

# 基于 MSPA 与 MCR 模型的资源节约型生态网络构建

## ——以福建省东山岛为例

张亚丽<sup>1,3</sup>, 尹伟特<sup>2</sup>, 胡希军<sup>1\*</sup>, 李晓红<sup>3</sup>, 杨贤均<sup>3</sup>

(1. 中南林业科技大学 风景园林学院, 湖南 长沙 410000; 2. 黄冈市城市管理与综合执法局, 湖南 黄冈 422400;  
3. 邵阳学院 城乡建设学院, 湖南 邵阳 422000)

**摘要:**以福建东山岛为研究对象,采用形态学空间格局分析和景观连通指数提取连通性较好的生态源地斑块,基于最小累积阻力模型和重力模型,识别重要生态源地斑块,定量筛选廊道,构建了由19个生态源地和171条生态廊道组成的“源—廊—点”互通的海岛景观生态网络。结果表明,研究区生态网络面积共11 852.298 hm<sup>2</sup>,其中生态源地占52.76%,生态廊道占47.23%,生态踏脚石占0.01%。生态源地以林地、淡水水域为主;生态源地间的相互作用强度差异显著,总体上南高北低;生态廊道分布东南密、西北疏;生态源地与建设用地无明显冲突,廊道与建设用地冲突由南向北递减,二级廊道与建设用地冲突更加剧烈。研究结果可为东山岛生态网络构建和优化策略提供理论依据。

**关键词:**形态学空间格局;最小累积阻力模型;生态网络;冲突分析;东山岛

中图分类号:S731.1

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2021)05-0254-08

## The Construction of Resource-saving Ecological Network Based on MSPA and MCR Model ——A Case Study of Dongshan Island in Fujian Province

ZHANG Ya-li<sup>1,3</sup>, YIN Wei-te<sup>2</sup>, HU Xi-jun<sup>1\*</sup>, LI Xiao-hong<sup>3</sup>, YANG Xian-jun<sup>3</sup>

(1. College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410000, Hunan, China;  
2. Wugang City Management and Integrated Law Enforcement Bureau, Wugang 422400, Hunan, China;  
3. College of Urban and Rural Construction, Shaoyang University, Shaoyang 422000, Hunan, China)

**Abstract:** As the development of urbanization, the connectivity between ecological patches is constantly affected. It is of great significance to the construction of urban ecological barrier by building ecological networks to enhance the overall connectivity of ecological land. Taking Dongshan Island in Fujian Province as the research object, morphological spatial pattern analysis and landscape connectivity index were used to extract ecogenic patches with better connectivity. Based on the minimum cumulative resistance model and gravity model, important ecogenic patches were identified, ecological corridors were quantitatively screened out. An island landscape ecological network composed of 19 ecological sources and 171 ecological corridors was constructed. The results indicated that the total area of ecological network was 11 852.298 hm<sup>2</sup>, in which the proportions of ecological functional zone, ecological corridor, network, ecological stepping stones accounted for 52.76%, 47.24%, and 0.01%, respectively. The main ecological functional zone was mainly composed of forests and freshwater bodies. Significant differences in functional intensity were found be-

收稿日期:2020-10-12 修回日期:2020-11-18

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(31800317);湖南省自然科学基金面上项目(2018JJ2364);湖南省教育厅科学研究项目(13C1135);湖南省教育厅重点项目(20A451);湖南省教育厅优秀青年项目(20B529)。

作者简介:张亚丽,博士。研究方向:景观生态规划、风景园林规划与设计。E-mail:1356631559@qq.com

\* 通信作者:胡希军,博士,教授,博士生导师。研究方向:景观生态规划、风景园林规划与设计、城乡规划。E-mail:120795043@qq.com



tween different ecological functional zones, high in the north, and low in the south, generally. Ecological corridors distributed densely in southeast, and sparsely in northwest. No obvious conflicts were observed between ecological functional zone and construction land. The conflict between ecological corridor and construction land decreased from south to north. The conflict between secondary corridor and construction land was more intense. The results provided theoretical basis for the construction and optimization of Dongshan Island ecological network.

**Key words:** MSPA; MCR; ecological network; conflict analysis; Dongshan Island

为满足城乡建设发展需要,人类对自然的“探索”力度不断加大,许多大型生态斑块被不断地侵占,景观破碎化加重,这成为生物多样性降低与物种灭绝的重要影响因素之一<sup>[1-4]</sup>。为了改变现状,生态网络被诸多学者提出用来维持和增加生态斑块之间的连接,以减少城市绿地破碎化<sup>[5]</sup>。生态网络是多廊道连接生态源的网状结构<sup>[6-7]</sup>,它将景观基质中的绿色斑块以廊道的形式有机的组织起来<sup>[8]</sup>,使各个网络节点形成物质和能量的交换关系,这可为城乡发展提供稳定的生态空间,对控制城市快速扩张,集约化利用现有土地,保护生物物种的多样性具有重要意义。

