

基于空间分类系统的生态网络构建与优化研究 ——以巢湖流域为例

顾康康,崔雨乐,赵晓红

(安徽建筑大学建筑与规划学院,安徽 合肥 230093)

摘要:快速无序的城市化导致了区域生境斑块间生态联系的退化,生态网络对城市因快速发展而中断的生态过程的恢复具有重要作用。以巢湖流域为例,引入了空间分类系统,综合运用形态空间格局分析、景观连通性分析、最小累积阻力模型、重力模型和电流理论等方法进行生态网络的构建与优化。研究表明:优化后的巢湖流域生态网络由24个生态源地、57条生态廊道和30个生态节点组成,生态源地总面积为3 036.58 km²,生态廊道总长度为2 134.30 km,形成了“一湖八核三带联动、三纵多点蓝绿交织”的结构布局。优化后的巢湖流域生态网络的网络闭合度、点线率、网络连接度分别提升了13.55%、31.62%、9.36%。

关键词:生态网络;巢湖流域;生态修复;景观连通性;形态空间格局

中图分类号:TU984.11

文献标志码:A

引用格式:顾康康,崔雨乐,赵晓红.基于空间分类系统的生态网络构建与优化研究:以巢湖流域为例[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2024,26(4):384-392.

随着社会经济和城市建设的飞速发展,城市建设空间为满足人类需求不断向生态用地扩张,导致了生态绿地破碎化、斑块连贯性减弱、局部景观结构多样性下降等问题。因此,修复因城市快速发展而退化的生态环境已成为城市建设的重要关注点。生态网络是一种关键景观要素的空间格局,通过将景观格局与生态过程相结合,能够实现区域生态的可持续发展。生态网络可以有效地促进物质和能量的区域循环,维持生态系统的结构和功能稳定。

一、国内外研究现状

根据Forman提出的patch-corridor-matrix理论,生态网络建设过程中识别、调节

战略节点和走廊是必要的^[1]。为了提取生态网络的空间要素,广泛采用最小累积阻力(Minimum Cumulative Resistance, MCR)模型,通过计算阻力面来模拟生态节点之间的联系和相互作用。现有研究大多集中在有自然土地覆盖的野生地区,属于早期阶段。近年来,MCR模型已被应用于重度城市化地区的生态网络识别^[2]。电路理论于2006年由Taylor K I等^[3]提出,通过选取各阻力因子构建电阻力面,识别潜在的生态廊道,研究物种随机游走的路径,能够反映物种畅通的程度。Oliveira J等^[4]基于土地覆盖分类和电路理论评估了树种的连接性,通过GLMs测试模型,选择适宜的生态网络。Jerome L等^[5]采用最小成本路径(Linkage Mapper,

LM)模型和电路模型,针对驼鹿和白尾鹿可能迁徙的路径,建立了功能连接图,用4个不同的指标对它们进行了验证。Barnett K 等^[6]针对物种分布如何应对气候变化的问题,使用LM模型和电路理论方法在北美各大型保护区之间建立了多尺度的连通性模型。

国内学者引入了国外的研究方法及理论,结合国内实际情况认为构建生态网络真实性与有效性的关键在于生态源地识别和生态廊道选取。目前,生态源地识别主要有两种方法:一是直接法,即直接将自然保护区和生态服务价值较高的森林、公园、重要的生物栖息地等绿色斑块作为生态源地,该方法主观性较强,忽视了斑块在景观中的连接性作用;二是综合法,即通过指标评价法或相关生态源地识别模型作进一步分析,该方法降低了研究的主观性,因为从生态源地的结构和功能上进行综合分析更能反映源地的真实情况^[7]。

为了加强巢湖流域的生态联系,研究引入了以空间分类系统构建生态网络的新思路,从人工开发程度的角度考虑,将生态要素分为城市生态要素、农村生态要素及过渡生态要素这3种类型并进行选择,以提高生态网络构建的科学性。根据形态学空间格局分析(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)、景观连通性分析、LM模型、重力模型、空间分类系统等方法识别研究区域中的生态网络要素并对其进行分类;利用电路理论优化生态要素和生态网络,建立城乡定向生态联系;形成巢湖流域生态网络格局并提出保护策略。研究基于空间分类系统构建巢湖流域的生态网络,以期改善研究区域的生态环境,从而保护并恢复其生态功能和生物多样性,优化生态网络格局,提升自然生态系统的质量,维护生态系统的动态平衡,由此实现巢湖流域生态系统的可持续发展。

