

# 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

何夏萱<sup>1,2</sup>, 袁奇峰<sup>1,3</sup>, 曾悦<sup>1</sup>, 李刚<sup>1</sup>

(1.华南理工大学 建筑学院, 广东 广州 510641; 2.广西民族大学 建筑工程学院,  
广西 南宁 530006; 3.亚热带建筑与城市科学 重点实验室, 广东广州 510641)

**摘要:** [目的] 以构建广东省东莞市生态网络格局为目标, 评估生态廊道重要性以及识别生态廊道夹点、障碍点, 确定生态保护修复的关键区域, 提出相应生态修复策略, 为后续相关国土空间规划与相关专项规划的编制和调整提供科学依据。[方法] 基于传统的“生态源识别—建立阻力面—提取生态廊道”研究思路, 加入城市大数据兴趣点 (points of interest, POIs), 弥补生态源地识别与阻力面构建精度不足的问题, 再通过电路理论识别区域生态廊道与生态夹点、障碍点, 从而构建东莞市整体生态网络格局。[结果] ①共识别生态源 29 处, 占研究区面积 20.45%, 主要位于东莞市南部片区; ②共生成生态廊道 74 条, 其中潜在生态廊道 12 条, 水乡片区以及市域边缘区生态廊道需要重点关注与保护。[结论] 东莞市南部生态条件较好, 生态源地较为集中, 但城市边缘区以及北部水乡片区生态夹点与障碍点较多, 需要进行重点生态修复与维护。

**关键词:** 生态网络格局; 生态廊道; 大数据 POIs; 电路理论; 广东省东莞市

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2023)06-0237-11

**中图分类号:** TU856

**文献参数:** 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. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.06.029; He Xiaxuan, Yuan Qifeng, Zeng Yue, 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.

## Construction and Evaluation of an Ecological Network for Dongguan City Based on Urban Big Data POIs and Circuit Theory

He Xiaxuan<sup>1,2</sup>, Yuan Qifeng<sup>1,3</sup>, Zeng Yue<sup>1</sup>, Li Gang<sup>1</sup>

(1.School of Architecture, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510641, China;  
2.School of Civil Engineering and Architecture, Guangxi Minzu University, Nanning, Guangxi 530006, China;  
3.State Key Laboratory of Subtropical Building and Urban Science, Guangzhou, Guangdong 510641, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological network pattern of Dongguan City, Guangdong Province were constructed and the importance of ecological corridors was evaluated to identify ecological pinch points and barriers, determine the key areas for ecological protection and restoration, and propose corresponding ecological restoration strategies, in order to provide a scientific basis for the formulation and adjustment of subsequent related land and spatial planning and relevant special plans. [Methods] Based on the traditional research approach of “identifying ecological sources—establishing resistance surfaces—extracting ecological corridors,” urban big data points of interest (POIs) were introduced to address the problem of insufficient accuracy in ecological source identification and resistance surface construction. Circuit theory was used to identify ecological corridors, pinch points, and barriers to construct the overall ecological network pattern of

收稿日期: 2023-02-14

修回日期: 2023-04-10

资助项目: 国家社会科学基金重大项目“中国特色郊区社区社会形态研究”(21&ZD175)

第一作者: 何夏萱(1992—), 女(壮族), 广西壮族自洽区南宁市人, 博士研究生, 工程师, 主要从事城市规划、城市生态学研究工。Email: 2653124304@qq.com。

通信作者: 李刚(1991—), 男(汉族), 山西省吕梁市人, 博士, 助理研究员, 主要从事开发区转型与城市创新发展、大尺度城市设计等方面的研究。Email: mrligang1991@163.com。

Dongguan City. [Results] ① A total of 29 ecological sources were identified, accounting for 20.45% of the study area. The main ecological sources were located in the southern part of Dongguan City; ② A total of 74 ecological corridors were generated, of which 12 were potential ecological corridors. The water towns and urban edge areas need to be focused on and protected. [Conclusion] The southern part of Dongguan City was found to have better ecological conditions where the ecological source areas were concentrated. However, there were many ecological pinch points and barriers in the urban edge areas and the northern water town area that require priority for ecological restoration and maintenance.

**Keywords:** ecological network pattern; ecological corridors; big data POIs; circuit theory; Dongguan City of Guangdong Province

生态网络(ecological network)是在国土空间规划中保障生态安全格局的重要环节,生态网络的构建能够有效提升生态源地之间的连通性,增强区域生态系统的服务功能,解决生态环境问题,提高生态环境景观对于城市的正面效应,其中的生态廊道也是保证区域物种迁徙以及物质能量交流的重要通道。自 20 世纪 80 年代起,关于生态网络系统搭建以及生态安全格局构建的议题备受国内外学者的关注,Knaapen<sup>[1]</sup>和俞孔坚等<sup>[2]</sup>学者提出了生态格局构建“生态源地识别—生态阻力面搭建—生态廊道提取”的基本思路。在生态源地的识别方面,朱捷等<sup>[3]</sup>学者采用人工模拟景观法对于生境质量较高的区域进行识别,李晟等<sup>[4]</sup>学者利用生态系统服务功能叠加的方法对于源地进行识别,通常包括土壤保持、水源涵养等影响因子,目前较为主流的使用形态空间格局分析法(MSPA)<sup>[5-7]</sup>,对不同土地利用类型斑块的空间连接特质进行分析,从而提取生态源地。在生态廊道的提取方面,吴昌广等<sup>[8-9]</sup>学者针对动物种群的迁徙行为进行了实证研究,并通过最小累计阻力模型(minimum cumulative resistance, MCR)模拟了从“生态源”经过不同阻力值的景观类型所消耗的成本构成的最小成本路径,该模型被广泛用于生态节点连接和生态廊道提取,Rea 等<sup>[10]</sup>学者将物理学中的电流理论用来模拟生物种群的迁徙路径和扩散的途径,相较于最小累计阻力模型(MCR),电路模型能够更为简洁地识别生态廊道,避免冗余重复的廊道,但也忽略了动物种群对于之前迁徙路径的记忆等影响因素。随着城市大数据的兴起和应用,许多学者<sup>[11-12]</sup>也将城市大数据运用于人地关系识别以及生态网络构建等领域。本研究在原有生态网络构建的思路基础上,加入城市大数据以提高生态网络构建的精准度,同时采用电路理论对生态源地之间的联系进行模拟,对高精度识别市域生态源地,精准构建生态安全网络格局具有重要意义。

本次研究拟选取广东省东莞市作为研究区域。

东莞市作为珠三角区域经济高速增长的典型城市,近年来建设用地急剧扩张,人地矛盾冲突剧烈,生态空间受到挤压,原有的生态空间被工业厂房大量占用,城市生态斑块被孤立,是城市高速建设导致环境污染的代表性城市。目前,在城市由增量扩张转向存量提升的背景下,东莞市生态源地的保护与生态安全网络的构建成为了近期国土空间规划的重点议题,故本次研究拟通过分析东莞市现有土地利用情况,提取其中的生态斑块,建立生态廊道联系,找出生态廊道的夹点与障碍点,提出东莞市生态安全网络格局构建的建议,并有针对性地提出东莞市生态修复策略,以期为后续相关国土空间规划与相关专项规划的编制和调整提供科学依据。

