

doi: 10.6046/zrzyyg.2023028

引用格式: 刘永林,高益忠,陈明辉,等. 广东省东莞市国土空间生态安全格局构建与分析[J]. 自然资源遥感,2024,36(2):126-134. (Liu Y L, Gao Y Z, Chen M H, et al. Construction and analysis of the ecological security pattern in territorial space for Dongguan City, Guangdong Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2024, 36(2): 126-134.)

广东省东莞市国土空间生态安全格局构建与分析

刘永林, 高益忠, 陈明辉, 邱 玲

(东莞市地理信息与规划编制研究中心, 东莞 523129)

摘要: 构建国土空间生态安全格局可以约束和引导城市空间发展, 实现城市发展与区域环境协调可持续发展。本研究通过遥感生态指数、最小累计阻力模型等方法, 识别广东省东莞市生态安全格局的生态源地、生态廊道、生态夹点及生态障碍点等要素, 提出相关优化建议。结果表明: ①全市生态基底好, 生态空间连片, 生态廊道分布均匀且能够有效串联生态源地; ②滨水空间保护提升和道路绿化建设为生态要素流动提供有效路径; ③农业生产、交通运输对生态网络影响最强烈, 其次是工业生产和居民生活; ④应将生态源地、12 m 宽生态廊道和生态夹点划为生态保护重点区, 将 200 m 宽生态廊道和生态障碍点划为生态修复重点区。本研究可为东莞市构建国土空间生态安全格局提供科学依据。

关键词: 生态源地; 生态廊道; 生态安全格局; 国土空间规划; 东莞市

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A

文章编号: 2097-034X(2024)02-0126-09

0 引言

伴随着大规模、高速度的城镇化进程, 城市建设用地规模不断扩张, 生态空间不断被侵占和压缩, 引发热岛效应、景观破碎度加剧、生物多样性降低等一系列问题^[1]。为此, 《中华人民共和国国民经济和社会发展的第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出, 要促进各类要素合理流动和高效集聚, 优化生态安全屏障体系, 逐步形成城镇化地区、农产品主产区、生态功能区三大空间格局, 推动形成主体功能明显、优势互补、高质量发展的国土空间开发保护新格局。

生态源地是物种栖息地, 是生态要素流动及生态系统提供产品和服务的源点^[2-4], 是生态系统的重要载体和生态安全格局的基础, 同时也是人类获得生态系统服务的重要来源^[5]。生态廊道则是连接生态源地的重要桥梁, 能够有效满足生态斑块之间的要素流通以及物种扩散、迁移和交换。生态廊道不仅具有保护生物多样性、过滤污染物、水土保持、调蓄防洪、调节区域小气候等多种生态功能, 还能形成隔离城市组团的重要分割带, 防止城市过渡蔓延和有序扩张, 对保障城市生态安全格局具有重

要意义^[6-7]。以“源地-廊道”的逻辑范式构建城市生态安全格局就是以生态廊道为纽带, 将散布在城市中相对孤立的景观斑块联系起来, 在城市基底上镶嵌一个连续而完整的生态网络, 成为城市的自然骨架, 起到自然生态服务、保护生物多样性、提供景观游憩、引导城市空间合理发展等作用^[8]。

1984 年东莞市提出“向农村工业化进军”战略目标, 启动了东莞农村工业化和城市化进程, 以“村村点火, 处处冒烟”为特点的东莞农村工业化迅速发展, 仅仅经过不到 40 a 的时间, 在 2021 年已经进入到了万亿 GDP、千万人口的新时期。但是, 随着城乡建设用地快速扩张, 东莞市土地开发强度已超过 54%, 农田系统、森林生态系统遭到严重侵蚀, 生态用地比例已从 20 世纪 80 年代的 65% 下降至 36%。生态空间面积骤减、破碎化问题严重, 连绵的生态屏障逐渐变成孤立的斑块, 山水空间逐渐被城市空间割裂, 给国土空间生态安全格局带来严重影响。

为此, 有必要识别东莞市生态源地、生态廊道, 摸清城市生态网络流通的关键节点, 构建东莞市国土空间生态安全格局, 确定生态保护重点区和生态修复重点区, 为实现城市发展与区域环境的协调可持续发展提供科学依据。

收稿日期: 2023-02-13; 修订日期: 2023-05-26

第一作者: 刘永林 (1989-), 男, 博士, 工程师, 主要从事自然资源与规划管理、土地整备与城市更新、地理信息系统、生态水文、自然地理等领域研究。Email: yorlinliu@163.com。

通信作者: 陈明辉 (1978-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事自然资源与城乡规划研究、GIS 和遥感应用研究、智慧城市与信息化等领域研究。Email: 79131489@qq.com。

1 研究方法

1.1 数据源

1) 土地利用资料。所使用的土地利用类型数据为第三次全国国土调查成果(以下简称“三调”成果),来源于东莞市地理信息与规划编制研究中心。

2) 遥感影像。所使用的遥感影像为 2021 年第三季度航拍影像,空间分辨率 0.5 m,来源于东莞市地理信息与规划编制研究中心。Landsat8 及 DEM 数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为 30 m(图 1)。对 0.5 m 分辨率的航拍影像和 30 m 分辨率的 Landsat8 及 DEM 数据进行了几何配准和分辨率统一等预处理。

