

人为干扰对白冠长尾雉的活动区面积和栖息地利用的影响

汪蕴琪^① 陆帅^① 刘正霄^① 靳亭^①
李建强^① 曾娅杰^② 徐基良^{①*}

① 北京林业大学生态与自然保护学院 北京 100083; ② 大石桥市自然资源事务中心 营口 115000

摘要: 人类活动会改变地区原始的生态环境, 对当地动物种群的空间利用产生影响。因此, 了解人为干扰条件下濒危物种对空间的利用情况有助于更好地进行保护。活动区和栖息地利用是对动物空间需求最好的度量, 掌握这些信息对有效保护鸟类具有重要意义。本研究于 2020 和 2021 年对湖北省广水市平靖关村周边的白冠长尾雉 (*Syrnaticus reevesii*) 进行追踪, 获得了 47 组白冠长尾雉的活动区面积和栖息地利用信息。将实际栖息地利用率的置信区间与理论利用率相比得到白冠长尾雉对栖息地的偏好, 并采用广义线性混合模型对栖息地利用率和活动区面积的影响因素进行逐步剔除分析。结果发现, 该地区白冠长尾雉主要利用针阔混交林、落叶阔叶林和灌木林, 但按照干扰强度划分后, 低干扰区的白冠长尾雉只倾向于利用针阔混交林。雄性个体对落叶阔叶林的利用率与居民点的距离呈负相关关系, 低干扰区雌性个体对落叶阔叶林的利用率与居民点距离呈反比, 而对针阔混交林利用率与居民点距离呈正相关, 雌性个体在高干扰区对针阔混交林的利用率随居民点和农田距离的增大而增大; 活动区面积方面, 雌性的面积显著大于雄性, 并且在高干扰区活动区面积与居民点距离呈负相关。以上研究结果提供了有关地栖性森林鸟类在人类主导的环境中的活动区及栖息地利用的响应, 为地栖性森林鸟类的保护工作提供了一定的科学依据。

关键词: 繁殖期; 白冠长尾雉; 卫星追踪; 人为干扰

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2023) 06-827-13

Effects of Human Disturbance on the Home Range and Habitat Utilization of the Reeves's Pheasants

WANG Yun-Qi^① LU Shuai^① LIU Zheng-Xiao^① JIN Ting^①
LI Jian-Qiang^① ZENG Ya-Jie^② XU Ji-Liang^{①*}

① School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

② Dashiqiao Natural Resources Affairs Centre, Yingkou 115000, China

Abstract: [Objectives] Human activities have significantly transformed the natural ecological environment of

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31872240);

* 通讯作者, E-mail: xujiliang@bjfu.edu.cn;

第一作者简介 汪蕴琪, 男, 硕士研究生; 研究方向: 生物多样性保育; E-mail: wangyunqizh@bjfu.edu.cn.

收稿日期: 2023-05-23, 修回日期: 2023-09-07 DOI: 10.13859/j.cjz.202323101

the region, leading to notable impacts on the spatial utilization patterns of local animal populations. Consequently, gaining insights into the spatial requirements of endangered species under conditions of human disturbance becomes crucial for their effective conservation. Home range and habitat utilization serve as paramount indicators of an animal's spatial needs, and comprehending the characteristics of home ranges and habitat preferences becomes imperative for bird conservation efforts to yield optimal results. **[Methods]** In this study, we employed the “noose method” to capture individuals and researched the breeding season home range of Reeves's Pheasants (*Syrnaticus reevesii*) using satellite tracking. The fixed kernel (FK) density estimation was utilized to estimate the home range and assess the habitat utilization of each individual. By analyzing the percentage of recorded locations within specific land types, we evaluated the habitat utilization of Reeves's Pheasants. The theoretical habitat utilization was determined by calculating the percentage of each land type in relation to the total study area. To assess the habitat selection preference of Reeves's Pheasants, we compared the confidence interval of actual habitat utilization with the numerical values of theoretical habitat utilization. Our analysis focused on three key factors associated with human disturbance: the intensity of human disturbance, distance to farm, and distance to residential areas. We performed a stepwise elimination analysis using generalized linear mixed models (GLMM) to examine the factors influencing habitat utilization and home range size of the Reeves's Pheasants. **[Results]** From 2020 to 2021, we have collected home range and habitat utilization for 47 individuals. The results showed that the Reeves's Pheasants mainly utilize mixed coniferous forests, deciduous broadleaf forests, and shrub forests (Table 1). However, when classified according to disturbance intensity, the Reeves's Pheasants in low-disturbance areas tend to use mixed coniferous forests only (Table 2). In high disturbance areas, the utilization rate of deciduous broadleaf forests by female individuals shows little change with respect to the distance to residential areas and farms, while the utilization rate of mixed coniferous forests increases as the distance to residential areas and farm increases. In low disturbance areas, as the distance to residential areas increases, the utilization rate of deciduous broadleaf forests decreases, but the utilization rate of mixed coniferous forests increases. Additionally, as the distance to the farm increases, the utilization rate of deciduous broadleaf forests also increases, but the relationship between the utilization rate of mixed coniferous forests and the distance to the farm is not as pronounced (Table 3, Fig. 3). The utilization rate of male individuals in deciduous broadleaf forests or mixed coniferous forests is not influenced by disturbance intensity. The utilization rate of male individuals in deciduous broadleaf forests decreases with increasing distance to residential areas and increases with increasing distance to farms. Neither the distance to residential areas nor the distance to farm affects the utilization rate of male individuals in mixed coniferous forests (Table 3, Fig. 4). The home range of females ($18.19 \pm 1.59 \text{ hm}^2$, $n = 28$) was significantly larger than that of males ($12.39 \pm 1.52 \text{ hm}^2$, $n = 19$), and the home range size of females was negatively correlated with the distance to residential areas in the high disturbance area (Table 4, Fig. 5). **[Conclusion]** These findings enhance our understanding of the spatial requirements and habitat preferences of the Reeves's Pheasants, shedding light on the influence of human disturbance on their behavior. Our study offers valuable insights into the behavioral responses of Galliformes to ongoing human activities, taking into account factors such as human disturbance, sex, home range, and habitat utilization. Through a comprehensive examination of these factors, our objective is to establish a solid scientific basis for the conservation of ground-nesting forest birds.

