



生态与农村环境学报
Journal of Ecology and Rural Environment
ISSN 1673-4831, CN 32-1766/X

《生态与农村环境学报》网络首发论文

题目: 基于红外相机技术的湖南高望界国家级自然保护区鸟兽多样性调查
作者: 唐依萍, 刘昕, 鲁云, 黄杰, 毛静, 王婧, 兰香英, 张自亮, 张佑祥, 吴涛
DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2024.0658
收稿日期: 2024-08-05
网络首发日期: 2025-03-24
引用格式: 唐依萍, 刘昕, 鲁云, 黄杰, 毛静, 王婧, 兰香英, 张自亮, 张佑祥, 吴涛. 基于红外相机技术的湖南高望界国家级自然保护区鸟兽多样性调查[J/OL]. 生态与农村环境学报. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.2024.0658>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2024.0658

基于红外相机技术的湖南高望界国家级自然保护区鸟兽多样性调查

唐依萍¹, 刘昕¹, 鲁云², 黄杰¹, 毛静¹, 王婧¹, 兰香英³, 张自亮³, 张佑祥¹, 吴涛^{1①}

(1. 吉首大学生物资源与环境科学学院, 湖南 吉首 416000; 2. 湖南省吉首市第一中学, 湖南 吉首 416000; 3. 湖南高望界国家级自然保护区管理局, 湖南 古丈 416300)

摘要: 鸟兽多样性作为保护区的重要组成部分, 是反映保护区保护成效的重要指标。高望界国家级自然保护区位于武陵山脉南坡中段, 保护区内适宜的气候及多样的生态环境为鸟兽的繁衍与发育提供了理想的栖息地。为查明该保护区鸟兽资源现状及其保护状况, 在保护区内布设 105 台红外相机开展了为期 2 年的野生动物调查, 共获得独立有效照片 5534 张, 分属哺乳纲 3 目 9 科 15 种, 鸟纲 6 目 16 科 31 种, 其中包括国家一、二级保护野生动物 10 种。对其物种多样性分析, 结果显示:

(1) 大部分物种集中分布在中海拔 (600-800m) 范围内; (2) 在食肉目中, 作为顶级捕食者的豹猫 (*Prionailurus bengalensis*) 和小型鼬科动物猪獾 (*Arctonyx collaris*) 在海拔分布上的生态位重叠度最高 (0.97), 豹猫与小灵猫 (*Viverricula indica*) 的生态位重叠度最低 (0.28), 在鸡形目中, 海拔分布上的生态位重叠度最高的是白颈长尾雉 (*Syrmaticus ellioti*) 和红腹锦鸡 (*Chrysolophus pictus*) (0.62), 最低的是灰胸竹鸡 (*Bambusicola thoracicus*) 和勺鸡 (0.01); (3) 物种数、香农-威纳指数、优势度指数在海拔梯度上呈现不同的中峰模式, 而均匀度指数的海拔梯度上呈带一个中峰的总体递增格局; (4) 物种多样性指数在季节上的差异显著, 而在区域之间的差异性不显著; 对于兽类, 春季的物种多样性指数显著高于其他三个季节, 而冬季的物种多样性指数与其他三个季节存在显著性差异。对于鸟类, 冬季的物种多样性指数显著低于其他三个季节。本次有助于全面了解野生动物资源概况, 为其科学监测和保护提供基础资料。

关键词: 红外相机; 鸟兽; 物种多样性; 海拔分布格局

中图分类号: X176; Q958

Survey of Bird and Animal Diversity in Gaowangjie National Nature Reserve of Hunan Province based on Infrared Camera. TANG Yi-ping¹, LIU Xin¹, LU Yun², HUANG Jie¹, MAO Jing¹, WANG Jing¹,

收稿日期: 2024-08-05

基金项目: 湖南省财政厅国家重点野生动植物保护项目; 湖南高望界国家级自然保护区陆生脊椎动物调查暨小灵猫种群监测与研究 (GWJ2023—01)

① 通讯作者 E-mail: 623725242@qq.com;

LAN Xiang-ying³, ZHANG Zi-liang³, ZHANG You-xiang¹, WU Tao¹①(1.College of Bioresources and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou 416000, China; 2. The No. 1 Middle School of Jishou, Jishou 416000, China; 3. Hunan Gaowangjie National Nature Reserve Administration, Guzhang 416300,China)

Abstract: As an important part of the reserve, the diversity of birds and mammals is an important indicator reflecting the conservation effectiveness of the reserve. Gaowangjie National Nature Reserve is located in the middle of the southern slope of the Wuling Mountains, and the suitable climate and diverse ecological environment in the reserve provide an ideal habitat for the reproduction and distribution of birds and mammals. In order to investigate the current status of bird and animal resources and their conservation status in the reserve, 105 infrared cameras were set up in the reserve to carry out a two-year wildlife survey, and a total of 5534 independent and valid photos were obtained, belonging to 15 species of mammalian 3 order, 9 families, and 31 species of bird's 6 orders, 16 families, including 10 species of wild animals under national first-class and second-class protection. The results showed that: (1) most of the species were concentrated in the middle altitude range (600-800m); (2) In the order Carnivora, the overlap degree of *Prionailurus bengalensis* as an apex predator and *Melogale moschata* ——Small ferrets (0.97) was the highest in altitude, the lowest overlap between *Prionailurus bengalensis* and *Viverricula indica* (0.28), In the order Galliformes, the highest overlap in altitude was in *Syrnaticus ellioti* and *Pucrasia macrolopha* (0.62), and the lowest was *Pucrasia macrolopha* and *Bambusicola thoracicus* (0.01);(3) The number of species, Shannon-Weiner index and Simpson index showed different mid-peak patterns on the altitude gradient. The altitude gradient of the Evenness index showed an overall increasing pattern with a middle peak. (4) There was a significant difference in species diversity index in seasons, but not between regions. For mammals, the species diversity index in spring was significantly higher than that in the other three seasons, while the species diversity index in winter was significantly different from that in the other three seasons. For birds, the species diversity index in winter was significantly lower than in the other three seasons. The results is helpful to have a comprehensive understanding of wildlife resources and provides basic information for their scientific monitoring and protection.

Key words: Infrared camera; birds and animals; species diversity; altitude distribution pattern

生物多样性是生物及其环境的综合体现,是人类赖以生存和发展的基础^[1]。同时,也是衡量一个区域保护成效的关键指标,在区域生态平衡、促进物质循环和能量流动、气候调节等方面有着非常重要的作用^[2]。生物多样性的保护不仅受到国际社会的高度关注,同时也是我国可持续发展的重要内容之一^[3]。为了保护和提升生物多样性,开展系统的生物多样性监测,以了解区域生物多样性状况及其变化趋势,是有效开展保护工作的前提^[2]。野生动物多样性是生物多样性监测与保护的关键指标之一,为人类社会的发展提供了重要支撑。因此,开展野生动物多样性的研究,对于理解生态系统的结构和功能、制定监测与保护计划具有重要意义。

然而,野生动物调查面临诸多挑战,许多野生动物只分布在人烟稀少的环境中,导致监测成本高、难度大。此外,许多动物具有昼伏夜出的习性,使得监测变得更加困难^[4]。近年来,红外相机作为一种非侵入性监测工具,因其具有持续检测、干扰小、准确监测和记录动物活动等特点,广泛应用于野生动物的研究中,尤其在鸟兽多样性调查中表现出色^[5]。通过红外相机的布设,研究人员可以获取大量关于鸟兽活动、种群动态和栖息地利用等信息。这些数据不仅有助于了解物种的分布和行为,还能为保护策略的制定提供科学依据。

湖南高望界国家级自然保护区(以下简称“保护区”)位于我国第二阶梯向第三阶梯过渡的地理位置,作为一个重要的生态保护区域,其地形复杂,生境多样,孕育了丰富的野生动植物资源。成立至今,仅宿秀江等曾在2014年对保护区的野生动植物资源进行综合考察,相关数据已不能真实反映保护区当前的现状,开展保护区内鸟兽多样性的调查和监测显得尤为重要。

