

基于红外相机数据的福建梅花山国家级自然保护区兽类多样性及时空生态位特征

舒怡¹ 傅文源² 罗红星³ 林开雄³ 张旭¹ 陈俊达¹
刘振生^{1,4} 滕丽微^{1,4*}

1 东北林业大学野生动物与自然保护地学院 哈尔滨 150040; 2 龙岩市地质公园保护发展中心 龙岩 364000;
3 福建省梅花山华南虎繁育研究所 上杭 354201; 4 国家林业和草原局野生动物保护学重点实验室 哈尔滨 150040

摘要: 为全面监测福建梅花山国家级自然保护区内兽类多样性, 并清晰阐明兽类群落时空生态位分化特征, 2014 年 1 月至 2024 年 8 月, 本研究利用 72 台红外相机开展监测, 累计有效工作 262 944 日, 获得独立有效事件 25 405 件。红外相机共记录到兽类 5 目 12 科 17 种。各物种相对多度指数 (I_{RA}) 由高至低依次为, 小鹿 (*Muntiacus reevesi*, $I_{RA} = 52.44$)、野猪 (*Sus scrofa*, $I_{RA} = 6.42$)、海南社鼠 (*Niviventer lotipes*, $I_{RA} = 4.19$)、猪獾 (*Arctonyx collaris*, $I_{RA} = 3.54$)、赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus*, $I_{RA} = 2.38$)、华南兔 (*Lepus sinensis*, $I_{RA} = 1.96$)、藏酋猴 (*Macaca thibetana*, $I_{RA} = 1.37$) 和食蟹獾 (*Herpestes urva*, $I_{RA} = 1.12$), 其余物种相对多度指数均小于 1.00。对 $I_{RA} \geq 1$ 的物种活动节律分析表明, 小鹿、猪獾、赤腹松鼠为间歇性活动物种, 野猪、藏酋猴、食蟹獾为偏昼行性物种, 海南社鼠为夜行性物种, 华南兔为偏夜行性物种。时空生态位重叠分析显示, 赤腹松鼠与海南社鼠时间生态位重叠指数较低 ($\Delta = 0.34$), 空间生态位重叠指数中等 ($I = 0.51$); 小鹿与野猪 ($\Delta = 0.85$, $I = 0.80$)、小鹿和猪獾 ($\Delta = 0.92$, $I = 0.69$)、野猪和猪獾 ($\Delta = 0.83$, $I = 0.71$) 均表现出高度时空生态位重叠; 华南兔与藏酋猴空间生态位重叠最低 ($I = 0.03$)。保护区兽类通过时间、空间或食性的差异化策略维持共存。研究为保护区野生兽类资源保护和管理提供基础数据, 并可为长期的生物多样性监测提供科学依据。

关键词: 福建梅花山国家级自然保护区; 兽类多样性; 红外相机; 生态位重叠

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2026) 03-349-16

Mammalian diversity and spatiotemporal niche characteristics in Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve based on camera-trapping data

SHU Yi¹ FU Wen-Yuan² LUO Hong-Xing³ LIN Kai-Xiong³ ZHANG Xu¹
CHEN Jun-Da¹ LIU Zhen-Sheng^{1,4} TENG Li-Wei^{1,4*}

基金项目 福建梅花山国家级自然保护区 2023 年能力建设项目;

* 通信作者, E-mail: tenglw1975@163.com;

第一作者介绍 舒怡, 女, 硕士研究生; 研究方向: 野生动植物保护与利用; E-mail: shuyi2020223910@163.com。

收稿日期: 2025-05-22, 修回日期: 2025-09-23 DOI: 10.13859/j.cjz.202625097 CSTR: 32109.14.cjz.202625097

1 College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin 150040; 2 Longyan Geopark Protection and Development Center, Longyan 364000; 3 Fujian Meihua Mountain South China Tiger Breeding Institute, Shanghang 354201; 4 Key Laboratory of Wildlife Conservation, National Forestry and Grassland Administration, Harbin 150040, China

Abstract: [Objectives] Biodiversity monitoring is a core method for assessing the health of ecosystems in nature reserves, while the characteristics of spatiotemporal niche differentiation serve as a key basis for analyzing the coexistence mechanisms of animal communities. Focusing on the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve, this study aims to grasp the current status of mammalian diversity in the reserve and clarify the laws of spatiotemporal niche differentiation of mammalian communities. **[Methods]** From January 2014 to August 2024, 72 camera traps were deployed across the reserve, covering core, buffer, and experimental zones, with elevations ranging from 800 to 1 800 m and vegetation types including evergreen broad-leaved forests, coniferous-broadleaved mixed forests, and bamboo forests (Fig. 1). The cameras operated continuously, with data collected every three months. Mammal species were identified and classified according to the *Illustrated Handbook of Mammals in China* (2005) and the 2024 edition of the Catalogue of Mammals in China. For data analysis: 1. The relative abundance index (I_{RA}) was calculated to evaluate species richness. Species with $I_{RA} \geq 1$ were defined as common species. 2. Diurnal activity rhythms were analyzed via three methods: kernel density estimation (via R packages *overlap* and *activity*) to generate activity curves, nocturnality index to classify activity patterns and rose histograms (via Oriana 4 software) to visualize cyclic activity data (Fig. 2). 3. Spatiotemporal niche characteristics were quantified: temporal niche overlap coefficient (Δ) and significance (via Wald test with 1 000 iterations) were calculated by R packages to assess differences in activity rhythms. Spatial niche breadth and overlap index (I) were computed through the Levins' niche analysis method via R package *spaa* to evaluate resource utilization strategies among species (Tables 2, 3). **[Results]** These cameras collectively accumulated 262 944 d of effective operation, during which they captured 25 405 independent and valid events. The infrared cameras recorded a total of 17 mammal species belonging to 12 families of 5 orders. The I_{RA} of the species followed a descending trend of *Muntiacus reevesi* ($I_{RA} = 52.44$), *Sus scrofa* ($I_{RA} = 6.42$), *Niviventer niviventer* ($I_{RA} = 4.19$), *Arctonyx collaris* ($I_{RA} = 3.54$), *Callosciurus erythraeus* ($I_{RA} = 2.38$), *Lepus sinensis* ($I_{RA} = 1.96$), *Macaca thibetana* ($I_{RA} = 1.37$), and *Herpestes urva* ($I_{RA} = 1.12$), and the other species showed the I_{RA} less than 1.00 (Table 1). The analysis of activity rhythms for common species ($I_{RA} \geq 1$) indicated that *Mu. reevesi*, *A. collaris*, and *C. erythraeus* were crepuscular with bimodal activity peaks (*Mu. reevesi* active at 06:00 ~ 08:00 and 16:00 ~ 18:00). *S. scrofa*, *Ma. thibetana*, and *H. urva* were diurnal with single daytime activity peaks. *N. lotipes* was strictly nocturnal ($\beta = 92.63\%$), while *L. sinensis* was nocturnal-leaning ($\beta = 86.36\%$) (Fig. 2). Spatiotemporal niche overlap analysis revealed that *C. erythraeus* and *N. lotipes* had low temporal niche overlap ($\Delta = 0.34$) and moderate spatial niche overlap ($I = 0.51$). *Mu. reevesi* and *S. scrofa* ($\Delta = 0.85$, $I = 0.80$), *Mu. reevesi* and *A. collaris* ($\Delta = 0.92$, $I = 0.69$), as well as *S. scrofa* and *A. collaris* ($\Delta = 0.83$, $I = 0.71$) all showed high spatiotemporal niche overlap. The spatial niche overlap between *L. sinensis* and *Ma. thibetana* was the lowest ($I = 0.03$) (Fig. 3, Table 2). **[Conclusion]** The 10-year monitoring reveals that mammals in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve maintain coexistence through differentiated strategies: temporal

partitioning (diurnal *C. erythraeus* vs. nocturnal *N. lotipes*), spatial separation (canopy-dwelling *Ma. thibetana* vs. ground-dwelling *L. sinensis*), and dietary differentiation (herbivorous *Mu. reevesi* vs. omnivorous *S. scrofa*). These findings provide basic data for the protection and management of wild mammal resources in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve and can offer a scientific basis for long-term biodiversity monitoring and evaluation. At the same time, they are used to explore the current status of spatiotemporal niche distribution patterns of mammals after the disappearance of *Panthera tigris* ssp. *amoyensis*.

