



基于生境质量模型的福州市绿色基础设施网络优化研究

耿建伟 余坤勇 谢祯 杨务发 刘健

Habitat-quality-model Based Optimization of Green Infrastructure Network in Fuzhou

Geng Jianwei, Yu Kunyong, Xie Zhen, Yang Wufa, Liu Jian

引用本文:

耿建伟, 余坤勇, 谢祯, 杨务发, 刘健. 基于生境质量模型的福州市绿色基础设施网络优化研究[J]. 西南林业大学学报, 2023, 43(2):118–125. doi: 10.11929/j.swfu.202111080

Geng Jianwei, Yu Kunyong, Xie Zhen, Yang Wufa, Liu Jian. Habitat-quality-model Based Optimization of Green Infrastructure Network in Fuzhou[J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2023, 43(2):118–125. doi: 10.11929/j.swfu.202111080

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202111080>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

1988—2018年武夷山自然保护区生境质量评价

Habitat Quality Evaluation of Wuyi Mountain National Nature Reserve in 1988-2018

西南林业大学学报. 2021, 41(4): 93–102 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202004066>

福州市湿地松人工林树皮厚度模型研究

Bark Thickness Model of *Pinus elliottii* Plantation in Fuzhou

西南林业大学学报. 2018, 38(5): 124–131 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.05.020>

桂东珍稀野生动物保护的安全格局分析

Analysis on the Safety Pattern of Rare Wild Animal Protection in Guidong

西南林业大学学报. 2019, 39(5): 144–150 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201901019>

滇中城市群绿色空间格局动态变化多尺度研究

Multi-scale Dynamic Change of Green Spatial Pattern of Urban Agglomeration in Central Yunnan

西南林业大学学报. 2021, 41(5): 88–97 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202009064>

乳源木莲生长形质的地形效应及微生境配置优化研究

The Topographic Effect on the Growth and Stem-form Quality of *Manglietia yuyuanensis* and Optimization of Microhabitat Configuration

西南林业大学学报. 2018, 38(6): 19–26 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.06.002>

福州市11种绿化灌木春季滞留颗粒物效应研究

Effects of Particles by 11 Greening Shrubs in Spring in Fuzhou City

西南林业大学学报. 2017, 37(4): 47–53 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2017.04.008>

DOI: 10.11929/j.swfu.202111080

引文格式: 耿建伟, 余坤勇, 谢祯, 等. 基于生境质量模型的福州市绿色基础设施网络优化研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2023, 43(2): 118-125.

基于生境质量模型的福州市绿色基础设施网络优化研究

耿建伟^{1,2} 余坤勇^{2,3} 谢祯^{1,2} 杨务发² 刘健^{1,2,3}

(1. 福建农林大学艺术学院、园林学院(合署), 福建福州 350002; 2. 福建农林大学 3S 技术与资源优化利用福建省高校重点实验室, 福建福州 350002; 3. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002)

摘要: 以福州市主城区为研究对象, 基于 MSPA、InVEST 生境质量评价、最小累积阻力模型、重力模型等方法构建并优化福州市的 GI 网络。结果表明: 基于 MSPA 识别出福州市核心区共 1977 个, 占研究区总面积的 45.5%。根据直接识别与景观连通性指标 dPC 综合筛选出共 15 个绿色基础设施源地。大面积 GI 源地主要分布在城郊, 中心城区较少。基于 InVEST 生境质量评价模型得到生境指数 0.8~1.0 的高生境质量地区占研究区总面积的 59.02%, 生境指数 0~0.2 的低生境质量地区占研究区总面积的 26.47%; 基于最小累积阻力模型和重力模型, 提取和识别一级廊道 15 条, 二级廊道 17 条, 共 22 条。优化 GI 网络后, 新增了绿色基础设施源地 6 个, 节点 150 个, 其中与铁路相交的节点 41 个, 与高速公路相交的节点 109 个。福州市绿色基础设施分布不均, 生境质量指数两极分化严重, 且连通性不佳, 今后的建设中应加强中心城区的绿色基础设施源地和重要廊道的保护和建设。

关键词: 形态学空间格局; 最小累积阻力模型; 绿色基础设施; InVEST; 生境质量

中图分类号: TU985

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2023)02-0118-08

Habitat-quality-model Based Optimization of Green Infrastructure Network in Fuzhou

