



研究论文 ORIGINAL PAPERS

藏东布加雪山四种雉类的
时空生态位关系樊 简¹, 郭迎亚², 姚 娟², 董银萍²,
胡惊电², 王亚军², 刘一璇¹, 时 星³, 时 坤^{1*}

- (1. 北京市海淀区陆桥生态中心, 北京 100085;
2. 昌都市林业和草原局, 昌都 854000;
3. 北京润禾林草科技有限公司, 北京 100080)

稿件运行过程

收稿日期: 2026-02-10

修回日期: 2026-03-09



关键词: 占域;

日活动节律;

时空生态位;

雉类;

红外相机

Keywords: Occupancy;

Daily activity rhythm;

Spatiotemporal niche;

Pheasant species;

Camera trapping

中图分类号: Q958

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2026)-03-0372-12

DOI: 10.12375/ysdwx.202602011

摘 要

为探讨布加雪山区域雉类的时空分布特征, 2024年8月—2025年4月布设173台红外相机(回收150台), 获得雉科(Phasianidae)独立有效记录701条, 包括血雉(*Itthaginis cruentus*, $n = 35$)、黄喉雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*, $n = 19$)、高原山鹑(*Perdix hodgsoniae*, $n = 54$)、白马鸡(*Crossoptilon crossoptilon*, $n = 301$)和藏雪鸡(*Tetraogallus tibetanus*, $n = 292$)。针对独立事件较多的血雉、高原山鹑、白马鸡和藏雪鸡(黄喉雉鹑因事件数有限未进行后续计算), 选取海拔、坡度、坡向、崎岖度、植被归一化指数、距河流距离和人类足迹指数7个变量, 利用占域模型和日活动节律分析其时空生态位关系。结果显示: 距河流距离是影响4种雉类占域率的关键因子, 表明水源可得性是其栖息地选择的基础限制因素。各物种在生境需求上呈现显著种间差异, 白马鸡对人为干扰尤为敏感, 藏雪鸡依赖地形与植被复合条件, 高原山鹑对水源依赖性最为突出, 血雉受植被、坡度和水源综合影响。物种相互作用因子(SIF)显示, 除藏雪鸡与白马鸡($SIF = 0.88$)存在空间回避外, 其他物种对均显著共存。日活动节律重叠度以白马鸡与血雉最高($\Delta = 0.927$), 高原山鹑与藏雪鸡次之($\Delta = 0.923$), 其他物种对较低($\Delta \approx 0.710$)。综合时空利用与环境因子偏好, 4种雉类通过多维度生态位分化实现同域共存。研究结果可为该区域雉类保护提供科学依据。

基金项目: 布加雪山地区雪豹等野生动植物资源调查监测项目(GZFCG2024-21000); 昌都市三江流域湿地鸟类疫源疫病调查(BJGC2025-01)

第一作者简介: 樊简(1992—), 女, 助理研究员; 主要从事野生动植物保护研究。E-mail: jian.fan@eco-bridgecontinental.org

* 通信作者: 时坤, E-mail: kunshi@bjfu.edu.cn

Spatiotemporal Niche Relationships Among Four Pheasant Species in the Bujia Snow Mountain Region of Eastern Xizang

FAN Jian¹, GUO Yingya², YAO Juan², DONG Yinping²,
HU Jingdian², WANG Yajun², LIU Yixuan¹, SHI Xing³, SHI Kun^{1*}

(1. Eco-Bridge Continental, Beijing 100085, China;

2. Forestry and Grassland Bureau of Qamdo City, Qamdo 854000, China;

3. Beijing Runhe Forestry and Grassland Ecology Technology Co., Ltd, Beijing 100080, China)

Abstract: To investigate the spatiotemporal distribution characteristics of pheasant species in the Bujia Snow Mountain region, we deployed 173 camera traps (150 of which were recovered) from August 2024 to April 2025, and obtained 701 valid independent records of Phasianidae, including blood pheasant (*Ithaginis cruentus*, $n = 35$), yellow-throated partridge (*Tetraophasis szechenyii*, $n = 19$), Tibetan partridge (*Perdix hodgsoniae*, $n = 54$), white eared pheasant (*Crossoptilon crossoptilon*, $n = 301$), and Tibetan snowcock (*Tetraogallus tibetanus*, $n = 292$). For the four species with relatively higher independent detections (excluding yellow-throated partridge due to limited records), we selected seven environmental variables—elevation, slope, aspect, terrain ruggedness, normalized difference vegetation index, distance to river, and human footprint index—and employed occupancy models combined with daily activity rhythm analysis to examine their spatiotemporal niche relationships. Our results showed that distance to river was a key factor commonly influencing occupancy rates across all four species, indicating that water availability serves as a fundamental constraint on habitat selection. Significant interspecific differences were observed in habitat requirements: white eared pheasant was particularly sensitive to anthropogenic disturbance, Tibetan snowcock depended on combined topographic and vegetation conditions, Tibetan partridge exhibited the strongest dependence on water availability, and blood pheasant was affected by a combination of vegetation, slope, and water availability. Species interaction factors (SIF) revealed that, except for spatial avoidance between Tibetan snowcock and white eared pheasant ($SIF = 0.88$), all other species pairs showed significant spatial coexistence. The highest daily activity rhythm overlap was found between white eared pheasant and blood pheasant ($\Delta = 0.927$), followed by Tibetan partridge and Tibetan snowcock ($\Delta = 0.923$), while overlaps among other species pairs were relatively lower ($\Delta \approx 0.710$). By integrating spatiotemporal utilization patterns with environmental factor preferences, our findings suggest that these four pheasant species achieve sympatric coexistence through multidimensional niche differentiation. These results provide a scientific basis for the conservation of pheasant species in this region.

生态位是生态学最重要的概念之一。空间生态位是指某一物种对其在群落内所处空间位置(即栖息地)的选择和利用^[1],野生动物常通过空间生态位分化来降低种间竞争^[2]。在研究物种的空间生态位时,占域模型是最常用的研究方法,该模型主要是用于估计某一研究区域被目标物种所占据的概率,即估计物种的栖息地占域率和物种动态变化^[3]。对物种的占域进行研究,有助于理解物种的分布范围和栖息地利用,对于物种保护具有重要的参考价值。对物种时间生态位的研究通常采取节律分析法。物种的日活动节律是指动物在一天之中不同时间段

内的活动强度及其变化规律,是物种对时间资源利用的重要体现^[4]。根据日活动节律的差异,动物可以分为日行型、夜行型和晨昏活动等不同类型,这是物种的重要功能性状之一,也是物种生态位的重要维度。将空间占域与时间节律相结合,能够更全面地揭示同域分布物种的生态位分化机制与共存策略。

鸡形目(Galliformes)雉科(Phasianidae)鸟类是生态系统的重要组成部分,在维持生态系统稳定方面发挥着非常重要的作用,并在一定程度上可以作为反映当地生态环境健康程度的指示类群^[5]。由于

其空间移动能力不强,且种间在活动时间、体型和食性上接近,预示着种间存在较强的竞争关系,因而是研究时空生态位分化的理想对象^[2]。近年来,红外相机技术因其非侵入性、可标准化部署及长时序监测等优势,已被广泛应用于雉类活动节律、占域格局及种间关系等研究领域^[2,4-7]。

