

DOI: 10.5846/stxb201808241802

魏家星, 宋轶, 王云才, 象伟宁. 基于空间优先级的快速城市化地区绿色基础设施网络构建——以南京市浦口区为例. 生态学报, 2019, 39(4):

Wei J X, Song Y, Wang Y C, Xiang W N. Urban green infrastructure building for sustainability in areas of rapid urbanization based on evaluating spatial priority: a case study of Pukou in China. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4):

基于空间优先级的快速城市化地区绿色基础设施网络构建

——以南京市浦口区为例

魏家星¹, 宋轶¹, 王云才^{2,*}, 象伟宁^{2,3}

1 南京农业大学园艺学院, 南京 210095

2 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092

3 美国北卡罗莱纳大学夏洛特分校, 夏洛特 NC28223

摘要:绿色基础设施是一个由自然区域和其他开放空间相互联系的网络。在城市空间极为有限的情况下,如何有效构建城市绿色基础设施网络并识别那些具关键性景观生态功能的网络要素显得极为重要。为了给城市绿色基础设施网络的建设和管理提供新的建模与分析理念,以快速城市化的南京市浦口区为例,首先采用 MSPA 方法并结合景观连通性指数,遴选出了对维持景观连通性贡献最大的生境斑块作为绿色基础设施网络的网络中心,进而采用最小路径方法构建了研究区潜在的绿色基础设施网络,并尝试利用空间句法分析,基于结构优化视角对绿色基础设施网络进行优先级的识别,从而使绿色基础设施网络的构建更科学。研究结果可为快速城市化地区绿色基础设施网络的构建提供一种研究思路与方法,对绿色基础设施网络要素的优先级评价也具有一定的借鉴意义。

关键词:绿色基础设施;空间优先级;景观连通性;最小路径;空间句法;南京浦口

Urban green infrastructure building for sustainability in areas of rapid urbanization based on evaluating spatial priority: a case study of Pukou in China

WEI Jiaying¹, SONG Yi¹, WANG Yuncai^{2,*}, XIANG Weining^{2,3}

1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China

3 School of Geography and Earth Sciences, University of North Carolina at Charlotte 28223-0001, Charlotte, USA

Abstract: Rapid urbanization has being highlighted the limitations on the sustainable development of cities due to the fragmentation of restricted urban green space in recent two decades. Green infrastructure (GI) is considered generally to involve all natural, semi-natural, and artificial ecosystems within and between urban areas at all spatial scales. The concept of GI emphasizes the quality and quantity of urban and peri-urban green spaces, as well as their multiple functions and the importance of interconnections between them. GI does not mean to build an entirely new landscape system, but enhance the connectivity of already existing green spaces and build strong ecological services of ecosystem. In the case of strong limited urban space, it is extremely important to build effectively urban green infrastructure networks based on evaluating its spatial priority. Constructing green infrastructure requires consideration of effectiveness and efficiency of the GI network, as well as

基金项目:国家重点研发计划课题(2017YFC0505705)

收稿日期:2018-08-24; 修订日期:2018-12-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wyc1967@tongji.edu.cn

current situations of the city to ensure operability. MSPA is a morphological spatial pattern analysis approach that divides the green space into seven categories that do not overlap each other through a series of image operations, which can quickly identify the important structural elements relating to the GI network. "Space syntax" proposes a series of morphological variables, such as "connection value", "depth value", "integration degree", "comprehension value", which are quantitative descriptions of the spatial structure. The combination of them can provide a new perspective for the spatial configuration quantization and spatial priority recognition of GI. In order to provide new modeling and analysis concepts for the construction and management of urban green infrastructure network, this paper takes Pukou District of Nanjing being rapid urbanization now as an example. Firstly, selecting the habitat patch with the greatest contribution to maintain landscape connectivity as hubs of the green infrastructure network through applying the MSPA method combined with the landscape connectivity index. Then constructing the potential GI corridors through applying the minimum green path method. Thirdly, identifying the priority of "Green Trail" from the perspective of spatial accessibility using the space syntax, and optimizing and controlling GI network planning combined with the urban ecological red line and green space system planning. Finally proposing optimization approach to green network for spatial structures that make the construction of GI network more scientific and easier to implement in a focused and staged path. The results show that: (1) Pukou District is the core area of Nanjing Jiangbei New District (National New District), Where has a big gap for urban construction land use and it is not practical to carry out completely the urban ecological construction on large scale. Therefore, it is economically feasible to use the existing resources to optimize the urban green infrastructure network by extracting important core areas and bridge areas through the MSPA method. (2) The syntax variables, such as "general integration value" and "choice", are used as quantitative values to evaluate the priority of GI spatial structure based on the theory of space syntax. These variables provided an important reference for the network optimization of GI. The method combining MSPA, landscape connectivity and space syntax quantifies the spatial characteristics and provides a new research path for network optimization of urban green infrastructure. The research would do good to understand the spatial distribution and priority assessment for green infrastructure network planning, and provide a model for other cities in the course of rapid urbanization to build ecological security patterns and green space systems in urban areas.