Geng Jianwei^{1,2}, Yu Kunyong^{2,3}, Xie Zhen^{1,2}, Yang Wufa², Liu Jian^{1,2,3}

(1. College of Arts / College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China; 2. University Key Lab for Geomatics Technology & Optimize Resource Utilization in Fujian Province, Fuzhou Fujian 350002, China; 3. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002, China)

Abstract: Taking the downtown area of Fuzhou as the research object. In view of Morphological Spatial Pattern Analysis(MSPA) and InVEST Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trad-offs(InVEST), the minimum cumulative resistance model, and the gravity model, the GI network of Fuzhou City is constructed and optimized. The findings indicated that a total of 1977 core areas in Fuzhou were identified based on MSPA., accounting for 45.5% of the total area of the study area. A total of 15 green infrastructure sources were selected based on direct identification and landscape connectivity index dPC. The area of the large area GI source was distributed mainly in the suburbs. The high environmental quality area of the inhabiting area with habitat index of

收稿日期: 2021-11-27; 修回日期: 2021-12-31

基金项目: 福建省高校产学项目(2019N5012、2020N5003)资助。

第 1 作者: 耿建伟(1997—), 男, 硕士研究生。研究方向: 风景园林规划设计。Email: fafugjw@126.com。

通信作者: 刘健(1963—), 男, 教授, 博士生导师。研究方向: “3S”技术应用、风景园林规划与理论研究。
Email: fjliujian@126.com。

0.8–1.0 occupies 59.02% and the low environmental quality area with a habitat index of 0–0.2 occupies 26.47 % of the total area of the study area based on the environmental quality evaluation model of InVEST; based on minimum cumulative resistance model and gravity model, a total of 22 corridors were identified, including 15 primary corridors and 17 secondary corridors. When the GI network was optimized, 6 green infrastructure sources and 150 nodes were added, 41 of which intersected with the railway, and 109 intersected with the highways. The distribution of green infrastructure in Fuzhou City is not uniform, and the habitat quality index is seriously differentiated, and the communication is not good. In the future construction, we should focus on the protection and construction of green infrastructure and important corridors in the downtown area.

Key words: MSPA; MCR; green infrastructure; InVEST; habitat quality

有关城市发展的环境问题一直是世界各国政府和学者感兴趣的问题。现在，中国是世界上城市化进程最快速的国家之一，在过去的几十年间全国各地的城市化建设取得了显著的成绩，但是这也导致了城市建设和生态环境的矛盾。集中体现在高密度的城市建成区的绿色基础设施被侵占，难以满足人们对自然服务的需求，为提高城市中生态环境、维持生物多样性、提高绿色基础设施的生态服务功能，1960年前后，生态保护运动开始发展，绿色基础设施概念初步形成。生物通道、生态网络等概念开始出现^[1]。研究表明，绿色基础设施网络的建设可以有效缓解景观破碎化、对缓解城市生态环境问题和维持生物多样性具有重要的作用^[2]。

当前，绿色基础设施网络已形成了“源地–廊道”的构建模式^[3]，其中，较为常见的方法有最小累积阻力（MCR）模型、图论方法以及电流理论。MCR模型是一种基于GIS平台的技术，能够计算与识别目标源地之间所耗费的最小阻力路径，从而构建绿色基础设施网络。目前在相关研究领域已得到广泛的运用。该模型能够综合考虑研究区内地形、地貌、景观类型、人为干扰等多方面因素，且具有数据量少，可视化好等优点，通常结合生态敏感性分析、重力模型及图谱理论来定量构建与优化绿色基础设施网络。绿色基础设施（GI）源地的选取是MCR模型的关键所在，近年来有学者通过形态学空间格局分析（MSPA）方法提取源地，避免了源地选取的主观性。目前为止，许多学者对于源地的识别是基于几何属性，将土地分类数据中具有生态价值的林地或水体等提取出来，作为源地，通过面积、斑块密度、周长等几何属性进行筛选和排除；或采用形态学空间格局分析方法（MSPA）来提取核心区，再通过面积进行源地的遴选^[4]。这些方

法忽略了源地的质量等属性，对源地的识别具有局限性。而InVEST生境质量模型能够快速有效地量化研究区生境质量^[5]，弥补源地筛选的不足。

基于此，本研究从形态与功能两方面识别与评价GI源地，避免GI源地选取的主观性；结合福州市不同土地利用类型、MSPA景观类型、生境质量等构建综合阻力面，利用最小累积阻力（MCR）模型与重力模型构建福州市GI网络；最后根据结果提出福州市绿色基础设施网络优化策略。研究结果，可为福州市绿色基础设施网络规划提供参考。

