

DOI: 10.5846/stxb202108182283

魏新星, 陈一欣, 黄静, 苏杰, 尹海伟, 曾辉. 城市低效用地更新为绿色基础设施优先度评价. 生态学报, 2022, 42(16): 6565-6578.

Wei X X, Chen Y X, Huang J, Su J, Yin H W, Zeng H. Priority evaluation of urban inefficient land renewal to green infrastructure. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(16): 6565-6578.

城市低效用地更新为绿色基础设施优先度评价

魏新星¹, 陈一欣², 黄 静³, 苏 杰^{1,4}, 尹海伟^{1,*}, 曾 辉²

1 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093

2 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 深圳 518055

3 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023

4 深圳市龙华区发展研究院, 深圳 518110

摘要:在以存量更新促进城市可持续发展的时代,将城市低效用地有序更新为绿色基础设施(Green Infrastructure, GI)是实现城市建成区生态空间再造和生态格局优化的可操作路径。现有低效用地的更新优先度评价多将经济效益作为发展潜力的判断依据,未能很好地考虑地块的潜在生态效益。以广西桂林市中心城区为例,采用层次分析法、熵权法和 TOPSIS 方法,从经济和社会效益角度构建综合指标体系定量评价城市低效用地的更新潜力,在此基础上,基于最小费用路径和电路理论方法,采用标准化最小费用廊道值与中心性值,评价低效用地对提升研究区景观连通性的重要性,最后利用二维判别矩阵方法,综合更新潜力与重要性分析结果,对低效用地更新为 GI 的优先度进行了评判。结果表明:(1)研究区更新潜力等级较高的低效用地面积占比达 38%,集中分布在研究区西部和北部。(2)低效用地更新后充当廊道和踏脚石的潜力存在显著差异,对提升景观连通性重要性较高的低效用地面积占比达 40%,主要分布在研究区北部、西部和南部。(3)低效用地更新潜力评价结果和基于景观连通性提升的重要性评价结果在部分区域差异明显,更新为 GI 优先度较高的低效用地主要分布在研究区北部和西南部,应根据其不同优先度等级采取差异化的更新规划措施。研究结果可为城市低效用地再开发的规划实践和绿色基础设施网络格局优化提供新框架和决策参考。

关键词:低效用地;绿色基础设施;潜力评价;景观连通性;优先度

Priority evaluation of urban inefficient land renewal to green infrastructure

WEI Xinxing¹, CHEN Yixin², HUANG Jing³, SU Jie^{1,4}, YIN Haiwei^{1,*}, ZENG Hui²

1 School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2 School of Urban Planning and Design, Peking University, Shenzhen 518055, China

3 School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

4 Shenzhen Longhua District Development Research Institute, Shenzhen 518110, China

Abstract: In the period of promoting urban sustainable development by stock renewal, orderly renewal of urban inefficient land to green infrastructure (GI) is an operational path to realize the reconstruction of ecological space and the optimization of ecological pattern in urban built-up area. In the existing researches, the evaluation of renewal priority of urban inefficient land mostly takes economic benefits as a basis of judging the development potential, and fails to consider the potential ecological benefits of the land parcels. Taking the downtown area of Guilin city as an example, this paper constructed a comprehensive index system to quantitatively evaluate the renewal potential of urban inefficient land from the perspective of economic and social benefits by using analytic hierarchy process, entropy weight method and TOPSIS method. Then, using the Least-Cost Path and the Circuit Theory method, we adopted the normalized least cost corridor value and the centrality

基金项目:国家自然科学基金项目(51478217)

收稿日期:2021-08-18; 网络出版日期:2022-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qzyinhaiwei@163.com

value to evaluate the relative importance of urban inefficient land for the improvement of landscape connectivity in the study area. Finally, using two-dimensional discriminant matrix method, the priority of urban inefficient land renewal to GI was evaluated by integrating the results of renewal potential evaluation and importance analysis. The results showed that: (1) the area of inefficient land parcels with high renewal potential accounted for 38%, which were relatively concentrated in the west and north of the study area. (2) The renewal of inefficient land to GI could significantly improve the overall landscape connectivity of the study area, and for these inefficient land parcels, there were significant differences in their potential of serving as corridors and stepping stones after renewal. The area of inefficient land parcels which were highly important for improving landscape connectivity accounted for 40%, and they were mainly distributed in the north, west and south of the study area. (3) There were obvious differences between the results of inefficient land renewal potential evaluation and the results of importance analysis based on the improvement of landscape connectivity in some regions. The area of inefficient land parcels with high priority for renewal accounted for 21%, and they were mainly distributed in the north and southwest of the study area. For these inefficient land parcels, different renewal planning measures should be taken according to their different renewal priority grades. The research results can provide a new method framework and decision-making reference for the planning practice of urban inefficient land redevelopment and the optimization of green infrastructure network patterns.

Key Words: inefficient land; green infrastructure; potential evaluation; landscape connectivity; priority

快速城镇化导致城市建设用地无序扩张,造成部分地区出现土地利用效率低下、生态空间被侵占、景观连通性受损等问题,致使城市生态系统遭到破坏,城市可持续发展受到严重威胁^[1-2]。在新型城镇化和生态文明建设背景下,我国国土空间开发利用思路逐步由传统增量扩张向存量更新优化转变^[3-5],且存量土地的再利用不能以经济价值最大化为单一目标,需要兼顾生态和社会价值的有效发挥^[6-7]。近年来,围绕存量土地再利用,各地在城市建成区范围内积极开展“三旧”改造、“低效用地再开发”、“城市更新”等实践,其中,大量布局散乱、利用粗放、用途不合理、建筑危旧的存量建设用地,即低效用地,成为存量更新的主要空间载体^[8]。但已有实践大多以短期经济利益为目标,通过提高建设强度来重构物质空间^[7,9-10],却忽视了居民生活和生态环境改善的需求,不利于绿色健康可持续城市的建设。研究表明,GI作为一种可持续的基础设施,能起到保护生物多样性、增进公共服务、促进经济发展等作用^[11]。国外许多城市通过识别和整合具有发展潜力的闲置和废弃资产,并分类实施绿色更新,从而优化GI网络,最大限度促进隐形生态效益的发挥,支撑特定空间下的社会经济增长^[12]。结合国内城市发展现状,前瞻性地辨识出高发展潜力、高生态效益的城市低效用地,将其更新为GI,可拓宽局部生态空间,进而优化城市生态格局,这既能为确保城市生态过程的连续性提供空间支撑,也将有助于城市土地资源的高效利用和城市人居环境的有效改善,与存量土地再利用的多元利益诉求高度契合。但由于改造的资金成本有限,各地块更新改造的可行性、紧迫性和综合效益存在差异,以及更新为GI后对景观连通性的贡献程度亦有所不同,故合理判别低效用地更新为GI的优先度,并针对性、分阶段地进行更新改造,是当前低效用地更新和GI格局优化亟待解决的重要问题。

目前,与低效用地更新相关的研究多集中在成因分析^[13]、空间识别^[14]、更新潜力评价^[15-17]、开发策略^[18]以及政策机制^[19]等方面。其中,更新潜力指实施更新带来的效益,更新潜力评价是确定低效用地更新优先级的重要依据。综合评价法是该领域应用较为广泛的潜力评价方法^[15],通过构建综合指标体系对潜力进行测算,划分潜力等级以确定更新的优先顺序。然而,当前评价中普遍存在指标不够全面、数据较为简单、指标选择过于强调经济效益等问题,且多以行政区为研究对象,较少涉及具体的地块,对规划实践的指导意义不强^[15-16]。

