贺坤,唐运泽,卯响,等.基于InVEST-MCR模型的奉贤新城鸟类生态廊道识别与优化[J].华中农业大学学报,2026,45(1):52-63.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.01.005

# 基于InVEST-MCR模型的奉贤新城鸟类生态廊道识别与优化

贺坤[1,2],唐运泽[1],卯响[1],张德顺[2],李杰[1]

1.上海应用技术大学城市建设与生态技术学部,上海 201400; 2.同济大学建筑与城市规划学院,上海 200092

**摘要** 生态廊道识别与构建是维系生态系统完整性与促进物种迁移的重要手段,为了构建科学、可实施的鸟类生态廊道识别与优化框架,以快速城市化的上海市奉贤新城为研究区域,选取麻雀(*Passer montanus*)、乌鸫(*Turdus merula*)、黑水鸡(*Gallinula chloropus*)、牛背鹭(*Bubulcus coromandus*)4种常见鸟类为焦点物种,综合运用生态系统服务和权衡的综合评估模型(InVEST)与最小累积阻力(MCR)模型模拟区域生态廊道格局,并结合实地调查数据建立评价指标体系进行验证。结果显示:4种鸟类的符合高质量生境标准的斑块面积总和(即生态源地面积)分别为18.2、19.3、10.4和13.5 $km^2$,主要分布于林地、灌草地、耕地及河塘;共识别出66条生态廊道,奉贤新城核心区廊道数量较少,断裂风险高、连接度弱,而外围水域、农田与林地密集区形成了相对完整的廊道网络;优化后4种鸟类廊道控制点偏离度分别降低0.25、0.15、0.16和0.27,生态连通性显著提升。

**关键词** 生态廊道; InVEST模型; MCR模型; 城市常见鸟类; 城市规划

**中图分类号** X171.1;Q958 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)01-0052-12

城乡绿化融合发展是新时代提升城乡建设品质、改善生态环境、增进民生福祉、实现人与自然和谐共生的重要战略[1]。鸟类作为生态系统中不可或缺的组成部分,不仅是城市生态系统健康状况的重要指示器,还在维持生态系统功能与人类福祉方面发挥关键作用[2-3]。鸟类多样性对于支撑种群生态功能、保障生态系统服务的持续供给具有核心意义[4]。然而,随着城市化进程的加速,自然生境破碎化问题日益突出[5],导致鸟类栖息地连通性下降、迁徙受阻,从而威胁鸟类多样性与城市生态系统稳定性,对城市生态安全构成潜在风险[6-7]。

城市生态廊道的建设被普遍认为是应对生境破碎化的有效途径。通过恢复景观连通性、弥合破碎生境间的隔离,生态廊道不仅有助于维持城市生态系统的稳定性与安全性,还能提升城市内部的景观结构完整度与栖息地质量,从而增强生态系统服务供给能力[8-9]。因此,将生态廊道纳入城市总体规划,是缓解城市扩张对鸟类生境不利影响、促进生物多样性保护与人地和谐共生的关键路径。

当前城市鸟类廊道规划主要采用3类方法:图论网络法、最小累积阻力(minimum cumulative resistance,MCR)模型和电路理论法。图论网络方法将栖息地斑块视为节点,以迁徙路径为连接边,构建简化的鸟类运动模型[10];MCR模型基于能量最小化原理模拟物种在景观中的最优迁徙路径[11];电路理论则将研究区域视作导电表面,通过计算电流的最优流动路径来识别潜在生态通道[12]。这些方法在理论上各具优势,但在应用中仍存在不足:图论网络法难以量化连续景观阻力的非线性影响[13];MCR模型通常忽略生境质量的动态变化;电路理论参数依赖性较强,难以精确刻画物种间的行为差异。为弥补单一模型的局限性,近年来出现了将生态系统服务模型与MCR模型相结合的综合方法,用于在识别生态源地的同时优化生态廊道结构[14-16]。

InVEST模型(integrated valuation of ecosystem services and trade-offs,生态系统服务和权衡的综合评估模型)是一套基于空间的生态系统服务评估工具,可通过对土地利用、生态系统特征及威胁因子的

收稿日期:2025-09-14
基金项目:国家自然科学基金项目(32071824)
贺坤,E-mail:hekun@sit.edu.cn
通信作者:李杰,E-mail:jieli@sit.edu.cn;张德顺,E-mail:zds@tongji.edu.cn

综合分析，定量评估生境质量与生态系统功能分布，该模型能够识别高质量生态源地，为后续廊道构建提供科学基础。MCR 模型在此基础上利用阻力面原理，模拟物种在不同景观类型中的最优迁移路径，实现生态源地间的空间连接。二者结合既可反映区域生态系统服务供给格局，又能揭示廊道的潜在连通性，是当前生态网络规划研究中的有效路径。同时，已有研究指出，多数模型研究缺乏实地验证环节，影响廊道识别结果的准确性和规划可操作性[17-18]。

奉贤新城作为上海市重点打造的多功能独立节点城市，其快速城市化扩张与鸟类栖息地保护之间的矛盾尤为突出，因而成为探讨城市生态网络优化路径的理想研究区域。本研究以奉贤新城土地利用数据为基础，选取麻雀（*Passer montanus*）、乌鸫（*Turdus merula*）、黑水鸡（*Gallinula chloropus*）、牛背鹭（*Bubulcus coromandus*）4 种常见鸟类为焦点物种，综合运用 InVEST 模型识别生态源地，利用 MCR 模型模拟鸟类潜在生态廊道，并结合实地鸟类观测数据进行结果验证与优化，旨在构建科学、可实施的鸟类生态廊道识别与优化框架，为奉贤新城及类似快速城市化地区的生态网络建设与生物多样性保护提供决策参考。

## 1　材料与方法

### 1.1　研究区域

研究区域位于上海市奉贤区，该区处于长江三角洲东南缘，北邻黄浦江、南临杭州湾，是长三角冲积平原的重要组成部分。该区域具有典型的亚热带季风气候特征，主导风向为东南风，气候温和、四季分明、光照充足。奉贤新城作为上海市重点规划建设的“五大新城”之一，也是上海南部典型的快速城市化扩张区域，其规划范围北起黄浦江畔，南至平庄公路，东抵浦星公路，西达浦卫公路，总规划面积约 184.3 km$^2$（图 1）。研究区内水系发达、水网密布，与农田、林地、灌草地等多种生态系统交织形成复合生态景观格局，在快速城市扩张背景下，既是建设用地集聚和功能拓展的前沿区域，也是维系区域鸟类多样性和生态连通性的重要空间载体。

### 1.2　数据来源与处理

1）遥感解译。从中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境科学数据中心下载奉贤新城 0.6 m 分辨率遥感影像，采用监督分类与人工目视解译相结合的方法，获取研究区土地利用/覆被数据（图 2）。根据研究需要，将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水体、道路及建筑用地 6 类，为后续生境质量评估与阻力面构建提供基础数据。