20 世纪 90 年代,许多学者基于景观生态学、群落生态学等理论,从宏观上对生态网络构建进行了大量尝试,其中运用最多的方法是最小累积阻力(MCR)模型、电路理论。这 2 种模型都是考虑物种运动行为的功能连接度模型,并且都是基于图论的数据结构<sup>[9]</sup>;电路理论模型是以导电面模拟景观要素,用电子自由移动的特性来模拟景观中生命体的活动轨迹,以识别景观面中的路径<sup>[10]</sup>,该方法考虑了廊道网络的重复性,但由于大量的详细数据难以获取,且对土地利用分类数据精确度要求高,所以在数据不详的地区存在应用局限;MCR 模型是一种基于 GIS 技术,能够计算物种从生态源地不同景观土地利用类型所消耗的成本,来模拟最小累积耗费路径,从而构建生态网络<sup>[11]</sup>,该模型以较少的数据通过地图形式表达分析结果,作为一种相对高效的方法被广泛应用<sup>[12]</sup>。

我国已有学者运用 MCR 模型,对湖南省<sup>[13]</sup>、宁波市<sup>[14]</sup>等区域开展了一系列生态网络规划研究,取得了一些理论应用成果,但在生境斑块的识别上,许多学者尝试以上位规划或者研究区生态特点作为确定生态源地的依据,存在一定的主观性。MSPA 是结合渗透理论的结构要素选择和与前景像元的拓朴关系,对土地利用数据分类,能更准确地分辨景观类型<sup>[15]</sup>,为提取生态源地提供技术依据,增强了 MCR 模型在构建生态网络方面的合理性。生态网络连通性好,表明廊道长度与数量呈正相关<sup>[16]</sup>,但是出于

节约利用土地的考虑,廊道的保护与建设应该考虑区域财政承受能力。因此,引入重力模型、连接度指数等来评价优化廊道网络,对生态网络节约化建设十分必要<sup>[17]</sup>。

东山岛旅游资源优势显著,但岛内可供开发利用的土地资源和淡水资源较少。随着东山岛建设“国际旅游海岛”政策的出台,发展机遇与生态危机并存,生态用地被不断蚕食。本研究以东山岛为例,采用 MSPA 和 MCR 模型,对研究区潜在的廊道进行定量模拟,并借助重力模型对斑块间相互作用强度进行比较分析,依据廊道的相对重要程度对生态网络进行构建和可行性评价,以此提高该区域生态网络的资源节约程度,为推动东山岛的生态规划提供理论依据。

## 1 研究区概况

东山岛位于福建省漳州市南部(图 1),地理位置  $23^{\circ}33' - 23^{\circ}47'N, 117^{\circ}17' - 117^{\circ}35'E$ ,属典型的南亚热带海洋性季风气候,年平均降水量为 1 113.9 mm。该岛四面环海,整体地势西北高、东南低,西北部为低丘台地地区、东南部多为滨海平原,岛内共有山丘 413 座,最高峰为苏峰山,海拔 274.3 m。岛上植被系属于闽粤沿海丘陵平原亚热带雨林区、闽南博平岭东南湿热带雨林小区,区内有高等植物 352 种,岛内植被主要以常绿阔叶树及南亚热带植物为主。作为岛屿型城市,生态系统脆弱,易受海风、海水侵蚀,生态环境受到严峻挑战。

## 2 材料与方法

### 2.1 基础数据处理

主要数据取自清华大学的全球土地观测和监测数据库,数据文件为 2017 年 110E30N.tif 文件。利用 ArcGIS 进行裁剪合并等预处理,考虑到整体连通性,将周边岛屿剔除,对比高分辨率航片(1.09 m)重分类后,结合土地覆盖遥感监测数据分类系统,将研究区用地分为林地(24.34%)、草地(2.91%)、耕地(29.59%)、水域(21.31%)、建设用地(21.4%)、未利用地(0.45%)6 类。得到土地利



用图(图 2)。

## 2.2 研究方法

2.2.1 基于 MSPA 模型的景观格局分析 以土地利用图、生态服务功能重要区为基础,优先提取出林地、草地、淡水水域景观进行前景分析,其他景观类型作为研究内容的背景,同时结合 MSPA 和 Guidos Toolbox 软件做数据处理,得到 7 类重要数据(核心区、桥接区、岛状斑块、孔隙、边缘区、环道区、支线)。根据数据和斑块连通性的相关性大小,筛选出重要核心区和桥接区做景观连通分析,剩余景观暂合并为其他类别<sup>[8]</sup>。