## 1 研究范围与数据来源

### 1.1 研究范围

本次研究区域为东莞市域,隶属于广东省,介于东经 113°31′—114°15′,北纬 22°39′—23°09′之间,属亚热带季风气候,总面积约为  $2.54 \times 10^7 \text{ km}^2$ ,常住人口为 1 053.68 万人,2022 年城镇化率为 92.24%。东莞市生态资源充足,拥有多样化的地质地貌,是珠三角片区重要的生态功能区。东莞市是珠三角片区重要的中心城市,城镇化起步较早,拥有制造业、创新产业、新型工业等一系列重要产业,是粤港澳大湾区重要的产业布局战略节点,也是珠三角生态绿色发展的核心片区。

东莞市的高速发展是中国沿海地带城镇化和快速工业化的缩影。在 2000—2021 年间,东莞市的 GDP 从 800 亿元增长到 10 900 亿元,建设用地面积从 548.15  $\text{km}^2$  增长至 1 135  $\text{km}^2$ ,城镇化率从 60.04% 增长至 92.24%。东莞市建设初期,地区以经济高速发展为导向,大量林地、草地、水田被建设用地快速蚕食,也引发了后续一系列的区域生态环境问题,如水源污染,河流水质恶化,土壤污染等。本次研究旨在通过识别东莞市重要生态源地,串联山水林田湖草

沙,构建生态安全网络,为东莞市国土空间规划、生态修复类相关规划提供一定的参考。

1.2 数据来源

本次研究中使用的数据包括东莞市土地利用与地形数据,东莞市道路与交通数据和城市 POIs (points of interest)大数据(表 1),其中 POIs 数据包

括 2022 年 10 月在百度与高德爬取的东莞市域范围内的公园广场、风景名胜和公司企业与生态环境有关的 3 类数据,并进行清洗、降噪等预处理。为保证数据的精确性和有效性,本次研究统一采用 WGS\_1984 地理坐标系,WGS\_1984\_UTM\_Zone\_50 N 投影坐标系,栅格数据统一重采样为 30 m×30 m 精度。

表 1 研究使用的数据名称、精度和来源  
Table 1 Data names, accuracy and sources used in this research

	数据名称	年份	类型	研究精度/m <sup>2</sup>	数据来源
基本地理信息数据	LUCC 东莞市土地利用数据	2022	栅格数据	30×30	中国科学院地理与资源研究所( <a href="https://www.resdc.cn/DOI/">https://www.resdc.cn/DOI/</a> )
	东莞市数字高程模型(DEM)	2022	栅格数据	30×30	地理空间数据云( <a href="http://www.giscloud.cn">www.giscloud.cn</a> )
交通信息数据	高速公路	2022	矢量数据		Open Street Map ( <a href="https://www.openstreetmap.org">https://www.openstreetmap.org</a> )
	城市快速路	2022	矢量数据		
	国道/省道	2022	矢量数据		
	铁路	2022	矢量数据		
城市 POIs 大数据	公园广场	2022	矢量数据		百度地图( <a href="https://map.baidu.com/">https://map.baidu.com/</a> ) 高德地图( <a href="https://www.amap.com/">https://www.amap.com/</a> )
	公司企业	2022	矢量数据		
	风景名胜	2022	矢量数据		

2 研究方法

2.1 研究方法概述

传统的生态网络格局通常是以省域范围或者跨省域范围进行研究,对于市域尺度的研究较少。由于原本的生态网络格局属于大范围研究,所采用的数据精度度在市域尺度的生态网络格局构建中存在误差,在生态源识别以及生态廊道的建构中通常存在数据遗漏的情况。

本次研究拟通过城市 POIs 大数据对土地利用数据精度进行补充,进而提升生态格局构建的整体精确度,技术路线主要分为 5 个部分(图 1)。①采用形态学空间格局分析(MSPA)进行生态源地识别,提取区域生态源地;②采用层次分析法以及 ArcGIS 叠加分析进行区域阻力面构建;③采用电路理论<sup>[13-15]</sup>进行生态廊道的构建,构建区域生态网络,并识别区域的生态障碍点和夹点;④通过电路理论计算生态源地和生态廊道的优先级,进行生态网络评估;⑤提出相应的生态修复策略。

2.2 生态源地识别

生态源地是构建生态网络的重要基础,也是维持地区生态安全格局的重要组成部分。传统的生态源地识别方法包括 3 种方式:①直接以林地或生态保护区作为生态源地<sup>[16]</sup>;②通过形态空间学格局分析

(MSPA)进行分析<sup>[17]</sup>,从而确定生态源地;③通过生态敏感性、生态服务功能等属性进行叠加分析,进而确定生态源地。本次生态源地识别以形态空间学格局分析(MSPA)为主,识别区域不仅包括土地利用类型中的林地、草地、坑塘水库等,还加入了城市 POIs 大数据中的公园、风景名胜等内容,提升 MSPA 对于小区域范围内生态源地图像识别的精准度。

进行 MSPA 分析的前景斑块主要分为两个部分:①对东莞市土地利用数据(LUCC 分类)中的林地、草地、坑塘水库进行提取,作为前景斑块,其他地类为背景斑块。②创建 30 m×30 m 的渔网单元,将公园、生态名胜等 POIs 等与渔网进行数据关联,并将公园、风景名胜所在单元其定义为生态单元,并将其作为前景斑块,其他地类作为背景斑块。将以上两种前景斑块进行合并,导入 Guidos Tool Box 进行分析,提取出核心区、边缘区等 7 类景观类型,并对各类景观类型进行统计分析,提取面积在 90 hm<sup>2</sup> 以上的核心区导入 Conefor 2.6 软件进行连通性计算,将其中具有良好景观连通性(dPc>1)的核心区斑块作为生态源地。在识别生态源地之后,通过 Linkage Mapper 2.0 中的 Centrality Mapper 工具对生态源地的中心度与辐射度进行进一步识别,生态源地连接的生态廊道越多,其中心度与辐射度则越高,代表着该生态源地的越为重要。

