

# 基于红外相机技术对陕西老县城国家级自然保护区大中型兽类及林下鸟类资源分析

刘正霄<sup>①</sup> 李东群<sup>②#</sup> 田成<sup>①</sup> 杨霞丽<sup>②</sup> 冯可<sup>③</sup>  
蔡小录<sup>②</sup> 李育鹏<sup>②</sup> 贺巧妮<sup>②</sup> 李俊清<sup>①\*</sup>

① 北京林业大学森林资源与生态系统过程北京市重点实验室 北京 10083;

② 陕西老县城国家级自然保护区 西安 710400; ③ 福建农林大学林学院 福州 350002

**摘要:** 兽类和鸟类多样性的监测是生物多样性保护中的重要一环。2017年4月至2018年5月,按照网格法在位于陕西省西安市周至县的老县城国家级自然保护区布设了36台红外相机,对保护区内大中型兽类和林下鸟类多样性进行调查。累积7835个相机工作日,获得野生动物独立有效照片1915张,共鉴定出32种鸟类和兽类物种,隶属8目18科,其中被IUCN红色名录评估为濒危(EN)、易危(VU)和近危(NT)的物种分别有2种、4种和3种。相对丰富度指数最高的为羚牛(*Budorcas taxicolor*)( $I_{RA} = 36.81$ );夏季(7.68)和秋季(7.81)物种拍摄率大于春季(4.65)和冬季(4.30),不同季节拍摄到的物种数和物种多样性指数差异不显著。不同海拔段物种拍摄率、物种数和物种多样性指数均不具有明显差异。濒危物种中的羚牛不同海拔段拍摄率存在明显差异。主成分分析表明,拍摄物种与相机位点之间相关性较强,这与相机位点附近的生境条件有关。研究结果初步掌握了老县城保护区内大中型兽类和林下鸟类种类组成、相对多度及分布状况,为未来保护区野生动物资源保护和管理提供基础资料。

**关键词:** 老县城自然保护区; 红外相机; 物种多样性; 相对丰富度; 拍摄率; 主成分分析

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2020) 02-153-12

## Analysis of the Large- and Medium-sized Mammals and Understory Birds in Laoxiancheng National Nature Reserve, Shaanxi

LIU Zheng-Xiao<sup>①</sup> LI Dong-Qun<sup>②#</sup> TIAN Cheng<sup>①</sup> YANG Xia-Li<sup>②</sup> FENG Ke<sup>③</sup>  
CAI Xiao-Lu<sup>②</sup> LI Yu-Peng<sup>②</sup> HE Qiao-Ni<sup>②</sup> LI Jun-Qing<sup>①\*</sup>

① Key Laboratory for Forest Resources & Ecosystem Processes of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

② Laoxiancheng National Nature Reserve, Shaanxi Province, Xi'an 710400;

③ College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

**基金项目** 北京林业大学重大科研成果项目 (No. 2017CGP006);

\* 通讯作者, E-mail: lijq@bjfu.edu.cn;

**第一作者介绍** 刘正霄, 男, 硕士研究生; 研究方向: 生态学; E-mail: 754011192@qq.com;

# 共同第一作者 李东群, 男, 工程师; 研究方向: 自然资源保护; E-mail: lxcbhq@126.com。

收稿日期: 2019-10-14, 修回日期: 2020-01-05 DOI: 10.13859/j.cjz.202002004

**Abstract:** Monitoring of mammals and birds is an important part of biodiversity conservation. From April 2017 to May 2018, we installed 36 infrared-triggered cameras in Laoxiancheng National Nature Reserve of Shaanxi Province in 36 1 km x 1 km grids, and evaluated the species richness, relative abundance and photographic rate of mammals and birds. With a survey effort of 7 835 camera-days, we obtained 1 915 independent photographs and identified 32 mammals and birds belonging to 8 orders and 18 families. Among the recorder species, two were Endangered, four were Vulnerable, and three were Near Threatened on the IUCN Red List. The species with the highest relative abundance index (RAI) value in the reserve is Takin (*Budorcas taxicolor*) ( $I_{RA} = 36.81$ ) (Appendix 1). The species photographic rate of summer and autumn is higher than spring and winter (Fig. 3). There was no significant difference in the number of species and species diversity index at different seasons. There was also no significant difference in photographic rate, number of photographed species, and species diversity index at altitude. But there were significant differences in the photographic rate of the Takin at altitude (Table 1). Principal components analysis (PCA) showed that there had the correlation between the camera and the photographed species (Fig. 6 and Fig. 7), which was related to the habitat around the camera. In addition to providing a preliminary evaluation of mammal and species in the Laoxiancheng Nature Reserve, we also assessed the factors affected the distribution of species. This is the first study to investigate direct and quantitative data on species occurrences in this reserve. Our study provides important basis for future local wildlife research and conservation management.

**Key words:** Laoxiancheng National Nature Reserve; Infrared camera; Species diversity; Relative abundance; Photographic rate; Principal components analysis

生物多样性的监测和评价是自然保护区的重要工作，鸟类和兽类是生物多样性保护和评价中的重要指示类群 (Brodie et al. 2015, Muldoon et al. 2015)。陆生哺乳动物是森林群落的重要组成部分，是生态系统服务提供者和生态系统健康指标，这往往使其受到特别保护和管理方面的关注 (Kitamura et al. 2010)。

野生动物行为习性和生存空间的多样性，增加了野生动物监测的难度。传统样线法监测的局限性，使能够调查监测到的野生动物 (兽类) 种类较少 (肖治术等 2014a)。红外相机技术可全天、长期地且无损伤地对多种野生动物进行监测，在近 20 年得到迅速发展，成为兽类和地面鸟类的常规监测技术 (肖治术 2019)，其能够相对真实地反映调查区域物种的自然状态 (肖治术等 2014b, 张履冰等 2014)。当前大量学者采用红外相机技术调查野生动物，并引入拍摄率 (photography rate, PR) 和相对丰富度指数 (relative abundance index, RAI) 等

量化指标来评估物种多样性 (Stein et al. 2008, 张明明等 2019)、丰富度 (Kinnaird et al. 2012, 杨纬和等 2019)、种群密度 (Silver et al. 2004, Liu et al. 2013) 和活动习性 (武鹏峰等 2012, 穆君等 2019) 等。证明红外相机是构建长期的、系统的野生动物监测体系的有效手段 (刘雪华等 2018)。国内外学者对红外相机和相对丰富度指数的准确性具有不同观点，有学者认为利用相对丰富度指数 RAI 来评价物种密度和活动习性是存在误差的 (Sollmann et al. 2013)，也有学者认为相对丰富度指数 RAI 是一种简单、便利的具有代表动物相对多度大小的指标，虽然存在一定局限性，但仍可以应用在生物多样性本底清查和物种编目评估工作中 (李晟等 2014, 陈立军等 2019)。随着数学模型，如 Bayes 模型 (Royle et al. 2009, Dorazio et al. 2013)、占有域模型 (肖文宏等 2019) 等模型的引入，让红外相机对物种丰度的估计变得更加准确。