Key words: Breeding season; Reeves's pheasant, *Syrnaticus reevesii*; Satellite tracking; Human disturbance

日益增加的人为干扰强度和多样的人为干扰已经成为动物面临的主要生存威胁。人类通过开垦农田 (Erb et al. 2012)、修建道路 (He et al. 2019)、放牧 (陈利顶等 2000) 等方式, 侵占动物的生存空间, 进而影响到动物的活动范围和栖息地利用。例如, 伐木行为会长时间影响栖息地森林结构, 从而导致动物避开受到伐木干扰的栖息地 (Kang 2021); 高速公路的建立使动物栖息地的有毒金属含量增加 (Zheng et al. 2016), 影响了动物食物资源的质量 (Kang et al. 2020), 间接地危害动物健康; 牲畜通过占据动物适宜栖息地, 缩小了动物的活动范围 (Li et al. 2017)。不同区域内人为干扰的强度和形式存在差异, 动物对其响应和适应过程也不同 (Zhang et al. 2023)。

鸟类是重要的野生动物类群, 是生物多样性的的重要组成部分。研究表明, 人为干扰会影响鸟类的空间利用行为 (Kie et al. 2010), 活动区 (home range) 与栖息地利用 (habitat utilization) 可以反映这种行为 (Harris et al. 1990, Tucker et al. 2014)。国内外已经有不少学者开展了不同强度人为干扰对鸟类活动区和栖息地利用影响的研究。例如对黑鹳 (*Ciconia nigra*) 的研究发现其偏好在人类活动较少的区域 (Chevallier et al. 2010), 还有研究发现住宅密度的升高会减少当地常见鸟类的种群数量 (Ikin et al. 2013)。此外, 鸟类的分布和行为可能与干扰源的距离有关。例如在步道游客数量较多的情况下, 距离步道越近, 鸟类数量越少 (Alwis et al. 2016); 黑嘴鸥 (*Larus saundersi*) 会对油井、风力发电机等人造建筑有规避行为, 更喜欢在距离人造建筑较远且食物资源丰富的海水养殖池和盐碱地活动 (Xu H et al. 2021)。因此, 在人为干扰日益加剧的背景下, 评价人为干扰对鸟类活动区与栖息地利用的影响具有重要意义。

白冠长尾雉 (*Syrnaticus reevesii*) 是中国特有雉类, 国家一级重点保护野生动物, IUCN 评为易危 (vulnerable species) 级 (IUCN 2020),

对其野生种群的保护已成为相关工作人员关注的重点之一。此前, 人为干扰对白冠长尾雉影响的相关研究集中在人工林影响 (白洁 2013)、受胁因素 (周春发 2013)、日活动节律 (石江艳等 2020)、活动能力和反应 (Lu et al. 2022)、时空格局和行为 (Hua et al. 2022)、大尺度的空间分布 (田姗 2020) 以及受新冠肺炎疫情影响的活动模式 (Hua et al. 2023) 等。但人类干扰对白冠长尾雉活动区和栖息地利用影响的研究却相对较少。本研究以湖北省广水市平靖关村的白冠长尾雉为研究对象, 调查其活动区面积和栖息地利用情况, 并分析人为干扰强度和干扰源距离对两者的影响, 以期当地野生白冠长尾雉种群保护工作提供依据。

1 研究地点

根据白冠长尾雉种群现状和以往分布区域的研究 (Tian et al. 2021), 选择湖北省广水市平靖关村 (113°54' ~ 113°57' E, 31°50' ~ 31°53' N) 作为研究地点。平靖关村位于湖北省随州市广水市 (图 1), 是一个由村庄、茶园、板栗林、农田及旅游区组成的复合景观系统, 有常住人口 650 ~ 700 人, 生态旅游活跃。该地区主要由针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、灌木林、茶园、农田和居民区组成, 人为干扰和野生动物栖息地破碎化情况较为严重 (白洁 2013)。

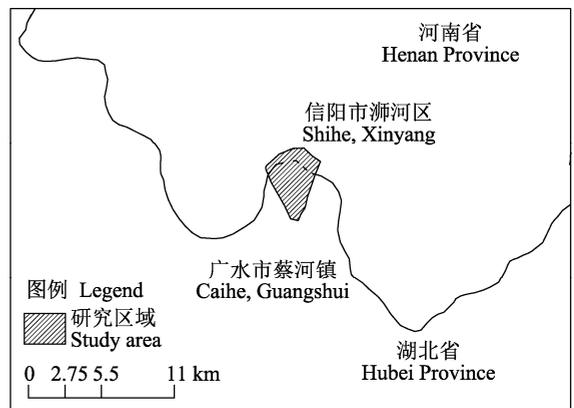


图 1 研究区域位置图

Fig. 1 The location map of the study area

2 研究方法

2.1 活动区面积

采用“足套法”捕捉白冠长尾雉，并采用“背负法”为其佩戴卫星追踪器，从捕获到释放整个过程一般不超过 0.5 h。卫星追踪器为中国成都德鲁伊科技有限公司生产的 LEGO 2G EL26 型，重量约 20 g，小于白冠长尾雉体重的 3%，不会对白冠长尾雉产生影响。追踪器设置为 1 h 记录一次 GPS 位点，个体有效位点记录时间是从捕捉日放归一周后开始，至白冠长尾雉繁殖期结束（6 月 20 日）。一共为在平靖关捕捉的 43 只白冠长尾雉（雄性 18 只，雌性 25 只）佩戴了卫星追踪器。因为白冠长尾雉为典型的昼行性物种，一般 4:00~20:00 时活动（赵玉泽等 2013），剩余的时间在树枝上休憩过夜（方成良等 1997），因此删除了 20:00 时至翌日 4:00 时的位点。孵卵期雌性多数时间在巢中孵卵，故没有将繁殖雌性孵卵期在巢中的数据纳入分析。使用 ArcView 3.3 中 Animal Movement 加载项中的 95% 固定核空间法（fixed kernel）计算出活动区域。在使用固定核心法计算活动区域时，使用“最小二乘交互检验”（least squares cross validation, LSCV）作为平滑因子，其余参数均是默认值，计算活动区域一般要求个体的合格位点数超过 30 组。

2.2 栖息地利用

结合已知白冠长尾雉的活动区面积和活动能力（陆帅 2023），选择 400 m 作为活动区范围的平均直径。以所有追踪的白冠长尾雉个体的活动范围为基础，向外扩展 400 m 或到明显的边界（省道）作为研究区域（图 2）。以实地样线调查和打点记录为主，结合该地区的卫星遥感影像（2018 年），在 ArcGIS 10.5（ESRI 2016）中对研究区域的土地利用情况进行勾画，将研究区域的土地类型分为针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、灌木林、荒地、水库、小路、农田和居民区。其中，荒地代表荒弃闲置或没有农作物覆盖的土地，居民点定义为房屋及周围不透水地面区域，农田为已经翻耕或已有作

物的耕地。将所记录白冠长尾雉的点位实际落在某种土地类型的数量百分比作为白冠长尾雉的实际栖息地利用率（叶思嘉等 2021），每一种土地类型占研究区域总面积的百分比作为白冠长尾雉对该土地类型的理论利用率。使用 Bonferroni 方法计算实际栖息地利用率的置信区间，通过比较实际利用率的置信区间和理论利用率的数值来判断白冠长尾雉栖息地选择偏好（戎可等 2009）。

