



基于MCR和HY模型的莆田市生态廊道构建与优化

金博闻 谢祯 柯山 耿建伟 潘辉

Construction and Optimization of Ecological Corridor Based on MCR and HY Analysis in Putian

Jin Bowen, Xie Zhen, Ke Shan, Geng Jianwei, Pan Hui

引用本文:

金博闻, 谢祯, 柯山, 耿建伟, 潘辉. 基于MCR和HY模型的莆田市生态廊道构建与优化[J]. 西南林业大学学报, 2024, 44(1):79–87. doi: 10.11929/j.swfu.202210015

Jin Bowen, Xie Zhen, Ke Shan, Geng Jianwei, Pan Hui. Construction and Optimization of Ecological Corridor Based on MCR and HY Analysis in Putian [J]. *Journal of Southwest Forestry University(Natural Science)*, 2024, 44(1):79–87. doi: 10.11929/j.swfu.202210015

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202210015>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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>

基于偏最小二乘回归的高山松生物量遥感模型空间尺度效应分析

The Spatial Scale Effecton Analysis on Remote Sensing Estimation Model of *Pinus densata* Above–biomass Based on Partial Least Squares Regression

西南林业大学学报. 2020, 40(4): 87–93 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201910021>

基于DPSIR模型的云南省土地生态安全评价

A DPSIR Model Based Assessment of Land Ecological Security in Yunnan Province

西南林业大学学报. 2021, 41(3): 113–121 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202003044>

基于ADE算法优化的木材单板染色全光谱配色模型研究

Optimization of Full–spectrum Color Matching Model of Wood Veneer Dyeing Based on ADE Algorithm

西南林业大学学报. 2021, 41(2): 125–132 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201912054>

龙竹人工林的含水率分析及地上生物量回归模型构建

Analysis of Moisture Content and Construction of Aboveground Biomass Regression Model for *Dendrocalamus giganteus* Plantation

西南林业大学学报. 2021, 41(6): 168–174 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202011051>

基于Landsat 8OLI的高山松叶面积指数采样尺度优化分析

Optimization Analysis of Sampling Scale of *Pinus densata* Leaf Area Index Based on Landsat 8OLI

西南林业大学学报. 2021, 41(5): 114–120 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202101023>

DOI: 10.11929/j.swfu.202210015

引文格式: 金博闻, 谢祯, 柯山, 等. 基于 MCR 和 HY 模型的莆田市生态廊道构建与优化 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2024, 44(1): 79-87.

基于 MCR 和 HY 模型的莆田市生态廊道构建与优化

金博闻^{1,2} 谢祯² 柯山¹ 耿建伟² 潘辉¹

(1. 闽江学院, 福建福州 350108; 2. 福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建福州 350106)

摘要: 以莆田市主城区为例, 采用形态学空间格局方法 (MSPA) 结合景观连通性分析筛选重要生态源地, 运用最小累积阻力模型 (MCR) 与重力模型方法, 提取研究区潜在生态廊道; 同时结合水文分析模型 (HY) 识别研究区辐射廊道和生态节点, 最终构建并优化莆田市生态廊道。结果表明: 基于 MSPA 与景观连通性指数, 共识别出 14 个核心源地; 采用 MCR 与重力模型, 共识别出 29 条廊道, 一级廊道 7 条, 二级廊道 10 条, 三级廊道 12 条; 结合水文分析法共识别出 205 条辐射廊道和 53 个生态功能节点, 包括一级节点 5 个, 二级节点 17 个, 三级节点 31 个, 确定各类型生态修复的关键区域, 提取生态节点建设策略。本研究可为莆田市生态廊道构建及生态节点保护时序性研究提供科学依据。

关键词: 生态廊道; 最小累积阻力模型; 水文分析; 辐射廊道

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2024)01-0079-09

Construction and Optimization of Ecological Corridor Based on MCR and HY Analysis in Putian

Jin Bowen^{1,2}, Xie Zhen², Ke Shan¹, Geng Jianwei², Pan Hui¹

(1. Minjiang University, Fuzhou Fujian 350108, China; 2. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350106, China)

Abstract: In this study, taking the main urban area of Putian City as an example, the morphological spatial pattern approach (MSPA) combined with landscape connectivity analysis is used to screen important ecological source sites, and the minimum cumulative resistance model (MCR) and gravity model approach are applied to extract potential ecological corridors in the study area, while the hydrological analysis model (HY) is combined to identify radiation corridors and ecological function nodes in the study area, and finally construct and optimize ecological corridors in Putian City. The results show that based on MSPA and landscape connectivity index, a total of 14 core source sites were identified; using MCR and gravity model, a total of 29 corridors were identified, including 7 primary corridors, 10 secondary corridors and 12 tertiary corridors; combined with the hydrological analysis method, a total of 205 radiating corridors and 53 ecological function nodes were identified, including 5 primary nodes, 17 secondary nodes and 31 tertiary nodes. key areas for various types of ecological restoration were identified. Ecological node construction strategies were extracted. The results of this study provide a scientific basis for the study of ecological corridor construction and ecological node protection temporality in Putian City.

