

利用红外相机监测大熊猫种群 恢复区域生物多样性

张靖之^① 张玲^② 胡娜金娃^① 戴依江^③ 许家祥^① 苏渊龙^①
杨慧^① 李书宏^③ 孙子晔^① 刘雪华^{①*}

① 清华大学环境学院 北京 100084; ② 中国野生动物保护协会 北京 100714; ③ 清华大学生命科学学院 北京 100084

摘要: 红外相机是一种经典的野生动物观测手段, 具有连续性、非损伤性等一系列优点, 可以很好地应用于对大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 等重要野生动物物种的监测。2018年8月至2020年10月两年多时间, 本研究在位于秦岭山中段的陕西黄柏塬、观音山与佛坪三个国家级自然保护区中的4条沟谷(大南沟、破碾子沟、大古坪岩屋沟及龙潭子岩屋沟)共架设80台红外相机, 对秦岭山中段大熊猫种群恢复区域的野生动物活动情况进行非损伤性监测。监测期间共获得鸟类与兽类影像34514张, 辨认并记录68个物种, 包括兽类21种和鸟类47种, 在此基础上建立野生动物影像数据库, 并利用该数据库分析了监测区域的物种多样性状况。结果显示, 研究区域的生物多样性比较丰富, 各物种丰度分布较为均匀, 鸟类的多样性高于兽类, 而均匀性较低; 在不同沟谷中, 佛坪保护区龙潭子岩屋沟的群落丰富性和均匀性均很高, 但动物绝对数量较少, 有待进一步调查; 观音山保护区破碾子沟的群落丰富性和均匀性则最低, 应关注这一区域的生态恢复工作; 黄柏塬自然保护区大南沟监测到的野生动物总有效照片数与大熊猫有效照片数均最多, 侧面说明其在4条沟谷中生态情况恢复相对较好; 大古坪岩屋沟的兽类活动强度最低, 也应予以一定关注。分别考虑山谷与山脊的监测结果, 则山脊的物种丰富性与均匀性都优于山谷。本研究说明栖息地得到了较好恢复, 丰富了秦岭山中段地区基础生物数据库, 可为未来对该地区的进一步科学研究与生态保护政策制订提供数据支撑。

关键词: 秦岭; 红外相机; 非损伤监测; 生物多样性; 大熊猫

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2023) 05-687-16

Biodiversity Monitoring of a Giant Panda Population Recovery Region with Infrared Cameras

ZHANG Jing-Zhi^① ZHANG Ling^② HU Na-Jin-Wa^① DAI Yi-Jiang^③ XU Jia-Xiang^①
SU Yuan-Long^① YANG Hui^① LI Shu-Hong^③ SUN Zi-Ye^① LIU Xue-Hua^{①*}

① *School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084*; ② *China Wildlife Conservation Association, Beijing 100714*;

③ *School of Life Sciences, Tsinghua University, Beijing 100084, China*

基金项目 原国家林业局大熊猫国际合作专项(2017年项目), 秦岭大熊猫扩散的增长-消减区域的非损伤性监测研究;

* 通讯作者, E-mail: xuehua-hjx@mails.tsinghua.edu.cn;

第一作者介绍 张靖之, 男, 本科生; 研究方向: 生态学; E-mail: zhangjz18@mails.tsinghua.edu.cn.

收稿日期: 2022-09-02, 修回日期: 2023-05-28 DOI: 10.13859/j.cjz.202305005

Abstract: [Objectives] Infrared camera is a classic wildlife observation method with many advantages, including continuity, non-invasiveness, etc. Therefore, it has been widely used in monitoring important wildlife species like Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca*). Giant Panda acts as a flagship species and an umbrella species in Qinling. According to the fourth national survey on Giant Pandas, its population has picked up during 2003-2011 in the Qinling Mountains with the contribution of local ecological recovery. Qinling is not only a major habitat of Giant Panda nowadays, but also holds a Giant Panda population evolutionarily closer to the common ancestor of Giant Panda. Monitoring the Giant Panda population and biodiversity in its habitats is therefore essential for a better understanding towards its distribution, living patterns and protection. This research aims to investigate the wildlife diversity and activities during the Giant Panda population recovery period with prohibition of human activity, and use trapping images and diversity indexes to discuss similarities and differences between the wildlife distribution in the middle Qinling Mountains. **[Methods]** From August 2018 to October 2020, 80 infrared cameras were deployed among 4 valleys (Danangou Valley, Ponianzigou Valley, Dagupingyanwugou Valley and Longtanziyanwugou Valley) located in 3 nature reserves (Huangbaiyuan Nature Reserve, Guanyinshan Nature Reserve and Foping Nature Reserve) to monitor wildlife diversity and activities in the population recovery region of Giant Panda in the middle Qinling Mountains (Fig. 1 and 2, Table 1). All photos and videos were examined, and individual photos and individual richness of each species were counted. Species diversity on overall data (also for mammals and birds separately) and among different valleys was investigated using relative abundance index, rank abundance curve, Shannon-Wiener index and evenness index. Species similarity indices between valleys were calculated. All analyzing methods above were also used separately on data collected in valleys and on ridges. The rank abundance curves were tested by R-squared coefficients. **[Results]** A total of 34 514 bird and mammal images have been collected during the monitoring period, with a total effective working days of 54 240 d. 12 364 individual photos are identified and 10 612 of them can be confirmed into 68 species with 21 mammal species and 47 birds (Appendix 1). Based on this, a wildlife image database is established, with which the species diversity in the monitoring area is analyzed. Reeves's Muntjac (*Muntiacus reevesi*), Wild Boar (*Sus scrofa*) and Tufted Deer (*Elaphodus cephalophus*) are the three most abundant mammals, and Golden Pheasant (*Chrysolophus pictus*), Greater Necklaced Laughingthrush (*Garrulax pectoralis*) and White-throated Laughingthrush (*Garrulax albogularis*) are the three most abundant birds. The rank abundance curve of birds is flatter with a longer tail compared to mammals' (Fig. 3). The Shannon-Wiener index of birds is higher than that of mammals, whilst the evenness index is lower (Table 2). Species are not evenly distributed among valleys. Danangou Valley in Huangbaiyuan Nature Reserve obtains the most individual photos (28.04%), while Longtanziyanwugou Valley in Foping Nature Reserve has the smallest proportion of individual photos (21.75%) (Fig. 4). Shannon-Wiener index and evenness index indicate an overall highest species diversity and evenness in Longtanziyanwugou Valley and the lowest diversity and evenness in Ponianzigou Valley in Guanyinshan Nature reserve, and a comparably high bird diversity and evenness in Dagupingyanwugou Valley in Foping Nature Reserve (Table 3). Species similarity indices of mammals among 4 valleys are significantly higher than those of birds. Ponianzigou Valley and Longtanziyanwugou Valley share the highest species similarity, while Ponianzigou Valley and Dagupingyanwugou Valley have the lowest species similarity (Table 4). Cameras placed on ridges identify more species and individual photos than those

in valleys (Fig. 5). Higher Shannon-Wiener index and evenness index of all species and mammals are also found on the ridges, but the trends of birds are reversed, which might because of their preference of dense forests (Table 5). Species similarity indices between each ridge and valley indicate that species are more similar among different ridges than among different valleys, suggesting potential geographic isolation between valleys (Fig. 6). **[Conclusion]** In conclusion, this study enriches the basic biological database in middle Qinling Mountains, as well as provides data support for further scientific research and ecological protection policy. The biodiversity and species evenness are generally high in research areas. Birds are more diverse (with more species) than mammals but with less evenness and individual photos. Ponianzigou Valley has the lowest biodiversity and evenness among the 4 valleys in accordance with its shortest ecological recovery timespan, which calls for further attention. While Longtanziyanwugou Valley has the highest species diversity and evenness, although its individual photos are the least, which needs further investigation. Dagupingyanwugou Valley has a low mammal activity level, and more targeted protection measures are required. A total of 37 individual photos of Giant Panda were shot, with over 80% in Danangou Valley and none in Longtanziyanwugou Valley, reflecting substantial ecological recovery in Danangou Valley.