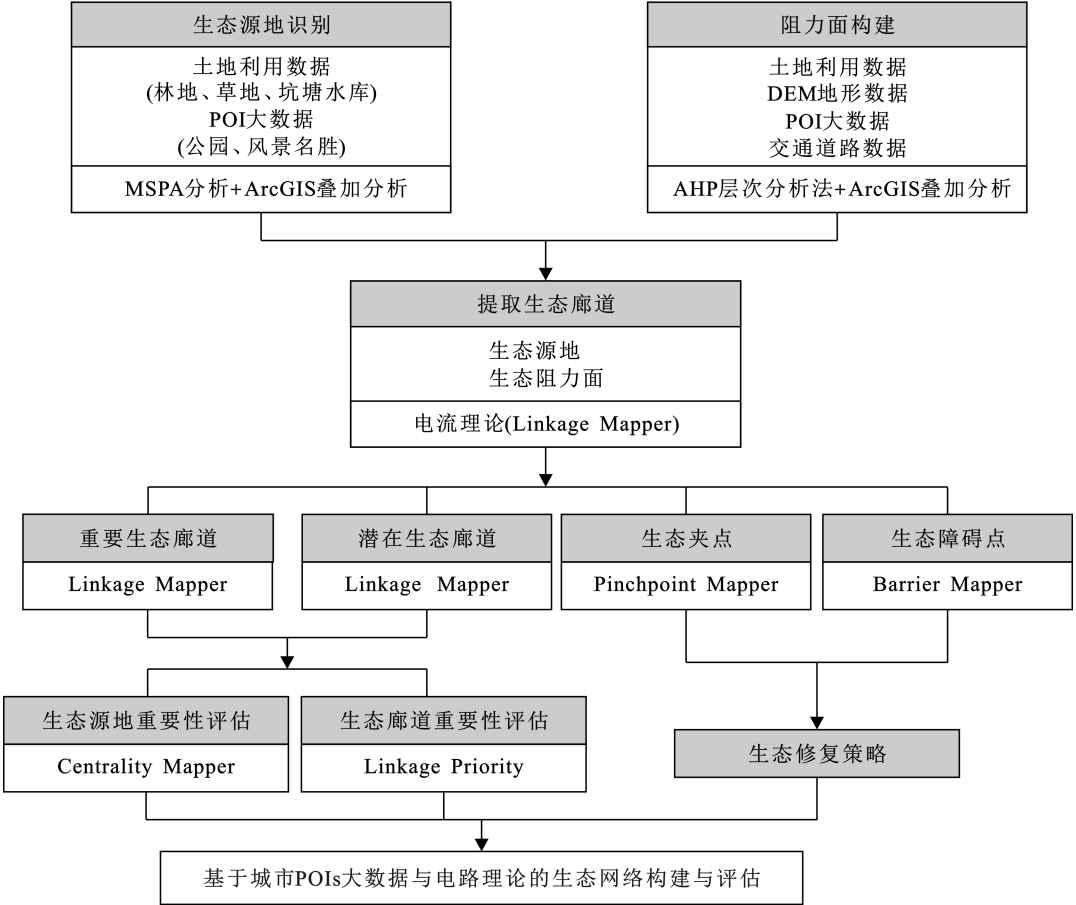


图 1 生态网络构建与评估框架

Fig.1 Ecological network construction and evaluation framework

2.3 生态阻力面构建

生物由于生存环境的改变会在生态源地之间进行迁徙或进行物质的交换,当生态源地的距离逐渐增大时,生物将面临更为多样的生态阻力。东莞市河网密布,位于珠江三角洲河口区域的生态敏感处,且地处广东省经济发展的核心粤港澳大湾区,面临着生态修复与经济发展的双重压力。因此,在进行东莞市阻力面构建时,除了要考虑传统的地形高程、坡度、坡向的因素外,还要考虑东莞市交通运输线路对于生态区域的切割,在此基础上,考虑到东莞作为珠三角的制造业基地,其工厂的建造和使用也会对生态廊道产生影响,所以在研究中采用城市大数据中的 POIs 工厂企业以及公园景点数据进行阻力面的补充分析,以提升精准度。综上所述,在进行东莞市生态阻力面构建时,总共采用 3 种类型的影响因素:地形与用地、道路交通、城市 POIs 大数据(图 2)。其中,地形与用地因素包含 3 个阻力因子,各因子分为 5 级;道路交通等线性要素通过 ArcGIS 进行多环缓冲区分析,近处阻力值较高,远处较低;本次研究共采集企业工厂 POIs 数据 14 675 条,公园景点 POIs 数据 944 条,整体数

据量较大,故而 POIs 大数据则通过 ArcGIS 进行核密度分析,结果进行分层赋值,企业工厂核密度越高则阻力值越高,公园景点反之。最后通过层次分析法(AHP)确定阻力因子的权重(表 2),通过一致性检验后,在 ArcGIS 中通过加权总计构建生态综合阻力面,计算公式为:

$$A_i = \sum (B_i \cdot F_i) \quad (i=1,2,3\cdots n) \quad (1)$$

式中: $A_i$  是第  $i$  个景观单元到源单元的累积耗费值; $B_i$  是第  $i$  个景观单元到源单元的实地距离; $F_i$  是空间上某一景观单元  $i$  的阻力值; $n$  是基本景观单元总数。

2.4 基于电路理论的生态廊道提取

生态廊道是连接生态源地的重要通道,是生物迁徙、交流的重要空间载体。本次研究在提取生态廊道时使用电路理论作为基准模型,该模型区别于最小累积阻力模型(MCR 模型)的地方在于,假设物种会在生态源地之间随机游走(类似于电流),而不是像 MCR 模型中的会选择一条最优线路,这较为符合生物对于将要穿越未知景观空间的行为,其对于生态廊道重要性的识别也较为直观<sup>[18]</sup>。