布加雪山位于西藏昌都市丁青县、那曲市巴青县及索县,生境类型多样,为多种雉类提供了多样化的栖息地。该区域同域分布有血雉(*Ithaginis cruentus*)、黄喉雉鹑(*Tetraophasis szechenyii*)、高原山鹧(*Perdix hodgsoniae*)、白马鸡(*Crossoptilon crossoptilon*)和藏雪鸡(*Tetraogallus tibetanus*)5种雉类。这些物种在形态、食性和活动模式上具有一定相似性,且分布范围存在空间重叠,其共存机制尚不明确。目前,该区域尚未开展有关雉类群落生态位的调查研究。基于此,本研究基于2024年8月—2025年4月在布加雪山部署的红外相机所获取的监测数据,针对独立探测次数较多的血雉、高原山鹧、白马鸡和藏雪鸡4种雉类,通过占域模型与日活动节律分析,从空间和时间两个维度探讨这些同域雉类的共存机

制,重点考察以下方面:(1)环境因子对各类群占域格局的差异化影响;(2)种间空间关联的方向与强度;(3)活动节律上的时间分化模式。通过对上述问题的综合分析,以期揭示该区域雉类群落的种间关系结构,为布加雪山雉类多样性的维护与管理提供科学参考。

1 研究方法

1.1 调查区域

布加雪山位于西藏昌都市丁青县、那曲市巴青县及索县(31°05'—32°39'N, 93°10'—96°20'E),总面积约20 000 km²。该区域属于藏东山地针叶林—高山草甸区,海拔跨度较大(本次相机布设范围为3 800~5 200 m),主要生态系统包括森林、湿地和高山草甸,其中高海拔区域广泛分布高山草甸、流石滩及裸岩生境。调查前,通过 ArcGIS Pro 将调查区规划为43个10 km×10 km的调查网格,每个网格布设4台相机,在考虑道路可达性的前提下,尽量选取覆盖不同生境类型的网格(图1)。

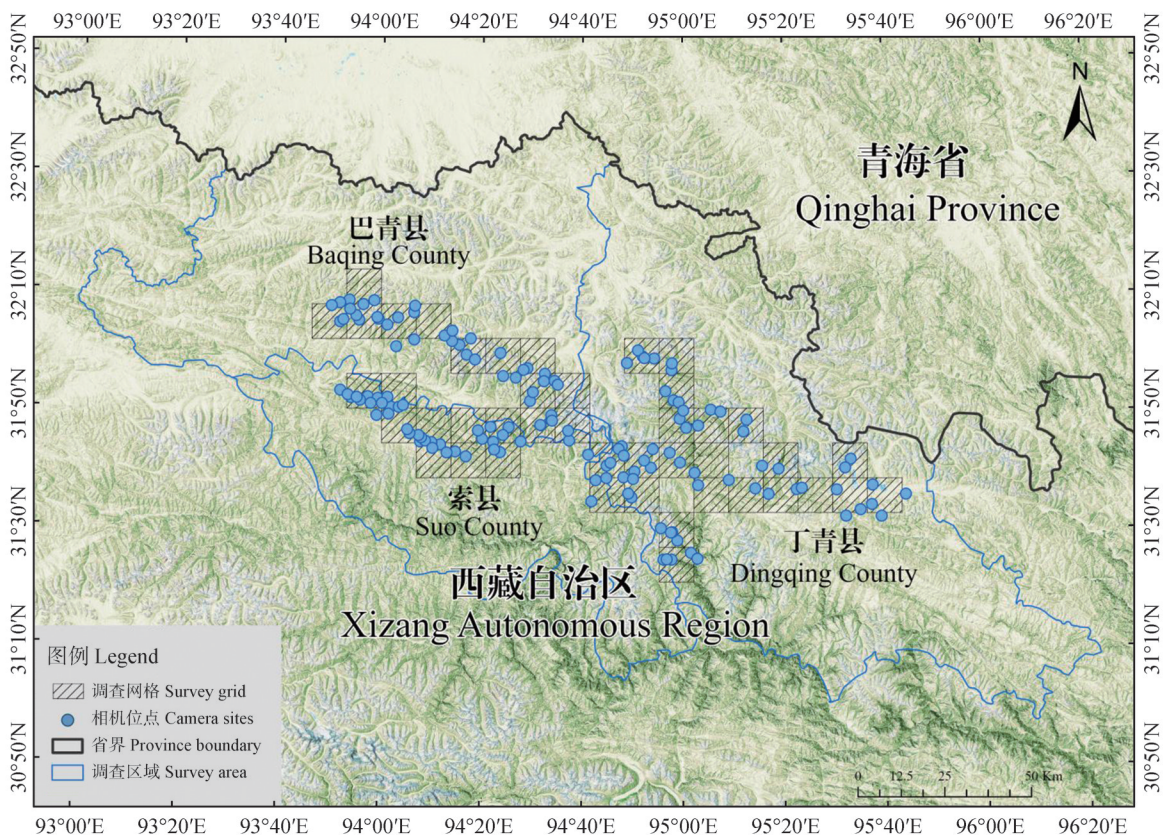


图1 调查网格及红外相机布设情况

Figure 1 Survey grid and infrared camera deployment status

1.2 红外相机布设

相机布设在距地面 30 ~ 50 cm 处,根据目前相机性能,以 2 ~ 3 m 的最佳拍摄距离为基准布设相机,相机镜头朝向避开太阳直射方向,并清除镜头前方可能干扰拍摄的杂草和树枝。调查区域所有网格内相机位点间的距离须大于 1 km,以确保各探测位点相互独立,满足占域模型的基本假设。为保证基本调查强度,每台放置在野外的红外相机工作时间不低于 60 个相机日。43 个调查网格共布设 173 台相机,实际回收 150 台,对每台相机进行编码,记录其基础信息及周边环境(包括海拔、坡向、坡度、植被类型等)。相机型号为优威视讯 875,参数设定为“拍摄+录像”模式,每次触发连拍 3 张照片并同步录制视频,灵敏度设置为中等。

1.3 红外相机数据处理

回收的相机使用 Python 建立 Power Shell 批处理脚本,提取红外相机影像拍摄日期、拍摄时间、相机编号及文件名称,建立物种分拣表。依据《中国鸟类观察手册》^[8],对红外相机照片(视频)中的鸟类进行物种鉴定,填写物种信息。同一位点 30 min 内拍到的同个物种照片或视频,记为 1 次独立有效探测事件^[9],一台红外相机持续正常工作 24 h 为 1 个相机工作日。

1.4 占域分析

1.4.1 样点协变量选择

参考雉类生态学研究的相关文献^[10-13],选择海拔(Altitude)、坡度(Slope)、坡向(Aspect)、崎岖度(Roughness)、植被归一化指数(NDVI)、距河流距离(Dis_river)和人类足迹指数(HFP)共 7 个环境变量作为影响占域率(ψ)的协变量。其中,海拔来源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>)下载的 30 m 分辨率数字高程模型(DEM),崎岖度、坡度和坡向使用 ArcGIS 进行分析;河流数据下载于国家测绘地理信息局网站 1:10 万矢量地图,在 ArcGIS 中通过欧几里得距离工具提取获得位点距河流的距离;植被归一化指数来源于国家青藏高原科学数据中心^[14];人类足迹指数来源于中国农业大学土地科学与技术学院课题组^[15]。所有协变量均提取至各相机位点,作为该位点的环境特征值。