本研究利用红外相机技术对保护区内的鸟兽多样性进行调查,不仅能够推动该区域生物多样性研究的发展,也为保护区的生态保护和管理提供了重要的科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

保护区地处武陵山脉南坡中段,地理坐标为(109°58'28"—110°14'38"E, 28°36'32"—28°45'39"N),总面积17169.8 hm²^[6-7]。区内自然条件优越,属于中亚热带季风湿润气候类型,气候温润多雨,植被茂密,森林覆盖率88.9%^[8]。有针阔混交林、针叶林、阔叶林、阔叶灌丛等多种生境。保护区适宜的气候及多样的生态环境为野生动物的发育与繁殖提供了理想的栖息地。

1.2 红外相机布设

根据保护区地形地势、人为干扰程度、海拔范围、野生动物痕迹和生境类型等因素,并结合缓冲区、实验区和核心区三种功能区划,尽可能覆盖更广的区域范围进行红外相机布设。相机的布设海拔从最低的226 m到最高的1073 m,海拔跨度847 m,涵盖5种主要生境类型:常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林和灌木丛,确定了105个相机位点(图1)。

相机布设前进行参数设定,输入时间与日期,拍照模式为“拍照+录像”,连续拍照设置为“3张”,录像20~30s。布设时,将红外相机固定在距离地面20-80cm的树干上,确保相机镜头避免阳光直射,并清理相机前方的树枝和杂草等遮挡物,详细记录每个相机位点的相关信息^[9]。每4-6月回收一次红外相机。

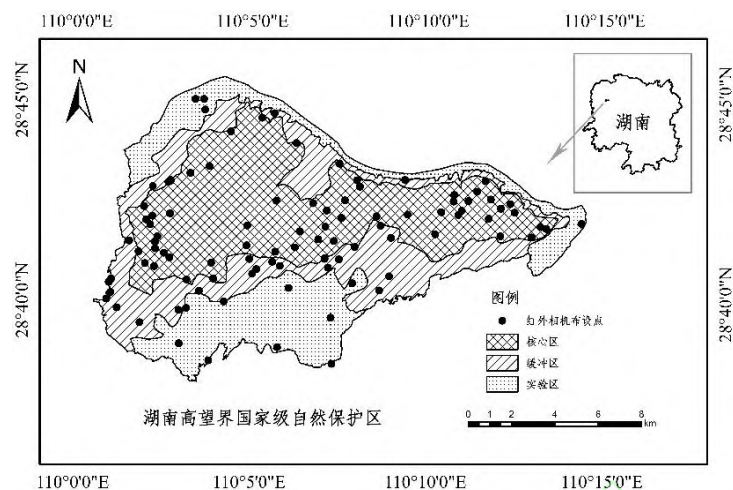


图 1 2022-2023 年高望界国家级自然保护区红外相机布设位点图

Fig. 1 Map of infrared camera locations in Gaowangjie National Nature Reserve from 2022 to 2023

2 数据统计及分析

2.1 数据统计

将所有照片按照红外相机位点分别保存,并使用 Bio-Photo V2.1 软件对照片信息转换为 Excel 格式。鸟兽的物种鉴定主要参考《中国兽类野外手册》^[10]、《中国鸟类野外手册》^[11]和《中国鸟类分类与分布名录(第三版)》^[12]和近年文献《中国哺乳动物多样性(第 2 版)》^[13];物种保护等级依据《国家重点保护野生动物名录》^[14](国家林业和草原局,农业农村部,2021)、《濒危野生动植物种国际贸易公约(2023)》^[15](CITES 附录I、附录II)和《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》^[16](国家林业和草原局公告,2023 年;以下简称“三有”动物)。濒危等级参考《中国生物多样性红色名录·脊椎动物卷(2021)》^[17]。将鉴定结果填入 Bio-Photo V2.1 软件生成的 Excel 表中。对于同一位点拍摄的照片,如果同一物种的连续照片拍摄时间间隔小于 30 min,则将其视为 1 张独立有效照片^[18]。

2.2 数据分析

(1) 物种累积曲线

物种累积曲线(Species Accumulation Curves)是一种描述物种随抽样量增加而累积的曲线。它是预测研究区域物种组成和物种丰富度的有效工具,广泛应用于生物多样性和动物种群研究^[19]。

(2) 物种相对丰富度指数

物种相对丰富度指数(Relative abundance index, RAI)^[20]是基于红外相机数据估计种群数量的常用指标。本研究通过物种的相对丰富度指数来评估保护区内野生动物的种群数量。计算公式为: $RAI = \frac{A_i}{N} \times 100$, 式中, A_i 表示第 i 类($i=1,2,3\dots n$)物种的独立有效照片数, N 表示所有物种的独立有效照片总数。

(3) 物种多样性分析

采用香农-威纳指数(Shannon-Wiener index)^[21]、均匀度指数(Evenness index)^[22]和修正后的 Simpson 指数^[23]分析保护区鸟兽多样性与海拔的关系。同时将香农-威纳指数作为物种多样性指数来探究物种多样性与季节及功能区之间的关系。计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i ; D = -\ln \sum_{i=1}^S (P_i)^2 ; H'_{max} = \ln S ; J = \frac{H'}{H'_{max}} ;$$

式中, H' 为香农-威纳指数, S 为物种总数, P_i 为第 i 类物种的独立有效照片数占独立有效照片总数的比例。 D 为修正后的 Simpson 指数。 J 为均匀度指数, H'_{max} 为理论上最大的种类多样性。物种丰富度: $P=S$ 。

(4) 广义加性模型

广义加性模型 (generalized additive model, GAM) 是指利用环境变量的高阶多项式来拟合物种与环境变量之间的关系^[24]。假设函数是相加的, 由光滑函数^[25]组成最终函数。由于它没有预先设定变量之间的关系, 而是通过环境变量的光滑函数代替回归系数的功能, 所以能最大程度符合原始数据的规律^[26]。基本模型如下:

$$F(X) = f_1(x_1) + f_2(x_2) + f_3(x_3) + \dots + f_p(x_p) + b_0$$

式中, $F(X)$ 为连接函数; b_0 为截距; $f_1, f_2 \dots f_p$ 为 p 个环境变量 x 的光滑函数。

本研究以海拔为自变量, 将各海拔区间记录到的物种数、香农-维纳指数、修正后的优势度指数、均匀度指数作为因变量, 采用广义加性模型分析来分析物种与海拔之间的关系。

(5) Pianka 指数^[27]

为了直观反映物种随海拔分布的情况, 文章选择了捕获次数较高的 31 个物种, 用 origin2022 绘制各物种的海拔分布箱线图, 并使用 Pianka 指数计算分布较广的物种在海拔利用上的生态位重叠程度。计算公式如下:

$$O_{jk} = \frac{\sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n p_{ij}^2 \sum_i^n p_{ik}^2}}$$

其中 p_{ij} 和 p_{ik} 表示物种 j 和物种 k 对第 i 个海拔段 (以 200m 为间隔, 将整体海拔划分为 5 段) 的利用程度, 采用相对丰富度指数表示。

3 结果分析

基于为期两年的监测，红外相机在 105 个拍摄位点连续工作 700 余天，收集 13089 份数据，共筛选出鸟兽独立有效照片 4671 张，其中，兽类 3744 张，鸟类 927 张。物种累积曲线显示，在前 100 个工作日内，兽类物种数量快速增加，之后增长逐渐放缓，并于 200 个工作日后趋于稳定，总数保持在 15 种。相比之下，鸟类物种累积曲线增长时间较长，在前 350 个工作日内增长较快，之后增速放缓，但物种数量仍持续增加，最终稳定在 31 种。在观测的前 150 个工作日内，兽类物种数始终高于鸟类，之后鸟类超过兽类。此外，在前 100 个工作日内，兽类物种的增长率高于鸟类，但随后鸟类的增长率反超兽类。分析发现，总物种曲线的增长规律与鸟类物种曲线相似，这说明总物种数量的增长主要受鸟类物种增长的影响。

