北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

多尺度视角下的城市鸟类生境网络构建

郑睿楠 孙千翔 赵祎祺 李雄

Construction of urban bird habitat network from a multi-scale perspective: taking the Cuihu-Shahe area in Beijing as an example

Zheng Ruinan, Sun Qianxiang, Zhao Yiqi, Li Xiong

引用本文:
郑睿楠, 孙千翔, 赵祎祺, 李雄. 多尺度视角下的城市鸟类生境网络构建[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(8):149-161. doi: 10.12171/j.1000-1522.20240189
Zheng Ruinan, Sun Qianxiang, Zhao Yiqi, Li Xiong. Construction of urban bird habitat network from a multi-scale perspective: taking the Cuihu-Shahe area in Beijing as an example[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(8):149-161. doi: 10.12171/j.1000-1522.20240189

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20240189

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

北京温榆河生态廊道春季鸟类物种构成与多尺度环境因子的关系

Correlation between bird species composition and multi-scale environmental factors in spring in Wenyu River ecological corridor of Beijing

北京林业大学学报, 2022, 44(6): 115-127. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210160

基于遥感生态指数和电路理论的生态安全格局构建

Construction of ecological security pattern based on remote sensing urban ecological index and circuit theory: a case study of Guangzhou City, Guangdong Province of southern China

北京林业大学学报, 2023, 45(10): 127-139. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20220367

基于MSPA模型的北京市延庆区城乡生态网络构建

Construction of urban and rural ecological network in Yanqing District of Beijing based on MSPA model

北京林业大学学报, 2020, 42(7): 113-121. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20190271

基于生态系统服务的永定河流域北京段生态网络构建与优化

Construction and optimization of ecological network in Beijing section of Yongding River Basin based on ecosystem services

北京林业大学学报, 2022, 44(3): 106-118. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20200272

西双版纳州生态廊道构建

Construction of ecological corridor in Xishuangbanna Prefecture, Yunnan Province of southwestern China

北京林业大学学报, 2024, 46(11): 113-123. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20230260

黄河流域生态空间网络特征

Characteristics of spatial ecological network in the Yellow River Basin of northern China

北京林业大学学报, 2022, 44(12): 142-152. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210159

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240189

多尺度视角下的城市鸟类生境网络构建
——以北京翠湖−沙河地区为例

郑睿楠　孙千翔　赵祎祺　李　雄
（北京林业大学园林学院，北京 100083）

摘要:【目的】本文以北京第二道绿化隔离地区的翠湖−沙河地区为研究对象，提出“宏观生态网络−中观生态廊道−微观栖息地生境”的多尺度鸟类生境网络体系方法，旨在为城市鸟类栖息地保护与规划提供技术路径和决策参考。**【方法】**基于GIS 技术，首先进行研究区域的代表鸟种遴选，将其作为宏观（生态网络）、中观（生态廊道）和微观（栖息地生境）3 个尺度的研究基础；其次，运用形态学空间格局分析模型（MSPA 法）和电路理论构建以研究区域为核心的 20 km 缓冲区范围的鸟类区域生态网络；进一步通过电路理论和移动窗口法识别翠湖−沙河生态廊道中鸟类经停概率和生态断裂点问题，聚焦廊道连通性；最后，基于适宜性评价法分析生态廊道内部鸟类栖息地适宜性分布，并结合电路理论和核密度分析评估游憩服务空间，明确鸟类栖息与人类游憩的共生重叠空间。**【结果】**（1）宏观生态网络尺度中，模拟得到电流密度叠加图，识别出一级廊道 16 条，总长度为 108.77 km，二级廊道 33 条，总长度为 227.85 km，其中绝大多数呈现南北方向连接，表明研究区南北向生态连通性具有优先保护价值。（2）中观生态廊道尺度中，识别出鸟类经停概率最高的区域，集中在南沙河河道周边，总面积约 3.5 km^2；识别出生态断裂点共 6 处，主要因城市道路用地、建设用地或裸地阻碍连通性，亟待通过生态修复措施消除阻隔。（3）微观栖息地生境尺度中，得到鸟类栖息地适宜性分布和游憩服务空间分布，最终划分出鸟类栖息主导区（2.74 km^2）、游憩行为主导区（1.52 km^2）和人鸟共生重叠区（5.6 km^2），为实施差异化空间管理提供了科学依据，亟需在重叠区建立人鸟活动协调机制。**【结论】**研究区域需重点维护南北向廊道的结构完整性，并针对高经停概率区域和 6 处断裂点提出生态修复策略，最后针对 3 类栖息地分区提出差异化建设和管理措施。其研究结果可为北京市第二道绿化隔离地区的生境网络构建与提升提供方法和数据支撑，同时为其他城市的鸟类区域生态网络、生态廊道和栖息地营建提供参考。

关键词：生境网络；生态廊道；鸟类栖息地；电路理论；多尺度融合
中图分类号：S731.1　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000−1522(2025)08−0149−13
引文格式：郑睿楠，孙千翔，赵祎祺，等. 多尺度视角下的城市鸟类生境网络构建——以北京翠湖−沙河地区为例［J］. 北京林业大学学报，2025，47(8)：149−161. Zheng Ruinan, Sun Qianxiang, Zhao Yiqi, et al. Construction of urban bird habitat network from a multi-scale perspective: taking the Cuihu-Shahe area in Beijing as an example［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(8): 149−161.

Construction of urban bird habitat network from a multi-scale perspective: taking the Cuihu-Shahe area in Beijing as an example

Zheng Ruinan　Sun Qianxiang　Zhao Yiqi　Li Xiong
(School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: ［**Objective**］ In this paper, the Cuihu-Shahe area, located in the second green isolated area of Beijing, was selected for in-depth study, aiming to propose a multi-scale bird habitat network system method of “ macro-ecological network, meso-ecological corridor, micro-habitat” . ［**Method**］ Based on GIS

收稿日期: 2024−06−12　**修回日期:** 2024−08−31
基金项目: 国家重点研发计划（2024YFD2200900）。
第一作者: 郑睿楠。主要研究方向：风景园林规划与设计。Email：1715690728@qq.com　地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学园林学院。
责任作者: 李雄，教授，博士生导师。主要研究方向：风景园林规划设计理论与实践。Email：bearlixiong@sina.com　地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

technology, representative bird species of the study area were selected, which served as the basis for research at three scales: macro (ecological network), meso (ecological corridor) and micro (habitat). Secondly, using MSPA method and circuit theory, a 20 km buffer zone ecological network with the research area as the core was constructed. Moreover, through circuit theory and moving window method, the stopover probability and ecological break point of birds in the Cuihu-Shahe ecological corridor were further identified, focusing on the corridor connectivity. Finally, based on the suitability evaluation method, the suitability distribution of bird habitat inside the ecological corridor was obtained. Circuit theory and nuclear density analysis were used to evaluate the recreation service space, and finally the symbiotic overlap space between bird habitat and human recreation was superimposed. [**Result**] (1) At the scale of macro ecological networks, the current density superposition map was obtained by simulation, 16 primary corridors with a total length of 108.77 km and 33 secondary corridors with a total length of 227.85 km were identified, the vast majority of which showed north-south connections, indicating that the north-south ecological connectivity in the study area has a priority conservation value. (2) At the meso ecological corridor scale, the areas with the highest probability of birds stopping over were identified around the Nansha River Channel, with a total area of about 3.5 km^2; six ecological breaks were identified, which were mainly due to the obstruction of connectivity by urban road land, construction land, or bare land, and were in urgent need of ecological restoration to eliminate the obstruction. (3) In the micro habitat scale, the results of habitat suitability distribution of birds and spatial distribution of recreational services were obtained, and 2.74 km^2 of dominant bird habitat area, 1.52 km^2 of dominant recreational behaviour area, and 5.6 km^2 of overlapping area of human-bird symbiosis were finally classified, which provided scientific basis for the implementation of differentiated spatial management, and a mechanism for coordinating the activities of birds and humans was urgently needed in the overlapping area. [**Conclusion**] The study area needs to focus on maintaining the structural integrity of the north-south corridor, proposing ecological restoration strategies for the areas with high probability of stopping and the six fracture points, and finally carrying out differentiated construction and management measures for the three types of habitat zones. The results of this study can provide methodological and data support for the construction and improvement of habitat network in the second green isolation area of Beijing, and also provide a reference for the ecological network, ecological corridors and habitat construction of bird areas in other cities.

