基于朱鹮种群扩散的“生态-城镇”交织区空间优化

——以陕西洋县和城固县栖息地为例

赵红斌 尤 欢 王依诺 张钰童

（西安建筑科技大学，西安 710000）

摘要：【目的】在朱鹮种群持续增长与扩散的背景下，揭示土地利用格局对栖息地适宜性与连通性的影响，探索朱鹮栖息地保护与城镇空间发展的协调路径。【方法】运用 MaxEnt、Fragstats 和 Circuitscape 模型构建以物种扩散为导向的“分布—格局—连通性”研究框架，分析 2012—2022 年洋县与城固县野生朱鹮栖息地以及关键生态源地、廊道与障碍点特征。【结果】2012—2022 年朱鹮热点生境面积增加 207.34 km^2，占比上升 3.9%；次热点与中等生境分别增加 225.16 km^2 和 156.74 km^2，非冷点生境占总面积由 14.6%升至 25.6%。2012—2022 年巨型斑块数量增至 3 个，最大斑块指数提高 12.7%，斑块聚合度由 68 升至 82，城固县廊道密集、洋县相对稀疏。以水田为主的农业景观为朱鹮提供了连续的可利用生境，可能连通性指数（PC）提高 0.27；建设用地增加 7.75 km^2，导致局部生境破碎化并形成生态障碍点。【结论】朱鹮热点生境呈扩张趋势，扩散方向呈“沿水系廊道渗透、向低海拔城镇周边迁移”特征。土地利用格局变化对生境适宜性产生双重效应。据此提出“重构保护区-优化生态网络-修复障碍点”的空间优化策略，以提升栖息地质量，促进朱鹮保护与人类聚居环境的协调发展。

关键词：朱鹮栖息地；生境演变；生境适宜性；生境修复

DOI：10.12169/zgcsly.2025.09.12.0001

Spatial Optimization of Ecological-Urban Interface Areas Based on *Nipponia nippon* Population Dispersal: A Case Study of Chenggu and Yangxian in Shaanxi Province

Zhao Hongbin You Huan Wang Yinuo Zhang Yutong

（Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710000, China）

Abstract：【Objective】Under the context of continuous growth and dispersal of *Nipponia nippon* population, this study examines the effects of land-use patterns on habitat suitability and connectivity, aiming to explore the pathways for coordinating *N. nippon* habitat preservation with urban spatial development.【Method】A dispersal-oriented “distribution-pattern-connectivity” research framework is constructed using the models of MaxEnt, Fragstats, and Circuitscape. Wild *N. nippon* habitats in Yang County and Chenggu County from 2012 to 2022 are analyzed, covering the characteristics of key ecological source areas, corridor and barrier points.【Result】From 2012 to 2022, the *N. nippon* hotspot habitats increased by 207.34 km^2 in area, or 3.9%. Secondary hotspot habitats and moderate habitats increased by 225.16 km^2 and 156.74 km^2, respectively. The proportion of non-cold-spot habitats increased from 14.6% to 25.6% of the total area. The number of giant patches increased to three in 2012-2022, with the largest patch index up to 12.7% and patch aggregation increasing from 68 to 82. The corridors in Chenggu were dense, while those in Yangxian were relatively sparse. Agricultural landscapes dominated by paddy fields provided continuous usable habitats

收稿日期：2025-09-12

第一作者：赵红斌，男，1971 年生，博士，副教授，研究方向为景观生态规划与修复。E-mail：550998658@qq.com

for *N. nippon*, and the probability of connectivity (PC) increased by 0.27. Construction land increased by 7.75 km² causing local habitat fragmentation and forming ecological barrier points.【Conclusion】Hotspots of *N. nippon* exhibit an overall trend of expansion. Dispersal occurs primarily along river corridors and toward low-elevation areas near towns. Land-use changes exert both positive and negative effects on habitat suitability. Accordingly, a spatial optimization strategy integrating protected area restructuring, ecological network optimization, and barrier point restoration is proposed to enhance habitat quality and promote coordinated development between *N. nippon* conservation and human settlements.