Key Words: Green Infrastructure; spatial priority; landscape connectivity; the least-cost patch; space syntax model; Pukou district of Nanjing

随着城市化快速发展,城市生境斑块日益破碎化,景观连通性不断降低,已严重削弱城市生态系统的服务和城市的可持续发展能力^[1-2],由网络中心和连接廊道所组成的城市绿色基础设施(Uraban green infrastructure, UGI)网络保护也因此备受社会和学术界关注。UGI的概念正式出现在20世纪90年代,主要突出自然环境的“生命支撑”(Life support)功能,建立系统性生态功能网络结构^[3]。相对于生态网络、生态基础设施、绿色空间、绿道等其他相关概念,由于UGI缘起于人居环境、生态保护和绿色技术三大领域,概念的内涵更为综合,不仅强调了其在保护和管理生态系统方面的重要作用,而且提供了用来引导未来土地保护与精明增长决策的框架。在快速城市化地区,充分利用绿色基础设施规划合理引导、管理和调控城市增长边界和保护生态空间体系,正成为我国城市化过程中面临的关键宏观生态问题。

1 研究问题与区域

1.1 研究问题

在空间上,UGI是一个跨尺度、多层次,相互连接的绿色网络结构^[4]。不同尺度上的绿色基础设施包含的范畴是不一样的,在国土和区域尺度上,UGI是国家的自然生命支持系统,主要侧重于保护国土及区域生态格局,维护大尺度生态过程;在城市尺度上,UGI是基础设施化的绿色空间网络,不同于传统的城市绿地系统,它

具有广泛的缓解城市洪涝灾害、控制水质污染、恢复城市生境、缓解城市热岛等基础性生态服务,同时提供游憩、审美、文化与精神启发等层面的人居环境服务^[5-8];在街区和场地尺度,UGI 是以绿色技术为手段(如河流生态恢复技术、绿色屋顶技术等)对场地进行可持续性设计,以恢复完善生态系统服务。

目前,国内外学者对于 UGI 的研究主要集中在多尺度绿色基础设施的概念内涵以及功能总结^[9-11],案例剖析^[12-16],构建与评价方法^[17-19]等几个方面。本研究拟将形态学空间格局分析(Morphological spatial pattern analysis, MSPA)方法和空间句法模型结合应用到 UGI 网络分析中,其中 MSPA 方法通过一系列图像运算将绿色空间划分为核心区、岛状斑块、环道、桥接、孔隙、边缘、支线互不重叠的七种类型,可快速识别出与 UGI 网络相关的重要性结构要素^[20-21]。同时,相较生态网络、生态基础设施等概念,绿色基础设施更强调为人居环境服务的功能,这些又都与城市居民的可达性密切相关。只有可达性较强的绿色基础设施要素才能充分发挥其功能,而人类空间、活动及其与周围环境的相互作用通常采用空间句法进行研究。“空间句法”是人居环境科学领域预测主体活动与其所处环境互动的经典理论之一^[23],其提出的一系列形态变量如“连接值”、“深度值”、“集成度”、“可理解度”都是对空间结构的量化描述值^[24],两者结合或可为 UGI 的空间形态结构量化和空间优先级识别提供一种新的视角。本研究以快速城市化的南京市浦口区为研究对象,通过 MSPA 方法识别

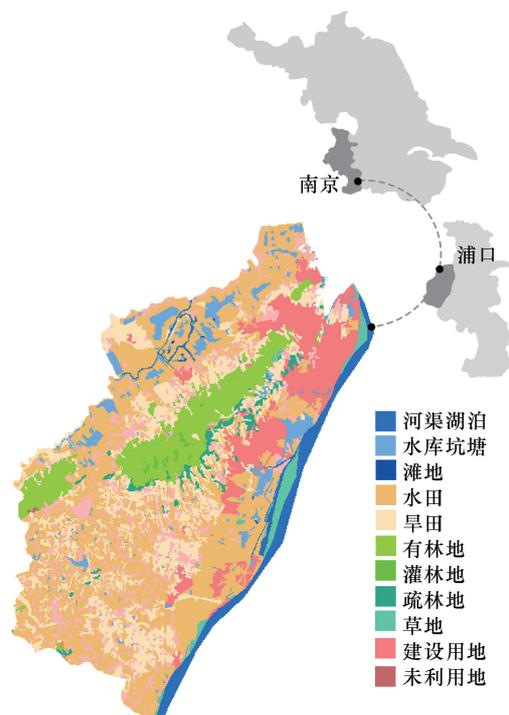


图1 研究区土地利用现状图

Fig.1 Land use of research area

出对 UGI 网络构建具有关键意义的核心区(core)和桥接区(bridge);对核心区斑块的景观连通性进行评价,遴选出连通性最佳的若干“绿源”;再基于最小路径分析构建出若干“绿径”,进而利用空间句法模型,提出空间结构优化的“绿网”,以期为城市绿色基础设施网络要素及其优先级的识别提供可能的方法参考。本文尝试解决以下问题:(1)在快速城市化进程中,如何快速识别绿色基础设施中的源地和结构性连接廊道?(2)在城市空间极为有限的情况下,如何从空间优先级识别的视角科学构建城市绿色基础设施?

1.2 研究区域概况

浦口区位于南京市西北部,是南京国家级新区——江北新区的核心,118°21'—118°46'E,30°51'—32°15'N,总面积为913 km²;属亚热带季风气候区,降雨量分布不均。属宁、镇、扬丘陵山地西北边缘地带。水文条件极佳,长江环绕其前,滁河逶迤其后,农田水网密布。浦口区虽坐拥山水城林,但随着城镇建设用地的快速扩张,在较短时间内造成城市建设用地的无序蔓延。具有高效生态系统服务的绿色空间一方面在不断被侵蚀减少,另一方面又存在转化成生态系统服务价值相对较低的绿色空间类型的风险。绿色空间总体呈现出“大而孤立,小且分散,连接性不佳”的分布特征(图1)。在城市土地资源有限和绿色空间稀缺且面临巨大冲击的背景下,如何将土地开发与生态保护结合起来,以高效的绿色基础设施网络结构应对生态保护的迫切需求和现实障碍之间的矛盾、有重点地实施管理,已成为浦口区快速城市化过程中亟待解决的严峻课题。

2 研究方法

2.1 空间优先级及其确定

国内外 UGI 的构建过程大体上可分为准备、搜集数据、分析和评价、确定 UGI 要素与格局、综合、实施与

管理六步骤^[13]。在基本确定 UGI 要素与格局之后,需要进行 UGI 的综合,其中确定 UGI 要素的空间优先级是 UGI 综合中的一项重要工作,有助于在 UGI 空间格局和实施与管理之间建立桥梁。对北京、上海、南京等城市化率较高,用地极为紧张的地区而言,对 UGI 的空间保护优先级进行评价尤为重要,本研究的空间优先级研究涵盖“绿源”斑块的优先级识别选择、“绿径”廊道的优先级识别选择、UGI 网络的优先级识别等方面。