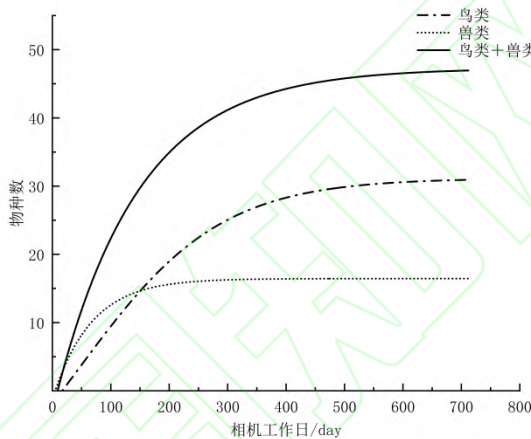


图 2 高望界国家级自然保护区红外相机物种累计曲线图

Fig. 2 Species accumulation curve of infrared camera in Gaowangjie National Nature Reserve

3.1 物种组成

在本次调查中，红外相机共记录到鸟兽类 46 种，分属 9 目 25 科（见附表）。其中，国家一级保护野生动物 2 种，即小灵猫和白颈长尾雉，国家二级保护野生动物 8 种，分别是豹猫、毛冠鹿（*Elaphodus cephalophus*）、红腹锦鸡、勺鸡、仙八色鸫（*Pitta nympha*）、画眉（*Garrulax canorus*）、蛇雕（*Spilornis cheela*）和松雀鹰（*Accipiter virgatus*）。具有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物 31 种。根据《濒危野生动植物种国际贸易公约（2023）》，本次调查中记录在附录I的物种有豹猫和白颈长尾雉，记录在附录II的物种有毛冠鹿、仙八色鸫和画眉。根据《中国生物多样性红色名录（2020）》，记录到易危（VU）物种 5 种，分别是小灵猫、猪獾、小鹿（*Muntiacus reevesi*）、仙八色鸫和白颈长尾雉；近危（NT）物种 8 种；无危（LC）物种 33 种。相对丰富度指数较高的是花面狸（*Paguma larvata*, RAI=25.69）、黑领噪鹛（*Garrulax pectoralis*, RAI=21.73）、猪獾（RAI=20.92）和白颈长尾雉（RAI=20.16），相对丰富度指数最低的是黄腹鼬（*Mustela kathiah*, RAI=0.03）。

3.2 物种海拔分布格局

在排除了部分独立有效照片数较少的物种后,绘制了以下 31 个物种的海拔分布箱线图。从海拔分布的结果来看,在兽类中,豹猫(271-1073m)、鼬獾(226-960m)、野猪(*Sus scrofa*, 274-1073m)、毛冠鹿(226-1073m)、白腹巨鼠(*Leopoldamys edwardsi*, 226-1015m)、猪獾(274-1073m)和花面狸(226-1074m)显示出较广的海拔分布范围。在鸟类中,山斑鸠(*Streptopelia orientalis*, 274-927m)、勺鸡(452-1073m)、白颈长尾雉(298-1073m)、紫啸鸫(*Myophonus caeruleus*, 226-927m)、松鸦(294-1015m)、灰眶雀鹛(*Alcippe morrisonia*, 330-882m)和黑领噪鹛(226-727m)也表现出较广的分布范围。总体来看,该保护区大部分物种主要集中分布在中海拔地区,即 600-800m 海拔范围内。

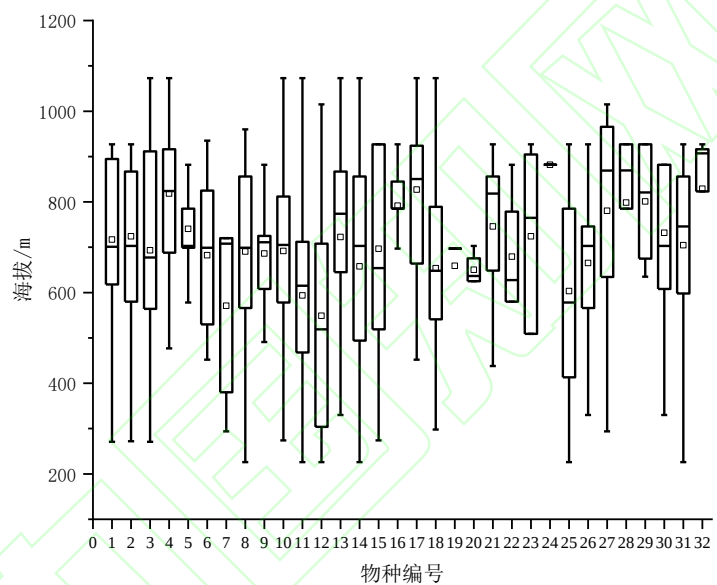


图 3 高望界国家级自然保护区鸟兽海拔分布箱线图

Fig.3 Box plot of elevation distribution of birds and mammals in Gaowangjie National Nature Reserve

1: 中华竹鼠、2: 红白鼯鼠、3: 豹猫、4: 马来豪猪、5: 隐纹花松鼠、6: 珀氏长吻松鼠、7: 小鹿、8: 鼬獾、9: 小灵猫、10: 野猪、11: 毛冠鹿、12: 白腹巨鼠、13: 猪獾、14: 花面狸、15: 山斑鸠、16: 红腹锦鸡、17: 勺鸡、18: 白颈长尾雉、19: 灰胸竹鸡、20: 橙头地鸫、21: 虎斑地鸫、22: 灰翅鸫、23: 棕颈钩嘴鹛、24: 黄腹山雀、25: 紫啸鸫、26: 红嘴蓝鹊、27: 松鸦、28: 燕雀、29: 灰头鸦雀、30: 灰眶雀鹛、31: 黑领噪鹛、32: 灰头绿啄木鸟

Pianka 指数显示,在食肉目动物中,作为顶级捕食者的豹猫和小型鼬科动物猪獾在海拔分布上的生态位重叠度较高,达到了 0.97,然而,豹猫与同为鼬科的鼬獾在海拔分布上的生态位重叠度却较低,仅为 0.32,表明豹猫与鼬獾之间存在较大的直接竞争,豹猫作为顶级捕食者,其食物来源主要是小型哺乳动物和鸟类^[28],鼬獾的食物主要是小型哺乳动物和昆虫^[29]

^{30]}，由于食物资源的高度重叠，两者在资源利用上存在明显的竞争，从而导致其海拔分布重叠度较低。相比之下，猪獾其食物主要是昆虫、蚯蚓等^[31-32]，与豹猫的食物资源存在显著差异。因此，尽管两者在生态位上有所重叠，但总体竞争较小，导致它们在海拔分布上的重叠度较高。此外，研究还发现，豹猫与小灵猫在海拔分布上生态位重叠度最低，仅为 0.28，说明两者之间的直接竞争较大。

表 1 高望界国家级自然保护区食肉目 Pianka 指数

Table1 Pianka index of carnivores in Gaowangjie National Nature Reserve

物种	豹猫	鼬獾	猪獾	小灵猫	花面狸
豹猫		0.32	0.97	0.28	0.46
鼬獾	0.32		0.52	0.78	0.91
猪獾	0.97	0.52		0.40	0.60
小灵猫	0.28	0.78	0.40		0.66
花面狸	0.46	0.91	0.60	0.66	

在鸡形目中，Pianka 指数显示出显著的差异性。海拔分布上的生态位重叠度最高的是白颈长尾雉和红腹锦鸡，重叠度达到 0.62；而最低的是勺鸡和灰胸竹鸡，重叠度仅为 0.01。