Keywords: *Nipponia nippon* habitat; habitat evolution; habitat suitability; habitat restoration

朱鹮（*Nipponia nippon*），世界濒危鸟类，属国家一级重点保护野生动物，曾是东亚地区最常见的鸟类之一。20 世纪中叶，栖息地破坏和狩猎等原因导致前苏联远东地区、日本和朝鲜半岛分布的朱鹮相继灭绝。自 1981 年朱鹮在陕西洋县重新被发现以来，中国朱鹮野外保护取得了重要成就[1]，野外种群由仅存的 7 只野生个体，增长至目前全球朱鹮种群数量 1.1 万余只，陕西朱鹮种群总数超过 7 000 只[2]；其分布面积从不足 5 km^2 扩大到 1.6 万 km^2；分布区域从洋县的一隅拓展至整个秦巴地区，并逐渐向人口密集的平川与浅山丘陵延伸。随着朱鹮分布区持续扩展，传统“就地保护”模式面临新挑战[3-4]。

一方面，气候变暖导致气温与降水格局显著改变，进而影响朱鹮适宜栖息地的空间分布格局及动态演替[5]，并可能引发生境时空迁移与质量退化；另一方面，城镇扩张与农田集约化加剧景观格局破碎化，削弱栖息地连通性[6]。基础设施建设进一步压缩繁殖与觅食空间，迫使朱鹮逃离受干扰的区域[7]。气候变化与人类活动叠加，使种群恢复与扩散面临复杂生态约束，因此栖息地适宜性评估与景观格局优化成为关键研究方向。MaxEnt 模型通过整合降水、温度、海拔及土地利用等因子，对物种潜在分布进行精准预测[8-9]；Fragstats 量化景观破碎度、异质性与连通性，以揭示景观结构变化对栖息地和种群动态的影响[10]。在此基础上，生态网络构建[11]被视为整合多尺度生态过程与景观功能的重要途径，通过识别生态源地、廊道和障碍点，构建以鸟类多样性为指标的生态安全格局，但土地利用变化所导致的生境网络退化，却始终威胁物种的持续生存[12]。

综上，本研究基于 2012—2022 年洋县与城固县朱鹮分布数据，构建以物种扩散为导向的“分布-格局-连通性”研究框架，分析热点栖息地演变趋势，重点揭示土地利用格局对栖息地适宜性的影响，进而探索城固、洋县“生态-城镇”交织区空间优化策略，促进朱鹮保护与人类活动的长远协调发展。

1 研究区概况

研究区（107°03′—108°00′E，33°02′—33°43′N）位于陕西洋县和城固县，地处汉中盆地东缘，北依秦岭，南靠巴山（图 1）。该区域属北亚热带湿润季风区，年平均气温 14.3 ℃，年降水量 843.9 mm。境内主要河流有汉江、渭水河、溢水河、酉水河、金水河、子午河等。研究区野生动植物资源丰富，涵盖陕西汉中朱鹮国家级自然保护区及其周边区域，是野生朱鹮最主要的栖息地。

2 研究方法

2.1 环境因子数据

环境因子数据来源：气候数据来自世界气候数据库（https://worldclim.org）2.1 版本 19 个气候因子；地形数据源于地理空间数据云（https://www.gscloud.cn）ASTER GDEM 数据，利用 ArcGIS 处理得出海拔、坡度和坡向 3 个地形因子；2012 年和 2022 年土地利用数据源自中国科学院资源环境科学数据中心（https://www.resdc.cn），整理为水田、旱田、林地、草地、水域、建设用地 6 类；干扰因子数据，水体与道路数据获取于 openstreetmap 网站（https://download.geofabrik.de），水田与建设用地数据源于土地利用数据，通过 ArcGIS 欧氏距离工具生成距水体距离、距道路距离、距水田距离、距建设用地距离 4 个干扰因子。