2.2 绿色基础设施网络构建方法的逻辑框架

合理构建绿色基础设施网络并评价其空间优先级是协调城市精明增长和精明保护的有效方法,既要考虑 UGI 网络的有效性和高效性,也需考虑城市现状特点以确保可操作性。本研究首先基于 MSPA 方法提取浦口区的绿色基础设施网络要素,结合景观连接度指数确定了“绿源”的空间优先级;其次,根据最小路径方法识别并选择“绿径”,第三,引入可达性指标对整个“绿网”的空间优先级进行评价,并结合城市的生态红线、绿地系统规划对 UGI 网络规划进行优化调控,技术路线详见图 2。

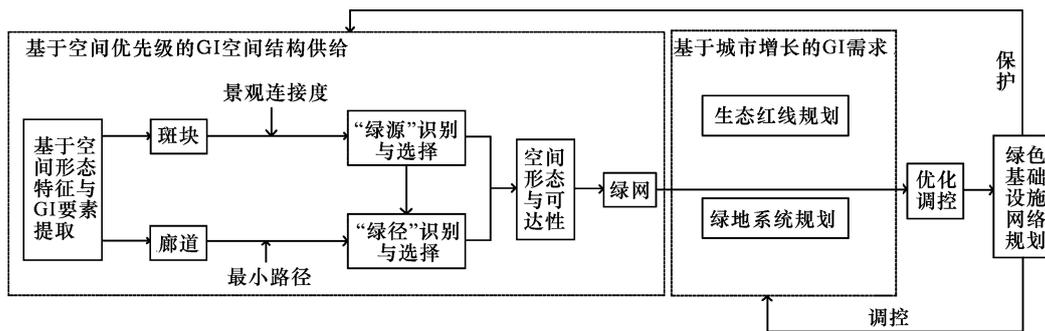


图 2 绿色基础设施网络构建的逻辑框架

Fig.2 Logical framework of green infrastructure network construction

2.3 数据来源及处理

本研究数据源包括:1)浦口区地形图;2)南京市浦口区 2015 年土地利用现状图(图 1);3)以及从各相关部门收集的湖泊水系等相关资料。其中土地利用图和河湖水系资料主要用于提取绿色基础设施的信息。鉴于浦口地区农田耕地呈现出面状基质特征,耕地的基数较大,考虑到将耕地纳入 UGI 类型不仅会使整个网络空间的面积也迅速增大反而不能突出重点;同时,根据调研浦口区近年由于推进了土地整治项目,存在将部分生态服务价值较高的水面转换成了农田空间的现象,但在 2015 年的土地利用现状图中无法体现这些动态变化,故而没有把耕地等作为绿色基础设施进行统计。本研究所获取的浦口区 2015 年土地利用现状数据中有林地、灌木林、疏林地等土地利用类型中包含了园地、公园与绿地等类型。因此本文中绿色基础设施的土地利用类型采用了传统的分类,包括河渠湖泊、坑塘水库、滩地、有林地、灌林地、疏林地。

3 研究分析流程与结果

3.1 基于形态学空间分析的绿色基础设施要素提取

MSPA 主要利用 Guidos Tool Box 软件,通过识别各前景像元(林地、湿地、水体等)的空间位置进行景观格局的分析(像元大小和边缘宽度均采用 90 m),将前景像元分为核心区、岛状斑块、环道、桥接、孔隙、边缘、支线这七个类型(表 1)。其中廊道宽度取决于所用来分析的栅格图像元大小。在不同像元大小选择下 MSPA 的识别结果中,30、60 m 单位的粒度下对河流的识别结果为核心区与桥接区混合,120 m 粒度下对于河流的识别结果为支线与桥接区混合,90 m 粒度下对主要河流识别的较为统一。故本文选用 90 m×90 m 作为像元基本单位。提取出维持 UGI 网络连通性具有重要意义的核心区、桥接区两类景观^[20]。其中核心区作为重要的生态源地,在生物多样性保护和缓解热岛效应等方面具有重要作用。桥接区作为既有的连接核心区的结构性廊道,对生物迁移和景观连接具有重要的意义,是形成 UGI 网络的重要基础。由表 1、图 3 可知,核心区的面

积为 164.34 km²,由 115 个生态基底较好的斑块构成,占 UGI 总面积的 71.62%,对于 UGI 网络的构建极为重要。作为城市绿色基础设施中结构性廊道的桥接区的面积为 4.57 km²,占 UGI 总面积的 2.21%,占比较小。边缘区是斑块的外边缘,孔隙则是内边缘,它们各占总绿地面积的 15.79%和 0.31%。在建设边缘区域的 UGI 网络时,要着重考虑其边缘效应。支线是具有一定连通作用而断裂的廊道,占绿地总面积的 5.74%,该区域的绿色基础设施建设要考虑恢复其连通作用。孤岛占 UGI 总面积的 3.73%,面积较小,其中部分孤岛可以作为生物迁徙的踏脚石。环道区面积为 0.91 km²,占总绿地面积的 0.61%,环道区是物种在斑块内迁徙的廊道,亦需要重点保护。