Key words: habitat network; ecological corridor; bird habitat; circuit theory; multi-scale integration

2021 年 10 月 12 日，《生物多样性公约》第十五次缔约方大会领导人峰会提出，生物多样性是人类生存和发展的基础，需以生态文明建设为引领，协调人与自然关系。在城市化快速推进的背景下，城市生物多样性问题日益突出，表现为生物数量减少和生态功能退化等[1]。生境破碎化被公认为造成生物多样性降低与物种灭绝的主要因素之一[2]，而仅依赖相互割裂的自然保护地难以有效解决这一问题[3]。生态廊道作为连接分散栖息地斑块的桥梁，可促进物种扩散、迁徙和交换功能[4]，进而形成由若干斑块及生态廊道组成的生境网络[5]，有效改善栖息地破碎化并提升生物多样性。在城市中，各类物种均依赖生境网络进行生存、繁衍和扩散，对维护城市系统生态安全和生态平衡具有重要意义[6]。因此，城市生境网络建设已成为协调城市发展与生物多样性保护的重要举措。

在国家与地方规划层面，《北京城市总体规划（2016 年—2035 年）》[7]将第二道绿化隔离地区（简称“二绿地区”）定位为平原地区生态安全格局的重点，构建市域绿色空间结构中的郊野公园环，对北京生物多样性保护具有重要意义。2023 年 12 月发布的《北京市第二道绿化隔离地区减量提质规划（2021 年—2035 年）》[8]进一步要求：构建全域连通、分级分类的生态网络，打通分散斑块之间的连接通道，疏通生态廊道重要堵点，增加生态踏脚石，以提供更高质量的鸟类栖息地。由此可见，“二绿地区”生境网络体系的构建迫在眉睫。作为“二绿地区”重要的生态纽带，翠湖–沙河地区连接翠湖国家城市湿地公园与沙河水库，既是区域内鸟类多样性分布和生物多样性综合空间分布指数最高的区域之一，也是全市生态联通与质量提升的重点[9]。

目前，生态廊道作为满足生态源地之间物种扩

散和迁移的关键区域，目前研究方法主要有最小累积阻力模型（minimum cumulative resistance，MCR）[10–11]和电路理论[12–13]。研究表明，电路理论可依据电流强度识别廊道经停概率，在廊道重要性分级中优势显著，可以模拟物种运动扩散的生态过程，通过电流密度高低即可判断该物种经过停留的概率高低，同时识别生态夹点、生态断裂点等区域修复节点[14–16]，弥补了 MCR 仅能提取单一廊道路径的不足。同时，形态学空间格局分析模型（morphological spatial pattern analysis，MSPA）可进行生态源地识别和提取，这是对栅格图像识别重要的生境斑块和廊道等区域的图像处理方法[17]。关键物种是指其消失或数量剧减引起整个群落和生态系统根本性变化的物种[18]。在城市生态系统中，鸟类因种群数量优势和指示功能突出，已成为生物多样性检测和廊道研究的常用对象。因此，本文以鸟类为生态廊道研究切入点，通过其生态需求指导各尺度分析。

国内外在鸟类领域的相关研究，一方面聚焦于鸟类多样性与城市建成环境、城市公园、植物群落、引鸟设施的关系和影响[19–21]；另一方面关注鸟类栖息地规划实践研究，研究对象多为微观层面的城市湿地、绿地等的鸟类栖息地斑块，进行景观规划设计和公园管理措施研究[22–23]。少数研究以城市宏观尺度为范围，从水鸟、林鸟等特定鸟种出发构建生态网络或生态格局[24–26]。目前研究多侧重于技术方法创新，而结合研究区域的鸟类生态习性的研究较少；从研究尺度上看，多为整体城市尺度或微观绿地、湿地尺度研究[27–29]，缺乏针对具体生态廊道的专项规划研究。因此，以宏观—中观—微观多尺度视角构建“生境网络—生态廊道—栖息地”极具研究意义，从系统性思维来维持区域生态安全格局，促进功能连接与生态交流，并优化栖息地生境质量。基于此，本文从多种鸟类栖息需求出发，以宏观、中观和微观 3 个尺度层层推进，采用更符合各级尺度特征的研究方法，从区域生态网络聚焦到包含周围生态斑块的廊道尺度，最终识别内部栖息地空间，构建“宏观生态网络–中观生态廊道–微观栖息地生境”的多尺度鸟类生境网络体系。

1　研究区域与研究方法

1.1　研究区域

本文研究区域为北京市翠湖–沙河地区，是翠湖国家城市湿地公园与沙河水库间的重要廊道，位于第二绿化隔离地区的西北部，总面积 985.89 hm^2（图 1）。区域内有南沙河横穿而过，现状用地包括林地、河流水面、城镇及农村住宅用地、耕地等。在《北京市总体规划图（2016 年—2035 年）》的规划用地图中，研究区红线范围内的主要规划用地类型为林草保护区、水域保护区和生态混合区，红线范围外则为城镇建设用地和村庄建设用地。该区域在生态廊道功能上具有极强的重要性，空间上直接联通了翠湖国家城市湿地公园与沙河水库两处重要湿地。根据公开的鸟类观测数据，研究区域已记录鸟种 233 种，占北京鸟类总种数的 46.32%，是鸟类栖息地的重点研究和保护区域。

1.2　数据来源

本研究使用的地理信息数据为研究区域及外围的 30 m 精度土地覆被开源数据[30]；物种名录参考了



图 1　研究范围及周边现状

Fig. 1　Study area and surrounding situation

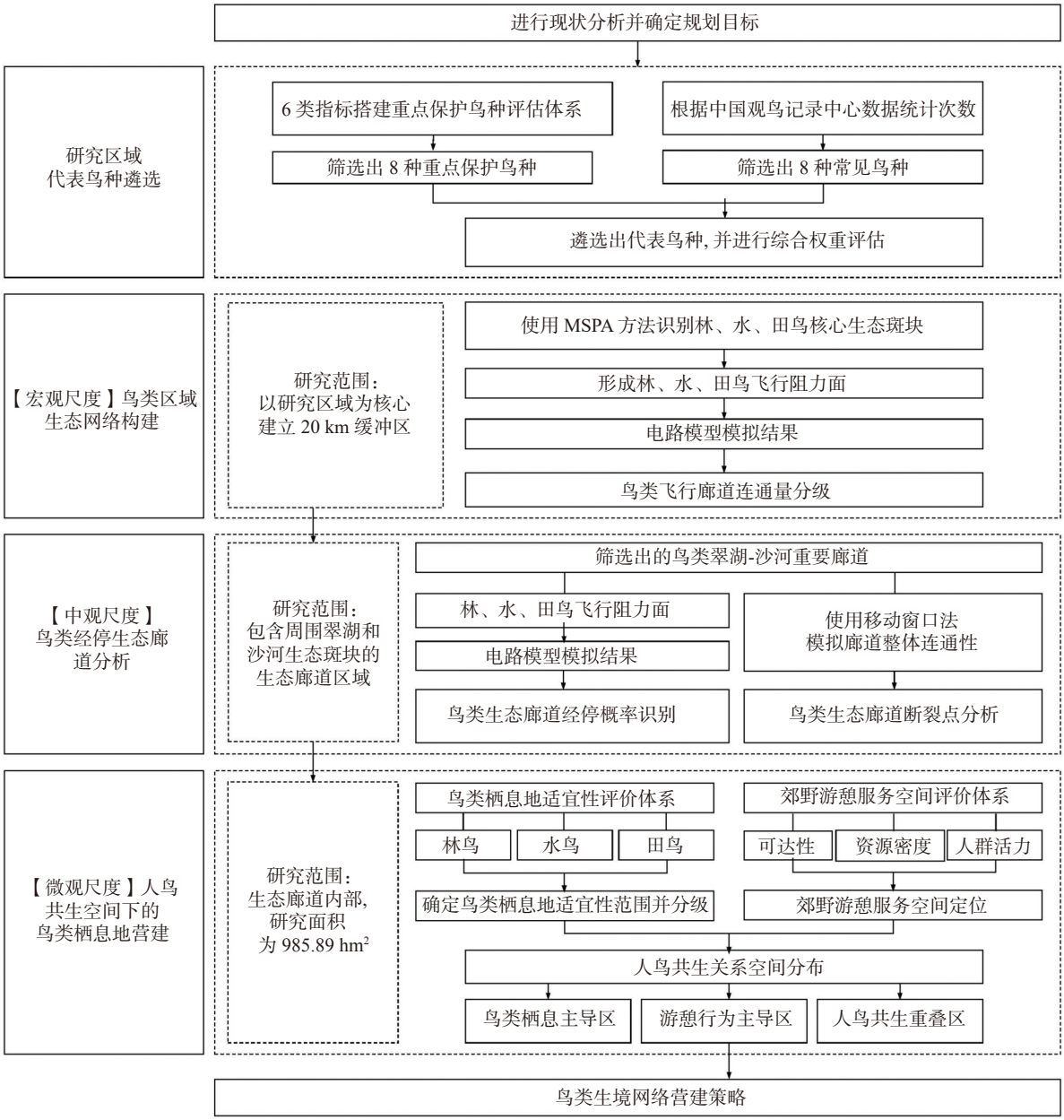
《北京鸟类志》(1998)、《鸟类多样性及栖息地质量评价技术规程》(DB11/T 1605—2018)；鸟类空间分布数据主要来源于中国观鸟记录中心数据库获取的2019—2023 年研究范围内鸟类分布点位[31]；游憩服务空间评价的数据包括城市交通路网、公共交通点位置、城市游憩资源点(point of interest，POI)数据、场地内部现状游憩资源点、人口密度数据和夜间灯光数据等。同时结合高清卫星影像、现状调研数据及相关报道对已有数据进行调整修正。

