

水鸟友好视角下的东莞市生态廊道与关键节点识别

崔健明^{1,2,3}, 徐瑾^{1,2,3}, 刘玮^{1,2,3}, 查飞云^{1,2,3}, 陈佳炜^{1,2,3}

(1.广州大学 建筑与城市规划学院, 广东 广州 510006; 2.广州大学 地理空间信息与智慧生态环境交叉创新平台, 广东 广州 510006; 3.广州大学 国家公园研究中心, 广东 广州 510006)

摘要: [目的] 揭示目前广东省东莞市水鸟生态廊道的空间分布格局, 为该区域生态修复提供科学依据。[方法] 以东莞市的关键物种水鸟为出发点, 基于东莞市水域数据与阻力面构成数据, 运用最小累积阻力模型算法、中性度原理、电流理论等方法开展研究。[结果] 在东莞市域范围内构建生态廊道共 26 条, 总长度为 259.91 km。其中重要、较为重要、一般重要的生态廊道各 6 条、15 条和 5 条。重要生态廊道与一般生态廊道以集中分布的情况出现, 而较重要生态廊道呈现散布状态。所获取的关键障碍点空间位置特征多为人为干扰程度严重的区域。[结论] 在生态廊道空间布局方面, 主要应以优化城市本底条件为基础, 维持整个城市生态空间平衡; 在廊道连通性提升角度, 应以充分发挥廊道自生的生态功能为导向, 保证整体廊道网络空间的连续性; 在障碍点修复角度, 应降低人类活动的强度干扰, 减轻水鸟途经该廊道的阻碍。

关键词: 生态廊道; 生态障碍点; 关键物种; 最小累积阻力模型; 广东省东莞市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)04-0229-09

中图分类号: X171.1

文献参数: 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. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.04.028; Cui Jianming, Xu Jin, Liu Wei, 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.

Identification of Urban Ecological Corridors and Key Nodes in Dongguan City from Waterfowls-Friendly Perspective

Cui Jianming^{1,2,3}, Xu Jin^{1,2,3}, Liu Wei^{1,2,3}, Zha Feiyun^{1,2,3}, Chen Jiawei^{1,2,3}

(1.School of Architecture and Urban Planning, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006, China;

2.Cross-innovation Platform of Geospatial Information and Smart Eco-environment, Guangzhou University, Guangzhou,

Guangdong 510006, China; 3.National Park Research Center, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract: [Objective] The spatial distribution pattern of waterfowl ecological corridors in Dongguan City, Guangdong Province were studied in order to provide a realistic basis for its ecological restoration. [Methods] We considered waterfowl as the key species of Dongguan City. The research was carried out by using the minimal cumulative resistance (MCR) model, the centrality principle of habitat and connection, and the circuit theory based on water data and resistance surface composition data of Dongguan City. [Results] A total of 26 ecological corridors with a total length of 259.91 km were constructed in Dongguan City, of which six, fifteen, and five were important, more important and generally important ecological corridors respectively, and the important and general ecological corridors were centrally distributed, while the more important ecological corridors were dispersed. The spatial locations of the key obstacles were characterized as areas with serious anthropogenic disturbances. [Conclusion] In the perspective of spatial layout of ecological corridors, the main purpose is to optimize the urban background conditions and maintain the balance of the entire urban ecological space. In the perspective of corridor connectivity enhancement, it is suggested to give full play to the self-generated ecological function of the corridor as a guide to ensure the continuity of the

收稿日期: 2022-11-23

修回日期: 2022-12-27

资助项目: 广州大学“生态景观及资源的测评、调控与仿真评估”(PT252022023)

第一作者: 崔健明(1995—), 男(汉族), 广西壮族自治区梧州市人, 硕士研究生, 研究方向为自然保护地规划。Email: 1611966237@qq.com。

通讯作者: 徐瑾(1985—), 女(汉族), 浙江省湖州市人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事自然保护地规划方面的研究。Email: xujin620@so-hu.com。

overall corridor network space. In terms of restoration of obstacles, the intensity of human activities should be reduced to alleviate the obstruction of waterbirds passing through the corridor.

Keywords: ecological corridor; ecological obstacle point; key species, minimum cumulative resistance model (MCR); Dongguan City, Guangdong Province

城镇化发展和人类活动的影响,导致了物种生境的整体性和连通性破裂,物种数量减少,死亡率增加及迁移率下降等一系列问题^[1],致使城市中的生物多样性不断降低。传统维持生物多样性的主要方法是划定自然保护地(如湿地公园、森林公园等)范围,但随着城市面临生态问题日益的严重和生物多样性保护理论与实践的不断发展,孤立的自然保护地已经不能满足保护城市生物多样性的要求。生态廊道作为物种迁移的重要通道,可以促进和维持隔离栖息地斑块间生境的连接,使物种能够通过廊道在破碎化生境之间自由扩散、迁徙,增加物种基因交流,防止种群隔离,从而有效维持种群数量实现保护生物多样性的目的^[2]。

生态廊道是指在生态环境中呈线状能够沟通连接空间分布上较为孤立和分散的生态单元的生态系统空间类型^[3-4]。国外对生态廊道的相关研究已经历了约 60 a 的发展,而我国生态廊道研究起步较晚^[5],进入 21 世纪我国在面对城市生态问题时也开始关注廊道理论的研究与运用,近年来以城市为研究对象的生态廊道修复是我国近年来生态领域研究的热点^[1],涌现了一系列相关的研究,如基于 InVEST 模型和电路理论的昆明市国土空间生态修复关键区域识别^[6]、基于生态安全格局的上海国土空间生态修复关键区域识别与修复策略^[7]、基于生态安全格局的环鄱阳湖城市群生态修复关键区域识别及修复策略等^[8]。

