动物学杂志 *Chinese Journal of Zoology* 2025, 60(5): 683 ~ 693

浙江乌岩岭保护区黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇日活动节律和栖息地冲突

刘西① 熊艳云② 雷祖培① 覃世迪③ 应易炫③ 何珂③ 斯煌凯④ 刘宝权④ 高洪娣④*

① 浙江乌岩岭国家级自然保护区管理中心 温州 325500；② 钱江源-百山祖国家公园庆元保护中心 庆元 323800；③ 浙江农林大学动物科技学院动物医学院 杭州 311300；④ 浙江省森林资源监测中心 杭州 310020

摘要：浙江省乌岩岭国家级自然保护区是浙江省面积第二大的自然保护区，动物资源丰富，为我国黄腹角雉（*Tragopan caboti*）的唯一保种基地和原产地人工繁殖基地，同时分布有白颈长尾雉（*Syrmaticus ellioti*）等国家一级重点保护鸟类。关于该保护区的地栖性鸡形目鸟类对于栖息地的利用情况缺乏深入探讨。本研究以 3 种鸡形目鸟类黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇（*Lophura nycthemera*）为研究物种，通过红外相机监测技术，捕捉物种活动踪迹，分析这 3 种濒危珍稀鸡形目鸟类的分布情况；同时结合 Worldclim 气候数据，利用 MaxEnt 模型对物种现在的适宜栖息地以及未来的变化情况展开探讨；结合日节律活动模型和 MaxEnt 模型，综合预测 3 个物种未来栖息地冲突状况并剖析背后原因。结果表明：（1）3 种鸟类活动范围上存在重叠；（2）3 种鸟类都是昼行性动物，且日活动节律重复度高；（3）预测未来 20 年，3 种鸟类生境将发生变化，适宜生境存在重叠，可能会发生冲突。3 种鸟类的生境变化可能与栖息环境改变有关，因此，为了更好地对 3 种鸟类，尤其是黄腹角雉进行保护、减少 3 种鸟类之间的冲突，建议积极推动红外监测、人工繁育以及野外放归工作，并由保护区与相关部门根据物种的分布规律出台科学的保护政策。

关键词：乌岩岭保护区；黄腹角雉；白颈长尾雉；白鹇；MaxEnt 模型；日活动节律模型；栖息地冲突

中图分类号：Q958 **文献标识码：**A **文章编号：**0250-3263（2025）05-683-11

Habitat Conflicts and Daily Activity Rhythms of Cabot's Tragopan, Elliot's Pheasant, and Silver Pheasant in Zhejiang Wuyanling Nature Reserve

LIU Xi① XIONG Yan-Yun② LEI Zu-Pei① QIN Shi-Di③ YING Yi-Xuan③ HE-Ke③ SI Huang-Kai④ LIU Bao-Quan④ GAO Hong-Di④*

① *Zhejiang Wuyanling National Nature Reserve Management Center, Wenzhou* 325500; ② *Qingyuan Conservation Center of Qianjiangyuan-Baishanzuo National Park, Qingyuan* 323800; ③ *College of Animal Science and Technology, College of Veterinary Medicine, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou* 311300; ④ *Zhejiang Forest Resources Monitoring Center,*

* 通讯作者，E-mail: ghd1118@163.com；

第一作者介绍 刘西，男，正高级工程师；研究方向：自然保护区生物多样性保护与管理；E-mail: liuxiliushi@163. com。

收稿日期：2024-10-14，修回日期：2025-05-10 DOI: 10.13859/j.cjz.202524229 CSTR: 32109.14.cjz.24229

Hangzhou 310020, *China*

Abstract: [Objectives] Zhejiang Wuyanling National Nature Reserve ranks second in area among the nature reserves in Zhejiang Province. It boasts abundant animal resources and serves as the sole *in-situ* conservation and artificial propagation base for the Cabot's Tragopan *Tragopan caboti* in China. It is a habitat for national-level protected birds like the Elliot's Pheasant *Syrmaticus ellioti*. There is a dearth of in-depth research on how ground-dwelling birds of Galliformes utilize their habitat within this reserve. **[Methods]** In this study, infrared camera monitoring was employed to record the activity patterns of three rare and endangered avian species: Cabot's Tragopan, Elliot's Pheasant, and Silver Pheasant *Lophura nycthemera*. By integrating MaxEnt software with Worldclim climate data, we investigated the current and future alterations in their suitable habitats. The daily activity rhythm model, calculated via R software (v 3.6.3), was combined with the MaxEnt model results. Then, ArcGIS (v 10.8.1) was utilized to comprehensively predict future habitat conflicts among the three species and explore the underlying causes. **[Results]** (1) The current distribution ranges of the three avian species showed overlapping areas (Table 1, Fig. 2). (2) All the three species exhibited diurnal activity patterns with highly repetitive daily rhythms. Statistical analysis showed no significant differences in their activity rhythms ($P > 0.05$, Fig. 3). (3) Projections suggest that the habitats of these three species will undergo changes over the next 20 years. Specifically, the suitable habitat for the Cabot's Tragopan will decline, while the suitable habitats of the other two species will overlap with that of the Cabot's Tragopan, potentially leading to habitat conflicts (Table 2, Fig. 4). **[Conclusion]** To enhance the protection of these three species, particularly the Cabot's Tragopan, and mitigate conflicts, efforts should be made to actively promote infrared monitoring, artificial breeding, and field releases. Additionally, the nature reserve and local authorities should introduce scientific conservation policies based on the species distribution patterns.