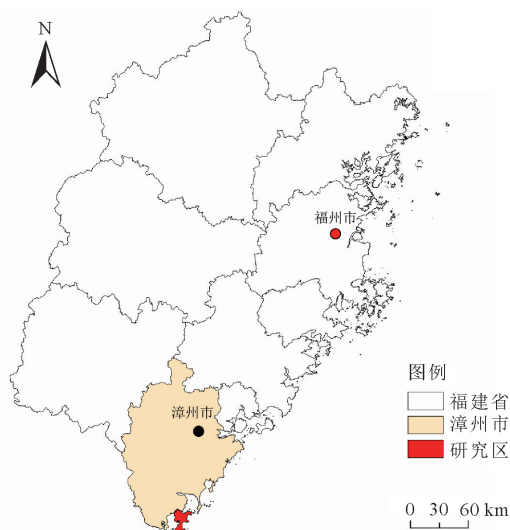


图 1 东山岛区域位置

Fig. 1 The location map of Dongshan Island

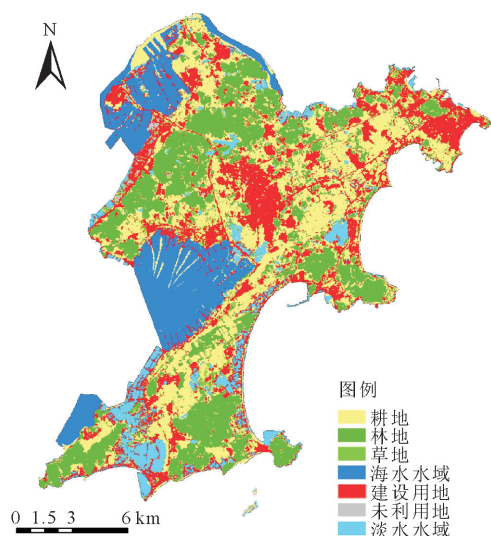


图 2 研究区土地利用分类

Fig. 2 Land use types of Dongshan Island

2.2.2 基于斑块重要性的生态源地识别 生态源地的确定主要取决于斑块大小及斑块间的连接度水

平。在 MSPA 前景分析结果中筛选出面积最大的 19 个斑块,考虑到斑块连通性存在不确定性,一般在 Conefor 中先预设阈值,依次在 MSPA 中计算 PC 指数、dPC 指数<sup>[18-19]</sup>,两者计算公式如下:

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

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

式中, $n$  是生态景观类型中的斑块数量; $a_i$  和  $a_j$  均为 2 类景观类型的面积; $A_L$  反映的是所含景观类型的总面积, $0 < PC < 1$ ;  $P_{ij}$  反映的是生物在斑块  $i$ 、 $j$  之间出现扩散的可能性的最大值;dPC 为斑块重要性指数; $PC_{remove}$  为将该斑块剔除后景观整体的连通性。

在设计阈值参数时,基础参数方面,基于研究尺度,斑块连通距离定为 2.5 km;连通概率定为 0.5。依据面积和斑块重要性指数(dPC)作为核心区,选择面积  $> 0.3 \text{ km}^2$  且  $dPC \geq 2$  的斑块作为生态源地,共提取出 19 个生态源地,并计算生态源地的几何中心作为源点。

2.2.3 基于 MCR 模型的网络廊道建立 生态阻力因子的筛选通过查阅物种生境适宜性标准,确定出土地利用类型、地形起伏度、坡度 3 个影响因子。

阻力值是表达物种穿越生境斑块的意愿程度,难以用绝对数值来衡量。本研究中的阻力值设定是相对阻力值,取值范围是通过咨询专家意见并参考谢高地等<sup>[20]</sup>编制的单位面积生态功能服务价值当量表综合确定,取值范围拟设为 1~100。

阻力值越小代表斑块适宜度越高,物种迁移过程中遇到的阻碍会越少,对生态网络的构建越有利<sup>[21]</sup>。利用 MCR 模型连续模拟源地与目标地之间穿越阻力面的路径来筛选最小耗费路径,构建出最优网络廊道。公式如下:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_i) \quad (3)$$

式中,MCR 表示从生态源斑块  $j$  在空间中扩散至某点的最小累积阻力值; $f$  为 MCR 与变量间乘积 ( $D_{ij} \times R_i$ ) 的函数; $D_{ij}$  表示目标斑块源  $j$  至其他斑块源  $i$  所经过的空间距离; $R_i$  表示斑块源  $i$  在空间中某一方向上的扩散阻力系数; $\min$  表示评价单元对于不同源的累积阻力取最小值。

专家打分得到土地利用类型、地形起伏度、坡度的权重值确定为 0.45、0.30、0.25(表 1),对 3 类阻力面加权叠加得到符合研究区生态特点的综合阻力值分布(图 3;注明:考虑到海水水域对陆地景观生态系统起隔离作用,故对其设置了较高的阻力



值<sup>[22]</sup>)。

在筛选剔除重复廊道,得到网络廊道最佳布局位置后,基于节约型生态网络构建原则,运用重力模型计算生态源地间的相互作用矩阵,得到不同廊道对区域生态安全的重要性(表 2),以作为生态网络构建的参考依据。计算公式为:

$$G_{ab} = \frac{N_a \times N_b}{D_{ab}^2} = \frac{L_{\max}^2 \times \ln(S_a \times S_b)}{L_{ab}^2 \times P_a \times P_b} \quad (4)$$

式中, $G_{ab}$  为源地 a 和 b 的相互作用强度; $N_a$ 、 $N_b$  分别为源地 a 和 b 的权重系数; $P_a$ 、 $P_b$  分别为源地 a 和 b 的整体阻力值; $S_a$ 、 $S_b$  分别为源地 a 和 b 的面积/ $\text{hm}^2$ ; $L_{ab}$  为源地 a 和 b 之间的生态廊道累积阻力值; $L_{\max}$  为研究区所有生态廊道的最大阻力值。