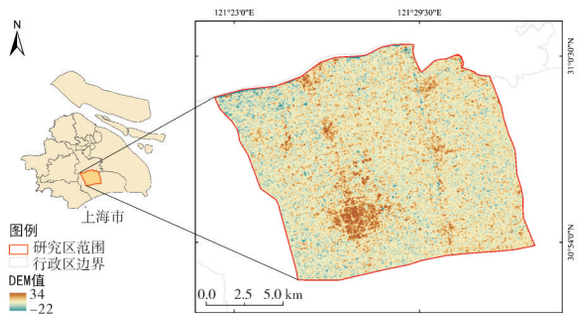



图 1　研究区域

Fig.1　Study location and overview

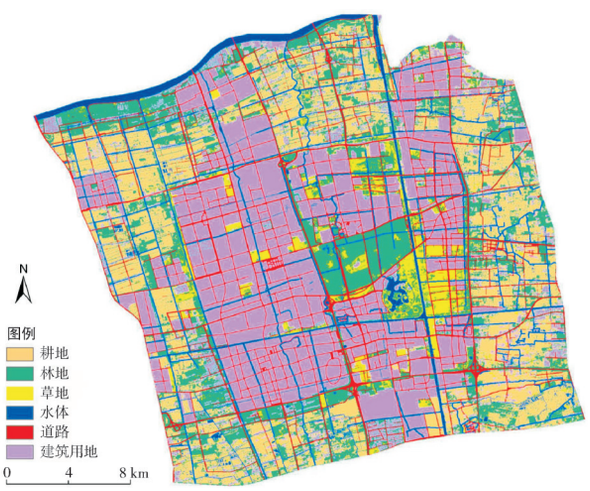



图 2　研究区域的土地利用情况

Fig.2　Classification of land use in the study area

2）野外调查。本研究共开展 2 个阶段的鸟类野外调查，分别服务于生境适宜性量化与模型结果验证与修正 2 类目的。第一阶段旨在量化不同生境条件下的鸟类生境适宜性。采用样点法和样线法结合的方式记录 4 类典型生境（农田、水域、林地、灌草地）中目标鸟类的数量与出现频次，用于构建鸟类-生境对应关系。第二阶段基于 InVEST-MCR 模型模拟结果开展验证性调查，重点检验模拟生态廊道的合理性与空间偏离程度。调查方法为在野外沿模拟廊道有目的地搜索目标鸟类，将观测到目标鸟类时的观测点进行定位标注。

### 1.3　技术路线

综合运用 InVEST 模型与 MCR 模型，构建“生境质量识别-综合阻力面构建-最小阻力廊道提取-

实地验证与修正”的技术路径，整体技术路线见图3。

首先，依据生态重要性、生物代表性及数据可获得性等原则，选取麻雀、乌鸫、黑水鸡和牛背鹭4种常见鸟类作为目标物种。其次，采用样线法与样点法相结合的方式记录不同生境下的鸟类数量和空间分布，每个季节对4种常见鸟类开展1次系统调查，调查范围涵盖城市建成区、农田、林地、湿地等典型栖息地类型。样线调查中记录样线两侧鸟类的种类和数量，单侧宽度控制在25 m；样点调查则统计样点周边25 m范围内的鸟类活动情况。对于鸟类坐标的记录尽量靠近其实际位置，如因环境条件限制无法靠近，则记录可到达的最近位置。

基于InVEST模型生境质量模块，识别具有较高生境质量和较低退化程度的潜在生态源地；再利用MCR模型构建综合阻力面，模拟目标物种在源地之间的最小累积阻力路径，从而提取潜在生态廊道。最后，通过网格化实地观测对模拟廊道进行验证，并依据鸟类实际生境偏好对廊道控制点进行修正与优化，形成最终的生态廊道布局。

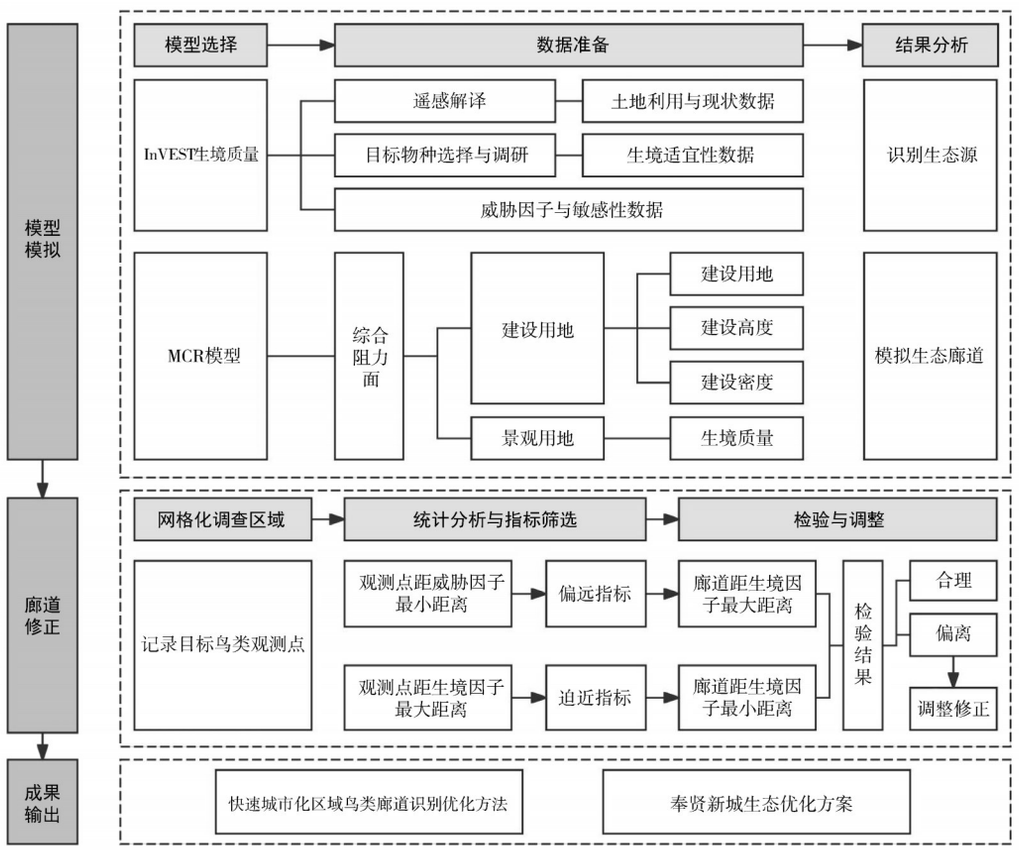



**图3 技术路线图**

Fig.3 Technology roadmap

### 1.4 焦点鸟类物种选取

根据奉贤区绿化和市容管理局提供的《奉贤区生物多样性本底报告(2021—2023)》，梳理研究区域内常见鸟类，选择麻雀、乌鸫、黑水鸡和牛背鹭作为目标物种。上述4种鸟类在上海城区与郊区均较为常见，其生境类型基本涵盖了研究区核心生境(林地、灌草地、水域、农田)。同时，4种鸟类在食性(杂食、虫食、植食)、觅食空间(地面、灌丛、水域、开阔地)及繁殖需求(树巢、灌丛巢、水面浮巢)方面存在差异，生态位互补明显。麻雀为典型城市适应性物种，隶属地面-灌丛觅食功能群，生态位宽，主要取食谷物、草籽和昆虫，广泛分布于居民区、公园、农田等各类人工生境，对栖息地结构要求较低，代表了城市环境中杂食性、高适应性鸟类的特征[19]。乌鸫属于林缘-灌丛功能群，为杂食性鸟类，主要摄食昆虫、蚯蚓和果实，其繁殖依赖乔木和灌丛结构，常见于城市绿地、园林和疏林地，对林地面积与连通性较为敏感，反映了城市林地生态系统的典型需求[20]。黑水鸡是水域-沼泽功能群代表，栖息于芦苇荡、池塘及湿地边缘，以水生昆虫、软体动物和植物嫩芽为食，