表 1 MSPA 的景观类型及其生态学含义

Table 1 The definition of MSPA landscape type and its ecological meaning

| 景观类型 Landscape type | 生态学意义 Ecological meaning | 面积 Area/km ² | 占 UGI 总面积 Percentage of total UGI area/% | 占研究区总面积 Percentage of total research area/% |
|------------------------|---|----------------------------|--|---|
| 核心区 Core | 前景像元中较大的生境斑块,可以为物种提供较大的栖息地,对生物多样性的保护具有重要意义,是 UGI 网络中的生态源地 | 164.34 | 71.62 | 18 |
| 岛状斑块 Islet | 彼此不相连的孤立、破碎的小斑块,斑块之间的连接度比较低,内部物质、能量交流和传递的可能性比较小 | 8.22 | 3.73 | 0.9 |
| 孔隙 Perforation | 核心区和非绿色景观斑块之间的过渡区域,即内部斑块边缘(边缘效应) | 0.71 | 0.31 | 0 |
| 边缘区 Edge | 是核心区 and 主要非绿色景观区域之间的过渡区域 | 35.61 | 15.79 | 3.9 |
| 桥接区 Bridge | 连通核心区的狭长区域,代表 UGI 网络中斑块连接的廊道,对生物迁移和景观连接具有重要的意义 | 4.57 | 2.21 | 0.5 |
| 环道区 Loop | 连接同一核心区的廊道,是同一核心区内物种迁移的捷径 | 0.91 | 0.61 | 0.1 |
| 支线 Branch | 只有一端与边缘区、桥接区、环道区或者孔隙相连的区域 | 12.78 | 5.74 | 1.4 |

MSPA:形态学空间格局分析 Morphological spatial pattern analysis; UGI:城市绿色基础设施 Urban green infrastructure

3.2 基于景观连接度的“绿源”识别

一个完整的“绿源”应包括核心区、边缘及其内部存在的穿孔。“绿源”为 UGI 网络的网络中心,网络中心的选择不但需考量其面积大小,还要衡量网络中心对维持景观连通的重要程度。目前,常用的景观连接度指数如整体连通性指数和可能连通性指数以及斑块的重要性指数^[25-28]由于可反应景观的连通性和景观中各个斑块对景观连通性的重要值,已经成为衡量景观格局与功能的重要指标^[13]。斑块的重要性(dI)指斑块对景观保持连通的重要性,选择的指数不同,得到的斑块重要值也不同。根据某连接度指数计算各斑块的重要性,其算式如下:

$$DI = \frac{I - I_{\text{remove}}}{I}$$

式中, I_{remove} 为将斑块 i 从该景观中剔除后,景观的连接度指数值。

因此,本研究基于 Conefor 软件平台,参照前人研究^[28],以 600 m 为迁徙阈值,连通概率设为 0.5,选择景观相和概率指数(LCP)、可能连通性指数(PC)等指数对筛选出的核心区进行评价,将各核心区 dI 值进行降序排序(表 2)^[25-26]将 dPC>0.6 的核心区作为绿色基础设施网络的“绿源”(图 4a)。得出本研究区需优先保护的源地分别为老山周边区域(Node34、81)、长江沿岸(Node22)和滁河水网区(Node19)等。相比之下,研究区西北部(Node24、9),虽然面积比较大,但与其他源地的联系被隔断,景观连通性不佳,因而未被纳入网络中心。

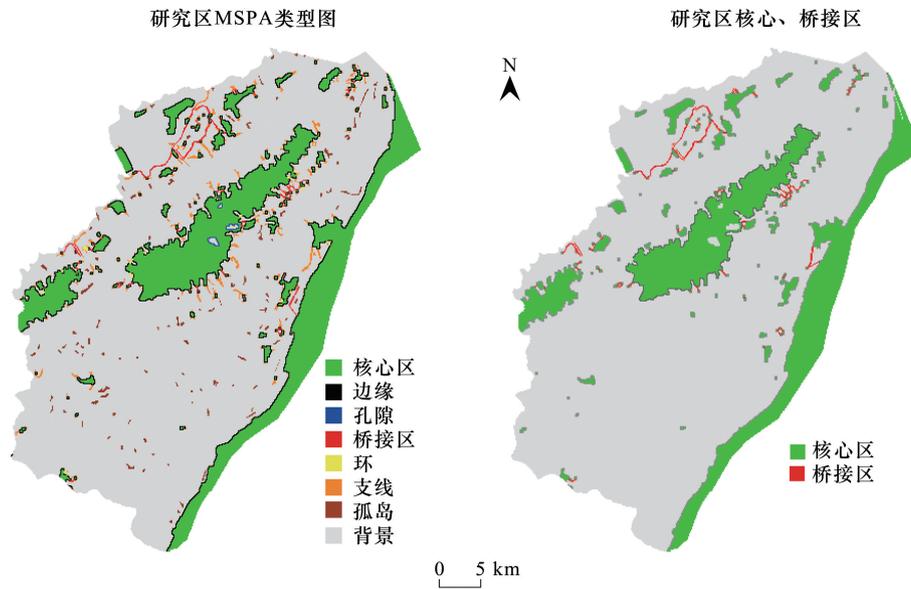


图3 研究区 MSPA 类型图 (a) 与研究区核心、桥接区 (b)

Fig.3 MSPA typed image (a) and the core and bridge (b) of research area

MSPA: 形态学空间格局分析 Morphological spatial pattern analysis

表2 核心区景观连通性指数重要值排序结果

Table 2 Evaluation of landscape connectivity index of the core area

| 重要性 Importance | 斑块 Node | 景观相和概率 dLCP | 整体连通性 dIIC | 可能连通性 dPC |
|----------------|---------|-------------|------------|-----------|
| 1 | 34 | 52.25942 | 52.57818 | 56.89524 |
| 2 | 22 | 41.85583 | 42.96267 | 44.50363 |
| 3 | 81 | 2.855581 | 2.491033 | 3.667665 |
| 4 | 19 | 2.426088 | 1.414415 | 2.854003 |
| 5 | 70 | 2.060104 | 0.9458614 | 1.468259 |
| 6 | 68 | 1.729991 | 0.6350343 | 1.22869 |
| 7 | 24 | 0.960093 | 0.50493 | 1.021085 |
| 8 | 9 | 1.017626 | 0.5386363 | 0.830746 |
| 9 | 73 | 0.6237293 | 0.2584728 | 0.7061991 |
| 10 | 44 | 1.373701 | 0.6897128 | 0.6329749 |

dLCP: 景观相和概率 Landscape coincidence probability of each individual element; dIIC: 整体连通性 Percentage of importance of each individual element; dPC: 可能连通性 Probability of connectivity of each individual element