1 研究区概况

福州市是福建省的省会城市，地处我国华东地区，位于北纬25°15′~26°39′，东经118°08′~120°31′。福州市属河口型盆地地形，主城区地势较为平坦，海拔基本处于0~30 m，是研究区中人口主要分布的建成区。内部分布较多丘陵，其中较为著名的有屏山、乌山、金牛山、金鸡山、高盖山等。城郊山地众多，主要有莲花山、鼓山、旗山、五虎山等，海拔约600~1000 m。由于高密度的建成区，使福州市主城区内部绿色基础设施数量多，面积小，与城郊的大型绿色基础设施联系性差。

2 材料与方法

2.1 数据来源与预处理

研究所用的土地分类数据根据2019年福州市谷歌地图2.5 m高精度影像（谷歌地图资源平台下载），结合《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2017）^[6]分为林地、建设用地、水体、未利用地、道路、草地、耕地，分类精度为89.84%，Kappa系数为0.85，达到研究所需。DEM数据来源于美国阿拉斯加卫星设备分布式活动档案中心

(<https://search.asf.alaska.edu/#/>), ALOS 卫星拍摄, 空间分辨率为 12.5 m。道路等矢量数据均下载于 QGIS 软件中 OpenStreetMap 插件。

2.2 绿色基础设施源地的提取与识别

形态学空间格局分析方法 (MSPA) 是一种基于数学形态学原理和网格图像空间模式的图像处理方法^[7-8], 能够快速有效的识别研究区内的景观类型。将林地与草地作为前景数据, 建设用地、水体、未利用地、道路和耕地作为背景数据, 参数设置参考相关学者研究成果^[8-9] 及 MSPA 使用手册, 将前景数据分割为互不重叠的 7 种景观类型。

核心区是被前景像元中分割出的面积较大的斑块, 具有良好的景观生态价值^[10-12]。常用斑块重要性指数 (dPC) 评价 GI 斑块之间的连通性。数值越大, 说明斑块的连通性越高, 越有利于物种的传播和扩散, 则斑块的生态价值就越高。相关计算公式如下:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^*}{A_L^2} \quad (1)$$

式中: A_L 为景观总面积; n 表示斑块的数量; a_i 与 a_j 是斑块 i 与 j 的面积; p_{ij} 表示斑块在 i 与 j 之间连接的最大概率。PC 指连通性指数, 取值范围为 0~1, PC 值越小, 斑块之间的连通性越低。

$$dPC = \frac{PC - PC_{remove}}{PC} \times 100\% \quad (2)$$

式中: dPC 值越高, 代表斑块的连通性越好, 作用越大; PC_{remove} 为去掉某一斑块后的连接概率的值。

2.3 福州市生境质量计算

为弥补形态学空间格局分析所忽略的源地质量等问题, 利用 InVEST 模型定量评价研究区生境质量, 该模型需输入土地利用数据, 结合不同地物类型的敏感性和威胁源的胁迫距离和影响方式等来绘制生境质量图。生境质量取决于栖息地与威胁源的接近程度以及这些栖息地的生态适宜性, 通常栖息地质量会随着附近土地利用强度的降低而增加^[13-14]。模型的公式如下:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y^{i_{rxy}} \beta_x S_{jr} \quad (3)$$

式中: Y_r 为胁迫因子 r 的栅格单元总数; R 为胁迫因子数量; w_r 为归一化权重值; r_y 为栅格单元上的胁迫因子个数; β_x 为栅格 x 的可接近水平;

S_{jr} 表示景观 j 对胁迫因子 r 的敏感性; i_{rxy} 为胁迫因子的最大影响距离。

$$Q_{xj} = H_j \left(1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{k^z + D_{xj}^z} \right) \right) \quad (4)$$

式中: Q_{xj} 为景观类型 j 中的斑块组 x 的生境质量; H_j 为景观类型 j 的生境适宜性分值; z 为比例因子, 一般取 2.5; k 为半饱和常数, 取 0.5。