陕西省老县城国家级自然保护区是连接周

至、佛坪、长青以及太白山 4 个自然保护区的纽带。老县城保护区中有大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*)、羚牛 (*Budorcas taxicolor*)、川金丝猴 (*Rhinopithecus roxellanae*)、林麝 (*Moschus berezovskii*)、金钱豹 (*Panthera pardus*) 及金雕 (*Aquila chrysaetos*) 等多种濒危物种, 在秦岭生物多样性保护和恢复中有着十分重要的地位 (李东群等 2016)。但老县城自然保护区在 2013 年建立后未开展大中型兽类和林下鸟类本底资源调查, 不清楚大熊猫、川金丝猴、羚牛及林麝等濒危物种种群的变动情况, 这将无法提供及时有效的保护管理措施。

为此, 本研究利用红外相机技术对老县城自然保护区内的大中型兽类和林下鸟类多样性进行了初步调查, 分析老县城保护区内的物种 Shannon-Weiner 多样性、物种丰富度情况及物种拍摄率, 分析了相机位点与拍摄物种间的相关性。研究结果可补充老县城自然保护区大中型兽类和林下鸟类物种多样性的基本资料, 为老县城自然保护区野生动物的科学保护和有效管理提供基础数据。

## 1 研究区域概况

老县城自然保护区位于周至县 (107°40' ~ 107°49' E, 33°43' ~ 33°57' N, 海拔 1 524 ~ 2 904 m), 总面积 126.1 km<sup>2</sup>。保护区属于暖温带季风气候区, 典型的亚高山气候特点, 夏季凉爽, 秋季低温多雨, 冬季严寒, 年均气温 10 °C, 最高气温 29.7 °C, 最低气温 -19.7 °C; 主要分布有寒温带针叶林、温带针叶林、落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林等植被类型 (李东群等 2016)。保护区内动物资源丰富, 有川金丝猴、羚牛、大熊猫、林麝、金钱豹等多种物种。

## 2 研究方法

### 2.1 红外相机监测

2017 年 4 月至 2018 年 5 月, 利用 ArcGIS10.2 和老县城保护区矢量化边界, 将老

县城保护区划分为 1 km × 1 km 的网格, 从中选取 36 个网格安置红外相机 (Ltl AcornTM 6210, 猎科电子有限公司)。结合以往巡护路线, 排除人和动物难以到达区域, 适当调整红外相机安放位置, 并记录每台相机点位的经纬度、海拔及栖息地类型, 安置相机位点见图 1。红外相机安置地点靠近兽径或水源, 相机固定在距离地面 50 ~ 80 cm 的乔木、灌木或竹丛上。两台相机之间直线距离不低于 150 m。相机拍照方式为连拍 3 张后录制 10 s 视频。相机内存卡和电池每 4 或 5 个月更换一次。

### 2.2 数据处理方法

利用 ACDSee 软件将照片的拍摄日期、时间及照片名称等信息提取到 EXCEL, 将红外相机拍摄到的照片, 逐一进行物种识别处理。删除空白照片, 将拍摄到但未能识别具体物种的照片归类为未辨认, 筛选出可以清晰辨别到种的图片, 兽类物种识别参照《中国兽类野外手册》(Smith 等 2009), 兽类物种学名参照《中国哺乳动物多样性》(第 2 版) (蒋志刚等 2017), 鸟类物种识别参考中国鸟类图库 (<https://www.birdnet.cn>), 鸟类物种学名参照《中国鸟类分类与分布名录》(第 3 版) (郑光美 2017), 濒危等级参考世界自然保护联盟 (IUCN) 红色名录 (<https://www.iucnredlist.org>)。为保证拍摄到鸟类和兽类的独立性, 同一个相机拍摄到的同一物种, 连续拍摄间隔时间 30 min 之内的, 视拍摄到该物种的次数为 1 次 (李佳等 2018), 以便统计物种种数和相对丰富度。单个相机位点在野外工作 24 h, 即当作 1 个相机工作日 (李晟等 2016)。

### 2.3 物种相对丰富度

利用物种独立有效照片数占独立有效照片总数的比例, 即物种的相对丰富度指数 (RAI), 作为各个物种的相对丰富度 (武鹏峰等 2012, 陈立军等 2019)。公式为  $I_{RA} = (A_i/N)100$ , 式中,  $A_i$  表示拍摄到第  $i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots$ ) 物种的独立有效照片数,  $N$  表示独立有效照片总数,  $I_{RA}$  为此物种的相对丰富度指数。

