

DOI: 10.13791/j.cnki.hsfwest.20230504

田靖雯, 朱玲, 张安晓. 多尺度生态分析与嵌套在乡村景观规划前期的应用——以长株潭绿心跳马片区为例[J]. 西部人居环境学刊, 2023, 38(5): 24-31.

TIAN J W, ZHU L, ZHANG A X. Application of Multi-Scale Ecological Analysis and Nesting in the Early Stage of Rural Landscape Planning: A Case Study of Tiaoma Area of Green Heart of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2023, 38(5): 24-31.

多尺度生态分析与嵌套在乡村景观规划前期的应用*

——以长株潭绿心跳马片区为例

Application of Multi-Scale Ecological Analysis and Nesting in the Early Stage of Rural Landscape Planning: A Case Study of Tiaoma Area of Green Heart of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

田靖雯 朱玲 张安晓 TIAN Jingwen, ZHU Ling, ZHANG Anxiao

摘要:在反对乡村“大拆大建”的背景和国土空间规划中“三生空间”融合发展的语境下,乡村生态环境、人居环境优化与协调发展已经成为新时代主要探索的课题,其中如何构建多尺度的乡村生态网络从而解决乡村生态规划设计不同层面的问题亟待解决。本文以长株潭绿心跳马片区为例,首先基于遥感数据对乡村空间进行识别;其次依托MSPA、InVEST及Linkage Mapper等模型和工具识取绿心和跳马片区尺度下的生态源地、廊道及生态节点;对于更小尺度的典型片区,进行无人机测绘与现场调研,明确场地水系、植被、生境现状概况;最后叠合三尺度下的生态网络格局,并综合生态嵌套特征对典型片区提出相应的景观优化方向及需求。研究表明:研究区内4个共有源地、6条共有廊道、2处重合夹点及6处重合障碍点的保护与修复对于跨尺度生态连通具有重要意义;应积极

疏通小尺度上识别存在但大尺度上没有的和潜在的廊道,这有利于源地扩张;对于源地间较长的廊道,应结合更小尺度的生态要素识别,提出低层级尺度的廊道以及生态踏脚石的优化方向。研究不仅可为长株潭绿心的乡村景观规划提供方向,所归纳基于多尺度分析与嵌套的景观规划路径还可为乡村景观在地发展提供参考。

关键词:乡村生态设计;乡村生态景观识别;多尺度嵌套;长株潭绿心

Abstract: At present, there are frequent exchanges between urban and rural areas, and villages and towns bear the overflow needs of many urban function construction, which leads to more acute contradictions in the function, resources and environment of rural space. Demolition and reconstruction was the mainstream of rural construction in the past few years. However, it has been opposed. In the background of the context of integrated development of “three-life space” in territorial spatial planning, the optimization and coordinated development of rural ecological environment and living environment have become the main issues to be explored in the new era. Building a multi-scale ecological network is the first step to solve the above problems.

Based on the three scales of “region-village-district” and the source-corridor method, the ecological elements and networks at each scale are nested, the nesting characteristics are clearly defined, the direction of rural landscape ecological planning is proposed, and an effective multi-scale collaborative optimization path is concluded.

As for the scale of green heart of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban and Tiaoma, the paper identifies the spatial distribution of site three species based on ArcGIS platform, screens important ecological source areas in combination with MSPA and InVEST models, then extracts ecological corridors and ecological nodes based on circuit theory, and conducts nested analysis of ecological structures under the scale of “green heart-Tiaoma”. It was determined that there were four common sources of the two scales, with a total overlapping area of 26.48 km², accounting for 33.26% of the source area of the green heart and 74.36% of the source area of the Tiaoma area. There are six overlapping corridors between the two scales, with a combined length of 8.67 km, accounting for 19.3% of the corridor length in green heart area and 22.6% of the corridor in Tiaoma area. And the common ecological sources basically overlaps with the ecological sources of Tiaoma area, and the total corridor accounts for 46.84% of the total corridor length of the Tiaoma area within the green heart scale. Common corridors and ecological sources are the focus to realize the connection of different scales. A high proportion of common corridors indicates a high degree of connection between the two scales, which can effectively promote the flow of ecosystems and promote the stability of ecological networks. There are 14 unrecognized corridors in the Tiaoma area under the green heart scale. They and the potential corridors within the green heart scale are areas with great development potential, and their sorting and connection play an important role in the expansion of ecological sources. There were two overlapping pinch points under the two scales, accounting for