该模型需要输入的数据主要包括了土地利用类型数据、威胁源因子的权重及其衰减距离、景观类型与威胁源的敏感性表格等。参考相关文献^[15-16] 以及 InVEST 使用手册设置模型相关参数 (表 1~2)。

表 1 威胁源及其最大影响距离、权重及衰减类型

Table 1 The threat source and its maximum impact distance, weight and attenuation

威胁因子	最大影响距离	权重	衰减类型
建筑用地	10	1.0	指数
未利用地	6	0.7	线性
道路	3	0.8	指数
农田	5	0.6	线性

表 2 不同土地利用类型对威胁源的敏感度

Table 2 Sensitivity of different land use types to threat source

土地利用类型	生境适宜性	建设用地	未利用地	道路	农田
林地	1.0	0.5	0.3	0.2	0.5
建筑用地	0	0	0	0.2	0
水体	0.8	0.4	0.2	0.2	0.5
未利用地	0.2	0.4	0	0.5	0.5
道路	0.1	0.2	0	0	0
草地	0.5	0.6	0.4	0.2	0.6
农田	0.3	0.8	0.5	0.2	0

2.4 绿色基础设施网络构建与优化

2.4.1 综合阻力面的构建

在 GI 网络中, 物种的迁移与能量的交换过程中会受到人为及自然环境的阻碍和促进作用, 即物种的移动会受到各种阻力的影响, 本研究结合数据的可获得性和前人的研究结果^[9-10]。通过咨询相关专家, 采用序关系分析法确定福州市的阻力因子权重和分值 (表 3), 利用 ArcGIS 栅格加权叠加等方法构建综合阻力面。

表 3 阻力因子赋值及权重

Table 3 Resistance factor assignment and weight

阻力类型	权重值	阻力因子	阻力值	阻力类型	权重值	阻力因子	阻力值
土地利用类型	0.2490	林地	1	MSPA景观类型	0.1482	核心区	1
		草地	1			桥接区	3
		耕地	3			环道	5
		未利用地	5			支线	5
		水系	7			孤岛	3
		道路	9			边缘	5
		建设用地	9			穿孔	7
		生境质量指数	0.2075			0 ~ 0.2	9
		0.2 ~ 0.4	7	5° ~ 15°	3		
		0.4 ~ 0.6	5	15° ~ 25°	5		
		0.6 ~ 0.8	3	25° ~ 35°	7		
		0.8 ~ 1.0	1	> 35°	9		
高程	0.1235	< 0	9	归一化植被指数 (NDVI)	0.1482	> 0.5	1
		0 ~ 200	1			0.4 ~ 0.5	3
		200 ~ 300	3			0.3 ~ 0.4	5
		300 ~ 400	5			0.1 ~ 0.3	7
		400 ~ 500	7			< 0.1	9
		500 ~ 600	7				
		600 ~ 700	7				
		> 700	9				

2.4.2 潜在 GI 廊道的提取

物种的迁徙受多种阻力的影响，本研究结合福州市生态环境特征，基于 Knaapen 等^[17-18]提出的最小累积阻力模型 (MCR)，利用 ArcGIS 中的成本路径工具，以综合阻力面为成本，计算源地之间的最小成本路径，得到潜在 GI 廊道。公式如下：

$$MCR = f_{\min} \sum_{i=m}^{i=n} (D_{ij}R_i) \quad (5)$$

式中： D_{ij} 为 i 到 j 所耗费的空间距离； R_i 为加权阻力值。

2.4.3 廊道分级提取

重力模型可以量化斑块之间的吸引程度。斑块之间的吸引程度越高，表明斑块之间越有可能产生联系，根据此可以推断出廊道的相对重要性^[19]。重力模型的计算公式如下所示：

$$G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \frac{\left[\frac{1}{P_a} \ln S_a \right] \left[\frac{1}{P_b} \ln S_b \right]}{\left(\frac{L_{ab}}{L_{\max}} \right)^2} = \frac{L_{\max}^2 \ln S_a \ln S_b}{L_{ab}^2 P_a P_b} \quad (6)$$

式中： G_{ab} 是斑块 a 和 b 之间的相互作用力； N_a 、

N_b 是斑块 a 与 b 的权重值； D_{ab} 是 a 与 b 之间潜在廊道阻力的标准化值； P_a 为斑块 a 的阻力值； S_a 为斑块 a 的面积； L_{ab} 为斑块 a 与 b 之间廊道的累积阻力值； L_{\max} 为研究区内所有廊道累积最大阻力值。