Key words: Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve; Mammal diversity; Infrared camera; Niche overlap

生物多样性是生态系统健康运行和提供服务功能的根基，也是人类生存发展的基石，常作为衡量保护成效的关键指标（Ceballos et al. 2015, 韩博平等 2025）。作为生物多样性的核心组成部分，野生动物种群动态通过多样性、分布格局及群落构建等维度，直接反映生态系统健康状况，其监测数据可为保护成效评估提供关键依据，为制定科学的生物多样性保护方案提供支撑（肖梅等 2025）。要深入了解野生动物种群动态，研究其多样性及时空生态位特征至关重要，这类研究既能帮助研究者分析关键威胁因素，从而制定基于物种特性的保护管理方案（王晓宁 2020），又有助于揭示物种间的资源分配规律与共存机制，为理解群落构建和演化提供理论基础（斯煌凯 2023）。生态位理论作为解析物种共存机制的核心框架，其核心观点指出：高生态位重叠指数表明物种间资源利用策略趋同，竞争加剧，低生态位重叠指数则表明物种生态位分化明显，竞争压力较小（Lawlor 1980）；物种的空间资源利用能力，即物种在特定环境中对栖息地类型、垂直空间层次等空间资源的占据、利用与适应能力（Chase and Leibold 2009），可通过空间生态位宽度表征——高空间生态位宽度值指示强空间资源利用能力及广泛分布，低值则反映弱空间利用能力及狭窄分布（Kinds 1959）。通过结合生态位理论分析野生动物种群动态，可进一步阐释物种共存机制如何驱动群落结构稳定，进而完善生物多样性维持的理论框架。为

有效保护生物多样性，我国已建立以自然保护区为主体的生物多样性保护体系（王伟和李俊生 2021），其中福建梅花山国家级自然保护区作为华东地区重要生态屏障，其完整的森林生态系统为野生动物提供了理想栖息地，是开展相关研究和保护实践的理想区域（丘云兴 2003）。

相较于样线法、样点法、痕迹识别等传统调查方法，红外相机技术具有非干扰性、全天候监测、可验证性等显著优势，作为一种非侵入性的野生动物调查技术，已被广泛用于鸟兽物种多样性调查、野生动物活动节律和栖息地选择等研究领域（Caravaggi et al. 2020）。例如，钟平华等（2024）在江西永丰通过红外相机记录到 29 种鸟兽物种，如白颈长尾雉（*Syrnaticus ellioti*）、中华鬣羚（*Capricornis milneedwardsii*）、白鹇（*Lophura nycthemera*）等，并发现所有优势物种的活动节律在季节尺度上存在显著差异。同时红外相机技术的新物种发现能力已得到充分验证，如 Li 等（2015）在西藏墨脱野外调查时，通过红外相机记录到新灵长类物种——白颊猕猴（*Macaca leucogenys*）（Li et al. 2015）。近十年，红外相机技术更被广泛应用于探究野生动物种间关系，包括分析捕食者-猎物关系（贾晓东等 2014）与种间竞争（邹博研等 2021），同时也能为缓解人兽冲突的研究提供支持（Yang et al. 2021）。

福建梅花山国家级自然保护区生态系统完整、人为干扰少、生物多样性丰富，历史上为

华南虎(*Panthera tigris amoyensis*)原生分布区,但自 1986 年后无可可靠野外个体记录(Tilson et al. 2004)。保护区建区以来虽开展过植物、昆虫等本底资源调查,但鸟兽多样性的系统性研究仍较薄弱(陈巧尔等 2023)。传统调查方法(如样线法)对隐秘性较强的兽类监测效果有限,难以全面反映物种组成及时空分布格局。为此,2014 年 1 月至 8 月,本研究基于红外相机技术开展了保护区兽类多样性调查,旨在实现两个目标:(1)系统掌握兽类多样性现状,尤其补充传统方法难以记录的珍稀物种种群信息,如藏酋猴(*Macaca thibetana*);(2)量化优势种的活动节律及其种间分化特征,如小鹿(*Muntiacus reevesi*)和野猪(*Sus scrofa*)。研究成果将为评估保护成效和制定适应性管理策略提供科学依据。

1 研究区域概况

福建梅花山国家级自然保护区(25°15'14"~25°35'44" N, 116°45'25"~116°57'33" E)位于福建省西南部,是中亚热带与南亚热带气候带的交汇地带,地处武夷山脉南段东南麓与博平岭的夹峙之中,构成了玳瑁山脉的核心组成部分,位于上杭县、连城县和新罗区的交界地带,土地总面积为 22 168.5 hm²。海拔 375~1 811 m,其中,中山地形占据主导地位,占山地面积的 61.7%;低山面积占山地面积的 38.3%。年平均气温 13~18 °C,气候温和湿润,雨量充沛且光照条件优越。区内水系呈放射状分布,是福建三大主要水系闽江、汀江及九龙江的发源地之一。森林植被保存完好,植物种类丰富,植被覆盖率高,蕴藏着丰富的珍稀野生动植物资源,有 11 个植被类型 63 个植物群系,仅维管束植物记录 184 种 734 属 1 628 种。梅花山是我国特有虎亚种华南虎的原生分布区,保护区记录有野生动物 362 种,其中包括金钱豹(*Panthera pardus*)、云豹(*Neofelis nebulosa*)、金猫(*Catopuma temminckii*)等国家一级重点保护野生动物,豹猫(*Prionailurus*

bengalensis)、中华鬣羚、黄喉貂(*Martes flavigula*)等国家二级重点保护野生动物,是珍稀濒危物种的重要栖息地(蔡冰玲等 2007)。

2 研究方法

2.1 红外相机布设

2014 年 1 月至 8 月,在福建梅花山国家级自然保护区的核心保护区(核心区和缓冲区)和一般控制区(实验区)内布设 72 台红外相机监测兽类活动,其中,核心区 47 台(65.28%)、缓冲区 13 台(18.05%)、实验区 12 台(16.67%)。相机覆盖 800~1 800 m 海拔梯度,涵盖常绿阔叶林(45 台)、针阔混交林(18 台)和竹林(9 台)三种植被类型(图 1)。相机安放根据兽类活动痕迹和地形等情况确定,兼顾可实施性,尽可能将其安放在日常巡护中记录到兽类活动痕迹的地点。所采用的红外相机型号为猎科 Ltl6310,属于被动触发式类型,其安装距地面高度为 30~100 cm,确保相机周围拥有开阔的视野范围。各相机之间的距离至少维持在 200 m,以避免相互干扰。相机的拍摄模式被设

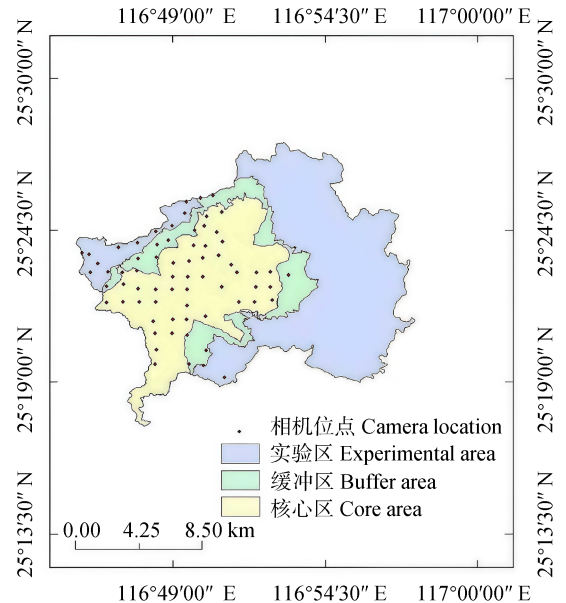


图 1 研究区内红外相机位点分布图

Fig. 1 Distribution map of camera traps in the study area

定为在动物触发后连续捕捉 3 张静态照片，随后录制一段 20 s 的视频。为确保数据的有效回收与设备的持续运行，每 3 个月对红外相机进行一次内存卡的更换及电池的更替操作。完成所有安装工作后，详细记录每台相机安装位置的地理坐标信息。监测期间共有 28 台相机出现设备故障或因人为干扰而失效，失效相机在每 3 个月的例行巡查中通过同生境类型替代点位补充相机监测。

2.2 兽类多样性分析

回收相机后，将内存卡中的数据导出，并详细记录所拍摄照片的序号、拍摄具体时间、兽类物种及其数量、性别以及当时的天气状况等信息。对于兽类物种的鉴别、归类及命名工作，参考《中国哺乳动物图鉴》（中国野生动物保护协会 2005）及中国兽类名录（2024 版）（魏辅文等 2025），濒危等级评估则依据 IUCN 受威胁物种红色名录（IUCN Red List 2024）的标准执行；而其保护等级的划分，参考《国家重点保护野生动物名录》（<http://www.forestry.gov.cn>）。

本研究将红外相机在野外持续运行 24 h 视为一个标准监测日。对于同一相机监测点位，若在 30 min 时间内多次记录到相同物种的影像资料（包括静态图像和动态视频），则视为 1 次独立有效事件。计算相对多度指数（relative abundance index, I_{RA} ）以评估保护区的兽类多样性现状（Liu et al. 2013）。 $I_{RA} = (A_i/N) 100$ ，式中， A_i 为 i 物种的独立有效事件数， N 为总独立有效事件数。参照斯幸峰和丁平（2014）的方法，将 $I_{RA} \geq 1$ 的物种定义为本研究的常见兽类物种，由于红外相机对大中型兽类和地栖性鸟类的监测效率较高，小型啮齿类动物监测效率较低，故 $I_{RA} \geq 1$ 的物种仅代表红外相机拍摄率较高的物种，而非绝对意义上的常见种。