为保证高度相关($|r| \geq 0.8$)的协变量不会被纳入同一模型,在 R 中使用 Pearson 相关性分析生成相

关性矩阵,检测所有协变量间的相关性。检测结果表明所有协变量间的相关性系数绝对值均低于 0.8。为了加快模型收敛,所有协变量在拟合模型时,标准化为均值为 0、标准差为 1 的数据。

回收的 150 台红外相机中有 146 台工作时间大于 1 d,因此使用这 146 台红外相机数据做后续的占域分析。占域分析分别从单物种单季节占域和多物种单季节占域两个层面展开,以评估各环境因子对物种分布的影响及物种间的空间关联。

1.4.2 单物种单季节占域模型

构建单季节单物种占域模型(single-season single-species model)^[3]对研究区域内 4 种雉类(白马鸡、藏雪鸡、高原山鹑、血雉)分别进行分析。以 5 d 为一个探测周期,以每台相机开始工作的时间为起始,对每一个相机点位目标物种的出现情况进行记录,当在该探测周期内有该物种出现时记作“1”,未出现则记作“0”,由此生成各个物种在各相机位点的单物种探测历史矩阵。

因为相机放置的距离足够远(> 1 km),调查范围也足够大,因此认为模型满足:(1)在研究期间种群封闭(即物种的占域状态不随时间发生变化);(2)各探测位点互相独立。同时本研究假设相机的探测率(p)恒定,即不考虑时间或环境协变量对探测率的影响,仅考虑样点协变量(7 个环境因子)与占域率的关系,以探究环境因素对物种空间分布的影响。在 R 4.5.0 中,利用 unmarked 程序包构建占域模型^[7]。分别对 4 种雉类进行单物种占域分析,使用 7 个变量的排列组合为候选模型,计算各个模型的赤池信息量准则 AIC(Akaike information criterion)值和模型权重(AIC weight)。基于 AIC 值对模型进行排序,其中与 AIC 值最小模型差值不超过 2 的模型均被视作等效模型($\Delta AIC \leq 2$)^[16]。

1.4.3 多物种单季节占域模型

单季节双物种占域模型(single-season two-species model)^[17]可以估计两物种在同一时期内对某个区域的占据情况,模型中的物种互作因子 SIF(species interaction factor)被用来检验两物种空间分布模式的相关性,分析物种之间的空间共存关系^[18]。基于 1.4.2 中各物种单物种最优模型(AIC 值最小),确定每个物种的最佳检测协变量组合(即对探测率 p 的设定),作为多物种模型的固定检测参数输入。将

4种雉类两两组合,共形成6个物种对,构建各物种对的探测历史矩阵,0代表两物种均未被探测到,1代表物种A被探测到(物种B未被探测到),2代表物种B被探测到(物种A未被探测到),3代表两物种均被探测到。将构建好的探测历史矩阵导入Presence v. 2. 15. 18软件,使用单季节双物种模型计算物种A的总体占域率(ψ^A),物种A不存在时物种B的占域率(ψ^{Ba}),物种A存在时物种B的占域率(ψ^{BA}),物种B的总体占域率(ψ^B),物种B不存在时物种A的占域率(ψ^{Ab}),物种B存在时物种A的占域率(ψ^{AB})。其中,

$$\begin{aligned}\psi^B &= \psi^A \times \psi^{BA} + (1 - \psi^A) \times \psi^{Ba}, \\ \psi^{AB} &= \frac{\psi^{BA} \times \psi^A}{\psi^B}, \\ \psi^{Ab} &= \frac{(\psi^A - \psi^{AB} \times \psi^B)}{(1 - \psi^B)}.\end{aligned}$$

在多物种占域模型中, ψ^{AB} 与 ψ^A 的对比反映了物种B的存在对物种A占域的影响方向与程度。当 $\psi^{AB} > \psi^A$ 时,表明物种B对物种A的占域具有促进作用,二者倾向于正向共现;当 $\psi^{AB} < \psi^A$ 时,表明物种B的存在可能对物种A具有抑制效应,或二者存在栖息地偏好分化。 ψ^{BA} 与 ψ^B 的对比则从对称角度反映了物种A的存在对物种B占域的影响方向与程度,即当 $\psi^{BA} > \psi^B$ 时,表明物种A对物种B具有促进作用;当 $\psi^{BA} < \psi^B$ 时,则提示物种A可能对物种B存在抑制效应或生态位分离。将二者结合可判断物种间相互作用的对称性:若 $\psi^{AB} > \psi^A$ 且 $\psi^{BA} > \psi^B$,则为双向促进;若仅一方大于其总体占域率,则为单向促进;若二者均小于其总体占域率,则为双向抑制或回避。

同时计算物种互作因子(SIF,式中记为 S_{IF})计算公式^[18]为

$$S_{IF} = \frac{\psi^A \times \psi^{BA}}{\psi^A \times (\psi^A \times \psi^{BA} + (1 - \psi^A) \times \psi^{Ba})}.$$

其中,当 $SIF = 1$ 时表示两物种间的空间分布相互独立, $SIF > 1$ 表示两物种空间分布正相关(倾向于同域出现), $SIF < 1$ 表示负相关(空间回避)^[18-19]。

对6个物种对逐一进行上述分析,以全面评估布加雪山区域雉类群落的空间共存格局。

1.5 节律分析

根据红外相机调查数据分析雉类的日活动节律。基于1.3中对独立有效探测事件的汇总,将4种雉类独立有效事件的时间(时:分:秒)(按首张记)转

为小数,在R里将小数转化为弧度数据。对4种雉类两两配对,共形成6个物种对,利用overlapEst函数计算物种对日活动节律的重叠系数 Δ (即活动节律曲线的重叠面积,范围为0~1),随后使用overlap-Plot函数对物种对的日活动节律进行核密度曲线拟合^[20](纵坐标表示相对活动强度,右上角为重叠系数 Δ),所有分析及结果可视化在R 4.5.0中完成。

2 结果

2.1 红外相机监测概况

本研究于2024年8月—2025年4月布设的红外相机共173台,实际回收150台,累计22 234个有效相机工作日,获得野生动物有效探测7 881次。雉科记录到血雉($n = 35$)、黄喉雉鹑($n = 19$)、高原山鹑($n = 54$)、白马鸡($n = 301$)和藏雪鸡($n = 292$),其中黄喉雉鹑的独立探测次数不足30次,未纳入后续分析。