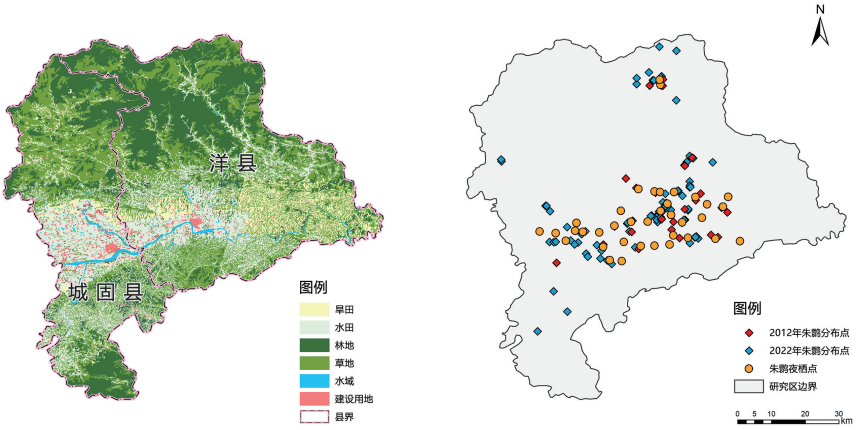


图 1　研究区概况及朱鹮分布点

将上述 27 环境因子数据按研究区范围裁剪，重采样分辨率为 30 m，坐标系为 GCS_WGS_1984。通过 SPSS 软件进行 Pearson 相关性分析，结合 MaxEnt 预建模环境因子重要性，去除自相关性绝对值大于 0.8 的变量[5]，最终筛选出 13 个环境因子，包括等温性、温度年变化范围、年均降水量、最干月降水量、降水量季节性变化、海拔、坡度、坡向、土地覆盖类型、距水体距离、距道路距离、距水田距离、距建设用地距离。

2.2　朱鹮分布数据

朱鹮分布数据来源包括：1）本课题组于 2018—2022 年秋季同步调查的夜宿地数据；2）全球生物多样性信息平台（GBIF）观测记录；3）中国观鸟记录中心（http://www.birdreport.cn）与 eBird（https://ebird.org）平台的公众观测数据（保留≤100 m 精度记录并与实地调查交叉验证）。通过剔除异常值并依据朱鹮平均觅食半径（2.821±1.488 km）[13]，在 ArcGIS 10.5 中建立 2.5 km×2.5 km 分析网格，运用空间连接工具将有效分布点关联至对应网格单元，形成分布数据集[14]。鉴于秋季朱鹮在种群结构稳定、观测条件良好及夜栖地选择等方面具有显著的时序代表性，本研究优先采用秋季调查数据，同时整合其他季节的观测记录以弥补单一时段的局限，从而保证分布信息的完整性并提升全年生境适宜性评估的准确性。最终获得 232 个朱鹮分布点（图 1）。

2.3　多模型耦合分析

2.3.1　物种分布分析

基于 MaxEnt 模型整合朱鹮分布点（232 个）与经筛选后环境因子数据[15]，设置正则化参数抑制过拟合，采用 Bootstrap 法随机划分 75%训练集与 25%验证集[16]，执行 1 000 次迭代与 10 次重复实验。得到 0~1 的存在概率估计值，预测结果以逻辑（logistic）输出。模型验证显示训练集 AUC 达 0.963±0.015，验证集 AUC 为 0.921±0.023，证实预测精度可靠。根据 Maxent 模型模拟结果，通过 ArcGIS 的自然间断点法分别对结果进行重分类，将朱鹮存在概率值划分为 5 个等级：0~0.1 冷点生境；0.1~0.2 次冷点生境；0.2~0.5 中等生境；0.5~0.7 次热点生境；0.7~1.0 热点生境[8-9]。

2.3.2　土地利用演变与景观格局分析

基于 Maxent 模型分析结果，以中等生境及以上区域为基础，叠加分析 2012—2022 年朱鹮栖息地土地利用变化，揭示农业生产、城镇扩张与朱鹮种群增长的关联规律[17]。通过 Fragstats 4.2 计算斑块尺度指标（CA、PLAND、NP、PD、LPI、LSI、MPS、IJI 8 项）与景观尺度指标（CONTAG、SPLIT、SHDI、SHEI 4 项），量化栖息地破碎化与多样性特征[18]。