收稿日期: 2022-10-09; 修回日期: 2022-12-06

基金项目: 福州市社科规划重大项目 (2017FZA02) 资助。

第 1 作者: 金博闻 (1997—), 男, 硕士研究生。研究方向: 风景园林规划与设计、旅游地理。Email: 641524900@qq.com。

通信作者: 潘辉 (1968—), 男, 博士, 教授, 享受国务院政府特殊津贴专家。研究方向: 环境资源管理、生态旅游等。Email: fjpanhui@126.com。

Key words: ecological corridor; minimum cumulative resistance model; hydrological analysis; radiation corridor

随着城镇化进程的快速推进,高密度的土地开发不断侵占城市中的生态用地,导致了生态用地的斑块侵蚀、连通性降低和景观破碎化,对城市生态安全与整体景观格局造成严重威胁与破坏^[1],产生了如城市热岛效应^[2]、洪涝^[3]和生物多样性丧失^[4]等系列问题。研究表明,生态斑块破碎化是造成区域生物多样性减少的症结之一。作为连接城市主要生态斑块的线性要素,生态廊道通过在生态规划中的布局、整合和衔接,利用其线性特征连接和组织生态源地,不仅有利于促进城市生物流的良性循环,也对城市土地价值提升和城市可持续发展具有重要意义。然而,主城区具有人为干扰大,土地覆被复杂等特点,导致生态源地较为破碎,对生态廊道的构建造成了诸多困难。因此,如何在高人口密度的主城区,构建并优化生态廊道显得尤为重要。

目前,生态廊道已形成了“源地-阻力面-廊道”的研究范式^[5],其中,如何准确地识别生态廊道,成为当今生态学及风景园林学等关联学科讨论研究的重点。当前对于生态廊道的研究主要集中在连通性阈值设置、阻力面构建、廊道的模拟等方面,涉及渗透理论、图论、阻力模型理论、电流理论等。杨娅楠等^[6]基于渗透理论并结合模型模拟等方法,讨论了当前在研究景观连通性过程中存在的问题,侧重于合理构建廊道对于野生动物生境保护的重要性。Urban等^[7]首次将图论理论应用于解决有关景观连通性的实际问题,重点为保护墨西哥斑点猫头鹰种群及其栖息地提供了方法。阻力模型理论认为生物体在穿过不同景观空间的过程中需要耗费一定的成本或克服相应阻力,物种最佳的生境通道则为累积成本最小或阻力最小的生境通道^[8],其操作过程复杂且易生成冗杂廊道。近年来又发展出许多以阻力模型理论为基础,计算最佳迁移路径的方法和廊道构建模型,例如最小成本路径模型(LCP)、最小累积阻力模型(MCR)^[9-11]等。最小累积阻力模型(MCR)运用ArcGIS的成本路径工具识别源地间最小耗费路径,确定物种迁徙与扩散的所有可能路径,忽略了源地与周围基质的连接和

连接潜在源地等属性,以及斑块内部的物种运动路径,对生态廊道与节点的识别具有局限性^[12]。而水文分析模型(HY)能有效的识别辐射廊道,即在低阻力区域形成辐射型谷线^[13-15],能够有效补充区域内潜在生态廊道;MCR与水文分析模型(HY)结合所产生的潜在廊道与辐射廊道的交点,能有效补充斑块内部的生态节点。因此,水文分析模型在一定程度上弥补了MCR模型对于潜在廊道提取与生态节点选择中的不足,对于加强源地与周围基质的连接以及连接潜在源地具有重要作用^[12]。

基于此,本研究以莆田市主城区为例,采用形态学空间格局(MSPA)结合景观连通性识别、分析、筛选生态源地,运用最小累积阻力模型(MCR)与重力模型,构建研究区各级潜在生态廊道;同时结合水文分析模型(HY),提取研究区辐射廊道,并识别出潜在廊道与辐射廊道的交点为生态节点,最终构建并优化莆田市生态廊道。本研究可为莆田市生态廊道构建提供科学依据。