导致这种差异的主要原因在于栖息地偏好上的明显不同。勺鸡通常栖息在山地森林、灌丛和草地中^[33]，对栖息地的选择相对广泛，能够适应不同海拔的生态环境。相反，灰胸竹鸡的体型小，喜隐伏^[34]，它们的栖息地选择较为狭窄，倾向于在灌草密度较高的林下栖息。这种栖息地偏好的差异性使得勺鸡和灰胸竹鸡则因生态位的分异而在海拔分布上的重叠度显著低。而白颈长尾雉和红腹锦鸡虽然食性相似，但会通过选择不同的植物种类和觅食时间减少直接竞争，且白颈长尾雉更偏好茂密的森林，而红腹锦鸡则倾向于森林边缘和开阔地带，这种微小的差异有助于它们的共存^[35]。

表 2 高望界国家级自然保护区鸡形目 Pianka 指数

Table 2 Pianka index of Cockiformes in Gaowangjie National Nature Reserve

物种名称	红腹锦鸡	勺鸡	灰胸竹鸡	白颈长尾雉
红腹锦鸡		0.06	0.51	0.62

勺鸡	0.06		0.01	0.54
灰胸竹鸡	0.51	0.01		0.46
白颈长尾雉	0.62	0.54	0.46	

3.3 物种多样性随海拔的变化

广义加性模型结果显示，物种数、香农-威纳指数、优势度指数在海拔梯度上呈现不同的中峰模式。物种数的海拔梯度格局显示为右偏倚的中峰模式，模型解释力（deviance explained）为 94.8%（ $R^2=0.91$, $P<0.01$ ）。在海拔 200-800m 范围内，物种数与海拔正相关，随海拔的升高而增加，至 800m 左右到达峰值，随后物种数与海拔呈负相关。香农-威纳指数表现为正中的中峰模式，模型解释力为 98.4%（ $R^2=0.97$, $P<0.01$ ）。其峰值区较长，在海拔 600-800m 的范围内保持较高水平。优势度指数则呈现左偏倚的中峰模式，模型解释力为 95.5%（ $R^2=0.92$, $P<0.01$ ）。在海拔 200-600m 范围内，优势度指数与海拔正相关，至 600m 左右达到峰值，随后优势度与海拔呈负相关。均匀度指数的海拔梯度上呈带一个中峰的总体递增格局，模型解释力为 78.2%（ $R^2=0.66$, $P<0.01$ ）。在 200-500m 海拔范围内，均匀度指数与海拔呈正相关，至 500m 左右达到一个峰值，随后均匀度指数随着海拔的升高降低，至 900m 后均匀度指数又随着海拔的上升缓慢升高。

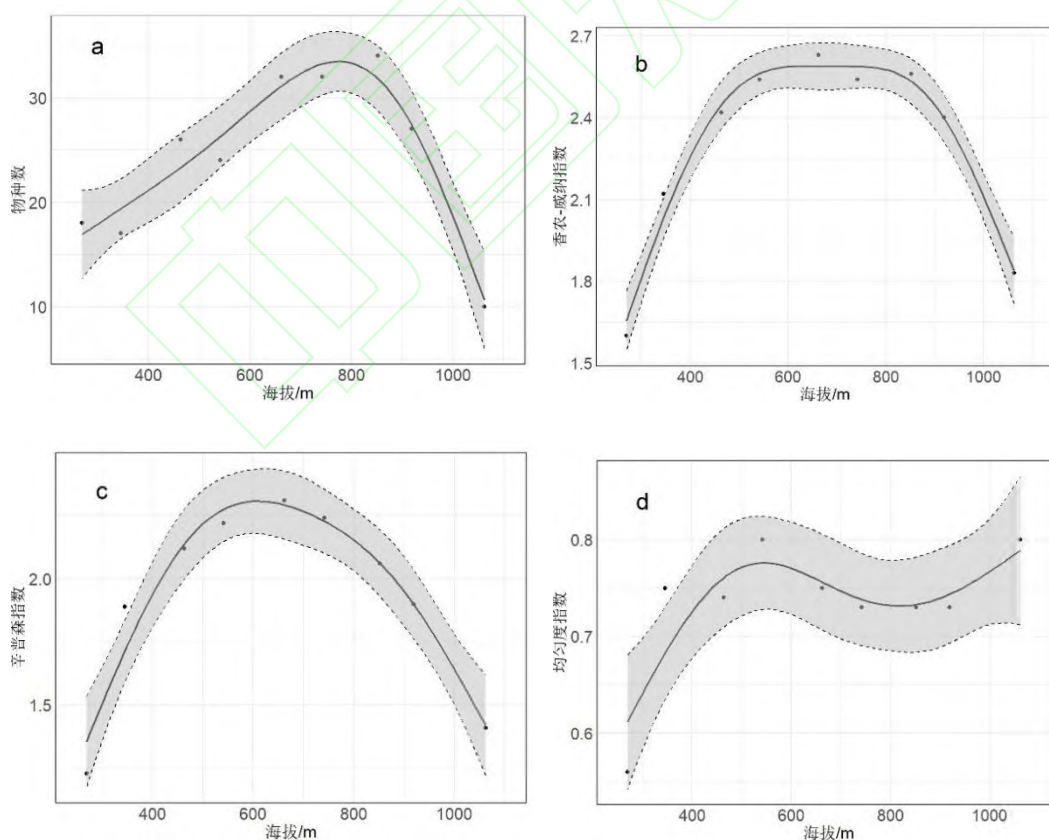


图 4 高望界鸟兽物种多样性指数随海拔梯度的变化

Fig.4 Variation of the diversity index of birds and mammals in Gaowangjie National Nature Reserve with altitude gradient

包括物种数 (a)、香农-威纳指数(b)、优势度指数(c)、均匀度指数(d)。实点表示观测的 α 多样性指数，黑色实线表示模型预测的 α 多样性指数，灰色填充区域表示模型预测的 95%置信区间

3.4 区域与季节差异

通过使用 Kruskal-Wallis 检验分析全年及各季节不同功能区的兽类和鸟类物种多样性指数，结果显示，不同功能区对鸟类和兽类的物种多样性指数没有显著影响。这表明功能区对物种多样性的影响较小。然而，通过 Friedman 检验发现，兽类和鸟类的物种多样性指数在季节间存在显著的差异(兽类： $\chi^2=19.340$, $df=3$, $p<0.001$; 鸟类： $\chi^2=8.170$, $df=3$, $p=0.043<0.05$)。进一步基于 Wilcoxon 检验对兽类各季节间的两两比较分析显示，春季的物种多样性指数显著高于其他三个季节，而冬季的物种多样性指数与其他三个季节存在显著性差异。对于鸟类的季节间比较分析发现，冬季的物种多样性指数显著低于其他三个季节。

表 3 高望界国家级自然保护区全年及不同季节各功能区香农-威纳指数

Table 3 Shannon-Wiener index of each functional area of Gaowangjie National Nature Reserve throughout the year and in different seasons

物种	季节	多样性指数 Diversity index				χ^2	p
		核心区	缓冲区	实验区	合计		
		Core area	Buffer zone	Experimental area	Total		
兽类 <i>Beasts</i>	春季	0.84220 ±0.48931	0.77989 ±0.50135	0.95976 ±0.48603	1.71536 ±8.38345 ^a	1.015	0.602
	夏季	0.98925 ±0.46149	0.76167 ±0.41359	0.80587 ±0.53379	0.89709 ±0.47177 ^b	5.096	0.078
	秋季	1.00415 ±0.50970	0.87908 ±0.56056	0.89811 ±0.46507	0.95429 ±0.52128 ^c	0.856	0.652
	冬季	0.21361 ±0.30434	0.35080 ±0.44510	0.23105 ±0.32675	0.68049 ±2.16064 ^{abc}	0.398	0.819
	全年	1.21199 ±0.43788	1.05871 ±0.49310	1.21275 ±0.45571	1.16832 ±0.46236	2.078	0.354
鸟类 <i>Birds</i>	春季	0.53040 ±0.42125	0.55089 ±0.47288	0.77329 ±0.58998	0.57500 ±0.47460 ^a	0.893	0.640
	夏季	0.35088 ±0.46663	0.45501 ±0.41047	0.75239 ±0.70587	0.61167 ±1.33264 ^b	1.870	0.393
	秋季	0.61437 ±0.52067	0.50758 ±0.45070	0.61828 ±0.57254	0.58719 ±0.51524 ^c	0.318	0.853
	冬季	0.13950 ±0.26279	0.34657 ±0.34657	0.54931 ±0.54931	0.23440 ±0.36897 ^{abc}	1.562	0.458