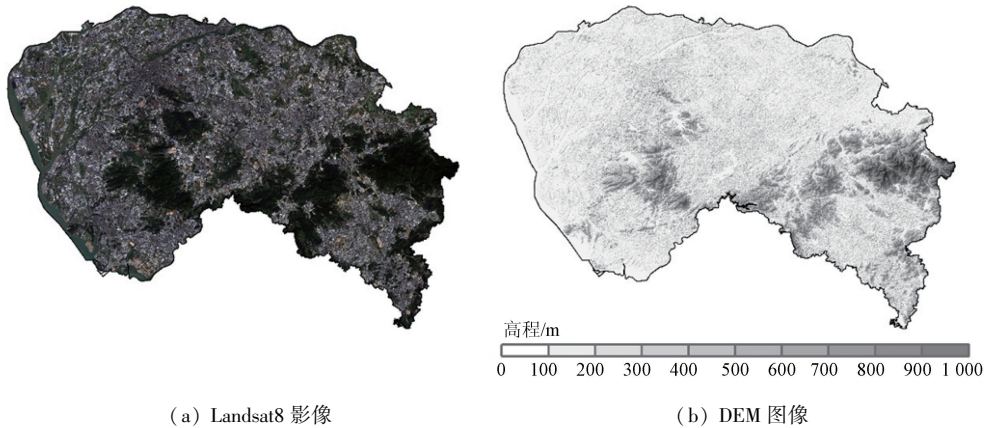


图 1 经预处理的遥感影像

Fig. 1 Pre-processed remote sensing image

3) 其他数据。在提取生态源地、阻力面、生态廊道过程中,涉及《东莞市城市总体规划(2016—2030 年)》绿线、东莞市“小山小湖”保护名录、《东莞市国土空间规划(2020—2035 年)》编制过程所使用的生态保护红线、生态控制线、自然保护地、公益林、湿地、饮用水源保护区等数据,来源于东莞市的自然资源、水务、林业、生态环境等相关部门。

vegetation index ,NDVI)^[12-13]、湿度指数(Wetness , WET)^[14-15]、建筑-裸土指数(normalized difference building and soil index ,NDBSI)^[16]及地表温度(land surface temperature ,LST)^[17-18]等 4 个遥感指标,通过主成分分析法降维整合成一个综合指标,能综合反映地表生态状况^[6]。*RSEI* 的取值范围为 0~1, *RSEI* 越大,地表生态质量越好。

鉴于“三调”成果、2021 年第三季度航拍影像属涉密数据以及国土空间规划相关数据属于不公开的过程数据,本研究不直接出现相关原始数据或图件。

本研究根据 *RSEI* 的计算结果,采用自然间断法提取最高等级区域作为生态源地的初步识别结果;同时,选取《东莞市“小山小湖”保护名录》、《东莞市城市总体规划(2016—2030 年)》的“绿线”数据、《东莞市国土空间总体规划(2020—2035 年)》编制过程所使用的饮用水源保护区、自然保护地、公益林、湿地、生态保护红线、生态控制线等数据、“三

1.2 研究方法

1.2.1 生态源地识别

遥感生态指数(remote sensing ecological index, *RSEI*)^[9-11]是集成植被指数(normalized difference

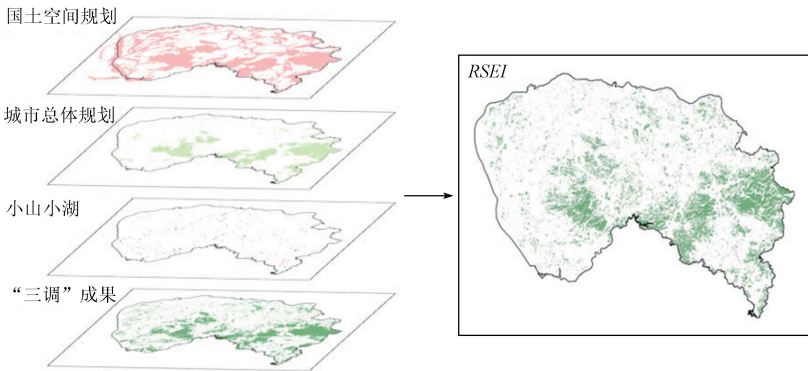


图 2 生态源地提取依据

Fig. 2 Basis for ecological source recognition

调”成果的生态用地(主要包括红树林地、内陆滩涂、沼泽地、乔木林地、竹林地、灌木林地、其他林地、可调整乔木林地、可调整竹林地、人工牧草地、其他草地、坑塘水面、水库水面、公园与绿地、风景名胜设施用地等地类),进行综合叠置分析(图 2),提取生态价值较高的生态斑块作为生态源地。

1.2.2 阻力面构建

本研究采用最小累计阻力(minimum cumulative resistance, MCR)模型进行阻力面构建。MCR 模型是基于 Knaapen 等研究^[19]的费用距离修改而来,目前被广泛应用于生态安全格局构建。主要原理是景观中生物物种、营养物质及其他物质和能量在空间组分间流动需要克服一定景观阻力,景观生态服务功能越强,景观功能越完善,完成这一生态过程所遇到的阻力就越小。该模型计算物种在不同生态源地间运动所需要耗费的代价,可以反映物种运动的潜在可能性及趋势,能模拟生物穿越不同景观基面的过程^[20]。MCR 模型的计算方法为:

$$R_{MC}=f_{\min}\sum_{j=1}^{m,n}D_{ij}\times R_i\;, \tag{1}$$

式中: R_{MC} 为最小累积阻力值; $f_{\min}$ 为反映某点到基面最小累积阻力与生态过程的正相关关系的正函数; D_{ij} 为生态源地斑块 j 到景观单元 i 的实际距离; R_i 为景观单元对生物物种迁徙的阻力系数。