1.3 研究方法

研究以鸟类这一关键指示物种为切入点，分别采用形态学空间格局分析模型(MSPA)、电路模型和适宜性评价方法，构建鸟类生境网络体系，具体包括：研究区域代表鸟种遴选、鸟类区域生态网络构建、鸟类经停生态廊道构建和人鸟共生空间下的鸟类栖息地营建(图 2)。

1.3.1 研究区域代表鸟种遴选

首先，根据中国观鸟中心公开数据整理，近 5 年来在研究范围共观测到鸟类 18 目 59 科，约 233 种。为了在后续栖息地识别与规划中对应不同鸟类的栖息需求，本文参考《中国鸟类志》和相关研究[32−33]，将233 种鸟类按照主要栖息地偏好分为 3 类：林鸟(127 种)、水鸟(96 种)和田鸟(10 种)。其中林鸟主要在各种森林或灌丛生境内栖息和繁衍，较少活动于林



MSPA. 形态学空间格局分析模型。

图 2 研究框架

Fig. 2 Research framework

地以外区域; 水鸟常见于河流、湿地、湖泊等水生或湿润环境; 田鸟主要偏爱栖息于农田、开阔草丛或荒野等地, 相对于林地和水域, 更倾向于在农田生境觅食和繁殖, 并常在人类建成区域寻找食物和繁殖[34−35]。

接下来, 构建重点保护鸟种评估体系, 应用分级赋值法将濒危程度、保护等级、生物代表性、是否为重要迁徙物种、是否为中国特有物种以及分布范围这 6 类指标进行量化评估(表 1)。剔除研究区内偶见种, 最终锁定 8 种重点保护鸟种作为代表(表 2)。此外, 基于各类鸟的物种数量和上述重点保护指标, 对林鸟、水鸟和田鸟分别计算综合权重(表 2), 以便在后续生态廊道分析和栖息地适宜性评价中进行指标加权叠加。

1.3.2　鸟类区域生态网络构建

在宏观尺度上, 本文将研究区域及其 20 km 缓冲区作为分析范围, 分 3 步构建鸟类区域生态网络。(1)基于 MSPA 模型识别生态源地。对 3 类鸟(林鸟、水鸟、田鸟)分别提取各自的核心栖息斑块。(2)景观阻力面构建。通过不同土地利用类型对其迁移的阻碍程度, 基于最小累积阻力模型生成 3 种阻力面。(3)电路模型模拟廊道连通性。对鸟类运动过程的生态廊道进行模拟, 其中高阻力区域对应高电阻值, 低阻力区域对应低电阻值, 生成电流密度叠加图, 根据电流模拟结果对鸟类飞行廊道联通量进行分级, 得到区域内重要生态廊道分级。

1.3.3　鸟类经停生态廊道分析

在中观尺度上, 结合电路理论和移动窗口法, 对

表 1　重点保护鸟种评估体系

Tab. 1　Evaluation system of key protected bird species

一级指标	二级指标	程度分级	赋分分值
濒危程度	IUCN物种名录	地区灭绝	5
		极危	4
		濒危	3
		易危	2
		近危	1
保护等级	CITES附录	附录 I	5
		附录 II	4
		附录III	3
	中国重点保护物种	国家 I 级	5
		国家 II 级	4
		北京市重点保护	3
生境代表性	食物、水准质、空气质量, 特定物理环境, 植被特别依赖性	极强	5
		较强	4
		一般	3
		弱	2
是否重要迁徙物种	是否列入中国与其他国家保护协议的候鸟	是	5
		否	3
是否中国特有	以在中国境内的分布为准	区域性特有	5
		中国特有	3
		非特有	1
分布范围		地理分布极窄, 仅中国1 个省或自然保护区特有的地方性物种	5
		地理分布较窄, 中国2—3 个省特有	4
		地理分布较窄, 中国特有或虽广布但局部少见及生物地理分布区边缘之物种	3
		地理分布广泛, 非中国特有, 或广布种	2

表 2　代表鸟种遴选名录和综合权重表

Tab. 2　Represents bird species selection list and comprehensive weight table

目	科	种	分类标准	权重	类型	综合权重
佛法僧目 Coraciiformes	翠鸟科 Alcedinidae	蓝翡翠 *Halcyon pileata*	重点保护鸟种	0.489	林鸟	0.517
雀形目 Passeriformes	鹟科 Muscicapidae	红喉姬鹟 *Ficedula parva*				
雀形目 Passeriformes	鹟科 Muscicapidae	蓝喉歌鸲 *Luscinia svecica*				
雀形目 Passeriformes	鸦科 Corvidae	灰喜鹊 *Cyanopica cyanus*	常见鸟种	0.545		
雀形目 Passeriformes	鹎科 Pycnonotidae	白头鹎 *Pycnonotus sinensis*				
雀形目 Passeriformes	莺鹛科 Sylviidae	棕头鸦雀 *Paradoxornis webbianus*				
雁形目 Anseriformes	鸭科 Anatidae	小天鹅 *Cygnus columbianusa*	重点保护鸟种	0.468	水鸟	0.440
雁形目 Anseriformes	鸭科 Anatidae	鸳鸯 *Aix galericulata*				
鹈形目 Pelecaniformes	鹭科 Ardeidae	白鹭 *Egretta garzetta*				
鹈形目 Pelecaniformes	鹭科 Ardeidae	苍鹭 *Ardea cinerea*	常见鸟种	0.412		
鹃鹛目 Podicipediformes	鹃鹛科 Podicipedidae	小鹃鹛 *Tachybaptus ruficollis*				
雁形目 Anseriformes	鸭科 Anatidae	绿头鸭 *Anas platyrhynchos*				
雀形目 Passeriformes	鹀科 Emberizidae	红颈苇鹀 *Emberiza yessoensis*	重点保护鸟种	0.043	田鸟	0.043
雀形目 Passeriformes	鹀科 Emberizidae	田鹀 *Emberiza rustica*				
雁形目 Anseriformes	椋鸟科 Sturnidae	北椋鸟 *Agropsar sturninus*	常见鸟种	0.043		
雁形目 Anseriformes	鹀科 Emberizidae	小鹀 *Emberiza pusilla*				

鸟类生态廊道经停概率和断裂点进行分析，研究范围涵盖翠湖湿地和沙河水库斑块等重要廊道。首先，根据林鸟、水鸟和田鸟的生态习性，并结合已有研究[3,14,23]，选取土地利用、植被覆盖、临水距离、建筑密度和城市灯光作为主要指标因子。通过 AHP 层次分析法结合专家打分确定各因子权重(表 3)，并赋予不同阻力值以构建飞行阻力面。其次，使用电路理论识别鸟类飞行廊道的经停概率，其中电流密度较高的区域表示鸟类在栖息地间穿越通过该区域的可能性较大。同时，使用移动窗口法分析鸟类廊道的断裂点，以 50 ~ 500 m 为窗口半径，模拟恢复土地对廊道整体连通性的提升效果，从而有效识别阻碍廊道连通性的重点区域。