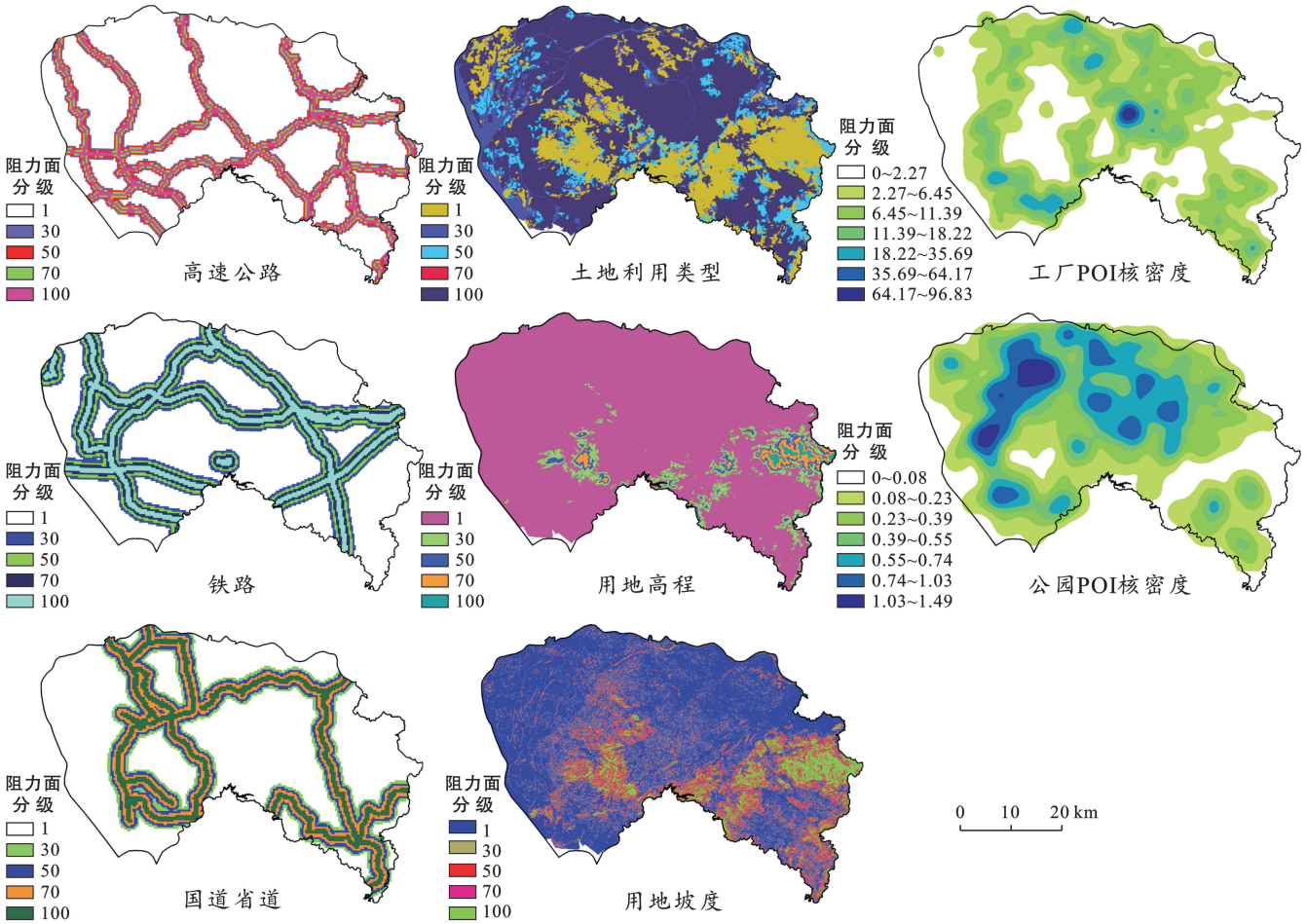


图 2 多因素权重生态阻力基面  
Fig.2 Multi-factor weighted ecological resistance surfaces

表 2 生态阻力影响因素及权重  
Table 2 Ecological resistance elements and its assignment

影响因素类型	阻力因子	分级指标	阻力值	权重	影响因素类型	阻力因子	分级指标	阻力值	权重
地形与用地	DEM 高程/m	100	1	0.069	道路交通	省道国道/m	>2 000	1	0.162
		100~200	30				1 500~2 000	30	
		200~300	50				1 000~1 500	50	
		300~500	70				500~1 000	70	
		>500	100				<500	100	
	坡度/(°)	<5	1	0.069		铁路/m	>2 000	1	0.162
		5~10	30				1 500~2 000	30	
		10~15	50				1 000~1 500	50	
		15~20	70				500~1 000	70	
		>20	100				<500	100	
	土地利用类型	林地、草地	1	0.092		高速公路/m	>1 000	1	0.324
		水体	30				800~1 000	30	
		未利用地、耕地	50				500~800	50	
		裸露地表	70				300~500	70	
		建设用地	100				<300	100	
POIs 大数据	公园景点	1.03~1.49	1	0.037	POIs 大数据	工厂企业	<2.27	1	0.086
		0.74~1.03	30				2.27~6.45	30	
		0.55~0.74	50				6.45~11.39	50	
		0.39~0.55	70				11.39~18.22	70	
		0.23~0.39	100				18.22~35.69	100	
		0.08~0.23	300				35.69~64.17	300	
		0~0.08	500				64.17~96.83	500	

本次生态廊道的提取是通过 ArcGIS 插件 Linkage Mapper 2.0 来进行最小成本路径 (least-cost paths, LCP) 的模拟, 主要分为 5 个步骤: ①确定相邻(相邻)的生态源地; ②根据相邻源地和距离数据构建生态源地联系网络; ③计算成本加权距离 (cost-weighted distances, CWD) 和最小成本路径 (least-cost paths, LCP); ④消除生态源地之间的重复联系, 选择最便捷路线; ⑤计算成本最低的生态廊道, 并将其合成为一个图层。计算公式为:

$$NLCC_{AB}=CWD_A+CWD_B-LCD_{AB} \quad (2)$$

式中:NLCC<sub>AB</sub>是连接生态源地 A 和 B 的标准化最低成本走廊; CWD<sub>A</sub> 是与生态源地 A 的成本加权距离; CWD<sub>B</sub> 是与生态源地 B 的成本加权的距离; LCD<sub>AB</sub>是沿着连接生态源地 A 和 B 的最低成本路径的累积成本加权距离。

但由于 Linkage Mapper 2.0 只能联系位于研究区内的生态源地, 而河流一般呈大尺度网状分布, 其联系的生态源地通常不位于研究区范围内, 因此联系生态源地的计算方法对于识别区域河流生态廊道的存在不足, 为完善现有生态廊道识别机制, 通过现状河流宽度、周边植被情况、周边绿道建设情况等 3 个因子对河流生态廊道进行识别。研究认为宽度大于 300 m, 周边有块状绿地分布且有绿道建设工程的河流可视为生态廊道。

2.5 生态夹点识别

在通过 Linkage Mapper 2.0 识别最小成本路径(LCP)的基础上, 通过 Pinchpoint Mapper 调用 Circuitscape 4.0 程序来进一步识别区域中的生态“夹点”, 即构成整体生态网络的关键“瓶颈”区域, 也是生态网络中需要重点修复和维护的片区。生态“夹点”的运算方式为: 给区域内的生态源地注入电流(每次 1 A), 进行迭代运算, 计算通过每个像元的累计电流值, 电流值较大的区域即可识别为生态“夹点”, 即对构建景观格局具有关键影响力的重要节点。在计算中有两种生态“夹点”计算方式, 一种是相邻生态源地“夹点”(adjacent pair pinch points)计算, 一种是全局生态源地“夹点”(all to one)计算, 前者仅能识别相邻两个生态源地之间生态廊道的“夹点”, 对维持整体生态网络意义不大, 而后者识别出来的生态“夹点”则是维持整体生态网络的重要区域, 故而本次研究使用全局生态源地“夹点”(all to one)的计算方法, 生态夹点的识别区域设定为生态廊道周边 500 m 的范围。

2.6 生态障碍点识别

生态障碍点即为生态廊道中阻力值较大的区域, 也是生态网络格局构建中需要重点进行生态修复或维护的区域节点。在本次研究中, 通过 Linkage Mapper 2.0

中的 Barrier Mapper 进行障碍点的识别, 其计算逻辑为: 给区域内的生态源地注入电流(每次 1 A), 进行迭代运算, 电流通过生态廊道进行流通, 在廊道的某些地方遇到电阻值较大的片区, 导致电流无法通过或者电流较低, 即随机移动行为在该片区无法进行, 则该片区为生态障碍点。本次研究中生态障碍点识别的最小辐射范围 (minimum detection radius) 为 200 m, 最大辐射范围 (maximum detection radius) 为 1 200 m, 间隔 (radius step value) 设置为 200 m。

3 结果与分析

3.1 重要生态源地识别及评估

3.1.1 生态源地识别结果 通过形态空间学格局分析(MSPA)发现东莞市具有较好的生态基质条件, 研究提取出前景斑块面积为 87 721.17 hm<sup>2</sup>, 其中核心区面积共为 74 993.94 hm<sup>2</sup>, 占前景要素面积 85.49%, 占研究区面积 29.49%(表 3)。