2.3 人为干扰定义

平靖关的人为干扰主要以采摘茶叶等农业活动为主，因此选取了居民点和农田作为人为干扰源。选择居民点和农田的距离作为人为干扰影响因素，距离的测量采用 ArcMap 10.5 中的近邻分析工具完成，计算出每只白冠长尾雉个体所有位点分别到居民点和农田的距离，取平均值作为白冠长尾雉个体分别到居民点和农田的距离。使用 ArcMap 10.5 中的点密度空间分析工具，采用邻域法分析白冠长尾雉的活动位点，获得卫星追踪位点的聚集密度区。繁殖期雄性白冠长尾雉具有较强的地点忠诚度，很少进行远距离扩散，因此依据位点的聚集密度区将研究区域划分为南北两块区域。

在景观格局分析的指数里，面积加权的平均斑块分形指数（area-weighted mean patch fractal dimension, AWMPFD）反映了人类对景观格局的干扰影响效果（管超毅 2022），该指数运用了分维理论来度量景观和斑块在空间形状上的复杂性（Liu et al. 2008），与人类活动的影响程度呈反比。本研究比较南北两块区域的面积加权的平均斑块分形指数（AWMPFD）值，北部区域的 AWMPFD 值小于南部区域，因此将北部区域定义为高干扰区，南部区域定义为低干扰区。相关参数通过 Fragstats 4.2（McGarigal et al. 1995）得到。

2.4 统计分析

考虑到雌雄白冠长尾雉在繁殖期的活动模式有所差异，在模型分析中将雌雄个体分组分析。使用 Spearman 相关性分析检验繁殖期活动

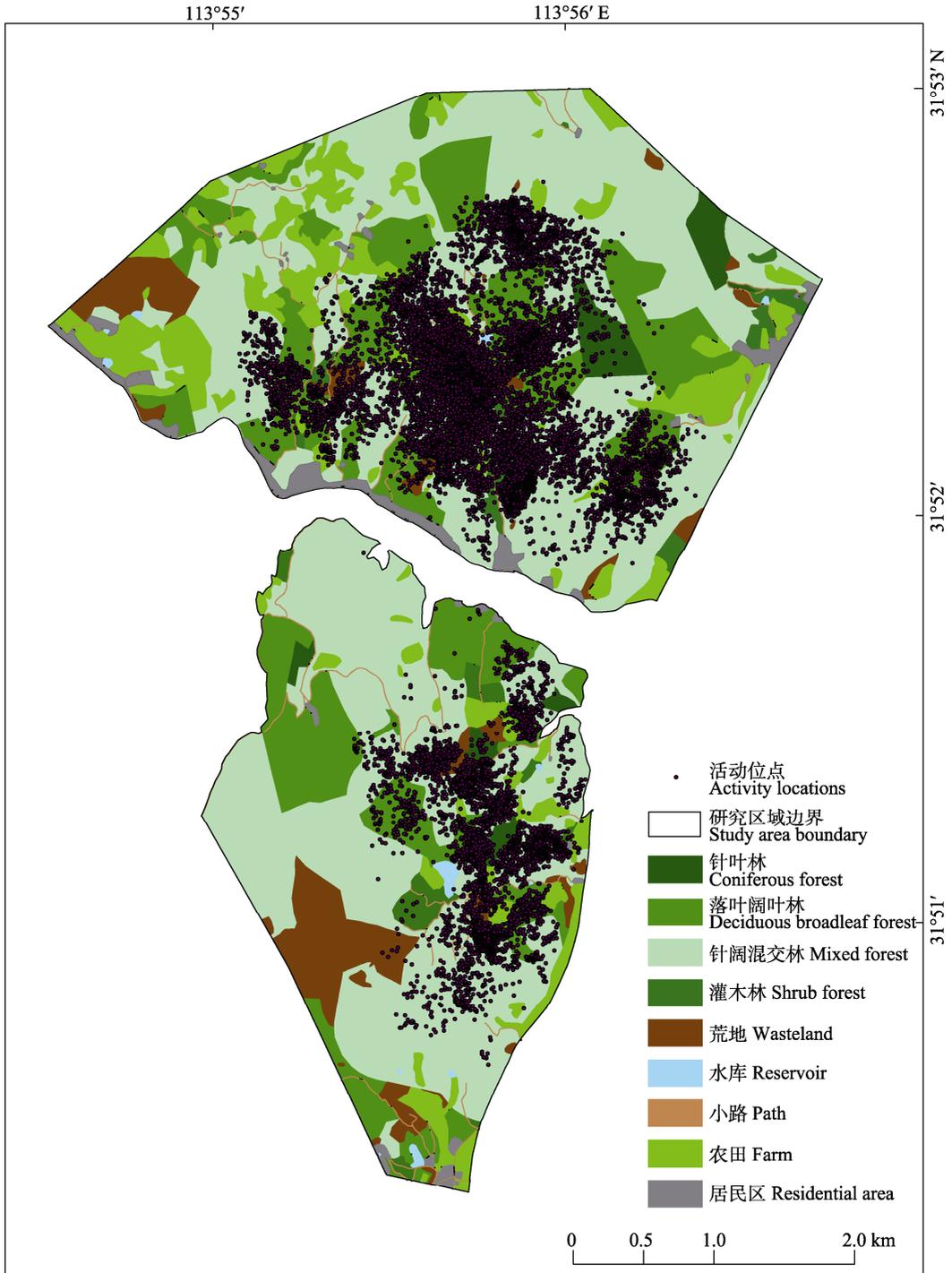


图 2 研究区域植被分类图和白冠长尾雉活动位点

Fig. 2 Vegetation classification in study area and activity sites of the Reeves's Pheasants

区面积与追踪累计天数和位点数量是否存在相关性，若不存在相关性，则进行下一步分析。

将偏好栖息地的实际利用率和活动区面积按照 $X' = \ln(X + 1)$ 对数转化，并进行正态性检验。

若数据不符合正态分布, 则采用广义线性混合模型 (generalized linear mixed model, GLMM) 分析偏好栖息地的实际利用率、活动区面积与干扰强度和人为干扰源距离之间的关系。其中, 因变量分别为每个类型栖息地的实际利用率或活动区面积, 解释变量为干扰强度、居民点距离、农田距离以及三者之间的两两交互作用和三维交互作用, 个体 ID 设为随机效应。采用逐步剔除法从最不显著的三维交互作用或二维交互作用开始对初始模型进行简化, 得到最终模型。所有检验均为双尾检验 (2-tailed), 数据处理在 SPSS 26.0 软件 (IBM Corp., Chicago, IL, USA) 上完成。