1.3.4 人鸟共生空间下的鸟类栖息地营建

在微观尺度上，进行鸟类栖息地适宜性评价，研究范围为翠湖–沙河廊道内部，总面积为 985.89 hm^2。(1)鸟类栖息地适宜性评价。根据代表鸟种生态习性和相关文献[3,17,24]，确定适宜性因子(表 4)，分别计算林鸟、水鸟和田鸟类对各因子的适宜性值，叠加形成综合鸟类适宜性。(2)游憩服务空间评价。构建游憩服务空间评价指标体系(表 5)，得到游憩服务空间分布。(3)将鸟类栖息地与游憩服务空间进行归一化处理叠加后，划分出鸟类栖息主导区、游憩行为主导区和人鸟共生重叠区 3 类空间。

2 结果与分析

2.1 宏观尺度——鸟类区域生态网络构建

在识别出林鸟、水鸟和田鸟的核心生态源地后，

表 3 鸟类生态廊道阻力面指标体系

Tab. 3 Index system of resistance surface of ecological corridor for birds

目标层	准则层		指标层	
	环境变量	权重	指标	权重
林鸟阻力面构建	自然影响因子	0.833	土地利用	0.667
			植被盖度	0.167
	城市影响因子	0.167	建筑密度	0.133
			城市灯光	0.033
水鸟阻力面构建	自然影响因子	0.857	土地利用	0.122
			临水距离	0.735
	城市影响因子	0.143	建筑密度	0.143
			城市灯光	0.029
田鸟阻力面构建	自然影响因子	0.889	土地利用	0.711
			植被盖度	0.178
	城市影响因子	0.111	建筑密度	0.089
			城市灯光	0.022

表 4 鸟类栖息地适宜性评价指标体系

Tab. 4 Evaluation index system of bird habitat suitability

目标层	准则层		指标层	
	环境变量	权重	指标	权重
林鸟栖息地适宜性评价	食物可获取性	0.315	食物源地	0.159
			植被覆盖度	0.156
	水资源	0.323	到水面距离	0.122
	隐蔽条件	0.195	生境类型	0.182
			生境斑块面积	0.113
	人为干扰	0.167	到道路距离	0.121
			到居民点距离	0.147
水鸟栖息地适宜性评价	食物可获取性	0.315	食物源地	0.159
			植被覆盖度	0.156
	水资源	0.323	到水面距离	0.323
	隐蔽条件	0.195	生境类型	0.099
			生境斑块面积	0.096
	人为干扰	0.167	到道路距离	0.073
			到居民点距离	0.094
田鸟栖息地适宜性评价	食物可获取性	0.373	食物源地	0.218
			植被覆盖度	0.155
	水资源	0.122	到水面距离	0.122
	隐蔽条件	0.338	生境类型	0.212
			生境斑块面积	0.126
	人为干扰	0.167	到道路距离	0.073
			到居民点距离	0.094

表 5 游憩服务空间评价指标体系

Tab. 5 Evaluation index system of recreation service space

准则层	指标层
交通可达性	交通路网线密度
	公共交通站点缓冲区
游憩资源密度	城市游憩资源点POI核密度
人群活力度	内部游憩资源点核密度
	WorldPop人口密度
	NPP/VIIRS修正夜间灯光指数

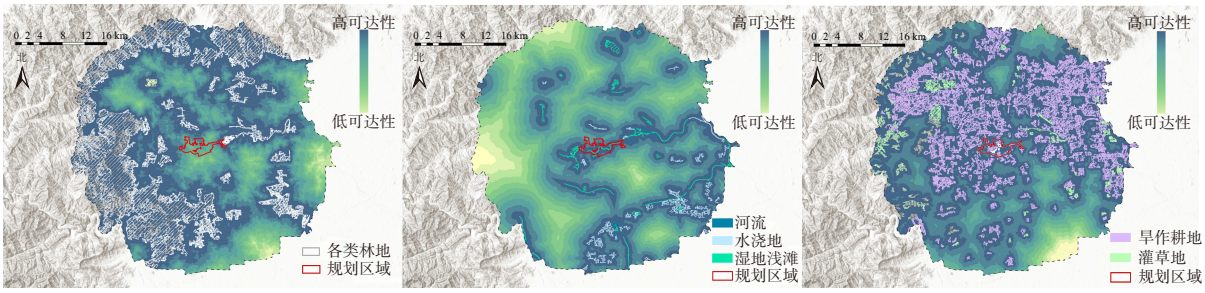
构建了 3 类最终飞行阻力面(图 3)，结果表明 3 种鸟类的低阻力值区域具有明显分布特征。林鸟的阻力面呈现西部和北部山区阻力值较低的状态，规划红线内阻力值较高；水鸟低阻力值区域分布较少，主要集中分布于东南部；田鸟阻力格局较为均匀且零碎。阻力值低的区域意味着飞行高可达性高，应优先在高阻力值区域修复生境斑块，以降低破碎化程度，更有利于构建高连通性的生态网络。

基于电路模型模拟区域生态廊道，生成电流密

度叠加图(图 4)。电流密度越高，表明鸟类在该处经停和通过的概率越大，也最有成为生态廊道的潜力。依此对廊道连通量进行分级(图 5)，共保留廊道 49 条，其中一级廊道 16 条，二级廊道 33 条。一级廊道总长度 108.77 km，最长 11.83 km(翠湖–沙河生态廊道)，连接着翠湖和沙河两个生态源地；二级廊道总长度 227.85 km，最长 17.30 km。结果显示，绝大多数一级核心廊道呈现南北方向，而翠湖–沙河生态廊道是最重要的一条连通东西方向的廊道。提升该廊道的连通性并优化其生境质量，对于完善区域鸟类生态网络的构建具有重要意义。

2.2　中观尺度——鸟类经停生态廊道分析

研究范围涵盖翠湖和沙河湿地在内的重要廊道，通过自然与城市指标体系构建的阻力面基础上，通过电路模型模拟得到林鸟、水鸟、田鸟的生态廊道(图 6)。电流密度越高，代表鸟类可能经过、停留的概率越大。其中林鸟廊道经停高概率区域更为分散，且虽有一条次优北向经停路径，但其阻力明显高于最优廊道；水鸟的经停廊道主要沿南沙河沿岸集中分布；田鸟的经停廊道范围相对林鸟更偏向北，并呈现局部集中倾向。将 3 种鸟类的电流结果按综合权重(表 2)叠加后，获得综合经停区域(图 7)。高电流



林鸟飞行阻力面　　水鸟飞行阻力面　　田鸟飞行阻力面

图 3　鸟类飞行阻力面构建

Fig. 3　Construction of flight resistance surface of birds

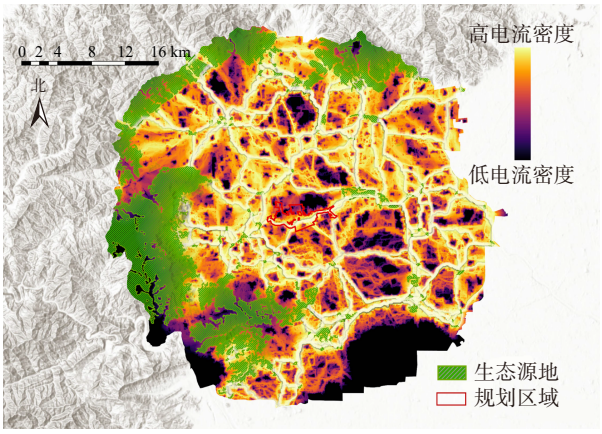


图 4　区域生态网络电流密度叠加图

Fig. 4　Overlay map of current density of regional ecological network

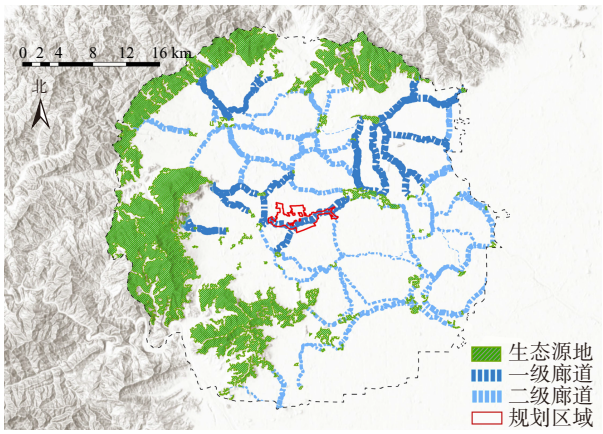
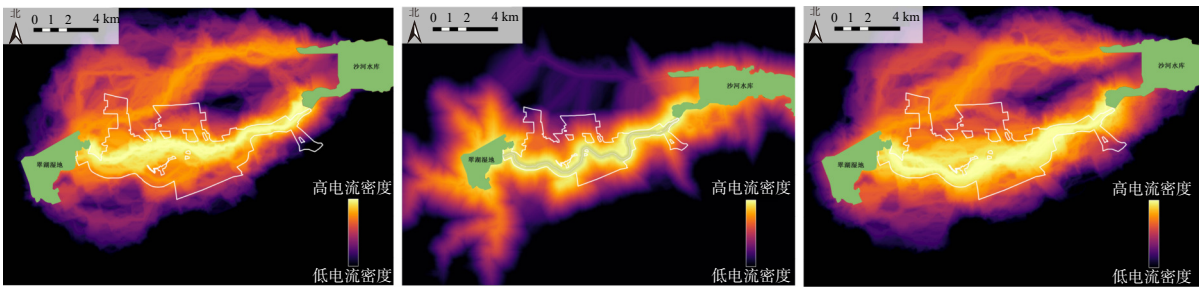