3.3 基于最小路径的“绿径”构建

“绿径”主要由线性廊道组成,最小路径方法通过不同土地利用类型和对不同生物物种的生境适宜性大小构建阻力面,再运用 GIS 模拟潜在的生态廊道,能够较为科学地确定生态廊道的位置和格局,是目前应用最为广泛的构建生态网络的方法^[4]。本研究根据此方法首先确定不同景观类型的阻力值(表3),基于 Conefor 筛选出来的 10 个“绿源”,构建了由 45 条潜在廊道和 10 条重要桥接区所组成的“绿径”。由图 4b 可见,潜在廊道的总面积约为 23.15 km²,占研究区总面积的 2.54%,核心区在廊道中的面积约为 52.85 km²,占 UGI 网络总面积的 33.17%,表明核心区在作为物种生存源地的同时,也是生物的迁移廊道;桥接区在 UGI 网络中占 2.21%,约为 4.57 km²,表明桥接区在 UGI 网络中起着重要的连接作用。除核心区和桥接区以外的水域部分,在 UGI 网络的占比为 19.86%,占比较大。

表 3 不同景观类型的阻力值

Table 3 Impedance value of each landscape type

| 景观类别 Landscape Type | 水田 Paddy field | 旱地 Upland field | 有林地 Woodland | 灌木地 shrubland | 疏林地 Sparse woodland | 草地 Grassland | 河渠湖泊 River | 水库坑塘 Pond | 滩地 Bottomland | 建设用地 Construction land | 未利用地 Unused land |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------------|-----------------|---------------|--------------|------------------|---------------------------|---------------------|
| 景观阻力 Landscape impedance | 50 | 100 | 10 | 20 | 30 | 80 | 20 | 30 | 50 | 1000 | 500 |

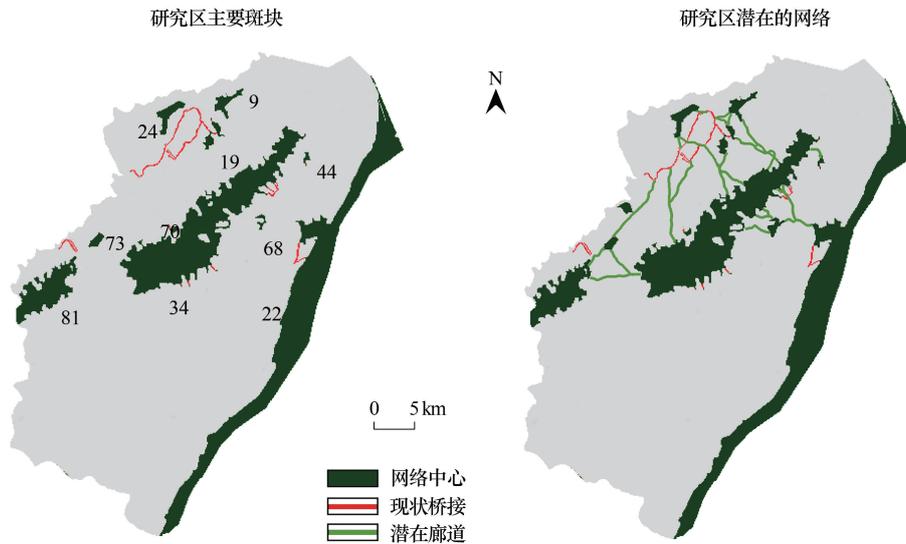


图 4 研究区主要斑块示意图 (a) 与研究区潜在 UGI 网络模型 (b)

Fig.4 Main patches of study area (a) and Potential ecology network model (b)

UGI:城市绿色基础设施 Urban green infrastructure

3.4 基于空间句法的“绿网”优化

通过空间句法模型将浦口区的绿色基础设施网络转化为一个直观的关系图,从空间可达性的角度对整个“绿网”进行了解释。空间句法中的整合度(Integration),表示系统中某一空间与其它空间集聚或离散的程度;选择度(Choice)则表示系统中某一空间被其他最短路径穿行的可能性^[22]。本研究首先基于“轴线法”,结合研究区筛选出的网络中心、现状桥接区与生成的潜在廊道,形成研究区的轴线系统(图 5a),共计 64 条轴线。并计算该轴线系统的整体整合度(图 5b,颜色越偏向暖色红色,整合度越高,颜色越偏向冷色蓝色,整合度越低)与选择度(图 5c,色彩含义同整体整合度),相关指数计算公式,参见 Depthmath 用户手册。根据各轴线的选择度与整合度值,对研究区绿色基础设施网络中的网络中心与连接廊道进行优先级评价。将网络中心和连接廊道分别分为一级、二级、三级(表 4)。其中 $Choice > 1000$, $General\ intergration > 0.5$ 的作为一级网络中心和廊道,进行优先保护和建设(图 6、图 7)。

3.5 绿色基础设施网络构建对策

基于 MSPA 的结构性网络提取和空间句法的优先级识别,结合浦口区生态红线保护规划和浦口绿地系统规划中的生态廊道等,对现有 UGI 网络的格局进行补充完善(图 8)。由图可知,浦口的生态红线划定区虽然有着较大的保育面积,但在空间上存在破碎化、连通性

差等缺点,使得生态系统的整体效益难以发挥。浦口绿地系统规划则主要沿道路和水系串联整个网络,忽略了如编号 19、68 等重要生境斑块在景观中的联通作用。通过本方法将绿色基础设施网络构建与生态保护红