综合  $G_{ab}$  结果,将源地间  $G_{ab} \geq 10$  的廊道划分为一级廊道, $G_{ab} < 10$  划为二级廊道。廊道宽度设定依据实证经验<sup>[23-24]</sup>,将一级廊道宽度设定为 100 m,二级廊道的宽度设定为 60 m。

表 1 生态阻力因子分类及权重

Table 1 Classification and weight of ecological resistance factors

阻力因子	分级指标	阻力值	权重
土地利用类型	林地、草地	1	0.45
	耕地	20	
	淡水水域/海水水域	40/60	
	未利用地	80	
	建设用地	100	
地形起伏度	0 m	1	0.30
	1~20 m	10	
	20~100 m	30	
	100~200 m	50	
	>200 m	80	
坡度	<8°	1	0.25
	8°~15°	20	
	15°~25°	60	
	25°~35°	80	
	≥35°	100	

表 2 基于重力模型的生态源地相互作用矩阵

Table 2 Interaction matrix of ecological sources based on Gravity Model

源地 编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	23.57																	
3	5.42	15.44																
4	2.92	6.39	5.82															
5	1.64	3.22	2.96	27.97														
6	2.30	3.49	1.74	1.69	1.76													
7	1.72	3.30	1.68	6.71	11.64	2.97												
8	1.62	2.99	2.91	36.77	6.68	1.00	2.69											
9	3.48	6.77	3.39	7.38	10.17	8.14	37.95	3.53										
10	1.86	3.35	1.85	3.53	4.12	5.98	11.16	1.86	72.00									
11	1.00	1.55	1.00	1.12	1.09	3.46	1.51	0.72	4.28	3.44								
12	2.11	3.50	2.15	4.78	5.66	3.36	9.72	2.61	40.09	10.82	2.24							
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
14	0.63	0.94	0.66	1.20	1.24	0.83	1.57	0.75	4.54	1.89	0.63	17.31	37.18					
15	0.68	1.03	0.71	1.33	1.39	0.91	1.81	0.82	5.39	2.17	0.68	23.99	71.61	31.51				
16	0.70	1.02	0.74	1.32	1.31	0.87	1.51	0.85	4.08	1.85	0.69	11.58	30.61	9.20	11.13			
17	0.28	0.38	0.30	0.45	0.42	0.31	0.43	0.33	1.02	0.54	0.26	1.86	3.66	1.15	1.25	2.80		
18	0.68	0.98	0.72	1.27	1.25	0.83	1.41	0.83	3.76	1.73	0.66	10.06	26.60	4.35	7.10	14.12	1.62	
19	0.47	0.66	0.51	0.82	0.77	0.54	0.82	0.56	2.05	1.03	0.45	4.25	9.37	1.71	2.31	2.42	0.64	3.66

2.2.4 生态节点的搭建 传统的踏脚石间距设置一般由相邻踏脚石的视觉效果或者经验判断来决定,此种方法过于主观,因此在研究通过提取阻力面的阻力值并结合生态廊道布局的方法来选取生态节点位置,即将源地作为中心点,以类似同心圆的方式进行发散,发散过程达到一定的程度时,各个节点之间的会出现相切的状态,由相切位置形成了鞍部,此时根据鞍部位置可生成踏脚石,即确定生态节点位置。

2.2.5 空间用地冲突分析 冲突性分析是为了筛选出开发保护成本更低、连通性更优的廊道,以达到节约土地资源的目的。由于生态缓冲区作为生态网络内部的有机组成部分<sup>[25]</sup>,以及农田区域本身能够产生生态效益,故均不视为冲突方。因此,本阶段重点考虑生态网络所占区域与建设用地的冲突。研究提取建设用地数据与已生成的生态网络图进行叠置分析,得到两者冲突区域。



### 3 结果与分析

#### 3.1 景观格局分析

总体来看,前景总面积共 8 767 hm<sup>2</sup>,占研究区总面积的 32.15%,主要由核心区、桥接区等组成(表 3)。其中,核心区面积占比最大,占生态空间面积的 99.81%,主要分布在研究区的西北部、南部,相隔距离较远,整体缺乏连通;桥接区及其他次之,占生态空间面积不足 1%,表明原始通道较少,部分源地承担了连通的功能。