1 研究区概况

莆田市是福建省辖地级市,位于我国华东地区(24°59'~25°46'N,118°27'~119°6'E),东临台湾海峡,背倚戴云山脉。境内地势呈西北高、东南低,西北部中低山众多,海拔约500~1800m。中部为低山与丘陵,平原与盆谷错综其间,地势较平坦,是研究区中人口主要分布的建成区。本研究划定莆田市主城区范围:荔城区、城厢区、涵江区、秀屿区。由于莆田市主城区内人口密集,城市化程度较高,造成内部生态源地数量多,面积小,与城郊的大型生态源地联系性差。因此,合理地构建莆田市生态廊道,对提升城市生态环境,促进城市可持续发展具有重要的意义。

2 材料与方法

2.1 数据来源与预处理

本研究所采用的数据为:1)莆田市10m×

10 m 精度的土地利用栅格数据 [欧洲航天局 (ESA) 的全球陆地覆盖数据集 (<https://www.esa-landcover-cci.org>)], 根据 ESA 数据分类结果, 在研究区内提取 8 类土地利用类型: 林地、灌木地、草地、水体、湿地、耕地、裸地和建设用地; 2) 30 m × 30 m 的 DEM 据 [地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>)]; 3) 2021 年莆田市行政边界数据 (莆田市自然资源和规划局); 4) 道路矢量数据 (<https://www.openstreetmap.org/>), 提取莆田市的铁路、国道和高速公路 3 类道路信息。

2.2 重要生态源地识别与评价

形态学空间格局分析 (MSPA) 是基于数学形态学原理来识别、测量和分析栅格影像空间的图像处理方法^[16], 能够高效识别研究区范围内的景观类型。本研究通过将土地利用数据中具有生态价值的要素 (前景) 和其他要素 (背景) 进行二值化处理后, 以林地、灌木地、草地、水体、湿地要素作为前景数据, 借鉴相关学者的参数设定^[17], 景观类型划分参考 Guidos Toolbox 手册^[18], 将前景数据分为 7 种景观类型。最后对分析结果进行面积、占比等数据统计, 并提取核心区斑块作为连通性分析的生态源地^[19-20]。其次, 利用连通性指数 (PC) 与整体连通性指数 (IIC), 定量评价斑块之间的连通性。数值越大说明斑块的连通性越高, 对物种的交流和迁徙越有利, 说明斑块具有更高的生态功能价值。相关计算公式如下:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j P_{ij}^*}{A_L^2}, (0 < PC \leq 1) \quad (1)$$

$$IIC = \frac{1}{A_L^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i a_j}{1 + nl_{ij}}, (0 < IIC \leq 1) \quad (2)$$

式中: PC 为可能连通性指数; IIC 为整体连通性指数; A_L 为景观总面积; n 为斑块的总量; a_i 与 a_j 为斑块 i 与 j 的面积; P_{ij}^* 为斑块在 i 与 j 之间连通的最大概率, nl_{ij} 指斑块在 i 与 j 之间的连接数量。

$$dPC = \frac{PC - PC_{remove}}{PC} \times 100\% \quad (3)$$

$$dIIC = \frac{IIC - IIC_{remove}}{IIC} \times 100\% \quad (4)$$

式中: dPC 与 dIIC 值越高, 代表斑块的连通性越好, 作用越大; PC_{remove} 与 IIC_{remove} 为剔除某一斑块后连接指数值。本研究综合相关研究^[21-22]并结合相关领域专家建议, 分别赋予 dPC、dIIC 为 0.5 的权重值, 结果大于 0.02 的生态斑块划定为核心源地。

2.3 基于 MCR 模型的生态网络构建

2.3.1 综合阻力面构建

物种的空间传播和迁移可以促进生物多样性, 有利于生态系统的稳定; 然而, 迁移的难易程度受到空间阻力的影响, 因此合理地构建综合阻力面是提取生态廊道的关键。其中, 土地利用类型是廊道构建的基础, 坡度和高程影响植被生长和城镇开发强度^[13], 而与铁路、公路^[16]之间的距离可以反映人类活动的影响程度。综上所述, 本研究选取土地利用类型、MSPA 景观类型、高程、坡度、距离国道^[16]、距离水域、距离铁路、距离高速公路作为生态廊道提取的主要阻力因子。结合研究区实际情况^[23]和相关研究成果^[19,24], 并通过咨询相关专家和 AHP 层次分析法赋予莆田市的阻力因子相应权重和阻力值, 借助 ArcGIS 10.8 栅格加权叠加等方法构建综合阻力面 (表 1)。