对水域连通性与挺水植被覆盖度具有较高依赖，是城市湿地生态系统健康状况的敏感指示物种[21]。牛背鹭隶属于湿地-农田交错带功能群，其觅食行为常与牛群等大型哺乳动物或农业机械耕作活动相关，以昆虫和小型水生动物为食，营巢偏好农田与水域边缘林地，体现了农业景观与自然湿地交错带的生态功能[22]。因此，选取上述4种鸟类作为目标物种，既能够综合反映奉贤新城多类型生境格局特征，也为鸟类生态廊道规划提供了兼顾觅食、繁殖与迁移需求的生态学依据。

### 1.5　基于InVEST模型评估生境质量

1）生境样点调查。2022年5月至2023年8月，对奉贤新城农田、林地、灌草地和水域4类生境开展鸟类样点调查。依据《奉贤区生物多样性本底报告（2021—2023）》的相关信息，选择以香樟、女贞、水杉、落羽杉等为主要组成的混交林地作为林地调查样点；以大量配置黄杨、红叶石楠、冬青卫矛、绣球等灌木与草坪组合的公园绿地作为灌草地调查样点。为准确反映相对自然的农田生境对鸟类的适宜性，选择远离城市建成区、受人为干扰较小的郊区耕地作为耕地样点；水域样点则优先选取水质较好、环境较为安静且食物资源较丰富的水域环境。

在4类生境中各选取1个样地进行重复观测，调查时间安排在无阴雨天气的清晨06:00—09:00，通过肉眼及望远镜观测记录4种常见鸟类的数量及活动情况，共累计获得20组样本数据，用于后续生境适宜性分析。

2）鸟类生境适宜性量化。首先汇总4类生境中各物种样本数量，计算每种鸟类的总样本数；然后分别计算该物种在不同生境中的样本数占其总样本数的比例，并对比例进行归一化处理，得到物种-生境组合的生境适宜性指数（表1）。

**表1　常见鸟类的生境适宜性**

**Table 1　Habitat suitability for common bird species**

| 种类 Species | 耕地 Cultivated land | | 林地 Woodland | | 灌草地 Shrub-grassland | | 水体 Water body | | 总样本/只 Total samples |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 样本数/只 Samples | 生境适宜性 Suitability | 样本数/只 Samples | 生境适宜性 Suitability | 样本数/只 Samples | 生境适宜性 Suitability | 样本数/只 Samples | 生境适宜性 Suitability | |
| 麻雀 Sparrow | 103 | 0.26 | 298 | 0.85 | 176 | 0.48 | 22 | 0.02 | 599 |
| 乌鶇 Chinese blackbird | 99 | 0.35 | 234 | 0.89 | 93 | 0.32 | 25 | 0.05 | 451 |
| 黑水鸡 Common moorhen | 30 | 0.12 | 98 | 0.50 | 9 | 0.00 | 187 | 1.00 | 324 |
| 牛背鹭 Cattle egret | 100 | 0.48 | 85 | 0.40 | 15 | 0.03 | 142 | 0.71 | 342 |

3）生境质量与生境退化分析。生态源地是物种扩散与种群维持的核心区域，应具备较高的生境质量和较低的退化程度。InVEST模型中Habitat Quality模块是评估栖息地质量的常用工具之一[23]。高生境质量区域往往植被结构完整，可为鸟类提供安全的栖息和觅食环境；而低生境质量区域则常因植被简化或人为干扰导致栖息地破碎化，增加鸟类迁移过程中的暴露风险[24]。本研究以土地利用数据为基础，将农田、林地、灌草地和水域视为目标鸟类的生境因子，将其他用地类型视为威胁因子，利用InVEST 3.8.0中的Habitat Quality模块计算生境质量与生境退化指数。核心计算包括：

①$i_{rxy}$：威胁源$r$对生境$x$中网格$y$的影响。

$$i_{rxy}=\exp\left(-\left(\frac{2.99}{d_{r\max}}\right)d_{xy}\right)\ \text{if exponential}$$

其中，$d_{xy}$表示网格$x$和$y$之间的距离，$d_{r\max}$表示威胁源的最大行动距离。

②$D_{xj}$：生境类型$j$中网格$x$的总威胁等级。

$$D_{xj}=\sum_{r=1}^{R}\sum_{y=1}^{Y_r}\left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^{R}w_r}\right)r_y i_{rxy}\beta_x S_{jr}$$

其中，$y$表示$r$威胁网格图上的所有网格，$Y_r$表示$r$威胁网格图上的一组网格，$w_r$表示威胁源$r$的权重，$\beta_x$表示网格$x$接近的水平，$S_{jr}$表示每个栖息地类型$j$对威胁源的敏感性。

③$Q_{xj}$：生境类型$j$中网格$x$的生境质量。

$$Q_{xj}=H_j\left(1-\left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z+k^z}\right)\right)$$

其中，$z$和$k$为比例常数，$H_j$为生境类型的生境适宜性。

执行该模型需要输入基本数据：（1）土地利用栅格数据（图1）；（2）威胁因子最大影响距离与权重（表2）；（3）用地类型对威胁因子的敏感性（表3）；（4）半

饱和参数$k$为默认值。

在InVEST模型输出结果基础上，采用自然间断点法将生境质量划分为5级，用于后续生态源地识别。

4)基于生境质量识别生态源地。使用InVEST模型，综合生境质量与生境退化指数，识别对目标物种具有关键意义的生态源地。分别从生境质量图中选取质量等级最高的区域，并从生境退化图中选取退化程度最低的区域，将上述区域内的农田、林地、灌草地和水域视为潜在生态源。研究认为，面积在10～35 $hm^2$的空间连续城市绿地即可维持城市内大部分鸟类的生境需求[25]，这一标准已被多个鸟类生态研究采纳[26-28]。据此，本研究将面积超过10 $hm^2$的潜在生态源划定为鸟类生态源区，最终得到的生态源地面积是所有符合生境质量和面积标准的斑块的面积总和。

**表2 威胁因子最大影响距离与权重**

**Table 2 Maximum impact distance and weights of threat factors**

| 威胁因子 Threat factor | 最大影响距离/km Max impact distance | 权重 Weight | 衰减类型 Decay type |
|---|---|---|---|
| 工业用地 Industrial land | 8 | 0.9 | Exponential |
| 城镇建筑 Urban building | 8 | 0.8 | Exponential |
| 乡村居民点 Rural settlement | 5 | 0.5 | Exponential |
| 农业大棚 Agricultural greenhouse | 2 | 0.3 | Exponential |
| 公路 Road | 7 | 0.9 | Linear |

**表3 生境对威胁因子的敏感性**

**Table 3 Sensitivity of habitat to threat factors**

| 地类 Land type | 生境适宜性 Habitat suitability | | | | 威胁因子 Threat factors | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 麻雀 Sparrow | 乌鸫 Chinese blackbird | 黑水鸡 Common moorhen | 牛背鹭 Cattle egret | 工业用地 Industrial land | 城镇建筑 Urban building | 农业大棚 Agricultural greenhouse | 公路 Road | 乡村居民点 Rural settlement |
| 农田 Cultivated land | 0.41 | 0.35 | 0.12 | 0.48 | 0.6 | 0.6 | 0.1 | 0.4 | 0.6 |
| 林地 Woodland | 0.85 | 0.89 | 0.85 | 0.80 | 0.9 | 0.7 | 0.2 | 0.2 | 0.7 |
| 灌草地 Shrub-grassland | 0.48 | 0.32 | 0.00 | 0.03 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | 0.6 | 0.3 |
| 水域 Water body | 0.02 | 0.05 | 1.00 | 0.91 | 0.9 | 0.8 | 0.3 | 0.6 | 0.8 |