二、研究方法与数据来源

1. 研究区域概况

研究的对象为巢湖流域,巢湖流域位于

长江中下游,面积为23 039.21 km²,包括合肥、六安、芜湖、马鞍山等17个市、县(区),其中巢湖湖面面积为1 074 km²,该流域西部紧靠大别山区,东南侧为沿江地带。流域内水系发达,共有33条河流,包括派河、南淝河、柘皋河、裕溪河等9条主要出入河流。参考巢湖流域相关文献^[8],研究范围如图1所示。

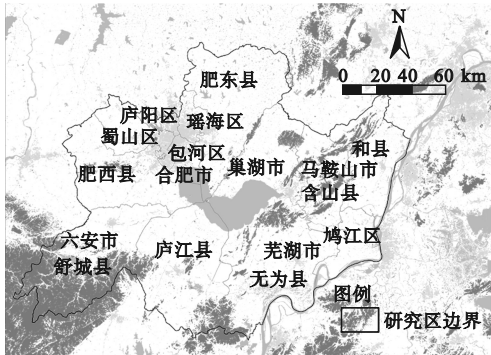


图1 巢湖流域研究范围

2. 数据来源

本研究涉及的数据主要包括2020年土地利用30 m精度数据、行政边界矢量数据、2020年植被覆盖数据(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、交通道路数据和河网数据,数字高程模型数据(Digital Elevation Model, DEM)等。研究数据均从官方网站获取,由于数据并非取自同一个网站,需要在ArcGis10.8中统一坐标系,以此作为生态网络研究的数据基础。

3. 研究方法

(1)空间分类系统

巢湖流域中的生态网络通过优化从城市地区到农村腹地的空间连接,解决了无序城市化造成的景观碎片化和生态过程干扰。由于社会经济系统和自然生态系统之间的巨大差异,生态网络的组成部分在城市和农村地区显示出不同的功能。因此,引入了空间分类系统(见图2)^[9],这是识别巢湖流域中生态网络的前提条件。研究中的生态要素主要包括生态源地与生态廊道,3种生态源地中,城市生态源地是指周围有大规模人工开发活动的斑块,主要是建成区内保留的生态空间;

过渡生态源地是指农村类型向城市类型过渡状态的生态斑块;农村生态源地是指未受人为干扰的自然斑块。本研究中的生态走廊也根据两端相连的生态源地进行分类。在这些廊道中,过渡结构廊道和城市结构廊道是笔者研究的重点。

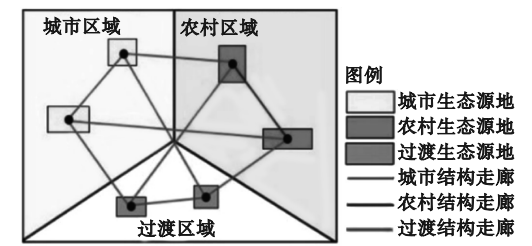


图 2 研究思维模式

(2) 巢湖流域生态网络的构建

①生态源地的识别。MSPA 是 Soille 等基于膨胀、腐蚀、开闭等数学形态学的理论提出的^[10],主要是将土地利用栅格图像重分类为二值图像,然后运用 Guidos 软件,将研究区划分为 7 种景观类型,各景观类型的生态学含义如表 1 所示,其中的核心区可作为潜在的生态源地。

表 1 MSPA 的景观类型及含义

景观类型	生态含义
核心区	景观中面积较大的绿色植被覆盖区域,具有较为完善的生境,可以为生物提供良好的生存空间,在生态网络中可作为生态源地
桥接区	连接各核心区斑块的狭长区域,与景观中的廊道具有相似特征,对物种在景观中的迁移或扩散具有促进作用,有利于提升各景观斑块间的连接度
边缘区	核心区与外部非绿色景观之间的过渡区域,边缘区宽度受不同物种的运动特点影响,存在一定的边缘效应
孤岛	景观中孤立的小面积斑块,斑块间彼此互不连接,破碎化严重,不利于信息、物质能量的流通与交换
孔隙	核心区与内部非绿色景观之间的交接地带,可以限制生物的进出,具有边缘效应
环岛	连接同一核心区具有狭长特征的连接通道,为同一核心区内部的生物流扩散提供了便捷路径
支线	支线是指从边缘区、孔隙、连接桥、环岛分支出去的残余绿色景观区域,不与其他斑块互相连接