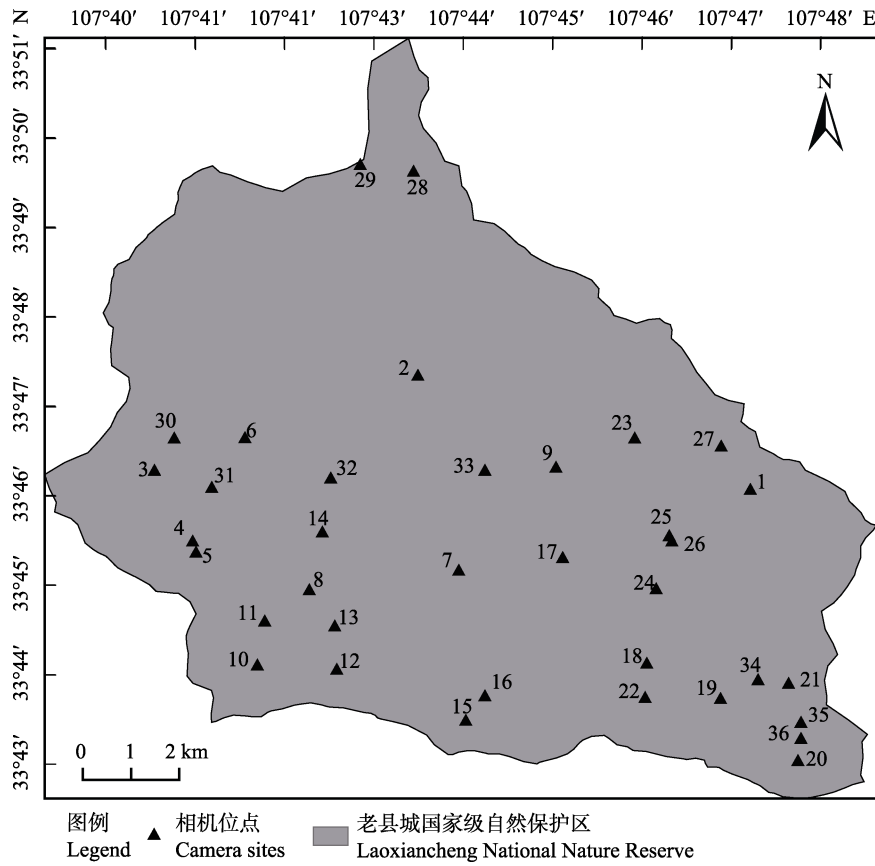


图 1 老县城国家级自然保护区红外相机安放位置

Fig. 1 Camera locations in Laoxiancheng National Nature Reserve

### 2.4 物种拍摄率

采用动物的拍摄率 (PR) 作为相对多度指标, 比较不同季节和不同海拔段物种拍摄率。对某物种的拍摄率为每 100 个相机工作日所获取此物种的独立有效照片数 (Azlan et al. 2006)。利用卡方检验不同季节之间的物种拍摄率差异性。为减少因相机位点数不同带来的误差, 增加海拔段之间物种拍摄率的可比性, 采用卡方检验比较不同海拔段的相机位点数差异, 采用皮尔逊相关性检验海拔段相机位点数与物种拍摄率之间的相关性。

### 2.5 物种多样性指数

采用香农指数 Shannon-Weiner 多样性指数评价群落中的物种多样性 (Margalef 1958)。公

式为:  $H' = \sum (P_i \ln P_i)$ , 其中,  $P_i$  代表  $i$  物种的独立有效照片占独立有效照片总数的比例。

### 2.6 主成分分析

将每个相机位点拍摄到的物种组成数据矩阵, 利用主成分分析方法 (principal components analysis, PCA), 分析相机位点与拍摄到动物物种的相关性。在主成分分析排序图中, 物种与相机位点之间距离越近则表明该相机位点拍摄到该物种的概率越大, 即可理解为物种与该相机位点附近生境的相关性强; 相机位点之间距离越近则表明拍摄到的物种组成越相似; 物种之间距离越近则表明两物种相关性越强 (周鸭仙等 2019)。所有操作都在 R 3.5.2 中进行, 软件包为 “vegan”。

### 3 结果

#### 3.1 物种数及相对丰富度

36 台相机中最终获得数据的相机数量为 32 台，总工作日 7 835 d，获得野生动物独立有效照片共 1 915 张，鉴定出鸟兽共 8 目 18 科 32 种。其中，兽类独立有效照片 1 436 张，含 4 目 12 科 17 种，包括食肉目 5 科 7 种，偶蹄目 4 科 7 种，啮齿目 2 科 2 种，灵长目 1 科 1 种；鸟类独立有效照片 479 张，含 4 目 6 科 15 种，包括鸡形目 1 科 4 种，雀形目 3 科 8 种，翼形目 1 科 2 种，隼形目 1 科 1 种。物种中被 IUCN 列为濒危的有林麝和川金丝猴；易危的有大熊猫、羚牛、中华斑羚 (*Naemoredus griseus*) 和 黑熊 (*Ursus thibetanus*)；近危的有毛冠鹿 (*Elaphodus cephalophus*)、中华鬣羚 (*Capricornis milneedwardsii*) 和 金猫

(*Catopuma temminckii*)。

各物种相对丰富度指数 (图 2)，濒危物种中羚牛 ( $I_{RA} = 36.81$ ) 相对丰富度最高，毛冠鹿 (3.92) 和大熊猫 (2.66) 比川金丝猴 (1.78)、林麝 (1.20)、黑熊 (0.99)、中华斑羚 (0.31)、中华鬣羚 (0.26) 和金猫 (0.10) 的物种相对丰富度要高。其他兽类中，相对丰富度指数排名前 5 的依次为，小鹿 (*Muntiacus reevesi*)、野猪 (*Sus scrofa*)、隐纹花松鼠 (*Tamiops swinhoei*)、中国豪猪 (*Hystrix hodgsoni*) 和 黄喉貂 (*Martes flavigula*)；鸟类中相对丰富度指数排名前 5 的依次为，红腹角雉 (*Tragopan temminckii*)、红腹锦鸡 (*Chrysolophus pictus*)、血雉 (*Ithaginis cruentus*)、橙翅噪鹛 (*Garrulax elliotii*) 和 星鸦 (*Nucifraga caryocatactes*)。