2.2 四种雉类单季节占域分析

各目标物种的等效模型($\Delta AIC \leq 2$)见附录A,等效模型协变量系数(β)加权平均估计值见表1。结果表明,距河流距离是影响4种雉类占域率的共同关键环境因子,但各物种在其他协变量上表现出明显的种间分化。白马鸡的占域率受植被归一化指数($\beta = 0.725$)、人类足迹指数($\beta = 0.543$)的正向影响,受距河流距离($\beta = -0.630$)的负向影响;藏雪鸡的占域率随植被归一化指数($\beta = -0.547$)、坡向($\beta = -0.651$)和坡度($\beta = -0.466$)的增大而减小,随距河流距离($\beta = 0.703$)的增大而增大;高原山鹑的占域率仅与距河流距离($\beta = 0.587$)呈显著正相关,而对其他环境因子无明显响应;血雉的占域率随植被归一化指数($\beta = 0.993$)、坡度($\beta = 0.428$)的增大而增大,随距河流距离($\beta = -0.501$)的增大而减小。相比之下,海拔和崎岖度在4种雉类的等效模型中权重较低($|\beta| < 0.2$),表明在布加雪山区域这两个因子对雉类分布的影响相对有限。

2.3 四种雉类种间空间共存关系

基于多物种单季节占域模型,对4种雉类两两组合共6个物种对的空间关系进行分析,物种相互作用因子(SIF)结果见表2。其中,藏雪鸡-高原山鹑物种对的标准差较大($SE > 7$),可能因为二者在调查中同时被探测到的有效样本极少,数据过于稀疏,导致模型在估计其共现关系时信息不足而未能完全收敛,因此该物种对的空间关系后续不再进行讨论。

表1 4种雉类占域等效模型协变量系数(β)平均估计值

Table1 Average estimated covariate coefficients (β) of the equivalent model for four pheasant species

协变量 Covariates	白马鸡 <i>Crossoptilon crossoptilon</i>	藏雪鸡 <i>Tetraogallus tibetanus</i>	高原山鹑 <i>Perdix hodgsoniae</i>	血雉 <i>Ithaginis cruentus</i>
植被归一化指数 NDVI	0. 725	-0. 547	0. 017	0. 993
人类足迹指数 HFP	0. 543	-0. 054	-0. 179	-0. 073
海拔 Altitude	-0. 172	0. 045	-0. 086	0. 107
坡向 Aspect	0. 335	-0. 651	0. 218	0. 246
崎岖度 Roughness	-0. 159	0. 136	0. 143	0. 143
坡度 Slope	0. 058	-0. 466	0. 172	0. 428
距河流距离 Dis_river	-0. 630	0. 703	0. 587	-0. 501

表2 4种雉类的物种相互作用结果

Table 2 Interaction results among the four species of pheasants

物种对 Species-pair	ψ^A	ψ^{BA}	ψ^{Ba}	ψ^B	ψ^{AB}	ψ^{Ab}	SIF
藏雪鸡-白马鸡 <i>Tetraogallus tibetanus</i> - <i>Crossoptilon crossoptilon</i>	0. 397 9 $\pm$ 0. 042 9	0. 117 9 $\pm$ 0. 043 3	0. 144 6 $\pm$ 0. 040 9	0. 133 9 $\pm$ 0. 036 0	0. 350 2 $\pm$ 0. 142 2	0. 428 7 $\pm$ 0. 052 4	0. 880 0
藏雪鸡-高原山鹑 <i>Tetraogallus tibetanus</i> - <i>Perdix hodgsoniae</i>	0. 641 3 $\pm$ 10. 249 7	0. 567 6 $\pm$ 9. 072 7	0. 249 1 $\pm$ 7. 116 2				1. 252 1
藏雪鸡-血雉 <i>Tetraogallus tibetanus</i> - <i>Ithaginis cruentus</i>	0. 410 3 $\pm$ 0. 043 2	0. 125 1 $\pm$ 0. 044 3	0. 000 0 $\pm$ 0. 000 7	0. 051 3 $\pm$ 0. 018 5	1. 000 0 $\pm$ 0. 082 5	0. 410 3 $\pm$ 0. 045 9	2. 437 2
高原山鹑-白马鸡 <i>Perdix hodgsoniae</i> - <i>Crossoptilon crossoptilon</i>	0. 200 1 $\pm$ 0. 038 2	0. 274 0 $\pm$ 0. 088 0	0. 094 5 $\pm$ 0. 029 1	0. 130 4 $\pm$ 0. 028 7	0. 420 4 $\pm$ 0. 147 3	0. 164 1 $\pm$ 0. 044 2	2. 100 9
高原山鹑-血雉 <i>Perdix hodgsoniae</i> - <i>Ithaginis cruentus</i>	0. 177 9 $\pm$ 0. 045 1	0. 172 2 $\pm$ 0. 249 8	0. 052 $\pm$ 0. 021 1	0. 073 4 $\pm$ 0. 043 4	0. 417 5 $\pm$ 0. 597 2	0. 159 7 $\pm$ 0. 047 3	2. 346 6
白马鸡-血雉 <i>Crossoptilon crossoptilon</i> - <i>Ithaginis cruentus</i>	0. 132 5 $\pm$ 0. 029 4	0. 403 9 $\pm$ 0. 117 1	0. 025 5 $\pm$ 0. 014 6	0. 075 6 $\pm$ 0. 020 6	0. 708 0 $\pm$ 0. 283 7	0. 046 2 $\pm$ 0. 020 5	5. 339 9

注：表中数据为平均值 $\pm$ 标准误，藏雪鸡-高原山鹑因其标准差较大($SE > 7$)无统计学意义，因此未计算其 $\psi^B, \psi^{AB}, \psi^{Ab}$ 。

Note: Data are presented as mean $\pm$ standard error (SE). For the Tibetan snowcock-Tibetan partridge species pair, the standard errors of the original occupancy parameters were excessively large ($SE > 7$), rendering the parameter estimates statistically unreliable. Consequently, the derived parameters ψ^B, ψ^{AB} , and ψ^{Ab} were not calculated for this species pair.

从其余5个物种对的SIF可以看出，除藏雪鸡-白马鸡($SIF < 1$)表现为空间回避外，其余4个物种对之间都表现出显著的共存关系($SIF > 1$)。其中，白马鸡-血雉的SIF值最高($SIF = 5.3399$)，表明二者的空间分布正关联最强。

除藏雪鸡-白马鸡外，其余4个物种对均呈现 $\psi^{AB} > \psi^A$ ，表明当右侧物种(物种B)存在时，左侧物种

(物种A)的占域率均高于其总体水平，提示物种B普遍对物种A具有促进作用。尤其当血雉存在时，藏雪鸡、高原山鹑和白马鸡的占域率均显著提升。从对称的角度看除藏雪鸡-白马鸡外，其余4个物种对亦呈现 $\psi^{BA} > \psi^B$ ，即左侧物种(物种A)的存在对右侧物种(物种B)的占域同样具有促进作用，表明该正向促进作用在物种对之间具有较好的对称性。

藏雪鸡-白马鸡是唯一在两项对比中均呈反向趋势的物种对($\psi^{AB} = 0.3502 < \psi^A = 0.3979, \psi^{BA} = 0.1179 < \psi^B = 0.1339$),提示二者之间存在双向抑制或回避关系,而非单向的促进作用,但和各自总体占域率比相差不大,表明该回避效应较弱(表2)。