2.3.3　景观连接度分析

基于以上结果，结合专家建议，使用 Conefor 2.6 软件计算连接度指数，以 dn 值（dN=0.3dIIC+0.6dPC+0.1BC）对生态源地进行重要性分级[19]；然后依托 Circuitscape 模型[20]，依据朱鹮生境偏好设定土地利用类型阻力系数[9]，水田、林地、滩地、草地、旱田、深水水体、其他用地和建设用地阻力系数分别设为 1、3、5、40、80、400、800、1 000。道路用地阻力系数按等级分别设为 100、400、800[6]。结合环境因子（海拔、降水）生成阻力面，模拟朱鹮扩散路径与电流密度分布，

识别生态廊道与障碍点[21]。

3 结果与分析

3.1 朱鹮栖息地扩散的演变特征

由图 2 与表 1 可知，热点生境面积增加 207.34 km^2，占比增加 3.9%、次热点生境面积增加 225.16 km^2，占比增加 4.2%，中等生境面积增加 156.74 km^2，占比增加 2.9%，非冷点生境面积共增加 589.24 km^2，占总面积比值由 14.6%增加到 25.6%。上述变化表明，近 10 年增加的种群扩散呈现 4 个特征：1）核心扩展区：洋州街办周边 15 km 半径范围；2）水系廊道扩展区：沿汉江、溢水河及党水河形成连续条带；3）外围扩散区：城固县的热点生境分布也有较大扩张，向建成区外围农田湿地渗透；4）海拔梯度：海拔>800 m 区域生境适生率下降 37%，72%的新增热点位于海拔小于 300 m 区域，而海拔大于 600 m 区域热点面积缩减 64%。朱鹮栖息地高海拔热点、次热点生境集中分布于在洋县的华阳镇、八里关镇、茅坪镇周边区域。

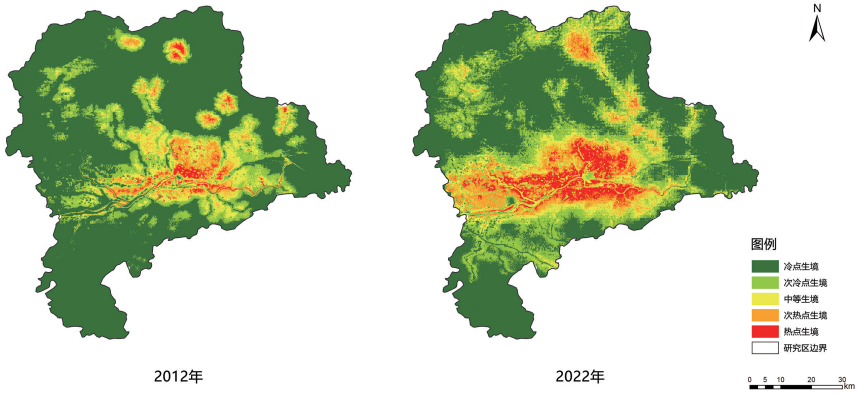


图 2 2012 年、2022 年洋县-城固县地区朱鹮热点、次热点栖息地分布

表 1 冷-热点生境面积、比例构成

适宜性等级	2012 年面积/km^2	2012 年占比/%	2022 年面积/km^2	2022 年占比/%	占比增幅/%
热点生境	82.31	1.5	289.65	5.4	3.9
次热点生境	224.90	4.2	450.06	8.4	4.2
中等生境	475.86	8.9	632.60	11.8	2.9
次冷点生境	849.72	15.9	1 290.61	24.1	8.2
冷点生境	3 719.33	69.5	2 689.20	50.3	-19.2
合计	5 352.11	100	5 352.11	100	

3.2 朱鹮栖息地景观格局的演变特征

3.2.1 生态源地

斑块内部具备高连通性、生态服务功能和生境质量的区域已成为朱鹮的重要生态源地（表 2）。2012—2022 年，朱鹮栖息地巨型斑块（>10 km^2）数量由 1 块增至 3 块，最大斑块指数（LPI）提升 12.7%，聚合度（COHESION）由 68 升至 82。表明斑块规模扩大、整体景观连接性增强。新形成的巨型斑块核心区主要位于戚氏镇后村、纸坊镇文同村和磨子桥镇金土村，这些区域已成为种群活动最为密集、栖息稳定性最高的生态核心。生态源地内部稳定的生态系统和多样化的景观类型为城乡间生态流动提供了核心支撑点，其中一级生态源地集中于谢村镇五丰村、雷草沟水库和磨子桥镇金土村；二级源地分布于黄家营菜坝村、黄安镇闫沟河水库及槐树关镇石门水库。相比之下，城固县高等级生态源地数量偏少，以三、四级源地为主，反映出城乡空间格局差异对生态源地质量与数量的影响。