### 1.6 MCR模型提取生态廊道

1)综合阻力面构建。综合阻力面是模拟物种迁移过程和生态廊道通行性的关键基础，用于量化不同地貌、土地利用与人为干扰对物种运动的阻碍程度。本研究结合城市环境特点，从鸟类飞行高度、对环境干扰的回避行为及潜在危险程度等方面出发，基于土地利用/覆被数据和建筑轮廓及高度数据，选择建设用地、建筑高度、建筑密度和生境质量4个阻力要素(表4)构建综合阻力面。由于研究对象为日行性城市常见鸟类，未考虑夜间灯光干扰。

建设用地包括乡村居民点、农业大棚、公路、城镇建筑和工业用地5类二级因子，根据对鸟类迁移的干扰程度由低到高赋值为20、40、60、80、100。参考相关文献及野外观察结果，本研究将5类用地干扰排序为：乡村居民点＜农业大棚＜公路＜城镇建筑＜工业用地。

建筑密度采用自然间断点法分为5级，密度越高阻力值越大，对应赋值为20、40、60、80、100。建筑高度是影响城市鸟类飞行的重要阻力因子[29]。已有研究表明，城市林鸟通常飞行高度为20～25 m[30]，特殊情况下相对高度一般不超过115 m。因此，将建筑高度划分为5级，每升高25 m阻力提升1级，100 m及以上高度阻力值为100，对应赋值为20、40、60、80、100。

结合生境质量模拟结果，采用自然间断点法将生境质量指数分为5级[31]，质量最高一级阻力值设为20，最低一级为100，中间依次为40、60、80。4类阻力因子及赋值见表4。

依据建设用地＞建筑密度＝建筑高度＞生境质量的相对重要性排序，采用优序图法确定4个一级阻力要素的权重系数(表5)，分别为0.390、0.275、0.275和0.060。最终通过加权叠加4类阻力因子，构建研究区综合阻力面[32]。

2)生态廊道识别。生态廊道是连接生态源地的低阻力通道，可促进生物体在源地之间的迁移与扩散[33]。MCR模型因其较好的实用性与可扩展性，已广泛应用于城市规划、生态安全格局构建和鸟类生态廊道识别等领域。该模型通过计算物种从源地扩散到不同栅格单元所需克服的阻力，识别两源地间累计阻力最低的路径作为潜在生态廊道，其基本形

表 4　鸟类飞行阻力因素及阻力值

**Table 4　Bird flight resistance factors and resistance values**

| 一级阻力要素 Primary resistance factor | 权重 Weight | 二级阻力因子 Secondary resistance factor | 阻力值 Resistance value |
|---|---|---|---|
| 建设用地 Construction land | 0.390 | 乡村居民点 Rural settlement | 20 |
| | | 农业大棚 Agricultural greenhouse | 40 |
| | | 公路 Highway | 60 |
| | | 城镇建筑 Urban building | 80 |
| | | 工业用地 Industrial land | 100 |
| 建筑密度 Building density | 0.275 | 低 Low | 20 |
| | | 较低 Relatively low | 40 |
| | | 中 Medium | 60 |
| | | 较高 Relatively high | 80 |
| | | 高 High | 100 |
| 建筑高度 Building height | 0.275 | ≤25 m | 20 |
| | | 25～50 m | 40 |
| | | 50～75 m | 60 |
| | | 75～100 m | 80 |
| | | ＞100 m | 100 |
| 生境质量 Habitat quality | 0.060 | 高 High | 20 |
| | | 较高 Relatively high | 40 |
| | | 中 Medium | 60 |
| | | 较低 Relatively low | 80 |
| | | 低 Low | 100 |

表 5　优序图法矩阵图与权重值

**Table 5　Matrix diagram and weight values of analytical hierarchy process**

| | 建设用地 Construction land | 建筑高度 Building height | 建筑密度 Building density | 生境质量 Habitat quality | 权重 Weight |
|---|---|---|---|---|---|
| 建设用地 Construction land | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 0.390 |
| 建筑高度 Building height | 0 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.275 |
| 建筑密度 Building density | 0 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.275 |
| 生境质量 Habitat quality | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.060 |

式为：

$$M_{CR}=f_{min}\sum_{j=n}^{i=m}(D_{ij}\times R_i),$$

其中，$M_{CR}$表示从源$j$扩散到某个点的MCR值，$D_{ij}$为目标源$j$与其他源$i$之间的空间距离，$R_i$表示源$i$的扩散阻力系数。

基于本文“1.5”中识别的生态源地，以综合阻力面作为成本面，在ArcGIS 10.2环境下使用Cost Distance与Cost Path工具计算源地间的最小累积阻力值并提取生态廊道网络。

### 1.7　实地验证与廊道修正

为检验InVEST-MCR模型模拟生态廊道的有效性和偏离程度，本研究对模拟廊道开展系统的实地观测与修正。若在模拟廊道沿线能稳定观测到目标物种，则表明廊道具有较高生态有效性；反之，则需进一步诊断廊道是否远离关键生境或过近威胁源。

1）网格化实地观测。首先，将4种鸟类的模拟廊道进行合并，并利用ArcGIS中“要素转点”工具提取廊道控制点（即路径转折点）。廊道控制点在很大程度上决定了廊道走向，是验证与修正的关键空间单元。统计结果显示：麻雀、乌鸫、黑水鸡和牛背鹭的廊道控制点分别为703、689、681和573个。考虑到野外调查的工作量和可达性，将单日调查范围控制在1 km$^2$左右。根据廊道空间分布，将研究区域划分为122个1 km×1 km网格，并编号为G1～G122（图4），所有廊道控制点均落入这些网格单元内。

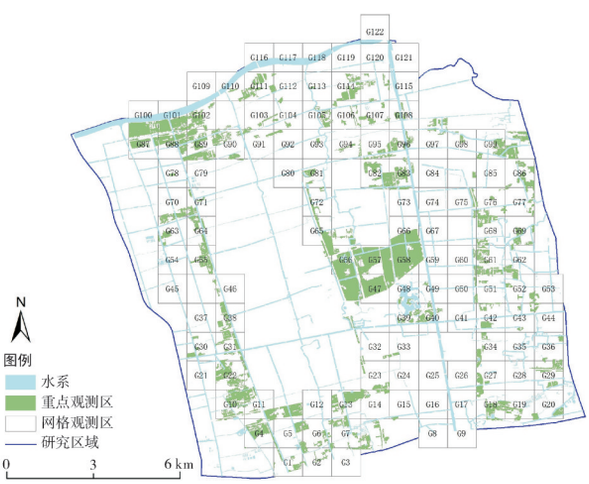



图 4　调查网格与关键区域分布图

Fig.4　Field observation routes and key areas

调查按照网格编号依次进行，重点关注林地和水源附近区域。调查过程中采用“边行走、边搜索”的方式，结合望远镜和肉眼观测，在野外调查软件（外业精灵APP）中记录观测点坐标。为保证样本的空间代表性，要求相邻观测点之间的直线距离不少于200 m（与望远镜清晰观测距离相匹配）。