在构建阻力面时,选取土地利用类型、坡度、植被覆盖度作为阻力因子,并根据相关研究成果^[6-7,21-24],结合东莞市实际情况,进行阻力因子赋值及加权(表 1)。

表 1 阻力因子权重与系数

Tab. 1 Resistance factor weights and coefficients

阻力因子	权重	类型	系数	
土 地 利 用类型	0.5	林地	1	
		湿地、草地	10	
		生态用地	坑塘水面、水库水面	25
			公园与绿地、风景名 胜设施用地	15
			耕地	50
			农用地	种植园用地
		养殖坑塘		40
		河流渠道		河流水面、沟渠、干渠
		建设用地	商业服务业用地、工 矿用地、住宅用地、公 共管理与公共服务用 地、特殊用地	100
			交通运输用地	120
			设施农用地、水工建 筑用地、广场用地	70
			未利用地	空闲地、裸土地、裸岩 石砾地

(续表)

阻力因子	权重	类型	系数
坡度	0.2	<2°	1
		[2° ,8°)	10
		[8° ,15°)	30
		[15° ,25°)	50
		≥25°	70
NDVI	0.3	<0.2	70
		[0.2 ,0.4)	50
		[0.4 ,0.6)	30
		[0.6 ,0.8)	10
		[0.8 ,1.0]	1

此外,本研究主要对陆域生态廊道进行研究分析,将河流、渠道等线性水体视为对陆域生态廊道主要起到提供水源等生态系统服务功能,并且对陆生生物的迁移流动起到极大的阻碍作用。因此,河流渠道的阻力系数较其他土地利用类型大。

1.2.3 生态廊道提取

本研究采用 Linkage Mapper 工具,基于加权成本距离的方法提取生态廊道。Linkage Mapper 工具是使用核心栖息地矢量图斑和阻力栅格来绘制核心区域之间的最低成本联系。阻力栅格中每一个像元都有一个反映能量消耗、移动难度或死亡风险的值。当动物离开特定的核心栖息地时,成本加权分析会累积总运动阻力图。Linkage Mapper 工具可识别相邻的核心区域,并在相邻区域之间创建成本最低的走廊地图。

1.2.4 生态夹点与生态障碍点识别

生态夹点是生态廊道中生物流通极为频繁的区域,代表通过的可能性高或替代路径极少^[24-25]。生态夹点的形成往往是由于周边地区的阻力值较大,廊道在夹点地区被压缩在相对狭窄的范围内。因此,夹点在承担重要连通功能的同时,往往亦面临较高的生态退化风险^[2]。生态障碍点是指生态斑块间对生物运动阻力较大的区域,修复后能够降低生态阻力、显著提升源地间景观连通性^[24,26-27]。本研究分别使用 Linkage Mapper 工具的 Pinchpoint Mapper 模块和 Barrier Mapper 模块提取生态夹点和生态障碍点。

2 结果分析

2.1 国土空间生态安全格局构建结果

2.1.1 生态源地

本研究共提取出 629 个 6.67 hm² 以上(即 100 亩以上)的生态源地,总面积为 65 400 hm²,占全部生态源地图斑的 83.7%,占全市陆域面积的 26.6%。综合考虑保持生态系统完整性、生境适宜性、生物多样性、物质交换及图斑破碎度等因素,本

研究选取 500 亩^①作为主要生态源地的下限阈值。全市共有 40 个 33.33 hm² 以上(即 500 亩以上)的

生态源地(下文“生态源地”指 33.33 hm² 以上生态源地)(图 3),总面积共 55 919 hm²。

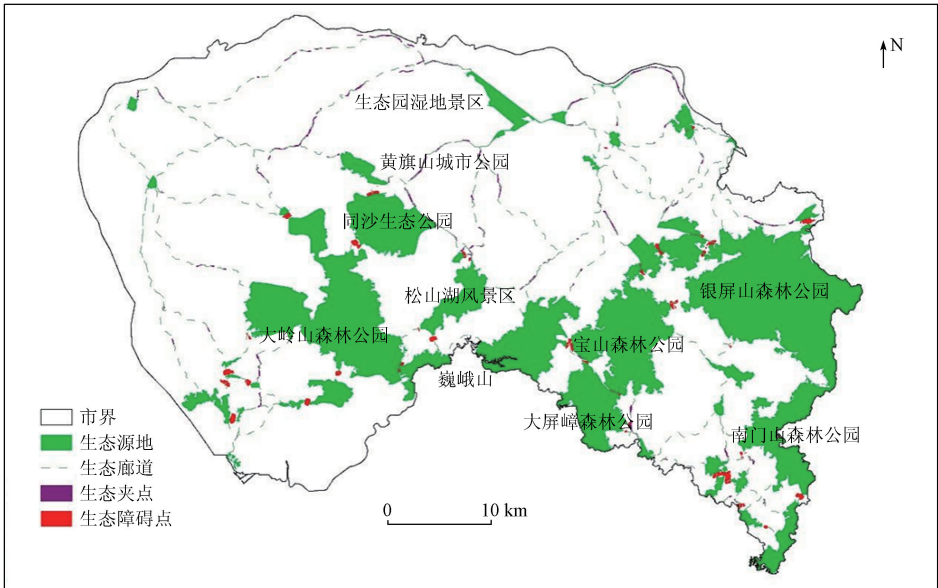


图 3 东莞市国土空间生态安全格局构建结果

Fig. 3 Construction of ecological security pattern in territory spatial planning in Dongguan