景观连通性是景观对生态流的便利或阻碍程度^[20],增强景观连通性有利于保护生物多样性,缓解生境破碎化,对于城市生态环境的改善具有重要意义^[21-22]。基于图论^[23]、形态学空间格局分析(Morphological

Spatial Pattern Analysis, MSPA)^[24-25]、最小费用模型^[26-27]、电路理论^[28-29]等方法,可以通过识别和保护重要的斑块或廊道、巩固提升生态节点的规模和质量,以及修复增加新的斑块或廊道等方式提升景观连通性^[29-31]。但已有研究中普遍存在优化要素与实际用地类型产生空间冲突的问题,如待优化的生态节点位于基本农田、新建居住区等地块而出现用地冲突,致使优化方案难以落地实施^[32]。另外,当前城市修复仍主要侧重单个地块的生态修复,缺乏对整体景观连通性的统筹考虑^[12]。因此,从可行性角度出发,识别城市建成区内潜在的重要生态恢复空间,并前瞻性地对土地用途管制,有序将其转变为 GI,对科学优化城市生态空间格局非常关键。然而,有关中心城区城市低效用地更新为 GI 的研究尚不多见,而基于潜力评价与景观连通性分析,综合探寻低效用地更新为 GI 优先度方面的研究则更为少见。

鉴于此,本文以桂林市中心城区为例,采用层次分析法、熵权法和 TOPSIS 方法,通过构建综合指标体系,定量评价了研究区低效用地的更新潜力;基于最小费用路径、电路理论等方法,通过模拟低效用地更新前后两种情景下的生态网络格局,评价了低效用地地块对提升景观连通性的重要程度,进而利用二维判别矩阵,以潜力评价与景观连通性为指标,分析了低效用地更新为 GI 的优先度,提出了低效用地更新与优化的策略。研究结果可为城市低效用地更新和 GI 格局优化提供决策参考。

1 研究区概况

桂林市地处湘南丘陵、黔东南山地与桂中盆地结合部,位于 109°36′—111°29′E、24°15′—26°23′N 之间,地势西北高东南低,地形地貌复杂多样;属亚热带季风气候区,降雨多且集中在夏季;森林资源丰富,生态本底条件优越。由于近年来高强度的城镇开发建设,桂林市景观连通性大幅降低,生态环境保护形势日益严峻。桂林市中心城区作为城镇化建设的核心区域,面临经济发展、人居与生态环境改善的多重挑战。近年来,桂林市正在大力推进城镇低效用地再开发工作,为优化中心城区(尤其是老城区)的生态环境提供了契机。本文综合考虑城市建成区与周边山体的关系和城市低效用地的空间分布情况,选择叠彩区、七星区、秀峰区、雁山区、象山区和灵川县的部分区域作为研究区(图 1),总面积约为 348km²。

2 数据与研究方法

2.1 数据来源与预处理

本文所使用的数据主要有:来源于 Local Space 网站的研究区 2020 年 9 月的高分辨率遥感卫星影像数据(<http://www.locaspace.cn/LSV.jsp>);来源于地理空间数据云网站的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为 30m;珞珈一号夜光遥感卫星获取的夜间灯光数据(资料来源:<http://59.175.109.173:8888/index.html>),分辨率为 130m;来源于 OpenStreetMap 网站的道路矢量数据(<http://www.openstreetmap.org/>);通过百度地图 API 爬取的 2020 年 POI 数据,覆盖医疗、教育培训、美食、购物、休闲娱乐、市政等类型;来源于链家网站(<https://gl.lianjia.com/>)的小区户数数据;来源于桂林市自然资源局的低效用地数据(图 1)、地价数据。

本文使用投影变换、空间校正、地理配准、裁剪等手段对研究数据进行预处理,使其坐标系统保持一致,并将栅格分辨率统一转换为 10m×10m;通过对遥感卫星影像数据进行目视解译,获取研究区的土地利用现状图(图 1);根据《桂林经济社会统计年鉴 2019》中的市辖区人口与户数,计算得到平均每户 3.2 人,进而得到各小区人口总数。

2.2 研究方法

本研究从低效用地更新潜力评价、基于景观连通性提升的低效用地重要性评价和低效用地更新为 GI 的优先度评价 3 个方面展开研究,构建了基于更新潜力评价与景观连通性分析的低效用地更新为 GI 的优先度技术框架,具体技术路线如图 2 所示。

2.2.1 低效用地更新潜力评价

(1) 评价指标体系构建

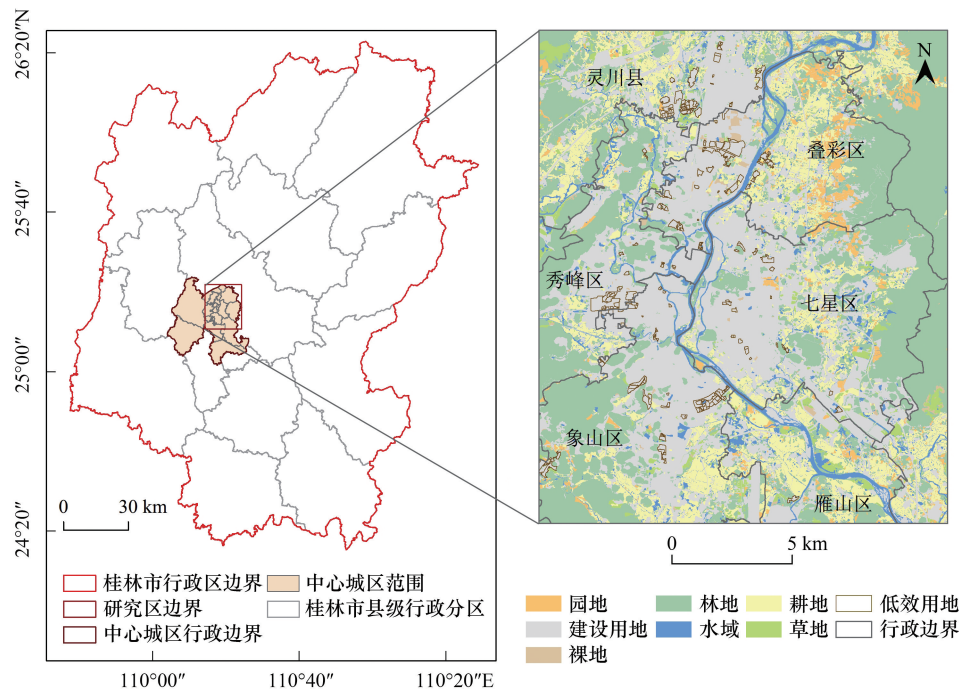


图1 研究区范围及土地利用分布情况

Fig.1 Map of location and land use of the study area

遵循系统性、代表性、独立性、可获得性等原则,统筹考虑地块自身更新的难易程度、更新成本以及预期综合效益,从地形条件、土地利用情况、区位交通条件和公共设施完备度四个方面^[15]选取 15 项指标因子,构建研究区低效用地更新潜力的评价指标体系(表 1),并参考相关文献确定指标的正负属性^[16]。