2）生态廊道修正。首先统计包含廊道控制点且成功观测到目标物种的网格数量占总网格数量的比

例，以此评估模拟廊道网络与实际鸟类活动之间的一致性，从宏观尺度上判定廊道体系的整体有效性。

在确认廊道整体有效的前提下，进一步开展精细化修正。基于大量观测点数据，通过空间分析与描述性统计，计算每一观测点与关键生境因子（林地、水源）及威胁因子（建筑、公路）的欧氏距离。提取各物种观测点距离生境因子的最大值作为“偏远阈值”，距离威胁因子的最小值作为“迫近阈值”。以此阈值体系为基准，对每个廊道控制点进行诊断：若控制点距离生境因子超过其偏远阈值，或距离威胁因子小于其迫近阈值，则该控制点被判定为“偏离点”。随后在ArcGIS平台中，结合研究区生态肌理与土地利用现状，对所有偏离控制点进行人工校正，使其向有利生境靠近、远离威胁源，并适当删除路径上冗余控制点，最终形成更符合鸟类实际生态需求的优化生态廊道网络。

## 2 结果与分析

### 2.1 生态源地识别结果

宏观尺度上生态源地的分布格局如图5所示，为清晰展示空间分布，图5中将多个相邻或相近、符合质量和面积标准的斑块进行了视觉上的聚合和概化。麻雀的生态源地共6处，总面积18.2 km$^2$，主要生境类型为林地、灌草地及部分耕地；乌鸫的生态源地同样为6处，总面积19.3 km$^2$，生境类型与麻雀相似；黑水鸡的生态源地有7处，总面积10.4 km$^2$，主要分布于林地、河流与陂塘等湿地环境；牛背鹭的生态源地有6处，总面积13.5 km$^2$，主要生境类型包括林地、河流、陂塘及耕地。

### 2.2 生态廊道识别结果

模型共识别出66条生态廊道，其中麻雀与乌鸫各15条，主要分布于河流邻近的耕地、林地密集区及高速公路沿线的绿带和中央生态林地；黑水鸡的生态廊道21条，依托金汇港、南竹港、南沙港及浦南运河等主要水系，主要分布在远离城市干扰源的水域、林地与耕地区域；牛背鹭的15条廊道分布格局与黑水鸡相似。总体来看，除少数廊道局部穿越城市中心区外，大部分生态廊道集中分布于奉贤新城外围的水域、农田与林地交织地带，主要原因在于外围区域生态空间集中连片，农田广布、水系密集、林地连续，构成天然的生态网络；而城市中心区由于生态要素类型少、景观破碎化程度高，适宜作为生态源地的空间有限，加之建设强度大、人类干扰强，生态廊道保护空间受限，连通性较弱。4种鸟类的生态廊道分布结果整体相似，主要源于目标物种生态源与阻力面的空间格局高度一致。然而，不同鸟种间的差异主要来自其对生境质量阻力的响应差异。例如，黑水鸡与牛背鹭均为水鸟，但牛背鹭对农田的生境适应性更高，因此，牛背鹭在农田区域受到的阻力较小；相较之下，黑水鸡的廊道更紧密地沿河流水系分布（图6）。

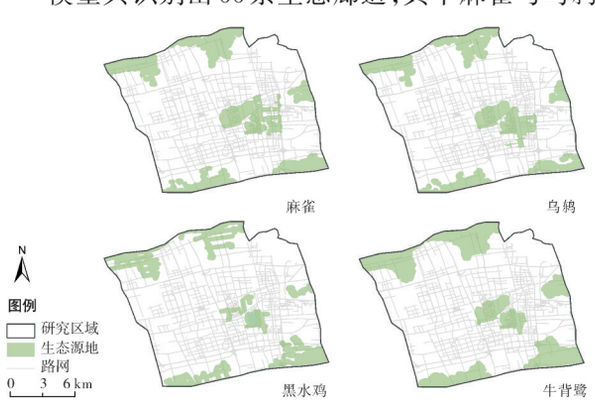



图5 4种鸟类的生态源地识别

Fig.5 Identification of the ecological sources of common bird species

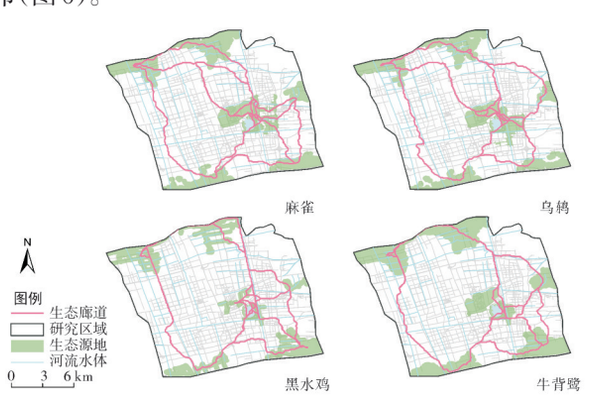



图6 4种鸟类的生态廊道模拟图

Fig.6 Simulation maps of ecological corridors for common bird species

### 2.3 生态廊道调整结果

1）野外调查结果。根据实地调查统计，共记录鸟类观测点4 083个，其中，麻雀1 165个、乌鸫1 274个、黑水鸡887个、牛背鹭757个（图7）。乌鸫和麻雀的观测点数量明显多于2种水鸟（黑水鸡与牛背鹭）。由于奉贤新城水域面积仅占8.16%，水鸟对近水生境依赖性强，因此，观测记录相对较少。

2）基于野外调查的廊道检验与调整。麻雀的廊道控制点分布于89个网格，其中，2个网格无观测记录，相关系数为0.98；乌鸫分布于84个网格，2个无记录，相关系数为0.98；黑水鸡分布于79个网格，6个无

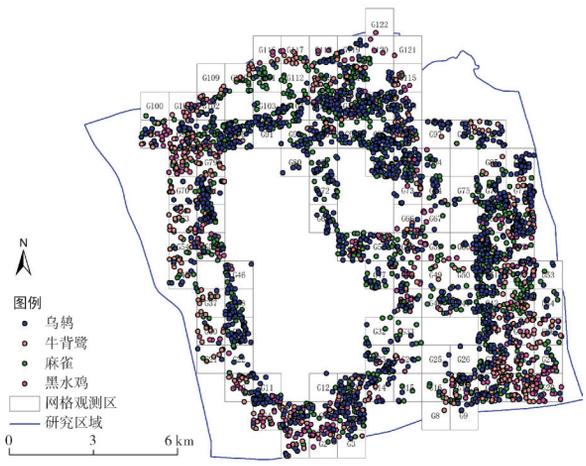



**图 7　鸟类观测样本点分布图**

Fig.7　Sample data distribution points

记录，相关系数为0.92；牛背鹭分布于77个网格，6个无记录，相关系数为0.90。4种鸟类廊道模拟结果与实地观测均呈高度一致（相关系数＞0.9）。在剔除异常值后，4种鸟类的有效样本数分别为麻雀850个、乌鸫885个、黑水鸡804个、牛背鹭732个。通过描述统计分析确定欧氏距离最大最小值，以建立廊道控制点指标体系（表6）。