3 结果

3.1 活动区面积和栖息地利用情况

本研究共收集到 42 只 (17♂, 25♀) 共 47 组 (19♂, 28♀) 白冠长尾雉的数据, 有效点位共计 28 741 个, 其中, 雌性平均有效点位 (609.61 ± 65.28) 个 ($n = 28$, 平均值 \pm 标准误, 下同), 雄性平均有效点位 (614.32 ± 73.02) 个 ($n = 19$), 平靖关地区白冠长尾雉个体平均活动区面积为 (15.84 ± 1.19) hm^2 , 其中雄性

(12.39 ± 1.52) hm^2 , 雌性 (18.19 ± 1.59) hm^2 。

白冠长尾雉栖息地利用的情况见表 1。Bonferroni 方法分析的结果显示, 落叶阔叶林、针阔混交林和灌木林的实际利用率显著大于理论利用率, 说明该地区白冠长尾雉对这 3 种类型土地的使用存在偏好。追踪个体对于针叶林、荒地、农田、水库、小路和居民区的实际利用率均显著低于相应土地类型的理论利用率, 均为白冠长尾雉利用较少的土地类型。

3.2 人为干扰对栖息地利用的影响

不同干扰程度下白冠长尾雉的栖息地利用存在差异, 高干扰区的栖息地利用情况与整体区域保持一致, 但低干扰区的白冠长尾雉倾向于利用该地区的针阔混交林 (表 2)。

广义线性混合模型结果显示, 雌性和雄性白冠长尾雉的栖息地利用率与人类干扰均有显著关系 (表 3)。其中, 雄性白冠长尾雉对落叶阔叶林的利用率随着与居民点和农田距离的缩短而增大 ($t = -3.199$, $P = 0.006$); 而雌性个体的栖息地利用率受人类干扰影响更为明显, 落叶阔叶林 ($t = 2.411$, $P = 0.026$) 和针阔混交林 ($t = -2.787$, $P = 0.011$) 的利用率均受到干扰强度、居民点和农田距离三者交互作用的

表 1 平靖关地区白冠长尾雉的栖息地利用

Table 1 Habitat utilization of Reeves's Pheasants in the Pingjingguan area

土地类型 Land types	实际利用率 Actual utilization rate (%)	位点数 Tracking data points	理论利用率 Theoretical utilization rate (%)	Bonferroni 95%置信区间 Bonferroni 95% confidence interval	选择性 Tendency
针叶林 Coniferous forest	0.539	155	2.302	(0.005, 0.006)	-
落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	24.932	7 166	20.995	(0.244, 0.254)	+
针阔混交林 Mixed forest	66.881	19 221	55.116	(0.663, 0.674)	+
灌木林 Shrub forest	2.943	846	2.055	(0.027, 0.031)	+
荒地 Wasteland	2.637	758	5.694	(0.025, 0.028)	-
水库 Reservoir	0.021	6	0.297	(0.000, 0.001)	-
小路 Path	0.421	121	0.943	(0.003, 0.005)	-
农田 Farm	1.618	465	10.593	(0.015, 0.018)	-
居民点 Residential area	0.010	3	2.005	(0.000, 0.001)	-

“+”表示偏好栖息地类型;“-”表示回避栖息地类型。

“+” represents a preference for habitat types;“-” represents an aversion to habitat types.

表 2 不同干扰强度下白冠长尾雉的栖息地利用

Table 2 Habitat utilization of Reeves's Pheasants at different disturbance intensities

土地类型 Land types	高干扰区 High disturbance areas			低干扰区 Low disturbance areas		
	理论利用率 Theoretical utilization rate (%)	Bonferroni 95%置信区间 Bonferroni 95% confidence interval	选择性 Tendency	理论利用率 Theoretical utilization rate (%)	Bonferroni 95%置信区间 Bonferroni 95% confidence interval	选择性 Tendency
针叶林 Coniferous forest	2.766	(0.003, 0.004)	-	1.612	(0.008, 0.013)	-
落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	22.161	(0.281, 0.293)	+	19.260	(0.132, 0.148)	-
针阔混交林 Mixed forest	52.626	(0.633, 0.646)	+	58.819	(0.744, 0.764)	+
灌木林 Shrub forest	1.841	(0.036, 0.041)	+	2.374	(0.001, 0.003)	-
荒地 Wasteland	3.652	(0.011, 0.014)	-	8.730	(0.061, 0.073)	-
水库 Reservoir	0.152	(0.000, 0.001)	-	0.512	(0.000, 0.001)	-
小路 Path	0.773	(0.003, 0.004)	-	1.197	(0.004, 0.008)	-
农田 Farm	13.237	(0.013, 0.016)	-	6.660	(0.017, 0.024)	-
居民点 Residential area	2.792	(0.000, 0.001)	-	0.836	(0.000, 0.001)	-

“+”表示偏好栖息地类型；“-”表示回避栖息地类型。

“+” represents a preference for habitat types; “-” represents an aversion to habitat types.

影响：雌性白冠长尾雉在高干扰区对落叶阔叶林的利用率高于低干扰区，对针阔混交林的利用率低于低干扰区；雌性个体在高干扰区对落叶阔叶林的利用率与距居民点距离和距农田距离的变化不明显，而对针阔混交林的利用率随距居民点和距农田距离的增大而增大；在低干扰区，距居民点的距离越远，雌性个体对落叶阔叶林的利用率降低，但对针阔混交林的利用率升高；而随着距农田距离的增大，雌性个体对落叶阔叶林的利用率也增大，但针阔混交林的利用率与距农田距离关系并不明显（表 3，图 3）。雄性白冠长尾雉对落叶阔叶林或针阔混交林的利用率不受干扰强度影响；雄性个体对落叶阔叶林的利用率随着与居民点距离增大而减小，随着与农田距离的增大而增大。距居民点距离和距农田距离皆不影响雄性个体对针阔混交林的利用率（表 3，图 4）。

3.3 人为干扰对活动区面积的影响

Spearman 相关性检验结果显示，活动区面积与累计追踪天数 ($r = 0.234$, $P = 0.113$) 和

位点数 ($r = -0.010$, $P = 0.945$) 均没有显著的相关性，可以进行统计分析。模型结果显示，雄性个体活动区面积受人类干扰影响并不显著。雌性个体的活动区面积与农田距离成正相关关系 ($t = 2.223$, $P = 0.036$) 且不受干扰强度的影响。但不同干扰强度下雌性个体活动区面积与距居民点距离的关系不同 ($t = -3.024$, $P = 0.006$)，在高干扰强度下与居民点距离成负相关关系，低干扰强度则呈现正相关关系（表 4，图 5）。