2.3 时空生态位重叠分析

本研究选取常见兽类物种（ $I_{RA} \geq 1$ ），进行时空生态位重叠分析。

首先，本研究使用核密度估计方法、夜行

性指数和玫瑰直方图体现各物种的日活动节律（Kovach 2011）。其中，核密度估计方法利用 R 4.3.3 软件（R Core Team 2024）生成单物种的日活动节律曲线以评估物种的昼夜活动节律并识别活动高峰；夜行性指数（夜晚拍摄独立有效事件数的比例）来辅助描述物种活动节律属性（van Schaik and Griffiths 1996）。夜间时段定义：参考福建省龙岩市气象局发布的梅花山区域 2014 年至 2024 年日出日落数据，将“夜间”界定为“日落之后至日出之前的时段”，结合保护区纬度特征，全年夜间时段集中在 18:00 时至次日 06:00 时，且存在显著季节性差异，冬季（12 至 2 月）夜间平均时长 13 h（17:50 时至次日 06:50 时），夏季（6 至 8 月）平均时长 8 h（19:10 时至次日 05:10 时），春季（3 至 5 月）及秋季（9 至 11 月）平均时长 10~11 h（18:20 时至次日 06:20 时；18:40 时至次日 05:40 时）。夜行性指数公式为 $\beta = (D/N) 100\%$ ，式中， β 为夜行性指数， D 代表目标物种在夜间被记录到的独立有效事件数量， N 为该物种被监测到的全部独立有效事件总数。根据 β 值的不同区间，将研究对象划分为以下五类活动模式：昼行性（ $\beta \leq 10\%$ ）、偏昼行性（ $10\% < \beta \leq 30\%$ ）、间歇性（ $30\% < \beta \leq 70\%$ ）、偏夜行性（ $70\% < \beta \leq 90\%$ ）以及夜行性（ $\beta > 90\%$ ）活动。该分类标准已广泛应用于哺乳动物活动节律研究（van Schaik and Griffiths 1996，卢佳玉等 2024），其阈值设定基于大量实证研究的统计分布特征。

为了可视化物种的活动节律，使用 Oriana 4 软件绘制各物种活动节律玫瑰直方图。玫瑰直方图频次被应用于呈现循环性数据，能将 12 个时段的时间序列转换至一个圆周上，其中每个时段的活动频次由半径长度来体现。在此类图表中，各个扇形区块分别对应一个特定时间段，而扇形区域的面积大小则反映了该时段内的活动频次程度（Karanth et al. 2017）。

基于核密度估计方法分析常见兽类物种的时间生态位重叠关系情况，主要涉及 R 软件的

overlap 包 (Ridout and Linkie 2009) 和 activity 包 (Rowcliffe et al. 2014)。首先用 overlap 包的 densityPlot() 函数绘制单物种核密度曲线图。再用 overlap 包的 overlapEst() 函数计算时间生态位重叠指数 (Δ)，overlapplot() 函数绘制物种对核密度重叠曲线图。其中时间生态位重叠指数 (Δ) 的置信区间使用自助法进行 1 000 次迭代获得，定义 $\Delta < 0.5$ 为低度重叠， $0.5 \leq \Delta \leq 0.6$ 为中度重叠， $\Delta > 0.6$ 为高度重叠。后用 activity 包的 compareCkern() 函数基于 Wald 检验方法对同分布条件下的循环预测值开展概率显著性分析 (陈立军等 2019)。

本研究采用 Levins 生态位分析方法，基于调查区域内常见兽类种群丰度数据，运用 R 语言 spaa 包 (Zhang and Zhang 2013) 计算各物种的空间生态位宽度及其空间生态位重叠指数 (I)，首先用 spaa 包的 niche width() 函数计算各物种的空间生态位宽度，再用 spaa 包的 nob() 函数计算空间生态位重叠指数 (I)。空间生态位宽度值较高的物种通常具有更强的环境适应能力，且对特定环境因子的变化适应性强 (杨

杰青等 2022)。空间生态位重叠指数主要用来反映不同动物对空间和食物等生态资源的利用关联，其数值越大，表明物种间对空间资源的竞争越激烈，且这些物种出现的环境位点重合度越高 (侯朝伟等 2020，宋晨等 2022)。空间生态位重叠指数的取值范围为 [0，1]，根据 Pianka (1973) 评判标准， $I > 0.60$ 表明重叠度高， $0.30 \leq I \leq 0.60$ 表明重叠度一般， $I < 0.30$ 表明重叠度低。

3 结果

3.1 兽类物种多样性

经鉴定，本研究共计拍摄到兽类 17 种，隶属于 5 目 12 科，共计独立有效事件 25 405 件。兽类中，小鹿、野猪、海南社鼠 (*Niviventer lotipes*)、猪獾 (*Arctonyx collaris*)、赤腹松鼠 (*Callosciurus erythraeus*)、华南兔 (*Lepus sinensis*)、藏酋猴和食蟹獾 (*Herpestes urva*) 是相对多度指数较高的 8 种物种，依次为 52.44、6.42、4.19、3.54、2.38、1.96、1.37 和 1.12。豹猫仅记录到 1 个独立有效事件 (表 1)。

表 1 福建梅花山自然保护区红外相机监测到的兽类名录

Table 1 List of mammals detected by infrared cameras in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve

目、科 Order, family	种 Species	独立有效事件数 Number of independent events	相对多度指数 Relative abundance index	濒危等级 IUCN red list	保护级别 Protection category
灵长目 Primates					
猴科 Cercopithecidae	藏酋猴 <i>Macaca thibetana</i>	465	1.37	NT	II
兔形目 Lagomorpha					
兔科 Leporidae	华南兔 <i>Lepus sinensis</i>	667	1.96	LC	
啮齿目 Rodentia					
鼠科 Muridae	海南社鼠 <i>Niviventer lotipes</i>	1 424	4.19	LC	
豪猪科 Hystricidae	马来豪猪 <i>Hystrix brachyura</i>	32	0.09	LC	
松鼠科 Sciuridae	赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i>	807	2.38	LC	
	红背鼯鼠 <i>Petaurista petaurista</i>	54	0.16	LC	
	倭花鼠 <i>Tamias maritimus</i>	88	0.26	LC	
鲸偶蹄目 Cetartiodactyla					
猪科 Suidae	野猪 <i>Sus scrofa</i>	2 181	6.42	LC	
鹿科 Cervidae	小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	17 815	52.44	LC	
牛科 Bovidae	中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i>	97	0.29	VU	II

续表 1

目、科 Order, family	种 Species	独立有效事件数 Number of independent events	相对多度指数 Relative abundance index	濒危等级 IUCN red list	保护级别 Protection category
食肉目 Carnivora					
灵猫科 Viverridae	花面狸 <i>Paguma larvata</i>	27	0.08	LC	
獾科 Herpestidae	食蟹獾 <i>Herpestes urva</i>	379	1.12	LC	
鼬科 Mustelidae	黄腹鼬 <i>Mustela kathiah</i>	5	0.02	LC	
	猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	1 203	3.54	VU	
	鼬獾 <i>Melogale moschata</i>	158	0.47	LC	
	黄喉貂 <i>Martes flavigula</i>	2	0.01	LC	II
猫科 Felidae	豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	1	0.00	LC	II

保护级别：II 为国家二级重点保护野生动物；濒危等级：VU、NT、LC 分别为易危、近危、无危。
Protection category, II means wildlife under second class protection in China; Endangered grade: VU, NT, and LC are Vulnerable, Near Threatened, and Least Concern, respectively.