表 3 MSPA 分类统计

Table 3 Classification statistics of MSPA

景观类型	面积/hm <sup>2</sup>	占生态空间面积比例/%
核心区	8750	99.81%
桥接区	11	0.13%
其他	6	0.07%

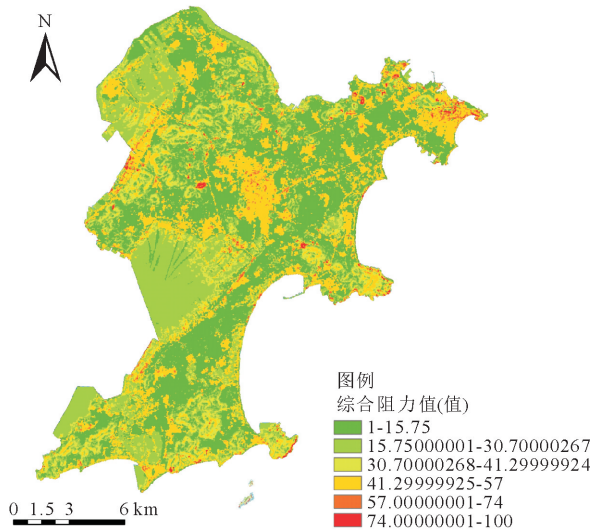


图 3 东山岛综合阻力分布

Fig. 3 Comprehensive resistance distribution of Dongshan Island

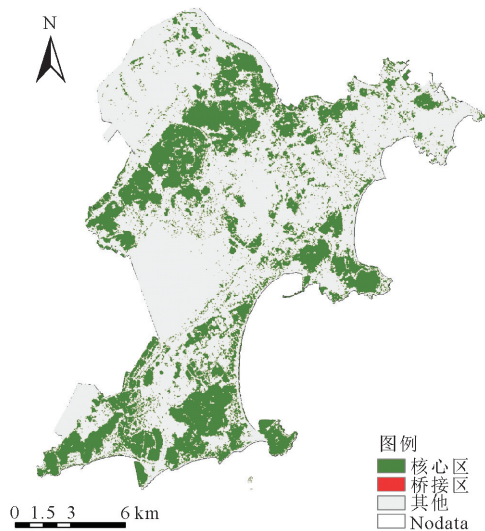


图 4 基于 MSPA 的景观类型分类

Fig. 4 Classification of landscape types based on MSPA

#### 3.2 生态源地斑块分析

生态源地斑块最终形成 19 个(表 4),总面积为 6 253 hm<sup>2</sup>,占核心区面积的 71.46%,占研究区面积的 22.93%。生态源地处于核心区主要分布点,但相互作用强度差异显著,其原因可能是源地分布与自然条件和人口分布存在相关性<sup>[26]</sup>,斑块边缘受干扰程度不一(图 5)。

表 4 源地重要性指数及面积

Table 4 Source andland importance index and area scale

序号	源地位置	源地编号	重要性指数	源地面积/hm <sup>2</sup>
1	西山岩	4	49.03	827.91
2	尖岭山—牛牯山	3	40.23	1 228.77
3	大帽山—狮头山	18	29.90	913.85
4	旗山	19	26.35	1 016.67
5	赤涂	12	25.755	96.26
6	双东水库	5	24.44	49.73
7	前楼大山	8	17.81	580.48
8	亲营山	10	9.48	208.05
9	苏峰山	11	8.20	31.92
10	南正院山	2	6.32	157.70
11	坑塘湿地	9	5.56	323.33
12	西环路坑塘	7	5.48	33.44
13	大肉山	17	5.17	205.59
14	桂花山	1	4.86	148.56
15	西湖	15	4.63	61.27
16	湖仔头	16	4.10	96.49
17	乌礁湾景区	14	4.06	42.87
18	赤山国有林场	13	3.16	116.48
19	庄园坑塘	6	2.88	114.44

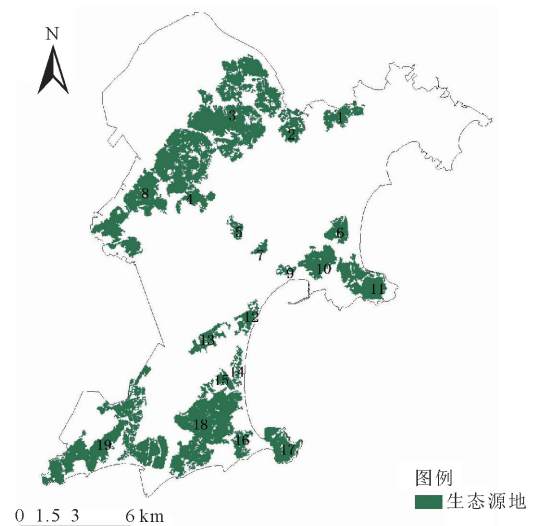


图 5 生态源地分布

Fig. 5 Distribution of ecological source areas

按土地利用类型分布来看,生态源地斑块以林地和淡水水域为主,分别占生态源地斑块面积的 80.99%和 16.80%,剩余 2.21%的生态源地斑块为草地,说明该地区林地和淡水水域的保护至关重要。



按行政空间分布来看,生态源地分布明显倾向于西埔镇(北部)、杏陈镇、前楼镇及陈城镇等生态资源丰富的城镇区。而西埔镇南部和铜陵-康美城区则无生态源地分布。

按源地面积分布看,总体面积差异较大,源地面积最小为 31.92 hm<sup>2</sup>,最大达到 1 228.77hm<sup>2</sup>。面积在 1 000hm<sup>2</sup> 以上的有 2 处,为源地 3-大帽山-狮头山、源地 19-旗山;面积<100 hm<sup>2</sup> 的源地有 7 处,主要源地有 5、7、9、12、14、15、16;其他均为 100~1 000 hm<sup>2</sup>。面积的差异能够反映出区域间丰富度、能量和养分的差异,也说明了自然禀赋对源地起决定性作用。