表 2 朱鹮栖息地生态源地重要性等级

生态源地级别	连通指数 dN	源地数量	源地面积/km^2	核心区占比/%	源地重要性
一级源地	≥35	6	129.74	49.9	最高
二级源地	25~34	8	52.13	20.1	高
三级源地	15~24	16	38.49	14.8	中等
四级源地	<15	51	39.43	15.2	低

3.2.2　生态廊道

通过朱鹮扩散模式分析，本研究初步识别出151 条朱鹮扩散迁徙的生态廊道（表 3）。城固与洋县地区生态廊道分布存在明显差异：城固廊道密集而洋县相对稀疏，此格局主要源于洋县朱鹮栖息地完整性高、景观连通性强，而城固栖息地斑块分散，维系源地间联系所需的生态廊道数量增多且长度较长。洋州街办西部的戚氏镇、谢村镇，以及东部的龙亭镇、槐树关镇区域生态连通性较高，其生态源地主要由大规模连续斑块构成，因此生态廊道建设对提升连通性的作用区域相对有限。对于连接较为分散的中小型斑块的廊道，仍需充分重视。城固县平原区由于城镇建成区和密集道路、铁路的存在，廊道呈现密集且短小的特征，增加了朱鹮迁移阻力。因此，后续应着重通过低等级源地之间的廊道功能，构建城乡间的多层次生态廊道体系，确保朱鹮能够在城乡交错区中持续扩散。

表 3　朱鹮栖息地生态廊道重要性等级

廊道级别	整体连通性指数 IIC	数量	数量占比/%	总长度/km	功能特征
一级廊道	≥0.35	29	19.2	21.67	跨县市迁徙主干道
二级廊道	0.20~0.34	10	6.6	39.19	县域连接通道
三级廊道	0.10~0.19	35	23.2	89.72	乡镇级踏石廊道
四级廊道	<0.10	77	51.0	115.47	局地补充通道

3.3　朱鹮栖息地土地利用类型变化

2012—2022 年，朱鹮栖息地土地利用类型变化主要表现为建设用地扩张，林地面积有所减少，林地、耕地和草地转换主要发生在建设用地周边。

耕地生境面积增加 57.66 km^2，其中水田生境面积达 347.92 km^2，连片水田（斑块面积 > 5 hm^2）比例由 38%提升至 46%。可能连通性指数（PC）提高 0.27，食物来源丰富且高连通性的水田成为朱鹮扩张的核心区域，周边分布大量朱鹮夜栖和营巢点。

林地生境面积有所降低。林地斑块密度（PD）从 18.6 降至 12.4 个/km^2，平均斑块面积缩减 12%。营巢和夜栖是朱鹮行为活动的重要组成部分，其对高大树种及优质植被群落具有依赖性。据近 10 年调查结果，朱鹮夜栖、营巢地选择已由过去集中于马尾松（*Pinus massoniana*）、油松（*Pinus tabuliformis*）及栓皮栎（*Quercus variabilis*），扩展为更为多样的树种。这种多样化选择总体上有利于朱鹮的种群稳定与扩散。

水域生境面积增加 1.76 km^2，破碎化指数（FRAC）下降 0.15，面积增幅有限，但朱鹮作为涉禽，其栖息地的河流生境数量和质量提升对其发展至关重要。朱鹮的觅食地较为集中在汉江溢水河和傥水河支流区域，该区域水域面积的扩展有效保障了朱鹮游荡期和越冬期的觅食需求。

草地生境面积增加 1.96 km^2。聚集度（AI）提升 12%，但高适宜度草地（植被盖度>70%）占新增面积的 37%。草地为朱鹮提供昆虫、蚯蚓及小型两栖动物等食物，并具备隐蔽和防护功能。聚合度较高的草地是构成朱鹮热点、次热点栖息地的次要组成部分。