从生态源地的空间规模来看：①生态源地占全市陆域面积的 22.7%，占比较高，说明东莞虽然属于高度城市化及高强度开发的城市，但生态质量与生态本底仍是较为优越的；②生态源地面积排名前五分别为银屏山源地(17 362 hm²)、大岭山源地(10 483 hm²)、宝山-大屏樟源地(6 283 hm²)、巍峨山源地(3 903 hm²)、同沙源地(3 457 hm²)，共占生态源地总面积 74.2%，表明东莞市生态要素流动及生态系统服务供给的来源高度集中。在城市发展过程中，应当对超大规模的生态源地保护给予更高的重视。

从生态源地的空间分布来看：①生态源地主要集中分布于中部或南部的银屏山、南门山、宝山、巍峨山、大岭山、黄旗山、同沙生态公园、生态园湿地公园、威远岛等山地和大型水库湿地；②北部(尤其是中心城区)、水乡片区、东北片区等区域的生态源地相对较少，缺少成规模的重要生态系统服务供给，应在城市发展过程中，选取有条件的生态斑块进行串珠成链或扩张规模来打造成生态源地，提升生态系统服务社会公平性。

2.1.2 生态廊道

基于生态源地的提取和调整结果，本研究共提取到 89 条生态廊道(图 3)，总长度 655.7 km，平均长度 0.74 km。其中，长度超过 5 km 的生态廊道共 38 条，长度超过 10 km 的共 23 条。从空间分布特

征来看，提取到的生态廊道能够有效地将全市生态源地连接，并均匀分布于全市域范围内，能够有效地增强生态源地的连通性，保障源地之间生态要素流动，同时也能够确保人类获得生态系统服务的社会公平性。

2.1.3 生态夹点与生态障碍点

根据 Linkage Mapper 工具提取到的生态夹点与生态障碍点的累计电流值，利用自然间断点分级，选取累计电流值最高等级的图斑作为生态夹点与生态障碍点。结合图斑破碎度及其面积直方图分布，最终保留 0.67 hm² 以上(即 10 亩以上)的图斑作为全市的生态夹点与生态障碍点提取结果(下文“生态夹点”“生态障碍点”分别指 0.67 hm² 以上的生态夹点、生态障碍点)。

本研究共提取到 140 个生态夹点(图 3)，总面积为 321 hm²。其中，超过 3.33 hm²(即 50 亩以上)的共 16 个，6.67 hm²(即 100 亩以上)的共 9 个。从空间分布来看，主要分布在水乡功能区的华阳湖源地、合福沙源地的对外连接廊道，以及生态园源地向南连接同沙、松山湖、宝山-大屏樟、巍峨山等源地的廊道。绝大部分生态夹点都是分布在河流、高快速路两侧(图 4(a) — (c))，形成这种空间格局的主要原因可能是：①东莞河流众多，大小河流 669 条，总长超过 2 100 km，对生态源地之间的生态要素流动形成自然阻隔，使得生态要素沿河流动；同时，近

① 1 亩 ≈ 666.67 m²

年生态保护与管控认识提高,开展了石马河、寒溪河、茅洲河等河道治理工程、“三江六岸”滨水岸线打造等系列工作,极大地优化提升滨水空间生态环境,有利于生态要素在滨水空间进行流动;②东莞开发强度高,建设用地不断地侵占和压缩生态空间,打断了生态源地之间的连通,尤其是高快速路对生态要素的流动形成人为阻隔,生态要素只能沿高快

速的防护绿化带或者周边生态用地进行流动。由于自然或人为要素的影响,生态源地之间的生态要素流动空间被压缩或限制在这些生态夹点之内,并且这些生态夹点是生态要素流动不可替代的路径,一旦被破坏,生态要素将无法在源地间流动。因此,应当进一步加强管控,用以保障生态要素能够通过生态廊道进行扩散迁移。