2.4.4 GI 网络节点的识别

节点是绿色基础设施之间的踏脚石，是生态功能最脆弱的地方。目前对节点的识别方法主要为廊道与廊道的交点；廊道与道路、铁路等的交点；利用水文分析法提取山脊线，即最大阻力值与廊道的交点^[20]；以及利用电流理论中瓶颈点与障碍点的识别为主要方法^[21]。由于本研究的研究区是人口密集的城区，故通过矢量廊道相交公路与铁路生成点数据，作为本研究的 GI 网络节点。

3 结果与分析

3.1 绿色基础设施源地识别结果

基于 Guidos Toolbox 软件，将二值化的前景与背景数据进行 MSPA 分析，得到 MSPA 分类结

果 (图 1), 并统计不同景观类型的面积并计算其占比 (表 4)。由图 1、表 4 可知, 前景要素中面积最大的为核心区 (586.70 km²), 占前景要素总面积的 74.9%, 表明研究区绿地斑块面积较大。景观类型主要以林地为主。但在空间分布上来看, 完整的斑块主要分布在南北两侧, 主要是旗山、五虎山、鼓山与莲花山这 4 个山体。主城区内的核心区数量上虽然很多, 但较为破碎, 面积较小。桥接区与环道作为连接斑块与斑块之间的通道, 其所占比例仅为 3.6%, 说明斑块之间的连通性较差。

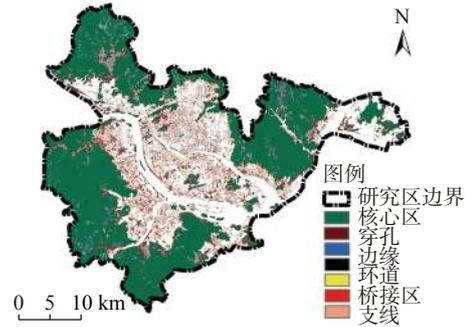


图 1 MSPA 景观类型
Fig. 1 MSPA landscape types

表 4 MSPA 景观类型统计

Table 4 MSPA landscape type statistics

景观类型	面积/km ²	比例/%	面积/km ²		占景观类型的比例/%	
			林地	草地	林地	草地
核心区	586.70	74.9	585.07	1.63	99.7	0.3
孤岛	42.58	5.4	41.73	0.85	7.1	0.1
穿孔	17.38	2.2	17.35	0.02	3.0	0.0
边缘	64.53	8.2	45.83	1.71	7.8	0.3
环道	18.41	2.4	18.18	0.23	3.1	0.0
桥接区	28.15	3.6	27.27	0.88	4.6	0.2
支线	25.36	3.2	24.64	0.72	4.2	0.1

基于 Conefor 2.6 软件, 设置斑块间的连通距离阈值为 1200 m, 连通概率为 0.5^[22-23]。选择面积前 20 的斑块进行连通性评价。为了避免研究区内的较大面积的核心斑块对结果造成影响, 故将鼓山、旗山、五虎山、莲花山这 4 个核心区斑块定义为重要 GI 源地, 将剩下的 16 个核心区斑块定义为重要 GI 源地进行连通性评价, 根据结果选择 dPC > 0.2 的斑块作为重要源地。总源地数量为 15 个。由图 2 和表 5 可知, 除城郊的 4 座主要的山体外, 主城区内部的源地面积并不大, 主要包括闽侯县的鲤鱼洲、琅岐岛的九龙山、白云山、仓山区的高盖山、城门山、清凉山等。主要是因为城市土地资源的紧张与城市建设用地规模的侵蚀。

表 5 重要生态源地连通性指数

Table 5 Connectivity index of important ecological sources

斑块编号	斑块重要性指数
9	64.23
7	28.29
5	2.63
8	2.10
15	1.78
6	0.82
12	0.78
11	0.44
14	0.37
13	0.36
10	0.36