Key words: Qinling Mountains; Infrared camera; Non-invasive monitoring; Biodiversity; Giant Panda, *Ailuropoda melanoleuca*

红外相机是经典的野生动物数据采集手段之一,最早由 Pearson (1959) 提出可以用于动物的野外监测,由于其具有全天候连续工作、隐蔽性好、对动物个体和栖息地无损伤、受环境条件和研究人员素质的限制相对较小等特征,一直以来在生态保护建设中发挥着重要作用。我国过去数十年间诸多野生动物的记录和研究,如东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 和东北豹 (*P. pardus orientalis*) (王天明等 2020)、雪豹 (*Uncia uncia*) (Ma et al. 2006)、帚尾豪猪 (*Atherurus macrourus*) (Wen et al. 2014)、野猪 (*Sus scrofa*) (王长平等 2015) 等共位群物种的研究 (贾晓东等 2014),以及伴生物种的研究 (Liu et al. 2017) 都依赖于红外相机的布设。

大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 是世界生物多样性保护的旗舰物种,也是我国的国家一级重点保护野生动物,现今仅分布于陕西、甘肃和四川三省 (唐小平等 2015)。其中陕西秦岭为大熊猫主要分布的山系之一,并且秦岭的大熊猫演化速度较慢,在遗传上更加接近该物种的原始祖先,在生物演化领域上具有丰富

的研究意义 (万秋红 2003)。在 1999 至 2003 年的全国第三次大熊猫调查后,于 2011 至 2014 年展开了全国第四次大熊猫调查,根据调查结果,秦岭大熊猫的种群数量增加了 20% 以上,其栖息地面积也达到了 37 万 hm^2 以上 (唐小平等 2015),其中秦岭山系中段长青、佛坪、老县城、黄柏塬、牛尾河自然保护区一带大熊猫种群密度较高且增长较大,其生态恢复情况有较高的研究价值。

除了兼具特殊的演化历史背景和生理行为特征,大熊猫也是典型的伞护种 (Lambeck 1997),其所处的自然环境是我国重要的野生动物栖息地。秦岭大熊猫的伴生动物主要包括野猪、中华鬣羚 (*Capricornis sumatraensis milneedwardsii*)、中华斑羚 (*Naemorhedus griseus*)、川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellana*)、小麂 (*Muntiacus reevesi*)、豪猪 (*Hystrix brachyuran*)、黄喉貂 (*Martes flavigula*)、猪獾 (*Arctonyx collaris*) 和豹猫 (*Prionailurus bengalensis*) 等 (胡锦涛等 2007),其中,如中华鬣羚等物种也属于国家重点保护动物,具有较高的研究价值。对大熊猫的保护措施也使这些物种受益。

本文的目的是以架设红外相机的非损伤式手段，监测 2018 至 2020 年秦岭山系中段大熊猫种群恢复区域的野生动物活动情况，并通过计算其丰富度、均匀度等来分析其物种多样性，监测其在研究区域内不同沟谷中的分布情况，讨论在大熊猫种群增长并扩散的背景下秦岭山系中段地区，尤其是人类干扰停止后种群恢复区域的物种多样性特点和异同。

1 研究方法

1.1 研究区域与红外相机点位

本研究选取 4 条沟谷作为红外相机监测区域，分属秦岭山系中段的黄柏塬自然保护区、观音山自然保护区与佛坪自然保护区，具体信息与其地理位置见表 1 和图 1。

本研究在上述 4 条选定的沟谷中布设红外

表 1 红外相机监测地点概况与地理信息

Table 1 Basic and geographical information of infrared camera monitoring regions

| 区域地名 Regions | 海拔 Altitude (m) | 经纬坐标 Coordinate | 所属保护区 Nature Reserve |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------|---|
| 大南沟 Danangou Valley | 1 495 - 1 808 | 33°44'55" N, 107°32'49" E | 陕西黄柏塬国家级自然保护区 Shaanxi Huangbaiyuan National Nature Reserve |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | 1 543 - 1 892 | 33°43'39" N, 107°54'15" E | 陕西观音山国家级自然保护区 Shaanxi Guanyinshan National Nature Reserve |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | 1 120 - 1 687 | 33°34'28" N, 107°44'59" E | 陕西佛坪国家级自然保护区 Shaanxi Foping National Nature Reserve |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | 1 221 - 1 706 | 33°32'16" N, 107°53'57" E | |



图 1 监测地点地理位置示意

Fig. 1 Illustration of the monitoring area with four monitored valleys

相机，采用样线法分别沿山谷与山脊布设，每条沟谷的山谷和山脊各布设 10 台相机，合计布设 80 台，布设区域海拔范围为 1 120 ~ 1 892 m，山谷与山脊落差在 350 ~ 500 m 左右，植被类型以落叶阔叶林、针阔混交林与竹林为主，主要竹类为巴山木竹 (*Bashania fargesii*) (Liu et al. 2017)。4 条沟谷均受到过不同程度的人为干扰，并有生态恢复保育工作先后在各沟谷开展至今，其中以破碾子沟所受干扰最为严重，大南沟所受干扰最轻，大古坪岩屋沟与龙潭子岩屋沟所受干扰居中。综合过往经验判断，选取野生动物活动痕迹较多及水源等野生动物生境主要组成部分附近架设相机，拍摄区域多有巴山木竹分布，架设地点不影响野生动物正常活动，每条样线上相机间距均在 50 ~ 1 000 m 之

间，架设地点具体位置见图 2。

本研究中布设的红外相机为被动式红外相机，架设位置距离地面 1 m 左右高度，镜头与地面平行。根据红外线探头的阻挡情况触发拍摄，有适用于弱光源情况下（如夜间、阴天、林冠覆盖等）拍摄的特殊模式。