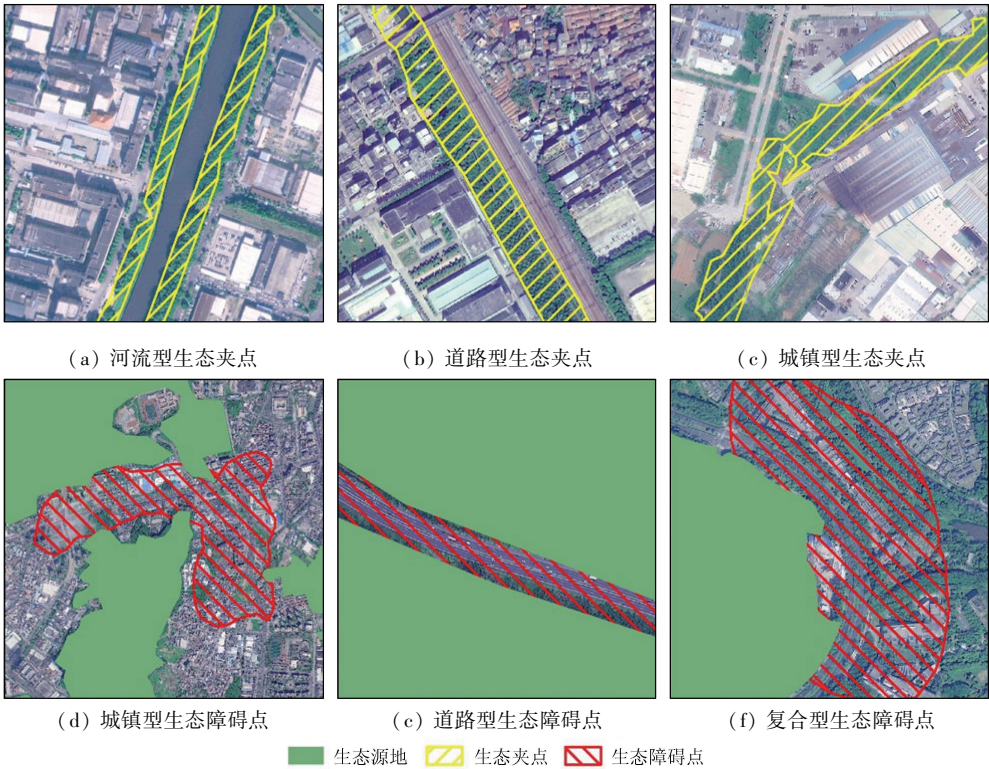


图 4 生态夹点与生态障碍点局部图
Fig. 4 Parts of ecological corridors and pinch points

本研究共提取到 42 个生态障碍点(图 3),总面积为 1 097 hm²,超过 33.33 hm²(即 500 亩以上)的共 16 个。从生态障碍点的空间分布和空间形态来看,主要分布在同沙-大岭山-巍峨山-松山湖、银屏山-宝山-大屏樟-巍峨山等大型生态源地之间的连通位置,通常是面积较大且由交通用地、居住用地、工业用地为主所组成的生态障碍点(图 4(d) — (f))。说明生态源地、尤其是超大规模的具有极为重要生态服务功能的生态源地之间被人为分割明

显,生态廊道难以保障要素流动畅通性。因此,应当采取腾挪清退、生态修复、人造通道等多种方式进行生态修复,加快打通生态要素流动通道,提升生态源地连通性。

2.2 人类活动干扰分析

根据位于生态源地、12 m 宽和 200 m 宽的生态廊道、生态夹点、生态障碍点范围内的“三调”成果土地利用类型情况,分析人类活动对全市生态网络的影响程度(图 5)。

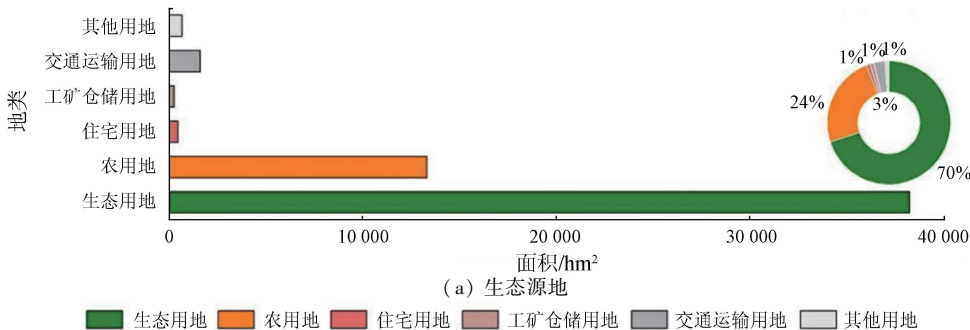


图 5-1 东莞市国土空间生态安全格局人类活动干扰分析
Fig. 5-1 Impacts of human activity on ecological security pattern in Dongguan