表 1 阻力层权重及因子阻力值

Table 1 Resistance layer weights and factor resistance values

阻力类型	阻力因子	阻力值	权重	阻力类型	阻力因子	阻力值	权重
土地利用类型	林地	1	0.350	MSPA景观类型	核心区	1	0.221
	灌木	1			桥接	1	
	草地	1			环道	3	
	耕地	5			支线	5	
	建设用地	9			孤岛	5	
	裸地	7			边缘	7	
	水体	3			孔隙	7	
	湿地	3			背景	9	
高程/m	(-∞, 200]	1	0.112	距离水域/m	[0, 100)	1	0.070
	[200, 400)	3			[100, 200)	3	
	[400, 600)	5			[200, 500)	5	

续表 1

阻力类型	阻力因子	阻力值	权重	阻力类型	阻力因子	阻力值	权重
高程/m	[600, 800)	7	0.112	距离水域/m	[500, 1000)	7	0.070
	[800, +∞)	9			[1000, +∞)	9	
坡度/(°)	[0, 8)	1	0.112	距离铁路/m	[2000, +∞)	1	0.045
	[0, 8)	3			[1500, 2000)	3	
	[15, 25)	5			[1000, 1500)	5	
	[25, 35)	7			[500, 1000)	7	
	[35, 90]	9			[0, 500)	9	
距离国道/m	[2000, +∞)	1	0.045	距离高速公路/m	[2000, +∞)	1	0.045
	[1500, 2000)	3			[1500, 2000)	3	
	[1000, 1500)	5			[1000, 1500)	5	
	[500, 1000)	7			[500, 1000)	7	
	[0, 500)	9			[0, 500)	9	

2.3.2 生态廊道的提取

物种的迁徙受多种阻力的影响, 结合研究区生态环境特征, 以 Yu 等^[25-26] 最小累积阻力模型 (MCR) 相关研究为依据, 基于 ArcGIS 10.8 中的成本路径工具, 以构建的综合阻力面为基础计算生态斑块之间最小成本路径, 得到潜在生态廊道。公式如下:

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

式中: f 是模型与变量间的正函数关系; D_{ij} 是生态流从 i 到 j 所消耗的空间距离; R_i 是加权阻力值。

2.3.3 生态廊道的分级

重力模型又称为引力模型^[27], 该方法的关键在于能够将不同斑块之间的相互影响程度计量化, 常被应用于空间相互作用的研究中。斑块之间的相互影响程度越高, 表明斑块之间联系越紧密, 以此作为筛选相对重要廊道^[28] 的关键依据。重力模型的计算公式如下:

$$F = G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \left(\frac{1}{P_a} \ln V_a \right) \left(\frac{1}{P_b} \ln V_b \right) / \left(\frac{L_{ab}}{L_{\max}} \right)^2 = \frac{L_{\max}^2 \ln V_a \ln V_b}{L_{ab}^2 P_a P_b} \quad (6)$$

式中: F 为重力模型式; G_{ab} 为生态斑块 a 与 b 间的相互作用力; N_a 、 N_b 为斑块 a 和 b 的权重; D_{ab} 为 a 与 b 之间潜在廊道阻力的标准化值; P_a 、 P_b 是斑块 a 、 b 的阻力值; V_a 、 V_b 是斑块 a 、 b 的面积; L_{ab} 是斑块 a 与 b 之间廊道的累加阻力值; L_{\max} 是研究区内所有廊道累积的最大阻力值。

2.3.4 基于水文分析的生态廊道优化

基于 MCR 与重力模型所提取的仅为斑块间的廊道, 只能定量描述物种在斑块间的迁徙最大可能路径, 而忽视了物种在斑块内部的运动路径, 而通过水文分析模型所提取辐射廊道^[13] 能够有效弥补前者的不足。水文分析模型 (HY) 常用

于提取河流网络、划分流域等水文研究中^[28-29]。本研究采用 ArcGIS 10.8 中水文分析工具, 提取综合阻力面的谷线, 进而构成低阻力值网络, 再通过河网分级工具中 STRAHLER 方法^[15] 识别潜在的辐射廊道。利用 ArcGIS 10.8 的距离测算工具分析得到研究区累积耗费距离表面, 以此为基础, 结合研究区实际情况, 利用填洼、流向、流量等工具, 通过反复测试阈值, 确定汇流累积的值, 补充识别研究区的辐射廊道。结合研究区现状测试与相关研究^[13,15], 设定大于 1500 的阈值范围, 得到物种迁移的低阻力线路, 最终确定研究区辐射廊道的分布位置。借鉴生态节点的相关研究^[15], 在最小耗费路径即生态廊道与辐射廊道的交叉处提取生态节点^[29]。