关键物种是指生物的消失或削弱能引起整个物种群落和生态系统发生根本性变化的物种,在生物群落中,对维护生物多样性及其结构、功能及稳定性起关键作用^[9]。以关键物种作为视角构建生态廊道的研究能够更有针对性地提出构建廊道后修复连通性的具体措施,有助于保护生物多样性,相比于普遍的生态廊道构建具有更大的优势,因此有望成为今后研究的主流方向。如滕扬等^[10]通过评价大兴安岭南段马鹿生境适宜性识别生态源地,进一步对生态廊道构建进行分析;唐强等^[11]通过传统图论下的引力模型模拟出了绿翅鸭的生境廊道网络,识别出了便于绿翅鸭扩散的重要生境斑块和潜在连接绿道、McRae 等^[12-13]通过电流理论模拟大中型哺乳类物种(如美洲山狮、狼獾)的基因交流与扩散廊道等。

党的十八大以来,生态文明城市建设上升到前所

未有的高度^[14]。《珠三角地区水鸟生态廊道建设规划(2020—2025 年)》中提出,构建水鸟生态廊道能够维持区域生态系统安全和稳定,可有效推动生态文明和高品质大湾区建设。水鸟作为珠三角地区的代表关键物种,对维护珠三角地区生物多样性具有核心价值。东莞作为珠三角中的重要城市,承担着建设珠三角生物生态廊道,营造更适合水鸟类栖息与迁徙环境的重要使命^[15]。但多年来的工业发展极大侵蚀了东莞的生态空间,致使生态系统健康状态总体趋于恶化,水鸟的栖息地面临严重威胁,在数量上和种类上都出现了减少的趋势^[16-18]。为此,本文以广东省东莞市为研究范围,选取小白鹭、黑水鸡、红嘴鸥、琵嘴鸭 4 种水鸟(分别代表基本涵盖整个东莞市常见的水鸟类群鸥类、野鸭类、秧鸡类和鹭类,且前三者同时还是广东省重点保护陆生野生动物物种),以 4 种水鸟的生态习性参数作为参考,按照水鸟栖息的最适面积识别其生态源地,将人为干扰中的 6 类单因子阻力叠加构建阻力面,运用 ArcGIS 的插件 Linkage Mapper 提取生态廊道,并对生态廊道重要性进行等级划分,调用 Circuitscape 软件识别其生态“障碍点”。在此基础上,对水鸟生态廊道整体布局、质量提升、关键位置如何优化进行讨论。研究结果可为促进市域生态廊道连通性和生态系统结构稳定性提供理论基础,亦可为城市环境下的关键物种保护提供实践指导与科学依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

东莞位于珠三角地区,临近珠江入海口,主要流经的河流有东江、石马河、寒溪水等,具有丰富的河流和面积广阔的湿地公园,形成一个具有优越水文条件的自然生态格局^[15]。其地理坐标为东经 113°31′—114°15′,北纬 22°39′—23°09′,属于亚热带季风气候,长夏无冬,日照充足,雨量充沛,温差振幅小,季风明显。气候与水文条件的适宜性为水鸟栖息和繁殖创造了良好条件。

1.2 4 种水鸟生态习性的主要参数

本研究主要根据 4 种水鸟的生态习性参数构建指标体系(表 1)。

1.3 其他数据来源与处理

土地覆被数据来源中国科学院资源环境科学

数据中心(<https://www.resdc.cn/>)提供的空间分辨率 30 m 地表覆盖数据;DEM 数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/sources/>)提供的 ASTER GDEM 30 m 分辨率数字高程数据;路网与建筑高度数据来源于 OpenStreetMap 地图官网

(<https://www.openstreetmap.org/#map=9/26.7763/106.6965>),通过城市 ID 进行代码获取的 shp 格式数据;夜间灯光数据来源于珞珈一号卫星识别的夜间灯光辐射亮度数据(<http://59.175.109.173:8888/index.html>)。

表 1 水鸟生态习性的主要参数^[19-21]

Table 1 Main parameters of waterfowl ecological habits

生态习性	代表物种	参数	参数说明	应用步骤
较适宜的栖息地面积	红嘴鸥、黑水鸡、小白鹭、琵嘴鸭	1 km ² 以上(在该面积以上会聚集较多水鸟栖息)	4 类水鸟的栖息环境面积要求大体相同	生态源地筛选
产生惊飞的最低噪音值(44.7dB)对应的公路距离	小白鹭	360 m(在比该距离更远的位置不会产生水鸟惊飞)	小白鹭是该 4 类水鸟数量最多,且最能代表整个水鸟类群的物种。产生该距离以上都会产生惊飞行为,且分贝越高受影响越严重。	道路噪音阻力面构建
飞行高度	小白鹭	40 m(在该高度更高的建筑在下会影响水鸟迁徙)	小白鹭、红嘴鸥该两类水鸟能够长途飞行且飞行能力强,选取更能代表类群的小白鹭参数。	建筑高度阻力面构建
4 类水鸟食源	红嘴鸥、黑水鸡、小白鹭、琵嘴鸭	—	虾、小鱼、螺、软体动物等	—
4 类水鸟繁殖营巢条件	红嘴鸥、黑水鸡、小白鹭、琵嘴鸭	—	黑水鸡营巢在浅水区,小白鹭营巢在高大的树上,琵嘴鸭、红嘴鸥营巢在水域附近的沼泽草丛上	—