1.2 数据处理与分析

本研究每季度回收一次红外相机拍摄的图片与视频数据。红外相机拍摄模式为触发后进行两次相隔 1 s 的连续照相和一段 10 s 的视频录制。

对于所获得数据的处理，主要采取人工处理为主、相机配套软件辅助的方式。处理的内容包括未拍摄到野生动物的无效照片审查和排除、物种鉴定及其数量统计、照片附加信息（如

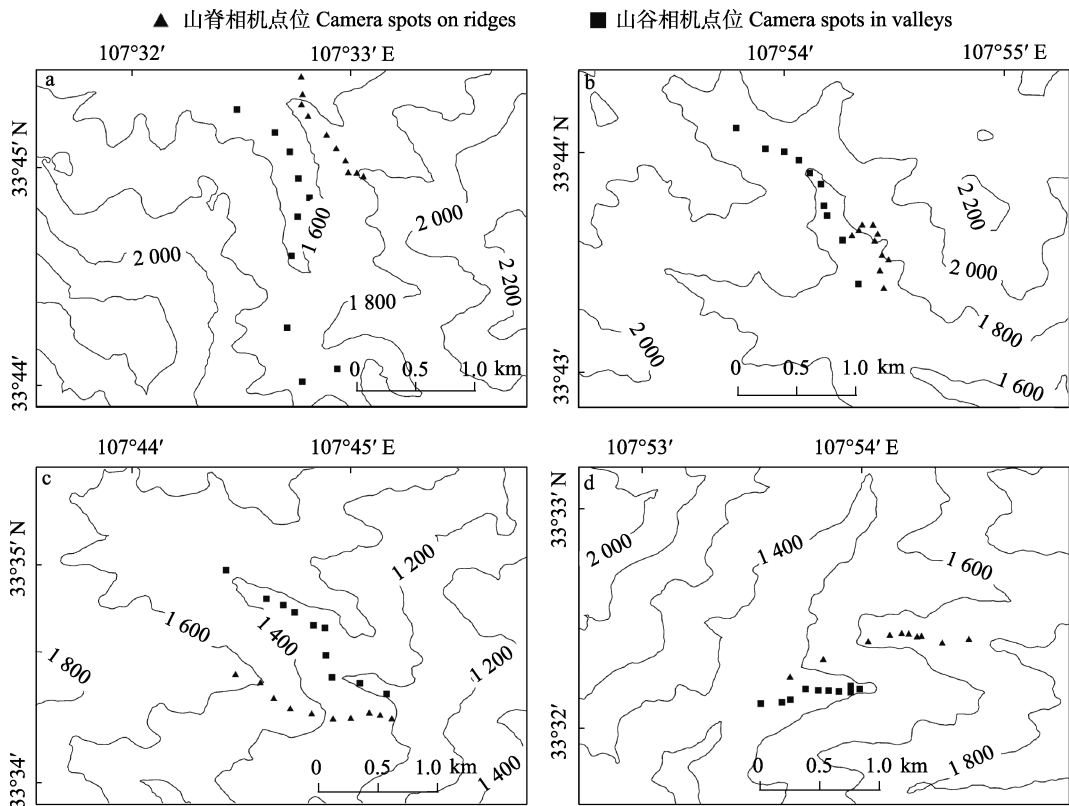


图 2 红外相机架设位置示意

Fig. 2 Infrared camera trapping locations

a 大南沟; b. 破碾子沟; c. 大古坪岩屋沟; d. 龙潭子岩屋沟。

a. Danangou Valley; b. Ponianzigou Valley; c. Dagupingyanwugou Valley; d. Longtanziyanwugou Valley.

时间、温度、月相等)的勘误和录入等。

在此基础上,为确保后续数据分析的合理性,还进行有效照片整理,以避免同一动物个体短时间内在观测范围中反复出现影响数据分析。具体规则如下:对拍摄到的照片与视频做相同处理,将 30 min 内拍摄的另一生物计为同一个体,只记录一张质量最好、动物最清晰的有效照片或截取视频中动物照片,不进行重复录入;若照片内个体数量有差异则以个体数量最多的照片为有效照片(O'Brien et al. 2003)。

在通过上述方法处理得到野生动物监测数据后,计算有效个体数与有效照片数之比 R ,以此部分表征物种的群居程度,并将物种名录与监测区域以往研究结果中的物种名录(刘雪华等 2020)进行对比,随后从多种角度出发开展生物多样性分析。

1.2.1 相对丰度指数分析 物种的相对丰度指数(relative abundance index, I_{RAI})能够反映生境内各物种的相对丰富程度: $I_{RAI} = 100A_i/N$,式中, A_i 为物种 i 出现的有效照片数, N 为有效照片总数。

物种相对丰度指数值更高可部分说明该物种在研究区域相对数量更多或更活跃,本研究将选取有效照片数最多的 12 种兽类与 13 种鸟类作为研究区域主要物种,重点分析其相对丰度指数。出于物种判定准确度的考虑,不选取啮齿类动物作为主要物种。另外,大熊猫作为研究区域的重要物种也一并进行分析。在分析时,将物种个体数量的名次作为横坐标,物种个体数量以对数形式作为纵坐标绘制丰度等级曲线(rank-abundance curve)(Whittaker 1965),该曲线越平滑,表明研究区域的物种相对数量越均匀。

1.2.2 Shannon-Wiener 多样性指数分析 计算研究区域内的 Shannon-Wiener 多样性指数(H): $H = -\sum_i [P_i \ln(P_i)]$,式中, P_i 为物种 i 的个体数占总个体数比例,该指数从信息学角度反映了研究区域的野生动物多样性(金翠霞等 1981)。而统计物种数后,又可以计算最大多样

可能性: $H_{max} = \ln S$,式中, S 为物种总数,进而计算总体均匀性: $E = H/H_{max}$,后者表征了研究区域的物种分布均匀程度。

1.2.3 不同沟谷的物种分布分析 以每条沟谷为单元对物种地域划分,并将山脊、山谷分开处理,对物种在每个区域出现的频次进行相对丰度与物种多样性的统计分析,以探究不同物种的主要分布地区及活动范围。同时计算 4 条沟谷的物种组成相似性系数: $I_{MN} = 2c/(m+n)$,式中, I_{MN} 为沟谷 M 与沟谷 N 的相似性系数, m 与 n 分别为沟谷 M 与沟谷 N 的物种数, c 为沟谷 M 与沟谷 N 共有的物种数。 I_{MN} 表征了两个研究区域的物种组成相似程度。

2 结果

2.1 物种名录与有效照片分析

本研究于 2018 年 8 月至 2020 年 10 月在秦岭山系中段按计划架设了 80 台相机,拍摄到野生动物照片总计 34 514 张,总相机有效工作日为 54 240 d,所有样线的相机有效工作日均相同,各沟谷采样强度相当。经过有效照片整理,共得到有效照片 12 364 张,拍摄到动物个体 14 791 个,可鉴定出具体物种的照片 10 612 张,动物个体 12 997 个,可识别物种数 68 种,其中兽类 21 种,鸟类 47 种。所识别出的物种中包括世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)红色名录中的 3 个近危级(near threatened, NT)物种、4 个易危级(vulnerable, VU)物种和 2 个濒危级(endangered, EN)物种,以及 9 个中国特有物种。部分难以辨认具体物种的照片可辨认到其所属的生物分类,包括松鼠科(1 156 张)、鼠亚目其余物种(253 张)、鹿科(40 张)、翼手目(1 张)、鼬科(1 张)、鸮形目(5 张)、鸦科(1 张)和雉科(2 张)。所辨认出物种的名录、总有效照片数、总有效个体数与相对丰度指数见附录 1。观测到的物种中既有川金丝猴($R = 2.14$)、白喉噪鹛(*Garrulax albogularis*)($R = 2.60$)等偏好群居的物种,也有猪獾($R =$

1.00)、紫啸鸫(*Myophonus caeruleus*)($R = 1.00$)等偏好独居的物种, 总有效个体数与总有效照片数之比 R 为 1.20。兽类有效照片数最多的三个物种是小鹿、野猪与毛冠鹿(*Elaphodus cephalophus*), 其有效照片数总和占兽类总有效照片数 45.83%; 鸟类有效照片数最多的三个物种是红腹锦鸡(*Chrysolophus pictus*)、黑领噪鹛(*Garrulax pectoralis*)与白喉噪鹛, 其有效照片数总和占鸟类总有效照片数 46.64%。按前述方法, 选取 25 种研究主要物种, 以及大熊猫作为重要研究物种(附录 1)。在以往监测到, 但此次未监测到的物种共 7 种兽类和 35 种鸟类, 兽类包括黄腹鼬(*Mustela kathiah*)、水獭(*Lutra lutra*)、金钱豹(*Panthera pardus*)、金猫(*Catopuma temminckii*)以及 3 种松鼠, 鸟类包括中国特有物种宝兴歌鸫(*Turdus mupinensis*)、黄腹山雀(*Pardaliparus venustulus*)与蓝鹀(*Emberiza siemsseni*)等。在本次监测中新出现的物种有 1 种兽类和 20 种鸟类(附录 1)。

2.2 研究区域野生动物多样性与均匀度分析

根据得到的野生动物数据, 分别绘制兽类与鸟类丰度等级曲线(图 3)。兽类物种数较少, 曲线在 x 轴上跨度较小, 而丰度等级曲线更为陡峭, $R^2 = 0.9197$ 。鸟类物种数较多, 丰度等级曲线更为平缓, $R^2 = 0.9226$, 由于多个鸟类物种仅被拍摄到 1 次, 形成较长的拖尾。