中图分类号 TU 982.29

文献标识码 B

文章编号 2095-6304 (2023) 05-04-08

*国家自然科学基金面上项目(52078307)

作者简介

田靖雯: 天津大学建筑学院, 博士研究生

朱玲(通讯作者): 天津大学建筑学院, 教授,
zhuling2008@126.com

张安晓: 天津大学建筑学院, 讲师

11.76% and 10.53% of the pinch points in the green heart and Tiaoma areas respectively. There were six overlapping obstacle points, accounting for 26.09% and 31.58% of the total obstacle points in green heart and Tiaoma area. The overlap degree of ecological nodes across scales is not high, indicating that in future ecological optimization, attention should be paid to the transfer of ecological processes across scales to promote the flow of matter and energy. Moreover, the protection of ecological pinch points and the restoration of obstacle points play an important role in the construction of the whole ecological network on the green heart and even on a larger scale. For the protection and restoration of these two types of key nodes, the focus of ecological construction is clearly defined to achieve the goal of efficient and sustainable ecological services.

For smaller typical areas, UAV mapping and field investigation methods commonly used in planning and design were used to obtain the details of habitat type and distribution, vegetation type and structure, and water resources distribution, etc. In combination with large-scale ecological structure, small-scale three-dimension data, and vegetation status of field investigation, four feasible points of ecological stepping stones were preset, and corridors were identified again. The result shows that seven corridors have been added. It shows that small-scale ecological stepping stones can effectively increase the number of ecological corridors and ecological pinch points, and promote the stable development of ecological network.

This study proposes the following ecological planning paths for rural landscapes: firstly, macro ecological network as a base to guarantee the stability of ecological structure; secondly, ecological network nesting as a basis to protect overlapping or optimise missing areas; thirdly, micro-scale upward thrusting counterfactuals to improve regional ecological network; fourthly, multi-scalar ecological analysis linkage to stabilise the structure of rural landscapes. This study not only provides a direction for rural landscape planning in the green heart of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban but also summarises a landscape planning approach based on multi-scale analysis and nesting can provide references for the development of rural landscape.

Keywords: Rural Ecological Design; Rural Ecological Landscape Identification; Multi-Scale Nesting; Green Heart of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan

0 引言

当前城乡之间频繁交流, 村镇、村落作为城市边缘区^[1]承担了许多城市功能建设外溢的需求, 导致乡村空间的功能、资源、环境矛盾更加尖锐。拆迁重建是前些年乡村建设的主流, 然而当前在反对“大拆大建”^[2]的背景与国土空间规划中“三生空间”融合发展语境下, 乡村生态环境、人居环境优化与协调发展已经成为新时代主要探索的问题, 构建多尺度的生态网络是解决以上问题的第一步。

目前从类型学、生态学的角度出发, 生态网络构建可主要归纳为结构模式法、格局—过程法、网络分析法、源地—廊道法^[3]。众多学者基于源地—廊道法, 运用形态学空间格局分析(MSPA)、生态系统服务功能与权衡交易综合评价(InVEST)以及最小累计阻力模型(MCR)等来进行生态结构^[4-9]、路径^[10]、格局的识别与演变^[11-12]以及生态服务系统价值评估^[13]等, 这是当下最为主流的针对恢复生境和提升可持续能力目标的研究方法之一^[3], 从而进一步推动城市生态保护红线划定^[14-15]、生态结构优化^[16], 有效治理生态问题, 合理规划建设用地^[17-18]。

而“尺度”是构建整体生态网络的重要工具。尺度是景观格局、过程的基础, 二者之间的相互作用都依赖尺度而存在^[16, 19]。有学者提出, 系统动态的抽象化模型可能在某一尺度有效而在其他尺度就会失去作用^[20], 不同尺度上的不同生态学研究方法所得到的格局和过程的特征不同^[21], 尺度推绎可以帮助理解多尺度上的生态现象及它们之间的联系^[22], 上下级尺度的嵌套与联动可以在帮助解决下级生态问题的同时, 支撑区域性生态格局^[20, 23]。

尺度嵌套特征正是生态网络形态特征在尺度转换过程中分化的结果, 判断该特征存在与否的主要方法为数理分析法和形态解译法^[24]。基于如上两种方法, 当前研究多聚焦于不同城市及流域尺度的国土空间网络叠加^[3, 23, 25], 并据此提出综合城市发展特征的空间网络优化路径, 但城乡生态安全格局中的乡村研究略显不足, 需进一步补充。针对乡村三生空间融合度高、布局较为混乱以及乡村建设缺乏规划、整体生态保护较为滞后的特点, 上述多尺度嵌套理论和技术为乡