Key words: Wuyanling National Nature Reserve; Cabot's Tragopan; Elliot's Pheasant; Silver Pheasant; MaxEnt model; Daily activity rhythm model; Habitat conflict

浙江省乌岩岭国家级自然保护区（下称乌岩岭保护区）位于中亚热带南北亚带分界线，其地理条件优越，是国内濒临东海最近的森林生态与野生动物类型国家级自然保护区，同时也是浙江省面积第二大的森林生态系统类型自然保护区（刘宝权等 2022）。保护区属天然次生常绿阔叶林区，植物资源丰富，森林覆盖率为 92.8%（刘宝权等 2022，江彦苹等 2023），为许多动物提供了适宜的生存环境，2023 年入选《陆生野生动物重要栖息地名录》（国家林业和草原局 2023）。该保护区有 14 种国家一级重点保护野生动物和 66 种国家二级重点保护野生动物，其中包含 4 种国家一级重点保护鸟类和 45 种国家二级重点保护鸟类（刘宝权等 2022）。这 49 种重点保护鸟类中，地栖型鸡形目物种包括黄腹角雉（*Tragopan caboti*）、白颈长尾雉（*Syrmaticus ellioti*）、白鹇（*Lophura nycthemera*）、勺鸡（*Pucrasia macrolopha*）和鹌鹑（*Coturnix japonica*）（刘宝权等 2022）。本研究关注的黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇均隶属于鸡形目雉科，在《国家重点保护野生动物名录》（2021）分别为国家一级重点保护（前两者）和国家二级重点保护（白鹇）物种，前两者为我国特有种。

乌岩岭保护区中鸡形目鸟类资源丰富，但鸟类活动范围处于动态变化而难以实地观察

到，因此保护区中生境格局变化对于物种分布的影响难以开展研究。最大熵模型（the maximum entropy principle，MaxEnt）因预测精度高、预测效果好等优势能够很好地解决这一问题（Dos Santos et al. 2017，Khan et al. 2022）。Phillips 等（2006）首次将该模型引入到物种分布区预测中，后逐渐成为最常用的潜在地理分布预测模型之一。目前已有许多学者将该模型应用于濒危鸟类的潜在生境预测，如李瑞等（2024）运用该模型对昆明市境内的白腹锦鸡（*Chrysolophus amherstiae*）等 17 种国家重点保护鸟类的适宜栖息地进行了预测与评价；孙志勇等（2023）对于鄱阳湖白鹤（*Grus leucogeranus*）的越冬期生境进行预测，并分析了生境变化因素，这些研究的开展对于物种保护政策的制定都有着积极的意义。

目前在乌岩岭保护区中，针对黄腹角雉的研究主要集中于单一物种开展（翁国航等 2022，翁国航 2023），已有学者对该区域黄腹角雉的生存状况以及种群繁殖进行了研究（Young et al. 1991，Deng et al. 2004，2005），但长时间未进行更新，现阶段黄腹角雉的生存状况如何，未来是否会迁移，保护区哪些区域适合后期黄腹角雉的野外放归等问题对于该物种的保护、生存和发展至关重要，需要进一步深入分析。本研究利用乌岩岭保护区的红外相机监测数据，结合 Worldclim（http://www.Worldclim.org/）中的气候相关数据，通过 MaxEnt 模型和日活动节律模型，对黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇的日活动节律、栖息地冲突及未来生境变化进行分析，拟研究该保护区中 3 种雉科鸟类昼夜活动规律是否存在差异以及当前生境重叠程度，并预测未来 20 年 3 种鸟类的栖息地变化以及是否会出现物种冲突。

1　材料与方法

1.1　研究区域

乌岩岭保护区位于浙江省泰顺县西北部，北接浙江省景宁县，西连福建省寿宁县，由主区域（119°37′08″ ~ 119°50′00″ E，27°36′13″ ~ 27°48′39″ N）和副区域（119°44′07″ ~ 119°47′03″ E，27°20′52″ ~ 27°23′34″ N）组成，总面积为 188.615 km^2。属于典型的中亚热带海洋型季风气候，温暖湿润，雨水充足，四季分明。夏季平均气温为 25.1 ℃，冬季平均气温为 14.7 ℃，年平均气温为 16 ℃，年平均降水量为 1 950 mm，无霜期为 280 d。

该地区普遍为常绿阔叶林，植物种类较多，包括壳斗科、樟科和蔷薇科等。鸡形目鸟类的主要植物性食物有蕨类植物、双子叶植物和单子叶植物的根、芽、果实和种子；保护区内存在多种中级捕食者，如猪獾（*Arctonyx collaris*）和豹猫（*Felis bengalensis*）等（郑方东 2011）。

1.2　物种调查及监测数据分析

1.2.1　红外相机监测　本研究通过红外相机调查法对乌岩岭保护区的野生动物进行调查。以整个自然保护区为调查单元，划分为 210 个 1 km × 1 km 的调查网格，在每个网格布设 1 台红外相机（图 1）。最终收集相机，统计数据，并将物种监测结果进行可视化，用于后续分析。监测时间为 2020 年 8 月至 2022 年 11 月，监测时长为 20 064 h，合计相机日 73 355 d。

1.2.2　红外相机监测数据分析　根据红外相机数据分别计算相对多度指数（relative abundance index，I_{RA}，Bengsen et al. 2011）和网格占有率（肖治术 2019），且本研究都符合上述方法的适用条件。相对多度指数（I_{RA}）主要比较每 100 个工作日内不同物种（特别是那些不能进行个体识别的物种）的相对密度，并假定某区域内动物的照片拍摄率与动物的密度呈正相关，计算公式如下：