3 结果与分析

3.1 生态源地识别

将二值化后的前景与背景数据导入 GuidosToolbox 工具, 分析得到 MSPA 分类 (图 1), 计算后得出各景观类型的面积与占比数据 (表 2)。结果表明, 前景要素中面积最大的为核心区 (963.32 km²), 景观类型占比为 78.73%, 景观类型主要以林地为主, 其次为水体、草地等, 最小的为环道 (26.53 km²), 仅占 2.17%。从空间分布来看, 核心区主要分布于莆田市北部戴云山余脉和西部林地。其中, 北部核心区呈块状组团, 整体连通性良好, 包括瑞云山森林公园、壶公山、囊山等; 西部呈条块状, 连通性较好, 包括九龙谷国家森林公园、东圳水库和木兰溪上游; 而中心城区内的核心区数量上较多且面积小, 破碎化程度高, 连通性差, 不利于物种的迁徙扩散和物质循环。

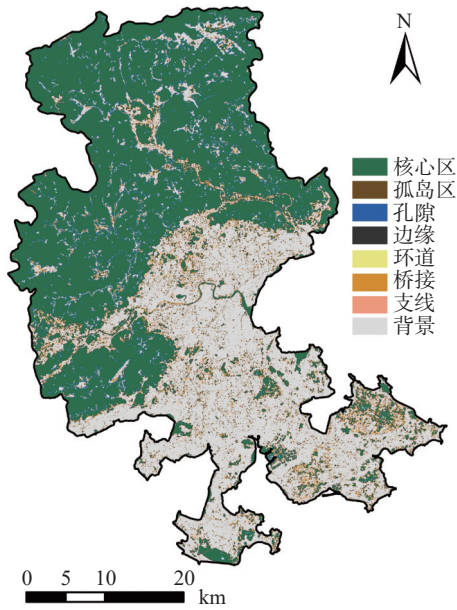


图 1 MSPA 景观类型
Fig. 1 MSPA landscape type

基于 MSPA 分析结果，提取面积前 15 的核心区进行连通性分析，采用 Conefor 2.6 设置斑块间的连通距离阈值为 1200 m，连通率为 0.5^[30]。通过各斑块的整体连通性指数 (dIIC)、可能连通性指数 (dPC) 计算结果，选择 dIIC、dPC 均值大于 0.02 的生态斑块作为核心源地，总源地数量为 14 个。由于 14 号斑块面积过大会导致数据偏差，故计算其余的 13 个源地的连通性指数 (dIIC、dPC)。由图 2、表 3 分析可知，城郊西北部戴云山的大型山体与西部壶公山构成研究区生态源地的主体，面积较大。其余城区内的源地面积小且分散，主要包括城厢区的凤凰山公园、绶溪公园、秀屿区的土海湿地公园以及木兰溪流域等。主要由于城区往沿海地区的土地资源稀缺、人类活动密集以及沿海地区工业用地规模的扩张和侵蚀。

表 2 MSPA 景观类型统计

Table 2 Statistics on MSPA landscape type

景观类型	面积/km ²	占比/%	林地		灌木地		草地		水体		湿地	
			面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
核心区	963.32	78.73	905.12	93.96	6.75	0.01	16.65	1.73	41.37	4.29	0.12	0.01
孤岛	39.10	3.20	26.96	68.95	12.87	0.33	10.85	27.74	1.01	2.59	0.16	0.40
孔隙	56.94	4.65	50.99	89.56	0.45	0.01	4.16	7.31	1.76	3.09	0.02	0.04
边缘	67.71	5.53	50.08	73.97	6.57	0.10	6.72	9.93	10.67	15.76	0.16	0.24
环道	26.53	2.17	21.56	81.28	1.44	0.05	3.67	13.85	1.16	4.36	0.12	0.46
桥接	33.55	2.74	26.27	78.30	3.69	0.11	4.84	14.44	2.27	6.77	0.13	0.38
支线	36.46	2.98	26.29	72.13	5.04	0.14	7.37	20.23	2.52	6.92	0.21	0.58
总和	1223.59	100.00	1107.27	90.49	36.81	0.03	54.27	4.44	60.76	4.97	0.92	0.07