2.4 四种雉类日活动节律的重叠

从4种雉类日活动节律的重叠数据可以看出,白马鸡和血雉($\Delta = 0.927$),高原山鹑和藏雪鸡($\Delta = 0.923$)的活动节律重叠度高。其他物种对的活动节律重叠度均在0.710左右。总体来看,白马鸡和血雉在13:00左右最活跃,而藏雪鸡和高原山鹑活动

高峰在09:00—10:00。

4种雉类均为昼行单峰活动模式,可分为两类:午前活动类(藏雪鸡、高原山鹑)、午后活动类(白马鸡、血雉)。同组物种节律高度重叠,白马鸡与血雉 $\Delta = 0.927$,峰值均在13:00左右;高原山鹑与藏雪鸡 $\Delta = 0.923$,峰值均在09:00—10:00左右。跨组物种重叠度中等($\Delta = 0.679 \sim 0.723$),活动高峰存在明显时间错位,通过时间生态位分化减少种间竞争;所有物种夜间活动强度极低,除血雉外,其余物种在18:00均出现小幅次活动峰(图2)。

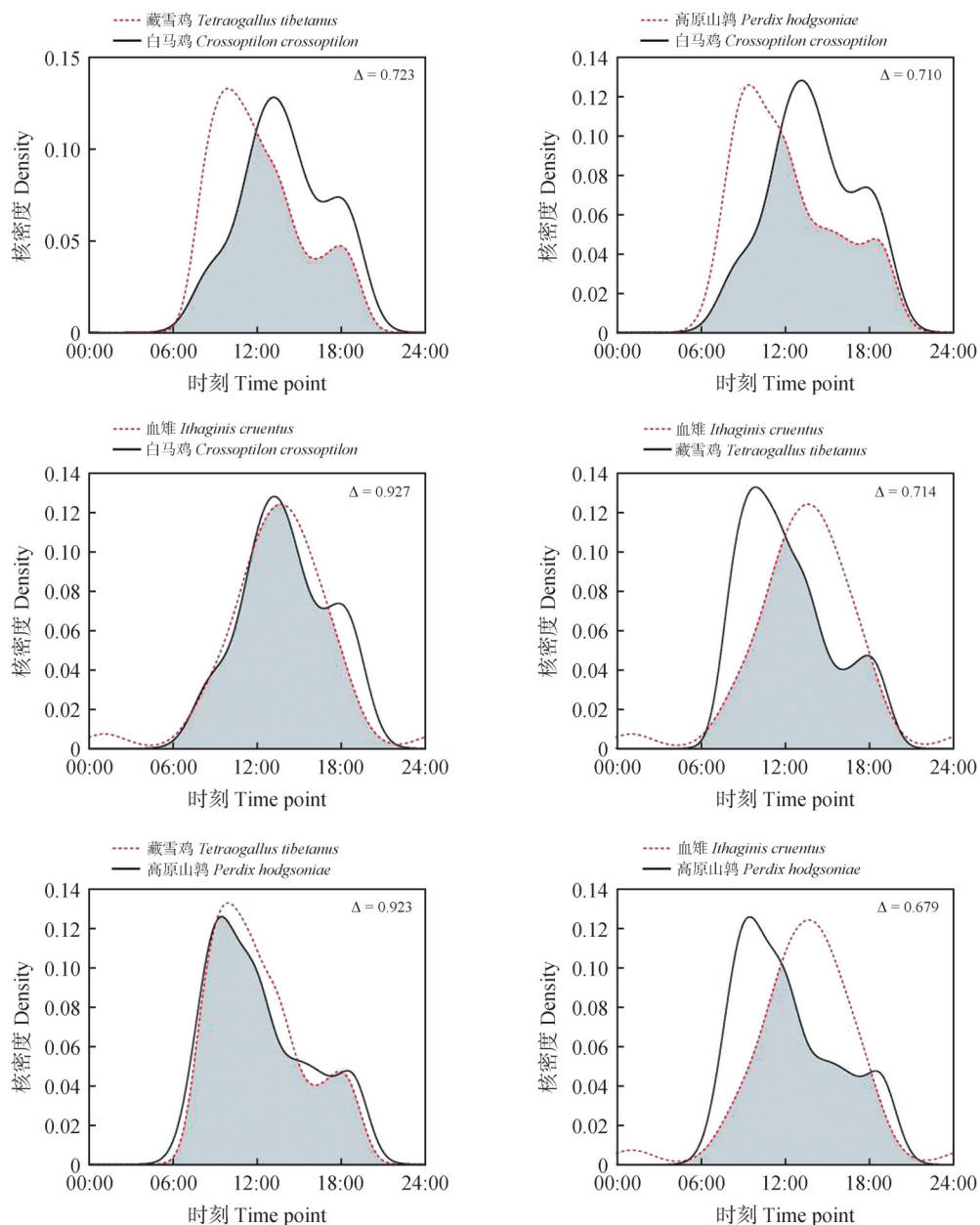


图2 4种雉类日活动节律核密度曲线与时间重叠系数(Δ)

Figure 2 Kernel density curves of daily activity rhythms and time overlap coefficients (Δ) for the four species of pheasants

3 讨论与结论

3.1 环境变量对栖息地选择分化的影响

距水源距离通常与许多鸡形目鸟类的生境选择密切相关。水源是动物最重要的生存条件之一,河流不仅可为雉类提供便利的水资源,其周边潮湿松软土壤中的无脊椎动物和茂盛的植物也能为雉类提供丰富的食物资源。本研究发现,血雉和白马鸡偏好利用距水源较近的生境,这一结果与甘肃莲花山血雉^[21]和四川稻城白马鸡^[10]的研究结论一致。然而,也有研究者在四川凉山发现血雉偏向于选择远离河流的区域^[5],这种差异可能源于雉类优势类群不同[四川凉山主要雉类为红腹角雉(*Tragopan temminckii*)、白鹇(*Lophura nycthemera*)和血雉],种间竞争格局的差异可能导致血雉在资源选择上发生偏移。而布加雪山区域的藏雪鸡和高原山鹑偏好距水源较远的区域,呈现出与白马鸡、血雉相反的水源选择策略。这种分化可能源于两方面原因:其一,种间竞争回避机制促使生态位近似的物种在水源利用上产生分化;其二,该区域降水丰富,高海拔区域还有大量融雪水补给,雉类能够从雨水、融雪水或植物中获得足够水分,对地表水源的依赖性相对较低。

植被覆盖度是反映栖息地食物资源与隐蔽条件的重要指标。本研究中白马鸡和血雉的占域率随植被归一化指数的增大而增大,表明二者在布加雪山区域更偏向于灌木乔木高度发育的栖息地。这一结果和此前甘肃莲花山和四川稻城及四川凉山的相关研究^[5,10,21]一致。灌木和乔木高度发育通常意味着更多的食物来源和更好的隐蔽条件,但同时过于茂密的植被也会影响视线,不利于雉类活动和逃跑。相比之下,藏雪鸡对植被归一化指数的响应与白马鸡和血雉相反,符合其偏好高山草甸、流石滩等开阔生境的生态学特征,而高原山鹑对植被归一化指数未表现出明显的选择偏好。

人类活动干扰对野生动物的栖息地选择具有深远影响。本研究中白马鸡的占域率随人类足迹指数的增大而增大,这一现象与四川稻城等地区的研究相似,当地藏族文化将白马鸡视为神山圣湖的伴生物种^[22],布加雪山区域亦属藏族文化区,可能存在类似的人文保护效应。