表 1 低效用地更新潜力评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for renewal potential of inefficient land							
目标层 Target	准则层 Criterion	指标层 Index	指标属性 Index attribute	目标层 Target	准则层 Criterion	指标层 Index	指标属性 Index attribute
低效用地更新潜力评价 Evaluation of renewal potential of inefficient land	地形条件	高程	负	低效用地更新潜力评价 Evaluation of renewal potential of inefficient land	区位交通条件	商业分布集聚度	正
		坡度	负			道路通达度	正
	土地利用情况	建筑密度	负			对外交通便捷度	正
		容积率	负		公共设施完备度	教育医疗设施完备度	负
		地块面积	正			文体设施完备度	负
		形状指数	负			公园广场完备度	负
		建筑质量	负			生活服务设施完备度	负
	区位交通条件	地价水平	正				

(2) 指标权重确定

本文采用层次分析法和熵权法两种方法分别计算各项指标的主客观权重,并根据余建星等^[33]提出的加法组合赋权方法,通过将主客观权重进行集成来确定各指标的权重(表 2)。

(3) 基于 TOPSIS 方法的低效用地更新潜力评价

本研究涉及大量低效用地地块和多个评价指标,样本容量大,指标数量较多且指标间具有不同量纲,故本文选取适用于多评价单元、多指标的 TOPSIS 方法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 进行低效用地更新潜力评价^[34](具体计算流程如图 3 所示),并根据相对接近系数值(C_i)来表征每一个地块更新潜力的大小,采用自然断点法分别将住宅用地、商服用地和工矿用地的更新潜力划分为 5 个等级:潜力很大、潜力较大、潜力中等、潜力较小、潜力很小(图 4、表 3)。

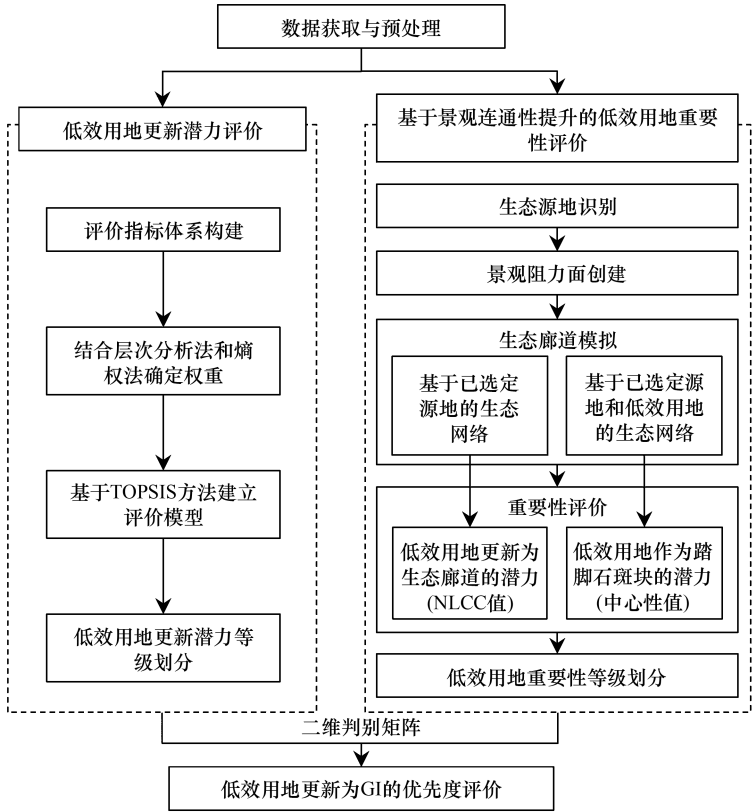


图 2 技术路线

Fig.2 Technical workflow

TOPSIS:逼近理想解排序法 Technique for order preference by similarity to ideal solution; NLCC:标准化最小费用廊道值 Normalized least cost corridor; GI:绿色基础设施 Green Infrastructure

表 2 低效用地更新潜力评价指标体系及权重

Table 2 Evaluation index system and weight of renewal potential of inefficient land

目标层 Target	准则层 Criterion	权重 Weight			指标层 Index	权重 Weight		
		住宅用地 Residential land	商服用地 Commercial land	工业用地 Industrial land		住宅用地 Residential land	商服用地 Commercial land	工业用地 Industrial land
低效用地更新潜力评价 Evaluation of renewal potential of inefficient land	地形条件	0.08	0.1	0.13	地形起伏度	0.03	0.04	0.05
					坡度	0.05	0.06	0.09
					建筑密度	0.04	0.03	0.05
	土地利用情况	0.29	0.24	0.37	容积率	0.03	0.04	0.03
					地块面积	0.06	0.03	0.06
					形状指数	0.02	0.02	0.03
					建筑质量	0.14	0.13	0.19
					地价水平	0.05	0.07	0.06
					商业分布集聚度	0.09	0.18	0.07
	区位交通条件	0.27	0.41	0.42	道路通达度	0.08	0.10	0.16
					对外交通便捷度	0.04	0.06	0.13
					教育医疗设施完备度	0.15	0.10	0.04
					文体设施完备度	0.05	0.04	0.01
					公园广场完备度	0.10	0.06	0.02
					生活服务设施完备度	0.06	0.06	0.02
	公共设施 完备度	0.36	0.25	0.08	教育医疗设施完备度	0.15	0.10	0.04
					文体设施完备度	0.05	0.04	0.01
					公园广场完备度	0.10	0.06	0.02

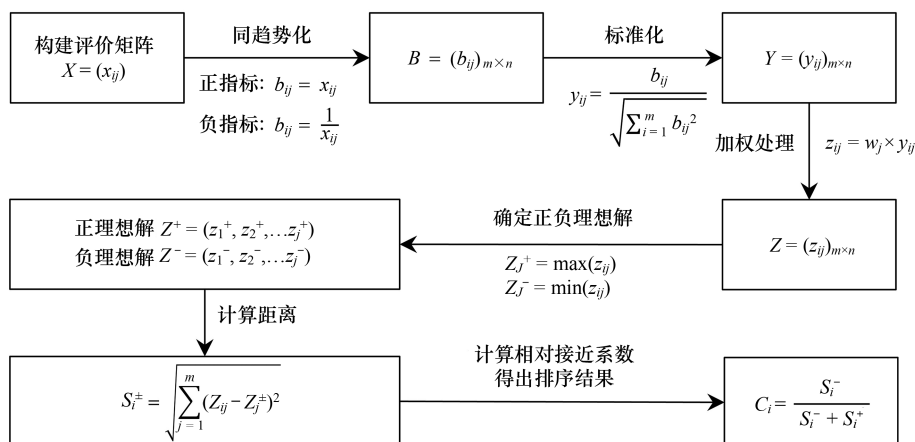


图3 TOPSIS 计算流程

Fig.3 TOPSIS calculation process

本研究共有 i 个地块, $i=1,2,\dots,255$; 设置 j 个评价指标, $j=1,2,\dots,15$; x_{ij} 为第 i 个地块对应的第 j 个评价指标的值

表3 不同类型低效用地潜力等级数量及面积汇总

Table 3 Summary on the quantity and area of potential grades of different inefficient land types

低效用地类型 Inefficient land type		潜力很大 Extremely high potential	潜力较大 High potential	潜力中等 Moderate potential	潜力较小 Low potential	潜力很小 Extremely low potential	合计 Total
低效住宅用地 Inefficient residential land	数量	4	14	24	29	33	104
	面积/hm ²	56.07	85.77	102.04	64.77	42.42	351.07
	面积占比/%	15.97	24.43	29.07	18.45	12.08	100.00
低效商服用地 Inefficient commercial land	数量	2	4	2	5	2	15
	面积/hm ²	19.58	4.08	0.83	3.39	2.16	30.04
	面积占比/%	65.17	13.58	2.76	11.28	7.20	100.00
低效工业用地 Inefficient industrial land	数量	12	9	38	50	27	136
	面积/hm ²	40.83	42.02	91.10	66.62	24.17	264.74
	面积占比/%	15.42	15.87	34.41	25.16	9.13	100.00
合计 Total	数量	18	27	64	84	62	255
	面积/hm ²	116.48	131.87	193.97	134.78	68.75	645.85
	面积占比/%	18.04	20.42	30.03	20.87	10.64	100.00