麻雀与乌鸫适应性强，迁移活动较少受城市环境影响，因此，选择2个偏远指标（距离林地、距离水源）及1个迫近指标（距离建筑）用于验证。黑水鸡与牛背鹭对城市干扰更敏感，选取2个迫近指标（距离建筑、距公路）及1个偏远指标（距离水源），以确保廊道在水系附近分布并远离主要干扰源。

依据上述指标对模型结果进行验证与修正，识别出偏远或迫近控制点并在ArcGIS中进行调整，使偏远点靠近林地与水源、迫近点远离建筑与公路，同时删除冗余点。调整后，4种鸟类廊道控制点的偏离度分别降至0.08、0.09、0.07和0.08，较调整前分别同比降低0.25、0.15、0.16、0.27（表7，图8）。

**表 6　廊道控制点的指标量化表**

**Table 6　Quantitative index table of corridor turning points**　　m

| 目标物种 Species | 准确指标 Accurate index | | | | 偏远指标 Remote index | | 迫近指标 Proximity index | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 距离林地 Distance to woodland | 距离水源 Distance to water | 距离公路 Distance to road | 距离建筑 Distance to building | 距离林地 Distance to woodland | 距离水源 Distance to water | 距离公路 Distance to road | 距离建筑 Distance to building |
| 麻雀 Sparrow | ≤119 | ≤435 | / | ＞28 | ＞119 | ＞435 | / | ≤28 |
| 乌鸫 Chinese blackbird | ≤126 | ≤431 | / | ＞32 | ＞126 | ＞431 | / | ≤32 |
| 黑水鸡 Common moorhen | / | ≤191 | ＞30 | ＞108 | / | ＞191 | ≤30 | ≤108 |
| 牛背鹭 Cattle egret | / | ≤295 | ＞65 | ＞110 | / | ＞295 | ≤65 | ≤110 |

**表 7　廊道控制点调整前后的对比**

**Table 7　Deviation of the break-points and the comparison results before and after adjustment**

| 物种 Species | 廊道控制点总数 Total break-points | | 精确廊道控制点 Accurate break-points | | 林地偏离控制点 Woodland deviation | | 水源偏离控制点 Water deviation | | 道路偏离控制点 Road deviation | | 建筑偏离控制点 Building deviation | | 偏离度 Deviation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A | B | A |
| 麻雀 Sparrow | 703 | 594 | 469 | 545 | 231 | 34 | 2 | 5 | / | / | 1 | 10 | 0.33 | 0.08 |
| 乌鸫 Chinese blackbird | 689 | 494 | 525 | 452 | 158 | 30 | 1 | 5 | / | / | 5 | 7 | 0.24 | 0.09 |
| 黑水鸡 Common moorhen | 681 | 619 | 525 | 573 | / | / | 18 | 0 | 120 | 25 | 18 | 21 | 0.23 | 0.07 |
| 牛背鹭 Cattle egret | 573 | 556 | 371 | 514 | / | / | 22 | 0 | 123 | 23 | 57 | 19 | 0.35 | 0.08 |

注 Note：B：调整前 Before adjustment；A：调整后 After adjustment.

整合4种鸟类调整后的廊道（图9）可见：廊道主要沿黄浦江南岸滨江带、金汇港、南沙港、南竹港及浦南运河等水系延伸，并贯穿林地与农田密集区。黑水鸡廊道紧贴水系分布；牛背鹭廊道串联大小林地斑块；麻雀与乌鸫廊道在空间上与水鸟廊道大致契合，但在城市中心区通过公园绿地与中央生态林地连接，形成跨越建成区的生态通道。

## 2.4　生态廊道规划建议

奉贤新城处于城市化扩张与生态约束并存的关键阶段，生态格局尚处动态演化期。相较于已建成城区，该区域具备生态廊道规划与优化的先发优势，可在规划期实现“预防式”生态布局，降低后期生态修复成本[34]。《上海市奉贤新城国土空间总体规划（2021—2035年）》提出打造生态宜居型新城。本研




**图8 廊道控制点的偏差及调整后结果**

Fig.8 Predicted corridor break-point deviation results and corridor adjustment results




**图9 调整后生态廊道综合分布图**

Fig.9 Integrated map of adjusted ecological corridors

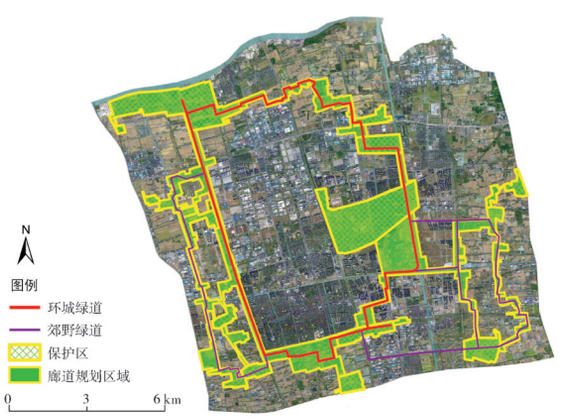



**图10 奉贤新城城市生态廊道规划**

Fig.10 Fengxian New City urban ecological corridor plan

究识别的生态廊道网络与“三生空间”规划理念高度契合，可为《奉贤新城风貌协调提升规划》中的绿环体系与城乡融合建设提供科学支撑。进一步地，本研究结果与上海市生态保护红线“一片多点”格局可形成联动，明确红线缓冲区与连通性走廊位置，助力生态系统功能持续提升。据模型结果，建议划定约35 km$^2$（占区域面积18.9%）作为生态廊道规划区，最窄处宽度不小于60 m；设置12个生态保护区（约18 km$^2$），并建设环城绿道38 km、郊野绿道39 km；通过植被修复贯通31处断点，以提升整体连通性（图10）。

## 3 讨 论

本研究整合了InVEST模型与MCR模型，结合实地观测验证，构建“模型模拟-实地校验”双向反馈框架，识别并优化了奉贤新城4种常见鸟类（麻雀、乌鸫、黑水鸡、牛背鹭）的生态廊道网络。相比传统图论网络法仅将生境斑块抽象为节点、忽略景观阻力连续性的缺陷[35]，该框架能够更真实地反映动物迁移的空间连续性。与单一电路模型相比，本研究不仅考虑了土地利用的“阻力假设”[36]，还引入了物种差异与三维城市环境因子（建筑高度、密度、生境质量），显著提升了廊道识别的精度与生态合理性。研究结果显示，林地、灌草地、耕地与水体等复合生境是维持城市鸟类多样性的关键要素；共识别出66条廊道，呈现“核心区破碎、外围区网络化”的格局。经

实地校验与优化，廊道控制点偏离度显著降低，验证了模型融合方法的有效性。建议划定约 35 $km^2$生态廊道规划区，构建分级生态提升体系，以增强生态连通性与系统稳定性。

同时，本研究也存在一定局限性。首先，以行政区界限为研究边界可能忽略外部生态过程的影响[37-38]。其次，受限于土地利用数据精度与像元分辨率，模型结果可能存在局部偏差[39]。此外，实地调查主要聚焦林地与水域等重点生态区，难以全面覆盖区域内的多样化土地利用格局；部分靠近公路或建筑的观测点因被视为异常值而剔除[40]，或造成数据代表性不足。在方法层面，使用鸟类生境类型比例作为生境适宜性指数虽具快速评估优势，但缺乏繁殖成功率、食物资源与干扰强度等生态参数的支撑。未来研究应结合高分辨率遥感与机器学习方法，整合时序生境变化、气候因子与跨行政区生态网络，构建更精细化的多尺度生境质量评估体系。