图 5　区域生态网络分级图

Fig. 5　Classification map of regional ecological network



林鸟生态廊道经停区域　　水鸟生态廊道经停区域　　田鸟生态廊道经停区域

图 6　3 种鸟类的生态廊道经停区域

Fig. 6　Stopping areas of ecological corridor for three bird species

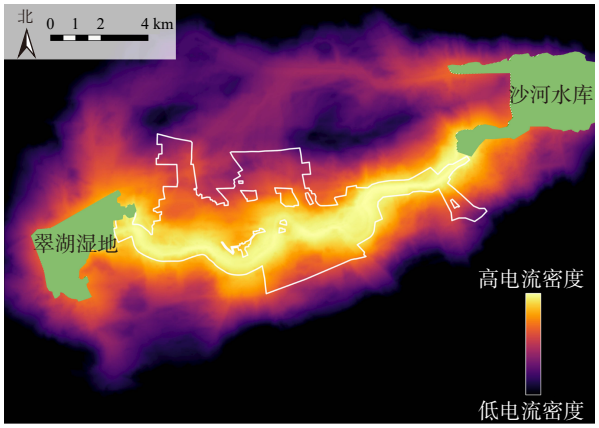


图 7 鸟类综合生态廊道经停区域

Fig. 7 Stopping areas of comprehensive ecological corridor for birds

区域总面积约 3.5 km^2，为鸟类高频率经停区域。基于关键鸟类惊飞距离，可在此范围之外划定核心通行走廊保护带。

同时，通过移动窗口法，以 50 ~ 500 m 为窗口半径模拟恢复土地对廊道整体连通性的改进分数。其中改进分数越高，代表恢复该区域范围土地能为鸟类飞行走廊整体连通性的改善贡献越大，改善措施越具有紧迫性。识别得到廊道中生态断裂点共 6 处（图 8），其中改进分数最高的断裂点 1、2、3 处，均为城市道路阻碍生态廊道连通性，断裂点 4 为闲置裸地，断裂点 5 为现存村庄的建设用地，断裂点 6 为现存停车场的裸地。对于无法改变土地利用性质的断裂段，应考虑增加对鸟类经停友好性的改进措施。

2.3 微观尺度——人鸟共生空间下的鸟类栖息地营建

2.3.1 鸟类栖息地适宜性评价

基于食物可获取性、水资源条件、隐蔽性和人为干扰 4 类因子，分别计算林、水、田鸟的栖息地适宜性分布（图 9）。结果表明，林鸟最适宜区域主要集中在多类型林地及周边，对隐蔽性和低干扰环境的需求较高，主要分布于研究区中部和东部（图 9）；水鸟最适宜区沿南沙河及其他水洼分布，偏好既能提供警戒安全距离又具水体边缘特征的湖滨湿地，次适宜区域偶见于少量针叶和阔叶混交林处（图 9）；田鸟最适宜区分散于阔叶林或田野内，分布特征较为分散零碎，对人类活动干扰容忍度更高（图 9）。将 3 类鸟的适宜性结果按照综合权重叠加，得到整体鸟类适宜性分布（图 10）。高适宜区呈南沙河带状分布，尤以中部和东部两处大规模斑块最为显著。结合现状斑块特征，这些高适区多为小型林地和水洼，宜在

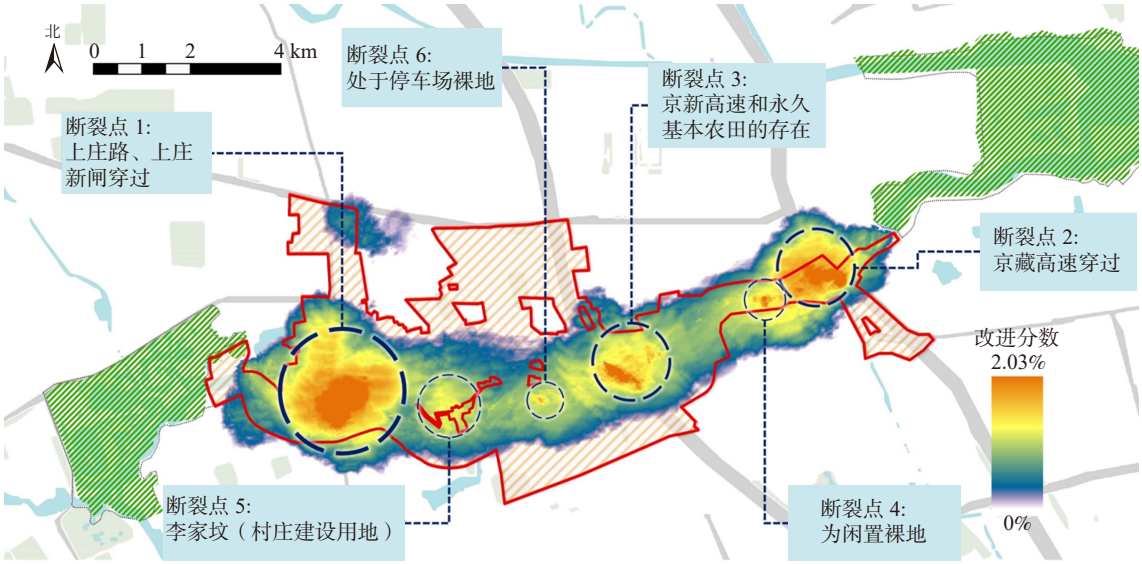
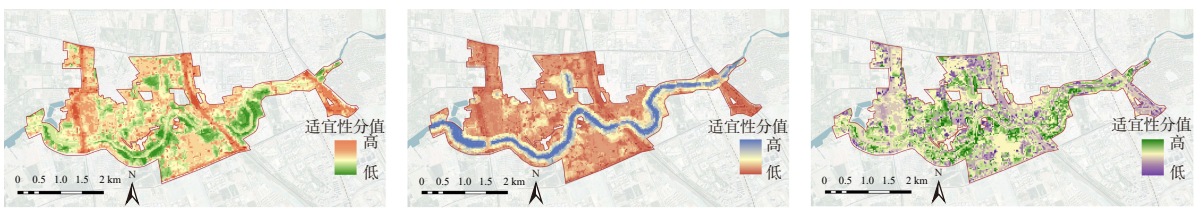


图 8 鸟类生态廊道断裂点分布

Fig. 8 Fracture point distribution of bird ecological corridor



林鸟栖息地适宜性分布　　水鸟栖息地适宜性分布　　田鸟栖息地适宜性分布

图 9 3 种鸟类栖息地适宜性分布

Fig. 9 Distribution of habitat suitability for three bird species

此基础上增加多样化植物配置，以深化食源和筑巢环境。

2.3.2　游憩服务空间评价

以交通可达性、游憩资源密度、人群活力度 3 类指标构建游憩服务空间评价指标体系，通过网络爬取数据和现状调研游憩资源点叠加，生成研究区域游憩服务空间分布（图 11）。区域内部游憩资源丰富度一般，包括度假村、农业观光园、农庄、古寺庙等，游憩行为以交通可达性因素为主导，呈 3 条南北向城市道路带状分布，人群活力度与道路交通和居住密度相关，主要集中在西部、东部和水边游憩活跃区域。

2.3.3　人鸟共生空间分布

将鸟类综合栖息地适宜性分布与游憩服务空间进行空间叠加，依据人鸟冲突的程度划分出 3 类空间分布分区（图 12）。鸟类栖息主导区（2.74 km^2），集中于中部及东部水体两岸，各形成约 1 km^2 的斑块，应优先作为鸟类核心保护区；游憩行为主导区（1.52 km^2），位于西北部和东部道路/居住区附近，承载主要游憩活动，应在保证游憩功能的同时尽量减少对鸟类栖息的干扰；人鸟共生重叠区（5.6 km^2），为鸟类觅食、筑巢与人类观鸟、休憩的主要重叠空间，需在营建高质量鸟类生境的同时，规划低影响的人类游憩设施，实现人与鸟的和谐共生。