表 3 30 m×30 m 精度 MSPA 分析结果分类统计  
Table 3 Statistical table for classification of 30 m×30 m precision landscape types

景观类型	景观面积/ hm <sup>2</sup>	占前景要素 面积/%	占研究区 面积比例/%
核心区	74 993.94	85.49	29.49
桥接区	611.91	0.70	0.24
边缘区	9 456.3	10.78	3.72
支线	1 155.42	1.32	0.45
环道	63.63	0.07	0.03
孤岛	58.23	0.07	0.02
空隙	1 254.06	1.43	0.49

核心区大面积斑块分布于研究区南部, 北部的生态斑块主要沿东江三角洲水网分布, 其整合度较低, 略有破碎, 中部主要为东莞中心城区, 建设用地面积较大, 人为活动因素影响大, 核心区斑块较少, 因而形成了东莞市中部的“生态空白地带”。除核心区外, 边缘区占前景要素面积比例最大, 为 10.78%, 占研究区比例为 3.72%, 边缘区主要为核心区与外部区域的缓冲地带, 起到维持核心区生态稳定的作用, 边缘区主要集中在南部片区, 将核心区大面积斑块与城区的建设用地斑块相隔离; 其余分布于东江三角洲片区, 由于该区域水系密集, 核心区斑块较为破碎, 产生较多的边缘区。孤岛代表生态斑块的破碎度, 孤岛总面积为 63.63 hm<sup>2</sup>, 仅占前景要素面积 0.07%, 意味着该研究区生态斑块整体性较强。桥接区与环道是核心区之间用来连接的路径, 支线则代表核心区与其他区域的连通廊道, 空隙是核心区中的空白区域, 这四者所占前景要素面积比例分别为 0.7%, 0.07%, 1.32%和

1.43%。整体数值较小,代表核心区之间相互较为独立,且核心区较为完整,中间所含空隙不多。

本次研究根据形态空间学格局分析(MSPA)所识别出来的核心区面积大小以及连通性进行筛选,共筛选出 29 个符合要求的生态源地,生态源地总面积为 52 010 hm<sup>2</sup>,占研究区面积比例为 20.45%,其主要位于东莞市南部片区,部分零散斑块位于北部东江三角洲河网片区(图 3,表 4)。其中东莞南部片区的 16~22 号生态源地斑块面积较大,包含东莞市旗岭森林公园、大岭山森林公园、清溪大王山森林公园、南门山森林公园等重要生态景点,是构成东莞市域生态网络的重要组成部分。

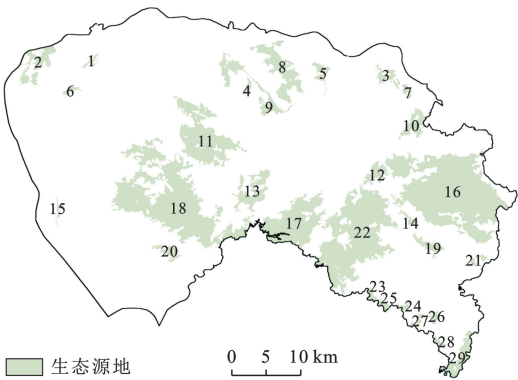


图 3 东莞市生态源地分布

Fig.3 Distribution of ecological sources in Dongguan City

表 4 生态源地编号及包含景点

Table 4 Ecological sources number and relevant scenic spots

生态源地编号	景 点	生态源地编号	景 点
1	中堂水道—芙蓉沙公园	15	穗丰年湿地公园
2	华阳湖湿地公园	16	银瓶山—旗岭森林公园—雁田水库
3	东丫湖水库	17	清泉水库—水流石水库—罗田水库—枫树坑水库—白鸽坡水库—螳螂地水库
4	交椅岭	18	大岭山森林公园
5	东莞下沙湿地公园	19	鲤鱼塘水库
6	水乡湿地公园	20	芦花坑水库—五点梅水库
7	虎尾岭	21	清溪大王山森林公园—南门山森林公园
8	燕岭湿地—月湖	22	宝山森林公园
9	寒溪水	23	塘下福地公园
10	石马河上游	24	塘狗岭
11	同沙生态公园	25	观澜湖
12	焦坑水库—百果洞公园	26	凤岗人民公园
13	松木山水库—松山湖景区	27	樟木山
14	石 山	28	凤凰山国家矿山公园
		29	新田公园—白鸽湖文化公园

3.1.2 生态源地重要性评估结果 通过 Linkage Mapper 2.0 的 Centrality Mapper 工具对生态源地的中心度数值(central)以及辐射度数值(ratio)进行归一化评估,标准化数值大于 0.5 则视为高值,将生态源地根据中心性与连通性分为 4 种类型(图 4),即:高中心高辐射、高中心低辐射、低中心低辐射、低中心高辐射这 4 种类型。结果表明,东莞市内具有高中心高辐射度的生态源地仅有 4 个,分别是 16,17,18,22 号源地,斑块位于东莞市域南部,面积较大,包括旗岭森林公园、大岭山森林公园、宝山森林公园等重要森林公园,以及清泉水库、水流石水库等重要水库区域,高中心高辐射度的生态源地对于提升城市整体生态网络质量有着关键的作用,也是未来生态修复与维护的重要区域,在生态网络中占据重要位置。11 号生态源地为低重心高辐射度类型,其放射出的生态廊道数量较多,但对于生态网络而言,11 号生态源地并未处于

中心区域,其余生态源地均为低中心低辐射度生态源地,并不存在高中心低辐射度生态源地。

3.2 生态廊道构建及特征分析

3.2.1 生态廊道空间格局分布 在识别生态源地以及构建形成综合生态阻力面(图 5)后,通过 Linkage Mapper 2.0 以电流理论为基础对加权成本距离(CWD)以及最小成本通道(LCP)进行模拟计算,共生成 57 条生态廊道以及 12 条潜在生态廊道,再通过综合指标法确定 5 条河流生态廊道,共计 74 条生态廊道(图 6),总长 607 km,受到大面积生态源地在东莞南部片区集中分布的影响,生态廊道也出现了集聚性,且多呈现东西向联系:南部片区以银瓶山、旗岭森林公园、大岭山森林公园、清泉水库等大面积绿地及水库为中心,向外辐射 20 余条生态廊道;北部片区以华阳湖湿地公园为核心向外辐射 10 余条生态廊道;东南部生态廊道呈现网状形式,串联较为零散的生态



斑块;河流生态廊道南北串联东莞市域范围内的生态源地。东西向的陆地生态廊道与南北向的河流生态廊道交织构成东莞市域整体的网状生态网络格局。潜在生态廊道则主要呈现环状分布,主要连接东莞下