$$I_{RA} = \frac{\sum_{i=1} d_i}{\sum_{i=1} t_i} \times 100$$

式中，I_{RA} 为相对多度指数，t_i 为相机点位 i 的拍摄天数，d_i 为相机点位 i 拍摄某一物种的独立有效照片数。

网格占有率（grid occupancy，R_{GO}）用于初步评估物种的分布情况。

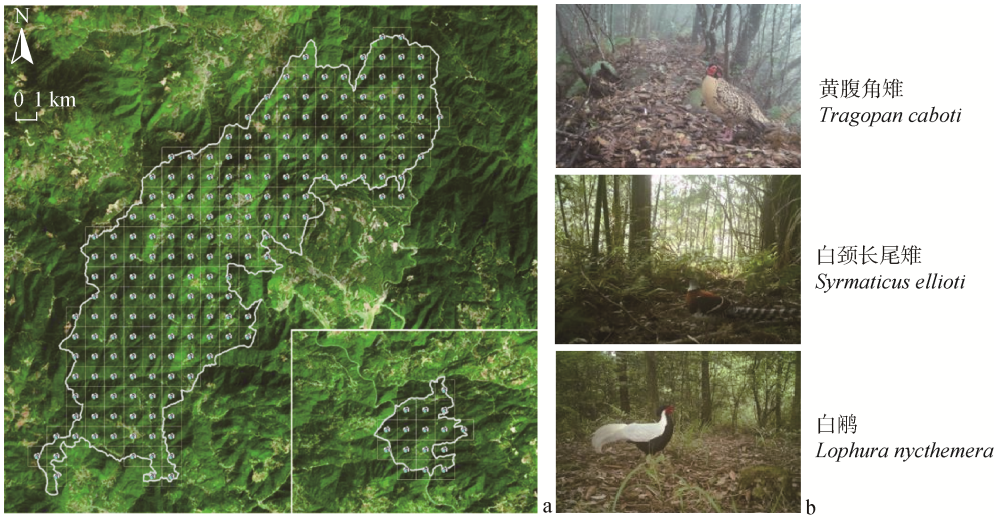


图 1　红外相机分布（a）及物种活动（b）

Fig. 1　Distribution of infrared cameras (a) and species activity (b)

$R_{GO} = 100\%（G_i/G）$

式中，R_{GO} 为网格占有率，G_i 表示第 i 类（$i = 1, 2, 3……$）动物被拍到的 1 km × 1 km 网格单元数，G 表示所有正常工作相机的 1 km × 1 km 网格单元数。

1.3　预测生境变化分析

1.3.1　物种分布数据来源及筛选　本研究使用的数据由以下两部分组成：（1）本研究组 2020 至 2022 年在浙江省乌岩岭国家级自然保护区的红外相机监测数据；（2）本研究组 2021 至 2024 在乌岩岭浙江西南部丽水市莲都和莲都峰源保护区的红外相机监测数据，该数据用于辅助模型构建，提高模型构建精确度。为降低物种分布点在空间上的自相关性，使其与环境因子数据范围保持一致，利用 ENMTools 软件（v 5.26）对分布数据进行筛选和冗余数据剔除，对最终得到的数据进行后续分析。

1.3.2　环境数据获取及处理　在 Worldclim（http://www.worldclim.org/）中下载当前和未来（2041 至 2060 年）的 19 个气候因子，分辨率为 30″。未来气候数据基于 BCC-CSM2-MR 全球气候系统模型数据，选择二氧化碳驱动其中的共享社会经济路径 2（shared socioeconomic pathway 2，SSP2）和典型浓度排放路径 4.5（representative concentration pathway 4.5，RCP 4.5），即 SSP245 进行分析。因 SSP245 代表总辐射强度在 2100 年稳定在 4.5 W/m^2，对应温室气体浓度中等的气候情景，能较好地反映社会经济发展和气候情景之间的联系，符合实际发展状况，并涵盖了具体的未来气候周期，所以模拟结果能更接近实际观测。

1.3.3　模型构建及评价　本研究将红外监测区域联合乌岩岭保护区周边区域（包含丽水市莲都和莲都峰源保护区）作为建模区域，将地理数据和气候因子导入 MaxEnt 模型中，在 MaxEnt 软件（v 3.4.1）中采用 bootstrap 法进行 10 次重复检验运算并取平均值。依据自然断点法将黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇的栖息地分为不适宜栖息地、低适宜栖息地、中适宜栖息地和高适宜栖息地，自然断点法参数分别参考唐佳敏（2023）、赵增辉等（2023）和徐亚兰等（2024）。使用 ArcGIS（v 10.8.1）栅格工具计数不同栖息地的面积（Hou et al. 2023），并通过曲线下面积（area under the curve，AUC）值判断模型精度（陈慈豪等 2023）。选择环境参数设置中的刀切法（Jack knife）检测环境变量的贡献率和重要性（钱天陆等 2022）。

1.4　日活动节律分析

基于日活动节律模型分析黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇在时间生态位中的日活动节律、重叠程度和相互关系。利用 Ridout 等（2009）提出的核密度估计法(kernel density estimation）分析目标动物的日活动节律。因乌岩岭保护区在研究时间内日出（5:04 ~ 6:52 时）和日落（17:06 ~ 19:01 时）时间跨度大，为了能够更加准确地反映物种真实的日活动节律，利用 R 软件（v 3.6.3）overlap 包中的 sumTime 函数，将记录到的独立有效照片拍摄时间（UTC ＋ 8）转换为研究地点的太阳时间（Zahoor et al. 2021）。利用 R 软件中的 overlap 包，绘制黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇日活动概率曲线图，通过 overlapEst 函数计算重叠系数（coefficient of overlapping），再比较三者之间活动节律的相似程度，即重叠程度。使用 R 软件中 compareAct 函数的沃尔德检验（Wald test）分析 3 个物种日活动节律的差异性，显著性水平设置为 0.05。以上所有数据分析和制图均在 R 软件（v 3.6.3）中进行可视化（Bu et al. 2016）。

2　结果

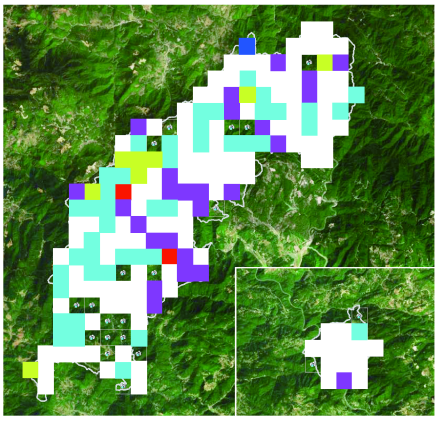
2.1　红外相机调查结果及物种活动情况

通过布设的红外相机，记录到黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇的独立有效照片总计 6 375 张，其中，黄腹角雉占 2.5%，白颈长尾雉占 1.9%，白鹇被发现频率最高，占 95.6%（表 1）。相对多度指数和网格占有率，黄腹角雉分别为为 0.819 和 25.7%，白颈长尾雉分别为 0.871 和 17.1%，白鹇分别为 8.904 和 90.0%（表 1）。对监测结果进行整合后发现，只有 0.48%和 0.95%的区域分别单独监测到黄腹角雉和白颈长尾雉，但有 54.29%的区域单独监测到白鹇；仅 3.81%的区域存在 3 个物种栖息地重叠的现象。同时监测到白鹇和白颈长尾雉的区域占 12.38%，同时监测到白鹇和黄腹角雉的区域占 21.90%，未发现白颈长尾雉和黄腹角雉同时出现的情况。均说明白鹇的分布远高于其余两种鸟类（图 2）。