1.4 研究方法

1.4.1 4 种水鸟在研究区域观测记录 珠三角地区是中国候鸟迁徙路线的重要节点,全球 8 条主要鸟类迁徙通道中的 3 条迁徙通道途径在此交汇。东莞位于珠三角地区的重要位置,每年成百上千万的迁徙性水鸟在此南来北往或繁衍后代^[19-20]。本文以生物多样性信息机构(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)官方网站获取的 4 种水鸟的近 10 a 人类观测分布数据为基础,运用 ArcGIS 空间分析技术进行处理,生成出 4 种水鸟在东莞市域的出现情况。

1.4.2 生态源地识别 生态源地是指能够提供较多生态功能的斑块,在维持生态系统结构和提供生物栖息地方面发挥着重要作用^[21-22]。本研究采用的源地识别方法是直接识别,该方法是将集聚较多水鸟的生境直接作为生态源地。依照本研究前期分析的水鸟观测点汇集于水域的情况,结合水鸟会倾向于选择大面积的开阔水域,此类水域会吸引大量水鸟在此栖息^[23]。因此,选择适宜度高的水域作为生态源地(1 km² 以上),研究以中国科学院提供的 2020 年全球 30 m 精细地表覆盖产品的东莞水域数据为基础,参照东莞市城市总体规划中的市域生态保护要素分布图,将分布图中 1 km² 以上的河渠、湖泊、水库、沼泽地筛选出来。采用 ArcGIS 软件将以上四数据合并生成本研究所用的生态源地。

1.4.3 积累阻力面构建 生态阻力是生态源地之间进行物质交换、能量传输或者生物迁徙等生态过程所受到的阻碍,阻力值受到自然条件和人类活动的共同影响^[22]。因此选择影响水鸟迁徙最重要的 6 类人为干扰因素进行叠加作为阻力面,叠加的阻力面因素包括土地覆盖、道路噪音、夜间灯光、建筑高度、坡位、地形起伏度。6 类数据中土地覆盖、夜间灯光、建筑高度可以直接赋值应用,其中土地覆盖数据按照水鸟对土地类型喜好进行赋值,水域分值最低、城镇开发用地相对较高。夜间灯光数据按照亮度越大对水鸟迁徙影响越高赋值,因此越亮赋值越大。建筑高度数据按照越高对水鸟迁徙影响越高赋值,因此越高赋值越大。坡位数据以 DEM 数据为基础通过 ArcGIS 的插件 Topography Tools 工具分析出地形位置指数(topographic position index, TPI),然后依照 TPI 进行划分相应的坡位类型。地形起伏度数据需要从地理空间云获取的 DEM 数据,先通过 ArcGIS 的块计算工具获取高程的最高与最低值,然后用栅格计算器将高程最大值减去最小值,获得地形起伏度数据,坡位与地形起伏度是依照已有人为干扰研究进行赋值^[24],人为干扰越严重赋值越高。道路噪音数据需要从 Open Street Map 获取的路网数据根据小白鹭受惊飞与道路公路距离的 360 m 设立临界值,按照 5 级划分将临界距离平均分为五段设立缓冲区^[20]离道路越近对水鸟的迁徙越容易受影响,故距离越近赋值越高。

然后通过分析水鸟生态习性、栖息地环境和人为干扰特征选取土地覆盖、坡位、地形起伏度、夜间灯光、建筑高度、道路噪音作为水鸟飞行主要阻力因子(表 2),借鉴已有研究^[25-26]的阻力赋值对每个阻力因子的阻力等级进行赋值,结运用 AHP 层次分析法结合专

家打分,邀请 8 位专家将 6 个阻力因子进行两两比较,借助 Yaahp 软件把阻力面评价体系作为决策目标层、阻力单因素作为备选方案层,运行 AHP 层次分析法,确定 6 类影响因素的权重,并利用 ArcGIS 中的栅格计算器叠加以上单因子阻力面生成最小累积阻力面。

表 2 东莞市水鸟生态廊道阻力面评价体系

Table 2 Resistance surface assessment system of Dongguan waterbird ecological corridor

目标层 A	阻力因子 B	权重	分级	阻力值
水鸟生态廊道阻力面评价	B_1 (土地覆盖)	0.342 6	水田、有林地、灌木林、疏木林、其他林地、河渠、湖泊、水库、滩地、沼泽地	1
			旱地、高覆盖度草地、中覆盖度草地	2
			村民用地	3
			城镇用地	4
			其他用地	5
	B_2 (公路噪音影响(即公路噪音源与水鸟的距离)/m)	0.287 2	>360	1
			270~360	2
			180~270	3
			90~180	4
			<90	5
	B_3 [夜间灯光(绝对辐射校正后辐射亮度值)]/ ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)	0.188 0	0~13 664	1
			13 664~34 281	2
			34 281~71 540	3
			71 540~182 004	4
			182 004~1 022 325	5
	B_4 (建筑高度)/m	0.078	<15	1
			15~30	2
			30~45	3
			45~60	4
			>60	5
B_5 (坡位)	0.069 1	山脊	1	
		上坡	2	
		中坡	3	
		下坡、山谷	4	
		平坡	5	
B_6 (地形起伏度)	0.034 5	>400	1	
		250~400	2	
		100~250	3	
		30~100	4	
		0~30	5	

1.4.4 生态廊道识别 生态廊道是不同源地斑块之间生态流交换的阻力值较小路径的通道,对于生态物质的流动具有重要作用^[22]。基于水鸟观测分布情况,通过聚集较多水鸟的生态源地与阻碍水鸟迁徙的阻力面作为基础数据运行识别方法,构建生态廊道可充分体现物种基因流动的价值。本研究采用的廊道识别方法是最小累积阻力模型(minimal cumulative resistance, MCR),该模型是一种探究生物从源斑块