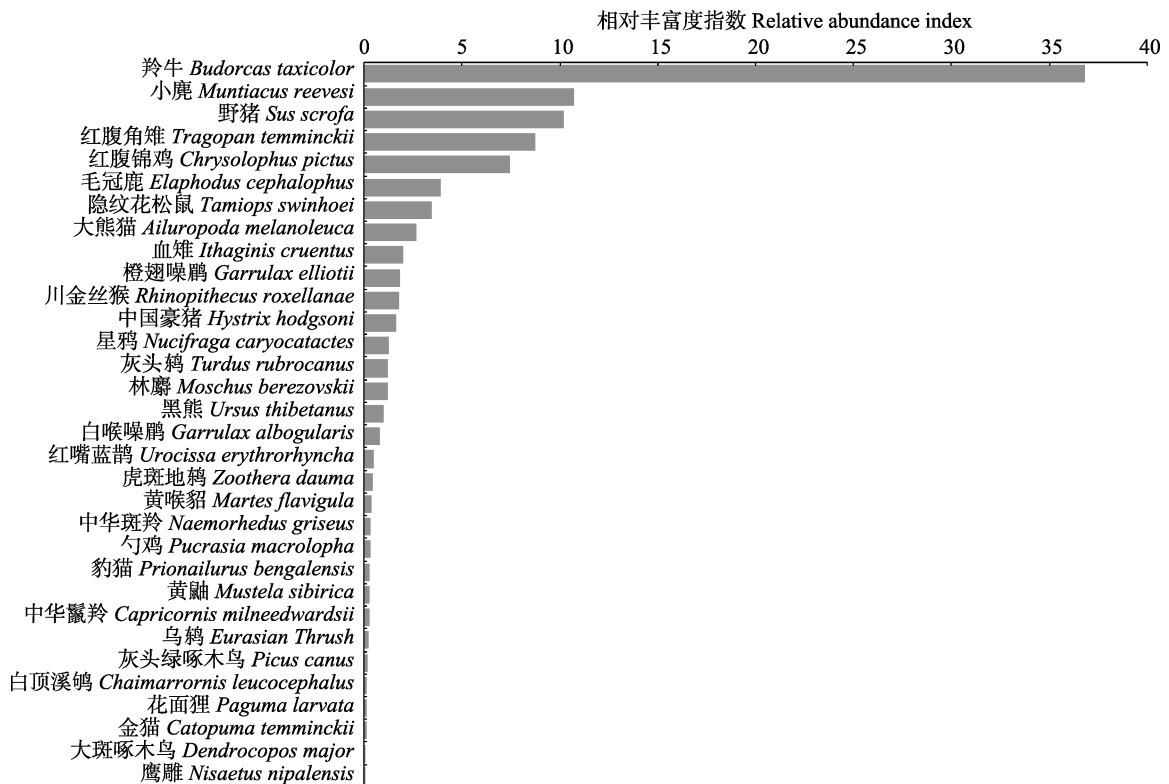


图 2 2017 年 4 月至 2018 年 5 月老县城保护区内鸟兽物种相对丰富度排名

Fig. 2 Rank of relative abundance index of wildlife in Laoxiancheng National Nature Reserve from April 2017 to May 2018

### 3.2 各季节物种拍摄率及 Shannon-Weiner 多样性指数

夏季和秋季拍摄率高于春季和冬季（图 3）。在夏季、秋季及冬季，兽类物种拍摄率均大于鸟类，春季兽类物种和鸟类物种拍摄率相似（图 4）。不同季节拍摄到的物种数不存在明显差异（ $\chi^2 = 1.30, df = 3, P > 0.05$ ），Shannon-Weiner 多样性指数也不存在明显差异（ $\chi^2 = 0.07, df = 3, P > 0.05$ ）。

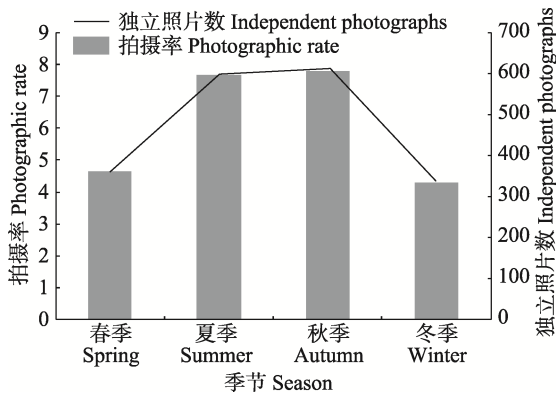


图 3 不同季节的物种独立有效照片个数和拍摄率  
Fig. 3 Independent photographs and photographic rate in difference season

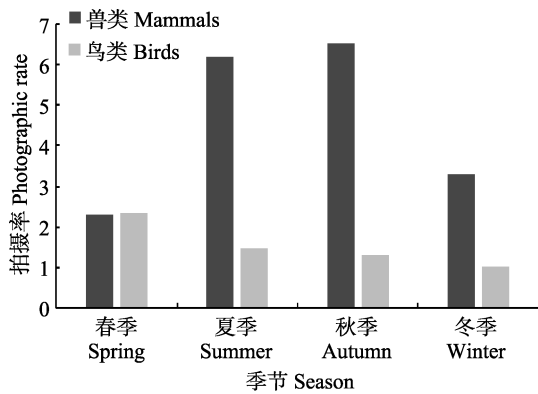


图 4 不同季节鸟兽物种拍摄率比较

Fig. 4 A comparative photographic rate between mammals and birds

因中华斑羚、中华鬣羚和金猫有效照片数较少，为保证准确性，不分析这 3 个物种。大熊猫、林麝、川金丝猴、羚牛、毛冠鹿和黑熊

不同季节拍摄独立有效照片数和拍摄率见图 5。大熊猫在冬季拍摄率最高，表示大熊猫在冬季活动较频繁；林麝在秋季和冬季活动较频繁；金丝猴、羚牛、毛冠鹿和黑熊在秋季活动较频繁。

### 3.3 各海拔段物种拍摄率及 Shannon-Weiner 多样性指数

低海拔区段（1 800 ~ 2 300 m）总相机数 24 台，相机总工作日 5 240 d；高海拔区段（2 300 ~ 2 800 m）总相机数 12 台，相机总工作日 2 595 d。两个海拔段相机位点数差异显著（ $\chi^2 = 1, df = 1, P < 0.05$ ），但两个海拔段物种拍摄率与相机位点数之间无显著相关性（ $P > 0.05$ ）。两个海拔段的拍摄率分别为 27.19 和 18.88，不存在明显差异（ $\chi^2 = 1, df = 1, P > 0.05$ ）。羚牛在上述两个海拔段之间被拍摄的拍摄率差异显著（ $P < 0.05$ ），大熊猫、林麝、金丝猴、毛冠鹿、黑熊和中华鬣羚在上述两个海拔段之间被拍摄的拍摄率均没有显著差异（ $P > 0.05$ ）（表 1）。在高海拔段（2 300 ~ 2 800 m）羚牛在夏秋季的拍摄率（ $R_p = 5.36$ ）较冬春季（ $R_p = 3.69$ ）高。

在 1 800 ~ 2 300 m 和 2 300 ~ 2 800 m 海拔段，拍摄到的物种数不存在明显差异（ $\chi^2 = 1.19, df = 1, P > 0.05$ ），两个海拔段的 Shannon-Weiner 多样性指数分别为 2.26 和 2.06，也不存在明显差异（ $\chi^2 = 0.01, df = 1, P > 0.05$ ）。

### 3.4 相机位点与物种关系主成分分析

分别选取兽类和鸟类丰富度排名前 10 的物种，在 R 3.5.2 中使用主成分分析法分析单个相机位点和拍摄到物种之间的相关性。在兽类排序图上（图 6），31 号相机较容易拍摄到大熊猫；大部分相机聚集在一起，说明这些相机位点拍摄到的大中型兽类物种组成相似；拍摄到大熊猫的相机很大概率拍摄到黑熊，拍摄到金丝猴的相机很大概率拍摄到野猪和中国豪猪，拍摄到羚牛的相机很大概率拍摄到林麝和毛冠鹿；综合得分显示，26、15 和 24 号相机的大中型兽类物种拍摄率依次排在前 3 位，28、25 和 27 号相机的大中型兽类物种拍摄率依次排在 32 个相机位点的后 3 位。鸟类排序图显示（图 7），