表中数据为“平均值±标准差”；同类物种合计后有相同小写字母表示该季节间差异显著（ $P<0.05$ ）

4 讨论

陆栖大中型兽类和鸟类作为生态系统中不可或缺的重要组成部分,对生态系统的功能和稳定性起着关键作用^[36]。由于中大型动物更容易受到人为活动干扰和气候变化的影响,相较于小型动物,它们面临更高的灭绝风险^[37]。近年来,湖南省内及附近多个保护区开展了鸟兽资源调查^[38-41],而高望界国家级自然保护区仅2014年刘芳等^[42]开展过相关研究。

与刘芳等采用红外相机技术的调查研究相比,兽类方面新记录到5个物种,分别是隐纹花松鼠、珀氏长吻松鼠、红白鼯鼠、小鹿和马来豪猪。有3个物种未被记录到,分别是黄鼬(*Mustela sibirica*)、赤腹松鼠(*Callosciurus erythraeus*)和银星竹鼠(*Rhizomys pruinosus*)。因中华竹鼠和银星竹鼠的体型、外观相似,以前记录的可能是银星竹鼠。在鸟类方面,新记录到12个物种,分别是山斑鸠、珠颈斑鸠、丘鹑、橙头地鸫、宝兴歌鸫、锈脸钩嘴鹟、大嘴乌鸦、蛇雕、松雀鹰、黄嘴栗啄木鸟、黄腹山雀、乌鸫,有7个物种未被记录到,分别是黄臀鹌(*Pycnonotus xanthorrhous*)、红嘴相思鸟(*Leiothrix lutea*)、栗耳鹌(*Emberiza fucata*)、斑胸钩嘴鹟(*Pomatorhinus gravivox*)、灰头鸫(*Turdus rubrocanus*)、白眉鸫(*Turdus obscurus*)、灰翅噪鹛(*Garrulax cineraceus*)。鉴于两次调查相机放置的位置不同,导致生境差异,以及红外相机对鸟类拍摄本身存在较大的偶然性^[43],这些因素共同导致了两次调查结果中鸟类组成的差异。

红外相机作为一种非侵扰性监测工具,在物种监测中展现出独特的优势,特别适用于调查监测兽类及地栖性鸟类,然而,其在物种多样性监测中的应用也存在一定局限性^[44]。本次调查中,虽然拍摄到的兽类物种数相对较少,但是独立有效照片数却远大于鸟类,此外,地栖性鸟类如白颈长尾雉、红腹锦鸡有较高的相对丰富度,说明红外相机技术对物种的拍摄有一定的倾向性,为了更全面地了解野生动物种群,今后需结合多种调查方法,如录音设备、样线调查等,以弥补红外相机的不足^[45],有助于获得更全面、准确的物种多样性数据,从而更有效地进行生物多样性的监测和保护工作。

通过物种的海拔分布发现,保护区境内中的兽类主要分布在中海拔地区,该结果与同属武陵山区的八大公山自然保护区^[46]相似。这种分布特点与保护区的地貌格局密切相关,由于该保护区高海拔主要以人工林为主,植被单一,不利于大中型的兽类的繁衍和生存,而低海拔地区,由于人为耕作的影响,生境遭受破坏,导致栖息地碎片化,且人为干扰严重,从而使保护区境内大中型兽类数量很少,难见其踪影。有研究发现大型兽类的缺失会对生态系统产生一定的影响^[47-48],未来需要重点加强对保护区内大型兽类的监测和评估。

本研究结果表明该保护区兽类和地栖性鸟类的物种丰富度在海拔上呈现典型的中峰格局,这一结果与国内外很多地区的研究结果一致。不同海拔上的野生动物分布格局的差异本

质上反映了物种对适应生境的偏好程度^[49]，这种偏好差异在不同的地区或海拔上会有所不同，但是中间海拔段的物种多样性往往较高^[50]。例如李义明等^[51](2003)和吴永杰等^[52](2012)分别对神农架和贡嘎山东坡的哺乳动物进行研究，均发现中段海拔的哺乳动物多样性最丰富。然而，除了海拔因素对物种多样性的影响，坡度、植被情况和林分结构等其他环境因子同样对动物多样性具有重要影响。坡度的变化可以影响水分和光照的分布，从而影响植物的生长和动物的栖息选择^[53]。植被类型的多样性直接关系到可用栖息地的丰富程度，进而影响动物的分布和丰富度。此外，林分结构的复杂性也会影响栖息环境的多样性，为不同物种提供栖息和觅食的机会^[54]。

本研究对物种多样性进行区域与季节差异分析，发现物种多样性指数在季节上的差异显著，而在不同功能区之间的差异性较小，该结果与天津盘山风景名胜區^[55]及云南哀牢山国家级自然保护区^[56]的差异分析结果一致。该保护区属于中亚热带季风湿润气候类型，气候湿润多雨，季风性较明显。冬季温度低，动物活动减少，红外相机拍摄物种数量减少。随着春季的到来，气温回升，物种活动增加，加上季风气候夏季降水多，植物生长繁茂，动物的栖息地和食物来源增加，因此夏季野生动物活动最频繁，进而导致物种多样性指数在季节上的差异显著。且三个功能区之间的气候、地形、植被类型等环境差异较小，因此区域之间物种丰富度的差异性较小。

在野外调查期间，我们多次发现设置陷阱捕获野生动物的现象。此外，红外相机除拍摄野生动物外，还记录了一些家养动物（如猪、狗、山羊等）的活动。这表明保护区内仍然存在进山放牧或者违法打猎的行为。研究表明，频繁的人为干扰会对野生动物的生存构成严重的威胁^[57-60]，而家禽家畜的存在也会增加野生动物感染疾病的风险^[61]。例如，2023 年的野猪数量明显低于 2022 年，部分当地居民反映野外发现死野猪，可能是由于感染猪瘟导致数量下降。因此，保护区应当加强对打猎行为的打击和放牧的监管，禁止狩猎野生动物，并减少人类活动对野生动物的干扰，为它们提供更大的生存空间。同时，还应加强对野生动物的长期监测和保护，采用更科学的手段来保护该区域内的生物多样性。

5 参考文献

- [1] DÍAZ S,ZAFRA-CALVO N,PURVIS A,*et al.*Set Ambitious Goals for Biodiversity and Sustainability[J].*Science*,2020,370(6515):411-413.
- [2] WATSON J E M,DUDLEY N,SEGAN D B,*et al.*Exceptional Biodiversity and Conservation Value of the World's Largest Protected Areas[J].*Nature Ecology & Evolution*,2018,2(4):599-606.
- [3] 田书荣,李赫文,蒋博文等.湖南壶瓶山国家级自然保护区哺乳动物多样性的时空格局[J].*兽类学报*,2020,40(1):87-95.[TIAN Shu-rong,LI He-wen,JIANG Bo-wen,*et al.*Spatial and Temporal Pattern of Mammal Diversity in Hupingshan National Nature Reserve[J].*Acta Theriologica Sinica*,2020,40(1):87-95.]