到目的斑块运动过程中所需耗费代价的模型。生态源地与阻力面作为基础数据采用 ArcGIS 中的插件 Linkage Mapper 中的 Build Network and Map Linkages 工具计算从源地到目标源地之间的水鸟生态廊道。计算模型公式为:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=m}^{i=m} (D_{ij} \times R_i)$$

式中:MCR 指最小累积阻力值; D_{ij} 指从源 j 到景观单元 i 的空间距离; R_i 指景观单元 i 的阻力值; f_{\min}

指最小积累阻力模型运行函数代号。

1.4.5 生态廊道重要性等级划分 生态廊道重要性识别依据中心度来量化分析核心区 and 最小成本路径在维持生态廊道网络体系整体连通性方面的重要性^[27]。将每一个源地抽象为一个节点,将所有最短路径视为连接电路,并将最短路径的成本值赋给电路作为电路的电阻,给一个节点输入 1 A 电流,另外一个节点接地,成对计算,然后迭代得到电流密度,电流值越大表明该连接对维持景观网络连通性越高^[28]。本研究以识别出的生态廊道作为基础数据,使用 ArcGIS 中的插件 Linkage Mapper 中的 Centrality Mapper 工具即可生成中心性值,以此来衡量水鸟生态廊道的重要性。然后使用自然断点法将廊道等级划分重要、较为重要和一般 3 类。

1.4.6 生态障碍点识别 生态障碍点是指阻碍物种在重要生态区域之间运动的区域,移除这些区域将增加重要生态区域之间的景观连通性^[29]。生态障碍点识别是基于电路理论原理,利用电荷的随机游动特性,将电路理论与运动生态学联系在一起,进一步检测影响通道质量的重要屏障^[30]。本研究以生态源地、生态阻力面以及识别出来的生态廊道成果作为数据基础,通过由 ArcGIS 中的插件 Linkage Mapper 的 Barrier Mapper 工具识别生态障碍点。

2 结果与分析

2.1 2012 至 2022 年水鸟观测记录点位结果

水鸟观测记录是人类明确观测物种准确记录下水鸟的数量点位情况(图 1)。总的来说,4 种水鸟的分布呈现相对零散的特征,不仅分布在东莞城市区域的中心位置,还零散分布在东莞市域毗邻珠江的边界区域。对比东莞市的主要水域分布图(图 2),4 种水鸟的观测位置分布情况主要集中在面积较大的水域范围。

2.2 生态源地识别结果

综合考虑水鸟的适合生存的水域用地类型和适宜度高的生境面积,选择出 22 个适合水鸟栖息的生态源地(图 2),面积共 200.15 km²,占东莞总面积为 7.97%,生态源地遍布东莞市各个方位但呈现西多东少的情况,主要位于西部的东城、厚街镇、长安镇、沙田镇和东部的黄江镇、塘厦镇、清溪镇、谢岗镇等区域。总体来看,亟须在水鸟生态源地的栖息地空白区与局部薄弱地区适当开发有可能成为水鸟栖息停留的“踏脚石”位置,扩展成为适合水鸟栖息的生态源地,通过增加源地数量,从而形成整体分布更均匀的生态源地空间布局。

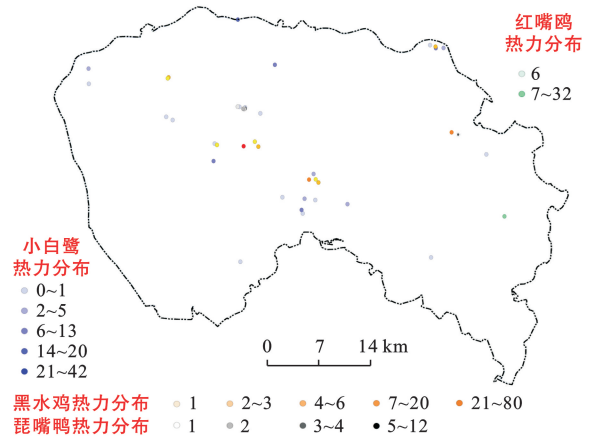


图 1 东莞市 2012—2022 年 4 种水鸟观测记录点位分布

Fig.1 Distribution of four kinds of waterfowl observation record sites at Dongguan City from 2012 to 2022

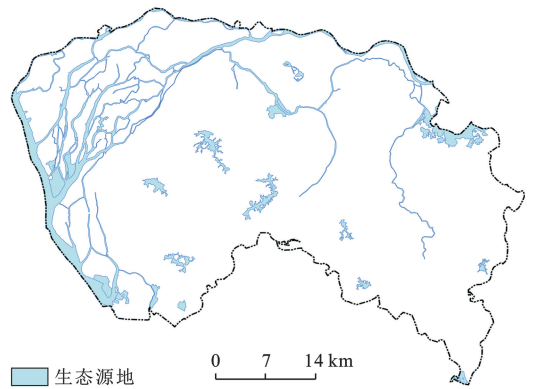


图 2 东莞市水鸟生态源地分布

Fig.2 Distribution of waterfowl ecological source at Dongguan City

2.3 单因子阻力面结果与分析

充分考虑水鸟栖息与迁徙的因素,把土地覆盖、道路噪音、夜间灯光、建筑高度、坡位、地形起伏度作为单因子的阻力因素,把各因素的阻力都划分为 5 个等级,阻力分布情况具体如图 3 所示。由图 3 可以看出,土地覆盖类型阻力面主要分布在城市主城区和城镇中人口密集的地方,东莞市水域丰富的区域呈现阻力较低的情况;道路噪音阻力面整体分布特点为密集分布在城市主城区和各个城镇区域,呈现以道路为中心向道路两旁逐渐递减的线状呈现;夜间灯光阻力集中在城市主城区跟各个城镇的居民区跟道路位置,而城区跟城镇外的林地区域灯光阻力呈现比较低的情况,阻力主要呈现形式以点线交错形式分布为主;建筑高度阻力主要集中在城市主城区,其次分布在各个城镇区域,由于自然保护地、森林公园以林地为主,此类区域建筑高度阻力没有分布,建筑阻力面呈现形式主要以点的形式分布;坡位阻力主要分布在城市主城区和各个城镇区域。东莞市自然保护地、森