2.2.2 基于景观连通性提升的低效用地重要性评价

(1) 生态源地识别

生态源地是物种栖息和扩散的基础,其识别主要取决于生境面积、生态系统服务重要性、生境形态和质量等因素^[35]。本文结合研究区实际情况以及数据的可获得性,从斑块面积和景观连接度两个方面进行生态源地的遴选。

选取林地和公园绿地作为备选源地,并提取面积大于 1hm²的源地作为景观连接度的评价对象。参考费凡等的研究^[36],选取可能连通性指数(PC)作为评价指数,在 Conefor2.6 软件中设置距离阈值为 1000m,连通性概率为 0.5,得到各个斑块的斑块重要性指数(dPC),并提取重要性指数前 20%的斑块作为最终的生态源地(图 5)。

(2) 景观阻力面创建

景观阻力是指物种在不同景观单元之间进行迁移的难易程度^[37],其大小与景观类型、人类活动干扰强度

等因素有关。基于研究区实际情况及数据的可获得性,参照相关研究^[38—39],针对不同土地利用类型进行景观阻力的赋值(表4)。

表 4 不同土地利用类型的阻力值
Table 4 Resistance value of different land use types

土地利用类型 Land use type					土地利用类型 Land use type				
分类 Classification		分级 Grading	阻力值 Resistance value		分类 Classification		分级 Grading	阻力值 Resistance value	
耕地 Cultivated land	水田	—	—	50	交通运输用地 Traffic land	城镇村道路用地	道路等级	支路	200
	水浇地	—	—	60		农村道路	—	—	150
	旱地	—	—	80		交通服务场站用地	—	—	800
林地 Forest	—	面积/hm ²	>5	1		机场用地	—	—	1000
			1—5	10		港口码头用地	—	—	800
			<1	20	水域 Water bodies	河流水面	宽度/m	>50	800
草地 Grassland	—	—	—	30				30—50	500
园地 Garden land	—	—	—	60				<30	100
商业服务业用地 Commercial land	—	—	—	800		湖泊水面	面积/hm ²	>80	800
工矿用地 Industrial and mining land	—	—	—	800				30—80	200
住宅用地 Residential land	城镇住宅用地	—	—	1000				<30	20
	农村宅基地	—	—	600		坑塘水面	面积/hm ²	>30	200
公共管理与公共服务用地 Public management and Service land	公园与绿地	—	—	30				10—30	20
	其他	—	—	800				5—10	15
特殊用地 Specially-designated land	—	—	—	800				1—5	10
交通运输用地 Traffic land	铁路用地	—	—	1000				<1	5
	公路用地	宽度/m	>40	900	湿地 Wetland	沟渠	—	—	100
			10—40	500		内陆滩涂	—	—	10
			<10	300	其他土地 Other land	空闲地	面积/hm ²	>5	400
	城镇村道路用地	道路等级	快速	800				<5	100
			主干	600		裸土地	面积/hm ²	>5	400
			次干	400				<5	100

由于根据土地利用类型进行阻力面的均一化赋值难以反映人类活动对阻力面的影响,因此,本文基于夜间灯光数据对景观阻力面进行了修正(公式1)^[40—41]。

$$R'_i = \frac{TLL_i}{TLL_a} \times R_i \quad (1)$$

式中, R'_i 为修正后栅格 i 的阻力值; TLL_i 为栅格 i 所在斑块的平均夜间灯光指数; TLL_a 为栅格 i 对应的区域内土地利用类型 a 的平均灯光指数; R_i 为基于土地利用类型赋值的栅格 i 的景观类型的基本阻力值。

(3) 生态廊道模拟

本文采用最小费用路径方法 (Least-cost path method, LCP)^[26], 基于低效用地更新前和低效用地更新后两种生态源地情景, 通过计算物种在源地斑块间迁移扩散所克服的累计阻力值, 模拟得到两种情景下生态源地之间的最小费用路径与生态网络格局 (图 5、图 6)。

(4) 重要性评价

针对低效用地更新前的生态网络情景, 选择标准化最小费用廊道值 (Normalized Least Cost Corridor, NLCC, 公式 2) 来衡量低效用地更新为生态廊道的潜力^[42-43], 其值越低, 表明成本越低, 生物迁移通过的可能性越大, 成为生态廊道的潜力越大 (图 7)。

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

式中, $NLCC_{AB}$ 是斑块 A 、 B 之间的标准化最小费用廊道, CWD_A 、 CWD_B 分别为从斑块 A 、 B 出发的加权成本距离, LCD_{AB} 是指斑块 A 、 B 之间最小费用廊道对应的加权成本距离。

针对低效用地更新后的生态网络情景, 采用电路理论的中心性值来衡量低效用地作为踏脚石斑块的相对重要性 (图 8)。低效用地斑块的中心性值越大, 说明其更新后在维持整个生态网络景观连通性中的重要性越高。其计算原理为: 将每个源地视为节点, 将每条廊道视为电阻, 其电阻值为对应的成本加权距离, 在 Centrality Mapper 软件中采用迭代方式, 给一个斑块 1A 的电流, 另一个斑块接地, 模拟计算两个斑块间的电流值; 将经过每个斑块的电流累加, 得到累积电流值即为斑块的中心性值^[44]。

最后, 将低效用地的平均 NLCC 值和中心性值进行标准化与等权重叠加, 得到基于景观连通性提升的低效用地重要性得分, 并采用自然断点法, 将其划分为高、较高、中等、较低和低五个重要性等级 (图 9)。

2.2.3 基于判别矩阵的低效用地更新为 GI 的优先度评价

参照尹海伟等的研究^[45], 采用二维判别矩阵方法, 将低效用地更新潜力等级和景观连通性重要性等级进行叠加分析, 得到 25 种组合类型, 并基于优先考虑更新潜力再考虑景观连通性重要性原则, 将其重新划分为 I—V 5 个等级, 分别对应最高、较高、中等、较小、最小优先度 (图 10、表 5)。

表 5 低效用地更新为 GI 的优先度等级划分

Table 5 Classification of priority grades of transforming inefficient land to GI

潜力等级 Potential grades	重要性程度 Important Degree				
	高重要性 Extremely high	较高重要性 High	中等重要性 Moderate	较低重要性 Low	低重要性 Extremely low
潜力很大 Extremely high potential	I	I	II	II	III
潜力较大 High potential	I	II	II	III	IV
潜力中等 Moderate potential	II	II	III	IV	IV
潜力较小 Low potential	II	III	IV	IV	V
潜力很小 Extremely low potential	III	IV	IV	V	V

GI: 绿色基础设施 Green infrastructure

3 结果与分析

3.1 低效用地更新潜力评价结果

由图 4、表 3 可见, 由于地块间各项指标差异较大, 低效用地更新潜力的空间分布比较分散, 无明显集中趋势; 整体而言, 潜力很大和潜力较大的低效用地多分布在建成区的外围区域, 仅有少数零散分布在建成区中