表 4 绿色基础设施网络要素优先级评价

Table 4 The priority evaluation of UGI elements

| 全局整合度 General intergration | 选择度 Choice | | |
|-------------------------------|------------|----------|------|
| | >1000 | 500—1000 | <500 |
| >0.5 | 一级 | 二级 | 三级 |
| <0.5 | 二级 | 三级 | 三级 |

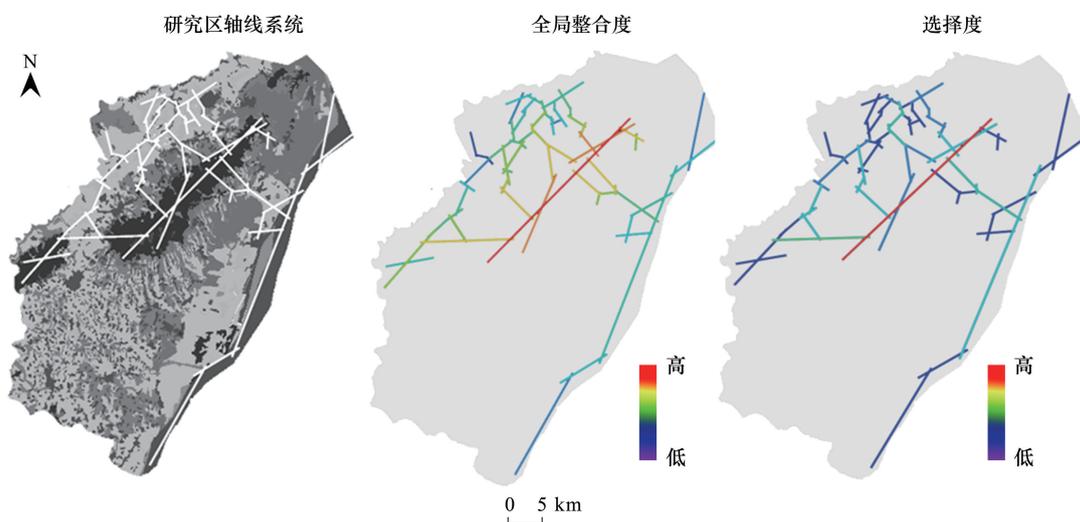


图 5 研究区轴线系统 (a)、全局整合度 (b)、选择度 (c)

Fig.5 Axial map of research area and The general integration value (b) and choice value (c) of each axis

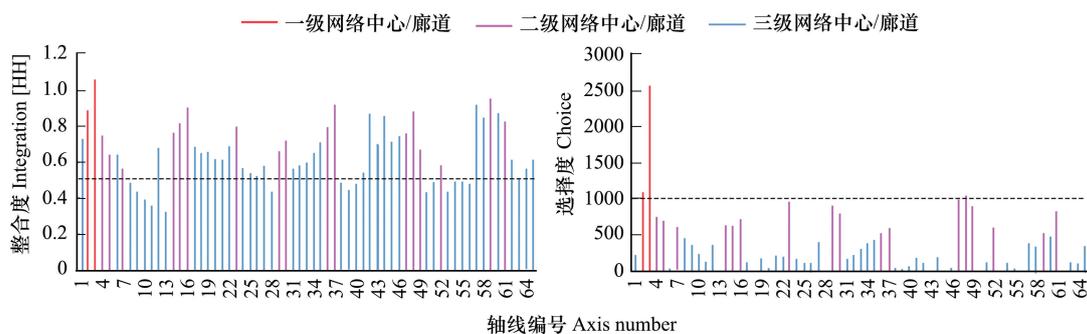


图 6 研究区各轴线的全局整合度 (a)、选择度 (b)