林公园等地阻力值普遍偏低;地形起伏度阻力主要位于分布在地形起伏较小的城市主城区和各个城镇区域,地形起伏较大的阻力位于自然保护地、森林公园等地方,而其他区域阻力值呈现较低。

2.4 生态阻力面构建结果与分析

利用 ArcGIS 中的重分类工具得到土地覆盖、道路噪音、夜间灯光、建筑高度、坡位、地形起伏度共 6 个单因子阻力面,根据各阻力权重系数及相应阻力值进行综合加权,最后叠加出综合阻力面(图 4)。图 4 显示阻力值越高的地方颜色越深,越低则越浅。东莞市阻力面总体呈现高低分隔明显,不同区域的阻力值差距较大,且阻力高与低的比例相当。阻力高处分布

在城区与城镇人为活动密集的地区,如位于西部的莞城、南城、万江、寮步镇和东部的常平镇、塘厦镇等地方,阻力低处分布在自然保护地、森林公园和水域等地区,具体位置位于东部的黄江镇、樟木头镇、谢岗镇、清溪镇和西部的的大岭山、厚街镇、虎门镇、洪梅镇等地方。形成此情况的原因是阻力的大小受人类活动和自然条件的影响,人类活动干扰越严重、自然条件越不利阻力呈现越高,反之会越低。鉴于阻力面分布在不同区域有显著差异的特征,会导致水鸟在迁徙路径的选择上避开阻力高的区域,过度集中在某一条路径,从而导致迁徙路径的单一性和关键物种分布的不均衡性。

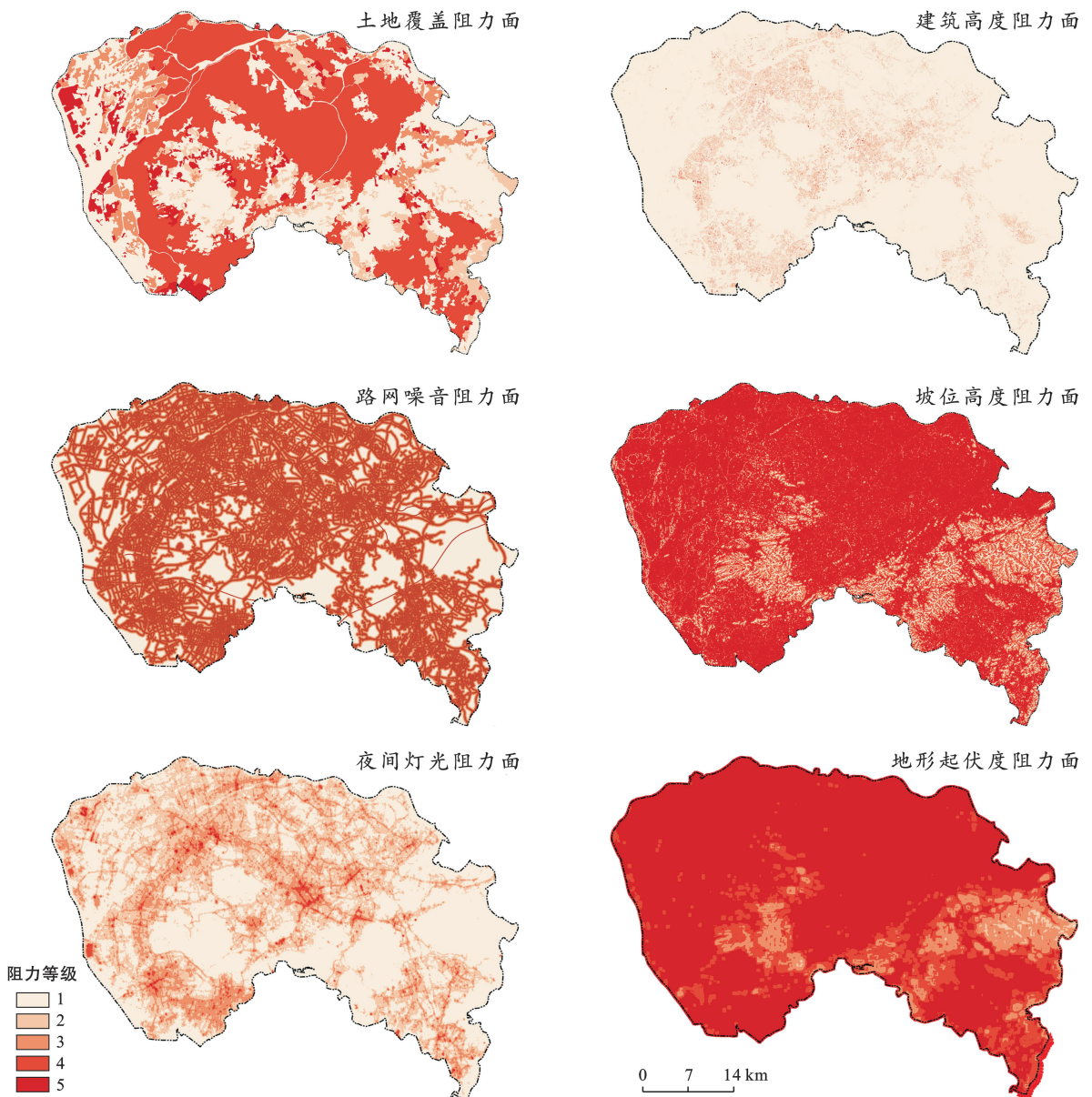


图 3 东莞市水鸟生态单因子阻力面分布

Fig.3 Distribution of single factor resistance surface of waterfowl ecology at Dongguan City