部,更新潜力很大的用地斑块共有 18 个,面积为 116.48hm^2 ,占低效用地总面积的 18.04%,潜力较大的用地斑块有 27 个,面积为 131.87hm^2 ,占比 20.42%。低效住宅用地主要位于叠彩区、秀峰区和灵川县(图 4),这些地块普遍存在容积率和建筑密度较低、建筑质量较差、公共设施配套不足等问题,因而更新潜力较大。低效商服用地数量较少,在象山区、秀峰区和灵川县有零星分布(图 4)。低效工业用地主要位于象山区和七星区(图 4),这些地块容积率较低,且周边道路系统规模不足、公共交通服务短缺,故更新为 GI 的潜力也较大。

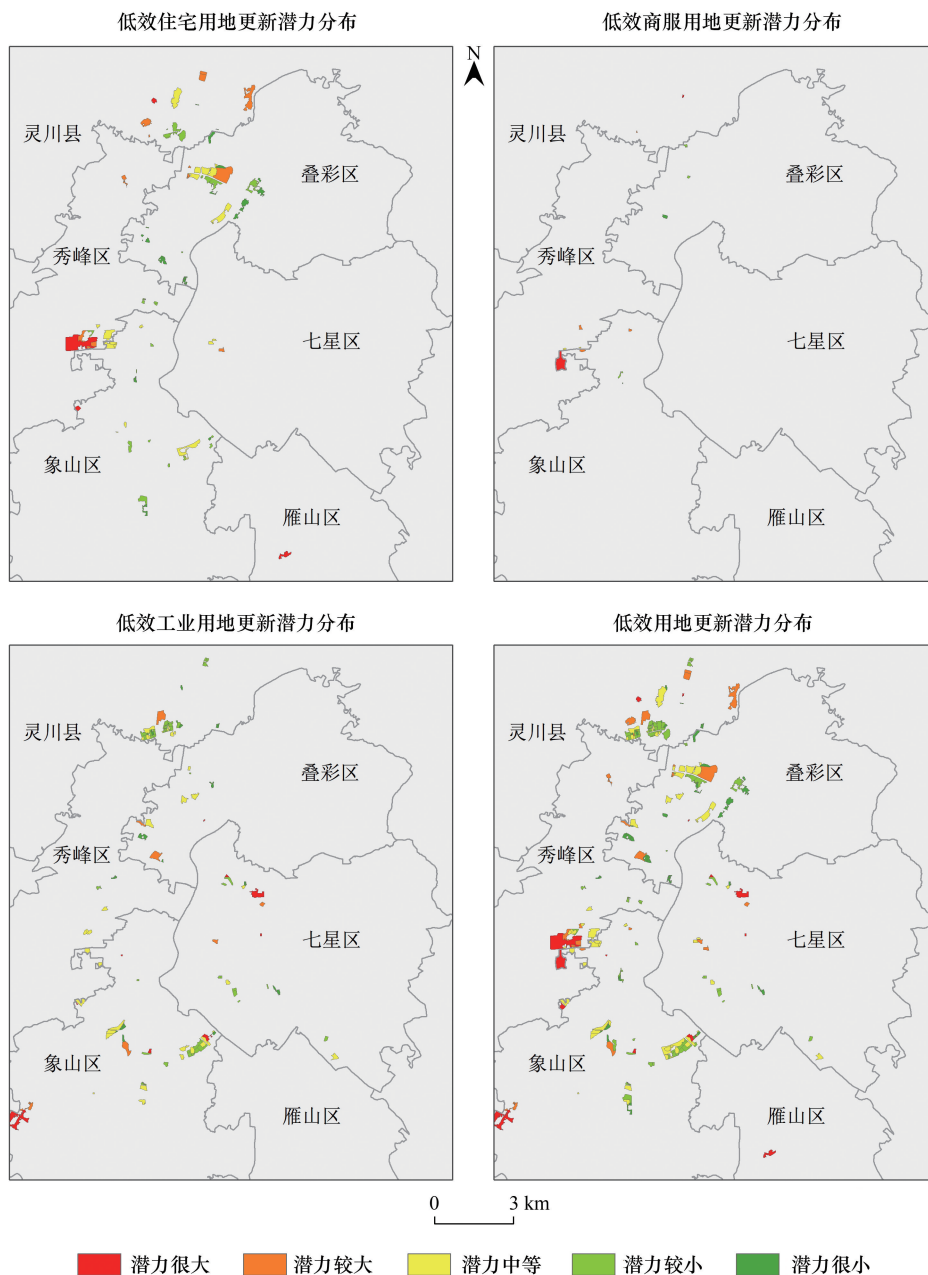


图 4 不同类型低效用地更新潜力等级空间分布

Fig.4 Spatial distribution of renewal potential grades of different inefficient land types

3.2 低效用地重要性评价结果

(1) 不同情景的生态网络比较分析

由图 5、图 6 可见,低效用地更新后情景的最小费用路径(生态廊道)数量明显增多,平均长度大幅减小,更新前共有 239 条,平均长度为 817m,而更新后增加为 722 条,平均长度减少为 446m;且低效用地更新后情

景的长度小于 3km 的最小费用路径所占比例明显增加(由 53.32% 增为 61.63%),而大于 3km 的最小费用路径所占比例显著下降(由 32.94% 减为 14.45%)。表明低效用地更新后的生态网络格局明显改善,特别是在研究区北部的八里街片区和叠彩片区、西部琴潭片区、东部七星北片区和七星南片区等建成区改善最为显著,表明这些分布于生态源地之间面积较小的低效用地,能够有效发挥“踏脚石”作用,极大优化了源地间的景观连通性。