针对本研究发现的“核心区廊道断裂，外围区连通性良好”的空间特征，建议奉贤新城今后重点推进两方面建设：(1)强化中心城区生态连通性，依托水系、公园与绿带构建生态踏脚石，修复廊道断裂点；(2)针对不同功能群鸟类差异性优化廊道结构，如黑水鸡与牛背鹭应优先恢复水岸带与湿地植被，而麻雀与乌鶇宜强化林地-灌丛-农田复合生境的串联。本研究提出的“模型-验证”框架具有较强可移植性，同类型城市在开展鸟类生态廊道规划时，可在方法应用层面借鉴本研究的模型融合思路，并通过结合实地调研以提高廊道识别的准确性。

## 参考文献 References


[1] 刘静鹤.田园·生态·城乡绿化融合发展：以许昌城乡统筹发展推进区生态绿地系统规划为例[J].城市发展研究，2009，16(2)：63-69.LIU J H.Countryside ecology city and countryside afforestation fusion development：take the Xuchang City and countryside overall plan development advancement area ecology green space system planning as the example[J].Urban studies，2009，16(2)：63-69(in Chinese with English abstract).

[2] HONG Y Y.Bird diversity and interannual dynamics in different habitats of agricultural landscape in Huanghuai Plain[J].Acta ecologica sinica，2021，41(5)：2045-2055.

[3] WHELAN C J，WENNY D G，MARQUIS R J.Ecosystem services provided by birds[J].Annals of the New York academy of sciences，2008，1134：25-60.

[4] 王彦平，宋云枫，钟雨茜，等.中国鸟类的生活史和生态学特征数据集[J].生物多样性，2021，29(9)：1149-1153.WANG Y P，SONG Y F，ZHONG Y Q，et al.A dataset on the life-history and ecological traits of Chinese birds[J].Biodiversity science，2021，29(9)：1149-1153(in Chinese with English abstract).

[5] 段鹏，陈文波，杨欢，等.生境破碎化过程对流域生境质量的影响[J].生态学报，2024，44(14)：6053-6066.DUAN P，CHEN W B，YANG H，et al.Influence and interactions of habitat fragmentation processes on habitat quality in watersheds[J].Acta ecologica sinica，2024，44(14)：6053-6066(in Chinese with English abstract).

[6] 鞠丹，于沿泽.城市化对鸟类特征的影响研究[J].林业科技，2024，49(3)：62-65.JU D，YU Y Z.Effects of urbanization on bird characteristics[J].Forestry science & technology，2024，49(3)：62-65(in Chinese with English abstract).

[7] 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.WANG C X，HE J H，LIU D F，et al.Impact of land use change on bird habitat connectivity：a case study in Ezhou City[J].Acta ecologica sinica，2022，42(10)：4197-4208(in Chinese with English abstract).

[8] BENINDE J，VEITH M，HOCHKIRCH A.Biodiversity in cities needs space：a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation[J].Ecology letters，2015，18(6)：581-592.

[9] TAO Y Z，HU W H，WANG W J，et al.Bird diversity in suburban greenway was driven by habitat heterogeneity and landscape patterns in autumn-winter seasons：evidence from Hangzhou Qingshan Lake greenway[J/OL].Land，2024，13(8)：1192[2025-09-14].https://doi.org/10.3390/land13081192.

[10] 郭纪光.生态网络规划方法及实证研究：以崇明岛为例[D].上海：华东师范大学，2009.GUO J G.Ecological network planning method and case study[D].Shanghai：East China Normal University，2009(in Chinese with English abstract).

[11] TANG Y H，GAO C，WU X F，et al.Urban ecological corridor network construction：an integration of the least cost path model and the InVEST model[J/OL].ISPRS international journal of geo-information，2020，9(1)：33[2025-09-14].https://doi.org/10.3390/ijgi9010033.

[12] MCRAE B H，DICKSON B G，KEITT T H，et al.Using circuit theory to model connectivity in ecology，evolution，and conservation[J].Ecology，2008，89(10)：2712-2724.

[13] GRAFIUS D R，CORSTANJE R，SIRIWARDENA G M，et al.A bird's eye view：using circuit theory to study urban landscape connectivity for birds[J].Landscape ecology，2017，32(9)：1771-1787.

[14] 韩依纹，万明暄，方铁树，等.生态底线约束下的国土生态空间碳储量预测：以襄阳市为例[J].华中农业大学学报，2024，43(3)：89-99.HAN Y W，WAN M X，FANG T S，et al.Predicting carbon storage of ecological spaceunder constraints of ecological bottom line：taking Xiangyang City as an example[J].Journal of Huazhong Agricultural University，2024，43(3)：89-99(in Chinese with English abstract).

[15] 许峰，尹海伟，孔繁花，等.基于MSPA与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建[J].生态学报，2015，35(19)：

6425-6434. XU F, YIN H W, KONG F H, et al. Developing ecological networks based on mspa and the least-cost path method: a case study in Bazhong western new district[J]. Acta ecologica sinica, 2015, 35(19): 6425-6434 (in Chinese with English abstract).

[16] 王琪琪,濮励杰,高根红,等.江南水乡地区生态保护修复重点区域识别:以常州市金坛区为例[J].长江流域资源与环境,2025,34(2):364-373. WANG Q Q, PU L J, GAO G H, et al. Identification of key areas for ecological restoration in Jiangnan water town area: a case study of Jintan District, Changzhou[J]. Resources and environment in the Yangtze Basin, 2025, 34(2): 364-373 (in Chinese with English abstract).

[17] 吴未,胡余挺,范诗薇,等.不同鸟类生境网络复合与优化:以苏锡常地区白鹭、鸳鸯、雉鸡为例[J].生态学报,2016,36(15):4832-4842. WU W, HU Y T, FAN S W, et al. Recombination and optimization of bird habitat networks: a case study of the little egret (*Egretta garzetta*), mandarin duck (*Aix galericulata*) and ring-necked pheasant (*Phasianus colchicus*) in Su-Xi-Chang area[J]. Acta ecologica sinica, 2016, 36(15): 4832-4842 (in Chinese with English abstract).

[18] KOEN E L, BOWMAN J, SADOWSKI C, et al. Landscape connectivity for wildlife: development and validation of multi-species linkage maps[J]. Methods in ecology and evolution, 2014, 5(7): 626-633.

[19] 郝亚南.麻雀的生态学研究状况及展望[J].白城师范学院学报,2013,27(3):54-56. HAO Y N. The progress in ecological studies on *Passer montanus* of China[J]. Journal of Baicheng Normal University, 2013, 27(3): 54-56 (in Chinese with English abstract).

[20] 徐玉梅.乌鶇繁殖习性及食性的初步研究[J].生物学通报,2009,44(3):31-33. XU Y M. Studies on the breeding habits and diet of blackbird[J]. Bulletin of biology, 2009, 44(3): 31-33 (in Chinese with English abstract).

[21] 张漫君.湿地中的水鸟生境岛设计:以苍鹭、黑水鸡为例[D].北京:中国林业科学研究院,2020. ZHANG M J. Wetland waterbird habitat island design with heron and common moorhens as case species[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2020 (in Chinese with English abstract).