地形因子(坡度、坡向)在雉类栖息地选择中发挥着精细化调节作用。本研究中藏雪鸡的占域率随

坡度和坡向增大而减小,而血雉的占域率则随坡度和坡向的增大而增大。对坡向的选择主要与食物资源分布和山系走向有关,对坡度的选择则与对天敌的回避有关,较大的坡度有利于小型鸟类滑翔逃亡,而体型较大的雉类敏捷性较弱,逃避天敌时需要更多的时间和空间。在四川凉山雉类占域研究中,同样发现血雉的占域率均随坡向的增大而增大^[5],本研究结果与之一致。藏雪鸡对坡度和坡向的相反选择,推测其与种间竞争及其体型较大、敏捷性较弱有关。

相比之下,海拔和崎岖度在4种雉类占域模型中影响较小,表明在布加雪山区域这些因子并非决定雉类分布的主导变量。这可能与研究区域位于高海拔带(3 800 ~ 5 200 m),物种对极端环境的适应削弱了海拔梯度上的生态位分化有关,其分布可能更多受食物资源、捕食压力或种间互作等因素调控。当然,在一些研究中海拔在雉类的占域分析中依然起到了重要作用^[5],说明不同山系的地理特征差异可能导致物种对环境因子的响应呈现区域性特点。

3.2 时间和空间的种间相互作用

占域分析结果显示,当血雉存在时,藏雪鸡、高原山鹑和白马鸡的占域率均呈现升高趋势($\psi^{AB} > \psi^A$),其中白马鸡的升高达到显著水平($\psi^{AB} = 0.708\ 0 > \psi^A = 0.132\ 5$),提示血雉可能是一个关键的“指示性共域物种”,即血雉占据的栖息地往往也能满足其他物种的生态需求(栖息地偏好相似),或血雉的存在指示了更高的生境质量。此外,血雉在白马鸡存在时的占域率亦显著高于其总体占域率($\psi^{BA} = 0.403\ 9 > \psi^B = 0.075\ 6$),表明二者之间存在显著的双向正向关联。类似的研究发现,在四川凉山山系,红腹角雉和白鹇、血雉和白鹇之间也存在正相互作用,研究者认为在相同的栖息地条件下,种间正相互作用可能对至少一个物种产生积极影响^[5]。本研究中血雉与白马鸡等物种的正向空间关联,可能同样源于多物种形成的联合警戒网络或共同觅食带来的收益,血雉作为体型较小的雉类,可能受益于其他物种对捕食者的早期预警,从而降低了自身对天敌的警戒投入,得以更加专注于觅食活动;而白马鸡也可能因血雉的存在而获得栖息地质量的信息增益。血雉作为本研究中与其他物种正向关联最为频繁的物种,其存在可能反映了区域内的适宜栖息地特征(如适宜的海拔范围、植被覆盖度和食物资源可获得性),当

这些生境条件满足血雉的生态需求时,往往也能同时满足藏雪鸡、高原山鹑等其他雉类的基本生存需求。因此,血雉的占域格局可能间接指示了该区域雉类群落的适宜栖息地分布。

藏雪鸡与白马鸡是唯一表现出空间回避的物种对($SIF = 0.88$),虽然回避效应较弱。这一回避格局可能源于二者在生境偏好上的显著差异:白马鸡偏好植被覆盖度高、距水源近的生境,而藏雪鸡则偏好开阔的高山草甸和流石滩生境,二者在植被归一化指数、坡向和坡度上的响应趋势相反。这种空间回避可能是生态位分化的被动结果,而非主动竞争排斥。

白马鸡与血雉在时间利用上高度重叠($\Delta = 0.927$),与以往研究结果具有可比性。在四川贡嘎山国家级自然保护区,白马鸡与血雉的日活动节律重叠度为 $0.85^{[6]}$,与本研究的发现相近。稍显不同的是,贡嘎山的白马鸡日活动节律呈现3个活动高峰^[6],而本研究中白马鸡与血雉均为单峰型,这可能与不同山系的地理环境、气候条件或食物资源分布差异有关。除时间重叠外,二者在空间上也表现出极强的共存关系($SIF = 5.34$),对植被归一化指数、距河流距离、坡度和坡向的利用偏好高度一致。这一发现与祁连山国家级自然保护区的研究形成对比,该区域蓝马鸡(*Crossoptilon auritum*)与血雉虽然空间分布高度重叠(90.78%),但在栖息地偏好上存在分化,血雉对森林生境依赖更强,偏好较高的植被归一化指数,而蓝马鸡则明显回避植被归一化指数大于0.75的森林区域^[23]。祁连山的蓝马鸡与本研究中的白马鸡为同属近缘种。相较之下,布加雪山白马鸡与血雉的环境偏好更为一致,仅在人类足迹指数上略有分化,白马鸡的占域率随人类足迹指数增加而增加,血雉则呈现负向响应(尽管该因子并非血雉占域的主要影响变量)。这种细微差异可能反映了两种物种对人类干扰的耐受阈值不同,为二者在高度重叠的时空生态位中实现共存提供了潜在机制。

藏雪鸡与高原山鹑同样表现出时间利用的高度重叠($\Delta = 0.923$),并在空间上明显共存($SIF > 1$)。然而,二者的环境偏好呈现显著分化。高原山鹑的占域率主要受距河流距离影响(随距离增加而增大),表现出对水源的强依赖性;藏雪鸡则受到距河流距离、植被归一化指数、坡度和坡向的综合影响,且从影响趋势看,高原山鹑对这些环境因子的偏好

与藏雪鸡刚好相反。这一分化模式与在《中国雪鸡生物学》中总结的藏雪鸡生态学特征相符,即藏雪鸡偏好高山裸岩、流石滩及高寒草甸生境,对地形与植被条件具有复合依赖^[24]。类似地,在青藏高原开展的研究发现,藏雪鸡与雪鹑(*Lerwa lerwa*)的同域共存依赖于二者对不同高山环境条件的适应。藏雪鸡向青藏高原腹地延伸,分布海拔更高,适应寒冷干燥的高山气候;而雪鹑则分布于高原东南缘,偏好降水较多、湿度较高的生境^[25]。本研究中高原山鹑与藏雪鸡虽然活动节律高度重叠,但通过对环境因子的相反偏好实现了栖息地空间的有效分化,减少了潜在的种间竞争。

其他物种对(白马鸡-藏雪鸡、高原山鹑-白马鸡和高原山鹑-血雉)虽然在空间上共存($SIF > 1$),但在主要环境因子的选择上存在显著差异。例如,植被归一化指数对白马鸡和血雉的正向影响与对高原山鹑的负向影响形成鲜明对比;坡向对藏雪鸡影响显著而对其他物种影响微弱;坡度偏好则在藏雪鸡(负向)与血雉(正向)之间呈现相反趋势;距河流距离的偏好也在物种间呈现两类分化。此外,这些物种对的日活动节律重叠度相对较低(Δ 为0.710左右),在活动时间上形成一定回避。这种多维生态位分化的模式与在青藏高原东部分布的血雉、黄喉雉鹑和白马鸡的相关研究中发现的规律^[26]一致。这些物种在微生境利用、活动节律和觅食策略等多个维度上表现出生态位分化,共同促进了同域稳定共存。