参考相关文献^[11-12],引入总体连通性指数(Integral Index of Connectivity, IIC)与可能连接性指数(Possible Index of Connectivity, PC),所有核心区都根据其在整个网络中的综合重要性(Comprehensive Importance, CI)取 IIC 和 PC 的平均值进行排名。对研究区的核心区面积较大的生态斑块进行景观连通性计算,最后根据综合重要性提取生态源地完成生态源地的初步识别。

$$E_{IIC} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2} \tag{1}$$

式中: E_{IIC} 为总体连通性指数; n 为斑块的数量; a_i 和 a_j 分别为斑块 i 和 j 的面积; nl_{ij} 为斑块 i 和 j 间最短路径上的连接数; A_L 为研究区域的总面积。

$$E_{PC} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j p_{ij}^n}{A_L^2} \tag{2}$$

式中: E_{PC} 为可能连接性指数; p_{ij}^n 为斑块 i 和 j 间全部路径概率乘积的最大值。

是否为人工开发是区分城市与农村源地的重要特征,基于这一特征,进一步将生态源地分为城市生态源地、过渡生态源地和农村生态源地 3 类,并通过量化缓冲区内建设用地的比例进行分类。在 3 种生态源地类型中,城市生态源地和过渡生态源地是本研究的重点,因此基于以下原则补充生态源地:该地块应属于城市生态源地或过渡生态源地;优先选择大面积的生态源地斑块;该地块应远离之前已识别的生态源地。按照这些原则识别出其他源地并对生态源地进行调整与补充,以完成生态源地的精准识别。

②阻力面的构建。从研究区域的实际情况出发,考虑了土地利用类型、MSPA 景观类型、坡度、DEM、NDVI、与道路的距离这些可能对生物流动过程造成阻碍的 6 项阻力因子。参考生态网络相关研究^[13]中阻力系数的设定与赋值,通过主成分分析法求取阻力因子权重,通过叠加运算,以 $[1, 100]$ 为区间按其阻力值的大小对各指标进行赋值,构建了阻力因子综合评价指标体系(见表 2 ~

表8)。

表2 生态阻力因子评价指标及权重

生态阻力因子	权重
土地利用类型	0.26
MSPA 景观类型	0.31
与道路的距离	0.15
NDVI	0.18
DEM	0.04
坡度	0.06

表3 土地类型阻力赋值

土地类型	阻力值
林地	1
湿地	20
草地	30
裸土地	40
耕地	50
建设用地	100

表4 MSPA 景观类型阻力赋值

景观类型	阻力值
核心区	1
桥接区	10
环岛	20
支线	30
孤岛	50

表5 与道路的距离阻力赋值

与道路的距离分区/m	阻力值
[3 500,+∞)	1
[2 500,3 500)	20
[1 500,2 500)	60
[500,1 500)	80
[0,500)	100

表6 NDVI 阻力赋值

NDVI 分区	阻力值
[0.75,1]	1
[0.65,0.75)	20
[0.55,0.65)	60
[0.25,0.55)	80
[0,0.25)	100

表7 DEM 阻力赋值

DEM 分区/m	阻力值
[0,50]	1
(50,150]	20
(150,450]	60
(450,600)	80
600	100

表8 坡度阻力赋值

坡度/°	阻力值
[0,4)	1
[4,12)	20
[12,20)	60
[20,60)	80
60	100

③基于空间分类系统的生态廊道识别。首先利用 MCR 模型,综合 MSPA 选取的生态源地和阻力面数据,识别潜在生态廊道,其次运用重力模型^[14]计算出的数据,提取出生态廊道,以此进行生态廊道的初步识别。

$$G_{ab} = \frac{H_a H_b}{L_{ab}^2} = \frac{F_{\max}^2 \ln(S_a) \ln(S_b)}{F_{ab}^2 R_a R_b} \tag{3}$$

式中: G_{ab} 为斑块 a 、 b 之间的相互作用力; H_a 、 H_b 分别为斑块 a 、 b 定量权重; L_{ab} 为斑块 a 、 b 之间提取的廊道的阻力值; F_{\max} 为所有斑块之间阻力值中最大的值; S_a 、 S_b 分别为斑块 a 、 b 的面积; F_{ab} 为斑块 a 到 b 的累计阻力值; R_a 、 R_b 分别为斑块 a 、 b 的阻力。