计算拍摄到野生动物的 Shannon-Wiener 多样性指数以及均匀度指数(表 2)。研究区域总体的 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.942, 而鸟类的物种数更多, Shannon-Wiener 多样性指

数相较兽类高, 均匀度指数则低于兽类。

2.3 不同沟谷的物种分布与差异

按有效照片数统计各物种在 4 条沟谷各自的出现频次, 各沟谷有效照片数占总有效照片数比例由高到低排序为: 大南沟(28.04%)、破碾子沟(26.52%)、大古坪岩屋沟(23.69%)、龙潭子岩屋沟(21.75%)。4 条沟谷的总有效个体数与总有效照片数之比 R 依次为: 1.21、1.17、1.20 与 1.35。25 种主要物种以及大熊猫在 4 条沟谷的出现频次见图 4。

部分物种在各沟谷间的分布较为不均。兽类中, 大南沟观测到超过 50% 的马来豪猪(*Hystrix brachyura*)和中华斑羚; 类似地, 大古坪岩屋沟观测到较多的果子狸(*Paguma larvata*); 龙潭子岩屋沟则观测到较多的黄喉貂、猪獾与豹猫。与此相反, 龙潭子岩屋沟几乎没有小鹿(0.1%)这一常见物种的出现, 而

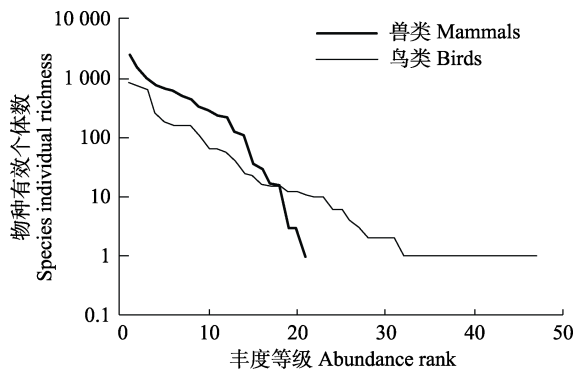


图 3 秦岭山系中段 4 条沟谷的野生动物丰度等级曲线

Fig. 3 Rank-abundance curve of wild animals in research area in four valleys in the middle Qinling Mountains

表 2 秦岭山系中段 4 条沟谷的整体 Shannon-Wiener 多样性指数与均匀度指数

Table 2 Overall Shannon-Wiener index and evenness index in four valleys in the middle Qinling Mountains

| 物种类别 Species categories | 物种数 Species number S | Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener index H | Shannon-Wiener 多样性指数最大值 Maximum Shannon-Wiener index H_{max} | 均匀度指数 Evenness index E |
|----------------------------|---------------------------|--|---|-----------------------------|
| 兽类 Mammal | 21 | 2.336 | 3.045 | 0.733 |
| 鸟类 Bird | 47 | 2.383 | 3.850 | 0.619 |
| 总体 Overall | 68 | 2.942 | 4.220 | 0.697 |

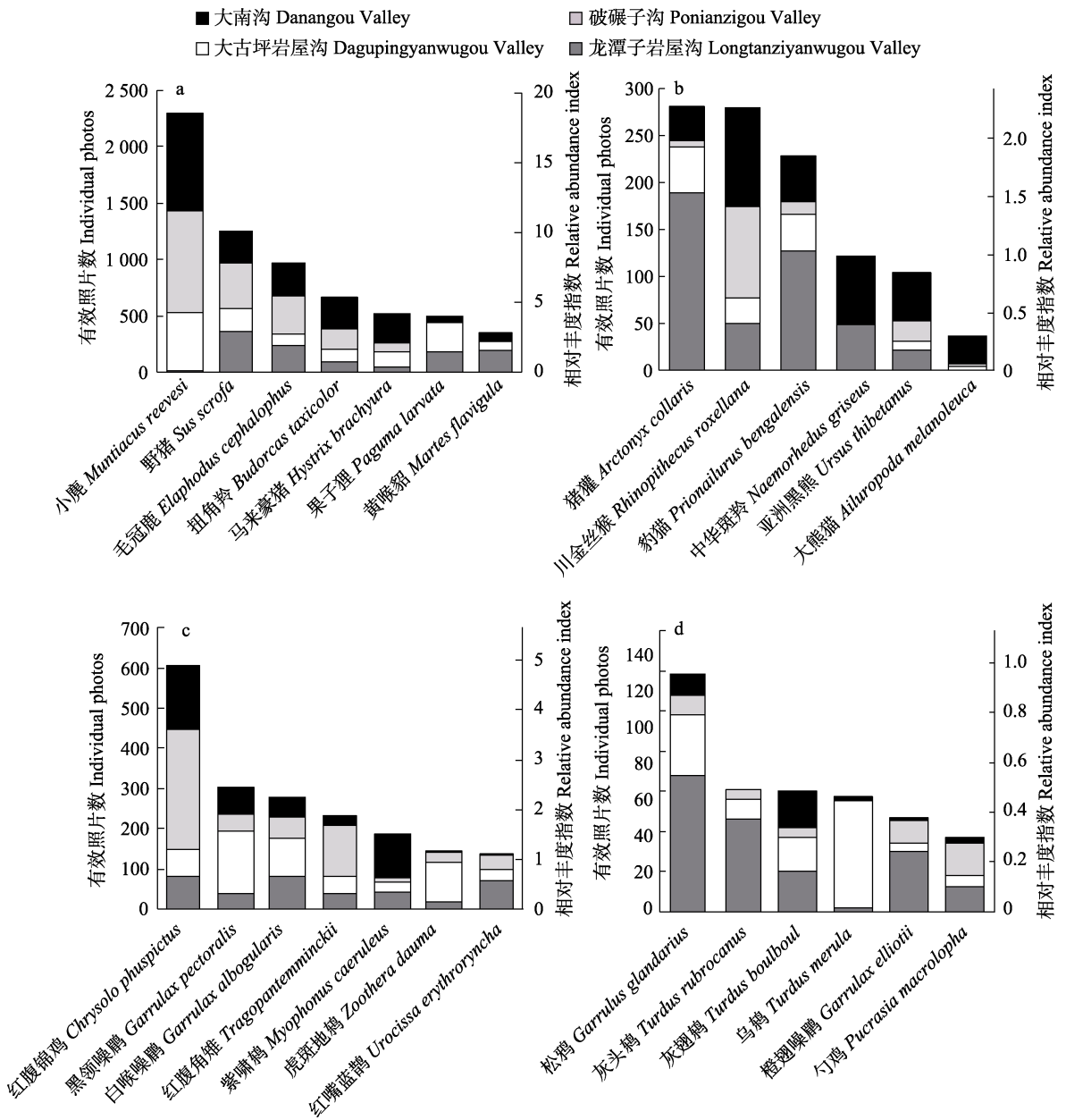


图 4 秦岭山中段 4 条沟谷监测到的主要和重要野生动物有效照片数

Fig. 4 Individual photos of predominant and important wildlife monitored in four valleys in the middle Qinling Mountains

a. 有效照片数大于 300 的主要兽类; b. 有效照片数不超过 300 的主要兽类与大熊猫; c. 有效照片数大于 120 的主要鸟类; d. 有效照片数不超过 120 的主要鸟类。

a. Predominant mammals with more than 300 individual photos; b. Predominant mammals with no more than 300 individual photos together with Giant Panda; c. Predominant birds with more than 120 individual photos; d. Predominant birds with no more than 120 individual photos.