### 3.3 网络廊道分析

研究区网络廊道共计 171 条,合计面积 5 598.54 hm<sup>2</sup>,占研究区面积的 20.53%,占核心区面积的 17.47%。其中,一级廊道共计 18 条,二级廊道 153 条,分别占廊道总数的 10.53%和 89.47%(图 6)。

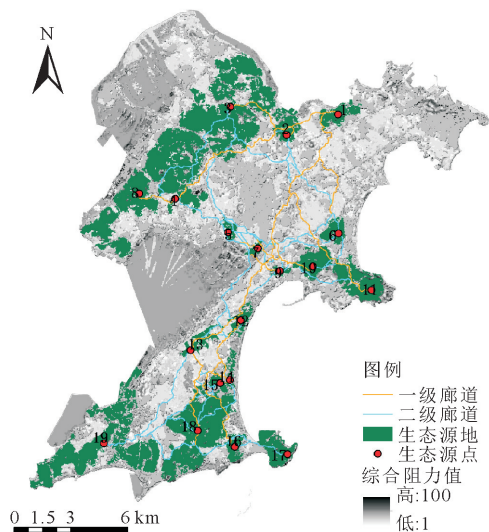


图 6 东山岛廊道分布

Fig. 6 Corridor distribution of Dongshan Island

一级廊道包括桂花山—南正院山(1~2)、桂花山—庄园坑塘(1~6)、西山岩—前楼大山(1~7)、桂花山—坑塘湿地(1~9)、桂花山—亲营山(1~10)、桂花山—苏峰山(1~11)、尖岭山牛犊山—大帽山狮头山(2~3)、尖岭山牛犊山—旗山(2~4)、旗山—亲营山(4~8)、前楼大山—苏峰山(7~9)、苏峰山—西环路坑塘(9~12)、苏峰山—大肉山(9~13)、西环路坑塘—大肉山(12~13)、西环路坑塘—桂花山(12~14)、西环路坑塘—西湖(12~15)、大肉山—赤山国有林场(13~18)、桂花山—湖仔头(14~16)、西湖—湖仔头(15~16),其数量占比较小,但在生物间的交流、栖息和迁徙方面有重要价值,应予以重点保护。二

级廊道数量占比大,但冲突面较多、传输效率较低,后期应针对此类情况采取解决措施。

### 3.4 生态网络冲突分析

冲突分析方面,生态源地本地为林地、草地和淡水水域,与建设用地无明显空间冲突,但廊道与建设用地冲突较多,尤其是二级廊道与建设用地冲突更加剧烈(图 7)。统计显示,廊道与建设用地冲突面积达 207.86 hm<sup>2</sup>,一级廊道、二级廊道与建设用地冲突分别占 16.25%、83.75%,一级廊道冲突长度最长达 289.58 m,二级廊道冲突长度最长达 379.73 m;冲突区域主要集中在西埔镇南部、陈城镇东北部,其中城区及毗邻城区的区域冲突程度最高。

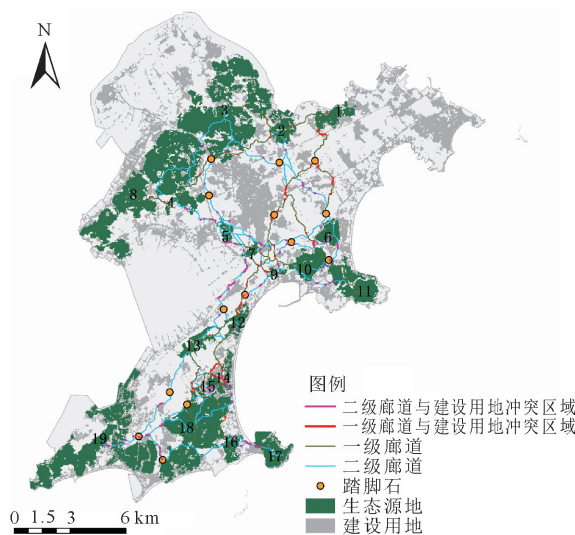


图 7 建设用地与生态网络冲突分析

Fig. 7 Conflict map of construction land and ecological network

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

研究结果表明,研究区生态网络面积为 11 852.298 hm<sup>2</sup>,其中生态源地占 52.76%,生态廊道占 47.23%,生态踏脚石占 0.01%。生态网络是由 19 个生态源地和 171 条生态廊道组成的“源—廊—点”结构。

生态源地总面积为 6 253 hm<sup>2</sup>,占研究区面积的 22.93%,西北部、东南部以大面积林地草地斑块为主,中部有淡水源地少量分布;生态源地间的相互作用强度差异显著,最低值为 0,最高值达 72。生态廊道总面积为 5 598.54 hm<sup>2</sup>,占研究区面积的 20.53%,生态廊道分布密度总体东南高、西北低,东北部无廊道分布,西部的大型海域与南海昭安湾相连,存在生态阻隔,故生态廊道主要沿城市绿化带、农田沿线布局,以减少资源损耗。空间用地冲突分