表 1　3 个鸟类物种红外相机数据分析

Table 1　Analysis of infrared camera data for the three bird species

物种 Species	独立有效照片 Independent valid photos	相对多度指数 Relative abundance index, I_{RA}	网格占有率（%） Grid occupancy	网格单元数 Number of grids
黄腹角雉 *Tragopan caboti*	165	0.819	25.7	54
白颈长尾雉 *Syrmaticus ellioti*	113	0.871	17.1	36
白鹇 *Lophura nycthemera*	6 097	8.904	90.0	189



□ 仅白鹇 Only *Lophura nycthemera*
■ 仅白颈长尾雉 Only *Syrmaticus ellioti*
■ 仅黄腹角雉 Only *Tragopan caboti*
■ 白鹇和白颈长尾雉 *L. nycthemera* and *S. ellioti*
■ 白鹇和黄腹角雉 *L. nycthemera* and *T. caboti*
■ 白鹇、白颈长尾雉和黄腹角雉 *L. nycthemera*, *S. elliot*, and *T. caboti*

图 2　3 种鸟类的监测分布

Fig. 2　Monitoring distribution of the three bird species

2.2　日活动节律及差异

基于所有数据进行的全年日活动节律分析，黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇 3 个物种都全天活动，以昼行性为主且日活动节律高度重合（图 3）。黄腹角雉和白颈长尾雉日活动节律的重叠系数为 0.836，日活动节律曲线差异不显著（$\Delta_4 = 0.836$，$P = 0.075$）；黄腹角雉和白鹇日活动节律的重叠系数为 0.929，日活动节律曲线差异不显著（$\Delta_4 = 0.929$，$P = 0.204$）；白颈长尾雉和白鹇日活动节律的重叠系数为 0.820，日活动节律曲线差异不显著（$\Delta_4 = 0.820$，$P = 0.273$）。以上结果表明，3 个物种的日活动节律无显著分化，且活动高峰期都主要集中在日出（6:00 时）后和日落（18:00 时）前的白昼。

2.3　MaxEnt 模型分析及预测

2.3.1　模型准确度分析　通过 ENMTools 筛选后分布点共 489 个，其中，黄腹角雉 109 个，白颈长尾雉 87 个，白鹇 293 个。结合本研究的红外相机位点数据进行模型计算，3 个物种的预测 AUC 值分别为 0.991（优秀）、0.985（优秀）和 0.988（优秀）（附录 1）。

2.3.2　环境因子影响分析　通过 MaxEnt 分析了 19 种环境因子的贡献百分率，结果表明，在模型预测中起主导作用的因素包括平均温度日

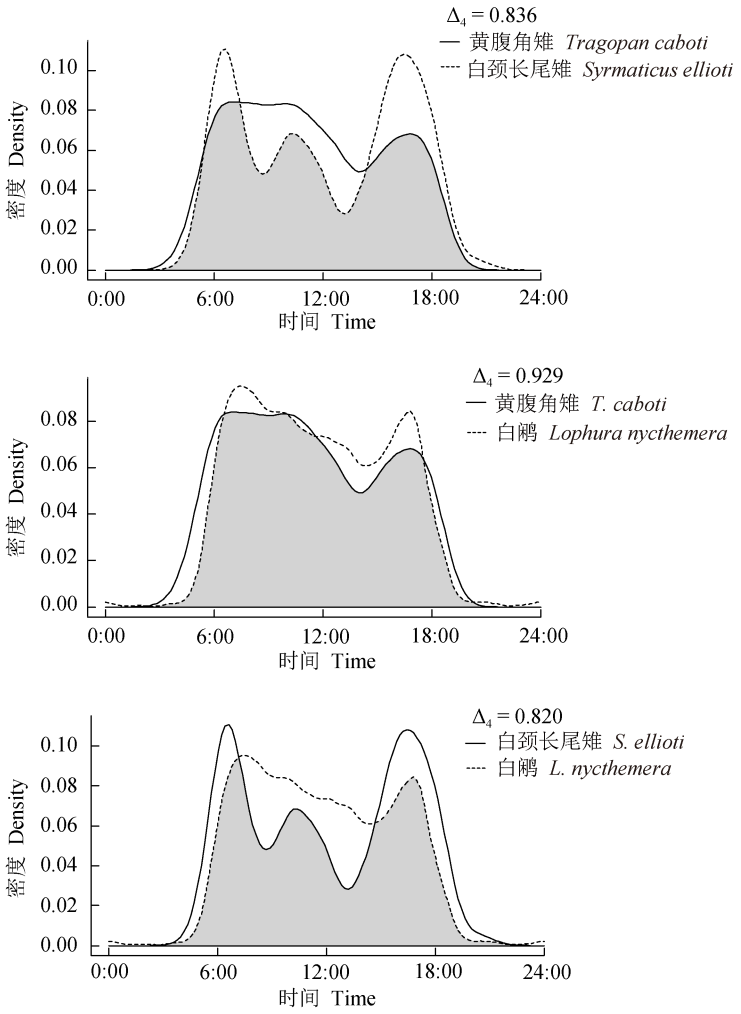


图 3　黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇的日活动节律

Fig. 3　Daily activity rhythms of *Tragopan caboti*, *Syrmaticus ellioti*, and *Lophura nycthemera*