- [4] 李叶,石永红,许显金,等.利用红外相机技术对青海省布尔汗布达山非保护地鸟兽多样性的初步调查[J].林业科学,2022,58(12):155-163.[Li Ye,Shi Yong-hong,Xu Xian-jin,*et al.* Preliminary Survey on the Diversity of Mammalian and Avian in the Non-Protected Area of Burhan Buda Mountain,Qinghai Province,with Infrared Camera-Trapping Technology[J].Scientia Silvae Sinicae,2022,58(12):155-163.]
- [5] 马堆芳,孙章运,胡大志等.基于红外相机技术对甘肃祁连山国家级自然保护区哺乳动物多样性的初步调查[J].兽类学报,2021,41(1):90-98.[MA Dui-fang,SUN Zhang-yun,HU Da-zhi,*et al.* Camera-trapping Survey of the Mammal Diversity in the Qilian Mountains National Nature Reserve,Gansu Province[J].Acta Theriologica Sinica,2021,41(1):90-98.]
- [6] 张自亮,龙菊美.湖南高望界国家级自然保护区钟萼木种群分布原因初探[J].湖南林业科技,2017,44(5):88-93.[ZHANG Zi-liang, LONG Ju-Mei. Preliminary Study on the Distribution of *Bretschneidera Sinensis* Populations in the Gaowangjie National Nature Reserve of Hunan[J].Hunan Forestry Science and Technology,2017,44(5):88-93.]
- [7] 向颖,刘素群,黄兴龙,等.湖南高望界国家级自然保护区及其周边蝶类多样性与影响因素[J].生物多样性,2020,28(8):940-949.[XIANG Ying,LIU Su-qun,HUANG Xing-long,*et al.* Butterfly Diversity and its Influencing Factors in the Hunan Gaowangjie National Nature Reserve and its Surrounding Area[J].Biodiversity Science,2020,20(28):940-949.]
- [8] 曹巧,曾德武,刘娜,等.高望界国家级自然保护区野生观赏植物资源调查分析[J].中国野生植物资源,2020,39(5):58-62+78.[Cao Qiao,Zeng De-wu,Liu Na,*et al.* Investigation and Analysis on Wild Ornamental Plant Resources in Gaowangjie National Nature Reserve[J].Chinese Wild Plant Resources,2020,39(5):58-62+78.]
- [9] 陈红,吉晟男,张勘,等.小相岭山系大中型兽类多样性的红外相机调查[J].兽类学报,2022,42(4):461-470.[CHEN Hong,JI Sheng-nan,ZHANG Kan,*et al.* Camera-trapping Survey on Large and Medium-sized Mammal Diversity in the Xiaoxiangling Mountains[J].Acta Theriologica Sinica,2022,42(4):461-470.]
- [10] SMITH A T,解焱.中国兽类野外手册[M].陈延熹,等译.长沙:湖南教育出版社,2009:1-508.
- [11] 约翰·马敬能,卡伦·菲利普斯,等.中国鸟类野外手册[M]卢何芬译.长沙:湖南教育出版社,2000:1-157.
- [12] 郑光美.中国鸟类分类与分布名录[M].3版.北京:科学出版社,2017:1-492.
- [13] 蒋志刚,刘少英,吴毅,等.中国哺乳动物多样性(第2版)[J].生物多样性,2017,25(8):886-895.[JIANG Zhi-gang,LIU Shao-ying,WU Yi,*et al.* China's Mammal Diversity(2nd Edition)[J].Biodiversity Science,2017,25(8):886-895.]
- [14] 国家林业和草原局政府网.国家重点保护野生动物名录[EB/OL].(2021-02-01)[2024-01-27].<https://www.forestry.gov.cn/main/3457/20210205/122612568723707.html>
- [15] International Union for Conservation of Nature.The IUCN Red List of Threatened Species[EB/OL]. [2024-02-02]. <https://www.iucnredlist.org>.
- [16] 国家林业和草原局政府网,农业农村部.有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录[EB/OL].(2023-06-26)[2024-02-02].<https://www.forestry.gov.cn/search/509640>.

- [17] 生态环境部,中国科学院.中国生物多样性红色名录--脊椎动物卷(2021)[EB/OL].(2023-05-19)[2024-02-02].https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk/xxgk01/202305/t20230522_1030745.html.
- [18] O'BRIEN T G,KINNAIRD M F,WIBISONO H T.Crouching Tigers,Hidden Prey:Sumatran Tiger and Prey Populations in a Tropical Forest Landscape[J].Animal Conservation,2003,6(2):131-139.
- [19] 张如梅,张庆,杨逍,等.高山生态系统哺乳动物多样性时空分布格局——以大熊猫国家公园雪宝顶片区为例[J].兽类学报,2023,43(5):533-543.[ZHANG Ru-mei,ZHANG Qing,YANG Xiao,*et al*.Spatial and Temporal Distribution Patterns of Mammal Diversity in Alpine Ecosystems: a Case Study in Xuebaoding Area of Giant Panda National Park[J].Acta Theriologica Sinica,2023,43(5):533-543.]
- [20] 陈立军,肖文宏,肖治术.物种相对多度指数在红外相机数据分析中的应用及局限[J].生物多样性,2019(27):243-248.[Chen Li-jun,Xiao Wen-hong,Xiao Zhi-shu.Limitations of Relative Abundance Indices Calculated From Camera-trapping Data[J].Biodiversity Science,2019(27):243-248.]
- [21] SHANNON C E.A Mathematical Theory of Communication[J].Bell Systems Technical Journal,1948,27(4):623-656.
- [22] PILEOU E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J].Journal of Theoretical Biology,1966,13(2):131-144.
- [23] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法I α 多样性的测度方法(下)[J].生物多样性,1994(4):231-239.[Ma Ke-ping,Liu Yu-ming.Methods for Measuring the Diversity of Biological Communities I α Methods for Measuring Diversity (Part 2)[J].Biological Diversity,1994(4):231-239.]
- [24] HASTIE T J,TIBSHIRANI R J.Generalized additive models[M].America,New York:Routledge,1990.
- [25] 温仲明,赫晓慧,焦峰,等.延河流域本氏针茅(*Stipa Bungeana*)分布预测——广义相加模型及其应用[J].生态学报,2008(1):192-201.[Wen Zhong-ming,He Xiao-hui,Jiao Feng,*et al*.The Predictive Distribution of *Stipa Bungeana* in Yanhe River Catchment:GAM Model and its Application[J].Acta Ecologica Sinica,2008(1):192-201.]
- [26] 陶夏秋,崔绍朋,蒋志刚,等.新疆阿勒泰地区爬行动物区系及多样性海拔分布格局[J].生物多样性,2018,26(6):578-589.[TAO Xia-qiu,CUI Shao-peng,JIANG Zhi-gang,*et al*.Reptilian Fauna and Elevational Patterns of the Reptile Species Diversity in Altay Prefecture in Xinjiang,China[J].Biodiversity Science,2018,26(6):578-589.]
- [27] PIANKA E R.The structure of lizard communities.[J]Annual Review of Ecology and Systematics,1973,4:53-74.
- [28] 金吉辉,黄婧雪,邵曰派,等.基于红外相机技术的云南西畴县鸟兽多样性初步研究[J].云南师范大学学报(自然科学版),2021,41(2):34-42. [Jin Ji-hui,Huang Jing-xue,Shao Yu-pai,*et al*.Preliminary Study on the Diversity of Mammals and Birds Based on Camera Trap