建设用地面积增加了 7.75 km^2。同时建设用地旁的河流湿地易受干扰，导致生境质量下降、分布不均、破碎化严重且连通性不足，从而限制朱鹮的觅食与栖息。谢村镇、磨子桥镇及洋州街办邻汉江段障碍点分布尤为集中。

热点降低区面积共 380.62 km^2（表 4），其中林地生境占比最高，主要分布于高海拔地区，该区域景观格局较稳定。热点下降主要是因为朱鹮向食物更丰富的低海拔地区迁徙，而非生态质量恶化。城镇周边热点降低区中，耕地向建设用地转化 5.60 km^2。林地向耕地和草地转化 9.52 km^2。建设用地扩张导致可能连通指数（PC）下降 0.23，景观破碎化程度增加，障碍点主要存在于洋州街办、柳林镇、博望街道办周边的建设用地。以城镇建设用地、道路交通用地、居民菜地为主的高阻力景观基质，成为制约朱鹮生境连通与扩散的主要障碍区域。

4　“生态-城镇”交织区空间优化策略

4.1　重构保护区功能，应对空间错位

朱鹮热点生境呈扩张趋势、其扩散方向呈现“沿水系廊道渗透、向低海拔人口密集区迁移”特征。其范围与人口密集区、基本农田区及汉江

表 4 2012—2022 年热点降低区域土地利用转移矩阵 km^2

项目	耕地	林地	草地	水域	建设用地	总计
耕地	86. 22	6. 11	9. 26	1. 23	5. 60	108. 42
林地	5. 82	166. 91	3. 70	0. 18	0. 06	176. 67
草地	8. 73	4. 52	75. 04	0. 25	0. 44	88. 98
水域	0. 57	0. 32	0. 34	3. 36	0. 04	4. 63
建设用地	0. 17	0. 01	0. 06	0. 001	1. 68	1. 92
总计	101. 51	177. 87	88. 40	5. 02	7. 82	380. 62

湿地高度重合。具体表现为：1）西核心区已基本退出朱鹮热点生境范围；2）现存热、次热点生境整体南移至实验区，集中于洋县城区、周边镇域及汉江-溢水河-党水河复合廊道；3）以洋州街办为核心的新兴热点正沿东西轴向扩展。朱鹮国家级自然保护区现行区划与实际分布范围出现显著空间错位（图 3）。因此，应对保护区功能进行重构，具体策略包括：将保护区核心区与缓冲区向新的热点分布区南移与延伸，使其范围与朱鹮的实际活动范围相匹配。同时，通过功能创新，将保护区外围及新纳入的区域划定为实验区，并在此推广有机果园与生态稻田等方式，将生产空间转变为栖息地，实现“生产-生态”功能的融合。此外，还需建立动态监测与调整机制，利用高精度数据定期评估栖息地分布动态，以适应朱鹮种群的持续扩散。