在 17 种兽类中（表 1），中华鬣羚、猪獾被 IUCN 受威胁物种红色名录（IUCN Red List 2024）列为易危级（Vulnerable，VU）物种，藏酋猴被列为近危级（Near Threatened，NT）物种。豹猫、中华鬣羚、黄喉貂和藏酋猴被列为国家二级重点保护野生动物。

3.2 物种日活动节律

小鹿、猪獾和赤腹松鼠的夜行性指数分别为 38.28%、43.48%和 31.10%，属于间歇性活动物种。其中，小鹿和赤腹松鼠的日活动高峰均出现在 06:00~08:00 时和 16:00~18:00 时两个时段，可避开冬季夜间低温与夏季日间高温。猪獾的日活动高峰出现在 08:00~10:00 时和 18:00~20:00 时两个时段，其夏季活动高峰与夜间起始时段部分重叠；冬季 18:00 时前为日间，活动高峰集中在日间。即三者活动在日出和日落时间点附近均具有明显的活动峰值。野猪、藏酋猴和食蟹獾的夜行性指数分别为 26.18%、10.75%和 12.40%，属于偏昼行性活动物种，其活动在昼间具有明显的单一活动峰值，其中藏酋猴和食蟹獾的日活动高峰均出现在 14:00~16:00 时段，野猪的日活动高峰出现在 10:00~12:00 时段，三者夜间活动占比低，且未表现出随夜间季节时长变化的活动调整。海南社鼠夜行性指数为 92.63%，为典型的夜行性

活动物种，无典型的活动高峰，夜间时段活动时间分配均匀。华南兔的夜行性指数为 86.36%，表现出偏夜行性活动节律，其活动峰值（20:00~22:00 时段）在冬季对应夜间（17:50 时至次日 06:50 时）中前期，夏季对应夜间（19:10 时至次日 05:10 时）前期，始终处于夜间温度较适宜区间（图 2）。

3.3 物种时空生态位重叠分析

本研究对常见兽类物种的时间生态位特征及其分化模式展开分析。研究涉及的兽类共形成 28 组物种对（具体物种对组合详见表 2），其中 9 组物种对表现为轻微时间生态位重叠，3 组呈现中等时间生态位重叠，16 组则显示出高度时间生态位重叠。此外，这 28 组物种对在昼夜活动时间的分配上存在统计学显著差异（ $P < 0.05$ ）（表 2）。其中，赤腹松鼠和海南社鼠表现出低度的时间生态位重叠关系（ $\Delta = 0.34$ ， $P = 0.01$ ）；小鹿和野猪（ $\Delta = 0.85$ ， $P < 0.01$ ）、小鹿和猪獾（ $\Delta = 0.92$ ， $P < 0.01$ ）表现出高度的时间生态位重叠关系（图 3）。

本研究对常见兽类物种的空间生态位特征及其分化模式展开分析。研究涉及的兽类共形成 28 组物种对（具体物种对组合详见表 2），其中 8 组物种对在空间生态位上呈现轻微重叠，15 组表现出中等程度的空间生态位重叠，

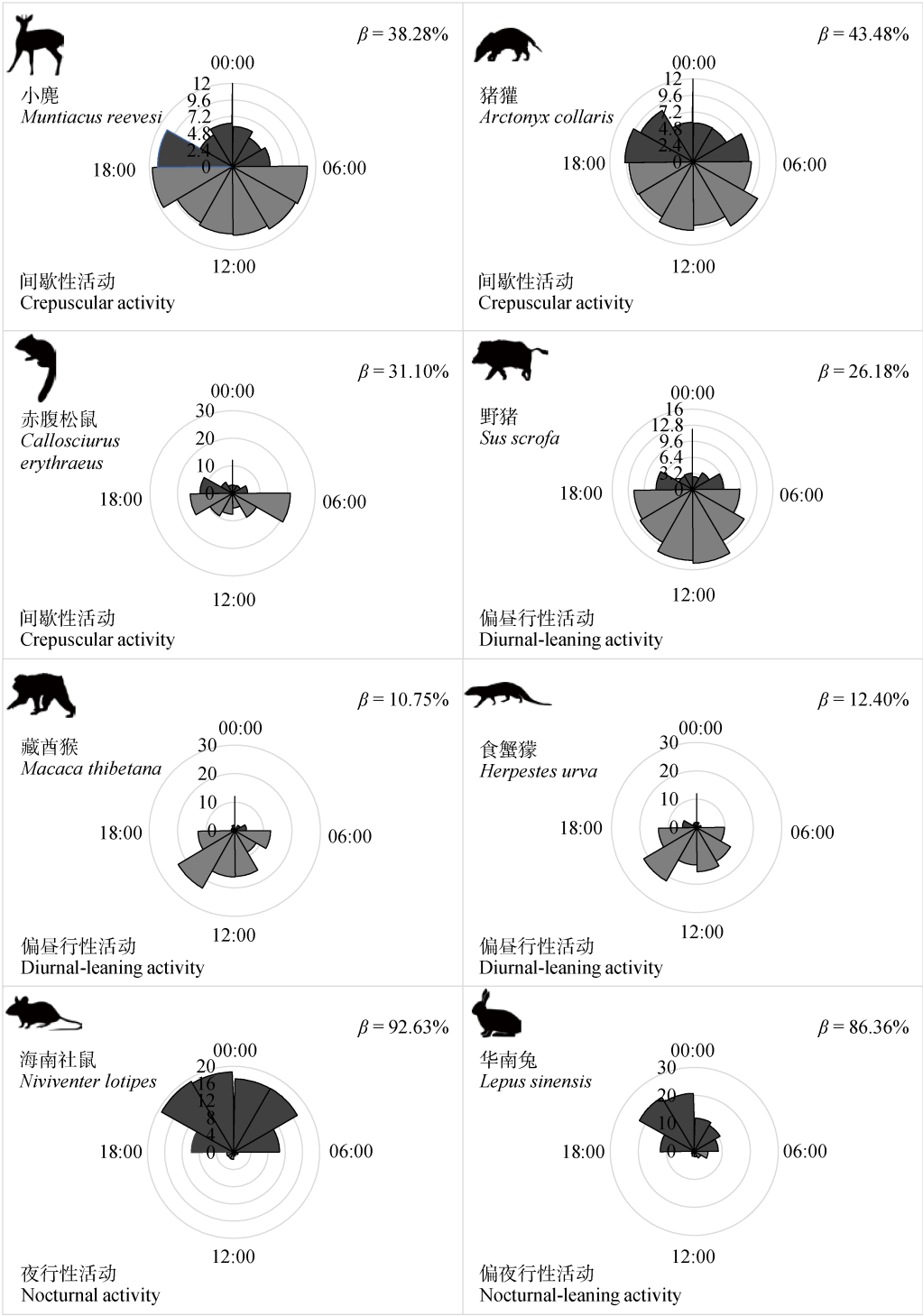


图 2 福建梅花山自然保护区常见兽类活动节律

Fig. 2 Activity rhythms of common mammals in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve

图中 β 为夜行性指数, 玫瑰直方图中数值代表活动频次, 扇形灰色阴影为日间活动频次程度, 黑色阴影为夜间活动频次程度。
The upper right corner displays the nocturnality index (β). In the rose histogram, the numerical values represent the activity frequency. The gray shaded sector denotes the diurnal activity level, while the black shaded sector indicates the nocturnal activity level.

表 2 福建梅花山自然保护区 8 种常见种动物时间生态位重叠指数、显著性差异值与空间生态位重叠指数
Table 2 Temporal niche overlap index, significant differences, and spatial niche overlap index of eight common species in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve

物种 A vs. 物种 B Species A vs. species B	时间生态位重叠指数 Temporal niche overlap index, Δ	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value	空间生态位重叠指数 Spatial niche overlap index, <i>I</i>
小鹿 vs. 野猪 <i>Muntiacus reevesi</i> vs. <i>Sus scrofa</i>	0.85	< 0.01	0.80
小鹿 vs. 海南社鼠 <i>Mu. reevesi</i> vs. <i>Niviventer lotipes</i>	0.42	< 0.01	0.55
小鹿 vs. 猪獾 <i>Mu. reevesi</i> vs. <i>Arctonyx collaris</i>	0.92	< 0.01	0.69
小鹿 vs. 赤腹松鼠 <i>Mu. reevesi</i> vs. <i>Callosciurus erythraeus</i>	0.84	< 0.01	0.54
小鹿 vs. 华南兔 <i>Mu. reevesi</i> vs. <i>Lepus sinensis</i>	0.51	< 0.01	0.52
小鹿 vs. 藏酋猴 <i>Mu. reevesi</i> vs. <i>Macaca thibetana</i>	0.69	0.01	0.53
小鹿 vs. 食蟹獾 <i>Mu. s reevesi</i> vs. <i>Herpestes urva</i>	0.73	0.01	0.58
野猪 vs. 海南社鼠 <i>S. scrofa</i> vs. <i>N. lotipes</i>	0.33	< 0.01	0.35
野猪 vs. 猪獾 <i>S. scrofa</i> vs. <i>A. collaris</i>	0.83	< 0.01	0.71
野猪 vs. 赤腹松鼠 <i>S. scrofa</i> vs. <i>C. erythraeus</i>	0.77	< 0.01	0.68
野猪 vs. 华南兔 <i>S. scrofa</i> vs. <i>L. sinensis</i>	0.40	0.01	0.20
野猪 vs. 藏酋猴 <i>S. scrofa</i> vs. <i>Ma. thibetana</i>	0.79	0.01	0.23
野猪 vs. 食蟹獾 <i>S. scrofa</i> vs. <i>H. urva</i>	0.87	0.01	0.44
海南社鼠 vs. 猪獾 <i>N. lotipes</i> vs. <i>A. collaris</i>	0.50	< 0.01	0.77
海南社鼠 vs. 赤腹松鼠 <i>N. lotipes</i> vs. <i>C. erythraeus</i>	0.34	0.01	0.51
海南社鼠 vs. 华南兔 <i>N. lotipes</i> vs. <i>L. sinensis</i>	0.86	0.01	0.12
海南社鼠 vs. 食蟹獾 <i>N. lotipes</i> vs. <i>H. urva</i>	0.20	0.01	0.40
海南社鼠 vs. 藏酋猴 <i>N. lotipes</i> vs. <i>Ma. thibetana</i>	0.18	0.01	0.22
猪獾 vs. 赤腹松鼠 <i>A. collaris</i> vs. <i>C. erythraeus</i>	0.78	0.01	0.78
猪獾 vs. 华南兔 <i>A. collaris</i> vs. <i>L. sinensis</i>	0.58	0.01	0.48
猪獾 vs. 藏酋猴 <i>A. collaris</i> vs. <i>Ma. thibetana</i>	0.66	0.01	0.25
猪獾 vs. 食蟹獾 <i>A. collaris</i> vs. <i>H. urva</i>	0.69	0.02	0.35
赤腹松鼠 vs. 华南兔 <i>C. erythraeus</i> vs. <i>L. sinensis</i>	0.43	0.01	0.15
赤腹松鼠 vs. 藏酋猴 <i>C. erythraeus</i> vs. <i>Ma. thibetana</i>	0.64	0.01	0.52
赤腹松鼠 vs. 食蟹獾 <i>C. erythraeus</i> vs. <i>H. urva</i>	0.68	0.02	0.32
华南兔 vs. 藏酋猴 <i>L. sinensis</i> vs. <i>Ma. thibetana</i>	0.26	0.02	0.03
华南兔 vs. 食蟹獾 <i>L. sinensis</i> vs. <i>H. urva</i>	0.27	0.02	0.14
藏酋猴 vs. 食蟹獾 <i>Ma. thibetana</i> vs. <i>H. urva</i>	0.85	0.02	0.36