Fig.6 The general integration value (a) , choice (b) of each axis

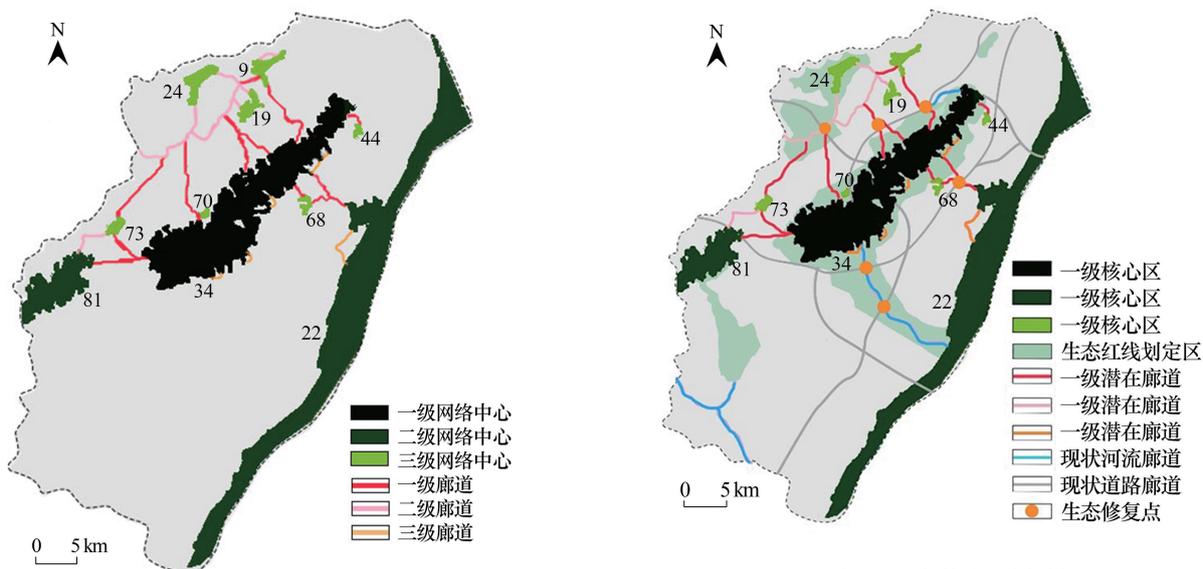


图 7 浦口 UGI 网络优先级评价

图 8 浦口区绿色基础设施规划图

Fig.7 Priority evaluation of UGI network in Pukou

Fig.8 Planning of green infrastructure in Pukou

线和绿地系统规划进行空间叠合,进而提出了南京市绿色基础设施应优先建设的“一核三环七带”空间格局(图9)。既提高了整体网络连接水平,又增强了网络连接的有效性。其中,老山作为绿色基础设施结构中的“核”,规模最大、连接度最强,是保护的重点;围绕老山有一系列的核心区相互连通形成“三环”,包括长江、九峰山、滁河湿地等,风貌各异,在区域绿色基础设施中发挥着平衡区域生态环境、缓冲城市扩张压力的作用;而7条带状生态廊道将“一核”“三环”串联,形成既具备空间连接属性又具有景观生态功能的区域绿色基础设施网络体系。

4 结论与讨论

4.1 结论

从南京市浦口区快速城市化过程来看,基于空间优先级识别的绿色基础设施网络构建研究得到以下结论:

(1)浦口区是南京江北新区(国家级新区)的核心

所在,对这样城市建设用地极为紧张的区域而言,大规模进行城市生态建设是不实际的,因此通过 MSPA 方法提取出重要的核心区和桥接区,利用现有资源优化城市绿色基础设施网络是经济可行的。

(2)基于空间句法理论,将“全局整合度”、“局部整合度”等形态变量用于对 UGI 空间结构优先级评估的量化描述值。可以量化的方式揭示城市绿色基础设施的空间特征,为城市绿色基础设施的网络优化提供了一种新的研究思路。

(3)在城市空间极为有限的情况下,如何确定哪些生态源地与连接廊道应优先纳入网络系统是 UGI 网络构建的难点。本研究利用空间句法的“轴线法”,从识别“绿源”、构建“绿径”,优化“绿网”的角度,实现了 MSPA、最小路径分析、空间句法模型的有机统一,是一种识别绿色基础设施网络要素的新思路。研究结果对快速城市化地区绿色基础设施网络要素的识别及构建具有一定的指导意义和实践价值,同时可为其他地区 UGI 网络的构建提供参考与借鉴。

4.2 讨论

4.2.1 MSPA 在绿色基础设施规划的拓展

MSPA 方法从像元层面识别研究区的生境斑块和廊道等对景观连通性起重要作用的区域^[19],在所需数据量较少的同时可精确地分辨景观的类型与结构。近年在四川巴中新城、深圳龙岗区等地的生态网络构建中已有较系统的应用^[23]。由于 MSPA 对景观的研究尺度较为敏感,孔繁花等人还研究了不同粒度和边缘宽度情况下南京市绿色基础设施的尺度效应^[13],为本研究提供了诸多可资借鉴的方法。但现有研究主要将 MSPA 方法应用在对现有斑块(核心区)和廊道(桥接区)的提取方面,在构建网络后对其空间优先级进行识别和评价,也没有与现有绿地系统的空间格局进行有效结合,因而也不可能提出在实践中行之有效的空间管控策略。本研究基于上述问题,在对空间优先级进行识别的同时,将绿色基础设施网络构建与生态保护红线和绿地系统规划进行空间叠合,进而提出了南京市绿色基础设施应优先建设的“一核三环七带”空间格局。

4.2.2 MSPA 和空间句法模型结合的应用潜力

本研究实现了 MSPA、最小路径分析、空间句法模型的综合应用,将 MSPA 方法和空间句法进行结合具有广阔的应用前景,空间句法常运用在包括城市、景观、建筑的空间结构的定量描述上,在城市生态保护领域鲜有应用,但空间句法最大的贡献即是通过研究空间目的地之间的可达性和关系,解决了城市空间中形式与功

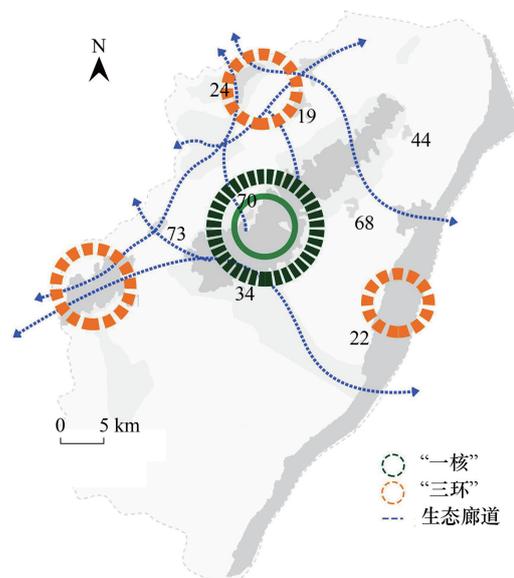


图9 浦口区绿色基础设施结构图

Fig.9 Green infrastructure structure of Pukou

能关联问题^[24],两种方法的结合有助于研究绿色基础设施网络的空间形态特征和人类活动之间的关系,并以此为依据对绿色基础设施的优先级进行评价。需要指出的是,MSPA方法和空间句法模型都存在一定局限性,MSPA方法中输入不同的参数设置会导致其输出结果的不同^[29]。因此,多尺度模拟将成为今后MSPA研究的重要方向。此外,国外学者通过增加米制分段、角度加权、搜索半径等方法对空间句法的改进、扩展还在持续之中^[30],以便更合理地解释人类活动在城市空间中的行为规律。