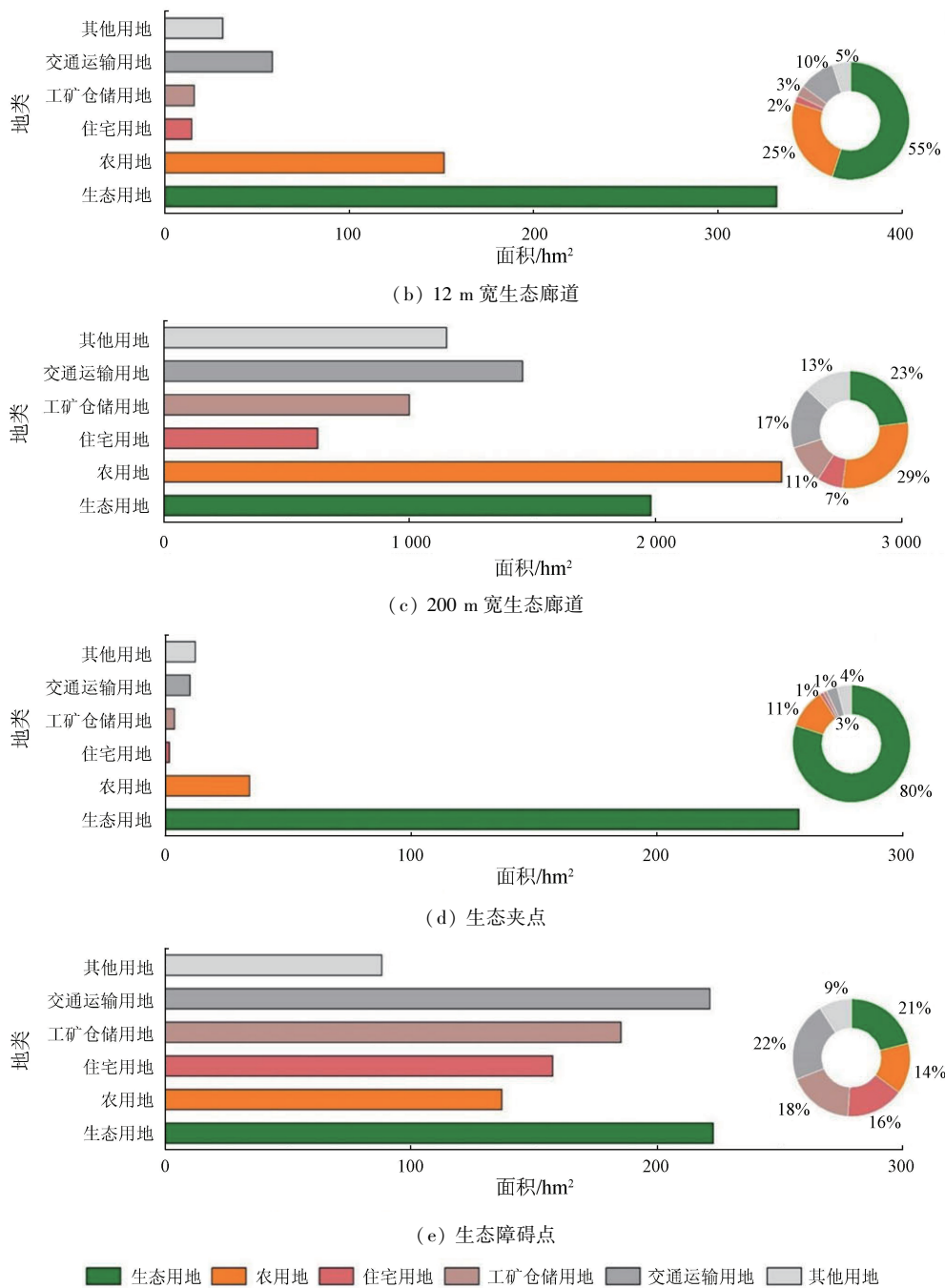


图 5-2 东莞市国土空间生态安全格局人类活动干扰分析

Fig. 5-2 Impacts of human activity on ecological security pattern in Dongguan

2.3 加强生态保护与修复的建议

1) 在新一轮国土空间规划中,划定划实生态源地、生态廊道、生态保护与修复重点区,明确管控范围红线,制定管控规则,以法定规划保障国土空间生态安全格局的有效构建。

2) 进一步强化生态保护思想,充分认识到生态源地是城市生态系统服务供给的重要来源,12 m 宽生态廊道和生态夹点分别是生态要素流动的最低要求和不可或缺的通道。同时,要抓住 12 m 宽生态廊道和生态夹点范围内的非生态用地数量较少的良好局面,将生态源地、12 m 宽生态廊道和生态夹点划

定为生态保护重点区;严禁新增非生态用地,有序清退范围内的非生态用地,用以保障生态要素能够持续地在这些不可替代的通道中有效地流动。

3) 200 m 宽生态廊道和生态障碍点能够有效保障生物多样性的适宜要求和增强生态源地连通性,应将 200 m 宽生态廊道和生态障碍点划定为生态修复重点区。一方面,要提高非生态用地的准入门槛;另一方面,要识别出范围内对生态要素流动造成严重分割或对生态环境造成严重影响的非生态用地,制定清退计划或改造计划,通过资源倾斜和政策红利,鼓励加快实施非生态用地清退,用以提升生态源

地连通性。

4) 针对交通运输、工业生产、居民生活对生态要素流动的分割和干扰,应在交通设施、工厂、住宅等建筑修建过程中,采取动物立交桥、动物地下通道或人造绿化带等人造生态通道以及覆土建筑等建造方式,对已建设施进行改造,对新建设施进行预留生态要素流动通道。

3 结 论

本研究采用 RSEI 和综合叠加法识别出东莞市生态源地,基于 MCR 模型建立阻力面并使用 Linkage Mapper 工具提取东莞市生态廊道、生态夹点和生态障碍点。共提取了 40 个生态源地、89 条生态廊道、140 个生态夹点及 42 个生态障碍点,用以构建东莞市国土空间生态格局,识别和确定生态保护重点区、生态修复重点区,并提出相关生态保护与修复的建议。主要结论如下:

1) 全市生态质量与生态本底较为优越,但生态源地多集中在中部或南部的山地或大型水库湿地。同时,生态要素流动及生态系统服务供给的来源高度集中在银屏山源地、大岭山源地、宝山-大屏嶂源地、巍峨山源地、同沙源地等超大规模的生态源地。一方面需要对超大规模的生态源地保护给予更高的重视,另一方面需要选取有条件的生态斑块进行串珠成链或扩张规模来打造成生态源地,提升生态系统服务社会公平性。

2) 本研究提取到的 89 条生态廊道均匀分布于全市域,能够有效地将全市生态源地连接,保障源地之间生态要素流动,同时也能够确保人类获得生态系统服务的社会公平性。

3) 因河流分割、生产生活压缩生态空间等自然或人为干扰,同时因滨水空间提升及道路绿化建设而创造的生态空间,导致全市 140 个生态夹点多分布于河流、高快速路两侧。