沙湿地公园、松山湖景区、宝山森林公园、旗岭森林公园等生态源地,潜在生态廊道的建立与维护能够有效提升区域生态网络的整体性能,是建设过程中需要重点避让的生态空间。

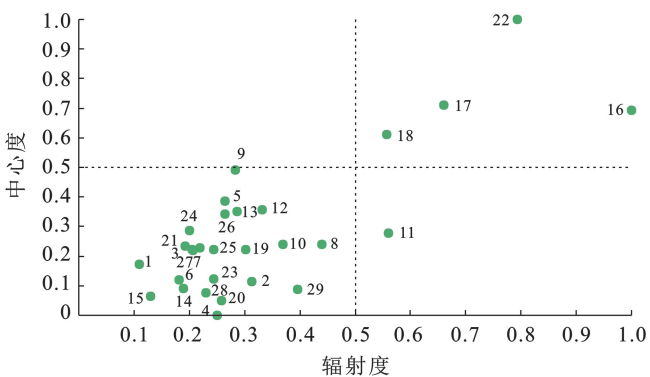
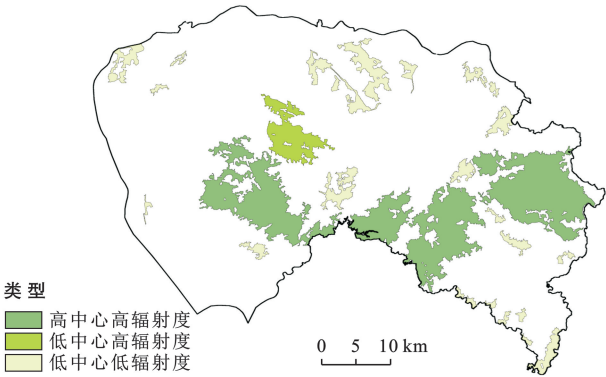


图 4 东莞市生态源地重要性评估

Fig.4 Importance assessment of ecological sources in Dongguan City

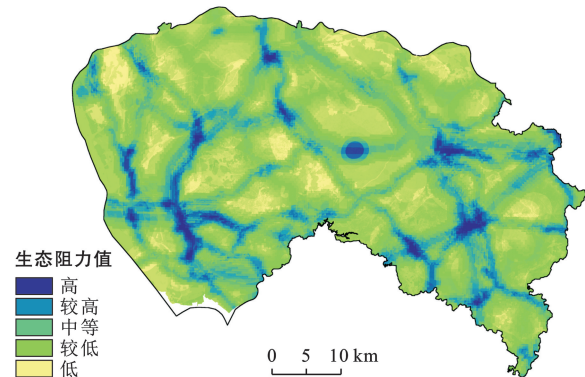


图 5 东莞市综合生态阻力面

Fig.5 Comprehensive ecological resistance surface in Dongguan City

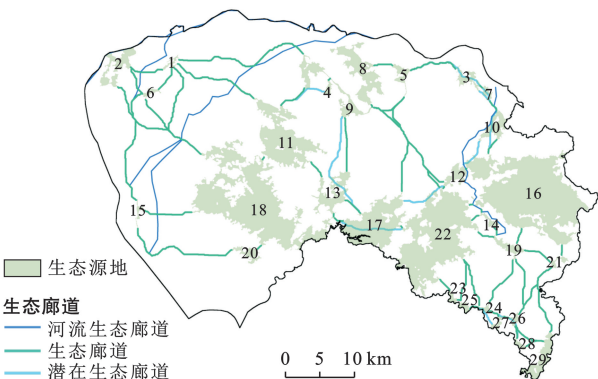


图 6 东莞市生态廊道布局

Fig.6 Ecological corridors layout in Dongguan City

3.2.2 生态廊道重要性评估 生态廊道重要性评估不包括潜在生态廊道与河流生态廊道,针对联系生态源地之间的陆地生态廊道进行评价。该评价综合了生态廊道中心度与生态廊道辐射度这两个数值,与生态源地的分类相似,同样将生态廊道的中心度与辐射

度数值进行归一化。通过经验总结、现场调研等综合评判,将大于 0.3 的数值视为高值,并分为 4 个象限(低中心度低辐射度、高中心度高辐射度、低中心度高辐射度,高中心度低辐射度),其中位于高中心度高辐射度象限的生态廊道最为重要,低中心度高辐射度,高中心度低辐射度次之,中心度低辐射度最次。结果表明,重要性最高的生态廊道主要位于东莞市域东南片区,共有 6 条(图 7),主要以环状联系大岭山森林公园、清水水库、宝山森林公园等重要生态源地,部分重要性最高的生态廊道位于华阳湖湿地公园附近,连接华阳湖与大岭山森林公园、水乡湿地公园等生态源地;一般重要的生态廊道共有 28 条,主要位于南部大面积生态源地周边,以及西北部华阳湖湿地公园周边;重要性较低的生态廊道共有 23 条,主要位于东江入海口片区以及水乡片区。

3.3 生态修复区域识别与相关策略

3.3.1 生态修复区域识别—生态夹点空间 通过 Pinchpoint Mapper 调用 Circuitscape 4.0 对东莞市域的生态“夹点”进行识别,生态夹点在电路理论中为电流强度较高的节点,意味着该区域的生物迁徙量以及物质能量流动性较高,也是区域中需要重点生态修复与维系的关键节点。研究结果表明,生态“夹点”共 12 处(图 8),其空间普遍分布于东莞市域边缘处,主要集中于市域东南片区以及西北片区。东南片区夹点集中在 13 号生态源地(松木山水库、松山湖景区)和 17 号生态源地(清水水库、水流石水库、罗田水库)之间,以及南部第 19—29 号生态源地所围合的区域。西北片区夹点集中在 2 号生态源地(华阳湖湿地公



园)与周边 18,11 以及 9 号生态源地联系的生态廊道周边区域。但目前生态“夹点”区域多为城镇建设用

地,部分区域还存在污染型工业,在后续生态修复过

程中,需要对存在土地污染、水源污染的“夹点”区域进行重点的土壤和水环境修复,以维持区域整体的生态网络畅通。

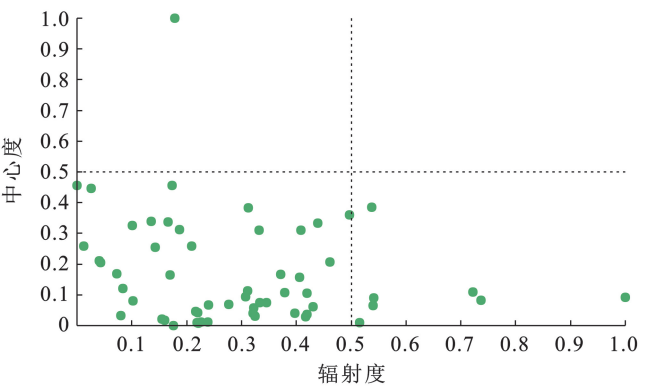
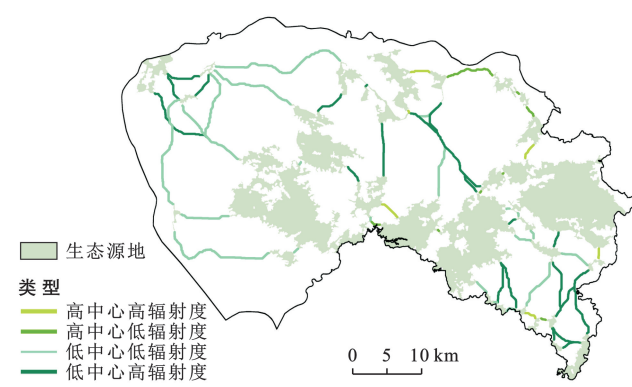