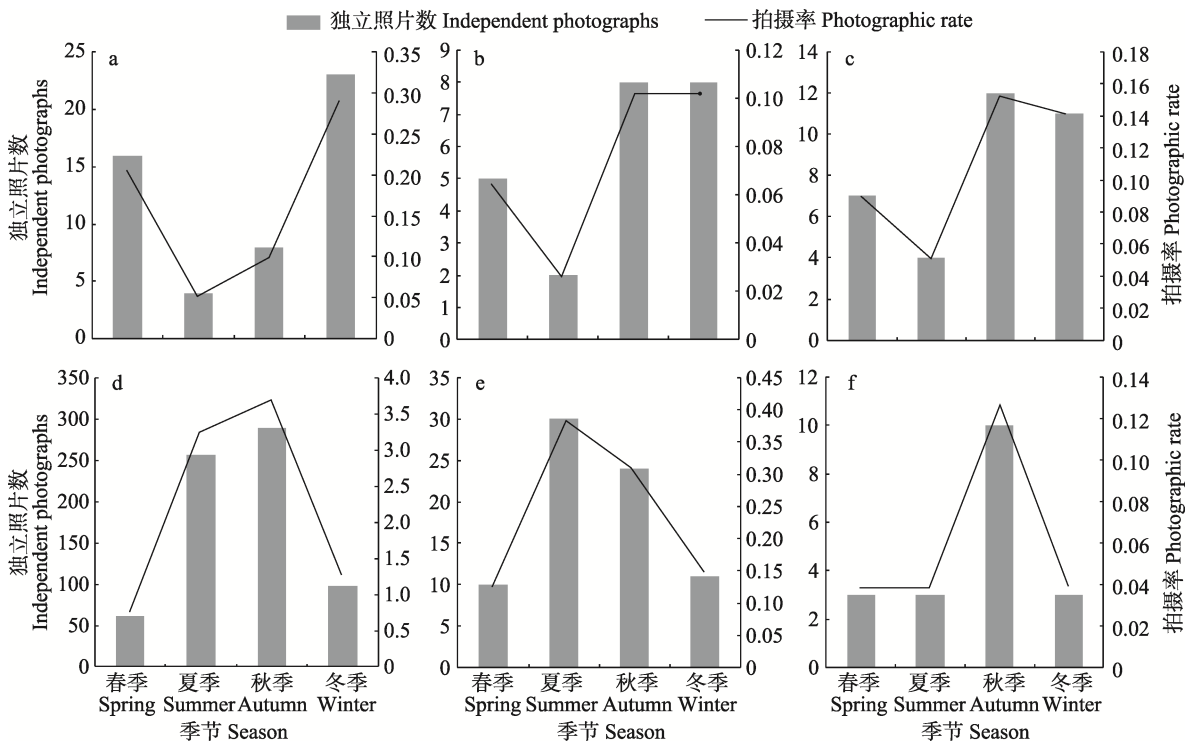


图 5 6 个物种不同季节的拍摄率

Fig. 5 Photographic Rate of six species at difference season

a. 大熊猫; b. 小鹿; c. 川金丝猴; d. 羚牛; e. 毛冠鹿; f. 黑熊。

a. *Ailuropoda melanoleuca*; b. *Muntiacus reevesi*; c. *Rhinopithecus roxellanae*; d. *Budorcas taxicolor*; e. *Elaphodus cephalophus*; f. *Ursus thibetanus*.

表 1 6 种濒危物种在高和低海拔的独立照片数及拍摄率

Table 1 Independent photographs and photographic rate of several endangered species at high altitude and low altitude

物种 Species	海拔 Altitude (m)			
	1 800 ~ 2 300		2 300 ~ 2 800	
	独立照片数 Independent photographs	拍摄率 Photographic rate	独立照片数 Independent photographs	拍摄率 Photographic rate
大熊猫 <i>Ailuropoda melanoleuca</i>	42	0.80	9	0.35
林麝 <i>Moschus berezovskii</i>	7	0.13	16	0.62
川金丝猴 <i>Rhinopithecus roxellanae</i>	15	0.29	4	0.15
羚牛 <i>Budorcas taxicolor</i>	233	4.45	472	18.19
毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>	66	1.26	9	0.35
黑熊 <i>Ursus thibetanus</i>	15	0.29	4	0.15

19 号相机能够较容易的拍到星鸦; 大部分相机聚集在一起, 说明这些相机位点拍摄到的林下鸟类物种组成相似; 拍摄到星鸦的相机很大概率拍摄到血雉, 拍摄到红腹角雉的相机很大概

率拍摄到红腹锦鸡; 综合得分显示, 5、4 和 6 号相机的林下鸟类物种拍摄率依次排在前三位, 22、19 和 23 号相机的林下鸟类物种拍摄率依次排在 32 个相机位点的后 3 位。

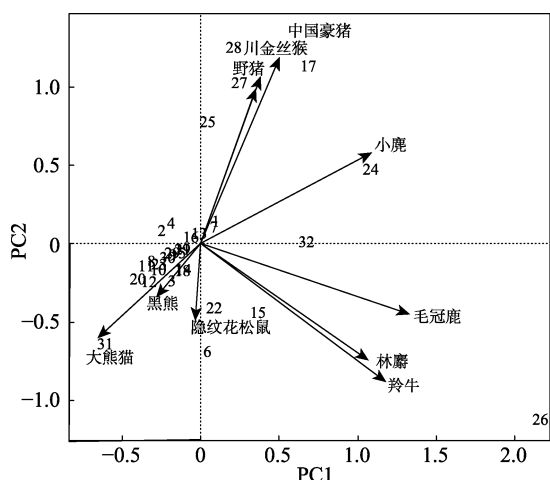


图 6 兽类物种与相机点排序图

Fig. 6 PCA ordination diagram of mammals and camera locations

大熊猫. *Ailuropoda melanoleuca*; 黑熊. *Ursus thibetanus*; 小鹿. *Muntiacus reevesi*; 毛冠鹿. *Elaphodus cephalophus*; 羚牛. *Budorcas taxicolor*; 野猪. *Sus scrofa*; 林麝. *Moschus berezovskii*; 中国豪猪. *Hystrix hodgsoni*; 川金丝猴. *Rhinopithecus roxellanae*; 隐纹花松鼠. *Tamiops swinhoi*.