表 3 核心生态源地连通性指数

Table 3 Connectivity index of core ecological source

斑块编号	斑块重要性指数
10	98.74
6	11.92
9	2.06
4	1.44
2	0.85
3	0.62
13	0.21
12	0.06
7	0.05
11	0.05
1	0.05
8	0.03
5	0.02

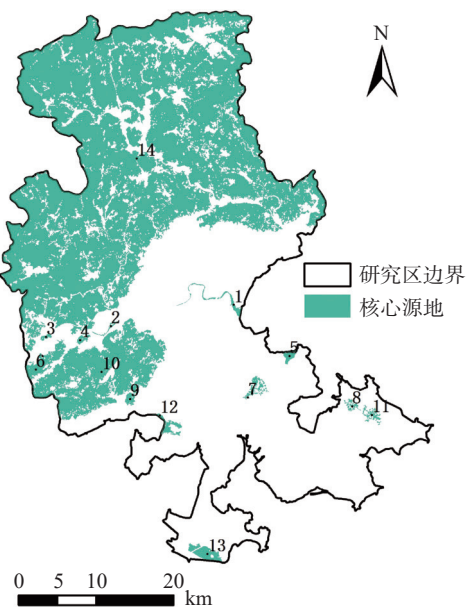


图 2 核心源地分布图
Fig. 2 Core source distribution map

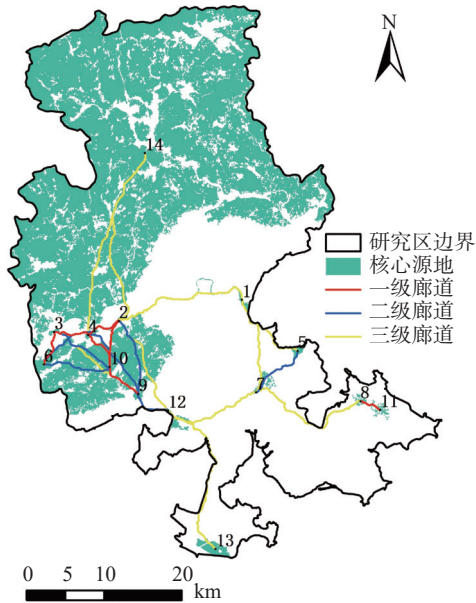


图 4 基于 MCR 模型提取结果

Fig. 4 Extraction results based on MCR model

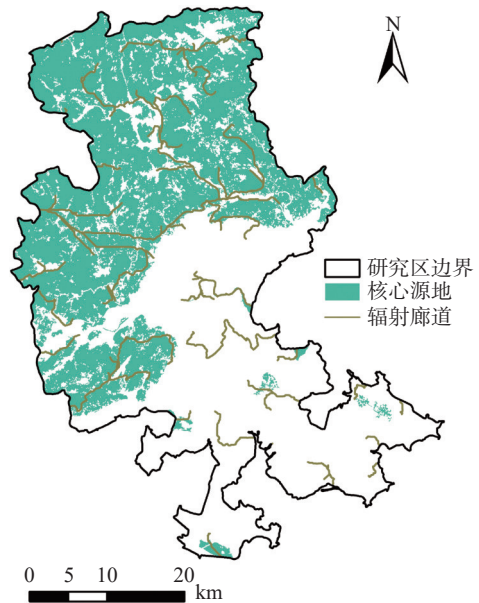


图 5 基于 HY 模型提取结果

Fig. 5 Extraction results based on HY model

3.2.3 廊道优化与节点的识别

辐射廊道作为低阻力区域形成的辐射型谷线^[13]，对于加强生态源地与周围基质的物质能量交流具有重要作用。本研究基于水文分析法共提取 205 条辐射廊道（图 5），辐射廊道分布多呈西北至东南走向，分布较为均匀。由图 4 可知，基于 MCR 与重力模型提取的生态廊道分布受核心生态源地空间分布的影响主要集中于研究区西侧，分布不均。而辐射廊道的构建，一方面加强核心区于周围基质的物质能量交流，另一方面可缓解核心区空间分布不均的缺点，在一定程度上增强了研究区西部与中心城区的生态稳定，为潜在生态源地的连接提供了可能。