图 7 东莞市生态廊道重要性评估

Fig.7 Ecological corridors importance assessment chart in Dongguan City

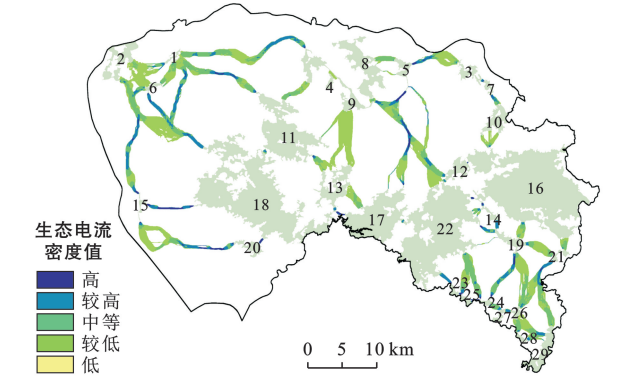


图 8 东莞市生态夹点空间分布

Fig.8 Spatial distribution of ecological pinch points in Dongguan City

3.3.2 生态修复区域识别—生态障碍点空间 通过 Barrier Mapper 对东莞市域的生态障碍点进行识别,障碍点为动物迁徙以及物质流动遇到较大阻碍的节点,需要进行重点生态维护及修复,本次研究对生态廊道周边进行了 200,400,600 和 800 m 缓冲区内的生态障碍点分析(图 9)。研究表明,生态障碍点共 24 处,主要集中在城市建设用地片区,是人群活动较为密集的区域,其中凤岗镇、塘厦镇、虎门镇、厚街镇以及中堂镇生态障碍点较为密集。结合实地调研分析,发现识别出的生态障碍点目前土地利用方式多为港口码头、工业用地以及仓储用地。该类型土地对于生态廊道的流动性障碍较大,也是东莞市域范围内需要重点进行生态修复的区域,在后续的相关规划中,对生态障碍点区域的土地利用方式进行调整,使其在满足城市功能需求的同时,也能减少对于生态系统物质流通的障碍。

3.3.3 生态修复相关策略 根据生态源地以及生态廊道重要性评估结果,综合生态“夹点”的空间分布,目前需要重点修复的生态夹点共有 6 处,主要位于华阳湖湿地公园、松山湖景区以及清泉水库周边,主要的土地利用类型包括耕地、水利设施以及建设用地等。本次研究针对生态“夹点”提出的生态修复策略有 3 点: ①在建设用地区域加入景观绿化以及生态斑块,增加物质流动的踏足点; ②发展地域特色的林业经济、农业特色经济等,增加片区的绿化覆盖率; ③建立河流保护区、重点生态保护区,对生态“夹点”周边地区以及生态维护或划定保护区,提升夹点区域的生态环境。

目前需要重点修复的生态障碍点共有 12 处,主要位于中堂镇、凤岗镇以及东莞滨海湾片区,主要是针对低效率工业用地以及仓储用地,主要生态策略包括: ①土壤修复。采用生物或物理方法,对于污染严重的土地进行处理,在处理过后的土地上种植植被,利用植物的固定及萃取能力降低土壤污染; ②水岸修复。对水岸周边的硬质驳岸进行生态改造,种植本土树种,提升水岸生态环境质量; ③退化生态斑块修复。采用生态应急补水工程,对退化的绿洲等生态斑块补充水量,满足其最小生态需水量,从而促进其生态功能的恢复。

综上所述,本次研究识别出的生态夹点与生态障碍点是未来需要进行重点生态修复的区域,结合前文的生态廊道重要性等级,规划后续生态修复工程的时序,对人—地—环境重点冲突区域进行近期优先修复,其余次要部分进行远期修复,从而达到逐步构建生态安全网络格局的最终目的。

