 白琴琴. 梵净山气候特点及旅游气候初步分析. *贵州气象*, 2015, 39(2):34-36.
- [29] Burnham K P, Anderson D R. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2002.
- [30] Barbieri M M, Berger J O. Optimal predictive model selection. *The Annals of Statistics*, 2004, 32(3):870-897.
- [31] 张明明, 杨朝晖, 王丞, 王娇娇, 胡灿实, 雷孝平, 石磊, 粟海军, 李佳琦. 贵州梵净山国家级自然保护区鸟兽红外相机监测. *生物多样性*, 2019, 27(7):813-818.
- [32] 王文, 马建章, 余辉亮, 胡立清. 小兴安岭地区黑熊的食性分析. *兽类学报*, 2008, 28(1):7-13.
- [33] Aronson B D, Bell-Pedersen D, Block G D, Bos N P A, Dunlap J C, Eskin A, Garceau N Y, Geusz M E, Johnson K A, Khalsa S B S, Koster-Van Hoffen G C, Koumenis C, Lee T M, LeSauter J, Lindgren K M, Liu Q Y, Loros J J, Michel S H, Mirmiran M, Moore R Y, Ruby N F, Silver R, Turek F W, Zatz M, Zucker I. Circadian rhythms. *Brain Research Reviews*, 1993, 18(3):315-333.
- [34] Amoroso C R, Kappeler P M, Claudia F, Nunn C L. Temporal patterns of waterhole use as a predator avoidance strategy. *Journal of Mammalogy*, 2020, 101(2):574-581.
- [35] Wang Y W, Allen M L, Wilmsers C C. Mesopredator spatial and temporal responses to large predators and human development in the Santa Cruz Mountains of California. *Biological Conservation*, 2015, 190:23-33.
- [36] 孙岳, 张雁云. 无线电遥测技术在动物学研究中的应用. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2009, 45(3):268-274.
- [37] Frey S, Fisher J T, Burton A C, Volpe J P. Investigating animal activity patterns and temporal niche partitioning using camera - trap data: challenges and opportunities. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2017, 3(3):123-132.
- [38] Quinn J H, Whisson D A. The effects of anthropogenic food on the spatial behaviour of small Indian mongooses (*Herpestes javanicus*) in a subtropical rainforest. *Journal of Zoology*, 2005, 267(4):339-350.