[22] TOJO H. Habitat selection, foraging behaviour and prey of five heron species in Japan[J]. Japanese journal of ornithology, 1996, 45(3): 141-158.

[23] 唐尧,祝炜平,张慧,等.InVEST模型原理及其应用研究进展[J].生态科学,2015,34(3):204-208. TANG Y, ZHU W P, ZHANG H, et al. A review on principle and application of the InVEST model[J]. Ecological science, 2015, 34(3): 204-208 (in Chinese with English abstract).

[24] 彭子嘉,高天,师超众,等.校园绿地植被结构、生境特征与鸟类多样性关系[J].生态学杂志,2020,39(9):3032-3042. PENG Z J, GAO T, SHI C Z, et al. The relationships between vegetation structure, habitat characteristics and bird diversity in campus green spaces[J]. Chinese journal of ecology, 2020, 39(9): 3032-3042 (in Chinese with English abstract).

[25] FERNÁNDEZ-JURICIC E, JOKIMÄKI J. A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe[J]. Biodiversity & conservation, 2001, 10(12): 2023-2043.

[26] LEPCZYK C A, ARONSON M F J, EVANS K L, et al. Biodiversity in the city: fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation[J]. BioScience, 2017, 67(9): 799-807.

[27] 隋金玲,李凯,胡德夫,等.城市化和栖息地结构与鸟类群落特征关系研究进展[J].林业科学,2004,40(6):147-152. SUI J L, LI K, HU D F, et al. Progresses of studies on biodiversity of urban birds[J]. Scientia silvae sinicae, 2004, 40(6): 147-152 (in Chinese with English abstract).

[28] 黄越,顾燚芸,阳文锐,等.如何在北京充分实现受胁鸟类栖息地保护?[J].生物多样性,2021,29(3):340-350. HUANG Y, GU Y Y, YANG W R, et al. How to best preserve the irreplaceable habitats of threatened birds in Beijing?[J]. Biodiversity science, 2021, 29(3): 340-350 (in Chinese with English abstract).

[29] LIU Z H, HUANG Q D, TANG G P. Identification of urban flight corridors for migratory birds in the coastal regions of Shenzhen City based on three-dimensional landscapes[J]. Landscape ecology, 2021, 36(7): 2043-2057.

[30] PRINSLOO N D, POSTMA M, RYAN P G, et al. Estimating bird flight height using 3-D photogrammetry[J]. Journal of zoology, 2021, 314(3): 174-186.

[31] 王丽容,冯晓蕾,常青,等.基于InVEST-MCR复合模型的城市绿色空间生境网络格局构建研究[J].中国园林,2020,36(6):113-118. WANG L R, FENG X L, CHANG Q, et al. Pattern construction of habitat network for urban green space based on the compound model of InVEST and MCR[J]. Chinese landscape architecture, 2020, 36(6): 113-118 (in Chinese with English abstract).

[32] YANG Y, ZHOU Y R, FENG Z, et al. Making the case for parks: construction of an ecological network of urban parks based on birds[J/OL]. Land, 2022, 11(8): 1144 [2025-09-24]. https://doi.org/10.3390/land11081144.

[33] 汤峰,张蓬涛,张贵军,等.基于生态敏感性和生态系统服务价值的昌黎县生态廊道构建[J].应用生态学报,2018,29(8):2675-2684. TANG F, ZHANG P T, ZHANG G J, et al. Construction of ecological corridors in Changli County based on ecological sensitivity and ecosystem service values[J]. Chinese journal of applied ecology, 2018, 29(8): 2675-2684 (in Chinese with English abstract).

[34] DING Z H, CAO J J, WANG Y, et al. The construction and optimization of habitat networks for urban-natural symbiosis: a case study of the main urban area of Nanjing[J/OL]. Forests, 2023, 14(1): 133 [2025-09-14]. https://doi.org/10.3390/f14010133.

[35] 陈秋彤,刘骏杰,覃子浏,等.基于野外观测检验动物廊道选

址模型的准确性：以白头叶猴为例[J]. 生态学报，2021，41(24)：9920-9931. CHEN Q T，LIU J J，QIN Z L，et al. Testing accuracy of the animal corridor site selection models based on field observations：a case study of white-headed langur (*Trachypithecus leucocephalus*) [J]. Acta ecologica sinica，2021，41(24)：9920-9931(in Chinese with English abstract).

[36] LIU J P，CHEN B L，ZHANG M，et al. Construction and optimization of ecological security patterns in the Songnen Plain[J/OL]. Frontiers in environmental science，2024，12：1302896 [2025-09-14]. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1302896.

[37] AGNOLETTI M. Rural landscape，nature conservation and culture：some notes on research trends and management approaches from a (southern) European perspective [J]. Landscape and urban planning，2014，126：66-73.

[38] SETO K C，GÜNERALP B，HUTYRA L R. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools [J]. PNAS，2012，109(40)：16083-16088.

[39] HU N，LEGARA E F，LEE K K，et al. Impacts of land use and amenities on public transport use，urban planning and design[J]. Land use policy，2016，57：356-367.

[40] LIORDOS V，JOKIMÄKI J，KAISANLAHTI-JOKIMÄKI M L，et al. Patch，matrix and disturbance variables negatively influence bird community structure in small-sized managed green spaces located in urban core areas[J/OL]. Science of the total environment，2021，801：149617 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149617.

# InVEST-MCR model-based identification and optimization of ecological corridors for birds in Fengxian New City

HE Kun[1,2]，TANG Yunze[1]，MAO Xiang[1]，ZHANG Deshun[2]，LI Jie[1]

1.*Department of Urban Construction and Ecological Technology，Shanghai Institute of Technology，Shanghai 201400，China*；
2.*College of Architecture and Urban Planning，Tongji University，Shanghai 200092，China*

**Abstract**　The identification and construction of ecological corridors for birds are important means to maintain the integrity of ecosystem and promote the migration of species. A scientific and feasible framework for identifying and optimizing ecological corridors for birds was constructed in Fengxian New City，a rapidly urbanizing area in Shanghai. 4 common bird species including eurasian tree sparrow (*Passer montanus*)，common blackbird (*Turdus merula*)，common moorhen (*Gallinula chloropus*)，and eastern cattle egret (*Bubulcus coromandus*) were selected as focal species to simulate the pattern of regional ecological corridors with InVEST model and MCR model and establish an evaluation index system based on the data of field survey for verification. The results showed that the total area of patches (i.e. the area of ecological source) meeting the standards of high-quality habitat for the 4 bird species was 18.2 km$^2$，19.3 km$^2$，10.4 km$^2$，and 13.5 km$^2$，respectively，mainly distributed in woodlands，shrub grasslands，farmlands，and ponds. 66 ecological corridors were identified，with fewer corridors in the core area of Fengxian New City，with a high risk of fragmentation and weak connectivity，while a relatively complete network of corridor was formed in the peripheral water bodies，farmlands，and densely forested areas. The deviation of control-points after optimization for the 4 bird species decreased by 0.25，0.15，0.16，and 0.27，respectively，and the ecological connectivity was significantly improved. It will provide a scientific basis for the construction and ecological restoration of corridors for birds in Fengxian New City，and offer a technical reference for the planning of the ecological corridors in similar rapidly urbanizing regions，which helps to promote the integration of urban - rural green and high-quality development of ecological spaces in cities.

**Keywords**　ecological corridors；InVEST model；MCR model；birds common in cities；urban planning

（责任编辑：陆文昌）