基于 MCR 与重力模型所提取的各级潜在生态廊道，借鉴相关研究^[13,29]，识别辐射廊道与各级廊道的交点作为生态节点，共提取 53 个生态节点，其中一级节点 5 个，二级节点 17 个，三级节点 31 个，得到优化后的莆田市生态廊道（图 6）。生态节点保护时序上，应将一、二级生态节点划分为优先保护区域，严格控制对节点区域的生态侵扰，在保护基本农田的基础上，可采取适当的退耕还林、退耕还草等方式，合理规划建设用地数量，保证公园绿地建设；建立完善的监测体系，有效了解修复过程存在的问题，及时调整修复策略。空间分布上，生态节点在生态廊道中的分布较为均匀，对生态廊道的稳定连接起到一定程度的促进作用。

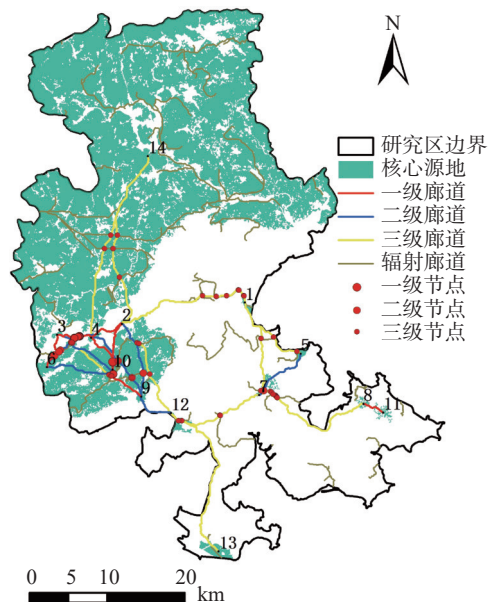


图 6 莆田市生态廊道

Fig. 6 Ecological corridor in Putian City

4 结论与讨论

4.1 结论

基于 MSPA、Confer 工具评价识别核心源地，利用 MCR 及重力模型提取潜在生态廊道，并运用水文分析法优化研究区生态廊道。通过上述研究得出以下结论：

1) 本研究基于 MSPA 识别出莆田市 7 种景观类型，核心区面积为 963.32 km²，景观类型占比为 78.73%；综合选取 dPC 与 dIIC 连通性指数和斑块面积定量筛选出 14 个生态源地。主要分布在

研究区西部、北部中低山丘陵,中部平原与东南沿海区域分布稀疏,生态源地连通性较差。

2) 在阻力因子选取方面,依据莆田市土地利用类型,综合8类要素作为主要阻力因子,进行栅格叠加分析后得到综合阻力面。空间布局上看,阻力值分布呈西北低东南高,分布阻力值较大的区域主要位于莆田市主城区与东部沿海工业区,这些地区建筑、人口和产业密集,不利于物种的迁徙。

3) 基于MCR与重力模型提取29条生态廊道,其中一级7条,二级10条,三级12条。一、二级廊道主要集中在莆田市西部较高阻力值汇集的区域,需在这些区域加强生态建设,降低阻力值以促进生态廊道的连通性。而三级廊道大多途经水系,因此区域内水源涵养是未来工作的重点。

4) 基于水文分析模型,共提取辐射廊道205条,生态节点53个,一级节点5个,二级节点17个,三级节点31个。该方法为物种迁移及保护提供了一定补充,辐射廊道的轨迹能够提升生态廊道的合理延展性,促进区域内生态系统的优化组合和生态资源的保护。而生态节点有利于加强源地与周围基质的连接和潜在源地的连接,节点等级的划分对于莆田市主城区未来规划建设时序优先级判定具有重要意义。

4.2 讨论

本研究旨在利用水文分析法,对传统MCR与重力模型的廊道识别与筛选方法进行优化,在前人研究基础上进一步提取辐射廊道与生态节点,补充对生态廊道以及辐射廊道研究的不足,提升研究区生态廊道的稳定性和整体性。

在生态源地的识别中,MSPA对于研究区域像元大小十分敏感,不同粒度、边缘宽度对生态廊道构建的影响尚未纳入考虑范围之内;在Confor 2.6连通性计算分析的过程中,参考操作手册设定与前人的研究结果^[30-31],设置宽度阈值为1200,连通概率为0.5,用以评价源地的重要程度,宽度阈值的大小对连通性评价结果影响的大小还可以进一步研究。

阻力面构建是生态廊道的关键步骤,本次研究借鉴已有的研究,选取的阻力因子侧重陆生物种生态廊道构建,未考虑到水生物种对生态网络的敏感性。当前,阻力因子赋值主要来源于专家经验数据,本研究采用AHP层次分析法与德尔菲法主观性较强,阻力值的合理设置则要考虑多方