3　鸟类生境网络营建策略

3.1　生态廊道连通性改进策略

根据《北京市第二道绿化隔离地区减量提质规划（2021 年—2035 年）》中对生态廊道建设提出的措施指引，明确提出需要打通生态廊道堵点，增加生态踏脚石[36]。本文结合识别的生态断裂点，针对性提出修补措施。造成生态断裂点的原因有两类。其一，主要城市道路形成的阻隔。可通过改造立交桥下空间，增加食源植物种植，控制噪音与光污染等人为因素对栖息地的干扰等措施，联通被割裂的生态空间。其二，城市较高建设强度导致的割裂。针对栖息地周边少量但影响较大的村庄建设用地或荒废裸地，优先推动拆违腾地；若无法腾退，则实施内部生态化

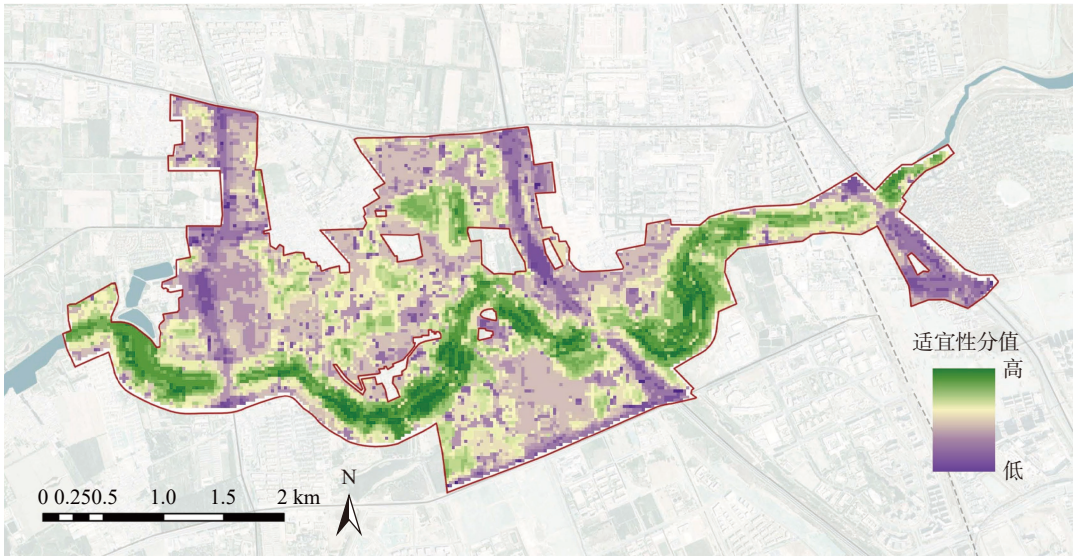


图 10　鸟类综合栖息地适宜性分布

Fig. 10　Suitability distribution of comprehensive habitat for birds

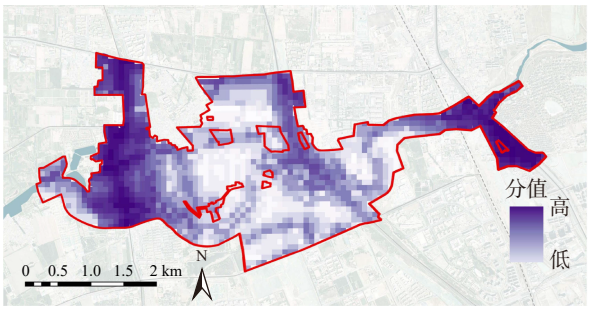


图 11　游憩服务空间分布

Fig. 11　Distribution of recreational service space

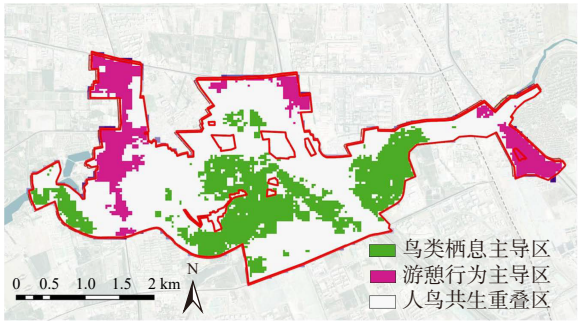


图 12　人鸟共生空间分布分区

Fig. 12　Distribution and zoning of human-bird symbiosis space

改造与外部生态绿化隔离措施，

3.2 鸟类栖息地营建策略

3.2.1 栖息地营建结构

结合多层级研究成果与“二绿地区”总体规划，形成“一廊、三区、多点”的鸟类栖息地未来营建结构(图 13)。“一廊”表示一条鸟类核心生态通廊，承载区域内主要飞行路径；“三区”表示与“人鸟共生”分区对应的 3 类功能区；“多点”表示分布式主题节点，强化关键栖息与观鸟场所。

3.2.2 分区营建策略

鸟类栖息主导区以营建鸟类栖息地为核心。第一，改善栖息生境质量，通过定性定量规范栖息地建设，依据生态习性选择鸟类栖息偏好植物，增加植物群落结构层次，配置满足食源与筑巢需求的植物；第二，可设立鸟类生境岛，一般生境岛距离岸边宜大于 10 m 以保障保护效果，岛上滨水区深度与植物搭配需契合鸟类的生态习性，满足停栖与觅食需求，岛屿边缘拓展浅水滩涂作为觅食缓冲区[37−38]；第三，需沿栖息地外围设置植物隔离带(宽度大于 15 m)，采用“乔木—灌木—地被”的垂直结构，削弱外界城市的噪音和人为活动干扰。

游憩行为主导区以吸引郊野游憩活动人群为目标。针对人群低影响游憩活动，满足自然科普、户外运动、户外露营等活动需求，可设置对鸟类干扰程度小的观鸟平台、栈道、瞭望点等设施；针对人群高影响游憩活动，考虑局部设置入口广场、活动草坪等空间，其地理位置需要远离鸟类核心栖息地，周围可搭配观赏型植物为主的景观塑造，例如疏林草地、花海花境和芦苇滩涂等。

人鸟共生协调区需平衡鸟类栖息与人类观鸟需求。该区域游憩活动以观鸟为核心，具有城市环境中独特而稀缺的自然亲近属性[39]。应推行“无痕游憩”模式以降低干扰。(1)实施差异化管控。按栖息斑块等级制定分时限流、接触距离、噪音及活动强度规则，调控观鸟频次与强度。(2)优化观鸟设施。近距离观鸟需设置观鸟掩体植物带阻隔干扰；远距离点位可择高地设置观鸟塔，并配备专业观鸟装备。

3.2.3 主题节点营建策略

在“三区”与通廊基础上，设置 4 类“人鸟共生”主题节点，即无干扰鸟岛、林水交错区、自然观鸟点和集中活动点。无干扰鸟岛的设置，岛上需增植适合觅食和筑巢树种，岛屿边缘增加浮排提供更多栖息空间，拓展觅食浅滩作为缓冲区，滩涂岸缘设立隐蔽式观鸟台，增加科学观鸟的同时保证鸟类“安全感”；林水交错区域由水体自然形成，可拓展四季百果林作为鸟类觅食营巢点位兼顾观赏性，边缘沉浸式漂浮栈道穿水而过，科学亲鸟；自然观鸟点通常位于人鸟共生重叠区，合理规划人鸟需求冲突，针对人群低影响活动，进行自然课堂科普、户外运动、户外露营等对鸟类干扰程度小的活动；集中活动点通常位于游憩行为主导区，位置与居住区和出入口较近，远离鸟类核心栖息地，满足高影响类活动需求。

4 结论与讨论

城市生境网络的构建和织补对于区域生态功能具有重大意义，同时也是第二道绿化隔离地区提出的重要诉求和方向。本文以多尺度融合视角切入，细分层级并且逐步探讨与鸟类生境构建相关的影响