综合来看,布加雪山4种雉类通过多维生态位分化实现共存,其分化模式可归纳为3类:(1)白马鸡与血雉在时空利用及多数环境因子上高度重叠,仅在人类干扰耐受性上略有分化;(2)藏雪鸡与高原山鹑时间高度重叠但空间环境偏好相反,通过栖息地分化实现共存;(3)其他物种对则在时间和空间上均形成一定错位。这种多维度、多层次的生态位分化机制有效减少了种间竞争强度,支撑了该区域雉类群落的物种多样性。

3.3 本研究的局限性

除了时间和空间尺度,物种通常还会在取食植物种类及取食策略上产生差异^[27],今后的研究需要通过食性分析进一步揭示这几种雉类的生态位分化。同时,因为本区域海拔较高,相机布设海拔为3 800~5 200 m,且对于同域分布的血雉($n = 35$)、黄喉雉鹑($n = 19$)和高原山鹑($n = 54$)的独立事件数较

少,可能缺乏一些特定的生境调查。此外,受数据限制,本次研究采用单季节占域模型,该模型将调查期视为封闭单元,忽略了时间动态变化,无法分析物种占域率在不同季节之间的动态变化趋势。在双物种单季节占域分析中,藏雪鸡-高原山鹑物种对的标准差较大,可能源于样本量不足或模型拟合问题,因此虽然结果显示它们存在共存关系($SIF > 1$),但该结

果需要进一步验证。在今后的研究中,应继续使用红外相机对布加雪山区域的雉类种群及其栖息地动态进行长期监测,尽可能将保护区内所有雉类纳入研究,深入分析雉类在不同季节、年度的占域变化,并通过食性研究进一步揭示雉类在食性上的分化,为该区域雉类物种和群落的整体保护提供科学依据。

附录 A 4种雉类模型选择参数
Appendix A Four pheasant species model selection parameters

物种 Species	模型 Model	赤池信息准则 AIC	AIC 差值 ΔAIC	AIC 权重 AICwgt	参数个数 No. par.	占域率 Ψ	
						均值 Mean	标准误 SE
白马鸡 <i>Crossoptilon crossoptilon</i>	$\psi(NDVI+HFP+Dis_river), p(.)$	712. 674	0	0. 072	3	0. 126	0. 129
	$\psi(NDVI+HFP+Aspect+Dis_river), p(.)$	713. 392	0. 718	0. 050	4	0. 127	0. 133
	$\psi(NDVI+HFP), p(.)$	713. 591	0. 917	0. 045	2	0. 127	0. 119
	$\psi(NDVI+HFP+Aspect), p(.)$	714. 254	1. 580	0. 033	3	0. 127	0. 123
	$\psi(NDVI+HFP+Altitude+Dis_river), p(.)$	714. 290	1. 616	0. 032	4	0. 126	0. 131
	$\psi(NDVI+HFP+Roughness+Dis_river), p(.)$	714. 296	1. 622	0. 032	4	0. 126	0. 130
	$\psi(NDVI+HFP+Slope+Dis_river), p(.)$	714. 617	1. 943	0. 027	4	0. 126	0. 129
	$\psi(NDVI+Dis_river), p(.)$	714. 673	1. 999	0. 026	2	0. 127	0. 110
藏雪鸡 <i>Tetraogallus tibetanus</i>	$\psi(NDVI+Aspect+Slope+Dis_river), p(.)$	1 416. 816	0. 301	0. 111	4	0. 363	0. 248
	$\psi(NDVI+Aspect+Roughness+Slope+Dis_river), p(.)$	1 418. 002	1. 486	0. 061	6	0. 362	0. 255
	$\psi(NDVI+Altitude+Aspect+Slope+Dis_river), p(.)$	1 418. 362	1. 847	0. 051	6	0. 362	0. 254
	$\psi(NDVI+HFP+Aspect+Slope+Dis_river), p(.)$	1 418. 431	1. 915	0. 049	6	0. 363	0. 254
	$\psi(NDVI+Aspect+Roughness+Slope+Dis_river), p(.)$	1 418. 449	1. 933	0. 049	5	0. 363	0. 249
高原山鹑 <i>Perdix hodgsoniae</i>	$\psi(Dis_river), p(.)$	403. 218	0	0. 077	1	0. 203	0. 105
	$\psi(Aspect+Dis_river), p(.)$	404. 531	1. 313	0. 040	2	0. 205	0. 115
	$\psi(Landuse+Dis_river), p(.)$	404. 605	1. 387	0. 038	2	0. 200	0. 106
	$\psi(Slope+Dis_river), p(.)$	404. 786	1. 568	0. 035	2	0. 203	0. 110
	$\psi(HFP+Dis_river), p(.)$	404. 786	1. 568	0. 035	2	0. 201	0. 106
	$\psi(Roughness+Dis_river), p(.)$	404. 932	1. 715	0. 033	2	0. 202	0. 107
	$\psi(Altitude+Dis_river), p(.)$	405. 118	1. 901	0. 030	2	0. 202	0. 105
	$\psi(NDVI+Dis_river), p(.)$	405. 214	1. 996	0. 028	2	0. 203	0. 105
血雉 <i>Ithaginis cruentus</i>	$\psi(NDVI), p(.)$	205. 905	0	0. 046	1	0. 051	0. 046
	$\psi(NDVI+Slope), p(.)$	206. 153	0. 248	0. 041	2	0. 051	0. 057
	$\psi(NDVI+Landuse), p(.)$	206. 735	0. 830	0. 030	2	0. 051	0. 054
	$\psi(NDVI+Dis_river), p(.)$	206. 860	0. 955	0. 029	2	0. 050	0. 050
	$\psi(NDVI+Landuse+Slope), p(.)$	206. 951	1. 045	0. 027	3	0. 050	0. 062
	$\psi(NDVI+Landuse+Dis_river), p(.)$	207. 331	1. 426	0. 023	3	0. 050	0. 057
	$\psi(NDVI+Slope+Dis_river), p(.)$	207. 590	1. 684	0. 020	3	0. 050	0. 059
	$\psi(NDVI+Aspect), p(.)$	207. 656	1. 751	0. 019	2	0. 051	0. 047

参考文献:

- [1] Prieto C, Dahners H W. Resource utilization and environmental and spatio-temporal overlap of a hilltopping lycaenid butterfly community in the Colombian Andes [J]. *Journal of Insect Science*, 2009, 9(16): 16.
- [2] 姬程鹏, 林裕芳, 兰作闽, 等. 福建梁野山保护区同域三种雉类的时空生态位分化关系[J/OL]. *生态学杂志*, 2025-12-29. <https://link.cnki.net/urlid/21.1148.Q.20251229.0852.004>.
Ji Chengpeng, Lin Yufang, Lan Zuomin, et al. Spatiotemporal niche differentiation among three sympatric pheasant species in Fujian Liangye Mountain Nature Reserve [J/OL]. *Chinese Journal of Ecology*, 2025-12-29. <https://link.cnki.net/urlid/21.1148.Q.20251229.0852.004>.
- [3] MacKenzie D I, Nichols J D, Lachman G B, et al. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one [J]. *Ecology*, 2002, 83(8): 2248–2255.
- [4] 陈立军, 束祖飞, 肖治术. 应用红外相机数据研究动物活动节律: 以广东车八岭保护区鸡形目鸟类为例[J]. *生物多样性*, 2019, 27(3): 266–272.
Chen Lijun, Shu Zufei, Xiao Zhishu. Application of camera-trapping data to study daily activity patterns of Galliformes in Guangdong Chebaling National Nature Reserve [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(3): 266–272.
- [5] 郭艳. 凉山山系马边大风顶自然保护区三种典型森林雉类的占域模式研究[D]. 南充: 西华师范大学, 2024: 33–36.
Guo Yan. Study on the occupancy pattern of three representative forest pheasant species in Mabian Dafengding Nature Reserve in the Liangshan Mountains [D]. Nanchong: China West Normal University, 2024: 33–36.
- [6] 李永东, 杨旭, 贾国清, 等. 四川贡嘎山国家级自然保护区白马鸡与血雉的时空生态位分化[J]. *四川林业科技*, 2022, 43(2): 47–55.
Li Yongdong, Yang Xu, Jia Guoqing, et al. Spatio-temporal niche differentiation of white eared pheasant (*Crossoptilon crossoptilon*) and blood pheasant (*Ithaginis cruentus*) in Gongga Mountain National Nature Reserve, Sichuan Province [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2022, 43(2): 47–55.
- [7] 肖文宏, 束祖飞, 陈立军, 等. 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[J]. *生物多样性*, 2019, 27(3): 249–256.
Xiao Wenhong, Shu Zufei, Chen Lijun, et al. Using occupancy models in wildlife camera-trapping monitoring and the study case [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(3): 249–256.
- [8] 刘阳, 陈水华. 中国鸟类观察手册[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2021: 59–75.
Liu Yang, Chen Shuihua. The CNG field guide to the birds of China [M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 2021: 59–75.
- [9] 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.
- [10] 贾非, 王楠, 郑光美. 白马鸡冬季群体栖息地选择的经验模型[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(4): 524–530.
Jia Fei, Wang Nan, Zheng Guangmei. Experiential model for the wintering habitat selection of white eared-pheasant flocks [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2004, 40(4): 524–530.
- [11] 崔鹏, 康明江, 邓文洪. 繁殖季节同域分布的红腹角雉和血雉的觅食生境选择[J]. *生物多样性*, 2008, 16(2): 143–149.
Cui Peng, Kang Mingjiang, Deng Wenhong. Foraging habitat selection by sympatric Temminck's tragopan and blood pheasant during breeding season in southwestern China [J]. *Biodiversity Science*, 2008, 16(2): 143–149.
- [12] 阙品甲. 高原山鹧的栖息地选择与行为研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011: 31–35.
Que Pinjia. Habitat selection and behavior of Tibetan partridge *Perdix hodgsoniae* in Daocheng, Sichuan [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011: 31–35.
- [13] 李佳琦, 史红全, 刘迺发. 拉萨藏雪鸡春季栖息地选择[J]. *动物学研究*, 2006, 27(5): 513–517.
Li Jiaqi, Shi Hongquan, Liu Naifa. Habitat selection of Tibetan snow cocks in spring in Lhasa [J]. *Zoological Research*, 2006, 27(5): 513–517.
- [14] 高吉喜, 史园莉, 张宏伟, 等. 中国区域250米植被覆盖度数据集(2000–2024)[DS/OL]. 国家青藏高原科学数据中心(2025-07-24) [2026-01-09]. <https://doi.org/10.11888/Terre.tpdc.300330>.
Gao Jixi, Shi Yuanli, Zhang Hongwei, et al. China regional 250 m fractional vegetation cover data set (2000–2024) [DS/OL]. National Tibetan Plateau/Third Pole Environment Data Center (2025-07-24) [2026-01-09]. <https://doi.org/10.11888/Terre.tpdc.300330>.
- [15] Mu H W, Li X C, Wen Y N, et al. A global record of annual terrestrial human footprint dataset from 2000 to 2018 [J]. *Scientific Data*, 2022, 9: 176.
- [16] McShea W J, Stewart C, Peterson L, et al. The importance of secondary forest blocks for terrestrial mammals within an Acacia/secondary forest matrix in Sarawak, Malaysia [J]. *Biological Conservation*, 2009, 142(12): 3108–3119.
- [17] MacKenzie D I, Bailey L L, Nichols J D. Investigating species co-occurrence patterns when species are detected imperfectly [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2004, 73(3): 546–555.
- [18] Richmond O M, Hines J E, Beissinger S R. Two-species occupancy models: a new parameterization applied to co-occurrence of secretive rails [J]. *Ecological Applications*, 2010, 20(7): 2036–2046.

- [19] Murphy A, Kelly M J, Karpanty S M, et al. Using camera traps to investigate spatial co-occurrence between exotic predators and native prey species: a case study from northeastern Madagascar [J]. *Journal of Zoology*, 2019, 307(4): 264–273.
- [20] Ridout M S, Linkie M. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data [J]. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 2009, 14(3): 322–337.
- [21] 楼瑛强, 洪阳, 田俊华, 等. 甘肃莲花山血雉春夏季栖息地选择[J]. *四川动物*, 2014, 33(2): 229–233.
Lou Yingqiang, Hong Yang, Tian Junhua, et al. Habitat selection of blood pheasant in spring and summer at Lianhuashan[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2014, 33(2): 229–233.
- [22] Wang N, Zheng G M, McGowan P J K. The occurrence of pheasants in sacred and other forests in western Sichuan: China and their cultural conservation [J]. *Chinese Birds*, 2012, 3(1): 33–46.
- [23] Zhang D X, An B, Chen L Y, et al. Camera trapping reveals spatiotemporal partitioning patterns and conservation implications for two sympatric pheasant species in the Qilian Mountains, northwestern China[J]. *Animals*, 2022, 12(13): 1657.
- [24] 刘迺发. 中国雪鸡生物学[M]. 北京: 科学出版社, 2022: 125–138.
Liu Naifa. *Biology of snowcocks in China*[M]. Beijing: Science Press, 2022: 125–138.
- [25] Yao H Y, Wang P C, Davison G, et al. How do snow partridge (*Lerwa lerwa*) and Tibetan snowcock (*Tetraogallus tibetanus*) coexist in sympatry under high-elevation conditions on the Qinghai-Tibetan Plateau?[J]. *Ecology and Evolution*, 2021, 11(24): 18331–18341.
- [26] Wang B, Xu Y, Price M, et al. Niche partitioning among three montane ground-dwelling pheasant species along multiple ecological dimensions[J]. *Ibis*, 2021, 163(1): 171–182.
- [27] 罗旭, 吴太平, 黄安琪. 云南高黎贡山两种同域分布雉类冬季的食物分析及取食策略[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(4): 1003–1008.
Luo Xu, Wu Taiping, Huang Anqi. Diet analysis and foraging strategy of two sympatric pheasants at Mt. Gaoligong in winter [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(4): 1003–1008.