依据每个廊道两端连接的生态源地类型,将廊道分为城市结构廊道、过渡结构廊道、农村结构廊道,增加相应的城市结构廊道与过渡结构廊道,对通过重力模型提取出的生态廊道进行调整与补充,完成对生态廊道的精准识别。

(3) 巢湖流域生态网络的优化

针对巢湖流域生态网络存在的问题,基于电路理论^[15],通过 Linkage Mapper 工具箱增设生态源地、生态廊道,通过优化生态源地和生态廊道使生态网络结构更加完整,但是多数生态廊道过长、阻力较大、网络连接性差,难以应用于实践。因此,还需要通过增加生态节点、缩减生态廊道长度来进一步构建生态网络。生态节点也称作“踏脚石”,可作为生物在迁徙和移动过程中的临时停留点,同样基于电流理论来进行识别。

(4) 巢湖流域优化生态网络进行验证

图论被用来将回声状态网络(Echo State Network,ESN)定义为一组可理解的空间配置(一组有限的节点、一组有限的链接和一个组合规则),其拓扑量、模式和关系^[16]如式(4)~

式(7)所示。

$$\alpha = \frac{\iota - \nu + 1}{2\nu - 5}$$

(4)

式中: ι 为走廊数量; ν 为节点数; α 指数反映了生态网络的可循环水平,其取值范围为 $[0,1]$,值越大,生态网络的回路越多,物质循环和能量流动越强。

$$\beta = \frac{\iota}{\nu}$$

(5)

式中: β 指数反映了每个节点的连接数。当 $\beta < 1$ 时,为树形结构;当 $\beta = 1$ 时,为单回路结构;当 $\beta > 1$ 时,为复杂结构。

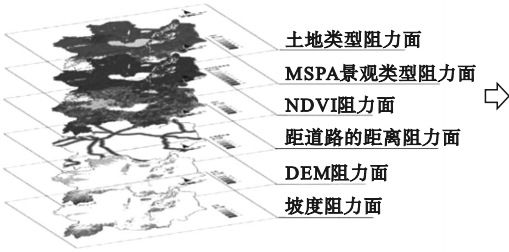
$$\gamma = \frac{\iota}{3(\nu - 2)}$$

(6)

式中: γ 指数反映了网络中所有节点的连接程度,其取值范围为 $[0,1]$ 。该值越大,生态节点的连通性就越高。

$$\delta = 1 - \frac{\iota}{d}$$

(7)



式中: δ 指数也可称作成本比率; d 为走廊长度。当成本比率变低时,人工修改生态网络结构将变得更容易。

三、结果与分析

1. 巢湖流域生态网络构建结果

(1) 阻力面构建结果

从巢湖流域综合生态阻力面的构建结果(见图3)来看,巢湖流域综合生态阻力值较高的区域主要位于合肥市区、巢湖市区、舒城县、庐江县以及其他建筑密度较高的地方,这些区域的用地类型主要以建设用地和耕地为主,海拔较低,受人为因素干扰的影响较大,因此对生物流动的阻碍作用较强,阻力值较高;阻力值较低的区域在巢湖及其流域各县市区均有分布,这些区域多为河流、森林资源较为丰富的区域,用地类型以水域和林地为主,因此对生物流动的阻力较小。

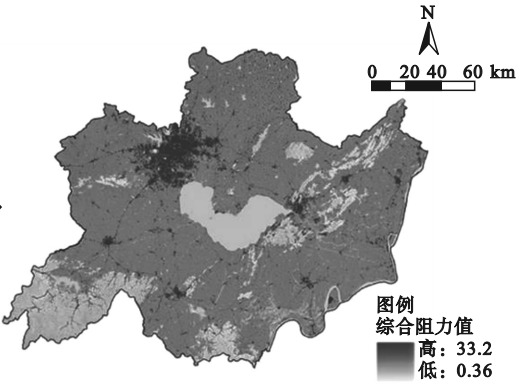


图3 巢湖流域综合阻力面

(2) 生态要素识别结果

研究区域内总体景观格局前景面积为4 731.56 km²,占环巢湖区域面积的20.54%。根据MSPA分析结果(见表9),核心区总面积为3 771.03 km²,占研究区前景面积的79.70%,占景观总面积的16.37%。大型核心区斑块主要为分布在巢湖中部和附近的银屏山和东庵森林公园附近的林地,以及西南部合肥汤池温泉旅游度假区与白马岭景区一带的林地,具有较好的连通性,东北部多为狭长的带状斑块;西北部区域小面积核心斑块零散分布,空间连通性较差,阻碍了斑块间的信息交流。总体来看,核心区斑块在研究区