- s in Xichou County,Yunnan Province[J].Journal of Yunnan Normal University (Natural Science Edition),2021,41(2):34-42.]
- [29] 李安梅,李言阔,邵瑞清,等.基于红外相机技术分析鼬獾的活动节律[J].动物学杂志,2022,57(2):225-235.[LI An-mei,LI Yan-kuo,SHAO Rui-qing,*et al.*Analysis of Activity Patterns of the Chinese Ferret Badger Using Infrared Camera Technology[J].Chinese Journal of Zoology,2022,57(2):225-235.]
- [30] 杨东东,向定乾.鼬獾[J].经济动物学报,2020,24(4):249.[Yang Dong-dong,Xiang Ding-qian. *Melogale Moschata*[J].Journal of Economic Animal,2020,24(4):249.]
- [31] 赵家乐,龚笑飞,潘江炎,等.浙江遂昌地区同域分布猪獾与花面狸时空生态位比较[J].兽类学报,2024,44(3):297-308.[Zhao Jia-le,Gong Xiao-fei,Pan Jiang-yan,*et al.*Comparative Study on the Spatial and Temporal Niche of the Same Domain Distribution of *Arctonyx collaris* and *Paguma larvata* in Suichang,Zhejiang Province[J].Acta Theriologica Sinica,2024,44(3):297-308.]
- [32] 杜卓芬,蒋勇,余国宝,等.猪獾 8 月最活跃[J].森林与人类,2021,(6):90-91.[Du Zhuo-fen,Jiang Yong,Yu Guo-bao,*et al.**Arctonyx collaris* is Most Active in August[J].Forest & Humankind,2021,(6):90-91.]
- [33] 刘鹏,黄晓凤,顾署生,等.江西官山自然保护区四种雉类的生境选择差异[J].动物学研究,2012,33(2):170-176.[Liu Peng,Huang Xiao-feng,Gu Shu-sheng,*et al.*Habitat selection of four sympatric pheasants in Guanshan National Nature Reserve,Jiangxi,China[J].Zoological Research,2012,33(2):170-176.]
- [34] 王丞,冉伟,杨朝辉,等.梵净山保护区主要雉类的繁殖期栖息地选择与空间分布[J].林业科学,2020,56(11):134-142. [Wang Cheng,Ran Wei,Yang Chaohui,*et al.*Habitats Selection and Spatial Distribution of Main Pheasants in Fanjingshan Reserve during Breeding Period[J].Scientia Silvae Sinicae,2020,56(11):134-142.]
- [35] FEDUCCIA A,CZERKAS S A.Testing the Neoflightless Hypothesis: Propatagium Reveals Flying Ancestry of Oviraptorosaurs[J].Journal of Ornithology,2015(156):1067-1074.
- [36] ABERNETHY K. A.*et al.*Extent and ecological consequences of hunting in central African rainforests in the twenty-first century[J].Philosophical Transactions Of The Royal Society B-biological Sciences,2013,368(1625):20120303.
- [37] DIRZO R,Young H S,Galetti M.*et al.*Defaunation in the Anthropocene[J].Science,2014,345,401-406.
- [38] 赵婷.基于红外相机的湖南八大公山国家级自然保护区兽类物种多样性[D].中南林业科技大学,2021.[Zhao Ting.Analysis of Mammal Species Diversity in Hunan Badagong Mountain National Nature Reserve Based on Infrared Camera[D].Journal of Central South University of Forestry & Technology,2021.]
- [39] 于桂清,康祖杰,刘美斯,等.利用红外相机对湖南壶瓶山国家级自然保护区兽类和鸟类多样性的初步调查[J].兽类学报,2018,38(1):104-112.[YU Gui-qing,KANG Zu-jie,LIU Meisi.*et al.*Preliminary Survey Using Infrared Camera Reveals Fauna and Avifauna Divers

- ity at Hupingshan National Nature Reserve,Hunan,China[J].Acta Theriologica Sinica,2018,38(1):104-112.]
- [40] 蒋博文,贺春容,廖庆义,等.湖南壶瓶山国家级自然保护区鸟类多样性的时空格局[J].生态与农村环境学报,2021,37(8):1050-1058.[Jiang Bo-wen,He Chun-rong,Liao Qing-yi,*et al.* Spatial and Temporal Patterns of Avian Diversity in Hupingshan National Nature Reserve[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2021,37(8):1050-1058.]
- [41] 蒙秉顺,黄小龙,谢波,等.贵州梵净山国家级自然保护区有蹄类动物适宜栖息地分布[J].兽类学报,2023,43(6):664-675.[MENG Bing-shun,HUANG Xiao-long,XIE Bo,*et al.* Distribution of Suitable Habitat for Ungulates in Fanjingshan National Nature Reserve,Guizhou Province[J].Acta Theriologica Sinica,2023,43(6):664-675.]
- [42] 刘芳,宿秀江,李迪强等.利用红外相机调查湖南高望界国家级自然保护区鸟兽多样性[J].生物多样性,2014,22(6):779-784.[LIU Fang,SU Xiu-jiang,LI Di-qiang,*et al.* Using Camera Trap to Investigate Animal Diversity in Hunan Gaowangjie National Nature Reserve [J].Biodiversity Science,2014,22(6):779-784]
- [43] 孙若磊,马号号,虞磊,等.大别山区鸟类多样性与分布初报[J].安徽大学学报(自然科学版),2021,45(3):85-102.[SUN Ruo-lei,MA Hao-hao,YU Lei,*et al.* A Preliminary Report on Bird Diversity and Distribution in Dabie Mountains[J].Journal of Anhui University (Natural Science Edition),2021,45(3):85-102.]
- [44] 曾锦源,胡洁,宋景舒,等.宁夏六盘山国家级自然保护区林下鸟兽多样性调查[J].生态与农村环境学报,2022,38(2):209-216.[Zeng Jin-yuan,Hu Jie,Song Jing-shu,*et al.* A Survey of Mammal and Bird Diversity Using Camera-trapping in Liupanshan National Nature Reserve in Ningxia[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2022,38(2):209-216.]
- [45] 钱磊,李言阔,李佳琦,等.利用红外相机技术调查江西省齐云山国家级自然保护区鸟类和兽类多样性[J].生态与农村环境学报,2022,38(7):890-896.[Qian Lei,Li Yan-kuo,Li Jia-qi,*et al.* Camera-trapping Survey of the Diversity of Mammals and Birds in Qiyunshan National Nature Reserve[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2022,38(7):890-896.]
- [46] 阮向东,陈奕欣,王博宇,等.湖南八大公山国家级自然保护区兽类和鸟类多样性及活动节律调查[J].兽类学报,2023,43(3):342-351.[RUAN Xiang-dong,CHEN Yi-xin,WANG Bo-yu,*et al.* Diversity and Activity Rhythm of Mammals and Birds in the Badagongshan National Nature Reserve,Hunan Inferred through Camera Traps[J].Acta Theriologica Sinica,2023,43(3):342-351.]
- [47] TERBORGH J,LOPEZ L,NUÑEZ P,*et al.* Ecological Meltdown in Predator-free Forest Fragments[J].Science,2001,294(5548):1923-1926.
- [48] DEXTER N,HUDSON M,JAMES S,*et al.* Unintended Consequences of Invasive Predator Control in an Australian Forest:Overabundant Wallabies and Vegetation Change[J].PLOS One,2013,8(8):e69087.
- [49] 宋政,代军,陈娇,等.利用红外相机对四川小河沟自然保护区兽类和鸟类资源的初步监测