村空间整合规划、城乡生态网络构建与优化提供了可行参考。这种跨尺度嵌套特征的分析与传统方法相比, 更能保证上下级结构及整体生态系统的稳定。针对当前乡村自治度高、乡村小尺度景观蓬勃发展的现状, 首先明确较大尺度的生态问题特性及生态安全骨架, 而后落实到小尺度场地的生态结构优化与生态规划发展方向, 再根据不同尺度相互之间的校正与指导来调整提升策略, 这是当前实现乡村景观的生态保护与合理建设的有效路径。

习近平总书记在考察长株潭城市群时指出, 生态绿心的建设是保值增值的。作为长株潭生态化城乡发展的重要区域, “绿心”的多尺度生态建设对于我国中部城市的区域生态保护有重要意义。该研究旨在针对“区域—村镇—片区”尺度的生态矛盾, 基于源地—廊道法, 嵌套各尺度下的生态要素与网络, 并针对嵌套特征, 明确乡村景观生态规划的方向与需求, 归纳有效的“宏观—中观—微观”多尺度协同优化路径(图1), 以期实现如下目标: 第一, 识别不同尺度的生态源地、构建阻力面及提取生态廊道和生态夹点; 第二, 通过不同尺度的生态网络传输和嵌套分析, 明确中、大尺度的生态结构调整目标; 第三, 将多尺度嵌套分析结果落位到小尺度, 为小尺度的景观规划设计提供优化方向。这弥补了单一尺度城乡生态建设的不足, 能有效促进乡村乃至整个城市群的多层级联动发展与生态稳定。

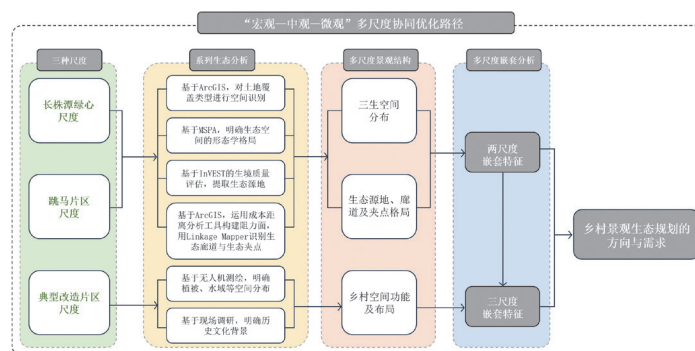


图1 多尺度生态分析嵌套在乡村景观规划的研究路径

Fig.1 research pathways of multi-scale ecological analyses nested in rural landscape planning

1 基于遥感影像的乡村景观识别

1.1 研究区域基本概况

2019年8月《长株潭城市群生态绿心地区总体规划（2010—2030）（2018年修改）》获批（以下简称绿心），生态绿心地区位于长沙、株洲和湘潭三市交汇地区，总面积约528.32 km²。该片区发展旨在打造城市群生态屏障，并将长期致力于将其建设成为两型社会生态服务示范区和生态文明建设先行区。

跳马片区隶属于长沙市跳马镇，面积171.48 km²，约占绿心总面积的32.46%，是绿心地区最为中心且完整的一个片区，整体生态情况良好，生境类型丰富，含石燕湖、百倍冲水库、双溪港等充足水资源，整体风貌呈丘陵与平原交错分布，丘陵面积达80 km²，有地形较高且植被覆盖度高的凤凰山、九郎山，是生物多样性的重点保育区。跳马片区处于长沙、株洲、湘潭三市交界处，是湖南推进“长株潭一体化”的核心之区（图2）。近年来，湖南省践行乡村振兴战略，跳马镇坚持以花卉苗木、稻谷、蔬菜为主的特色农业蓬勃发展，激发产业活力，切实把生态资源优势转化为经济发展优势；同时以道路整治、绿化环境提升以改善乡村人居环境。

自2021年起，湖南省花博会将长期落地跳马，因此，对于地势较为平坦、生活与生产空间交织分布的典型乡村景观，则是未来适度开发的重点。如何在遵循大尺度生态格局的同时，提出小尺度片区的改造发展策略，成为跳马片区建设宜居、宜业、宜游的和美乡村亟待解决的问题。