较差（bio2）、等温性（bio3）、温度季节性变化（bio4）、最暖季度均温（bio10）和最湿月降水量（bio13）共 5 种（表 2）。

表 2　3 个鸟类物种环境因子贡献百分率

Table 2　Percentage contributions of environmental factors of the three bird species

物种 Species	环境因子 Environmental factor	贡献百分率 Percentage contribution (%)
黄腹角雉 *Tragopan caboti*	bio4 温度季节性变化 Temperature seasonality	41.5
	bio13 最湿月降水量 Precipitation of wettest month	22.8
	bio10 最暖季度均温 Mean temperature of warmest quarter	19.0
	bio3 等温性 Isothermality	6.7
白颈长尾雉 *Syrmaticus ellioti*	bio4 温度季节性变化 Temperature seasonality	44.3
	bio13 最湿月降水量 Precipitation of wettest month	33.3
	bio3 等温性 Isothermality	6.8
白鹇 *Lophura nycthemera*	bio4 温度季节性变化 Temperature seasonality	51.1
	bio13 最湿月降水量 Precipitation of wettest month	27.2
	bio2 平均温度日较差 Mean diurnal temperature range	6.4

采用刀切法分析环境因子的重要性。在黄腹角雉中，单独使用最暖季度降水量（bio18）时模型增益较高，说明它拥有最有用的信息，当降水量变异系数（bio15）被忽略时增益降低较多，说明它具有最多的其他变量中没有的信息，因此最暖季度降水量（bio18）和降水量变异系数（bio15）为影响黄腹角雉在乌岩岭适宜生境分布的重要环境因子；在白颈长尾雉中，温度季节性变化（bio4）和降水量变异系数（bio15）为影响其在该保护区分布的重要环境因子；影响白鹇适宜生境分布的重要环境因子与白颈长尾雉相同（附录 2）。

2.3.3　栖息地适宜性变化　根据 ArcGIS（v 10.8.1）绘制鸟类的分布区域（图 4），当前黄腹角雉广泛分布于保护区主区域的东北地区以及副区域；白颈长尾雉则广泛分布于主区域的东北及中部地区；白鹇广泛分布于主区域的中部、西南地区以及副区域。根据预测，在未来 20 年，黄腹角雉的适宜栖息地从主区域逐渐减少，副区域中仅保留部分；白颈长尾雉的适宜栖息地扩张到主区域的东南地区以及副区域；白鹇的适宜栖息地则扩张到东北地区。综上发现，黄腹角雉的适宜栖息地在未来可能发生大面积衰减及适生等级下降，其中高适宜栖息地相比现在缩减 74.58%，丧失情况比较严重；而白颈长尾雉和白鹇的适宜栖息地在未来则可能发生不同等级的增幅，其中高适宜栖息地分别增加 8.54%和 41.46%（表 3）。

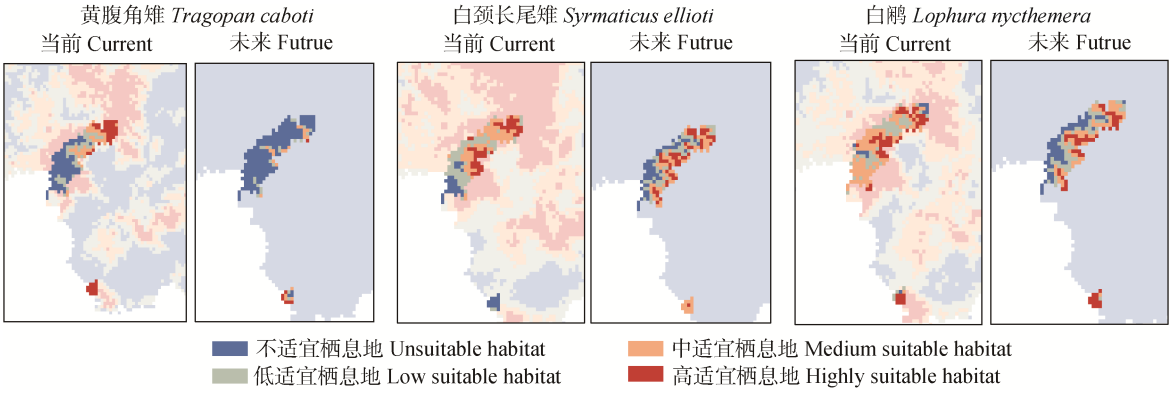


图 4　乌岩岭保护区内黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇栖息地预测

Fig. 4　Habitat prediction for *Tragopan caboti*, *Syrmaticus ellioti*, and *Lophura nycthemera*

表 3　预测 3 个鸟类物种适宜栖息地面积的未来变化

Table 3　Predicted future changes in suitable habitats areas of the three bird species

物种 Species	当前 Current		未来 Future	
	高适宜和中适宜栖息地（km^2）Highly suitable and medium suitable habitats	低适宜和不适宜栖息地（km^2）Low suitable and unsuitable habitats	高适宜和中适宜栖息地（km^2）Highly suitable and medium suitable habitats	低适宜和不适宜栖息地（km^2）Low suitable and unsuitable habitats
黄腹角雉 *Tragopan caboti*	83.72	114.76	21.28	167.20
白颈长尾雉 *Syrmaticus ellioti*	94.52	91.96	102.60	85.88
白鹇 *Lophura nycthemera*	93.48	95.00	132.24	56.24

3　讨论

本研究利用红外相机监测乌岩岭保护区黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇的活动，日节律活动模型分析表明，这 3 种鸟类都是昼行性动物，且日活动节律重复度高，因此不可避免会出现物种冲突；MaxEnt 模型分析表明，温度季节性变化是黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇的重要环境影响因子；对未来栖息地发展的预测表明，保护区内这3种鸟类在未来20年可能会发生最适宜栖息地冲突。本研究对于乌岩岭保护区制定相关保护策略和措施提供了科学参考。