5 组则在空间生态位上存在显著的高度重叠(表 2)。小鹿与野猪空间生态位重叠指数(0.80)最高,且二者生态位宽度均较高,分别为 31.10(小鹿)与 31.11(野猪),均属于泛化种,对环境适应性较强,两物种之间对空间资源的竞争较大,出现的环境位点重合度较高。华南兔与藏酋猴空间生态位重叠指数(0.03)最低,两物种之间对空间资源的竞争较小,藏酋猴的生态位宽度(9.08)较低,环境选择性

强(表 3)。

4 讨论

本研究利用红外相机监测梅花山自然保护区兽类多样性,重点分析小鹿等 8 种相对多度指数较高物种的日活动节律及时空生态位特征。据《梅花山自然保护区综合科学考察报告》(郑钟伟 2014),保护区共有兽类 8 目 20 科 66 种,约占福建省兽类物种数的 44.90%,物

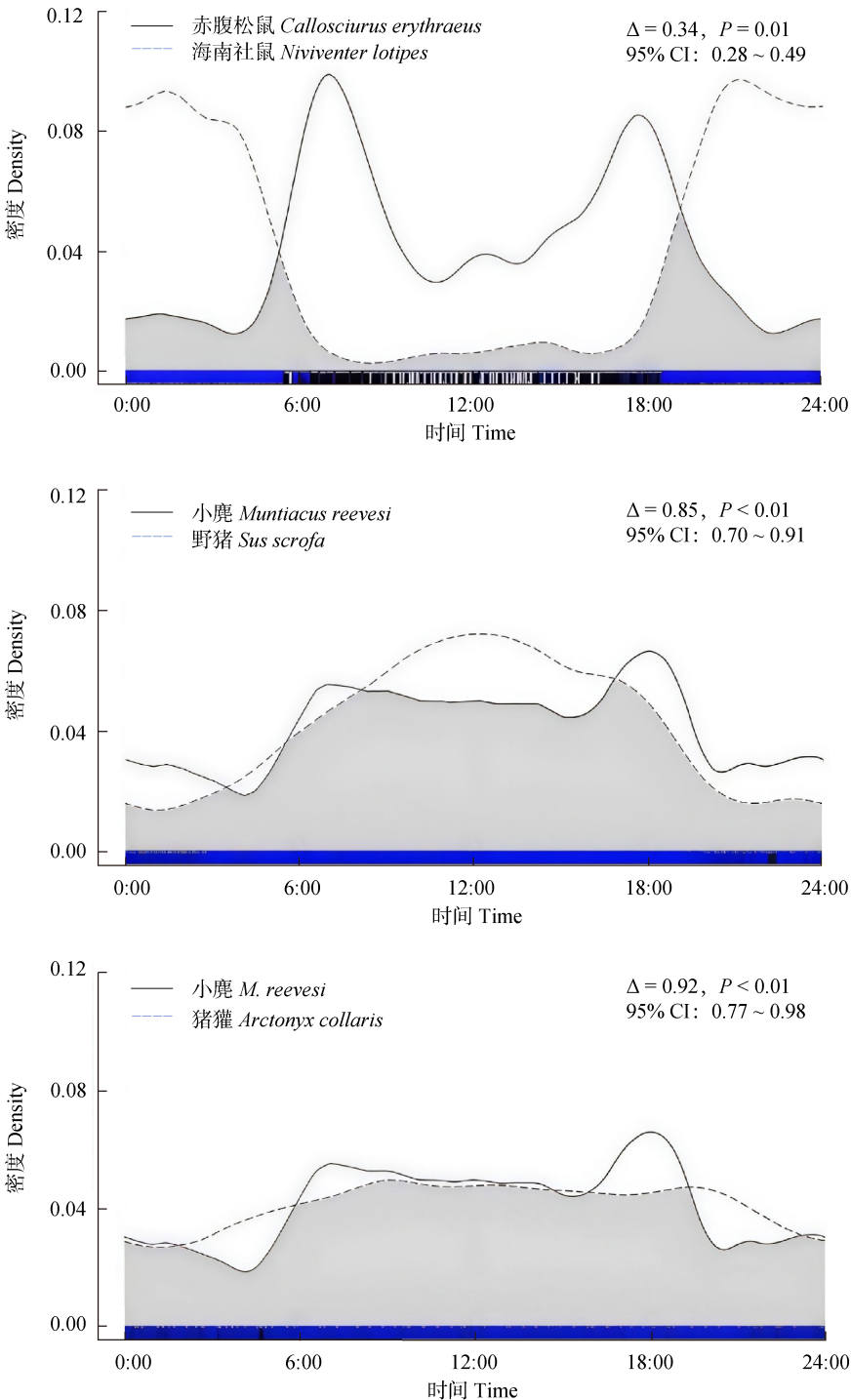


图3 福建梅花山自然保护区赤腹松鼠和海南社鼠、小麂和野猪、小麂和猪獾的日活动节律重叠

Fig. 3 Overlap of the daily activity rhythms of *Callosciurus erythraeus*-*Niviventer lotipes*, *Muntiacus reevesi*-*Sus scrofa*, and *M. reevesi*-*Arctonyx collaris* in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve

图中阴影部分代表两物种的日活动节律重叠部分。

The shaded area between the two curves represents the overlap of the diel activity rhythms between the two species.

表 3 梅花山自然保护区 8 种常见种动物空间生态位宽度

Table 3 Niche breadths of eight common species in the Fujian Meihua Mountain National Nature Reserve

物种 Species	生态位宽度 Niche breadth
小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	31.10
野猪 <i>Sus scrofa</i>	31.11
海南社鼠 <i>Niviventer lotipes</i>	14.70
猪獾 <i>Arctonyx collaris</i>	35.53
赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i>	21.07
华南兔 <i>Lepus sinensis</i>	11.85
藏酋猴 <i>Macaca thibetana</i>	9.08
食蟹獾 <i>Herpestes urva</i>	17.43

生态位宽度基于 Levins 方法计算，数值越高空间资源利用能力越强。

The niche breadth is calculated via Levins' method, and a higher value indicates a stronger ability to utilize spatial resources.