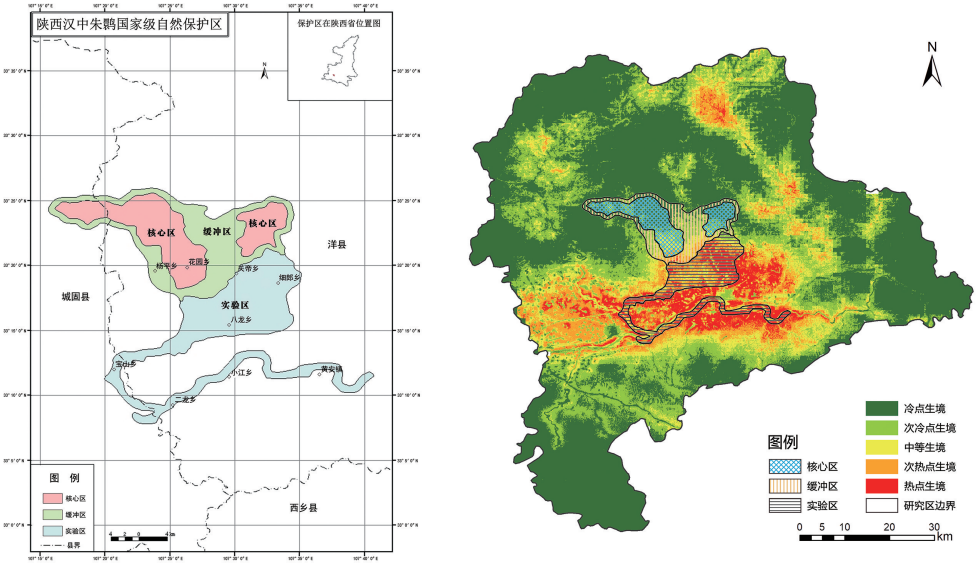


图 3 2022 年洋县-城固县地区朱鹮栖息地热点分布与保护区区划耦合

4.2 优化城乡生态网络，促进种群扩散

本研究识别出 81 个生态源地和 151 条生态廊道，其中一、二级源地与廊道是生态保护重点。源地保护应遵循规模阈值效应，优先保护和培育大型斑块，通过中大斑块聚合及小斑块归并提升整体面积与连通性，形成高等级生态源地，保障物种多样性。大型斑块应优化土地利用与性质整合，减少破碎化：在城市规划中，应避免道路、铁路等基础设施切割这些核心区域，并可通过湿地恢复、植被重建等措施提升其生态容量。廊道保护方面，强化廊道网络连通性，建立廊道监测与修复机制。优先保障跨县市迁徙主干道的完整性，防止交通与能源设施阻断关键连接。在城固县等破碎化区域，应强化中小斑块的网络化连接，提升核心栖息地间的可达性，促进朱鹮扩散与迁徙，形成高效稳定的生态网络体系。

4.3 修复生态障碍点，缓解人鸟冲突

土地利用变化导致的生态障碍点是制约朱鹮种群扩散的重要因素。通过低成本高效益的障碍点修复，可以显著提升栖息地连通性。其策略如下：1）对于建设用地周边障碍点，建立三级生态屏障体系：毗邻建设区设生态隔离带，过渡带布局生产型绿地（如生态果园、观光农田），外围 50~100 m 布设本土乔灌草复层群落，以降低直接干扰。2）对于河流与湿地障碍点，强化水体连通性：通过污染防治和河道疏通构建河流生

境网络；营造深潭-浅滩-沼泽梯度生境，提高浅水区（水深 10~15 cm）占比；自然化驳岸曲度控制在 1.3~1.5，并利用生态步石或廊道连接河两侧中小型斑块，形成多样化觅食地[22]。（3）对于林地障碍点，修复以乔草型群落为主，保留 25 m 以上栓皮栎、槲栎、马尾松等常绿乔木，群落郁闭度为 0.5~0.7，灌木覆盖率低于 30%，林下栽植混合草甸（高度 0.3~0.5 m），林窗比例保持 15%~20%。（4）对于水田障碍点，重点针对海拔 600 m 以上区域，推行“冬季淹水 20 cm+夏季休耕”制度；同时优化水田格局和微环境，清除过多杂草、投放泥鳅，并在朱鹮活动区补植树种，以提升觅食与栖息条件，以提升水田生境质量。

5　结论

本研究基于多元模型分析，揭示了陕西洋县和城固县朱鹮分布的时空演变特征及驱动机制。近 10 年，朱鹮热点生境面积持续扩张，热点与次热点生境占比由 5.7% 增至 13.8%，空间扩散呈“沿水系廊道延伸、向低海拔城镇区渗透”的趋势。土地利用格局变化是影响朱鹮栖息地适宜性与连通性的关键因素，不同生境类型通过空间功能协同共同塑造了生境网络结构。其中，水田与河流湿地构成低阻力扩散基质，提升资源可达性并支撑热点生境外延扩展；而城镇建设用地扩张提高景观阻力，促使生境破碎化并削弱整体连通性。基于此提出以提升景观连通性与生态网络韧性为核心的空间优化策略，重点通过重构保护区功能定位、优化生态网络结构和修复关键生态障碍点，推动朱鹮保护与区域发展的动态平衡，为在快速城市化背景下实现人类活动与濒危鸟类栖息环境的协同共生提供科学依据和实践指导。

参考文献

[1]刘荫增.朱鹮在秦岭的重新发现[J].动物学报,1981,27(3):273.