总面积中占比较低且破碎化程度较高。

表9 景观类型分类汇总

景观类型	面积/km ²	占前景面积/%	占总面积/%
核心区	3 771.03	79.70	16.37
孤岛	160.60	3.39	0.70
桥接区	40.18	0.85	0.17
支线	135.73	2.87	0.59
孔隙	78.08	1.65	0.34
环岛	28.21	0.60	0.12
边缘区	517.73	10.94	2.25

选择核心区面积大于10 km²的生态斑块,采用Conefor2.6对提取的32处生态斑块进行景观连通性计算,最后选择CI值大于2且排名前11位的生态斑块作为生态源地。

研究基于空间分类系统,依据巢湖流域人工开发的实际程度使用最小自然断裂法将生态源地之间的边界分别设为 20%、5%。在对于生态源地进行分类后,农村生态源地、过渡生态源地、城市生态源地的面积分别达到 2 587. 92 km²、337. 28 km² 和 218. 18 km²,在已识别出的 11 个重要生态源地的基础上,又增加了生态源地 13、1、2、14、17 和 11 号(见图 4),最终选取 17 个生态斑块作为巢湖流域的生态源地。生态源地的总面积为 2 904. 02 km²,占研究区域总面积的 12. 6%。通过观察生态源地的分布可知,巢湖流域的生态源地分布不均匀,主要分布在巢湖及周边地区、马鞍山市含山县、六安市舒城县。而庐江县、肥西县、合肥市区、肥东县等区域少有生态源地分布。这主要与地形、土地类型、森林覆盖率有关,这些区域大多为海拔和森林覆盖率较低的地区,用地类型也以建设用地和耕地为主,受人为干扰影响较大,因此不适宜作为生态源地。

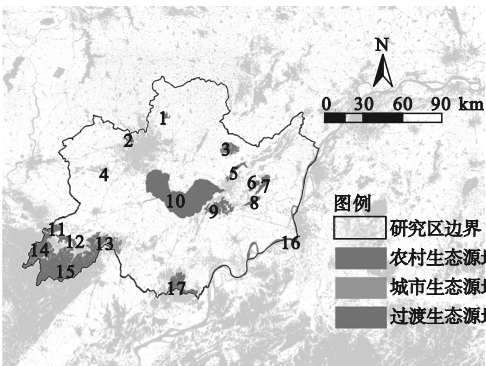


图 4 巢湖流域生态源地的分布

基于 MCR 模型,通过 MSPA 选取的 17 个生态源地和构建的生态阻力面数据,共建立 136 条潜在生态廊道,总长度共 4 515. 44 km。

根据重力模型计算出的数据(见表 10),提取出重力值大于 1 的 35 条廊道作为生态廊道,总长度共 1 106. 11 km,主要集中于研究区中部、南部以及西南部。该区域涵盖众多国家级自然保护区和森林公园,生态源地密集且面积较大,物种丰富,是中国重要的物种基因库基地。

表 10 生态源地相互作用力汇总

源地编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		0. 27	0. 20	0. 09	0. 16	0. 11	0. 10	0. 23	0. 11	0. 12	0. 06	0. 07	0. 08	0. 11	0. 08	0. 05	0. 09
2			0. 09	0. 53	0. 12	0. 08	0. 08	0. 23	0. 11	0. 12	0. 09	0. 07	0. 11	0. 13	0. 10	0. 06	0. 09
3				0. 10	7. 67	2. 15	2. 08	0. 60	1. 73	1. 02	0. 09	0. 44	0. 12	0. 17	0. 11	0. 08	0. 26
4					0. 15	0. 10	0. 10	0. 32	0. 13	0. 15	0. 21	0. 08	0. 24	0. 28	0. 21	0. 13	0. 12
5						9. 01	9. 11	1. 36	5. 55	3. 19	0. 13	0. 79	0. 17	0. 25	0. 16	0. 11	0. 44
6							121. 77	0. 78	42. 26	3. 36	0. 10	1. 13	0. 13	0. 19	0. 12	0. 09	0. 37
7								0. 66	36. 18	2. 76	0. 09	1. 11	0. 12	0. 17	0. 11	0. 08	0. 33
8									1. 07	5. 41	0. 10	1. 39	0. 14	0. 20	0. 13	0. 09	0. 41
9										6. 38	0. 15	1. 03	0. 21	0. 34	0. 19	0. 14	0. 87
10											0. 19	0. 35	0. 27	0. 49	0. 23	0. 17	0. 61
11												0. 08	29. 36	1. 98	18. 09	5. 33	0. 24
12													0. 11	3. 55	18. 64	13. 34	0. 29
13														4. 15	2. 74	2. 94	0. 69
14															2. 59	9. 18	0. 27
15																10. 12	0. 36
16																	0. 25
17																	