4) 全市 42 个生态障碍点多分布于超大规模的生态源地之间,通常以交通用地、居住用地、工业用地为主,对超大规模的具有极为重要生态服务功能的生态源地生态要素流动造成严重的阻隔。

5) 生态源地、12 m 宽生态廊道和生态夹点受人类活动干扰较少,目前仍能有效提供生态系统服务功能供给和生态要素流动通道作用,而人类活动对 200 m 宽生态廊道和生态障碍点的干扰程度较大。人类活动对生态网络的影响主要来源于农业生产、交通运输,其次是工业生产和居民生活。

6) 将国土空间规划等法定规划作为保障,将生

态源地、12 m 宽生态廊道和生态夹点划为生态保护重点区,将 200 m 宽生态廊道和生态障碍点划为生态修复重点区,采取腾挪清退、人造生态通道、覆土建筑等方式,逐步优化提升生态安全格局。

参考文献 (References):

[1] 吴茂全,胡蒙蒙,汪 涛,等. 基于生态安全格局与多尺度景观连通性的城市生态源地识别[J]. 生态学报,2019,39(13): 4720-4731.
Wu M Q, Hu M M, Wang T, et al. Recognition of urban ecological source area based on ecological security pattern and multi-scale landscape connectivity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): 4720-4731.

[2] 苏 冲,董建权,马志刚,等. 基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护修复优先区识别——以四川省华蓥山区为例[J]. 生态学报,2019,39(23): 8948-8956.
Su C, Dong J Q, Ma Z G, et al. Identifying priority areas for ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farm-lands-lakes-grasslands based on ecological security patterns: A case study in Huaying Mountain, Sichuan Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8948-8956.

[3] 吴健生,张理卿,彭 建,等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J]. 生态学报,2013,33(13): 4125-4133.
Wu J S, Zhang L Q, Peng J, et al. The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4125-4133.

[4] 彭 建,郭小楠,胡熠娜,等. 基于地质灾害敏感性的山地生态安全格局构建——以云南省玉溪市为例 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(2): 627-635.
Peng J, Guo X N, Hu Y N, et al. Constructing ecological security patterns in mountain areas based on geological disaster sensitivity: A case study in Yuxi City, Yunnan Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 627-635.

[5] 朱灵茜,李卫正,乌日汗. 城市生态网络中生态源的界定[J]. 园林,2017(9): 20-23.
Zhu L Q, Li W Z, Wu R H. Definition of ecological source in urban ecological network[J]. Garden, 2017(9): 20-23.

[6] 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.
Wu J, Li R J, Cheng P G. City ecological source recognition and ecological corridor construction [J]. Science of Surveying and Mapping, 2022, 47(4): 175-180.

[7] 邓金杰,陈柳新,杨成韞,等. 高度城市化地区生态廊道重要性评价探索——以深圳为例[J]. 地理研究,2017,36(3): 573-582.
Deng J J, Chen L X, Yang C Y, et al. Significance evaluation of ecological corridor in an highly-urbanized areas: A case study of Shenzhen[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 573-582

[8] 张佳盈,单丽丽. 构建城市生态网络的必要性与可行性分析[J]. 绿色科技,2014(2): 14-17.
Zhang J Y, Shan L L. Necessity and feasibility analysis of constructing urban ecological network [J]. Journal of Green Science and Technology, 2014(2): 14-17.