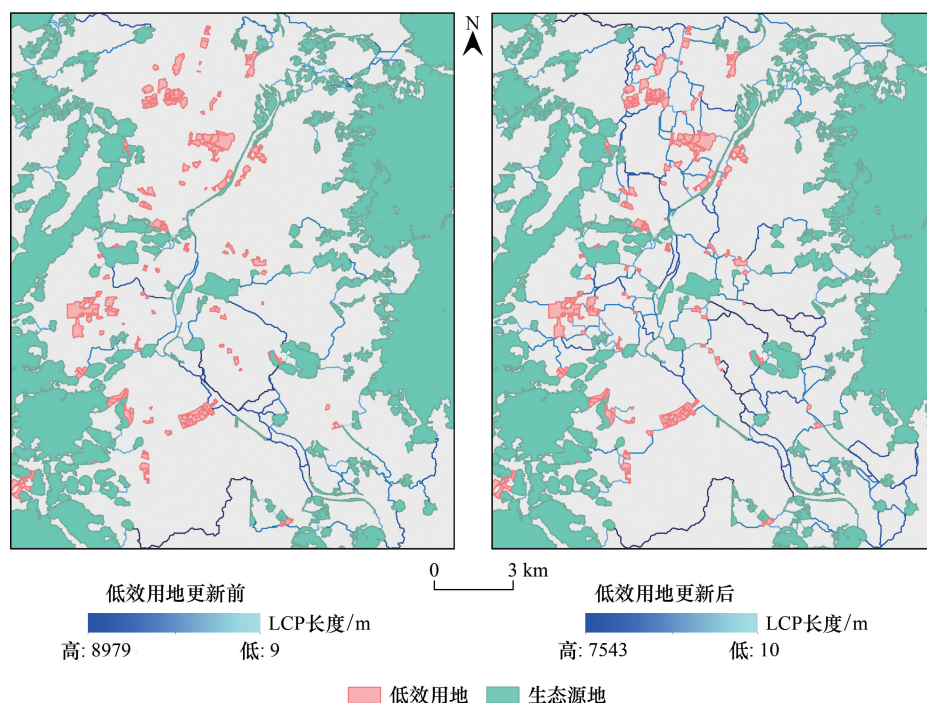


图 5 不同情景下的最小费用路径

Fig.5 The least-cost paths for different scenarios

(2) 低效用地的的重要性程度评价

由图 7 可见,低效用地更新前,其标准化最小费用廊道(NLCC)值在 6—1453320 之间,略低于研究区的 NLCC 值(在 0—1970768 之间),且在空间分布上存在较大差异,部分低效用地位于最小费用路径附近,则其 NLCC 值会较小,生物迁移通过的概率较大,未来更新为生态廊道的潜力也较大,否则反之。另外,低效用地更新后,研究区低效用地的中心性值在 419—14583 之间,明显低于研究区所有源地的中心性值(在 419—35165 之间,高值区主要为研究区东西两侧的大型山体绿地)(图 8),表明低效用地与周边大型绿地相比,其中心性水平偏低;不同低效用地地块之间的中心性值差异较大,研究区北部和西部的部分低效用地中心性值较高,说明这些地块处于生态网络格局中的关键位置,对提高研究区整体景观连通性具有重要作用。

综合低效用地的 NLCC 值和中心性值,可以得到基于景观连通性提升的低效用地重要性程度空间分布(图 9)。由图 9 可见,研究区高重要性(18 个)和较高重要性(41 个)的低效用地面积分别为 157.20hm² 和 162.82hm²,分别占总面积的 24.34% 和 16.08%,主要集中分布在灵川县与秀峰区交界处、叠彩区中部、秀峰区

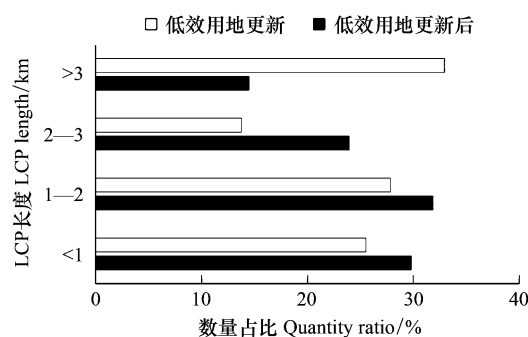


图 6 不同情景的最小费用路径数量和长度

Fig.6 Statistics of the number and the length of LCPs for different scenarios

LCP: 最小费用路径方法 Least-cost path method

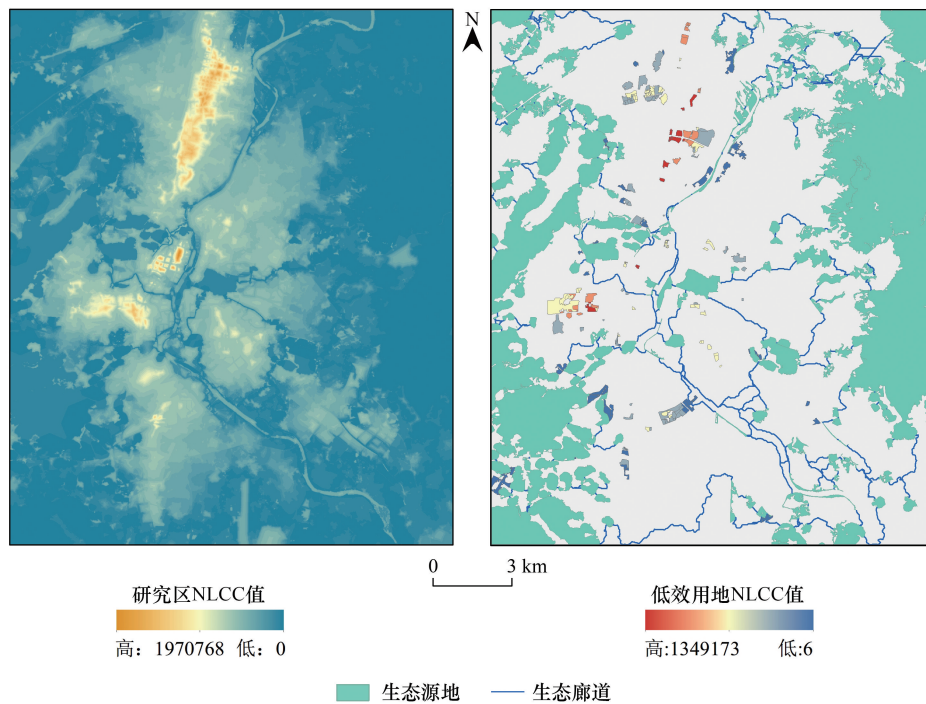


图7 NLCC 值分析结果

Fig.7 Results of NLCC value analysis

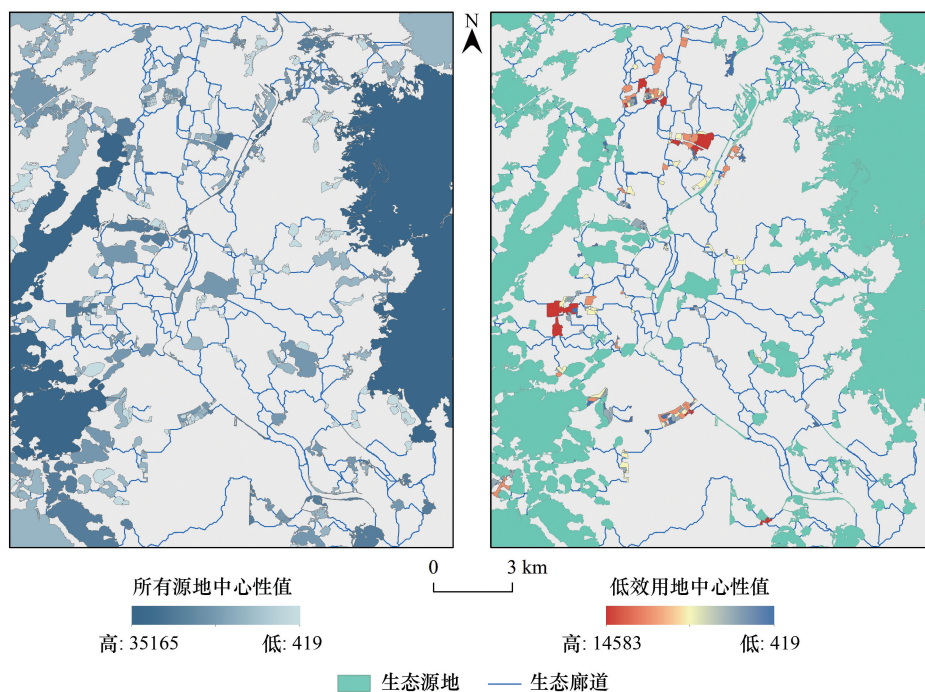


图8 基于电路理论的中心性分析结果

Fig.8 Results of centrality analysis based on circuit theory

与象山区交界处以及象山区东部;中等、较低和低重要性的低效用地分别为 80 个、28 个和 28 个,面积分别为 188.08hm^2 、 104.85hm^2 和 32.90hm^2 ,分别占总面积的 29.12%、16.23%和 5.09%,散布在整个中心城区。