2.5 潜在生态廊道提取结果与分析

采用最小积累阻力模型(MCR),模拟水鸟来往生态源地的迁徙潜在路径,识别出以水鸟为视角的生态廊道的空间布局,实现了每个源地均有廊道被连接且形成网络回路。图 5 中生态廊道共 26 条,总长度为 259.91 km,最长的 23.863 km,最短的 3.2 km。东莞市水鸟生态廊道总体呈现分布不均,廊道分布密集与稀疏的区域差别显著,西部廊道密度略高于东部,东北部几乎没有廊道分布,是东莞市生态廊道覆盖的盲区。形成此原因是密集地区城市化程度低,景观破碎较轻、使连通性处于较高的水平,从而呈现数量多的情况,稀疏地区原因反之。因此,需结合生态廊道重要性等级划分进一步优化生态廊道整体网络布局。

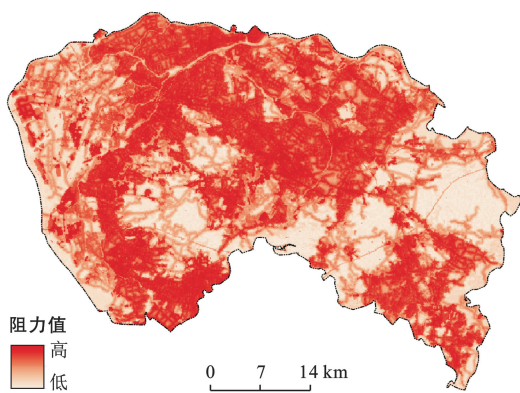


图 4 东莞市水鸟生态阻力面分布

Fig.4 Distribution of ecological resistance surface of waterbirds at Dongguan City

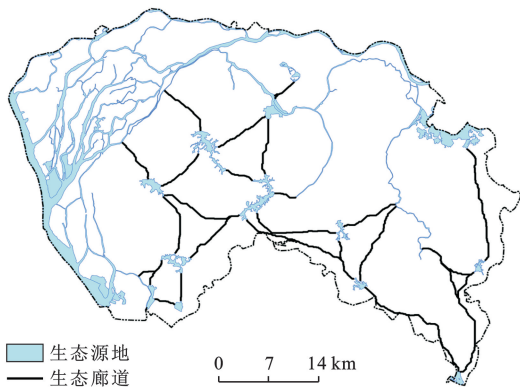


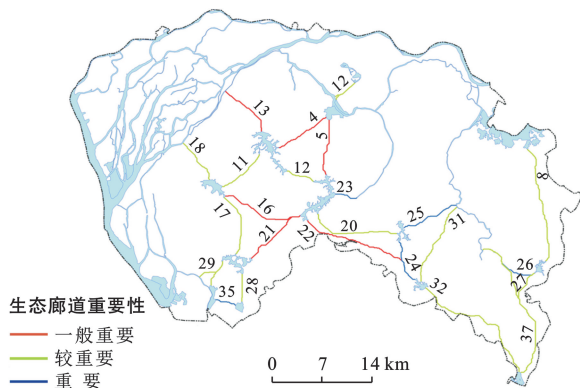
图 5 东莞市水鸟生态廊道分布

Fig.5 Distribution of waterbird ecological corridor at Dongguan City

2.6 生态廊道重要性等级划分结果与分析

采用中心度分量化分析生态廊道网络体系整体连通性方面的重要性,从而判定生态廊道的重要等级。如图 6 将生态廊道划分为 3 个等级,分别是重要

生态廊道 5 条(中心性值为 15.398 1~18.958 5),较重要生态廊道 15 条(中心性值为 10.183 2~14.102 3),一般重要生态廊道 6 条(中心性值为 5.143 68~9.467 82)。其中,重要生态廊道全部集中分布在东部,一般生态廊道较为主要集中在西部,但集中程度不及重要生态廊道明显,较重要生态廊道分布不均散布在东莞市各个方向。重要性高的廊道表明两源地间关联度高,物质交换程度高,源地之间的廊道需重点保护;重要性低的生态廊道连通性低,两源地间生物迁徙需耗费的成本高,生物交流的可能性低,源地之间的廊道作为次要保护对象。



注:图中数字表示生态廊道的序号。

图 6 东莞市水鸟生态廊道重要性示意图

Fig.6 Importance diagram at waterbird ecological corridor of Dongguan City

2.7 生态障碍点结果与分析

采用电流理论分析生态廊道中的阻力较大区域,判定为水鸟迁徙途中的障碍点。东莞市生态障碍点识别结果如图 7 所示。

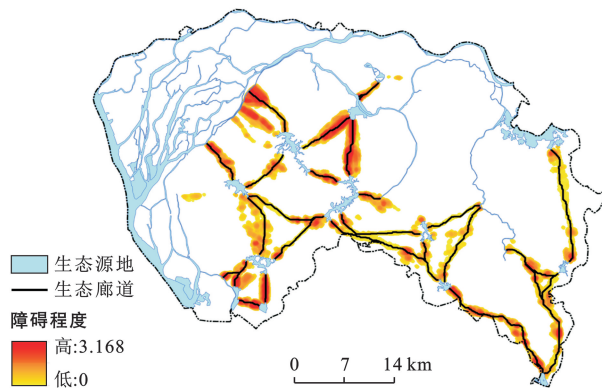


图 7 东莞市水鸟生态廊障碍点分布图

Fig.7 Distribution of obstacles at waterbird ecological corridor of Dongguan City