依据空间分类系统对于生态廊道进行分类,唯一的一条城市结构廊道为源地 4 与源地 13 相连的生态廊道,也就是六安市与舒城县相连的生态廊道,过渡结构廊道均匀分布在研究区域,在 3 类生态源地之间的生物流

动和生态能量传播中起到了主要的作用,因此在生态廊道识别结果中将过渡结构廊道重新添加,最后得到 44 条生态廊道,总长度为 1 452. 31 km,生态廊道较均匀地分布在研究区域的大部分地区,而研究区域的北部、东北

部、西北部和东南部由于缺少生态源地,生态廊道也比较稀缺,在今后的城市建设中也需要对该部分区域生态网络结构进行重点优化(见图5)。

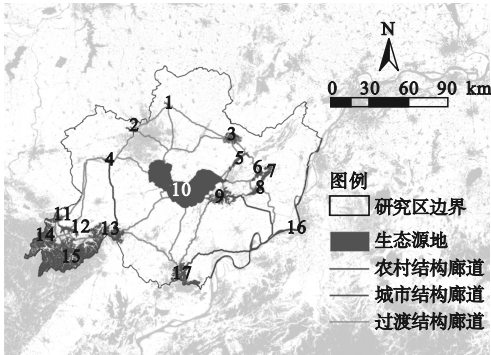


图5 巢湖流域生态廊道的分布

2. 巢湖流域生态网络优化结果

通过电流理论优化后的生态网络结果如图6所示,相较于优化前的生态网络构建结果,优化后生态源地和生态廊道数量都有所增加,分布上也更加均匀,并且新增的生态节点提高了生态网络的连接性。优化后的生态源地共24个,较优化前的生态源地增加了7个,总面积为3 036.58 km²,面积增加了132.56 km²,填补了原来南部和东北部的空缺;优化后的生态廊道共57条,较优化前的生态廊道增加了13个,总长度为2 134.30 km,长度增加了681.99 km,对于研究区域南部、东部和东北部的生态廊道要素进行了补充。同时,增加了30个生态节点作为“踏脚石”,增强了生物的流动性,提升了生态网络的连接度。

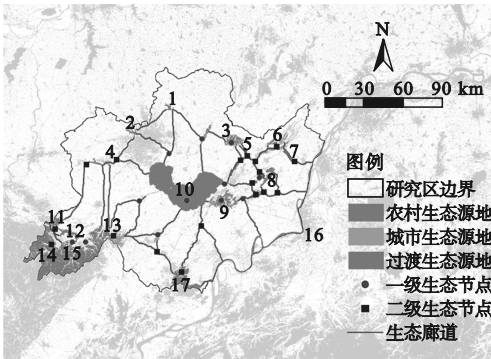


图6 巢湖流域生态网络的优化

3. 优化生态网络的效能验证

通过对基本生态网络和优化生态网络的网络闭合度、线点率、网络连接度、成本比4个指标进行比较(见表11),以此验证优化生态网络的效能提升效果。

表11 巢湖流域生态网络优化的结构性能比较			
指标	基本生态网络	优化生态网络	变动率/%
α	0.65	0.79	13.55
β	2.06	2.38	31.62
γ	0.77	0.86	9.36
δ	0.968 3	0.968 1	-0.02

由表11可知,优化生态网络的 α 指数达到0.79,比基础生态网络高出13.55%,生态网络的循环水平改善效果显著。 β 指数反映了源节点的外部连接数量,两个网络的值都大于1,说明优化生态网络是一个复杂的生态网络结构。优化生态网络的线点率与网络连接度也有增加。 δ 指数在优化生态网络中有所下降,说明人工修改生态网络结构将变得更加容易。因此,生态网络的优化不仅要追求生态源地的保护,还要加强结构中的连接,以进一步提高空间性能。