种资源丰富。本研究记录到兽类物种数 17 种，仅占保护区历史记录的 25.76%，可能因红外相机对小型或非地栖兽类拍摄效果不佳（汤勇等 2024）。此外持续 10 年的红外相机监测未能记录到华南虎和云豹等大型食肉动物的活动踪迹，这一现象需要从多维度进行生态学解释：首先历史记录显示，梅花山保护区最后一次确凿的华南虎野外记录出现在 1986 年，种群遗传学研究证实该种群在 20 世纪 50 年代就已出现严重的近交衰退现象，导致遗传多样性丧失（Zhang et al. 2019）。这种“灭绝漩涡”现象在顶级捕食者中尤为显著（谢平 2020）。其次，栖息地条件限制也是重要因素，梅花山保护区 70.41 km² 的核心区面积难以满足大型食肉动物的最小生存需求（Wolf and Ripple 2018）。此外，尽管保护区已建立 40 年，但人为干扰仍然持续存在。红外相机监测数据显示，保护区内仍存在少量偷猎活动。同时旅游活动导致的声光污染等干扰因子可能超出了大型食肉动物的耐受阈值（Gaynor et al. 2018）。值得注意的是，此次监测数据显示，中小型食肉动物，如猪獾和食蟹獾等出现频率较高，这一现象符合“中

层捕食者释放假说”（Prugh et al. 2009），该假说核心观点为：当大型食肉动物（顶级捕食者）缺失时，中小型食肉动物所受的捕食压力降低，可能出现种群数量增长与分布范围扩张，进而改变生态系统中的物种间相互作用与资源分配格局。中小型食肉动物的种群扩张及其对生态资源的占用，可能通过改变区域内的资源分配格局与物种间相互作用关系，对大型食肉动物潜在的生存与恢复空间产生影响。

4.1 物种的日活动节律差异

本研究使用核密度估计方法、夜行性指数和玫瑰直方图体现梅花山保护区 8 种主要兽类物种的日活动节律，结果显示，小鹿呈现双峰型的间歇性活动，主要活跃时段集中在清晨（06:00 ~ 08:00 时）和傍晚（16:00 ~ 18:00 时），这一双峰间歇性活动规律与国内多个自然保护区针对小鹿的监测结果相符，如在陕西观音山自然保护区发现，小鹿活动高峰出现在 06:00 ~ 08:00 时和 18:00 ~ 20:00 时（贾晓东等 2014）；在重庆金佛山地区的研究则显示，其活动高峰集中于 06:00 ~ 07:00 时及 19:00 ~ 20:00 时（杨婵等 2021）。可见，小鹿的日活动高峰存在一定地域差异，而其活动节律受研究地域的食物充裕程度、气候条件及人为影响等多重因素制约（滕丽微等 2005）。小鹿生性胆小孤僻且具独居特性，偏好隐蔽栖息环境。其夜行活动模式有利于规避天敌，显著减少在觅食行为中被捕食的潜在风险。黎明与黄昏因树叶露水便于水分摄取而更适宜觅食，相比正午减少了为寻找水源而遭遇危险的可能（原宝东和孔繁繁 2011，孙佳欣等 2018）。

猪獾及赤腹松鼠亦属于间歇性活动物种，这与国内其他保护区鸟兽红外相机监测结果不一致，需结合监测季节与时长谨慎解读。本研究数据源自保护区全年连续监测，而其他研究存在局限：浙江清凉峰自然保护区的猪獾数据未包含冬季，其日活动节律表现为夜行偏晨昏性（王扬等 2025）；广西弄岗的赤腹松鼠研究基于一年数据，显示其为昼行性（李友邦等

2021)。监测季节与时长的差异对动物活动模式分析有一定程度的影响：本研究与清凉峰保护区的猪獾结果差异，可能与猪獾的季节性行为调整有关，猪獾在食物资源匮乏的冬季冬眠，其他季节则呈明显的晨昏活动模式；赤腹松鼠的结果差异，可能因广西弄岗的研究仅一年监测时长，虽可支撑同地区物种的比较研究，但不足以准确定性物种的活动模式，此局限在广西弄岗的研究（李友邦等 2021）中亦有提及。此外，环境差异（如海拔、气候）和人为干扰强度的区域异质性，也是导致结果差异的重要因素（陈立军等 2019）。野猪、藏酋猴及食蟹獾均为偏昼行性活动物种，其日活动高峰时段与不同保护区针对单一物种的研究结果一致：野猪的日活动高峰时段与安徽宁国板桥自然保护区的相关研究相似（郭思乐等 2025）；藏酋猴的日活动高峰时段与贵州赤水桫欏国家级自然保护区的研究结论相符（刘邦友等 2020）；食蟹獾的日活动高峰时段则与梵净山保护区的研究结果一致（王丞等 2021）。海南社鼠为典型的夜行性活动物种，夜行性指数高达 92.63%，日间活动概率极低；华南兔为偏夜行性活动物种，该结果与在南京老山地区研究的结果相似（韩茜 2022），进一步分析得出其夜间活动模式受季节时段差异影响显著，华南兔固定活动峰值在夜间温度适宜区间，这种适应性调整与保护区夜间时长的季节波动（冬季 13 h、夏季 8 h）密切相关，也反映了物种对环境因子的灵活响应策略。

4.2 物种生态位重叠分析

本研究通过核密度估计与 Levins 生态位分析方法对梅花山保护区 8 种主要兽类的时空生态位特征进行分析，结合前言第一段生态位理论框架核心观点（Lawlor 1980），综合考虑物种种间关系，探讨生态位重叠机制与物种共存策略。

同属啮齿类的赤腹松鼠与海南社鼠，时间生态位显著分化（ $\Delta = 0.34$ ），而这种分化恰与二者“间歇性-夜行性”的日活动节律差异的

结果相契合；空间生态位重叠指数中等（ $I = 0.51$ ），既往研究显示，二者空间分布存在垂直分层：赤腹松鼠偏好树冠层，海南社鼠活动于地面至灌木层。这种时间上的昼夜活动错位与空间上的垂直生境分离，形成了近乎无竞争的资源利用格局，是啮齿类群落中常见的共存策略（张凤臣等 2007）。小鹿与野猪（ $\Delta = 0.85$ ， $I = 0.80$ ）、小鹿和猪獾（ $\Delta = 0.92$ ， $I = 0.69$ ）、野猪和猪獾（ $\Delta = 0.83$ ， $I = 0.71$ ）均表现出高度时空生态位重叠，且小鹿（31.10）、野猪（31.11）与猪獾（35.53）均为高空间生态位宽度的泛化种，因此，需结合多重因素探讨其共存策略，同域共存物种通常通过空间分布、时间利用及食性选择的差异化维持平衡（Albrecht and Gotelli 2001, Matsuo and Ochiai 2009）。小鹿与野猪：食性上，草食性与杂食性形成营养生态位分化（孙佳欣等 2018，郭思乐等 2025）；时间上，日活动高峰略有差异，减少了资源竞争；空间上，野猪凭借更强的挖掘能力获取地下资源，形成不对称竞争，缓解了竞争压力（郭思乐等 2025）。小鹿与猪獾：食性上，草食性与杂食性构成营养生态位差异（孙佳欣等 2018，赵家乐等 2024）；时间上，小鹿为晨昏性昼行，猪獾活跃于晨昏及夜间，活动模式互补；空间上，小鹿偏好中海拔落叶阔叶林等特定生境，猪獾活动范围更广且依赖水源，生境选择分化（赵家乐等 2024）。野猪与猪獾：食性上，均为杂食性，但野猪更侧重植物根茎等，猪獾倾向捕食小型无脊椎动物等，食物资源利用存在差异（赵家乐等 2024，郭思乐等 2025）；时间上，野猪偏昼行性，白天活动频繁，猪獾活跃于晨昏及夜间，活动时段明显分隔；空间上，野猪活动范围广泛，猪獾偏好近水源、土壤疏松的隐蔽区域，生境利用分化（赵家乐等 2024）。华南兔与藏酋猴的空间重叠指数最低（ $I = 0.03$ ），竞争压力极小。这与藏酋猴的生境特化相关：其生态位宽度仅 9.08，对成熟林冠层依赖性强（余吉等 2020，钟雪等 2020）；而华南兔偏好林缘灌丛（韩茜 2022），二者显著的

空间分化实现了生态位互补。

4.3 展望

本研究结果表明，梅花山保护区多数兽类具有较强空间资源利用能力，物种间生态位分化显著，通过时间、空间或食性的差异化策略维持共存。这种多维分化格局有助于维持群落稳定，但也提示适度种间竞争仍存在，需加强对特化种的监测。本研究存在以下局限性：其一，红外相机无法对个体或群体进行实时长期跟踪，缺乏物种动态行为过程的记录（孙岳和张雁云 2009）。其二，尽管监测时长约 10 年，但因相机安装时间不一、设备损坏等问题，部分物种数据不足且季节间数据量差异显著，可能影响活动模式分析的准确性；其三，红外相机对小型或树栖物种的监测效果有限，且易受环境干扰产生大量无效拍摄，增加了数据筛选难度。未来研究可通过以下措施改进：一是持续优化监测手段，继续增加红外相机布设，结合样线法、样点法、网捕法及铗日法等手段，长期深入地监测兽类多样性现状；二是强化保护实践联动，基于生态位重叠结果针对性制定管理策略——在小鹿与野猪等高竞争泛化种的活动重叠区，通过植被分层管理、临时围栏调控缓解竞争；重点保护藏酋猴依赖的成熟林冠层与生境，在保护区景点林缘保留灌丛带以维持华南兔适宜生境；避免过度清理林下植被，保障赤腹松鼠与海南社鼠等啮齿类的垂直空间分化需求；三是动态评估保护成效，优化监测网格，通过研究划分高竞争区、特化种核心生境区等特定生境区域，加密其相机布设，每年评估保护措施对物种生态位重叠程度的影响，及时调整适应性管理策略。这些研究将为野生动物保护与管理实践提供科学依据，对福建省乃至全国生物多样性保护及生态保护战略制定具有重要价值。