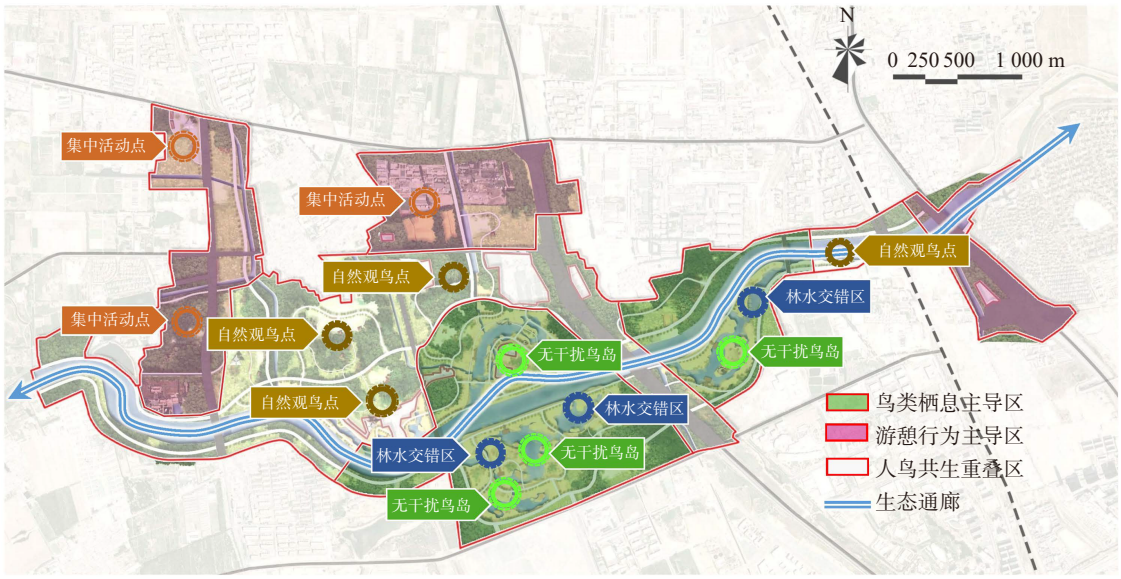


图 13 鸟类栖息地未来营建结构分区

Fig. 13 Future construction structure zoning of bird habitats

因子与改进策略。从宏观生态网络尺度看，构成区域连通性需要多级廊道共同织补，共提取出一级廊道 16 条，总长 108.77 km，二级廊道 33 条，总长 227.85 km，其针对性解决了关键破碎化斑块的破碎化问题。从中观生态廊道尺度看，鸟类的经停概率高的区域是重要飞行通廊，集中在南沙河河道周边，总面积约 3.5 km^2，并且识别关键生态断裂点 6 处，据此得出提升生态廊道连通性的改进策略。从微观栖息地生境尺度看，鸟类栖息与人类活动是需要协同共存的关键问题，只有精确识别矛盾重叠空间，才能为规划研究提供落位依据，最终划分出鸟类栖息主导区 2.74 km^2、游憩行为主导区 1.52 km^2 和人鸟共生重叠区 5.6 km^2，并分别提出指导性营建策略。研究建立“宏观−中观−微观”的多尺度鸟类生境网络评价体系，旨在通过多尺度全面分析此类生态廊道和栖息地的定位和策略，使用较为系统全面的研究方法提出规划思路。

由于受到数据获取和现实因素的影响，本研究也存在一定局限性。从数据上来说，由于鸟类数据获取的困难程度较大，鸟类数据主要源于中国观鸟记录中心，并无法涵盖全部真实鸟类行为情况，可进一步通过实地调研进行补充和调整弥补误差。从研究方法来说，通过软件和工具对于生态廊道的研究模拟方法存在一定不足，不可避免地与真实鸟类行为有差距。同时，包括对各级指标因子权重的确定方法，往往依赖于已有研究实践和专家打分，夹杂着主观因素。期待未来数据获取的精进和研究方法的更新，可为城市生物多样性提升和生态廊道构建提供更为精确的研究结果。

参　考　文　献

[1] 单楠, 周可新, 潘扬, 等. 生物多样性保护廊道构建方法研究进展 [J]. 生态学报, 2019, 39(2): 411−420.
Shan N, Zhou K X, Pan Y, et al. Research advances in design methods of biodiversity conservation corridors[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): 411−420.

[2] Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2003, 34: 487−515.

[3] 崔健明, 徐瑾, 刘玮, 等. 水鸟友好视角下的东莞市生态廊道与关键节点识别 [J]. 水土保持通报, 2023, 43(4): 229−237.
Cui J M, Xu J, Liu W, et al. Identification of urban ecological corridors and key nodes in Dongguan City from waterfowls-friendly perspective[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(4): 229−237.

[4] Chetkiewicz C B, st Clair C C, Boyce M S. Corridors for conservation: integrating pattern and process[J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2006, 37: 317−342.

[5] 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.
Wu W, Zhang M, Xu L P, et al. The impact of land use change on habitat network: a case study of *Egretta garzetta* in Su-Xi-Chang Area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4897−4906.

[6] 汪洁琼, 李心蕊, 王敏, 等. 基于水鸟栖息地保育的城市滨水生境网络构建与优化策略: 以昆山市为例 [J]. 风景园林, 2021, 28(6): 76−81.
Wang J Q, Li X R, Wang M, et al. Establishing and optimization strategy of urban waterfront habitat network based on waterfowl habitat conservation: a case study of Kunshan City[J]. Landscape Architecture, 2021, 28(6): 76−81.

[7] 北京市人民政府. 北京城市总体规划(2016 年—2035 年)[EB/OL]. [2024−10−19]. https://www.beijing.gov.cn/gongkai/guihua/wngh/cqgh/201907/t20190701_100008.html.
The People's Government of Beijing Municipality. Beijing city master plan (2016−2035)[EB/OL]. [2024−10−19]. https://www.beijing.gov.cn/gongkai/guihua/wngh/cqgh/201907/t20190701_100008.html.

[8] 北京市规划和自然资源委员会. 北京市第二道绿化隔离地区减量提质规划(2021 年—2035 年)[EB/OL]. [2024−10−19]. https://ghzrzyw.beijing.gov.cn/zhengwuxinxi/ghcg/zxgh/202312/t20231229_3520976.html.
Beijing Municipal Commission of Planning and Ntural Resources. Beijing Second Green Belt Area Reduction and Quality Enhancement Plan (2021−2035) [EB/OL]. [EB/OL]. [2024−10−19]. https://ghzrzyw.beijing.gov.cn/zhengwuxinxi/ghcg/zxgh/202312/t20231229_3520976.html.

[9] 刘海龙, 王茜, 宋洋, 等. 北京第二绿化隔离地区以鸟类为主的城市生物多样性保护规划途径 [J]. 中国园林, 2022, 38(10): 6−13.
Liu H L, Wang Q, Song Y, et al. The planning approach for bird-based urban biodiversity conservation in the second green belt of Beijing[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(10): 6−13.

[10] 刘瑞宽, 杨林朋, 李同昇, 等. 基于 ERA 和 MCR 模型的生态安全格局构建: 以陕西沿黄地区为例 [J]. 中国环境科学, 2024, 44(2): 1053−1063.
Liu R K, Yang L P, Li T S, et al. Establishment of ecological security pattern along the Yellow River in Shaanxi Province based on ERA and MCR models[J]. China Environmental Science, 2024, 44(2): 1053−1063.

[11] 林一诚, 周怡宁, 郑景明. 基于 MCR 模型的围场县小滦河流域生态安全格局识别 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(5): 26−36.
Lin Y C, Zhou Y N, Zheng J M. Identification of ecological security pattern of Xiaoluanhe River Basin in Weichang County, Hebei Province of northern China based on MCR model[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(5): 26−36.

[12] 何夏萱, 袁奇峰, 曾悦, 等. 基于城市 POIs 大数据与电路理论的东莞市生态网络构建与评估 [J]. 水土保持通报, 2023, 43(6):

237−247.
He X X, Yuan Q F, Zeng Y, et al. Construction and evaluation of an ecological network for Dongguan City based on urban big data POIs and circuit theory[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 237−247.

[13] 汪沁, 於冉, 储昭君, 等. 基于生态评价与电路理论的生态安全格局构建及关键区域识别: 以安徽省为例 [J]. 水土保持通报, 2023, 43(6): 209−216, 226.
Wang Q, Yu R, Chu Z J, et al. Construction of ecological security pattern and identification of key regions based on ecological assessment and circuit theory: a case study in Anhui Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(6): 209−216, 226.