析显示,廊道与建设用地冲突由南向北递减,二级廊道与建设用地冲突更加剧烈,冲突最长距离达 379.73 m,冲突总面积达 207.86 hm<sup>2</sup>;一级廊道、二级廊道与建设用地冲突分别占 16.25%、83.75%。

### 3.2 讨论

和传统生态网络构建方法相比,MSPA 结合 MCR 模型能够在核心区选取、源地提取、廊道筛选等方面更为快捷、准确,引入重力模型对廊道重要性进行筛选,能够提升生态网络构建的科学性、合理性。在阻力因子选取方面,以土地利用类型、地形起伏度及坡度作为阻力面影响因子,切合研究区实际。

连通距离对斑块的重要性 dPC 值具有重要的影响,本研究在 Conerfor 中计算 dPC 指数时所使用的连通距离为 2 500 m,连通概率设为 0.5,而当斑块间距离>2 500 m 时,斑块间被认为是不连通的,因而阈值设定时缺少针对性。在廊道构建中,由于缺乏研究区详细生物资料,没有根据物种的生活特性进行有针对性的权重赋值及规划廊道宽度,因而廊道建设更倾向通用廊道。

总之,在目前技术条件下,科学合理的生态网络构建能最大限度的保护生态资源,但也不能过分期望生态网络能够完全解决生态资源保护问题,还需要考虑更多政策因素及不可控因素。

### 3.3 资源节约型生态网络优化建议

1)加强生态源地保护与发展。源地是生态空间的内核区域,是保障区域生态系统正常发展的底线,应重点保护和建设<sup>[27]</sup>。生态网络中的源地虽然与当前的建设用地不存在空间冲突,但后期城市发展仍要控制建设红线,保留一定的过渡性空间,避免资源浪费。

一方面,以高效优化存量为主。在保护原有植物的基础上,运用乡土树种、驯化成熟树种改善人工次生植被的群落结构,避免出现“绿色沙漠”;对郁闭度过高的林地科学间伐,为下层植被提供高质量生长空间;对源地内生态服务价值低的入侵植物,做好定期定量的清理;采取适当的措施减少虫灾、火灾等灾害的发生,尽可能减少对生态系统的干扰。另一方面,以有序发展增量为辅。东北部的铜陵-康美片区及北部地区的源地面积小、破碎化严重,适合发展兼具生产、生态功能的过渡性绿地,通过廊道发展,逐步积聚形成核心区;对廊道距离过长、踏脚石集中区域,考虑将其发展为生态源地。

2)分级建设生态廊道。从建设资源节约型生态网络角度出发,实际建设需要分情况考虑:依据重要性程度和开发难易度,依次划分为优先建设廊道、协调建设廊道、暂缓建设廊道(图 8)。

对处于源地内部的廊道,考虑源地也具有廊道的相同作用,所以可不予建设;优先建设廊道以一级廊道为主,此类廊道对连通大型生态源地有着极为重要的作用,是首要建设对象;协调建设廊道以二级廊道为主,属于二期建设对象,针对冲突区域需要经过多级部门的协商,坚持资源节约原则,将廊道建设完成;暂缓建设廊道则是对长度过长、冲突较多的廊道予以暂缓开发,待条件成熟再建。

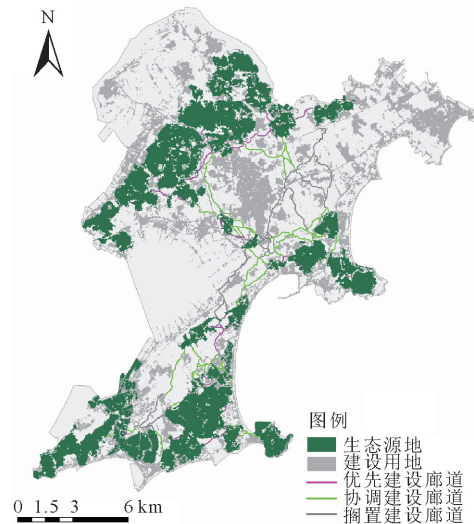


图 8 生态网络建设优化

Fig. 8 Optimization of ecological network construction

### 参考文献:

- [1] FREE MUTH J C. Is land under Siege: national parks and the politics of external threats[M]. Lawrence: University Press of Kansas, 1991: 9-35.
- [2] COLLINGE S K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1996, 36(1): 59-97.
- [3] PAETKAU D, WAITS L P, CLARK SON P L, et al. Variation in genetic diversity across the range of North American brown bears[J]. Conservation Biology, 1998, 12(2): 418-42.
- [4] SHAFFER M. Determining minimum viable population sizes: a case study of the grizzly bear (*Ursus arctos* L.) [J]. Duke University, 1978.
- [5] 唐吕君, 蒋文伟, 李静. 基于景观格局分析的长河镇生态绿地网络优化研究[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(1): 245-250.  
TANG L J, JIANG W W, LI J. Optimization on ecological green land network in Changhe Township based on the landscape pattern analysis[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(1): 245-250. (in Chinese)
- [6] 青菁, 胥池, 杨彪, 等. 小相岭山系大熊猫廊道规划[J]. 生态学报, 2016, 36(4).  
QING J, XU C, YANG B, et al. Corridor design for the giant panda in the Xiaoxiangling Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 1125-1133. (in Chinese)
- [7] THOMAS C D. Dispersal and extinction in fragmented landscapes