参 考 文 献

- Albrecht M, Gotelli N J. 2001. Spatial and temporal niche partitioning in grassland ants. *Oecologia*, 126(1): 134–141.
- Caravaggi A, Burton A C, Clark D A, et al. 2020. A review of factors to consider when using camera traps to study animal behavior to inform wildlife ecology and conservation. *Conservation Science and Practice*, 2(8): e239.
- Ceballos G, Ehrlich P R, Barnosky A D, et al. 2015. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5): e1400253.
- Chase J M, Leibold M A. 2009. *Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gaynor K M, Hojnowski C E, Carter N H, et al. 2018. The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science*, 360(6394): 1232–1235.
- IUCN Red List. 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. [EB/OL]. [2024-03]. <https://www.iucnredlist.org/>.
- Karanth K U, Srivathsa A, Vasudev D, et al. 2017. Spatio-temporal interactions facilitate large carnivore sympatry across a resource gradient. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1848): 20161860.
- Kinds W. 1959. Homage to Santa Rosalia or why are there so any kinds of animals? *The American Naturalist*, 93(870): 145–159.
- Kovach W L. 2011. *Oriana: circular statistics for Windows*, version 4. Pentraeth: Kovach Computing Services.
- Lawlor L R. 1980. Overlap, similarity, and competition coefficients. *Ecology*, 61(2): 245–251.
- Li C, Zhao C, Fan P F. 2015. White-cheeked macaque (*Macaca leucogenys*): A new macaque species from Medog, southeastern Tibet. *American Journal of Primatology*, 77: 753–766.
- Liu X H, Wu P F, Songer M, et al. 2013. Monitoring wildlife abundance and diversity with infra-red camera traps in Guanyinshan Nature Reserve of Shaanxi Province, China. *Ecological Indicators*, 33(10): 121–128.
- Matsuo R, Ochiai K. 2009. Dietary overlap among two introduced and one native sympatric carnivore species, the raccoon, the masked palm civet, and the raccoon dog, in Chiba Prefecture, Japan. *Mammal Study*, 34(4): 187–194.
- Pianka E R. 1973. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 53–74.
- Prugh L R, Stoner C J, Epps C W, et al. 2009. The rise of the

- mesopredator. *BioScience*, 59(9): 779–791.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. Version 4.3.3. [EB/OL]. [2024-02-29]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Ridout M S, Linkie M. 2009. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 14(3): 322–337.
- Rowcliffe J M, Kays R, Kranstauber B, et al. 2014. Quantifying levels of animal activity using camera trap data. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(11): 1170–1179.
- Tilson R, Hu D, Muntifer J, et al. 2004. Dramatic decline of wild South China tigers *Panthera tigris amoyensis*: field survey of priority tiger reserves. *Oryx*, 38(1), 40–47.
- van Schaik C P, Griffiths M. 1996. Activity periods of Indonesian rain forest mammals. *Biotropica*, 28(1): 105–112.
- Wolf C, Ripple W J. 2018. Rewilding the world's large carnivores. *Royal Society Open Science*, 5(3): 172235.
- Yang H T, Xie B, Zhao G J, et al. 2021. Elusive cats in our backyards: persistence of the North Chinese leopard (*Panthera pardus japonensis*) in a human-dominated landscape in Central China. *Integrative Zoology*, 16(1): 67–83.
- Zhang J, Zhang M J. 2013. Package 'spaa'. R Package Version, 1(1): 1–32.
- Zhang W, Xu X, Yue B, et al. 2019. Sorting out the genetic background of the last surviving South China tigers. *Journal of Heredity*, 110(6): 641–650.
- 蔡冰玲, 范海兰, 洪伟, 等. 2007. 福建梅花山国家级自然保护区拟赤杨种群分布格局的分形分析. *应用与环境生物学报*, 13(6): 759–762. [Cai B L, Fan H L, Hong W, et al. 2007. Fractal properties of distribution pattern of *Alniphyllum fortunei* populations in the Meihuashan nature reserve in Fujian, China. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 13(6): 759–762.]
- 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. [Chen L J, Shu Z F, Xiao Z S. 2019. Application of camera-trapping data to study daily activity patterns of Galliformes in Guangdong Chebaling National Nature Reserve. *Biodiversity Science*, 27(3): 266–272.]
- 陈巧尔, 牛一醒, 王征, 等. 2023. 福建梅花山自然保护区鸟类种子传播网络. *生态学杂志*, 42(10): 2494–2501. [Chen Q E, Niu Y X, Wang Z, et al. 2023.. Seed dispersal network of birds in Meihuashan National Nature Reserve, Fujian. *Chinese Journal of Ecology*, 42(10): 2494–2501.]
- 郭思乐, 周可心, 雷天雅, 等. 2025. 安徽省宁国市板桥自然保护区鸟兽多样性及 3 种常见鸟兽活动节律. *生物资源*, 47(2): 141–155. [Guo S L, Zhou K X, Lei T Y, et al. 2025. Diversity of birds and mammals and activity rhythms of three common species in Banqiao Nature Reserve, Ningguo City, Anhui Province. *Biotic Resources*, 47(2): 141–155.]
- 韩博平, 王璐, 刘振元, 等. 2025. 局域与区域过程对生物多样性的影响: 群落构建的饱和与开放. *水生生物学报*, 49(1): 31–42. [Han B P, Wang L, Liu Z Y, et al. 2025. Effects of local and regional processes on biological diversity: saturation and openness of community assembly. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 49(1): 31–42.]
- 韩茜. 2022. 基于红外相机技术的南京老山地区哺乳动物种类、活动节律及生境选择研究. 南京: 南京林业大学硕士学位论文. [Han Q. 2022. Mammal species, activity rhythms and habitat selection in Nanjing Laoshan area based on infrared camera technology. Nanjing: Nanjing Forestry University, Master's dissertation.]
- 侯朝伟, 孙西艳, 刘永亮, 等. 2020. 烟台近海浮游动物优势种空间生态位研究. *生态学报*, 40(16): 5822–5833. [Hou C W, Sun X Y, Liu Y L, et al. 2020. Spatial niches of dominant zooplankton species in the Yantai offshore waters. *Acta Ecologica Sinica*, 40(16): 5822–5833.]
- 贾晓东, 刘雪华, 杨兴中, 等. 2014. 利用红外相机技术分析秦岭有蹄类动物活动节律的季节性差异. *生物多样性*, 22(6): 737–745. [Jia X D, Liu X H, Yang X Z, et al. 2014. Seasonal activity patterns of ungulates in Qinling Mountains based on camera-trap data. *Biodiversity Science*, 22(6): 737–745.]
- 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. [Li Y B, Nong J L, Yang W L, et al. 2021.. Daily activity patterns of two sympatric squirrels *Callosciurus erythraeus* and *Dremomys rufigenis* in Nonggang, Guangxi, China. *Journal of Guangxi Normal University: Natural Science*