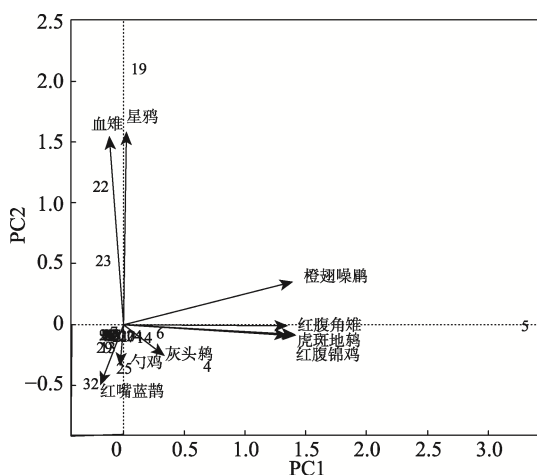


图 7 鸟类物种与相机点排序图

Fig. 7 PCA ordination diagram of birds and camera locations

血雉. *Ithaginis cruentus*; 红腹角雉. *Tragopan temminckii*; 勺鸡. *Pucrasia macrolopha*; 红腹锦鸡. *Chrysolophus pictus*; 灰头鸨. *Turdus rubrocanus*; 橙翅噪鹛. *Garrulax elliotii*; 白喉噪鹛. *G. albogularis*; 星雉. *Nucifraga caryocatactes*; 虎斑地鸨. *Zoothera dauma*; 红嘴蓝鹊. *Urocissa erythrorhyncha*.

## 4 讨论

本研究在老县城国家级自然保护区监测到兽类和鸟类共计 8 目 32 种, 其中兽类 4 目 17 种, 鸟类 4 目 15 种, 与保护区以往记录的物种兽类 71 种, 鸟类 190 种 (李东群等 2016) 相比, 本次调查到的兽类只占以往记录的 23.94%, 鸟类占以往记录的 7.89%。这与本次调查安置的红外相机主要是用来监测大中型兽类和林下鸟类, 对于小型兽类及雀形目鸟类拍摄率不高有关。保护区以往记录的物种中, 食肉目大型兽类金钱豹未被拍摄到, 雉类中环颈雉 (*Phasianus colchicus*)、灰胸竹鸡 (*Bambusicola thoracicus*) 和石鸡 (*Alectoris chukar*) 未被拍摄到。原因一是红外相机安放数量少, 未覆盖整个保护区范围, 可能导致适宜这些物种活动的栖息地出现监测空缺。二是金钱豹的活动范围大, 老县城保护区毗邻多个保护区, 有可能在本次监测期间其迁移到周边保护区活动。也有可能因食物资源较少导致了金钱豹的死亡, 在今后的工作中, 要加强对适宜金钱豹生存栖息地区域的监测。本次老县城保护区物种数量与邻近保护区调查到的物种也存在一定差异。何百锁等 (2016) 于 2008 年至 2011 年, 在长青自然保护区采用公里网格法安置了 35 台红外相机, 并在距相机 1~2 m 处布散气味引诱剂来调查保护区内的鸟兽多样性, 最终拍摄到鸟类和兽类物种 9 目 38 种; 吴逊涛等 (2017) 于 2014 年 4 月至 2015 年 3 月, 在长白山自然保护区采用人为机械布点法安置了 22 台红外相机调查保护区内的野生动物多样性, 最终拍摄到物种 6 目 24 种。本研究利用公里网格法放置红外相机对老县城自然保护内鸟兽多样性进行初步调查, 调查到的鸟类和兽类物种数少于长青自然保护区 (何百锁等 2016)。我们分析造成此类现象的原因有三, 一是由于本次调查红外相机放置时间较短, 导致所获得的数据量不够; 二是何百锁等 (2016) 在长青自然保护区进行鸟兽多样性调查时, 在



红外相机前布散了气味引诱剂, 本研究则未做任何处理, 随机对鸟类和兽类动物进行捕捉拍摄; 三是长青自然保护区面积 (300 km<sup>2</sup>) 远大于老县城自然保护区面积 (126 km<sup>2</sup>), 相对高差 (2 271 m) 较老县城的 (1 400 m) 大, 空间异质性较高。

保护区内监测物种夏季和秋季活动较活跃。不同季节的独立有效照片差异显著, 拍摄率和物种多样性指数差异不显著。这可能与不同物种在各个季节对食物资源的需求不同及生活习性有关。如大熊猫在冬季拍摄率较高, 表示其在冬季活动较频繁, 冬季活动范围会大于其他季节的活动范围, 造成这种现象的原因可能是大熊猫在冬季需要花费大量能量去寻找食物。雍严格等 (2009) 利用无线遥感和野外调查方法, 对佛坪自然保护区内大熊猫季节性移动和大熊猫种群活动范围进行研究, 发现大熊猫冬季栖息地活动面积大于夏季栖息地活动面积。林麝在冬季活动频繁, 其发情期处于 11 月和 12 月, 雌雄个体相遇几率大幅增加, 从而增加了该时期的活动丰富度 (贾晓东等 2014)。除了春季之外, 兽类拍摄率均大于鸟类拍摄率, 主要是因为红外相机是按照林下方式安装, 多用于拍摄地栖型鸟类, 对于其他鸟类捕捉效果较差。总的来说红外相机可以较好地应用于大中型兽类和地栖型鸟类资源的调查。这与 Li 等 (2010) 在中国四川王朗和卧龙保护区调查得到的结果相似。

不同海拔段的物种拍摄率和物种多样性指数不具有明显差异。分析其原因有三, 一是因为不同地区物种喜好的海拔活动范围不一样, 这与海拔所联系到的温度、水分及食物资源有关 (吴永杰等 2013); 二是物种还可能因为气候温度的变化导致季节性的迁移 (Wen et al. 2014), 羚牛在不同海拔段拍摄率具有显著差异, 说明羚牛受海拔影响较大, 进一步分析数据发现羚牛在夏秋季高海拔 ( $R_p = 5.36$ ) 较冬春季高海拔 ( $R_p = 3.69$ ) 拍摄率高, 符合羚牛在夏季会向高海拔段活动, 来寻求食物和躲避

高温的习性 (曾治高等 2001); 三是调查中发现, 在海拔 1 800 ~ 2 300 m 区段拍摄到大量家牛和狗的照片 (附录 1), 发现家牛和狗于 2017 年 5 月 14 日至 9 月 12 日出现时, 高海拔区 (2 300 ~ 2 800 m) 段此阶段的物种拍摄率 (6.53) 大于家牛和狗未出现时的高海拔物种拍摄率 (5.92), 我们认为人为干扰导致野生动物向高海拔迁移。家畜和人为活动严重影响了野生动物对生境的选择和利用, 并日益威胁到当地生物多样性和生态系统健康 (Stephens et al. 2001, Mamo et al. 2015)。