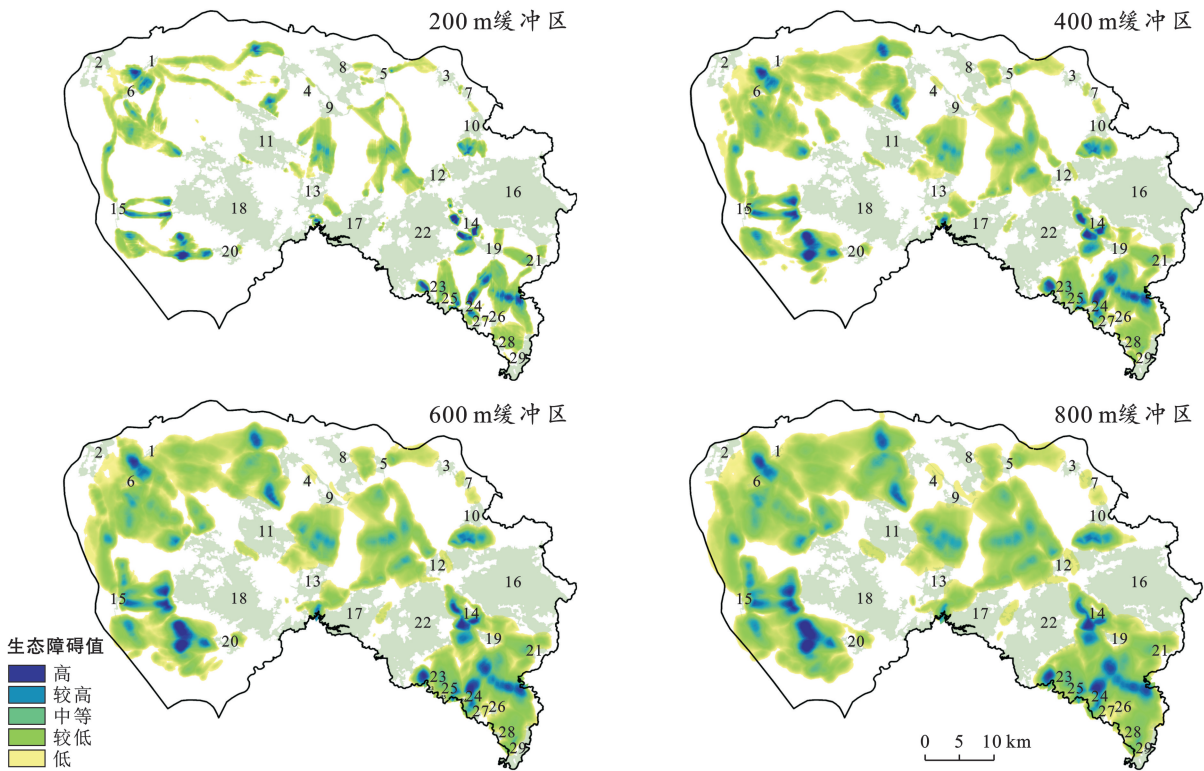


图 9 东莞市生态障碍点空间分布

Fig.9 Spatial distribution of ecological barriers in Dongguan City

4 讨论与结论

本研究结果显示,东莞市生态网络共由 29 个生态源地与 74 条生态廊道组成,生态源地主要分布在东莞市域中南部片区,生态廊道则主要由南部 4 个大型生态斑块以及北部华阳湖湿地公园生态斑块向外放射形成,并在城市中部片区形成较强的联系。本次研究对生态源地和生态廊道的重要性都进行了评估,并得到 4 个重要生态源地以及 6 条重要生态廊道,总结得到 3 点结论:①重要生态源地中有 68.2%的土地利用类型为水库,其余为林地及草地,且生态源地包含了市域范围内 81.2%的水体,体现出水体对于生态网络构建的重要性;②重要性较高的生态廊道位于东莞市域南部片区大岭山森林公园、清泉水库、旗岭森林公园周边呈环状分布,应针对该重点区域进行景观维护,建立生态保护区,以增加整体生态系统的稳定性;③重要性较低的生态廊道主要分布于东莞北部水乡片区,由华阳湖湿地公园生态源地向外放射,由于水乡片区生态斑块较为破碎,建设用地比例较大,部分城镇建设用地与水系缺少缓冲区,生态廊道周边绿色空间以及迁徙通道较少,在未来的规划中,应对该片区的生态斑块进行重点保护与提升,从而提升整体生态网络的稳定性。本次研究相较于东莞市《东莞市国土空间总体规划(2020—2035 年)》

《东莞市国土空间生态保护修复规划(2021—2035 年)》等已编在编规划的前期生态分析而言,通过多源大数据和电路理论提高了生态源地和生态廊道的识别精度。同时更加侧重于对重要生态源地的识别,以及对于生态廊道重要性的评估,能够有效地鉴别出不同时期需要重点规划治理的区域,为近期生态建设以及远期规划调整提供具有针对性的参考意见。

对于生态网络构建的研究在国内外已有较多积累,但多数是基于生态系统服务评价以及最小累计阻力模型(MCR)识别生态源地以及生态廊道,对于生态廊道宽度是否满足物质流通的考虑相对较少。本次研究框架的新颖之处在于引入城市大数据兴趣点(POIs),增加生态网络构建中对于城镇用地范围内廊道识别的精确度,以及通过公园及风景名胜兴趣点(POIs)增加生态源地识别的范围,更为精准地识别以往研究中忽略的城镇范围内的生态源地。同时,本次研究采用电路理论模型相较于以往的 MCR 模型而言,识别精度更高,且去除了 MCR 模型的冗余重复的生态廊道,并增加对于生态廊道的宽度以及物质流通性的考量,使整体生态格局更为清晰。

本次研究仍存在待完善之处。首先,本次研究所选取的城市大数据类型属于静态空间分布类型,对于动态的人群活动以及交通活动强度对生态廊道构建的影响考虑不足。其次,在生态源地以及生态廊道重

要性评价时仅考虑了中心性与辐射性两个影响因子,判定略显主观。最后,本次研究主要基于 30 m 精度遥感解译的土地数据进行空间模拟,数据精度有待提高,同时对于未来规划考虑不足,未将相关上位规划成果纳入研究框架。今后的研究将进一步结合上位规划数据以及人群动态数据,提升生态网络格局识别的精度。

[参 考 文 献]

[1] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1992,23:1-16.

[2] 俞孔坚.生物保护的景观生态安全格局[J].*生态学报*, 1999,19(1):10-17.

[3] 朱捷,苏杰,尹海伟等基于源地综合识别与多尺度嵌套的徐州生态网络构建[J].*自然资源学报*, 2020,35(8):1986-2001.

[4] 李晟,李涛,彭重华,等.基于综合评价法的洞庭湖区绿地生态网络构建[J].*应用生态学报*, 2020,31(8):2687-2698.

[5] 史学民,秦明周,李斌,等.基于 MSPA 和电路理论的郑汴都市区绿色基础设施网络研究[J].*河南大学学报(自然科学版)*, 2018,48(6):631-638.

[6] 张豆,渠丽萍,张桀漓.基于生态供需视角的生态安全格局构建与优化:以长三角地区为例[J].*生态学报*, 2019,39(20):7525-7537.

[7] 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.

[8] 吴昌广,周志翔,王鹏程,等.景观连接度的概念、度量及

其应用[J].*生态学报*, 2010,30(7):1903-1910.

[9] 吴昌广,周志翔,王鹏程,等.基于最小费用模型的景观连接度评价[J].*应用生态学报*, 2009,20(8):2042-2048.

[10] Mcrae B H, Beier P. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007,104:19885-19890.

[11] 薛冰,李京忠,肖骁,等.基于兴趣点(POI)大数据的人地关系研究综述:理论、方法与应用[J].*地理与地理信息科学*, 2019,35(6):51-60.

[12] 战明松,朱京海.基于 POI 数据的特大城市生态空间廊道识别与空间布局优化研究:以沈阳市中心城区为例[J].*中国园林*, 2021,37(10):112-117.

[13] Yue Cao, Rui Yang, Steve C. Linking wilderness mapping and connectivity modelling: a methodological framework for wildland network planning [J]. *Biological Conservation*, 2020,251.

[14] Sun Hui, Liu Chunhui, Wei Jiaying. Identifying key sites of green infrastructure to support ecological restoration in the urban agglomeration [J]. *Land*, 2021,10(11):21-24.

[15] 杜雨阳,王征强,于庆和,等.基于生境质量模型和电路理论的区域生态安全格局构建:以秦岭(陕西段)为例[J].*农业资源与环境学报*, 2022,39(5):1069-1078.

[16] 吴静,黎仁杰,程朋根.城市生态源地识别与生态廊道构建[J].*测绘科学*, 2022,47(4):175-180.

[17] 谢于松,王倩娜,罗言云.基于 MSPA 的市域尺度绿色基础设施评价指标体系构建及应用:以四川省主要城市为例[J].*中国园林*, 2020,36(7):87-92.

[18] 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.

(上接第 184 页)

[21] Deng Hongwei, Song Xiaojie, Li Changshun, et al. Comprehensive Evaluation on urban water security based on the Novel DPEBLR concept model and the cloud matter-element model: a case study of Chongqing, China [J]. *Water*, 2022,14(21):3486.

[22] 罗紫薇,胡希军,汤佳,等.基于熵值-TOPSIS 模型的湖南省水资源安全空间评价及障碍因子诊断[J].*水资源与水工程学报*, 2022,33(6):35-45.

[23] 王力新,何璇,黄永战.创建水生态文明城市建设水美长沙[J].*湖南水利水电*, 2019,219(1):70-71.

[24] 胡光伟,许滢,张明,等.基于 SPA 的湖南省水资源与社会经济发展协同度评价[J].*水利水电技术*, 2019,50(1):65-72.

[25] 傅泽鼎,胡旭跃,黄草,等.基于 SPR 模型湖南省水资源承载力评估研究[J].*长沙理工大学学报(自然科学版)*, 2023,20(2):92-103.