4 讨论

4.1 栖息地偏好

栖息地是动物生存的空间，决定着食物资源、隐蔽条件等相关因素，最终影响着动物的生存和繁衍（颜忠诚等 1998）。本研究表明，平靖关地区的白冠长尾雉偏好利用针阔混交林、落叶阔叶林和灌木林，这与先前在董寨国家级自然保护区的研究结果（Xu et al. 2007）接近，但是在本研究中，白冠长尾雉较少利用

表 3 人为干扰对白冠长尾雉栖息地利用的影响

Table 3 The effect of human disturbance on habitat use by the Reeves's Pheasants

	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest			针阔混交林 Mixed forest		
	估计值 ± 标准误 Estimate ± SE	<i>t</i>	<i>P</i>	估计值 ± 标准误 Estimate ± SE	<i>t</i>	<i>P</i>
雌性 Female (<i>n</i> = 28)						
干扰强度 Disturbance intensity	1.928 ± 0.735	2.623	0.016*	- 2.081 ± 0.710	- 2.932	0.008*
居民点距离 Distance to residential areas	0.002 ± 0.001	1.796	0.088	- 0.002 ± 0.001	- 2.437	0.024*
农田距离 Distance to farm	0.015 ± 0.008	1.868	0.076	- 0.020 ± 0.008	- 2.647	0.015*
干扰强度 × 居民点距离 Disturbance intensity × Distance to residential areas	- 0.003 ± 0.001	- 2.470	0.023*	0.003 ± 0.001	2.748	0.012*
干扰强度 × 农田距离 Disturbance intensity × Distance to farm	- 0.021 ± 0.009	- 2.393	0.027*	0.024 ± 0.008	2.850	0.010*
居民点距离 × 农田距离 Distance to residential areas × Distance to farm	- 0.001 ± 0.001	- 1.844	0.080	0.001 ± 0.001	2.553	0.019*
干扰强度 × 居民点距离 × 农田距离 Disturbance intensity × Distance to residential areas × Distance to farm	0.001 ± 0.001	2.411	0.026*	- 0.001 ± 0.001	- 2.787	0.011*
雄性 Male (<i>n</i> = 19)						
干扰强度 Disturbance intensity	0.088 ± 0.100	0.875	0.396	- 0.035 ± 0.106	- 0.326	0.749
居民点距离 Distance to residential areas	0.001 ± 0.001	2.253	0.040*	0.001 ± 0.001	0.129	0.899
农田距离 Distance to farm	0.006 ± 0.002	3.006	0.009*	- 0.001 ± 0.001	- 0.609	0.552
干扰强度 × 居民点距离 Disturbance intensity × Distance to residential areas	0.001 ± 0.001	1.294	0.218	0.001 ± 0.001	1.839	0.089
干扰强度 × 农田距离 Disturbance intensity × Distance to farm	0.002 ± 0.007	0.261	0.799	- 0.006 ± 0.003	- 1.892	0.079
居民点距离 × 农田距离 Distance to residential areas × Distance to farm	- 0.001 ± 0.001	- 3.199	0.006*	0.001 ± 0.001	0.297	0.771
干扰强度 × 居民点距离 × 农田距离 Disturbance intensity × Distance to residential areas × Distance to farm	- 0.001 ± 0.001	- 1.653	0.129	0.001 ± 0.001	1.136	0.280

* 表示影响显著。* means significant influence.

当地的针叶林。白冠长尾雉是地栖性鸟类，对植被类型和森林覆盖率都有着一定的需求，较高的森林覆盖率能够为白冠长尾雉提供掩护，并且针阔混交林和落叶阔叶林的地表枯落物盖度高，土壤肥沃湿润，具有丰富的土壤动物资源（王疆评等 2014），给白冠长尾雉提供了适宜的生存环境。平靖关地区的针叶林以杉木（*Cunninghamia lanceolata*）为主，林下分布有众多的杉木丛，枯萎后锋利的叶片不利于动物活动，因此当地白冠长尾雉会回避这种栖息地类型。

本研究还发现，白冠长尾雉较多利用灌木

丛，灌木丛一方面可以提供一定的食物来源，另一方面还提供了躲避天敌和繁殖的场所。但白冠长尾雉具有较长的尾羽，在较密的灌木丛中行动不便，我们在野外调查中发现，部分繁殖雌性白冠长尾雉的尾羽有着明显的弯曲，这是在巢中长时间孵卵时尾羽被灌木阻挡、无法伸直导致。此外，林下空间也分布有较为稀疏的灌木丛，能够为动物提供掩护，因此灌木林的利用率远远小于森林类型。