大古坪岩屋沟、破碾子沟、大南沟中小鹿的出现频次在兽类中均为最高; 类似地, 果子狸

(0.4%) 在破碾子沟鲜有观测, 中华斑羚在破碾子沟 (0.8%) 与大古坪岩屋沟 (0.8%) 均鲜

有观测。鸟类中, 大南沟观测到超过 50% 的紫啸鸫; 类似地, 破碾子沟观测到较多的红腹角雉 (*Tragopan temminckii*), 大古坪岩屋沟观测到较多的黑领噪鹛与虎斑地鸫 (*Zoothera dauma*), 且乌鸫 (*Turdus merula*) 在大古坪岩屋沟观测占比超过 90%, 龙潭子岩屋沟观测到较多的红嘴蓝鹊 (*Urocissa erythroryncha*)、松鸦 (*Garrulus glandarius*)、灰头鸫 (*Turdus rubrocanus*) 与橙翅噪鹛 (*Garrulax elliotii*)。灰头鸫未在大南沟出现, 乌鸫则未在破碾子沟出现。对于大熊猫, 大南沟的大熊猫观测占比超过了 80%, 而龙潭子岩屋沟是唯一没有大熊猫记录的沟谷。

对每条沟谷单独计算总体 Shannon-Wiener 多样性指数与均匀度指数, 结果见表 3。龙潭子岩屋沟的 Shannon-Wiener 多样性指数无论按兽类、鸟类分类还是总体而言都是 4 条沟谷中

最高的, 均匀度指数也几乎都是最高的, 仅鸟类均匀度指数略低于大古坪岩屋沟; 破碾子沟的 Shannon-Wiener 多样性指数与均匀度指数都是最低的。大南沟与大古坪岩屋沟的 Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数在兽类中都相近, 大古坪岩屋沟在鸟类中和总体中的 Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数都更高。

计算各条沟谷两两之间物种组成的相似性 (表 4), 依据整体的物种组成, 各条沟谷的兽类物种组成相似度明显高于鸟类, 龙潭子岩屋沟与破碾子沟的组成最为相似, 而大古坪岩屋沟和破碾子沟则相似度最低; 大古坪岩屋沟与大南沟的兽类物种组成最为相似, 而龙潭子岩屋沟与大南沟的物种组成相似度最低; 龙潭子岩屋沟与大南沟的鸟类物种组成更相似, 而相似度最低的是大古坪岩屋沟与破碾子沟。其中, 龙潭子岩屋沟与大南沟的鸟类组成相似度最

表 3 秦岭山系中段 4 条沟谷野生动物的 Shannon-Wiener 多样性指数与均匀度指数

Table 3 Shannon-Wiener index and evenness index of wild animals in four valleys in the middle Qinling Mountains

| | 物种数 Species number <i>S</i> | Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener index <i>H</i> | Shannon-Wiener 多样性指数最大值 Maximum Shannon-Wiener index H_{max} | 均匀度指数 Evenness index <i>E</i> |
|------------------------------------|--------------------------------|---|---|----------------------------------|
| 兽类 Mammals | | | | |
| 大南沟 Danangou Valley | 18 | 2.113 | 0.731 | 2.890 |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | 21 | 1.882 | 0.618 | 3.045 |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | 17 | 2.130 | 0.752 | 2.833 |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | 17 | 2.344 | 0.827 | 2.833 |
| 鸟类 Birds | | | | |
| 大南沟 Danangou Valley | 46 | 2.585 | 0.675 | 3.829 |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | 47 | 2.451 | 0.637 | 3.850 |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | 39 | 2.797 | 0.763 | 3.664 |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | 45 | 2.949 | 0.775 | 3.807 |
| 总体 Overall | | | | |
| 大南沟 Danangou Valley | 46 | 2.585 | 3.829 | 0.675 |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | 47 | 2.451 | 3.850 | 0.637 |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | 39 | 2.797 | 3.664 | 0.763 |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | 45 | 2.949 | 3.807 | 0.775 |

表 4 秦岭山系中段 4 条沟谷物种组成相似性

Table 4 Species similarity between four valleys in the middle Qinling Mountains

| | 大南沟 Danangou Valley | 破碾子沟 Ponianzigou Valley | 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley |
|------------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 兽类 Mammals | | | | |
| 大南沟 Danangou Valley | 1 | 0.923 1 | 0.971 4 | 0.857 1 |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | | 1 | 0.894 7 | 0.894 7 |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | | | 1 | 0.882 4 |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | | | | 1 |
| 鸟类 Birds | | | | |
| 大南沟 Danangou Valley | 1 | 0.666 7 | 0.600 0 | 0.714 3 |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | | 1 | 0.541 6 | 0.703 7 |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | | | 1 | 0.600 0 |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | | | | 1 |
| 总体 Overall | | | | |
| 大南沟 Danangou Valley | 1 | 0.774 2 | 0.752 9 | 0.769 2 |
| 破碾子沟 Ponianzigou Valley | | 1 | 0.697 7 | 0.782 6 |
| 大古坪岩屋沟 Dagupingyanwugou Valley | | | 1 | 0.714 3 |
| 龙潭子岩屋沟 Longtanziyanwugou Valley | | | | 1 |

高，但兽类组成相似度最低。

2.4 山谷与山脊之间的物种分布与差异

按相机架设部位分为山谷与山脊两类，分别统计其拍摄到的有效照片数量。在山谷共拍摄到 52 个可识别物种，其中有 20 种兽类和 32 种鸟类，共 3 516 张有效照片，4 305 个有效个体；在山脊共拍摄到 57 个可识别物种，其中有 20 种兽类和 37 种鸟类，共 7 016 张有效照片，8 692 个有效个体。大多数物种在山脊出现频次高于山谷，26 个主要和重要物种中，在山谷出现更多的仅有扭角羚 (*Budorcas taxicolor*) 1 种兽类与紫啸鸫、红嘴蓝鹊等 5 种鸟类。按兽类与鸟类分别绘制丰度等级曲线 (图 5)，可以直观发现，无论兽类还是鸟类，山脊的丰度等级曲线更偏右、偏上，物种数量与整体有效照片数量均更高，山脊的鸟类丰度等级曲线相较于山谷更为平滑 (R^2 分别为 0.938 7 与 0.905 7)，山谷的兽类丰度等级曲线则更平滑 (R^2 分别为

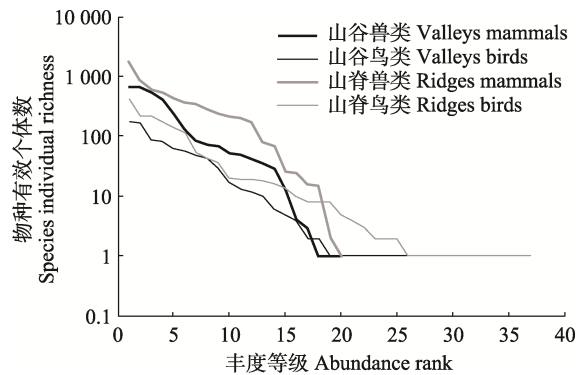


图 5 秦岭山系中段山谷与山脊野生动物丰度等级曲线

Fig. 5 Rank abundance curve of wild animals on valleys and ridges in the middle Qinling Mountains

0.947 7 与 0.886 4)。

依据山谷与山脊野生动物的 Shannon-Wiener 多样性指数以及均匀度指数 (表 5)，兽类在山脊的多样性指数与均匀度均更高，鸟类

表 5 秦岭山系中段山谷与山脊 Shannon-Wiener 多样性指数与均匀度指数

Table 5 Shannon-Wiener index and evenness index of valleys and ridges in the middle Qinling Mountains

| | 物种数 Species number S | Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon- Wiener index H | Shannon-Wiener 多样性指数 最大值 Maximum Shannon-Wiener index H_{\max} | 均匀度 指数 Evenness index E |
|------------|---------------------------------|--|--|------------------------------------|
| 兽类 Mammals | | | | |
| 山谷 Valley | 20 | 2.160 | 2.996 | 0.721 |
| 山脊 Ridge | 20 | 2.330 | 2.996 | 0.778 |
| 鸟类 Birds | | | | |
| 山谷 Valley | 32 | 2.409 | 3.466 | 0.695 |
| 山脊 Ridge | 37 | 2.374 | 3.611 | 0.658 |
| 总体 Overall | | | | |
| 山谷 Valley | 52 | 2.768 | 3.951 | 0.701 |
| 山脊 Ridge | 57 | 2.873 | 4.043 | 0.711 |