[2]陕西省林业局.全球朱鹮种群数量和栖息地面积双增长[EB/OL].(2023-11-08)[2025-09-12].https://lyj.shaanxi.gov.cn/zwxx/mtbd/202311/t20231108_2306305.html.

[3]颜文博,张海斌,张军虎,等.陕西朱鹮国家级自然保护区外围朱鹮扩散种群弃巢的生境评价[J].四川动物,2014,33(5):758-761.

[4]庆保平,叶元兴,张亚祖,等.陕南地区野生朱鹮个体死亡原因分析[J].野生动物学报,2022,43(1):93-98.

[5]夏卓异,苏杰,尹海伟,等.气候变化背景下中国朱鹮适宜生境时空格局[J].应用生态学报,2023,34(6):1467-1473.

[6]王春晓,何建华,刘殿锋,等.土地利用变化对鸟类栖息地连通性的影响:以鄂州市为例[J].生态学报,2022,42(10):4197-4208.

[7]张慧,高吉喜,马孟枭,等.基于 MaxEnt 模型的道路对朱鹮繁殖地的影响[J].应用生态学报,2017,28(4):1352-1359.

[8]李晖,刘彦,黄伊琳,等.基于 Maxent 模型的深圳湾鸟类热点生境判别及修复研究[J].中国园林,2022,38(12):14-19.

[9]陈枫楠,陈红宇,洪倩,等.基于 MaxEnt 模型的秦岭南部朱鹮栖息地适宜性评价[J].北京师范大学学报(自然科学版),2024,60(4):491-498.

[10]徐逸飞,冯一凡,杨金明,等.基于 Arcgis 和 Fragstats 的大沽河河口候鸟栖息地生境格局分析与优化[J].中国城市林业,2022,20(6):48-56.

[11]张瀚月,张冬梅,张浪,等.基于鸟类多样性保护的上海中心城区生态网络构建研究[J].园林,2024,41(4):42-50.

[12]吴未,张敏,许丽萍,等.土地利用变化对生境网络的影响:以苏锡常地区白鹭为例[J].生态学报,2015,35(14):4897-4906.

[13]刘冬平,丁长青,楚国忠.朱鹮繁殖期的活动区和栖息地利用[J].动物学报,2003(6):755-763.

[14]雷军成,徐海根,吴军,等.基于 IPCC AR5 的我国常绿阔叶林潜在适宜生境变化分析[J].生态与农村环境学报,2015,31(1):69-76.

[15]JOSE V S, NAMEER P O. The expanding distribution of the Indian Peafowl (*Pavo cristatus*) as an indicator of changing climate in Kerala, southern India: a modelling study using MaxEnt[J].Ecological Indicators,2020,110:105930.

[16]PHILLIPS S J,DUDÍK M.Modeling of species distributions with maxent:new extensions and a comprehensive evaluation[J].Ecography,2008,31(2):161-175.

[17]王海军,任经纬,张彬,等.利用广义加性模型解析长江中游城市群城镇用地扩展驱动力[J].长江流域资源与环境,2021,30(1):32-43.

[18]高祖桥,白永平,周亮,等.宁夏沿黄城市带湿地景观格局演变特征及驱动力[J].应用生态学报,2020,31(10):3499-3508.

[19]GAO C, HUANG C, WANG J B, et al. Modelling dynamic hydrological connectivity in thezoigê area (China) based on multi-temporal surface water observation[J]. Remote Sensing, 2021,14(1):145.

[20]李权荃,金晓斌,张晓琳,等.基于景观生态学原理的生态网络构建方法比较与评价[J].生态学报,2023,43(4):1461-1473.

[21]刘瑞雪,林小龙,李云.基于 MSPA-生境质量评估和电路理论的城市绿色基础设施网络优化研究:以深圳市为例[J].中国园林,2024,40(10):68-74.

[22]李相逸,崔冬瑾,马超,等.基于鸟类生境修复与营造的湿地生态设计策略[J].中国园林,2020,36(5):133-138.