面的因素,包括研究目的、景观格局特征等。已有研究表明,结合研究目的,建立多套阻力赋值,对研究区做阻力值影响分析^[32],筛选出合适的综合阻力。

由于莆田市主城区综合阻力值较大,生态廊道及源地难以通过提取。本研究在高密度的主城区补充构建了辐射廊道及生态节点,优化了生态廊道的组合形式,但对高密度人口特征区域的筛选仍存在不足。因此,在今后研究中,如何准确、合理地提取人类活动影响较大的城区生态源地及如何构建高阻力城市中心区域的生态廊道,是未来应深入探讨的关键问题。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 裔传祥,胡继超,李小军. 土地覆盖类型对城市热岛效应的响应分析[J]. 测绘通报, 2018(1): 72-76, 116.
- [3] 吴豪,许刚,虞孝感. 关于建立长江流域生态安全体系的初步探讨[J]. 地域研究与开发, 2001, 20(2): 34-37.
- [4] 武昌,刘志民. 生境破碎化对生物多样性的影响研究综述[J]. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1946-1952.
- [5] 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.
- [6] 杨娅楠,王金亮,习晓环,等. 野生动物生境景观连通性综述[J]. 环境科学导刊, 2015, 34(3): 10-15.
- [7] Urban D, Keitt T. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective[J]. Ecology, 2001, 82(5): 1205-1218.
- [8] LaRue M A, Nielsen C K. Modelling potential dispersal corridors for cougars in Midwestern North America using least-cost path methods[J]. Ecological Modelling, 2008, 212(3/4): 372-381.
- [9] 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.
- [10] 沈泽昊. 景观生态学的实验研究方法综述[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 769-774.
- [11] 张美丽,齐跃普,张利,等. 基于Linkage Mapper与粒度反推法的太行山中北段生态节点识别与分析:以河北省阜平县为例[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(12): 1569-1578.
- [12] 王越,赵雯琳,刘纯青. 基于MSPA-Confor-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.
- [13] 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.
- [14] 王原, 何成, 刘荣国, 等. 宁夏沙坡头自然保护区鸟类景观生态安全格局构建 [J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5531-5541.
- [15] 朱军, 李益敏, 余艳红. 基于 GIS 的高原湖泊流域生态安全格局构建及优化研究: 以星云湖流域为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1237-1250.
- [16] Soille P. Morphological segmentation of binary patterns [J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(4): 456-459.
- [17] 崔凤奎, 王晓强, 张丰收, 等. 二值图像细化算法的比较与改进 [J]. 洛阳工学院学报, 1997, 18(4): 48-52.
- [18] Vogt P, Riitters K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis [J]. European Journal of Remote Sensing, 2017, 50(1): 352-361.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 郭家新, 胡振琪, 李海霞, 等. 基于 MCR 模型的市域生态空间网络构建 [J]. 农业机械学报, 2021, 52(3): 275-284.
- [22] 陈南南, 康帅直, 赵永华, 等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的秦岭(陕西段)山地生态网络构建 [J]. 应用生态学报, 2021, 32(5): 1545-1553.
- [23] 陈菁, 廖克. 基于空间数据库的生态环境综合信息图谱的指标体系研究: 以莆田市为例 [J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2005, 25(1): 60-64.
- [24] 李怡欣, 李菁, 陈辉, 等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的贵阳市 2008—2017 年景观连通性评价与时空特征 [J]. 生态学杂志, 2022, 41(6): 1240-1248.
- [25] Yu K J. Ecological security patterns of landscapes: concept, method and a case[C]//Proceedings for International Symposium of Geoinformatics. Hong Kong, 1995: 396-405.
- [26] Knaapen J P. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. Landscape and Urban Planning, 1992, 23(1): 1-16.
- [27] 艾婧文, 余坤勇, 黄茹鲜, 等. 风电项目对潜在生态廊道的影响——基于 MSPA-MCR 模型 [J]. 生态学报, 2023, 43(9): 3665-3676.
- [28] 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.
- [29] 杨亮洁, 王晶, 魏伟, 等. 干旱内陆河流域生态安全格局的构建及优化: 以石羊河流域为例 [J]. 生态学报, 2020, 40(17): 5915-5927.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 陈春娣, 吴胜军, Meurk Colin Douglas, 等. 阻力赋值对景观连接模拟的影响 [J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7367-7376.

(责任编辑 陆 驰)