- [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2000, 267 (1439): 139-145.
- [8] JONGMAN R H G. Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks[J]. *Landscape & Urban Planning*, 1995, 32(3): 169-183.
- [9] 黄九明. 基于电路理论的济南市生态安全格局构建研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [10] 刘佳, 尹海伟, 孔繁花, 等. 基于电路理论的南京城市绿色基础设施格局优化[J]. *生态学报*, 2018, 38(12): 4363-4372.  
LIU J, YIN H W, KONG F H, *et al.* Structure optimization of circuit theory-based green infrastructure in Nanjing, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12): 4363-4372. (in Chinese)
- [11] 杨志广, 蒋志云, 郭程轩, 等. 基于形态空间格局分析和最小累积阻力模型的广州市生态网络构建[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(10): 3367-3376.  
YANG Z G, JIANG Z Y, GUO C X, *et al.* Construction of ecological network using morphological spatial pattern analysis and minimal cumulative resistance models in Guangzhou City, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29 (10): 3367-3376. (in Chinese)
- [12] 贾振毅, 陈春娣, 童笑笑, 等. 三峡沿库城镇生态网络构建与优化——以重庆开州新城为例[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(3): 782-791.  
JIA Z Y, CHEN C D, TONG X X, *et al.* Developing and optimizing ecological networks for the towns along the Three Gorges Reservoir: a case of Kaizhou new town, Chongqing [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(3): 782-791. (in Chinese)
- [13] 尹海伟, 孔繁花, 祈毅, 等. 湖南省城市群生态网络构建与优化[J]. *生态学报*, 2011, 31(10): 2863-2874.
- [14] 胡道生, 宗跃光, 许文雯. 城市新区景观生态安全格局构建——基于生态网络分析的研究[J]. *城市发展研究*, 2011, 18 (6): 37-43.
- [15] RIITTERS K H, VOGT P, SOILLE P, *et al.* Neutral model analysis of landscape patterns from mathematical morphology [J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22(7): 1033-1043.
- [16] BORRETT S R, FATH B D, PATTEN B C. Functional integration of ecological networks through pathway proliferation [J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2007, 245(1): 98-111.
- [17] 陈德超, 施祝凯, 王祖静, 等. 苏州环太湖地区生态网络构建与空间冲突识别[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(6): 778-787.  
CHEN D C, SHI Z K, WANG Z J, *et al.* Ecological network construction and spatial conflict identification around Taihu lake area in Suzhou City [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(6): 778-787. (in Chinese)
- [18] 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 [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2007, 83(2/3): 91-103.
- [19] 熊春妮, 魏虹, 兰明娟. 重庆市都市区绿地景观的连通性[J]. *生态学报*, 2008, 28(5): 2237-2244.
- [20] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [21] 史娜娜, 韩煜, 王琦, 等. 青海省保护地生态网络构建与优化 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(6): 1910-1916.  
SHI N N, HAN Y, WANG Q, *et al.* Construction and optimization of ecological network for protected areas in Qinghai Province [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(6): 1910-1916. (in Chinese)
- [22] 李晶, 蒙古军, 毛熙彦. 基于最小累积阻力模型的农牧交错带土地利用生态安全格局构建——以鄂尔多斯市准格尔旗为例 [J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2013, 49(4): 707-715.  
LI J, MENG J J, MAO X Y. MCR based model for developing land use ecological security pattern in farming-pastoral zone: a case study of Jungar Banner, Ordos [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2013, 49(4): 707-715. (in Chinese)
- [23] 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.
- [24] 戴立峰, 陈雄志, 杜遂, 等. 武汉市朱家河生态廊道空间控制标准研究及制定[J]. *中国给水排水*, 2018, 34(24): 43-46.
- [25] 于广志, 蒋志刚. 自然保护区的缓冲区: 模式、功能及规划原则 [J]. *生物多样性*, 2003, 11(3): 81-86.
- [26] 余宇晨, 陈彩虹, 贺丹, 等. 基于 MCR 模型和 Kriging 的海口市景观格局优化分析[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(3): 233-238.  
YU Y C, CHEN C H, HE D, *et al.* landscape pattern optimization Analysis Based on MCR model and Kriging in Haikou [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(3): 233-238. (in Chinese)
- [27] 郑茜, 曾菊新, 罗静, 等. 武汉市生态网络空间结构及其空间管治研究[J]. *经济地理*, 2018, 38(9): 191-199.  
ZHENG Q, ZENG J X, LUO J, *et al.* Spatial structure and space governance of ecological network in Wuhan City [J]. *Economic Geography*, 2018, 38(9): 191-199. (in Chinese)