3.3 低效用地更新为 GI 的优先度评价结果及规划建议

由图 10 可见,研究区低效用地更新为 GI 的优先度等级总体上呈现 I、II 级多中心集聚分布、其他等级散布的特征;优先度 I 级(9 个)和 II 级(53 个)地块的面积分别为 135.58hm^2 和 209.28hm^2 , 分别占低效用地总面积的 20.99% 和 32.40%, 主要呈组团状分布在叠彩区中部、灵川县中部、秀峰区和象山区的交界处以及象山区和雁山区的交界处;优先度 III 级(33 个)、优先度 IV 级(119 个)和优先度 V 级(41 个)地块的面积分别为 110.02hm^2 、 159.41hm^2 和 31.56hm^2 , 分别占总面积的 17.04%、24.68% 和 4.89%, 这些地块散布于研究区的中部。

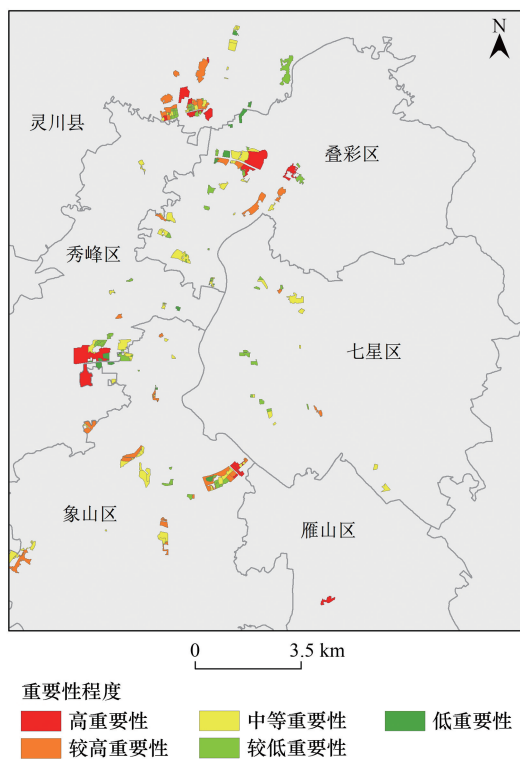


图 9 基于景观连通性提升的低效用地重要性程度空间分布

Fig.9 Spatial distribution of importance degree of inefficient land based on the improvement of landscape connectivity

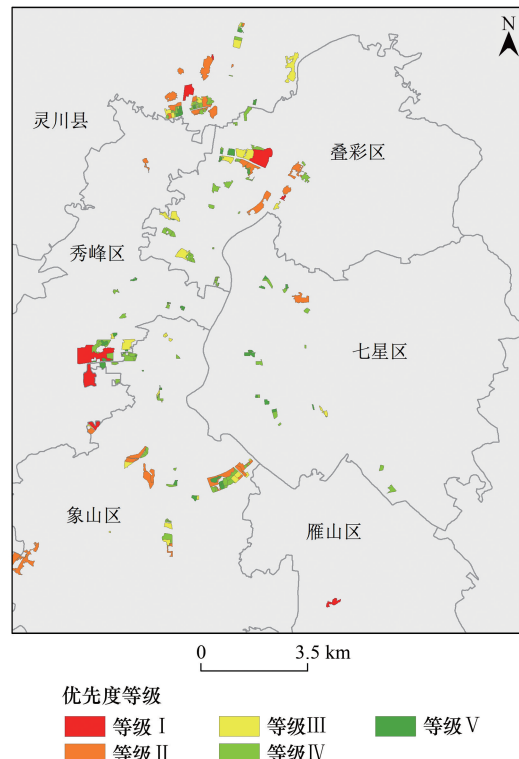


图 10 低效用地更新为 GI 的优先度等级空间分布

Fig.10 Spatial distribution of priority grades of transforming inefficient land to GI

建议根据地块的优先度等级分类制定城市低效用地的用途管制与更新规划。优先度为 I 级(全部或部分区域),建议优先更新为公园绿地,将其纳入城市的 GI 网络,以更好地保护城市生物多样性,增强整体生态网络格局的景观连通性;优先度为 II 级和 III 级(全部或部分区域),更新规划时应严格控制绿地率,适当增加绿地面积,提高植被物种丰富度,增加的绿地应优先建设口袋公园、袖珍公园、社区游园等,以切实保障所更新地块“踏脚石”功能的有效发挥,或者建设一定宽度的带形绿地,将其作为生态廊道融入周边的生态网络格局之中;优先度为 IV 级和 V 级(全部或部分区域),建议可全部更新为城镇建设用地,但在其更新过程中应积极采用屋顶绿化、垂直绿化等手段来增加绿化覆盖率,提升城市绿化品质。

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文通过探讨低效用地更新的潜力以及低效用地更新后对提升景观连通性的重要性,提出了一种判断低效用地更新为 GI 优先度的技术框架。该框架将景观连通性分析引入低效用地更新优先级的评价中,响应了

城市高质量发展和生态文明建设需求,同时注重低效用地更新的可行性,为低效用地的更新和城市 GI 格局的优化提供了可操作性的技术框架。但本文仍存在一定的局限性:在低效用地更新潜力评价中,没有考虑用地权属、业主意愿等因子;在优先度评价中,发现低效用地更新潜力与提升景观连通性的重要性评价结果存在一定的空间差异(图 4 和图 9),在研究区北部和南部,部分低效用地更新潜力较小但生态重要性较高,而在研究区西部,部分低效用地更新潜力较大但生态重要性较低,因而采用二维判别矩阵进行优先度类型划分会有多种组合情景,本文仅基于发展潜力优先原则选择了其中一种分类情景,未开展多情景分类结果的比较分析。此外,本文聚焦于低效用地更新为 GI 后对提高景观连通性和保护生物多样性的关键作用,未对其社会和经济功能进行深入探讨,后续可将其休闲游憩、调控雨洪等生态系统服务及供需平衡与权衡关系纳入分析框架之中,以更好地实现低效用地地块更新后综合效益的提升。

4.2 结论

本研究以桂林市中心城区为例,采用层次分析法、熵权法、TOPSIS、最小费用路径、电路理论、二维判别矩阵等多种方法,构建了低效用地更新为 GI 的优先度评价的技术分析框架,定量评价了低效用地更新为 GI 的优先度,可为低效用地再开发的规划实践和绿色基础设施网络格局优化提供决策参考。研究结果表明:(1)从低效用地自身条件来看,约 38%的低效用地具有较高的更新潜力,总体上呈多中心集聚分布特征,主要分布在研究区西部和北部;(2)低效用地更新为 GI 后,研究区廊道数量明显增加,平均长度大幅减小,北部和南部连通性显著提升。不同低效用地地块充当生态廊道或踏脚石的潜力存在显著差异,综合分析结果表明重要性较高的低效用地面积占比达 40%,主要分布在研究区北部、西部和南部;(3)低效用地更新潜力评价结果和基于景观连通性提升的重要性评价结果在部分区域差异明显,且优先度等级结果总体呈 I、II 级多中心集聚分布、其他等级散布的特征,优先度较高的低效用地面积占比达 53%,主要分布在研究区北部和西南部,应针对不同优先度等级的地块制定差异化的用途管制与更新规划措施。

参考文献(References):