4. 巢湖流域生态网络空间布局

根据巢湖流域生态网络的优化结果,综合巢湖流域城市建设现状、社会经济发展需要及未来规划等多方面因素,基于山形水系框架,对巢湖流域生态网络提出“一湖八核三带联动、三纵多点蓝绿交织”的结构布局,以生态保护最重要的“八核”为生态核心屏障,以“三带三纵”为生态脉络,以“多点”为生态节点贯穿生态廊道,形成完整的生态网络体系(见图7)。

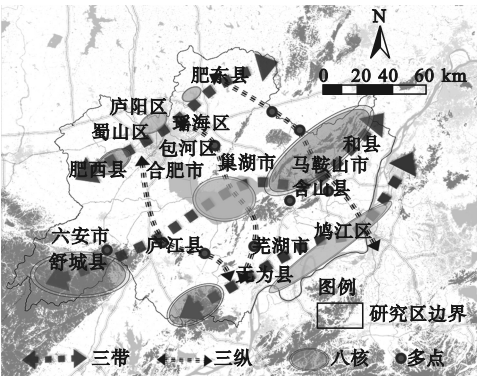


图7 巢湖流域蓝绿生态网络结构布局

“八核三带”构成了巢湖流域的生态空间骨架。“八核”为巢湖流域的八大重要生态核心区,也是研究区域范围内的蓝绿生态源地组团,根据所处位置就近将蓝绿生态源地划分为八大组团核心区,分别为巢湖核心区、万佛湖-汤池核心区、银屏山-太湖山-褒禅山核心区、阳家墩核心区、长江核心区、紫蓬山核心区、董铺水库核心区、众兴水库核心区;“三带”为在研究区域内发挥重要生态功能的 3 条关键生态廊道,即紫蓬山-众兴水库生态廊道、阳家墩-长江生态廊道、万佛湖-太湖山生态廊道,均为东北-西南走向。“八核三带”是研究区域内生态保护极为重要的大型生态块组团,在涵养水源、维持生物多样性方面有重要的生态价值,应按照生态功能不降低、面积不减少、性质不改变的原则严格限制城镇建设,禁止各种破坏生态环境的活动及破坏景观、污染环境开发建设。

“三纵多点”是巢湖流域实现生态网络功能的重要连接结构,其由生态廊道与生态节点组成。“三纵”为巢湖流域关键生态廊道组成的 3 条纵向生态轴,南北向贯穿巢湖流域:第一条为紫蓬山-阳家墩生态轴,位于巢湖流域西部;第二条为董铺水库-阳家墩生态轴,位于巢湖流域中部;第三条为众兴水库-长江生态轴,位于巢湖流域东部。“三纵”连接了八大重要核心区,组成了研究区域生态网络的线型框架,其将原本松散、孤立的斑块连接起来,使整个研究区域的生态结构更加完整。“多点”是为生物迁徙提供短暂休憩的小型生态斑块,即巢湖流域生态网络中的关键生态节点,包含巢湖、万佛湖、汤池、冶父山、天井山、银屏山、太湖山、石镜山、龙栖地、浮槎山等,是保障地方生态功能的小型生态绿核。针对“三纵多点”应采取以保护为主、修复为辅的措施。

四、结 语

研究基于 MSPA 模型和景观连接度分析,选择的 11 处生态斑块与依据空间分类系统增加的 6 处城市生态源地及过渡生态源地

一起作为研究区域最终识别的 17 处生态源地,总面积为 2 904.02 km²,占研究区域总面积的 12.6%。利用 LM 模型、重力模型和空间分类系统提取研究区域生态廊道,共提取 44 条廊道,总长度共 1 452.31 km。

基于电流理论对生态源地和生态廊道进行优化,共得到 24 处生态源地和 57 条生态廊道。优化生态网络的生态要素基本能覆盖研究区域,且分布更加均匀,优化生态网络整体连接度提升,网络结构也更为完善;在廊道生物流量较高的区域建设“踏脚石”共 30 个,提高绿地间的连通性,为物质能量流通创造条件,以维护研究区生态系统的稳定性。同时,对巢湖流域生态网络提出“一湖八核三带联动、三纵多点蓝绿交织”的结构布局,为生态规划的实施提供了重要依据。

参考文献:

[1] FORMAN T T. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions [M]. Cambridge: Cambridge university press,1995.