情况则相反。总体上依然是山脊的多样性指数与均匀度均更高。

将 4 条沟谷的山脊与山谷分开, 计算两两之间的物种组成相似度 (图 6)。分别考虑鸟类与兽类, 均能发现山谷与山谷间的物种组成相似度总体低于山脊与山脊之间的物种组成相似度, 山谷与山脊之间的物种组成相似度介于两者之间。

3 讨论

3.1 监测区域生物多样性概况与特征

对比监测区域以往研究结果中物种名录 (刘雪华等 2020), 可以发现本次研究未监测到金钱豹与金猫的活动, 可能与其较高的警觉性以及相较竹林更偏好灌丛的生活习性有关; 而鸟类物种与以往研究差异较大, 与鸟类自身的迁徙性较强, 以及相机架设方式决定其仅能拍摄在地面与低矮树木上活动的鸟类而无法拍摄冠层鸟类有关。此外, 过往的研究范围均位于离人类聚居区域较远的山地林中, 而此次监测的 4 条沟谷均受过人类干扰, 在人类活动停止不久后开展监测, 因此观测到的野生动物物种与过去有所差别。总体而言, 研究区域的生

物多样性比较丰富, 均匀度较高, 鸟类的多样性高于兽类, 而均匀性低于兽类, 鸟类物种数多于兽类但总体活动强度更低。

本研究观测到的不同野生动物数量在各条沟谷均有所差异, 一定程度上反映了秦岭山系中段不同动物的空间偏好。无论从整体还是鸟兽的分类来看, 龙潭子岩屋沟的物种丰富性和均匀性均很高, 而破碾子沟则均最低, 但前者的总有效照片数与总有效个体数均少于破碾子沟, 这种多样性与野生动物活动强度不匹配现象背后的原因有待进一步研究; 破碾子沟总有效照片数多但多样性较差, 可能反映了当地环境有所恢复但异质性不足, 这与破碾子沟最新近开展生态恢复、须经历更长时间完成演替的现状相符。李波艳等 (2021) 在受干扰后的实验区内能够观察到生物多样性核心区降低的现象, 与本研究的结果一致。

4 条沟谷的山脊相较于山谷野生动物活动强度更高, 整体物种多样性也更好, 但山谷的鸟类多样性更高, 这与过往在秦岭地区的研究结果一致。王子星等 (2022) 发现, 秦岭南坡兽类物种垂直分布呈单峰模式, 于海拔 1 700 ~ 2 100 m 区间内物种丰度最高, 颜文博等 (2019) 的监测结果中, 单峰模式的丰度最大海拔为 1 500 m 左右, 两者均与本研究中山脊区域的海拔高度相近。此外, 杜选长等 (2013) 在秦岭南坡对鸟类的调查结果显示, 鸟类物种丰度随海拔高度上升单调递减, 也即本研究中鸟类多样性在山谷高于山脊的现象。这可能是由于山谷过于茂密的植被以及复杂地形不利于在地面的兽类活动, 它们更倾向于沿着连绵安全的山脊迁移, 但鸟类受这类活动限制相对较小, 而且观测到的鸟类物种以树栖的鸣禽为主, 山脊相对干燥, 树木稀少, 鸣禽生存空间相对较小, 也可能导致鸟类在山脊的多样性较低。从物种相似度角度来看, 各条沟谷之间的相似程度各异, 龙潭子岩屋沟的兽类记录与其他沟谷差异较大, 大古坪岩屋沟的鸟类记录与其他沟谷差异较大, 其差异来源可能是地形与历史人

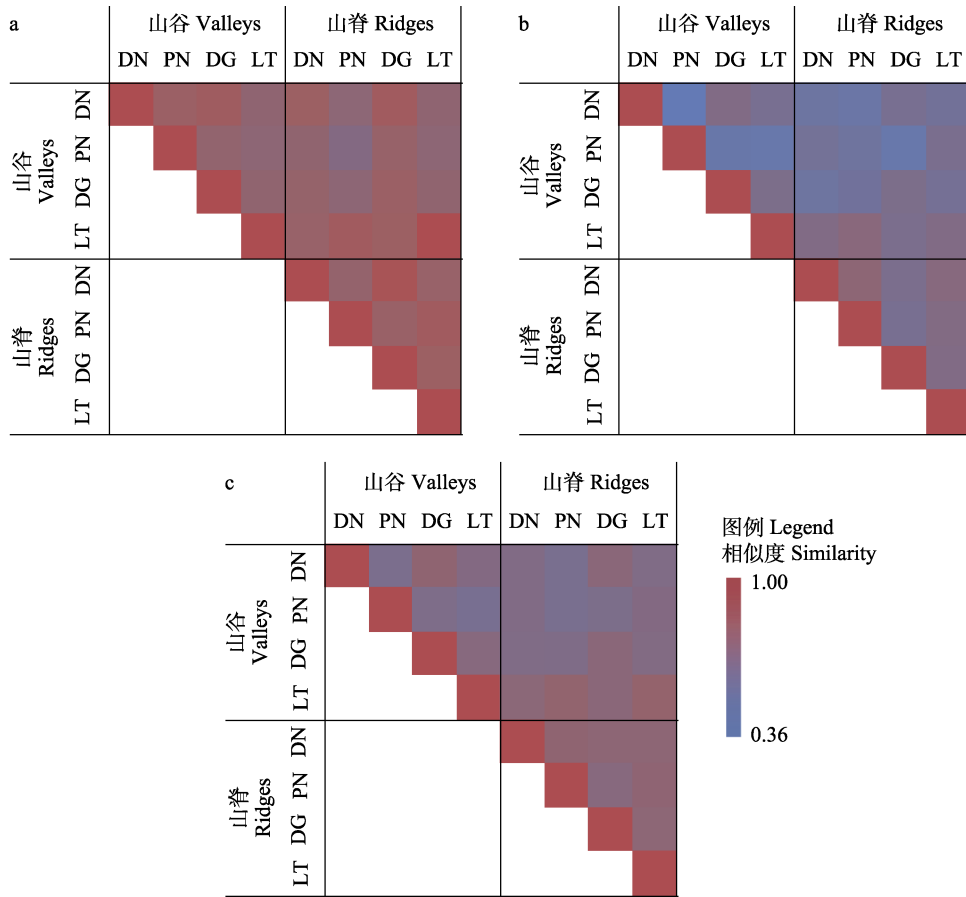


图 6 秦岭山系中段 4 条沟谷的山脊山谷物种组成相似性

Fig. 6 Species similarity between all valleys and ridges in four valleys in the middle Qinling Mountains

a. 兽类; b. 鸟类; c. 总体。DN. 大南沟; PN. 破碾子沟; DG. 大古坪岩屋沟; LT. 龙潭子岩屋沟。两沟谷山谷或山脊名称的纵横交叉处色块颜色越红表示物种组成相似性越高, 越蓝表示相似性越低。

a. Mammals; b. Birds; c. Overall. DN. Danangou Valley; PN. Ponianzigou Valley; DG. Dagupingyanwugou Valley; LT. Longtanziyanwugou Valley. The color bar corresponding two valley names is red if species similarity between them is high, and is blue if the similarity is low.