- [1] 尹海伟,孔繁花,祈毅,王红扬,周艳妮,秦正茂. 湖南省城市群生态网络构建与优化. 生态学报, 2011, 31(10): 2863-2874.
- [2] Collinge S K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. Landscape and Urban Planning, 1996, 36(1): 59-77.
- [3] 罗小龙,陆建城. “十四五”时期发展新趋势与国土空间规划应对. 城市规划, 2019, 43(10): 9-12, 28-28.
- [4] 王朝宇,朱国鸣,相阵迎,梁家健. 从增量扩张到存量调整的国土空间规划模式转变研究——基于珠三角高强度开发地区的实践探索. 中国土地科学, 2021, 35(2): 1-11.
- [5] 邹兵. 增量规划向存量规划转型:理论解析与实践应对. 城市规划学刊, 2015, (5): 12-19.
- [6] 曾乐春,龚军伟,朱一中. 低效建设用地再开发的制度困境与对策——以广东省为例. 中国土地, 2021, (3): 41-43.
- [7] 林坚,叶子君,杨红. 存量规划时代城镇低效用地再开发的思考. 中国土地科学, 2019, 33(9): 1-8.
- [8] 杨少敏,李资华. 城镇低效用地类型和认定标准探讨. 中国国土资源经济, 2021, 34(2): 42-48.
- [9] 刘巍,吕涛. 存量语境下的城市更新——关于规划转型方向的思考. 上海城市规划, 2017, (5): 17-22.
- [10] 卢宗亮,王红梅,刘光盛,梁宇哲,易璐,杨丽英,蔡城锋. 生态-经济竞合下低效建设用地再开发空间重构——以湛江市中心城区为例. 中国土地科学, 2018, 32(12): 34-41.
- [11] 周艳妮,尹海伟. 国外绿色基础设施规划的理论与实践. 城市发展研究, 2010, 17(8): 87-93.
- [12] 周盼,吴佳雨,吴雪飞. 基于绿色基础设施建设的收缩城市更新策略研究. 国际城市规划, 2017, 32(1): 91-98.
- [13] 马安胜,雷淮邻,袁国华,孙颖. 东北三省闲置低效用地成因分析及对策建议. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S1): 102-103.
- [14] 丁一,郭青霞,陈卓,张欣欣. 系统论视角下欠发达县域城镇低效用地识别与再开发策略. 农业工程学报, 2020, 36(14): 316-326.
- [15] 王海云,王红梅,郑敏辉,丁一,程迎轩. 基于规划的“三旧”改造潜力分析. 现代城市研究, 2015, (3): 78-85, 103-103.
- [16] 王景丽,刘轶伦,马昊翔,隆少秋,胡月明. 开放大数据支持下的深圳市城市更新改造潜力评价. 地域研究与开发, 2019, 38(3): 72-77.
- [17] 赵锦玉,赵律相,胡月明,戴慧,廖琪. 顺德区“三旧”改造潜力评价研究. 广东土地科学, 2013, 12(6): 28-34.
- [18] 沈嘉瑜. 杭州市区存量低效用地空间格局及再开发策略研究[D]. 杭州:浙江大学, 2020.
- [19] 顾岳汶,吕萍. 产权博弈视角下存量低效工业用地更新机制研究——以深圳市新型产业用地改革为例. 城市发展研究, 2021, 28(1): 71-77.

- [20] Taylor P D, Fahrig L, Henein K, Merriam G. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 1993, 68(3): 571-573.
- [21] Clergeau P, Burel F. The role of spatio-temporal patch connectivity at the landscape level: an example in a bird distribution. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 38(1/2): 37-43.
- [22] Saura S, Pascual-Hortal L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 83(2/3): 91-103.
- [23] Kong F H, Yin H W, Nakagoshi N, Zong Y G. Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity modeling. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 95(1/2): 16-27.
- [24] Wickham J D, Riitters K H, Wade T G, Vogt P. A national assessment of green infrastructure and change for the conterminous United States using morphological image processing. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 94(3/4): 186-195.
- [25] 许峰, 尹海伟, 孔繁花, 徐建刚. 基于 MSPA 与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建. *生态学报*, 2015, 35(19): 6425-6434.
- [26] LaRue M A, Nielsen C K. Modelling potential dispersal corridors for cougars in midwestern North America using least-cost path methods. *Ecological Modelling*, 2008, 212(3/4): 372-381.
- [27] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 1992, 23(1): 1-16.
- [28] McRae B H, Beier P. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(50): 19885-19890.
- [29] 刘佳, 尹海伟, 孔繁花, 李沐寒. 基于电路理论的南京城市绿色基础设施格局优化. *生态学报*, 2018, 38(12): 4363-4372.
- [30] Clauzel C, Bannwarth C, Foltete J C. Integrating regional-scale connectivity in habitat restoration: An application for amphibian conservation in eastern France. *Journal for Nature Conservation*, 2015, 23: 98-107.
- [31] Li W W, Clauzel C, Dai Y C, Wu G S, Giraudoux P, Li L. Improving landscape connectivity for the Yunnan snub-nosed monkey through cropland reforestation using graph theory. *Journal for Nature Conservation*, 2017, 38: 46-55.
- [32] 何侃, 林涛, 吴建芳, 随梦飞, 刘恋, 丁国昌. 基于空间优先级的福州市中心城区绿色基础设施网络构建. *应用生态学报*, 2021, 32(4): 1424-1432.
- [33] 余建星, 谭振东. 基于组合赋权及 TOPSIS 的绩效定量评价研究. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(11): 46-50.
- [34] 田相俊, 李翠平, 曹志国, 刘书浩, 王勇. 基于 TOPSIS 法的西部矿区水资源承载力综合评价. *矿业研究与开发*, 2020, 40(9): 170-175.
- [35] Liu X J, Liu D F, Zhao H Z, He J H, Liu Y L. Exploring the spatio-temporal impacts of farmland reforestation on ecological connectivity using circuit theory: A case study in the agro-pastoral ecotone of North China. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(9): 1419-1435.
- [36] 费凡, 尹海伟, 孔繁花, 陈佳宇, 刘佳, 宋小虎. 基于二维与三维信息的南京市主城区生态网络格局对比分析. *生态学报*, 2020, 40(16): 5534-5545.
- [37] 刘伊萌, 杨赛霓, 倪维, 何锦彪. 生态斑块重要性综合评价方法研究——以四川省为例. *生态学报*, 2020, 40(11): 3602-3611.
- [38] 王玉莹, 金晓斌, 沈春竹, 鲍桂叶, 刘晶, 周寅康. 东部发达区生态安全格局构建——以苏南地区为例. *生态学报*, 2019, 39(7): 2298-2310.
- [39] 朱捷, 苏杰, 尹海伟, 孔繁花. 基于源地综合识别与多尺度嵌套的徐州生态网络构建. *自然资源学报*, 2020, 35(8): 1986-2001.
- [40] 陈昕, 彭建, 刘焱序, 杨畅, 李贵才. 基于“重要性-敏感性-连通性”框架的云浮市生态安全格局构建. *地理研究*, 2017, 36(3): 471-484.
- [41] 马世发, 劳春华, 江海燕. 基于生态安全格局理论的国土空间生态修复分区模拟——以粤港澳大湾区为例. *生态学报*, 2021, 41(9): 3441-3448.
- [42] Belote R T, Dietz M S, McRae B H, Theobald D M, McClure M L, Irwin G H, McKinley P S, Gage J A, Aplet G H. Identifying corridors among large protected areas in the United States. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0154223.
- [43] Hou W, Zhai L, Feng S S, Walz U. Restoration priority assessment of coal mining brownfields from the perspective of enhancing the connectivity of green infrastructure networks. *Journal of Environmental Management*, 2021, 277: 111289.
- [44] Dutta T, Sharma S, McRae B H, Roy P S, DeFries R. Connecting the dots: mapping habitat connectivity for tigers in central India. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(1): 53-67.
- [45] 尹海伟, 孔繁花. 城市与区域规划空间分析实验教程(第3版). 南京: 东南大学出版社, 2018: 664-666.