生态廊道上的深色区域为生态障碍点。障碍点总体分布特征是多位于建设用地分布较为集中的区

域或公路通过的位置,且多为生态廊道同生态源地连接的关键区域。具体位置在西部莞城、寮步镇、长安镇、大岭山等和东部黄江镇、谢岗镇、塘厦镇、凤岗镇等区域。从叠加的阻力单因子权重分析,障碍点主要是由城镇用地中噪音影响和夜间灯光影响的原因造成。鉴于此情况水鸟在生态廊道迁徙的过程由于障碍点的阻碍会导致缺少停歇的落脚点,尤其是在东莞西部障碍点密集分布的地方,亟需降低障碍点中心区域的人为干扰程度,如管控城镇噪音和对灯光照明的恰当地使用,从而增加水鸟迁徙的落脚点,有助于水鸟顺利迁徙。

3 讨论与结论

3.1 讨论

东莞是珠三角地区的代表城市,对该城市开展水鸟生态廊道的构建与关键节点识别,具有保护生物多样性、提升市域生态系统服务能力的实际意义。本文以水鸟作为关键物种,开展东莞市生态廊道构建与关键点识别研究。

本研究以过往研究方法为基础进行进一步优化,如在源地识别上,本研究改进林永红等^[26]选择指示物种经常聚集觅食的代表性地点作为生态源地的“源”的做法,综合考虑水鸟观测情况与水鸟适合的水域面积出发筛选生态源地;相比类似研究的结果,如在范冰冰等^[25]对海岸带水鸟迁徙的研究中,城市建成区域对水鸟耗费阻力较大,水鸟潜在迁徙路径会尽可能避开城镇区域,与本研究生态廊道在东莞城镇区域分布稀疏相一致;受到费凡等^[19]在国土空间规划背景下,构建指示物种生物多样性网络的研究中,注重建成区范围内的绿地规划布局与植物配置,提高整体的廊道密度与联系强度的启示下,提出了优化城市绿化空间、提升现有植被配置,减轻景观破碎化程度的整体连通性优化策略。

若只进行水鸟生态廊道构建,虽能将方法应用进行完整地展现,但要增加水鸟生态廊道连通性的构建目的尚不清晰,因此以实践应用为出发点需进行进一步探讨,固本研究基于研究结果表明东莞市在生态廊道空间布局、廊道连通性优化、生态障碍点方面存在相对严峻的问题,需要采取对应措施优化空间与提升质量:

(1) 生态廊道空间布局的角度。为解决整体生态廊道空间布局中景观结构破碎的问题,应该以生态优先的理念作为指导思想,首先整体优化城市绿化空间、提升现有植被配置,减轻景观破碎化的程度;其次保护廊道核心区的重要斑块和生态节点增加整体廊

道稳定性,从而构成稳健的生态廊道网络,以维持整个城市空间的生态平衡。

(2) 生态廊道连通性优化的角度。为解决不同等级生态廊道面临的情况差异,应依照不同级别的生态廊道采取不同的优化策略:重要生态廊道应该以巩固目前的连通性状态为目的,采取如从现有的基础上调整巩固适合水鸟生存、繁殖、食物的廊道环境,充分实现其基本功能,保证水鸟在该类生态廊道的迁徙次数,维持现有高水平的连通性。次要生态廊道应该以增强现有的连通水平为目的,采取如加强廊道自身本底构成情况、丰富完善廊道连接的源地生境质量等策略,增加水鸟在迁徙路径选择该类廊道的使用频率,实现较高水平的连通性向高水平连通性的有效过渡。一般重要生态廊道应该以升级现有的连通性等级为目的,采取如完善水鸟食物链供需关系等措施吸引更多种类的水鸟在该潜在路径迁徙,从而提高廊道内部的物质与能量交换频率,促使低水平连通性廊道向高水平连通性廊道升级。

(3) 生态廊道障碍点修复角度。为解决生态障碍较为密集的问题,应该依照水鸟的栖息与迁徙要求,以降低水鸟途经该廊道的阻碍程度为目的,通过减轻人类活动的强度,如在噪音影响较大的障碍点位置种植冠大荫浓乡土乔木、设置道路隔音屏障等措施减轻人类活动的强度以降低阻力单因子的阻碍程度,达成水鸟可以顺利来往生态源地的效果。

3.2 结论

面向市域关键物种的生态廊道是维系城市生态安全的基础^[31]。本研究依据东莞市人为干扰因素,综合考虑建筑高度、噪音影响、坡向、夜间灯光、土地覆盖、地形起伏度,构建生态阻力面,通过 MCR 模型建立生态源地间最小阻力廊道,用中心性分析对廊道进行重要性等级划分,识别出生态障碍点。共识别出符合水鸟栖息地条件的生态源地共 22 个,潜在的生态廊道共 26 条(其中重要生态廊道 3 条)。本研究以东莞市为实例进行生态廊道和关键节点识别研究,运用成熟的研究方法为市域生态廊道构建与关键点修复提供新的研究思路。