为干扰强度对物种扩散与分布的共同影响。山谷之间的物种相似性不如山脊之间, 说明山脊对许多野生动物物种有地理隔离效应 (Molles 2014), 部分物种难以逾越山脊扩散种群, 而山脊则可能成为许多物种的迁徙通道, 野生动物可以沿山脊扩散到其他区域, 这一点对鸟类同样适用。

3.2 监测区域中大熊猫的活动特征

根据第四次大熊猫调查结果, 秦岭山区大熊猫种群数量相较于第三次大熊猫调查结果整体有所提升, 可视为大熊猫种群恢复区域, 主

要包括黄柏塬自然保护区、老县城自然保护区、佛坪自然保护区北侧以及观音山自然保护区西侧 (龚明昊等 2016, 刘兰妹等 2017), 本研究中相机布设于该大熊猫种群恢复区域内。

对于大熊猫种群情况, 研究期间共拍摄得到 37 张可辨认的大熊猫有效照片, 其中在大南沟拍摄到 30 张, 破碾子沟 2 张, 大古坪岩屋沟 5 张, 龙潭子岩屋沟则没有拍到大熊猫。4 条沟谷中大熊猫在黄柏塬大南沟出现频率高, 观测占比超过了总数 80%, 其中观测到的伴生动物如马来豪猪、紫啸鸫、中华斑羚、亚洲黑熊也

均较多,说明大南沟栖息地质量恢复较好。根据过往在保护区的监测与清查工作,大南沟在生态恢复前受破坏程度是4条沟谷中最小的,植被覆盖较多,距离人类聚居地也最远。此次监测支持了这一结果——大南沟整体生态恢复较好,人类影响较小,有较适宜大熊猫栖息的环境。另外,大熊猫在山脊分布明显多于山谷,山脊24张,山谷13张,此类现象在之前对大熊猫嗅味标记分布的调查中也有发现(施晓刚等2012),推测是因为山脊处气流流动较强且环境开阔,有利于大熊猫在发情期时叫声传播以及腺体气味的传播。

龙潭子岩屋沟是唯一没有监测到大熊猫的沟谷,但其植被覆盖率并不是最低的,物种多样性与均匀度均是4条沟谷中最好的。查阅马亦生等(2020)于2015至2017年的红外相机监测结果可以发现,龙潭子岩屋沟过往监测到的大熊猫数量同样很少。马亦生等(2020)推测这是由于龙潭子行政村有大量集体林与农耕田地,村民在此从事耕种、养殖和林下经济活动,使得此地生态系统与原生林有较大差异,大熊猫倾向于远离该区域活动。但是马亦生等(2020)同样指出,上述现象在大古坪地区也存在,但本研究在大古坪岩屋沟监测到了大熊猫活动,这可能是由于红外相机观测数据存在偶然性,也可能反映了自2017年之后,大古坪地区的人类退出和生态恢复情况较龙潭子地区更好,大熊猫种群恢复也更快。大熊猫活动也可能受竹子分布的影响,在每条沟谷的相机架设位置中,大古坪岩屋沟与大南沟竹林分布较多,而龙潭子岩屋沟与破碾子沟竹林分布较少,一定程度上解释了本研究观测到这两条沟谷的大熊猫活动强度低的现象。此外,植被覆盖与坡度也会影响大熊猫的生境偏好(杨春花等2006),4条沟谷的植被覆盖与坡度总体相近,但不排除选取拍摄地点的植被覆盖与坡度等微环境不同,从而影响记录到的大熊猫活动强度。比对第四次大熊猫调查的结果,龙潭子岩屋沟与熊猫种群高密度聚集区有空间偏差,因此此

次研究结果也可能是因为相机布设地点偏差造成的。

根据上述研究结果,本研究提出以下建议:未来研究应围绕秦岭山系中段生态恢复区域,特别针对破碾子沟地区的生态系统情况、大古坪岩屋沟地区的兽类地栖生境,以及龙潭子岩屋沟地区的大熊猫生境条件开展更多生态调查与恢复工作,探究生物多样性以及野外大熊猫种群恢复的制约因素。

参 考 文 献

- Liu X H, Wu P F, Shao X M, et al. 2017. Diversity and activity patterns of sympatric animals among four types of forest habitat in Guanyinshan Nature Reserve in the Qinling Mountains, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19): 16465–16477.
- Lambeck R J. 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, 11(4): 849–856.
- Ma M, Xu F, Chundawat R S, et al. 2006. Camera trapping of Snow Leopards for the photo capture rate and population size in the Muzat Valley of Tianshan Mountains. *Current Zoology*, 52(4): 788–793.
- Molles M C. 2014. *Ecology: Concepts and Applications*. 7 ed. New York: McGraw Hill Higher Education.
- O'Brien T G, Kinnaird M F, Wibisono H T. 2003. Crouching tigers, hidden prey: Sumatran Tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 6(2): 131–139.
- Pearson O P. 1959. A traffic survey of *Microtus-Reithrodontomys* runways. *Journal of Mammalogy*, 40(2): 169–180.
- Wen L J, Shi K, Huang J, et al. 2014. Preliminary analysis of mammal and bird diversity monitored with camera traps in Medog, Tibet. *Biodiversity Science*, 22(6): 798–799.
- Whittaker R H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, 147(3655): 250–260.
- 杜选长, 乌拉. 2013. 陕西华山国家级自然保护区鸟类区系特性和分布. *陕西林业科技*, 42(5): 16–21.
- 龚明昊, 刘刚, 官天培, 等. 2016. 秦岭大熊猫种群扩散格局及研究方法. *生态学报*, 36(18): 5931–5936.
- 胡锦涛, 吴攀文. 2007. 小相岭山系大熊猫大中型伴生兽类. 四川

- 动物, 26(1): 88–90.
- 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.
- 金翠霞, 吴亚. 1981. 群落多样性测定及其应用的探讨. 昆虫学报, 24(1): 28–33.
- 李波艳, 张家扬, 李凯, 等. 2021. 云南屏边兽类多样性现状及其变迁. 野生动物学报, 42(3): 763–773.
- 刘兰妹, 刘雪华, 金学林, 等. 2017. 秦岭地区大熊猫种群空间利用消长状态以及道路影响研究. 兽类学报, 37(3): 215–225.
- 刘雪华, 张语克, 赵翔宇, 等. 2020. 秦岭中段野生动物多样性的红外相机监测数据库平台介绍. 生物多样性, 28(9): 1075–1080.
- 马亦生, 马青青, 孙亮, 等. 2020. 基于红外相机技术对佛坪国家级自然保护区大熊猫季节性空间分布与活动模式的研究. 动物学杂志, 55(1): 20–28.
- 施晓刚, 胡强, 金森龙, 等. 2012. 卧龙保护区三江片区大熊猫嗅味树分布初步调查. 四川动物, 31(5): 704–707.
- 唐小平, 贾建生, 王志臣, 等. 2015. 全国第四次大熊猫调查方案设计及其主要结果分析. 林业资源管理, 2015(1): 11–16.
- 万秋红. 2003. 大熊猫保护遗传学研究. 杭州: 浙江大学博士学位论文.
- 王长平, 刘雪华, 武鹏峰, 等. 2015. 应用红外相机技术研究秦岭观音山自然保护区内野猪的行为和丰富度. 兽类学报, 35(2): 147–156.
- 王天明, 冯利民, 杨海涛, 等. 2020. 东北虎豹生物多样性红外相机监测平台概述. 生物多样性, 28(9): 1059–1066.
- 王子星, 颜文博, 孟祥明, 等. 2022. 陕西平河梁国家级自然保护区哺乳动物调查. 陕西林业科技, 50(2): 9–15.
- 颜文博, 吉晟男, 帅凌鹰, 等. 2019. 秦岭南坡陕西洋县辖区哺乳动物物种多样性的空间分布格局. 生物多样性, 27(2): 177–185.
- 杨春花, 张和民, 周小平, 等. 2006. 大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 生境选择研究进展. 生态学报, 26(10): 3442–3453.