4.2.3 在城市规划和生态保护上的应用

目前对UGI网络的研究仍以景观指数和连通性指数为主^[31-34],面对当前复杂的生态环境,仅通过某一种指数或模型方法已经不能满足于景观连接度研究的需要。本研究是对城市尺度上UGI网络优先级识别的一种探索,计算出的数据反映了绿色基础设施网络空间的状态及其与人类活动的关系,从理论上增加了MSPA和空间句法应用的广度。因此在后续的城市绿地系统规划中还可进行深入研究。一方面,研究可结合跨行政区边界的土地利用动态数据,通过MSPA方法模拟浦口区及其周边区域景观破碎化的空间形态变化过程;另一方面还可结合浦口总体规划和浦口区的土地征收补偿标准,引入经济学方法测算构建UGI网络的“成本收益比”,从生态经济视角对优化UGI网络。

合理的规划布局绿色基础设施,最大限度地提高城乡空间利用的生态绩效对城市科学建设尤为重要^[38]。通过合理确定需优先保护的地区,有利于构建的绿色基础设施网络有重点、分阶段地实施,不仅便于实施和管理,而且有利于充分利用资金,协调保护与发展的矛盾,指导城市的精明增长和良性发展。

参考文献 (References):

- [1] Weber T. Landscape ecological assessment of the Chesapeake Bay watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2004, 94(1/3): 39-53.
- [2] Carr M H, Hoctor T D, Goodison C, Zwick P D, Green J, Hernandez P, McCain C, Teisinger J, Whitney K. Final Report: Southeastern Ecological Framework. Gainesville, Florida: University of Florida, 2002.
- [3] 刘世梁, 侯笑云, 尹艺洁, 成方妍, 张月秋, 董世魁. 景观生态网络研究进展. *生态学报*, 2017, 37(12): 3947-3956.
- [4] 栾博, 柴民伟, 王鑫. 绿色基础设施研究进展. *生态学报*, 2017, 37(15): 5246-5261.
- [5] McWilliam W, Brown R, Eagles P, Seasons M. Evaluation of planning policy for protecting green infrastructure from loss and degradation due to residential encroachment. *Land Use Policy*, 2015, 47: 459-467.
- [6] Lovell S T, Taylor J R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*, 2013, 28(8): 1447-1463.
- [7] 林泽新. 太湖流域水环境变化及缘由分析. *湖泊科学*, 2002, 14(2): 111-116.
- [8] 陈荷生, 宋祥甫, 邹国燕. 太湖流域水环境综合整治与生态修复. *水利水电科技进展*, 2008, 28(3): 76-79.
- [9] 黄倩. 市域城镇体系空间布局研究——以河南平顶山为例. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(6): 121-126.
- [10] Drielsma M, Manion G, Ferrier S. The spatial links tool: Automated mapping of habitat linkages in variegated landscapes. *Ecological Modelling*, 2007, 200(3/4): 403-411.
- [11] Meerow S, Newell J P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 159: 62-75.
- [12] Maes J, Barbosa A, Baranzelli C, Zulian G, Batista E Silva F, Vandecasteele I, Hiederer R, Liqueste C, Paracchini M L, Mubareka S, Jacobs-Crisioni C, Castillo C P, Lavalley C. More green infrastructure is required to maintain ecosystem services under current trends in land-use change in Europe. *Landscape Ecology*, 2015, 30(3): 517-534.
- [13] 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.
- [14] 周延江. 吉林省新型城镇化布局及发展策略. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(1): 152-156, 192-192.
- [15] 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.
- [16] Soille P, Vogt P. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters*, 2009, 30(4): 456-459.
- [17] Dennis M, James P. Site-specific factors in the production of local urban ecosystem services: A case study of community-managed green space. *Ecosystem Services*, 2016, 17: 208-216.
- [18] Vogt P, Riitters K H, Estreguil C, Kozak J, Wade T G, Wickham J D. Mapping spatial patterns with morphological image processing. *Landscape*

- Ecology, 2007, 22(2): 171-177.
- [19] Vogt P, Riitters K H, Iwanowski M, Estreguil C, Kozak J, Soille P. Mapping landscape corridors. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2): 481-488.
- [20] Sun J, Southworth J. Indicating structural connectivity in Amazonian rainforests from 1986 to 2010 using morphological image processing analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(14): 5187-5200.
- [21] Bafna S. Space syntax: A brief introduction to its logic and analytical techniques. *Environment and Behavior*, 2003, 35(1): 17-29.
- [22] Batty M, Rana S. *Reformulating Space Syntax: the Automatic Definition and Generation of Axial Lines and Axial Maps*. London, UK: University College London, 2002.
- [23] Hillier B. *Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture*. // Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [24] 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.
- [25] Pascual-Hortal L, Saura S. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 2006, 21(7): 959-967.
- [26] 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.
- [27] 刘常富, 周彬, 何兴元, 陈玮. 沈阳城市森林景观连接度距离阈值选择. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2508-2516.
- [28] 朱强, 俞孔坚, 李迪华. 景观规划中的生态廊道宽度. *生态学报*, 2005, 25(9): 2406-2412.
- [29] Wang H F, Qureshi S, Knapp S, Friedman C R, Hubacek K. A basic assessment of residential plant diversity and its ecosystem services and disservices in Beijing, China. *Applied Geography*, 2015, 64: 121-131.
- [30] 肖扬, Chiaradia A, 宋晓冬. 空间句法在城市规划中应用的局限性及改善和扩展途径. *城市规划学刊*, 2014, (5): 32-38.
- [31] Cook E A. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 58(2/4): 269-280.
- [32] 陈春娣, 贾振毅, 吴胜军, 童笑笑, 周文佐, 陈若漪, 张超林. 基于文献计量法的中国景观连接度应用研究进展. *生态学报*, 2017, 37(10): 3243-3255.
- [33] 黄艺, 陈晖, 黄志基, 蔡满堂, 康俊水. 利用廊道网络构建城市绿地生态系统——以东营市西城区为例. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1683-1687.
- [34] Wang Y C, Shen J K, Xiang W N. Ecosystem service of green infrastructure for adaptation to urban growth: function and configuration. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2018, 4(5): 132-243.