4.2 人为干扰与栖息地利用

近年来，由于人类活动强度增大，并且一直持续，已经影响了动物的栖息地选择（Ripari

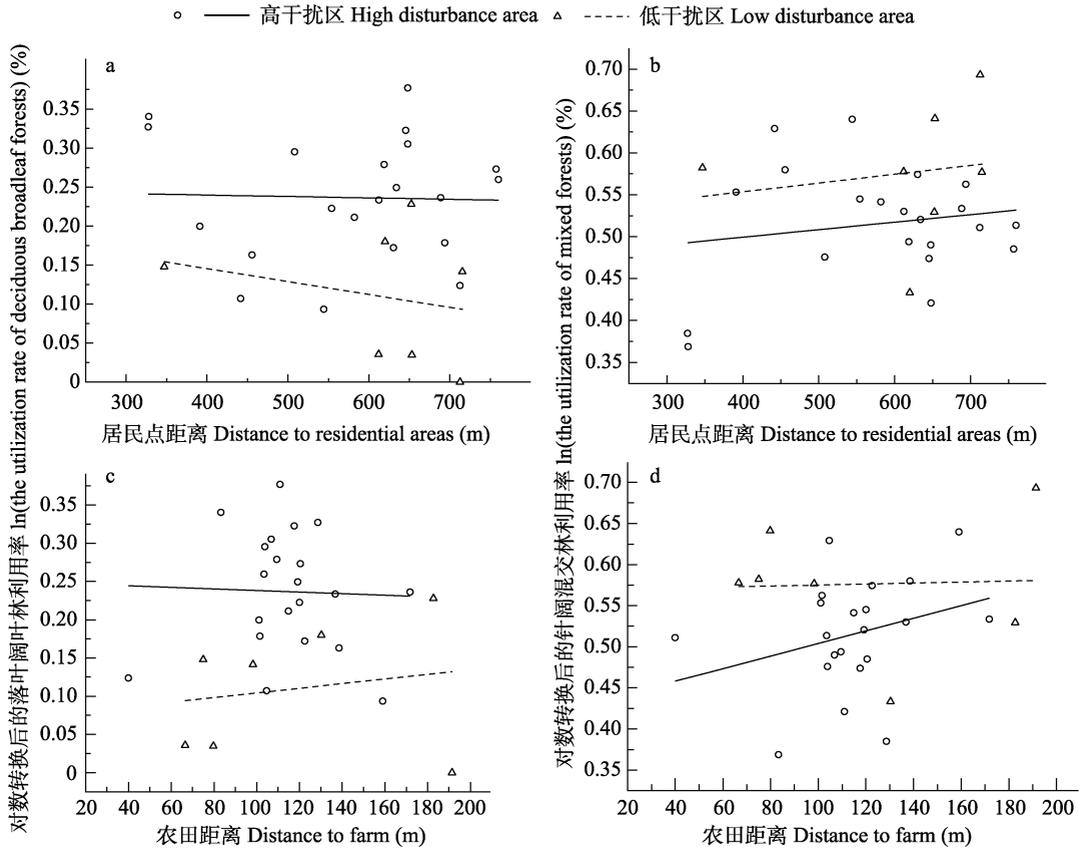


图 3 雌性白冠长尾雉栖息地利用率随人为干扰距离的变化情况

Fig. 3 The variation in habitat utilization and human disturbance distance among female Reeves's Pheasants

a. 落叶阔叶林利用率随居民点距离的变化情况；b. 针阔混交林利用率随居民点距离的变化情况；c. 落叶阔叶林利用率随农田距离的变化情况；d. 针阔混交林利用率随农田距离的变化情况。

a. The variation of utilization rate of deciduous broadleaf forests with distance to residential areas; b. The variation of utilization rate of mixed forests with distance to residential areas; c. The variation of utilization rate of deciduous broadleaf forests with distance to farm; d. The variation of utilization rate of mixed forests with distance to farm.

et al. 2022)。本研究发现，人为干扰较重的农田和荒地是白冠长尾雉较少利用的类型，农田地区蕴含着较为丰富的生物多样性（Andren 1994），能够提供更多的食物选择，但是农业活动和杀虫剂（Goulson 2014）的使用会对动物的身体健康产生不利影响；荒地的生物资源较少，郁闭度远远不及森林地区，因此白冠长尾雉会主动避开这些地区。同时，靠近农田也存在一些弊端，部分雌性白冠长尾雉已经落入“生态陷阱”（Robertson et al. 2006）中，少数雌性个体将巢筑在了郁闭度较高的茶叶丛里，农民

采摘茶叶时会不小心惊飞这些繁殖雌性，导致繁殖失败。

本研究发现，随着与农田距离的减小，雄性和低干扰区的雌性白冠长尾雉对落叶阔叶林的利用率都降低，这可能是由于研究区域的人为干扰类型主要为采茶作业，活动高峰期集中在3月份和4月初，此时落叶阔叶林提供的郁闭度较为有限。由于该阶段农田茶园的人为活动较多，因此白冠长尾雉会回避在农田茶园附近的落叶阔叶林活动。在高干扰区，雌性对针阔混交林的利用率随与农田距离的增大而增

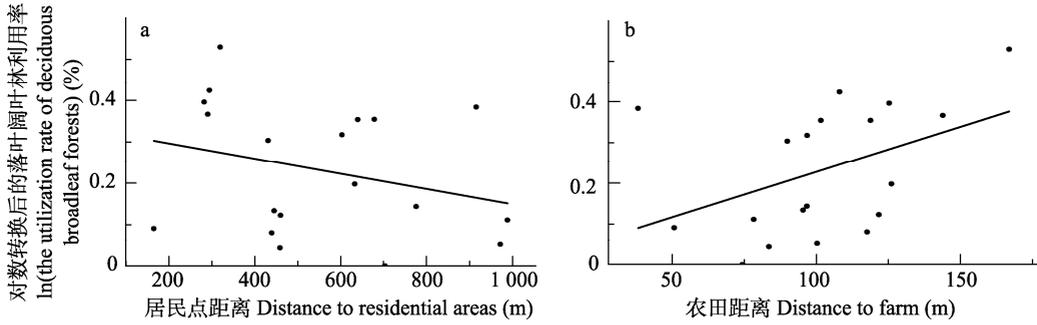


图 4 雄性白冠长尾雉栖息地利用率随人为干扰距离的变化情况

Fig. 4 The variation in habitat utilization and human disturbance distance among male Reeves’s Pheasants

a. 落叶阔叶林利用率随居民点距离的变化情况；b. 落叶阔叶林利用率随农田距离的变化情况。

a. The variation of utilization rate of deciduous broadleaf forests with distance to residential areas; b. The variation of utilization rate of deciduous broadleaf forests with distance to farm.

表 4 人为干扰对白冠长尾雉活动区面积的影响

Table 4 The effect of human disturbance on the home range size of the Reeves’s Pheasants

	雌性 (n = 28) Female (n = 28)			雄性 (n = 19) Male (n = 19)		
	估计值 ± 标准误差 Estimate ± SE	t	P	估计值 ± 标准误差 Estimate ± SE	t	P
干扰强度 Disturbance intensity	2.069 ± 0.686	3.016	0.006*	0.707 ± 0.411	1.720	0.106
居民点距离 Distance to residential areas	0.001 ± 0.001	1.455	0.159	- 0.001 ± 0.001	- 1.060	0.306
农田距离 Distance to farm	0.006 ± 0.003	2.223	0.036*	- 0.008 ± 0.006	- 1.375	0.189
干扰强度 × 居民点距离 Disturbance intensity × Distance to residential areas	- 0.003 ± 0.001	- 3.024	0.006*	- 0.002 ± 0.002	- 1.014	0.329
干扰强度 × 农田距离 Disturbance intensity × Distance to farm	0.006 ± 0.005	1.159	0.259	0.041 ± 0.028	1.465	0.169
居民点距离 × 农田距离 Distance to residential areas × Distance to farm	0.001 ± 0.001	0.424	0.676	0.001 ± 0.001	0.571	0.577
干扰强度 × 居民点距离 × 农田距离 Disturbance intensity × Distance to residential areas × Distance to farm	0.001 ± 0.001	2.050	0.054	0.001 ± 0.001	- 1.079	0.304

* 表示影响显著。* means significant influence.