附录 1 秦岭山系中段 4 条沟谷监测到的物种名录及有效照片信息

Appendix 1 List of mammal species monitored in four valleys in the middle Qinling Mountains and the individual photo information

| 物种 Species | IUCN 濒危等级 IUCN categories | 总有效照片数 Overall individual photos | 总有效个体数 Overall individual richness | 相对丰度指数 Relative abundance index |
|--|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 兽类 Mammals | | 8 181 | 9 363 | 66.168 1 |
| 大熊猫 <i>Ailuropoda melanoleuca</i> [*] | VU | 37 | 37 | 0.299 3 |
| 猪獾 <i>Arctonyx collaris</i> [†] | VU | 281 | 282 | 2.272 7 |
| 扭角羚 <i>Budorcas taxicolor</i> ^{**†} | VU | 662 | 782 | 5.354 3 |
| 中华鬃羚 <i>Capricornis sumatraensis milneedwardsii</i> | VU | 24 | 29 | 0.194 1 |
| 毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i> [†] | NT | 966 | 1 010 | 7.813 0 |
| 马来豪猪 <i>Hystrix brachyura</i> [†] | LC | 517 | 665 | 4.181 5 |
| 黄喉貂 <i>Martes flavigula</i> [†] | LC | 353 | 422 | 2.855 1 |
| 獾 <i>Meles meles</i> | LC | 16 | 16 | 0.129 4 |
| 侯氏狨 <i>Mesechinus hughi</i> [*] | LC | 17 | 17 | 0.137 5 |
| 林麝 <i>Moschus berezovskii</i> | EN | 2 | 3 | 0.016 2 |
| 小麝 <i>Muntiacus reevesi</i> ^{**†} | LC | 2 290 | 2 436 | 18.521 5 |
| 黄鼬 <i>Mustela sibirica</i> | LC | 3 | 3 | 0.024 3 |
| 中华鼯鼠 <i>Myospalax fontanieri</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 中华斑羚 <i>Naemorhedus griseus</i> [†] | VU | 122 | 122 | 0.986 7 |
| 北社鼠 <i>Niviventer confucianus</i> | LC | 215 | 216 | 1.738 9 |
| 果子狸 <i>Paguma larvata</i> [†] | LC | 499 | 511 | 4.035 9 |
| 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i> [†] | LC | 229 | 239 | 1.852 2 |
| 川金丝猴 <i>Rhinopithecus roxellana</i> ^{**†} | EN | 280 | 599 | 2.264 6 |
| 岩松鼠 <i>Sciurotamias davidianus</i> [*] | LC | 320 | 322 | 2.588 2 |
| 野猪 <i>Sus scrofa</i> [†] | LC | 1 243 | 1 540 | 10.053 4 |
| 亚洲黑熊 <i>Ursus thibetanus</i> [†] | VU | 104 | 111 | 0.841 2 |
| 鸟类 Birds | | 2 431 | 3 634 | 19.662 5 |
| 日本夜鹰 <i>Caprimulgus jotaka</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 红腹锦鸡 <i>Chrysolophus pictus</i> ^{**†} | LC | 605 | 837 | 4.893 2 |
| 大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i> | LC | 2 | 4 | 0.016 2 |
| 白翅啄木鸟 <i>Dendrocopos leucopterus</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 白背啄木鸟 <i>D. leucotos</i> | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 大斑啄木鸟 <i>D. major</i> | LC | 6 | 6 | 0.048 5 |
| 白额燕尾 <i>Enicurus leschenaulti</i> [#] | LC | 10 | 10 | 0.080 9 |
| 小燕尾 <i>E. scouleri</i> [#] | LC | 12 | 12 | 0.097 1 |
| 棕胸蓝姬鹀 <i>Ficedula hyperythra</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 鹧鸪 <i>Francolinus pintadeanus</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 白喉噪鹛 <i>Garrulax albogularis</i> [†] | LC | 278 | 724 | 2.248 5 |
| 黑喉噪鹛 <i>G. chinensis</i> [#] | LC | 4 | 6 | 0.032 4 |
| 橙翅噪鹛 <i>G. ellioti</i> [*] | LC | 47 | 65 | 0.380 1 |
| 斑背噪鹛 <i>G. lumulatus</i> [*] | LC | 19 | 24 | 0.153 7 |
| 黑领噪鹛 <i>G. pectoralis</i> [†] | LC | 303 | 634 | 2.450 7 |

续附录 1

| 物种 Species | IUCN 濒危等级 IUCN categories | 总有效照片数 Overall individual photos | 总有效个体数 Overall individual richness | 相对丰度指数 Relative abundance index |
|---|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 松鸦 <i>Garrulus glandarius</i> [†] | LC | 118 | 158 | 0.954 4 |
| 冠纹柳莺 <i>Phylloscopus reguloides</i> [#] | LC | 9 | 12 | 0.072 8 |
| 血雉 <i>Ithaginis cruentus</i> | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i> | LC | 17 | 23 | 0.137 5 |
| 紫啸鸫 <i>Myophonus caeruleus</i> [†] | LC | 187 | 189 | 1.512 5 |
| 棕腹仙鹡 <i>Niltava Sundara</i> | LC | 1 | 2 | 0.008 1 |
| 鹰雕 <i>Nisaetus nipalensis</i> | NT | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 星鸦 <i>Nucifraga caryocatactes</i> | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 绿背山雀 <i>Parus monticolus</i> | LC | 10 | 10 | 0.080 9 |
| 环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i> [#] | LC | 8 | 16 | 0.064 7 |
| 北红尾鸨 <i>Phoenicurus aureoreus</i> | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 灰脸鹟莺 <i>Phylloscopus poliogenys</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 喜鹊 <i>Pica pica</i> | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i> | LC | 14 | 15 | 0.113 2 |
| 棕颈钩嘴鹟 <i>Pomatorhinus ruficollis</i> [#] | LC | 2 | 2 | 0.016 2 |
| 勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i> [†] | LC | 37 | 41 | 0.299 3 |
| 金眶鹟莺 <i>Seicercus burkii</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 比氏鹟莺 <i>S. valentine</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 金丝雀 <i>Serinus canaria</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 红胁蓝尾鸨 <i>Tarsiger cyanurus</i> [#] | LC | 15 | 15 | 0.121 3 |
| 蓝眉林鸨 <i>T. rufilatus</i> | LC | 2 | 2 | 0.016 2 |
| 红腹角雉 <i>Tragopan temminckii</i> [†] | LC | 234 | 258 | 1.892 6 |
| 灰翅鸫 <i>Turdus boulboul</i> [†] | LC | 60 | 64 | 0.485 3 |
| 斑鸫 <i>T. eunomus</i> [#] | LC | 11 | 11 | 0.089 0 |
| 褐头鸫 <i>T. feae</i> [#] | VU | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 白眉歌鸫 <i>T. iliacus</i> [#] | NT | 2 | 2 | 0.016 2 |
| 乌鸫 <i>T. merula</i> [†] | LC | 57 | 58 | 0.461 0 |
| 白眉鸫 <i>T. obscurus</i> [#] | LC | 3 | 3 | 0.024 3 |
| 灰头鸫 <i>T. rubrocanus</i> [†] | LC | 61 | 105 | 0.493 4 |
| 黄脚三趾鹑 <i>Turnix tanki</i> [#] | LC | 1 | 1 | 0.008 1 |
| 红嘴蓝鹳 <i>Urocyssa erythroryncha</i> [†] | LC | 138 | 156 | 1.116 1 |
| 虎斑地鸫 <i>Zoothera dauma</i> [†] | LC | 143 | 154 | 1.156 6 |

IUCN 红色名录濒危等级以 2022 年 7 月 16 日时的版本为准: EN. 濒危级; VN. 易危级; LC. 近危级; NT. 无危级; 表中标注*、#与†的物种分别为中国特有种、本次调查新发现物种与本次研究主要物种。

The version of IUCN Red List categories is that on 2022.7.16: Endangered (EN); Vulnerable (VU); Near Threatened (NT); Least Concerned (LC). Species notated with *, # and † are endemic species in China, newly-detected species in this research and predominant species in this research, respectively.