[14] 杨鸿辉, 余娇, 耿建伟, 等. 基于遥感生态指数和电路理论的生态安全格局构建: 以广州市为例 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(10): 127−139.
Yang H H, Yu J, Geng J W, et al. Construction of ecological security pattern based on remote sensing urban ecological index and circuit theory: a case study of Guangzhou City, Guangdong Province of Southern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2023, 45(10): 127−139.

[15] 宋利利, 秦明周. 整合电路理论的生态廊道及其重要性识别 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3344−3352.
Song L L, Qin M Z. Identification of ecological corridors and its importance by integrating circuit theory[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(10): 3344−3352.

[16] 刘俊男, 陈航, 高凯. 基于城市生物多样性保护的环滇池鸟类生境识别与网络构建 [J]. 中国园林, 2022, 38(10): 32−37.
Liu J N, Chen H, Gao K. Identification and network construction of bird habitats around Dianchi Lake based on urban biodiversity conservation[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(10): 32−37.

[17] 李倩瑜, 唐立娜, 邱全毅, 等. 基于形态学空间格局分析和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建: 以厦门市为例 [J]. 生态学报, 2024, 44(6): 2284−2294.
Li Q Y, Tang L N, Qiu Q Y, et al. Construction of urban ecological security pattern based on MSPA and MCR model: a case study of Xiamen[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(6): 2284−2294.

[18] 谢子颖, 张正栋, 陈裕婵, 等. 基于绿道与生境关系的空间生态网络构建: 以从化区关键种栖息地为例 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2021, 53(1): 70−77.
Xie Z Y, Zhang Z D, Chen Y C, et al. Constructing the spatial ecological network based on the relationship between greenways and habitats: a case study of the habitat of the keystone species in Conghua District[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2021, 53(1): 70−77.

[19] Zivanovic A J, Luck G W. Social and environmental factors drive variation in plant and bird communities across urban greenspace in Sydney, Australia[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 169: 210−222.

[20] Estevo C A, Nagy-Reis M B, Silva W R. Urban parks can maintain minimal resilience for Neotropical bird communities[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2017, 27: 84−89.

[21] 郭诗怡, 斋藤馨, 夏原由博, 等. 城市建成环境对鸟类多样性的影响机制研究评述及展望 [J]. 中国园林, 2022, 38(2): 71−76.
Guo S Y, Saito K, Natuhara Y, et al. The mechanism of urban built environment impact on avian diversity: a systematic review[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(2): 71−76.

[22] 夏心怡, 覃盟琳, 何淼, 等. 基于鸟类栖息地营建的城市湿地公园景观设计: 以佳木斯柳树岛为例 [J]. 野生动物学报, 2024, 45(1): 118−126.
Xia X Y, Qin M L, He M, et al. Urban wetland park planning and design based on bird habitat construction: a case study of Liushu Island in Jiamusi[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2024, 45(1): 118−126.

[23] 滕雨欣, 张梦园, 李德政, 等. 山东省烟台市东岛咀滨海绿地鸟类多样性及栖息地适宜性评价 [J]. 风景园林, 2023, 30(5): 36−43.
Teng Y X, Zhang M Y, Li D Z, et al. Evaluation of bird diversity and habitat suitability in coastal green space of Dongdao Tsui, Yantai City, Shandong Province[J]. Landscape Architecture, 2023, 30(5): 36−43.

[24] 李波, 贺萌, 彭琳, 等. 基于林鸟迁移扩散的重庆市高密度城区生态网络构建研究 [J]. 中国园林, 2023, 39(7): 35−39.
Li B, He M, Peng L, et al. Research on the construction of ecological network in the high-density urban area of Chongqing based on the migration and diffusion of forest birds[J]. Chinese Landscape Architecture, 2023, 39(7): 35−39.

[25] 张萍, 全佑铭, 胡越然, 等. 东北地区湿地水鸟生态廊道的识别研究 [J]. 生态科学, 2024, 43(2): 30−41.
Zhang P, Quan Y M, Hu Y R, et al. Identification of ecological corridors for waterbirds in wetlands in Northeast China[J]. Ecological Science, 2024, 43(2): 30−41.

[26] 王成, 周诗薇, 刘红玉, 等. 多类群水鸟共存栖息地网络结构稳定性及其优化方案: 以盐城滨海湿地为例 [J]. 生态学报, 2023, 43(22): 9193−9205.
Wang C, Zhou S W, Liu H Y, et al. Robustness and its optimization of the habitat network structure for the multi guilds coexistence: a case study of Yancheng Coastal Wetlands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(22): 9193−9205.

[27] 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.
Zhang H Y, Zhang D M, Zhang L, et al. Construction of ecological networks in the center urban area of Shanghai based on bird diversity conservation[J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2024, 41(4): 42−50.

[28] 张颖, 黄婷婷, 胡骞, 等. 基于鸟类多样性提升的社区公园生境

营造策略探析 [J]. 中国园林, 2022, 38(3): 106−111.
Zhang Y, Huang T T, Hu Q, et al. Analysis on the habitat design strategy of community park based on the improvement of bird diversity[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(3): 106−111.

[29] 王鹏, 陈天恩, 隋佳容, 等. 河南开封柳园口省级湿地自然保护区及其南侧区域鸟类群落的多样性 [J]. 湿地科学, 2024, 22(1): 38−51.
Wang P, Chen T E, Sui J R, et al. Diversity of bird communities in Liuyuankou Provincial Wetland Nature Reserve and its south area in Kaifeng, Henan[J]. Wetland Science, 2024, 22(1): 38−51.

[30] 资源环境科学与数据平台 [EB/OL]. [2024−05−26]. https://www.resdc.cn/.
Resource and Environmental Science Data Platform[EB/OL]. [2024−05−26]. https://www.resdc.cn/.

[31] 中国观鸟记录中心 [EB/OL]. [2024−05−26]. http://www.birdrecord.cn/.
China Bird Watching Network[EB/OL]. [2024−05−26]. http://www.birdrecord.cn/.

[32] 赵正阶. 中国鸟类志 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001.
Zhao Z J. China ornithology[M]. Changchun: Jilin Science & Technology Publishing House, 2001.

[33] 李家兴, Christos Mammides, 周丽萍, 等. 广西山地农业化背景下鸟类多样性比较 [J]. 生物多样性, 2022, 30(5): 48−57.
Li J X, Mammides C, Zhou L P, et al. Bird diversity in different habitats under agriculturalization in Guangxi, China[J]. Biodiversity Science, 2022, 30(5): 48−57.

[34] Lin D L, Maron M, Amano T, et al. Using empirical data analysis and expert opinion to identify farmland-associated bird species from their habitat associations[J]. Ibis, 2023, 165(3): 974−985.

[35] Šálek M, Bažant M, Żmihorski M, et al. Evaluating conservation tools in intensively-used farmland: higher bird and mammal diversity in seed-rich strips during winter[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2022, 327: 107844.

[36] 石晓冬, 张尔薇, 阮智杰. 跨域生态空间治理范式转变与规划响应: 北京第二道绿化隔离地区减量提质规划 [J]. 北京规划建设, 2024(1): 15−20.
Shi X D, Zhang E W, Ruan Z J. Paradigm transformation and planning response of cross-domain ecological space governance: reduction and quality improvement planning of the second green and isolated area in Beijing[J]. Beijing Planning Review, 2024(1): 15−20.

[37] 赵文飞, 杨子诚, 杨昆山, 等. 基于 AHP 和 GIS 方法的滇池湖滨水鸟栖息地适宜性评价 [J]. 湿地科学与管理, 2024, 20(1): 31−36.
Zhao W F, Yang Z C, Yang K S, et al. Assessment of the habitat suitability for waterfowls in Dianchi Lakeside based on AHP and GIS methods[J]. Wetland Science & Management, 2024, 20(1): 31−36.

[38] 郭子良, 张余广, 刘魏魏, 等. 河北衡水湖自然保护区水鸟多样性分布格局及其保护优先区 [J]. 生态学报, 2024, 44(9): 4009−4019.
Guo Z L, Zhang Y G, Liu W W, et al. Distribution pattern and conservation priority areas of waterbird diversity in Hengshui Lake Nature Reserve, Hebei Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(9): 4009−4019.

[39] 刘萌萌, 张曼玉, 韩茜, 等. 公众观鸟和传统样线法调查应用于鸟类多样性监测的比较: 以南京老山为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(9): 1196−1204.
Liu M M, Zhang M Y, Han Q, et al. Comparing the effectiveness of birdwatching to line transect for biodiversity surveys: a case study of Laoshan, Nanjing[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(9): 1196−1204.

（责任编辑　范　娟
责任编委　戈晓宇）