自 20 世纪 80 年代乌岩岭保护区发现黄腹角雉以来，研究者对其栖息地和巢址选择、栖息地片段化、食性、人工受精繁殖、越冬与迁移、种群结构与动态、种群生存力等方面进行了深入研究（张雁云 2005）。为进一步了解黄腹角雉在未来的生存状况，提供更全面的保护建议，本研究预测了黄腹角雉在乌岩岭保护区未来栖息地的变化，同时对该物种与同域存在的白颈长尾雉和白鹇进行了适宜栖息地冲突分析。

日活动节律模型结果表明，3 个物种的昼夜活动周期基本重合，无显著差异。通过野外布设的红外相机位点发现，拍摄到黄腹角雉、白颈长尾雉和白鹇活动的网格出现重复，其中44.9%的栖息地都同时监测到 2 种及以上的物种；并且由于保护区中的植被环境基本为常绿阔叶林，适宜三者生存，因此三者之间的活动区域存在重叠现象。在食性方面，3 个物种也存在高度相似。郑方东（2011）在研究中发现，黄腹角雉主要采食壳斗科、蔷薇科及蕨类植物；张刚等（2019）通过观察与解剖等方法，发现白颈长尾雉的食物主要为壳斗科和樟科的种子、蔷薇科的果实和蕨科的嫩芽；高育仁（1993）对白鹇胃内容物进行分析发现其主要食物为壳斗科和樟科植物。综上所述，3 个物种的生态位存在高度重叠，这样高度重叠的活动时空会给 3 个物种带来更大的生存压力，相互之间的竞争度更高，可能会在一定程度上发生生境冲突。比如加拿大北极附近的赤狐（*Vulpes vulpes*）和北极狐（*V. lagopus*）因活动范围广泛重叠，从而爆发一定强度的物种冲突（Lai et al. 2022）。

MaxEnt 模型结果表明，未来黄腹角雉的适宜栖息地范围可能逐渐衰退，生境逐渐被压缩至保护区东北边缘。而白颈长尾雉的栖息地则向主区域东南边缘迁移并以副区域为中心进行扩张，白鹇则向主区域中部及东北方向逐渐迁移并逐渐提高在副区域的适宜栖息地面积。这可能是由于环境因素导致，最适合黄腹角雉生存的栖息地需要保持平均相对湿度 80%以上，年降雨量约 2 000 mm，阴暗潮湿的环境（刘雷雷等 2019），而对其贡献最高的三个环境因子，温度季节性变化（bio4）、最湿月降水量（bio13）和最暖季度均温（bio10）对这种特殊环境的构成起到重要作用，如果这些环境因子出现一定程度的改变，可能会迫使黄腹角雉进行迁移。除上述环境因子外，对另外两种雉类最适生境贡献度较高的环境因子，等温性（bio3）和平均温度日较差（bio15）发生变化时也能破坏黄

腹角雉最适生境的稳定。因此，由于黄腹角雉对生境要求严苛，其适宜栖息地范围会被进一步压缩，而白颈长尾雉和白鹇则因对生境要求宽松而逐渐扩张。

本研究将有助于黄腹角雉人工种群的野外放归工作。保护区自 2002 年开始针对黄腹角雉投放人工仿生巢，但被利用率较低，仅有 8%（Deng et al. 2005）。在下一阶段工作中，可考虑在单独监测到黄腹角雉及未出现物种重叠现象的区域放归人工繁育成鸟，以补充保护区内的黄腹角雉野生种群数量（翁国杭 2023）。其次，可以采取措施保护黄腹角雉最适宜的环境，如保护和修复阴暗潮湿的环境，在一些林间空地补植黄腹角雉的依赖性食物——交让木（*Daphniphyllum macropodum*）（郑光美 2004），以改善栖息地的食物条件；也可以通过人工干预温度和湿度，为黄腹角雉野生种群构建更适宜的生境。第三，应建立气候监测中心，时刻关注保护区内气候动态变化，针对性地采取保护措施，以预防黄腹角雉因外界因素而发生大面积的种群衰减。

综上所述，为更好地保护三个物种在保护区中的生存状况，应积极推动物种野外监测工作，对其分布数据进行实时更新。同时，应为黄腹角雉设立核心保护区，以避免生态位重叠导致的物种冲突使其种群发生大面积衰减；并从人工繁育和野外放归的角度加大对其保护的力度；此外，还应促使相关部门积极沟通，尽快出台科学的保护政策。

参 考 文 献

Bengsen A J, Leung L K P, Lapidge S J, et al. 2011. Using a general index approach to analyze camera-trap abundance indices. The Journal of Wildlife Management, 75(5): 1222–1227.

Bu H L, Wang F, McShea W J, et al. 2016. Spatial co-occurrence and activity patterns of mesocarnivores in the temperate forests of southwest China. PLoS One, 11(10): e0164271.

Deng W, Zheng G, Zhang Z, et al. 2005. Providing artificial nest platforms for Cabot's Tragopan *Tragopan caboti* (Aves: Galliformes): a useful conservation tool? Oryx, 39(2): 158–163.

Deng W H, Zheng G M. 2004. Landscape and habitat factors affecting Cabot's Tragopan *Tragopan caboti* occurrence in habitat fragments. Biological Conservation, 117(1): 25–32.

Dos Santos L A, Mendes M F, Krüger A P, et al. 2017. Global potential distribution of *Drosophila suzukii* (Diptera, Drosophilidae). PLoS One, 12(3): e0174318.

Hou J L, Xiang J G, Li D L, et al. 2023. Prediction of potential suitable distribution areas of *Quasipaa spinosa* in China based on MaxEnt optimization model. Biology, 12(3): 366.

Khan A M, Li Q T, Saqib Z, et al. 2022. MaxEnt modelling and impact of climate change on habitat suitability variations of economically important chilgoza pine (*Pinus gerardiana* Wall.) in south Asia. Forests, 13(5): 715.

Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190(3/4): 231–259.

Ridout M S, Linkie M. 2009. Estimating overlap of daily activity patterns from camera trap data. Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics, 14(3): 322–337.