- [9] 骆泓鉴,明冬萍,徐 录. 基于 GEE 的遥感生态指数时序计算[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (2) : 271 - 277. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021150.
Luo H J, Ming D P, Xu L. Time series calculation of remote sensing ecological index based on GEE[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (2) : 271 - 277. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021150.
- [10] 左 璐,孙雷刚,鲁军景,等. 基于 MODIS 的京津冀地区生态质量综合评价及其时空变化监测[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (2) : 203-214. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021224.
Zuo L, Sun L G, Lu J J, et al. MODIS-based comprehensive assessment and spatial-temporal change monitoring of ecological quality in Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (2) : 203 - 214. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021224.
- [11] 陈 行,刘汉湖,李金豪,等. 基于夜光遥感的城市化与生态环境耦合协调分析[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (4) : 280-285. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021369.
Chen X, Liu H H, Li J H, et al. Coupling coordination analysis of urbanization and ecological environment based on nighttime light remote sensing[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (4) : 280-285. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021369.
- [12] 宋 奇,冯春晖,马自强,等. 基于 1990—2019 年 Landsat 影像的干旱区绿洲土地利用变化与模拟[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (1) : 198-209. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021042.
Song Q, Feng C H, Ma Z Q, et al. Simulation of land use change in oasis of arid areas based on Landsat images from 1990 to 2019 [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (1) : 198 - 209. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021042.
- [13] 李益敏,杨舒婷,吴博闻,等. 昆明市呈贡区不透水面时空变化及驱动力分析[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (2) : 136-143. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2020187.
Li Y M, Yang S T, Wu B W, et al. Spatiotemporal evolution of impervious surface and the driving factors in Chenggong District, Kunming City[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (2) : 136-143. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2020187.
- [14] 应 奎,李旭东,程东亚. 岩溶槽谷流域生态环境质量的遥感评定. 国土资源遥感[J], 2020, 32 (3) : 173-182. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 03. 23.
Ying K, Li X D, Cheng D Y. Remote sensing assessment of ecological environment quality in karst trough basin[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32 (3) : 173 - 182. doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 03. 23.
- [15] 张秦瑞,赵良军,林国军,等. 改进遥感生态指数的宜宾市三江汇合区生态环境评价[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (1) : 230-237. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021058.
Zhang Q R, Zhao L J, Lin G J, et al. Ecological environment assessment of three-river confluence in Yibin City using improved remote sensing ecological index [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (1) : 230-237. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021058.
- [16] 徐涵秋,王美雅. 地表不透水面信息遥感的主要方法分析[J]. 遥感学报, 2016, 20 (5) : 1270-1289.
Xu H Q, Wang M Y. Remote sensing-based retrieval of ground impervious surfaces [J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20 (5) : 1270-1289.
- [17] 王驹鹁,赵春雷,陈 霞,等. 基于遥感的唐山市绿色空间演化及对热岛效应的影响[J]. 自然资源遥感, 2022, 34 (2) : 168-175. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021198.
Wang S Y, Zhao C L, Chen X, et al. Remote sensing-based green space evolution in Tangshan and its influence on heat island effect [J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34 (2) : 168 - 175. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2021198.
- [18] 王美雅,徐涵秋. 中外超大城市热岛效应变化对比研究[J]. 自然资源遥感, 2021, 33 (4) : 200-208. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2020393.
Wang M Y, Xu H Q. A comparative study on the changes in heat island effect in Chinese and foreign megacities[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2021, 33 (4) : 200 - 208. doi: 10. 6046/zrzyyg. 2020393.
- [19] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992, 23 (1) : 1-16.
- [20] 杨 凯,曹银贵,冯 喆,等. 基于最小累积阻力模型的生态安全格局构建研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37 (5) : 555-565.
Yang K, Cao Y G, Feng Z, et al. Research progress of ecological security pattern construction based on minimum cumulative resistance model[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37 (5) : 555-565.
- [21] Cui X F, Deng W, Yang J X, et al. Construction and optimization of ecological security patterns based on social equity perspective: A case study in Wuhan, China[J]. Ecological Indicators, 2022, 136 : 108714.
- [22] 后雪峰,屈 清,江英志. 基于 GIS 的揭阳市城市生态安全格局构建[J]. 华南师范大学学报: 自然科学版, 2021, 53 (3) : 83-92.
Hou X F, Qu Q, Jiang Y Z. Establishing the ecological security pattern of Jieyang City with GIS[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition) , 2021, 53 (3) : 83-92.
- [23] 刘壮壮,吴 未,刘文锋,等. 基于“源地-廊道”生态安全格局构建逻辑范式的建设用地减量化研究[J]. 生态学报, 2020, 40 (22) : 8230-8238.
Liu Z Z, Wu W, Liu W F, et al. Study on construction land reduction based on “Source-Corridor” ecological security pattern paradigm[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (22) : 8230-8238.
- [24] 袁 媛,白中科,师学义,等. 基于生态安全格局的国土空间生态保护修复优先区确定——以河北省遵化市为例[J]. 生态学报, 2022, 41 (4) : 750-759.
Yuan Y, Bai Z K, Shi X Y, et al. Determining priority areas for ecosystem preservation and restoration of territory based on ecological security pattern: A case study in Zunhua City, Hebei Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41 (4) : 750-759.
- [25] 倪庆琳,丁忠义,侯湖平,等. 基于电路理论的生态格局识别与保护研究——以宁武县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33 (5) : 67-73.
Ni Q P, Ding Z Y, Hou H P, et al. Ecological pattern recognition and protection based on circuit theory [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33 (5) : 67-73.
- [26] McRae B H, Hall S A, Beier P, et al. Where to restore ecological connectivity? Detecting barriers and quantifying restoration benefits

[J]. PLoS One, 2012, 7(12): e52604.

[27] 朱 强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2406–2412.

Zhu Q, Yu K J, Li D H. The width of ecological corridor in landscape planning[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(9): 2406–2412.

Construction and analysis of the ecological security pattern in territorial space for Dongguan City, Guangdong Province

LIU Yonglin, GAO Yizhong, CHEN Minghui, QIU Ling
(Dongguan Geography Information and Planning Institute, Dongguan 523129, China)

Abstract: Constructing ecological security patterns in territorial space can constrain and guide urban spatial development for coordinated and sustainable development of cities and regional environments. Based on the remote sensing ecological index and the minimum cumulative resistance model, this study identified the ecological security pattern factors for Dongguan City, Guangdong Province, including ecological source area, ecological corridor, ecological pinch point, and ecological barrier. Moreover, this study proposed related optimization recommendations. The results of this study indicate that: ① Dongguan City exhibits a favorable ecological base, contiguous ecological spaces, and evenly distributed ecological corridors that can effectively connect ecological source areas; ② Enhanced waterfront space protection and road greening construction provide effective paths for the flow of ecological elements; ③ Agricultural production and transportation manifest the most significant effects on ecological networks, followed by industrial production and domestic life; ④ Ecological sources, 12-m-wide ecological corridors, and ecological pinch points can be classified as key ecological protection areas, while 200-m-wide ecological corridors and ecological barriers can be categorized into key ecological restoration areas. This study will provide a scientific basis for constructing the ecological security pattern in territorial space for Dongguan.

Keywords: ecological source area; ecological corridor; ecological security pattern; territorial space planning; Dongguan City

(责任编辑: 李 瑜)