大，这可能也说明雌性个体会回避人为干扰较强的环境。最近的研究显示，基础设施和人为干扰对动物栖息地利用的影响具有累积效应 (Eftestøl et al. 2021)，在不同距离内的影响程度不同，今后的研究中可以在距离上划分出更细的尺度，发现其中的影响机制。

4.3 人为干扰与活动区面积

人为干扰现在正成为动物分布范围收缩的主要驱动力 (Li et al. 2015)，鸟类作为生物多样性的的重要组成部分，对人类的干扰非常敏感。

鸟类会将人类作为潜在捕食者，当人类突然出现时，鸟类会做出相应的行为上和生理上的反应，例如警戒 (Xu W et al. 2021)、攻击 (Bhardwaj et al. 2015) 和皮质酮水平变化 (杜枫林等 2020) 等等。因此在人为干扰较重的区域，人类的活动会影响到鸟类的行为模式 (Weston et al. 2007)。

在本研究个体中，雌性白冠长尾雉的活动区面积更容易受到人为干扰的影响，高干扰强度下活动区面积会随着与居民点距离的减小而

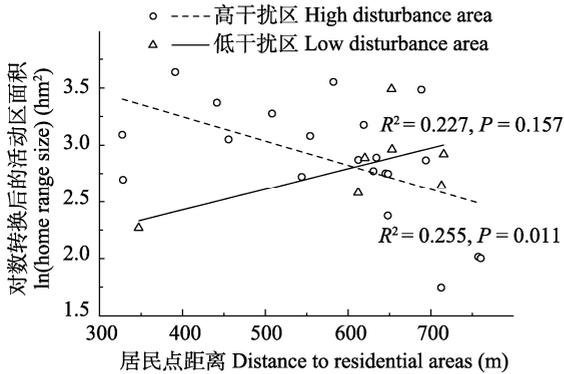


图5 雌性白冠长尾雉活动区面积随居民点距离的变化
Fig. 5 Variation in the home range size of the female Reeves's Pheasants with distance to residential areas

增大；低干扰强度则相反，这种情况下遇见人类的可能性会增大，动物会迅速逃避(Kalb et al. 2019)，导致活动区面积增大。此外，这种现象也与捕食行为有关。鸡形目鸟类通常面临着比较大的捕食压力(Mateos 1998)，根据“无利可图的猎物假说”(unprofitable-prey hypothesis)，雄性鸡形目鸟类鲜艳的颜色和较大的体型会让自己不会成为捕食者的首要捕猎目标，猛禽进而会选择颜色比较黯淡、体型较小的雌性和雏鸟进行捕食，因此，雌性个体面临着更大的捕食压力。白冠长尾雉的天敌主要为猛禽和小型食肉类动物(徐基良等 2002)。在野外研究过程中发现，平靖关地区生活着较多的灰脸鵟鹰(*Buteo indicus*)。灰脸鵟鹰一般会选择距离最近的森林边缘和干扰较远的森林生存(邓文洪等 2003)，所以在靠近人类居住的区域，灰脸鵟鹰等猛禽的出现频次较低。正是这种“空间人类盾牌”(spatial human shields)效应(Gaynor et al. 2018)，接近居民点区域的雌性白冠长尾雉捕食压力小于远离居民点的区域，会不成比例地出现在与捕食者接触有限的区域(Lima 1998)，局部地区种群密度会增加，配偶、领地、资源等竞争更加剧烈，部分竞争失败的个体会被迫前往另一块地区，活动区面积相对更大。雄性个体因其本身在繁殖季节存在占区行为，在较小的一块区域活动，因此受人

类干扰的影响也远远小于雌性个体。

野外数据在某些条件下，能够获得可靠的信息反映各种行为，这对更好地保护濒危动物来说是非常重要的。卫星追踪技术拥有着较高的分辨率，同时还具有追踪范围较广、信息精确等特点(徐家慧 2019)，适合大尺度研究，被认为是研究野生动物行为、尤其是鸟类行为的一种有效的方法(Palm et al. 2015)。本研究中，为白冠长尾雉个体佩戴太阳能充电的卫星追踪器并进行追踪，远距离收集到白冠长尾雉繁殖期的活动数据。基于已收集到的数据和结果，为了更好地保护当地白冠长尾雉的野生种群，建议对当地的森林植被进行有效的保护，并且在不打扰当地农民正常农业活动的前提下，控制人为干扰强度。此外，盗猎频繁发生也是白冠长尾雉种群下降如此之快的重要原因，相关的政府工作部门应当加强对当地群众的宣传，减少盗猎偷猎行为，积极开展关键物种的保护工作。

参 考 文 献

- Alwis N S, Perera P, Dayawansa N P. 2016. Response of tropical avifauna to visitor recreational disturbances: A case study from the Sinharaja World Heritage Forest, Sri Lanka. *Avian Research*, 7(1): 15.
- Andren H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: A review. *Oikos*, 71(3): 355–366.
- Bhardwaj M, Dale C A, Ratcliffe L M. 2015. Aggressive behavior by Western Bluebirds (*Sialia mexicana*) varies with anthropogenic disturbance to breeding habitat. *The Wilson Journal of Ornithology*, 127(3): 421–431.
- Chevallier D, Le Maho Y L, Baillon F, et al. 2010. Human activity and the drying up of rivers determine abundance and spatial distribution of Black Storks *Ciconia nigra* on their wintering grounds. *Bird Study*, 57(3): 369–380.
- Eftestøl S, Tsegaye D, Flydal K, et al. 2021. Cumulative effects of infrastructure and human disturbance: A case study with reindeer. *Landscape Ecology*, 36(9): 2673–2689.