研究结果对优化东莞市生态发展建设具有现实意义,可指导区域生态文明建设。但在生态廊道网络构建的过程中也存在以下不足:①阻力面构建时,各项影响因子的系数及赋值往往依赖于专家打分制度,夹杂着专家的主观因素,不能客观地考虑各项影响因子对生物迁移、扩散的阻碍程度;②在生态廊道研究结果方面,较为依赖现有软件和工具进行,单凭计算机技术计算不可避免存在一定误差,因此今后的改进

方向预测会向外业试验研究与内业方法研究交融方向发展,促使研究结果更真实可靠;③基于生态廊道结果的提升建议,只是简要从生态廊道空间布局、廊道连通性优化、生态障碍点方面进行探讨,尚未结合场地实际情况展开,缺乏实践应用价值。

[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.
- [2] Chetkiewicz C L B, Clair C C, Boyce M S. Corridors for conservation: integrating pattern and process [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2006,37:317-342.
- [3] 徐婧.基于地表自然径流保护的南方丘陵地区雨水廊道规划设计[D].湖南长沙:湖南大学,2015.
- [4] 曾晓琳.生态廊道的设计理念及其功能实现[J].现代园艺,2021,44(13):102-104.
- [5] 王越,赵雯琳,刘纯青.基于 MSPA-Conefor-MCR 路径的生态网络优化及其构建:以彭泽县为例[J].江西农业大学学报,2022,44(2):504-518.
- [6] 覃彬桂,林伊琳,赵俊三,等.基于 InVEST 模型和电路理论的昆明市国土空间生态修复关键区域识别[J].中国环境科学,2022,11(4):1-12.
- [7] 闫玉玉,孙彦伟,刘敏.基于生态安全格局的上海国土空间生态修复关键区域识别与修复策略[J].应用生态学报,2022,11(4):1-12.
- [8] 张海铃,叶长盛,胡梦珊.基于生态安全格局的环鄱阳湖城市群生态修复关键区域识别及修复策略[J].水土保持研究,2022,11(4):1-10.
- [9] 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.
- [10] 滕扬,张沼,张书理,等.大兴安岭南段马鹿生境适宜性分析与生态廊道构建[J].生态学报,2022,42(14):5990-6000.
- [11] 唐强,闫红伟.基于图论的大洼县西安镇水禽生境绿道网络规划[J].广东农业科学,2012,39(9):158-161.
- [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] Mcrae B H, Beier P. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2007, 104(50): 19885-19890.
- [14] 邢璐.绿色发展新常态背景下开封生态文明城市建设研究[J].产业创新研究,2022(19):139-141.
- [15] 周文莹,张入匀,李艳朋,等.粤港澳大湾区不同类型湿地水鸟群落物种多样性和越冬水鸟栖息地重要性评价[J].湿地科学,2021,19(2):178-190.
- [16] 陈丹阳,栗梦悦.基于 MSPA-MCR 的东莞市域生态空间网络构建与管控研究[C]//中国城市规划学会编.面向高质量发展的空间治理:2021 中国城市规划年会论文集(08 城市生态规划)成都:中国建筑工业出版社,2021.
- [17] 姚焱中,李诗婷,苏美蓉,等.区县生态系统健康评价方法:以东莞市各镇区为例[J].生态学报,2021,41(15):5998-6011.
- [18] 卢薇.东莞市水环境现状分析及治理对策研究[D].广东广州:广州地球化学研究所,2005.
- [19] 费凡,吴婕,李晓晖,等.国土空间规划视野下基于指示物种“栖息—迁徙”过程的城市生物多样性网络构建与修复:以广州市为例[C]//中国城市规划学会编.面向高质量发展的空间治理—2021 中国城市规划年会论文集(08 城市生态规划).成都:中国建筑工业出版社,2021.
- [20] 陈栋,苏桑桑,汤坤.公路噪声对东洞庭湖自然保护区水鸟的影响评价[J].湖南理工学院学报,2008,21(3):78-82.
- [21] 廖峻涛,吕鸿,张峰等.昆明长水国际机场飞行区鸟类飞行高度及鸟撞风险评估[J].云南大学学报(自然科版),2018,40(1):192-200.
- [22] 沈润,史正涛,何光熊,等.基于景观破碎化指数的西双版纳生态安全格局构建与优化[J].热带地理,2022,42(8):1363-1375.
- [23] 姚简.莱子湖越冬水鸟多样性及其与环境因子的关系研究[D].安徽合肥:安徽大学,2021.
- [24] 李海韵.适用于东莞市自然保护区边界优化的人为干扰评价研究[D].广东广州:广州大学,2022.
- [25] 范冰冰,李杨帆,张雪婷等.海岸带区域陆海统筹生态安全“一张图”研究[J].生态学报,2023,43(3):1-11.
- [26] 林永红,徐鹏,廖星,等.滨海湿地水鸟飞行阻力格局及空间管制策略:以深圳市深圳湾为例[J].生态学杂志,2015,34(11):3182-3190.
- [27] 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].生态学杂志,2016,27(10):3344-3352.
- [28] 严强荣.冕宁县生态安全格局构建[D].四川成都:成都理工大学,2020.
- [29] 林美玲,莫惠萍,黄宇斌,陆东芳.基于 Linkage Mapper 的漳州市生态网络构建研究[J].林业调查规划,2022,47(3):85-94.
- [30] 韦宝婧,苏杰,胡希军,等.基于“HY-LM”的生态廊道与生态节点综合识别研究[J].生态学报,2022,42(7):2995-3009.
- [31] 徐伟振,黄思颖,耿建伟等.基于 MCR 和重力模型下的厦门市生态空间网络构建[J].西北林学院学报,2022,37(2):264-272.