Lai S, Warret Rodrigues C, Gallant D, et al. 2022. Red foxes at their northern edge: competition with the Arctic fox and winter movements. Journal of Mammalogy, 103(3): 586–597.

Young L, Zheng G M, Zhang Z W. 1991. Winter movements and habitat use by Cabot's Tragopans *Tragopan caboti* in southeastern China. Ibis, 133(2): 121–126.

Zahoor B, Liu X H, Wu P F, et al. 2021. Activity pattern study of Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*) in the Qinling Mountains, China, by using infrared camera traps. Environmental Science and Pollution Research International, 28(20): 25179–25186.

陈慈豪, 韦波. 2023. 基于组合模型和 GIS 的白纹伊蚊广东省适生区预测. 生物安全学报, 32(2): 161–167.

钱天陆, 秦淑洁, 吴朝宁, 等. 2022. 基于 MaxEnt 模型的人类干扰对滇金丝猴潜在分布的影响. 兽类学报, 42(4): 349–361.

蔡路昀, 徐言朋, 蒋萍萍, 等. 2007. 白颈长尾雉的活动区和日活动距离. 浙江大学学报: 理学版, 34(6): 679–683.

高育仁. 1993. 白鹇食性研究. 动物学研究, 14(2): 194–196.

国家林业和草原局. 2023. 陆生野生动物重要栖息地名录（第一批）. [EB/OL]. https://www.tmg.gov.cn/ztzl/zrzyhghzt/xxgk/181764.htm.

国家林业和草原局. 2021. 国家重点保护野生动物名录. [EB/OL].

https://www.gov.cn/xinwen/2021-02/09/5586227/files/e007df5cdb364bcdbcb89d169047d6c5.pdf.

江彦苹, 刘西, 潘向东, 等. 2023. 浙江乌岩岭国家级自然保护区毛果青冈群落结构特征及物种多样性. 福建农业科技, 54(12): 1–6.

李瑞, 杨建欣, 马长乐, 等. 2024. 基于 MaxEnt 模型的昆明市国家重点保护鸟类栖息地适宜性评价. 西南林业大学学报: 自然科学, 44(5): 165–175.

刘宝权, 张芬耀, 雷祖培. 2022. 浙江乌岩岭国家级自然保护区珍稀濒危动物图鉴. 杭州: 浙江大学出版社, 1–177.

刘雷雷, 郑方东, 李佳琦, 等. 2019. 浙江乌岩岭自然保护区黄腹角雉适宜栖息地的选择. 生态学杂志, 38(10): 3123–3128.

生态环境部, 中国科学院. 2023. 中国生物多样性红色名录—脊椎动物卷（2020）. [DB/OL]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202305/W020230522536559098623.pdf.

孙志勇, 孔凡前, 缪泸君, 等. 2023. 基于 MaxEnt 模型的鄱阳湖白鹤生境适宜性评价. 南方林业科学, 51(4): 70–74.

唐佳敏. 2023. 湖南省白鹇日活动节律与潜在分布预测. 长沙: 中南林业科技大学硕士学位论文.

张雁云. 2005. 黄腹角雉研究概述. 动物学杂志, 40(1): 104–107.

翁国杭. 2023. 浙江乌岩岭国家级自然保护区黄腹角雉保护现状与对策. 温带林业研究, 6(2): 73–77.

肖治术. 2019. 自然保护地野生动物及栖息地的调查与评估研究: 广东车八岭国家级自然保护区案例分析. 北京: 中国林业出版社.

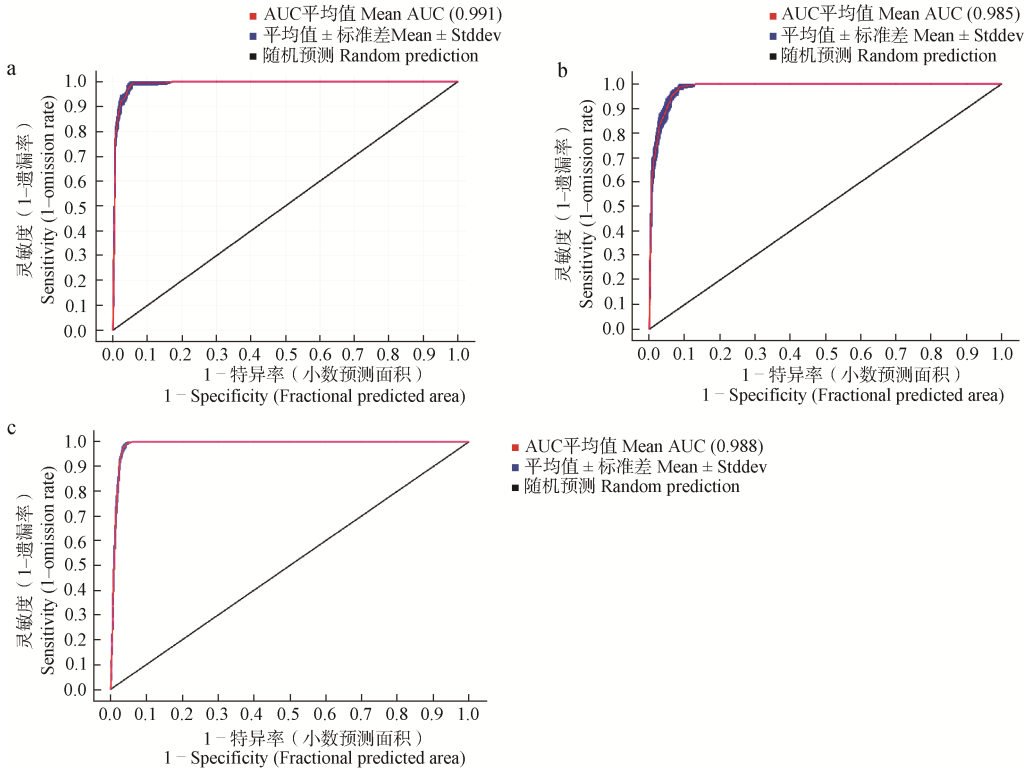
徐亚兰, 杨智敏, 卢盛俊, 等. 2024. 基于 Maxent 模型的湖南省白颈长尾雉适宜栖息地预测. 生命科学研究, 28(3): 267–273.