主成分分析是常被用来研究多个定量变量间相关性的一种多元统计方法 (Borcard 等 2014)。本研究的主成分分析结果显示, 相机位点与拍摄到的物种之间存在相关性, 这与相机位点附近的生境状况有关。26、15 和 24 号相机大中型兽类物种拍摄率较大, 分析此 3 相机位点生境指标, 发现兽类物种更喜好坡度在 0 ~ 20°、东北坡、海拔范围在 1 800 ~ 2 300 m 之间的常绿阔叶混交林活动。5、4 和 6 号相机鸟类拍摄率高, 发现鸟类物种更喜好坡度在 5 ~ 20°、北坡、海拔范围在 2 000 ~ 2 400 m 之间的针阔混交林活动。保护区今后可根据大中型兽类物种和林下鸟类物种喜好的生境特征, 针对性地对物种进行监测, 以获得全面的物种信息, 从而为野生动物的生态研究和保护管理提供科学依据。

## 参 考 文 献

- Azlan J M, Sharma D S K. 2006. The diversity and activity patterns of wild felids in a secondary forest in Peninsular Malaysia. *Oryx*, 40(1): 36-41.
- Brodie J F, Giordano A J, Ambu L. 2015. Differential responses of large mammals to logging and edge effects. *Mammalian Biology*, 80(1): 7-13.
- Dorazio R M, Rongling W. 2013. Bayes and empirical bayes estimators of abundance and density from spatial capture-recapture data. *PLoS One*, 8(12): e84017.
- Kinnaird M F, O'Brien T G. 2012. Effects of private-land use,

- livestock management, and human tolerance on diversity, distribution, and abundance of large African mammals. *Conservation Biology*, 26(6): 1026–1039.
- Kitamura S, Thong-Aree S, Madsari S, et al. 2010. Mammal diversity and conservation in a small isolated forest of southern Thailand. *Raffles Bulletin of Zoology*, 58(1): 145–156.
- Li S, Mcshea W J, Wang D J, et al. 2010. The use of infrared-triggered cameras for surveying phasianids in Sichuan Province, China. *Ibis*, 152(2): 299–309.
- Liu X H, Wu P F, Cai Q, et al. 2013. Monitoring wildlife abundance and diversity with infra-red camera traps in Guanyinshan Nature Reserve of Shaanxi Province, China. *Ecological Indicators*, 33(2013): 121–128.
- Mamo Y, Asefa A, Mengesha G. 2015. Habitat use of ungulates in bale mountains national park, Ethiopia. *African Journal of Ecology*, 53(4): 512–520.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systems*, 3: 36–71.
- Muldoon K M, Goodman S M, Sharon G D. 2015. Primates as predictors of mammal community diversity in the forest ecosystems of Madagascar. *PLoS One*, 10 (9): e0136787.
- Royle J A, Karanth K U, Gopalaswamy A M, et al. 2009. Bayesian inference in camera trapping studies for a class of spatial capture-recapture models. *Ecology*, 90(11): 3233–3244.
- Silver S C, Ostro L E T, Marsh L K, et al. 2004. The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance and density using capture/recapture analysis. *Oryx*, 38(2): 145–154.
- Sollmann R, Mohamed A, Samejima H, et al. 2013. Risky business or simple solution – Relative abundance indices from camera-trapping. *Biological Conservation*, 159(1): 405–412.
- Stein A B, Fuller T K, Marker L L. 2008. Opportunistic use of camera traps to assess habitat-specific mammal and bird diversity in northcentral Namibia. *Biodiversity and Conservation*, 17(14): 3579–3587.
- Stephens P A, D'Sa C A, Sillero-Zubiri C, et al. 2001. Impact of livestock and settlement on the large mammalian wildlife of bale mountains national park, southern Ethiopia. *Biological Conservation*, 100(3): 307–322.
- Wen Z, Wu Y, Du Y, et al. 2014. Seasonal change of species diversity patterns of non-volant small mammals along three subtropical elevational gradients. *Biotropica*, 46(4): 479–488.
- Borcard D, Gillet F, Legendre P. 2014. 数量生态学——R 语言的应用. 北京: 高等教育出版社, 106–118.
- 陈立军, 肖文宏, 肖治术. 2019. 物种相对多度指数在红外相机数据分析中的应用及局限. *生物多样性*, 27(3): 243–248.
- 何百锁, 孙瑞谦, 陈鹏, 等. 2016. 基于红外相机技术调查长青国家级自然保护区兽类和鸟类多样性. *兽类学报*, 36(3): 348–356.
- 贾晓东, 刘雪华, 武鹏峰, 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.
- 蒋志刚, 刘少英, 吴毅, 等. 2017. 中国哺乳动物多样性(第 2 版). *生物多样性*, 25(8): 886–895.
- 李东群, 张浩. 2016. 陕西老县城自然保护区在秦岭保护区群中的地位及价值评价. *防护林科技*, (8): 80–82.
- 李佳, 刘芳, 叶立新, 等. 2018. 利用红外相机调查浙江省凤阳山兽类和鸟类多样性. *兽类学报*, 38(1): 95–103.
- 李晟, 王大军, 卜红亮, 等. 2016. 四川省老河沟自然保护区兽类多样性红外相机调查. *兽类学报*, 36(3): 282–291.
- 李晟, 王大军, 肖治术, 等. 2014. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景. *生物多样性*, 22(6): 685–695.
- 刘雪华, 武鹏峰, 何祥博, 等. 2018. 红外相机技术在物种监测中的应用及数据挖掘. *生物多样性*, 26(8): 850–861.
- 穆君, 王娇娇, 张雷, 等. 2019. 贵州习水国家级自然保护区红外相机鸟兽监测及活动节律分析. *生物多样性*, 27(6): 683–688.
- Smith A T, 解焱. 2009. 中国兽类野外手册. 长沙: 湖南教育出版社, 61–499.
- 吴逊涛, 卜书海, 李先敏, 等. 2017. 基于红外相机技术的太白山自然保护区野生动物监测. *西北林学院学报*, 32(3): 170–175.
- 吴永杰, 雷富民. 2013. 物种丰富度垂直分布格局及影响机制. *动物学杂志*, 48(5): 797–807.
- 武鹏峰, 刘雪华, 蔡琼, 等. 2012. 红外相机技术在陕西观音山自然保护区兽类监测研究中的应用. *兽类学报*, 32(1): 67–71.
- 肖文宏, 束祖飞, 陈立军, 等. 2019. 占域模型的原理及在野生动物红外相机研究中的应用案例. *生物多样性*, 27(3): 249–256.
- 肖治术. 2019. 红外相机技术在我国自然保护地野生动物清查与评估中的应用. *生物多样性*, 27(3): 235–236.
- 肖治术, 李欣海, 姜广顺. 2014a. 红外相机技术在我国野生动物

监测研究中的应用. 生物多样性, 22(6): 683–684.