- Edition, 39(1): 71–78.]
- 刘邦友, 王丞, 张廷跃, 等. 2020. 基于红外相机监测的藏酋猴日活动节律及其季节性变化. 生态学杂志, 39(4): 1231–1237. [Liu B Y, Wang C, Zhang T Y, et al. 2020. Daily and seasonal variation of activities of Tibetan Macaque (*Macaca thibetana*) based on infrared camera trapping. Chinese Journal of Ecology, 39(4): 1231–1237.]
- 卢佳玉, 石小亿, 多立安, 等. 2024. 基于红外相机技术的天津城市地栖哺乳动物昼夜活动节律评价. 生物多样性, 32(8): 41–53. [Lu J Y, Shi X Y, Duo L A, et al. 2024. Circadian rhythms of urban terrestrial mammals in Tianjin based on camera trapping method. Biodiversity Science, 32(8): 41–53.]
- 丘云兴. 2003. 福建梅花山国家级自然保护区生物多样性特点及保护对策. 华东森林经理, 17(3): 43–45. [Qiu Y X. 2003. The special features and the protective measures for biological diversity in Meihuashan state-grade natural preservation zone in Fujian Province. East China Forest Management, 17(3): 43–45.]
- 斯煌凯. 2023. 四种食肉目动物时空生态位分化及人类干扰影响. 雅安: 四川农业大学硕士学位论文. [Si H K. 2023. Spatio-temporal niche differentiation of four Carnivora species and the effects of human interference. Ya'an: Sichuan Agricultural University, Master's dissertation.]
- 斯幸峰, 丁平. 2014. 古田山森林动态监测样地内鸟兽种群动态的红外相机监测. 生物多样性, 22(6): 819–822. [Si X F, Ding P. 2014. Camera trap survey on population dynamics of mammals and birds in Gutianshan Forest Dynamics Plot, Eastern China. Biodiversity Science, 22(6): 819–822.]
- 宋晨, 孟周, 王晓波, 等. 2022. 2019–2020 年夏季舟山海域浮游动物优势种生态位及其生态分化. 海洋学报, 44(10): 127–139. [Song C, Meng Z, Wang X B, et al. 2022. Ecological niches and ecological differentiation of dominant zooplankton species in the Zhoushan waters in summer 2019–2020. Haiyang Xuebao, 44(10): 127–139.]
- 孙佳欣, 李佳琦, 万雅琼, 等. 2018. 四川 9 种有蹄类动物夏秋季活动节律研究. 生态与农村环境学报, 34(11): 1003–1009. [Sun J X, Li J Q, Wan Y Q, et al. 2018. Study on the activity rhythms of nine ungulates in summer and autumn in Sichuan. Journal of Ecology and Rural Environment, 34(11): 1003–1009.]
- 孙岳, 张雁云. 2009. 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, 45(3): 268–274. [Sun Y, Zhang Y Y. 2009. Radio tracking in zoological research. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 45(3): 268–274.]
- 汤勇, 底明晓, 周博, 等. 2024. 基于红外相机的江西九岭山国家级自然保护区鸟兽多样性监测. 安徽农业科学, 52(1): 67–71. [Tang Y, Di M X, Zhou B, et al. 2024. Camera-trapping survey on the bird and mammal diversity in the Jiulingshan national nature reserve of Jiangxi Province. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 52(1): 67–71.]
- 滕丽微, 刘振生, 宋延龄, 等. 2005. 海南大田保护区内赤麂的种群数量和特征. 兽类学报, 25(2): 138–142. [Teng L W, Liu Z S, Song Y L, et al. 2005. Population size and characteristics of Indian muntjac (*Muntiacus muntjak*) at Hainan Datian National Nature Reserve. Acta Theriologica Sinica, 25(2): 138–142.]
- 王丞, 王亚强, 李海波, 等. 2021. 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, 41(4): 1603–1612. [Wang C, Wang Y Q, Li H B, et al. 2021. Habitat selection and daily activity patterns of *Herpestes urva* in Fanjingshan National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 41(4): 1603–1612.]
- 王伟, 李俊生. 2021. 中国生物多样性就地保护成效与展望. 生物多样性, 29(2): 133–149. [Wang W, Li J S. 2021. *In-situ* conservation of biodiversity in China: Advances and prospects. Biodiversity Science, 29(2): 133–149.]
- 王晓宁. 2020. 甘肃连城国家级自然保护区兽类多样性与时空分布变化. 兰州: 兰州大学硕士学位论文. [Wang X N. 2020. Diversity of wild mammals and spatial and temporal distribution differences in Liancheng national natural reserve of Gansu Province. Lanzhou: Lanzhou University, Master's dissertation.]
- 王扬, 厉亮, 郑南忠, 等. 2025. 浙江清凉峰国家级自然保护区猪獾种群密度、活动节律和栖息地利用特征. 兽类学报, 45(1): 49–59. [Wang Y, Li L, Zheng N Z, et al. 2025. Population density, activity rhythm, and habitat utilization of hog badger *Arctonyx albogularis* in the Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve. Acta Theriologica Sinica, 45(1): 49–59.]
- 魏辅文, 杨奇森, 吴毅, 等. 2025. 中国兽类名录(2024 版). 兽类学报, 45(1): 1–16. [Wei F W, Yang Q S, Wu Y, et al. 2025. Catalogue of mammals in China (2024). Acta Theriologica Sinica, 45(1): 1–16.]
- 肖梅, 王红, 何芳, 等. 2025. 利用红外相机监测四川唐家河国家

- 级自然保护区鸟兽多样性. 四川林业科技, 46(1): 11–21. [Xiao M, Wang H, He F, et al. 2025. Camera-trapping survey of wild mammals and birds in Tangjiahe National Nature Reserve, Sichuan Province. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 46(1): 11–21.]
- 谢平. 2020. 如何对濒危物种进行评估与拯救? 湖泊科学, 32(2): 281–293. [Xie P. 2020. How to evaluate and rescue endangered species? Journal of Lake Sciences, 32(2): 281–293.]
- 杨婵, 万雅琼, 黄小富, 等. 2021. 基于红外相机技术的小鹿 (*Muntiacus reevesi*) 活动节律. 广西师范大学学报: 自然科学版, 39(1): 65–70. [Yang C, Wan Y Q, Huang X F, et al. 2021. Activity rhythm of *Muntiacus reevesi* based on infrared camera technology. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 39(1): 65–70.]
- 杨杰青, 陈朗, 杨阳阳, 等. 2022. 长江口及邻近海域春、夏季浮游动物优势种时空生态位分析. 中国水产科学, 29(11): 1625–1635. [Yang J Q, Chen L, Yang Y Y, et al. 2022. Spatial-temporal niche of dominant zooplankton species in the Yangtze River Estuary and adjacent waters in spring and summer. Journal of Fishery Sciences of China, 29(11): 1625–1635.]
- 余吉, 付明霞, 宋心强, 等. 2020. 基于 MaxEnt 模型的四川大相岭保护区藏酋猴 (*Macaca thibetana*) 生境适宜性评价. 四川林业科技, 41(3): 45–50. [Yu J, Fu M X, Song X Q, et al. 2020. MaxEnt modeling-based habitat suitability assessment of *Macaca thibetana* in daxiangling nature reserve, Sichuan Province. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 41(3): 45–50.]
- 原宝东, 孔繁繁. 2011. 哺乳动物活动节律研究进展. 安徽农业科学, 39(2): 1056–1058, 1162. [Yuan B D, Kong F F. 2011. Research on mammal activity rhythm. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 39(2): 1056–1058, 1162.]
- 张凤臣, 杨兴中, 巩会生. 2007. 陕西佛坪自然保护区啮齿动物群落结构研究. 野生动物, 28(1): 13–17. [Zhang F C, Yang X Z, Gong H S. 2007. Community structure of rodents in Foping nature reserve. Chinese Journal Wildlife, 28(1): 13–17.]
- 赵家乐, 龚笑飞, 潘江炎, 等. 2024. 浙江遂昌地区同域分布猪獾与花面狸时空生态位比较. 兽类学报, 44(3): 297–308. [Zhao J L, Gong X F, Pan J Y, et al. 2024. Comparative study on the spatial and temporal niche of the same domain distribution of *Arctonyx collaris* and *Paguma larvata* in Suichang, Zhejiang Province. Acta Theriologica Sinica, 44(3): 297–308.]
- 郑钟伟. 2014. 梅花山自然保护区秋季鸟类群落及鸭类生境分布. 南京: 南京林业大学硕士学位论文. [Zheng Z W. 2014. Avian community in autumn and habitat distribution of bulbuls in Meihuashan National Nature Reserve. Nanjing: Nanjing Forestry University, Master's dissertation.]
- 中国野生动物保护协会. 2005. 中国哺乳动物图鉴. 郑州: 河南科学技术出版社. [China Wildlife Conservation Association. 2005. Atlas of Mammals in China. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press.]
- 钟平华, 张小燕, 陈康, 等. 2024. 基于红外相机技术调查江西永丰县的鸟兽多样性及优势物种活动节律. 生物资源, 46(5): 455–466. [Zhong P H, Zhang X Y, Chen K, et al. 2024. Investigation of bird and mammal diversity and dominant species activity rhythm in Yongfeng County, Jiangxi Province based on infrared camera technology. Amino Acids and Biotic Resources, 46(5): 455–466.]
- 钟雪, 王彬, 胡大明. 2020. 基于 MaxEnt 模型的藏酋猴生境适宜性评价——以四川白水河国家级自然保护区为例. 西华师范大学学报: 自然科学版, 41(3): 227–234. [Zhong X, Wang B, Hu D M. 2020. Habitat suitability assessment of *Macaca thibetana* based on MaxEnt model—a case study of Baishuihe national nature reserve in Sichuan. Journal of China West Normal University: Natural Science, 41(3): 227–234.]
- 邹博研, 罗概, 朱博伟, 等. 2021. 川西高原三种雉类与其捕食者赤狐的空间关系. 生物多样性, 29(7): 918–926. [Zou B Y, Luo G, Zhu B W, et al. 2021. The spatial distribution relationship between three pheasant species and mutual predator, the red fox (*Vulpes vulpes*), on the Western Sichuan Plateau. Biodiversity Science, 29(7): 918–926.]