- [J].四川动物,2022,41(3):321-332.[Song Zheng,Dai Jun,Chen Jiao,*et al.*Preliminary Investigation on Mammal and Bird Resources Using Camera Traps in the Xiaohegou Nature Reserve,Sichuan[J].Sichuan Journal of Zoology,2022,41(3):321-332.]
- [50] RAHBEK C.1995.The Elevational Gradient of Species Richness:a Uniform Pattern[J].Ecography,18(2):200-205.
- [51] 李义明,许龙,马勇,等.神农架自然保护区非飞行哺乳动物的物种丰富度:沿海拔梯度的分布格局[J].生物多样性,2003(1):1-9.[LI Yi-Ming,XU Long,MA Yong,*et al.*The Species Richness of Nonvolant Mammals in Shennongjia Nature Reserve,Hubei Province,China: Distribution Patterns along Elevational Gradient[J].Biodiversity Science,2003(1):1-9.]
- [52] 吴永杰,杨奇森,夏霖,等.贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局[J].生态学报,2012,32(14):4318-4328.[Wu Yong-jie,Yang Qi-sen,Xia Lin,*et al.*Species Diversity and Distribution Pattern of Non-volant Small Mammals along the Elevational Gradient on Eastern Slope of Gongga Mountain[J].Acta Ecologica Sinica,2012,32(14):4318-4328.]
- [53] 章宇航,周立志.基于 MaxEnt 模型的天马国家级自然保护区啮齿动物生境适宜性评价[J/OL].应用与环境生物学报,1-15[2024-09-08]. [ZHANG Yu-hang,ZHOU Li-zhi.Evaluation of Rodent Habitat Suitability in Tianma National Nature Reserve Based on MaxEnt Model[J/OL].Chinese Journal of Applied and Environmental Biology,1-15[2024-09-08].]
- [54] 张健嵩,陆文朱,汤锦涛,等.云南省永德县繁殖季鸟类多样性[J].生态与农村环境学报,2021,37(11):1423-1429.[ZHANG Jian-song,LU Wen-zhu,TANG Jin-tao,*et al.*Diversity of Birds in Yongde County, Yunnan Province during Breeding Season[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2021,37(11):1423-1429.]
- [55] 张宇硕,卢宪旺,关洪武,等.天津盘山风景名胜区哺乳动物和鸟类多样性[J].野生动物学报,2021,42(3):774-782.[Zhang Yu-shuo,Lu Xian-wang,Guan Hong-wu,*et al.*Diversity of Mammals and Birds of Panshan Scenic Spot,Tianjin City,China[J].Chinese Journal of Wildlife,2021,42(3):774-782.]
- [56] 尹光华,覃忠义,罗文富,等.云南哀牢山国家级自然保护区楚雄州片区大中型兽类和雉类多样性初探[J].兽类学报,2024,44(2):237-246.[Yin Guang-hua,Qin Zhong-yi,Luo Wen-fu,*et al.*Preliminary study on the diversity of medium and large-sized mammals and pheasants at Chuxiong sub-region,Yunnan Ailaoshan National Nature Reserve[J].Acta Theriologica Sinica,2024,44(2):237-246.]
- [57] LI Y H,WAN Y,SHEN H,*et al.*Estimates of wildlife killed by free-ranging cats in China[J].Biological Conservation,2020,253(1):108929.
- [58] 王晓,侯金,张晋东,等.同域分布的珍稀野生动物对放牧的行为响应策略[J].生态学报,2018,38(18):6484-6492.[Wang Xiao,Hou Jin,Zhang Jin-dong,*et al.*Divergent Behavioral Responses of Sympatric Species to Grazing Disturbance[J].Acta Ecologica Sinica,2018,38(18):6484-6492.]
- [59] 周世强,HULL Vanessa,张晋东,等.野生大熊猫与放牧家畜的空间利用格局比较[J].兽类

学报,2016,36(2):138-151.[Zhou Shi-qiang,HULL Vanessa,Zhang Jin-dong,*et al.*Comparative Space Use Patterns of Wild Giant Pandas and Livestock[J].Acta Theriologica Sinica,2016,36(2):138-151.]

- [60] 郭英荣,兰文军,邹思成,等.江西武夷山国家级自然保护区林下鸟类和兽类资源的红外相机监测[J].生物多样性,2021,29(6):811-818.[Guo Yingrong,Lan Wenjun, Zou Sicheng,*et al.*Camera-trapping Survey of Wild Mammals and Ground-dwelling Birds in the Jiangxi Wuyishan National Nature Reserve,Jiangxi Province,China[J].Biodiversity Science,2021,29(6):811-818.]
- [61] 树雪花,尼玛此里,陈捷,等.基于红外相机监测的白马雪山保护区北段鸟兽多样性初探[J].绿色科技,2023,25(4):57-62.[SHU Xuehua,Nima Ci-li,Chen Jie,*et al.*Preliminary Study of Infrared Cameras for Bird and Animal Diversity in the Northern Section of Baima Snow Mountain Reserve[J].Journal of Green Science and Technology,2023,25(4):57-62.]

作者简介: 唐依萍(2003—),女,湖南永州人,本科生,主要研究方向为动物生态学。E-mail:2970652614@qq.com

Attached Table 1 List of Wild Animals Monitored by Infrared Camera in Gaowangjie National Nature Reserve

鲸偶蹄目 Cetartiodactyla

鹿科 Cervidae							
毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>	二级	II	NT	423	82	11.60	
小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	三有		VU	104	9	2.85	
猪科 Suidae							
野猪 <i>Sus scrofa</i>			LC	338	75	9.27	
鸽形目 Columbiformes							
鸠鸽科 Columbidae							
山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>			LC	26	12	2.93	
珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>			LC	3	3	0.34	
鸻形目 Charadriiformes							
鹬科 Scolopacidae							
丘鹬 <i>Scolopax rusticola</i>	三有		LC	3	3	0.34	
鸡形目 Galliformes							
雉科 Phasianidae							
红腹锦鸡 <i>Chrysolophus pictus</i>	二级		NT	168	26	18.92	
勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	二级		LC	10	8	1.13	
灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracicus</i>	三有			17	6	1.91	
白颈长尾雉 <i>Syrnaticus ellioti</i>	一级	I	VU	179	56	20.16	
雀形目 Passeriformes							
八色鸫科 Pittidae							
仙八色鸫 <i>Pitta nympha</i>	二级	II	VU	2	2	0.23	
伯劳科 Laniidae							
棕背伯劳 <i>Lanius schach</i>	三有		LC	4	4	0.45	
鸫科 Turdidae							
橙头地鸫 <i>Geokichla citrina</i>	三有		LC	4	3	0.45	
虎斑地鸫 <i>Zoothera aurea</i>	三有		LC	132	36	14.86	

宝兴歌鸫 <i>Turdus mupinensis</i>	三有		NT	1	1	0.11
灰翅鸫 <i>Turdus boulboul</i>	三有		LC	4	3	0.45
乌鸫 <i>Turdus mandarinus</i>	三有		LC	3	2	0.34
林鹀科 <i>Timaliidae</i>						
锈脸钩嘴鹀 <i>Pomatorhinus erythrogenys</i>			LC	1	1	0.11
棕颈钩嘴鹀 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	三有		LC	8	4	0.90
山雀科 <i>Paridae</i>						
黄腹山雀 <i>Pardaliparus venustulus</i>	三有		LC	4	1	0.45
鹎科 <i>Muscicapidae</i>						
红胁蓝尾鸲 <i>Tarsiger cyanurus</i>	三有		LC	3	3	0.34
紫啸鸫 <i>Myophonus caeruleus</i>	三有		LC	41	17	4.62
鸦科 <i>Corvidae</i>						
松鸦 <i>Garrulus glandarius</i>	三有		LC	12	8	1.35
大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>			LC	1	1	0.11
红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythroryncha</i>	三有		LC	9	9	1.01
燕雀科 <i>Fringillidae</i>						
燕雀 <i>Fringilla montifringilla</i>	三有		LC	6	4	0.68
莺鹋科 <i>Sylviidae</i>						
灰头鸦雀 <i>Psittiparus gularis</i>	三有		LC	4	3	0.45
幽鹋科 <i>Pellorneidae</i>						
灰眶雀鹲 <i>Alcippe morrisonia</i>	三有		LC	31	11	3.49
噪鹋科 <i>Leiothrichidae</i>						
黑领噪鹲 <i>Garrulax pectoralis</i>	三有		LC	193	37	21.73
画眉 <i>Garrulax canorus</i>	二级	II	NT	1	1	0.11
鹰形目 <i>Accipitriformes</i>						
鹰科 <i>Accipitrida</i>						

蛇雕 <i>Spilornis cheela</i>	二级	NT	3	3	0.34
松雀鹰 <i>Accipiter virgatus</i>	二级	NT	1	1	0.11

啄木鸟目 Piciformes

啄木鸟科 Picidae

灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i>	三有	LC	13	7	1.46
黄嘴栗啄木鸟 <i>Blythipicus pyrrhotis</i>	三有	LC	1	1	0.11

-
- 1) 保护等级：“一级”：国家一级保护动物、“二级”：国家二级保护动物、“三有”：有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物
 - 2) cites 名录：“I”：《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录I、“II”：《濒危野生动植物种国际贸易公约》附录II
 - 3) 红色名录：“VU”：易危、“NT”：近危、“LC”：无危
 - 4) 相对丰富度指数：此表中鸟兽相对丰富度指数分开统计计算