- Erb P L, McShea W J, Guralnick R P. 2012. Anthropogenic influences on macro-level mammal occupancy in the appalachian trail corridor. *PLoS ONE*, 7(8): e42574.
- ESRI. 2016. ArcGIS Version 10.5. Redlands, California, USA: Environmental System Research Institute.
- Gaynor K M, Hohnowski C E, Carter N H, et al. 2018. The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science*, 360(6394): 1232–1235.
- Goulson D. 2014. Pesticides linked to bird declines. *Nature*, 511(7509): 295–296.
- Harris S, Cresswell W J, Forde P G, et al. 1990. Home-range analysis using radio-tracking data: A review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. *Mammal Review*, 20(2/3): 97–123.
- He K, Dai Q, Gu X H, et al. 2019. Effects of roads on giant panda distribution: a mountain range scale evaluation. *Scientific Reports*, 9(1): 1110.
- Hua J Q, Lu S, Song K, et al. 2022. Effects of livestock grazing on spatio-temporal patterns and behaviour of Reeves's Pheasant *Syrnaticus reevesii*. *Animals*, 12(21): 2968.
- Hua J Q, Tian S, Lu S, et al. 2023. COVID-19 lockdown has indirect, non-equivalent effects on activity patterns of Reeves's Pheasant (*Syrnaticus reevesii*) and sympatric species. *Avian Research*, 14: 100092.
- Ikin K, Beaty R M, Lindenmayer D B, et al. 2013. Pocket parks in a compact city: how do birds respond to increasing residential density? *Landscape Ecology*, 28(1): 45–56.
- IUCN. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-2. [EB/OL]. [2020-03-07]. <https://www.iucnredlist.org/>.
- Kalb N, Anger F, Randler C. 2019. Flight initiation distance and escape behavior in the black redstart (*Phoenicurus ochruros*). *Ethology*, 125(7): 430–438.
- Kang D W. 2021. A review of the impacts of four identified major human disturbances on the habitat and habitat use of wild giant pandas from 2015 to 2020. *Science of The Total Environment*, 763(1): 142975.
- Kang D W, Zhao Z J, Chen X Y, et al. 2020. Characteristics and impacts of solid waste on giant panda habitat in Wanglang Nature Reserve. *Science of The Total Environment*, 724(1): 138210.
- Kie J G, Matthiopoulos J, Fieberg J, et al. 2010. The home-range concept: are traditional estimators still relevant with modern telemetry technology? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550): 2221–2231.
- Li B V, Pimm S L, Li S, et al. 2017. Free-ranging livestock threaten the long-term survival of giant pandas. *Biological Conservation*, 216: 18–25.
- Li X H, Jiang G S, Tian H D. 2015. Human impact and climate cooling caused range contraction of large mammals in China over the past two millennia. *Ecography*, 38(1): 74–82.
- Lima S L. 1998. Stress and decision making under the risk of predation: Recent developments from behavioral, reproductive, and ecological perspectives. *Advances in the Study of Behavior*, Elsevier, 27: 215–290.
- Liu S L, Cui B S, Dong S K, et al. 2008. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk—A case study in Lancang River Valley of Southwest China. *Ecological Engineering*, 34(2): 91–99.
- Lu S, Liu Z X, Tian S, et al. 2022. Sex-specific movement responses of Reeves's Pheasant to human disturbance: Importance of body characteristics and reproductive behavior. *Animals*, 12(13): 1619.
- Mateos C. 1998. Sexual selection in the ring-necked pheasant: A review. *Ethology Ecology & Evolution*, 10(4): 313–332.
- McGarigal K, Marks B J. 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Palm E C, Newman S H, Prosser D J, et al. 2015. Mapping migratory flyways in Asia using dynamic Brownian bridge movement models. *Movement Ecology*, 3(1): 3.
- Ripari L, Premier J, Belotti E, et al. 2022. Human disturbance is the most limiting factor driving habitat selection of a large carnivore throughout Continental Europe. *Biological Conservation*, 266: 109446.
- Robertson B A, Hutto R L. 2006. A framework for understanding ecological traps and an evaluation of existing evidence. *Ecology*, 87(5): 1075–1085.

- Tian S, Xu J L, Li J Q, et al. 2021. Response of Reeves's Pheasants distribution to human infrastructure in the Dabie Mountains over the last 20 years. *Animals*, 11(7): 2037.
- Tucker M A, Ord T J, Rogers T L. 2014. Evolutionary predictors of mammalian home range size: Body mass, diet and the environment. *Global Ecology and Biogeography*, 23(10): 1105–1114.
- Weston M A, Elgar M A. 2007. Responses of incubating Hooded Plovers (*Thinornis rubricollis*) to disturbance. *Journal of Coastal Research*, 23(3): 569–576.
- Xu H, Li D, Hou X Y, et al. 2021. Home range and habitat disturbance identification for a vulnerable shorebird species (*Larus saundersi*) in the Yellow River Delta, China. *Journal of Coastal Research*, 37(4): 737–748.
- Xu J L, Zhang Z W, Zheng G M, et al. 2007. Home range and habitat use of Reeves's Pheasant *Syrnaticus reevesii* in the protected areas created from forest farms in the Dabie Mountains, central China. *Bird Conservation International*, 17(4): 319–330.
- Xu W Y, Gong Y, Wang H T. 2021. Alert time reflects the negative impacts of human disturbance on an endangered bird species in Changbai Mountain, China. *Global Ecology and Conservation*, 28: e01709.
- Zhang C, Li Y M, Hu X Y, et al. 2023. Human-induced behavioural changes of global threatened terrestrial mammals. *Global Ecology and Biogeography*, 32(9): 1645–1659.
- Zheng Y J, Chen Y P, Maltby L, et al. 2016. Highway increases concentrations of toxic metals in giant panda habitat. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(21): 21262–21272.
- 白洁. 2013. 人工林对白冠长尾雉活动区的影响研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文.
- 陈利顶, 傅伯杰. 2000. 干扰的类型、特征及其生态学意义. *生态学报*, 20(4): 581–586.
- 邓文洪, 高玮, 王海涛. 2003. 影响灰脸鵟鹰巢址选择的主要生态因素. *生态学报*, 23(11): 2246–2252.
- 杜枫林, 张淑萍, 丁长青. 2020. 鸟类应激反应的诱发和影响因素. *动物学杂志*, 55(4): 518–531.
- 方成良, 丁玉华. 1997. 白冠长尾雉的越冬生态. *生态学杂志*, 16(2): 68–69.
- 管超毅. 2022. 景观动态对白头叶猴生境及其廊道构建的影响研究. 广西: 广西师范大学硕士学位论文.
- 陆帅. 2023. 片段化栖息地中白冠长尾雉 (*Syrnaticus reevesii*) 繁殖期运动特征及其影响因素. 北京: 北京林业大学博士学位论文.
- 戎可, 宗诚, 马建章. 2009. Bailey's 方法在生境选择研究中的应用. *动物学研究*, 30(2): 215–220.
- 石江艳, 杨海, 华俊钦, 等. 2020. 利用红外相机研究白冠长尾雉日活动节律与人为干扰的关系. *生物多样性*, 28(7): 796–805.
- 田姗. 2020. 大别山区近 20 年人类足迹变化对白冠长尾雉空间分布的影响. 北京: 北京林业大学博士学位论文.
- 王疆评, 徐敏, 韩联宪. 2014. 环颈山鹧鸪育雏期栖息地利用. *四川林业科技*, 35(4): 52–55.
- 徐基良, 张晓辉, 张正旺, 等. 2002. 白冠长尾雉育雏期的栖息地选择. *动物学研究*, 23(6): 471–476.
- 徐家慧. 2019. 基于卫星跟踪技术的白鹤 (*Grus leucogeranus*) 活动区及栖息地研究. 北京: 中国林业科学研究院硕士学位论文.
- 颜忠诚, 陈永林. 1998. 动物的生境选择. *生态学杂志*, 17(2): 43–49.
- 叶思嘉, 马硕, 周锋, 等. 2021. 上海浦东东滩湿地斑嘴鸭和绿头鸭的越冬期空间行为与栖息地利用. *复旦学报: 自然科学版*, 60(4): 451–461.
- 赵玉泽, 王志臣, 徐基良, 等. 2013. 利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配. *生态学报*, 33(19): 6021–6027.
- 周春发. 2013. 白冠长尾雉 (*Syrnaticus reevesii*) 分布区与适宜栖息地的时空动态研究. 北京: 北京师范大学博士学位论文.