肖治术, 李欣海, 王学志, 等. 2014b. 探讨我国森林野生动物红外相机监测规范. 生物多样性, 22(6): 704–711.

杨纬和, 陈月龙, 邓玥, 等. 2019. 利用红外相机对四川白水河国家级自然保护区鸟兽资源的初步调查. 生物多样性, 27(9): 1012–1015.

雍严格, 曹庆, 唐新成, 等. 2009. 佛坪大熊猫冬季栖息地的功能和面临的主要问题. 西北林学院学报, 24(6): 98–101.

曾治高, 钟文勤, 宋延龄, 等. 2001. 秦岭羚牛的采食行为. 动物学杂志, 36(6): 25–28.

张履冰, 崔绍朋, 黄元骏, 等. 2014. 红外相机技术在我国野生动物监测中的应用: 问题与限制. 生物多样性, 22(6): 696–703.

张明明, 杨朝辉, 王丞, 等. 2019. 贵州梵净山国家级自然保护区鸟兽红外相机监测. 生物多样性, 27(7): 813–818.

郑光美. 2017. 中国鸟类分类与分布名录. 3 版. 北京: 科学出版社.

周鸭仙, 李言阔, 李佳琦, 等. 2019. 基于红外相机技术调查桃红岭梅花鹿国家级自然保护区鸟兽多样性. 生态学报, 39(13): 4975–4984.

附录 1 老县城保护区内红外相机拍摄到的鸟类和兽类物种照片数量及相对丰富度指数

Appendix 1 Relative abundance index (RAI) of different mammals and birds based on camera trap photographs in Laoxiancheng National Nature Reserve

分类阶元 Taxonomic category	物种 Species	IUCN 红色名录 IUCN Red List	相机数量 Camera location	相对丰富度 Relative abundance index	独立照片数 Independent photographs
哺乳纲 Mammalia					
食肉目 Carnivora					
大熊猫科 Ailuropodidae	大熊猫 <i>Ailuropoda melanoleuca</i>	VU	25	2.66	51
鼬科 Mustelidae	黄喉貂 <i>Martes flavigula</i>	LC	4	0.37	7
	黄鼬 <i>Mustela sibirica</i>	LC	4	0.26	5
灵猫科 Viverridae	花面狸 <i>Paguma larvata</i>	LC	2	0.10	2
猫科 Felidae	豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	LC	5	0.26	5
	金猫 <i>Pardofelis temminckii</i>	NT	4	0.10	2
熊科 Ursidae	黑熊 <i>Ursus thibetanus</i>	VU	24	0.99	19
偶蹄目 Cetartiodactyla					
鹿科 Cervidae	毛冠鹿 <i>Elaphodus cephalophus</i>	NT	37	3.92	75
	小鹿 <i>Muntiacus reevesi</i>	LC	33	10.7	205
牛科 Bovidae	中华鬣羚 <i>Capricornis milneedwardsii</i>	NT	4	0.26	5
	中华斑羚 <i>Naemorhedus griseus</i>	VU	8	0.31	6
	羚牛 <i>Budorcas taxicolor</i>	VU	59	36.81	705
猪科 Suidae	野猪 <i>Sus scrofa</i>	LC	54	10.18	195
麝科 Moschidae	林麝 <i>Moschus berezovskii</i>	EN	16	1.20	23
啮齿目 Rodentia					
松鼠科 Sciuridae	隐纹花松鼠 <i>Tamiops swinhoei</i>	LC	19	3.45	66
豪猪科 Hystricidae	中国豪猪 <i>Hystrix hodgsoni</i>	LC	20	1.62	31
灵长目 Primates					
猴科 Cercopithecidae	川金丝猴 <i>Rhinopithecus roxellana</i>	EN	22	1.78	34
鸟纲 Aves					
鸡形目 Galliformes					
雉科 Phasianidae	血雉 <i>Ithaginis cruentus</i>	LC	8	1.98	38
	红腹角雉 <i>Tragopan temminckii</i>	LC	40	8.72	167
	勺鸡 <i>Pucrasia macrolopha</i>	LC	3	0.31	6
	红腹锦鸡 <i>Chrysolophus pictus</i>	LC	35	7.47	143

## 续附录 1

分类阶元 Taxonomic category	物种 Species	IUCN 红色名录 IUCN Red List	相机数量 Camera location	相对丰富度 Relative abundance index	独立照片数 Independent photographs
雀形目 Passeriformes					
鸫科 Turdidae	白顶溪鸫 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	LC	2	0.10	2
	虎斑地鸫 <i>Zoothera dauma</i>	LC	7	0.42	8
	灰头鸫 <i>Turdus rubrocanus</i>	LC	3	1.20	23
	乌鸫 <i>T. merula</i>	LC	2	0.21	4
画眉科 Timaliidae	橙翅噪鹛 <i>Garrulax elliotii</i>	LC	16	1.83	35
	白喉噪鹛 <i>G. albogularis</i>	LC	8	0.78	15
鸦科 Corvidae	红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	LC	9	0.47	9
	星鸦 <i>Nucifraga caryocatactes</i>	LC	6	1.25	24
鸢形目 Piciformes					
啄木鸟科 Picidae	大斑啄木鸟 <i>Dendrocopos major</i>	LC	1	0.05	1
	灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i>	LC	2	0.16	3
隼形目 Falconiformes					
鹰科 Accipitridae	鹰雕 <i>Spizaetus nipalensis</i>	LC	1	0.05	1
总数 Total					1 915

## 附录 2 老县城保护区内红外相机拍摄到的其他照片数量

## Appendix 2 Other photographs based on camera trap in Laoxiancheng National Nature Reserve

照片类型 Photo type	信息 Photographic information	相机数量 Camera location	独立照片数 Independent photographs
人类活动 Human activity	家牛 Cattle	3	13
	狗 Dog	1	1
未辨认 Unidentified		15	89
总数 Total			103