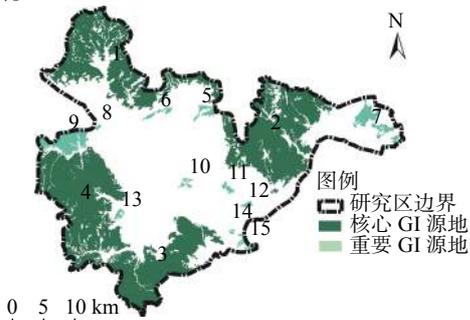


图 2 绿色基础设施源地分布图
Fig. 2 Source distribution of green infrastructure

3.2 生境质量评价结果

利用 ArcGIS 中的重分类工具, 参考相关学者的阈值划分^[24-25], 将研究区内的生境质量分为低生境质量 (0~0.2)、中低生境质量 (0.2~0.4)、中生境质量 (0.4~0.6)、中高生境质量 (0.6~0.8)、高生境质量 (0.8~1.0)。由图 3 和表 6 可知, 研究区内生境质量呈两极分化趋势。整体上看高生境质量地区主要分布在城郊地区, 而低生

3.3.3 网络优化及节点的识别

中心城区较大的阻力, 缺少适合的 GI 源地。根据 MSPA 提取的核心区与生境质量模型提取的高生境质量地区, 可以看出福州市中心城区内部有部分高生境质量的源地受面积影响未被提取, 为了完善网络在中心城区的缺失, 补充金牛山、乌山、闽江公园北园、乌龙江湿地公园、飞凤山主题公园 5 个 GI 源地作为补充, 同时增加 11 条 GI 廊道优化构建的网络 (图 5)。

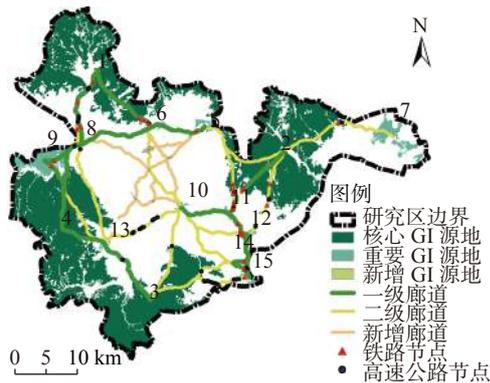


图 5 福州市绿色基础设施网络

Fig. 5 Fuzhou green infrastructure network

由于研究区位于人口密集的市区, 考虑到人为影响对廊道的干扰较大, 故提取廊道与高速公路网络及铁路网络的交点为 GI 网络的节点。其中与铁道交叉的节点 41 个, 与高速公路交叉的节点 109 个。共 150 个。在廊道的建设中, 应尽力避免高速公路与铁路对廊道的影响; 如采取下沉式或上升式廊道的设计。由于福州市特殊的地理环境, 闽江与乌龙江两大水系对物种的迁移也造成了一定的影响, 因此在廊道与水系的交汇处减少人为干扰, 同时建设湿地景观等, 为物种提供良好的栖息地。中心城区的廊道在构建上, 由于城市土地资源紧张, 应采用沿道路两边, 增加绿化缓冲区的方法, 整合现有城区绿地绿道资源, 见缝插绿。对现有的 GI 设施加以保护利用。

4 结论与讨论

绿色基础设施网络对于改善城市环境、促进生物多样性保护和防止生境破坏至关重要。它是连接城市绿色空间、维持城市可持续发展的绿色纽带。本研究运用 MSPA, 结合生境质量评价模型, 对研究区内的绿色基础设施进行了综合的评价。选用 dPC 连通性指数和斑块面积定量筛选了 GI 源地。通过定义核心生态源地与重要生态源地对不同 GI 设施进行了分级规划。在阻力因子的选

择中, 考虑到了不同生境质量对物种迁徙扩散的阻力影响。再利用 MCR 模型构建初步 GI 廊道。基于重力模型, 进行了网络分级建设意见。最后结合福州现状, 重新遴选出了 5 个 GI 源地, 弥补了中心城区缺少 GI 网络的问题。识别了网络与高速公路和铁路之间的节点, 对城市中的 GI 网络建设提供了理论依据。

本研究旨在利用 InVEST 模型弥补传统 MSPA 方法对 GI 源地质量属性研究不足的问题, 优化研究区内的绿色基础设施网络, 提升绿色基础设施服务功能, 实现城市的可持续发展。MSPA 方法可以从空间格局的角度评估 GI 源地的价值, 对于研究区的尺度较为敏感。栅格大小以及相关参数的设置都会影响其结果^[8]。因此, 今后的研究中应对像元大小、边缘宽度等进行探讨, 使分析时的参数设置更为科学合理。