[2] 汪勇政,李久林,顾康康,等. 基于形态学空间格局分析法的城市绿色基础设施网络格局优化:以合肥市为例 [J]. 生态学报,2022,42 (5):2022-2032.

[3] TAYLOR K I,SALAMOURA A,RANDALL B, et al. Clarifying the nature of the distinctiveness by domain interaction in conceptual structure: comment on Cree, McNorgan, and McRae [J]. Journal of experimental psychology: learning, memory, and cognition, 2006, 34 (3): 719 - 725.

[4] OLIVEIRA J, DINIZ E S. Composition and phylogenetic structure of Pampean grasslands under distinct land use and presence of alien species [J]. Community ecology, 2023, 24: 73-86.

[5] JEROME L,MARTIN H L. In the wrong place at the wrong time: moose and deer movement patterns influence wildlife-vehicle collision risk [J]. Accident analysis & prevention,2020,135: 105365.

[6] BARNETT K, BELOTE R T. Modeling an aspirational connected network of protected

areas across North America [J]. Ecological applications,2021,31(6):2387.

[7] 李延顺. “三生”视角下的广西北部湾经济区国土空间耦合协调评价与优化研究[D]. 南宁:南宁师范大学,2022.

[8] 吴向葵,高峰. 城市棕地景观再生的生态修复策略研究:以安徽省芜湖市无为县泰山头片区为例[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版),2022,24(1):14-21.

[9] LIANG C,ZENG J, ZHANG R C, et al. Connecting urban area with rural hinterland: a stepwise ecological security network construction approach in the urban-rural fringe [J]. Ecological indicators,2022,138:108794.

[10] 唐涛. 融合 HSM 与 MSPA 及网络模型的森林景观连接度重要性评价研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2021.

[11] BARANYI G, SAURA S, PODANI J, et al. Contribution of habitat patches to network connectivity: redundancy and uniqueness of topological indices [J]. Ecological indicators, 2011,11 (5):1301-1310.

[12] 赵际凯,于强,徐呈龙,等. 基于景观生态风险评估的景观生态网络的构建:以资源型城市临汾为例[J]. 煤炭学报,2024,5(19):1-14.

[13] 弓灏洁,常金生,杜雨阳. 基于 MCR 和重力模型的县域生态网络构建[J]. 测绘通报,2023 (11):23-29.

[14] 李华,郑育桃,黄荷,等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的庐山市生态网络构建[J]. 中南林业科技大学学报,2024(2):98-107.

[15] 田硕娟,张文君,何灵,等. 基于 Linkage Mapper 与复杂网络的成都市生态网络构建与优化[J]. 西北林学院学报,2023,38 (3):176-184.

[16] CANTWELL M D,FORMAN R T T. Landscape graphs:ecological modeling with graph theory to detect configurations common to diverse landscapes [J]. Landscape ecology, 1993, 8: 239-255.

Research on Ecological Network Construction and Optimization Based on Spatial Classification System: Taking Chaohu Basin as an Example

GU Kangkang ,CUI Yule ,ZHAO Xiaohong
(School of Architecture & Urban Planning ,Anhui Jianzhu University ,Hefei 230022 ,China)

Abstract: Rapid and disorderly urbanization has led to the degradation of ecological connections between regional habitat patches, and ecological networks play an important role in restoring ecological processes interrupted by rapid urbanization. Taking Chaohu Basin as an example, this paper introduced spatial classification system based on considerations for manual development, ecological network construction and optimization which are comprehensively carried out using methods such as morphological spatial pattern analysis, landscape connectivity analysis, minimum cumulative resistance model, gravity model, and current theory. Research has shown that the ecological network of Chaohu Basin after optimization consists of 24 ecological source areas, 57 ecological corridors and 30 ecological nodes, with a total area of 3 036. 58 km² and a total length of 2 134. 30km, forming a structural layout of " one lake, eight cores, and three belts linked together, with three vertical and multiple blue-green interweaving points" will be formed. The network closure, point-line rate, and network connectivity of ecological network in Chaohu Basin after optimization respectively increase 13. 55% ,31. 62% ,and 9. 36% .

Key words: ecological network; Chaohu Basin; ecological restoration; landscape connectivity; Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA)

(责任编辑:王丽娜 英文审校:林 昊)