赵增辉, 余水生, 龚笑飞, 等. 2023. 气候变化对黄腹角雉潜在栖息地的影响. 生态学报, 43(8): 3157–3167.

张刚, 庾太林, 陈道剑, 等. 2019. 广西猫儿山野化放归白颈长尾雉的食性研究. 广西师范大学学报: 自然科学版, 37(1): 218–222.

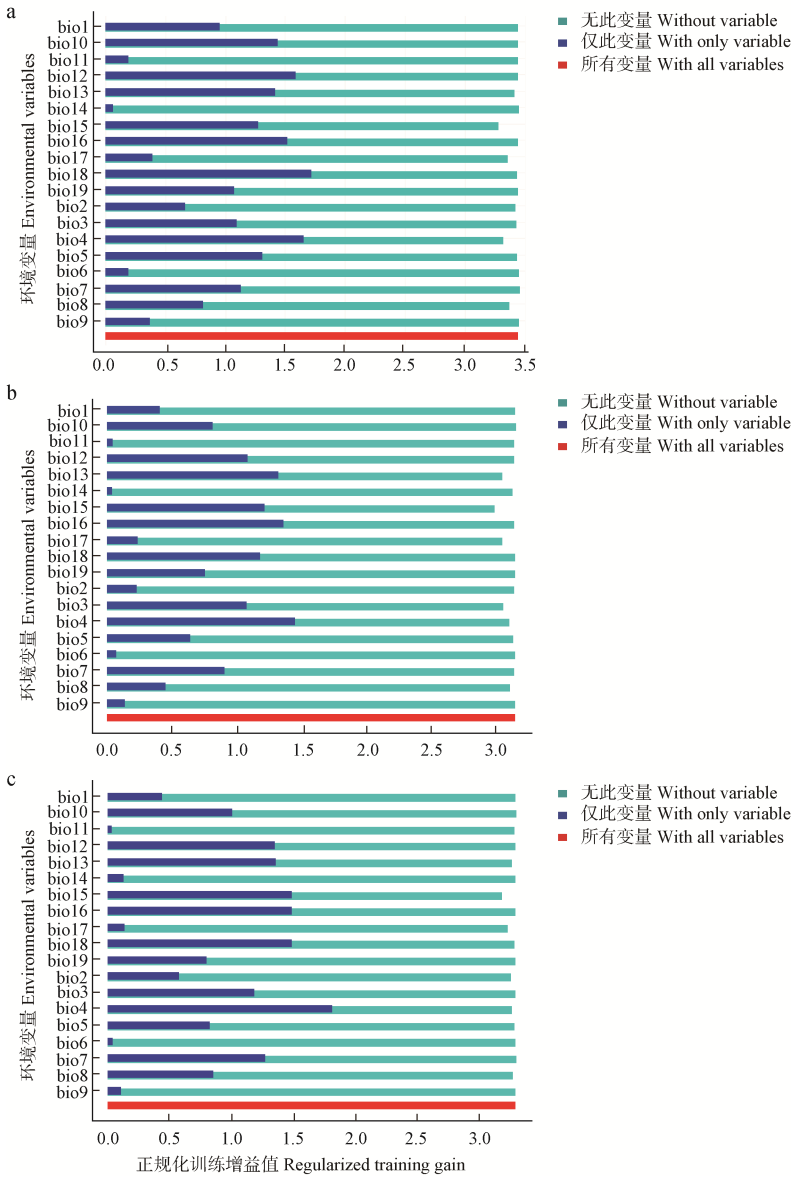
郑方东. 2011. 乌岩岭保护区黄腹角雉栖息地植被类型及植食性食物研究. 杭州: 浙江农林大学硕士学位论文.

郑光美. 2004. 中国濒危雉类生态学研究进展. 生物学通报, 39(1): 1–3.



附录 1　预测黄腹角雉（a）、白颈长尾雉（b）和白鹇（c）潜在分布的 ROC 曲线

Appendix 1　ROC curves for predicting the potential distribution of *Tragopan caboti* (a), *Syrmaticus ellioti* (b), and *Lophura nycthemera* (c)



附录 2　黄腹角雉（a）、白颈长尾雉（b）和白鹇（c）环境变量刀切法检验结果

Appendix 2　Jackknife test for environmental variables of *Tragopan caboti* (a), *Syrmaticus ellioti* (b), and *Lophura nycthemera* (c)

bio1. 年平均温度；bio2. 平均温度日较差；bio3. 等温性；bio4. 温度季节性变化；bio5. 最暖月的最高温度；bio6. 最冷月的最低温度；bio7. 气温年较差；bio8. 最湿季平均温度；bio9. 最干季平均温度；bio10. 最暖季平均温度；bio11. 最冷季平均温度；bio12. 年降水量；bio13. 最湿月降水量；bio14. 最干月降水量；bio15. 降水量变异系数；bio16. 最湿季降水量；bio17. 最干季降水量；bio18. 最暖季降水量；bio19. 最冷季降水量

bio1. Annual mean temperature; bio2. Mean diurnal range; bio3. Isothermality; bio4. Temperature seasonality; bio5. Max temperature of warmest month; bio6. Minimum temperature of coldest month; bio7. Temperature annual range; bio8. Mean temperature of wettest quarter; bio9. Mean temperature of driest quarter; bio10. Mean temperature of warmest quarter; bio11. Mean temperature of coldest quarter; bio12. Annual precipitation; bio13. Precipitation of wettest month; bio14. Precipitation of driest month; bio15. Precipitation seasonality (coefficient of variation); bio16. Precipitation of wettest quarter; bio17. Precipitation of driest quarter; bio18. Precipitation of warmest quarter; bio19. Precipitation of coldest quarter