InVEST 生境质量评价模型在威胁源的选择、威胁源的影响距离以及威胁源的敏感性程度上具有一定的主观性, 目前尚无统一的标准或权威标准。因此本研究参考前人的研究^[24-25]设置了相应参数。由于没有针对某一特定物种, 以后应进一步结合福州市特有种群, 对结果进行分析与验证。在连通性分析的过程中, 距离阈值的设定也会影响斑块的连接性结果。本研究参考前人的结果^[23,26], 在以后的研究中, 应结合距离阈值方面的探讨与目标动植物的最大活动传播距离来使距离阈值的设置更加有依据。

[参 考 文 献]

- [1] 栾博, 柴民伟, 王鑫. 绿色基础设施研究进展 [J]. 生态学报, 2017, 37(15): 5246-5261.
- [2] Humphrey J, Newton A, Latham J, et al. The Restoration of Wooded Landscapes [C]//Proceedings of a conference held at Heriot Watt University, 2000, 14.
- [3] 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研究 [J]. 生态学报, 2020, 40(22): 8230-8238.
- [4] 王越, 林箐. 基于 MSPA 的城市绿地生态网络规划思路的转变与规划方法探究 [J]. 中国园林, 2017, 33(5): 68-73.
- [5] 杜佳衡, 王锦. 基于 InVEST 模型的大理州永平县水生态系统服务功能时空变化分析 [J]. 西部林业科学, 2021, 50(6): 91-102.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理

- 委员会. 土地利用现状分类: GB/T 21010—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [7] Vogt P, Ferrari J R, Lookingbill T R, et al. Mapping functional connectivity [J]. *Ecological Indicators*, 2009, 9(1): 64–71.
- [8] 于亚平, 尹海伟, 孔繁花, 等. 南京市绿色基础设施网络格局与连通性分析的尺度效应 [J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2119–2127.
- [9] 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.
- [10] 邱瑶, 常青, 王静. 基于 MSPA 的城市绿色基础设施网络规划: 以深圳市为例 [J]. *中国园林*, 2013, 29(5): 104–108.
- [11] Mitchell M G E, Bennett E M, Gonzalez A. Linking landscape connectivity and ecosystem service provision: current knowledge and research gaps [J]. *Ecosystems*, 2013, 16(5): 894–908.
- [12] Bowman J T. Connecting National Wildlife Refuges with Green Infrastructure: the Sherburne-Crane Meadows Complex [D]. Minneapolis and St. Paul, USA: University of Minnesota, 2008.
- [13] Scheitzer L. Road ecology [J]. *Environmental Ethics*, 2005, 27(1): 109–112.
- [14] McKinney M L. Urbanization, Biodiversity, and Conservation The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems [J]. *BioScience*, 2002, 52(10): 883–890.
- [15] 高庆彦, 潘玉君, 刘化. 基于 InVEST 模型的大理州生境质量时空演化研究 [J]. *生态与农村环境学报*, 2021, 37(3): 402–408.
- [16] 李涛, 巩雅博, 戈健宅, 等. 基于电路理论的城市景观生态安全格局构建: 以湖南省衡阳市为例 [J]. *应用生态学报*, 2021, 32(7): 2555–2564.
- [17] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1992, 23(1): 1–16.
- [18] Yu K J. Ecological security patterns of landscapes: concept, method and a case [C]//International Symposium of Geoinformatics, 1995: 95.
- [19] 孔繁花, 尹海伟. 济南城市绿地生态网络构建 [J]. *生态学报*, 2008, 28(4): 1711–1719.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 刘常富, 周彬, 何兴元, 等. 沈阳城市森林景观连接度距离阈值选择 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2508–2516.
- [23] 何侃, 林涛, 吴建芳, 等. 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 [J]. *应用生态学报*, 2021, 32(4): 1424–1432.
- [24] 郑群明, 申明智, 钟林生. 普达措国家公园生态安全格局构建 [J]. *生态学报*, 2021, 41(3): 874–885.
- [25] 褚琳, 张欣然, 王天巍, 等. 基于 CA-Markov 和 InVEST 模型的城市景观格局与生境质量时空演变及预测 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29(12): 4106–4118.
- [26] 黄河, 余坤勇, 高雅玲, 等. 基于 MSPA 的福州绿色基础设施网络构建 [J]. *中国园林*, 2019, 35(11): 70–75.

(责任编辑 陆 驰)