1.2 研究区域三生空间识别

乡村依靠于山、水、林等自然体系，经过长时间人类建设和生产活动作用而形成复合型的空间。跳马片区位于“生态绿心”中的核心

位置，有大面积的自然山林，物种丰富，生态本底条件较好；耕地大多用作苗木栽培，呈现人工植被景观，物种相对单一；人居景观因地制宜形成山居、水居、林居，整体景观空间呈现融合、镶嵌的现状。本研究以ESRI识别的空间分辨率10 m的土地利用/土地覆盖底图为基础^[27]，将绿心片区的下垫面被分为林地、耕地、草地、裸地、湿地、水域以及建设用地七种类型。之后导入ArcGIS进行重分类后识别绿心、跳马片区以及典型片区的三生空间分布情况（图3）。绿心地区中生态空间主要分布在中部石燕湖、百倍冲水库以及中南部凤凰岭、东北部三仙岭等丘陵区，生活空间呈片状分布于地势较为平坦的区域，生产空间与生活空间交织分布，整体呈现生态本底自然向好，大地肌理明晰有序的景观格局。其中跳马片区中生态空间占主导部分，且“三生空间”高度融合，北部生活空间较多，呈整体分散、局部集中分布，南部生态环境较好，生活空间与生产空间呈鱼骨状分布，渗透至生态空间。

对于跳马片区中部，居于凤凰岭北面山脚下地势相对平坦，“三生空间”交织分布，且生活和生产空间为主的乡村片区是未来景观规划提升的典型。

2 乡村景观生态源地、廊道及夹点的识别

2.1 生态源地识别

形态学空间格局分析（Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA）是当前用于生态网络识别最多的方法，可从形态学上识别核心斑块，即生态源地的边界，但无法判断生态源地的生境质量，而InVEST模型的生境质量分析可对这一问题进行补充。

将绿心及跳马片区的土地利用分类数据导入ArcGIS中进行重分类，把林地、湿地、水域、草地作为前景，耕地、裸地、建设用地作为背景，将数据导入GuidosToolbox，运用MSPA方法，将绿心片区的边缘宽度设为5像素，跳马片区的设为3像素，其余保持一致，最终将前景要素识别为核心区、孤岛、桥接区、孔隙等七种模式（图4）。结果显示，绿心片区核心区分布面积较广且连续性较强，整体呈现东北至西南延续的趋势，有利于生物多样性的保护和生态网络的构建。

再运用InVEST（Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs）中的生境质量评价模型，将耕地、裸地、建设用地设置为威胁源，参考相关文献及专家建议^[4-5,28-30]，分别设置了这四种威胁源的衰减模式、最大影响范围以及权重（表1）；输入各类地对威胁因子的敏感度如表2所示。InVEST生境质量评价结果显示，生境质量平均值约为0.10~0.99不等（图5）。质量比较高的区域大多位于林地、水源周边。

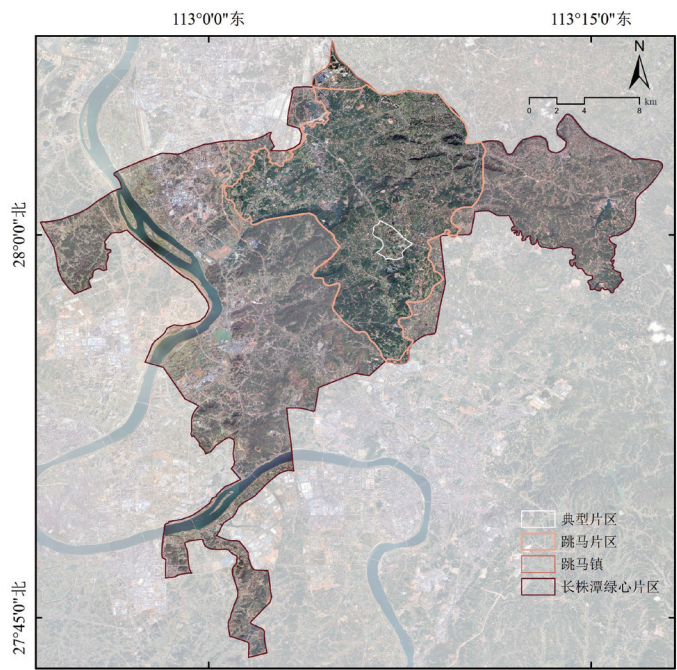


图2 研究区域地理区位
Fig.2 geographic location of the study area

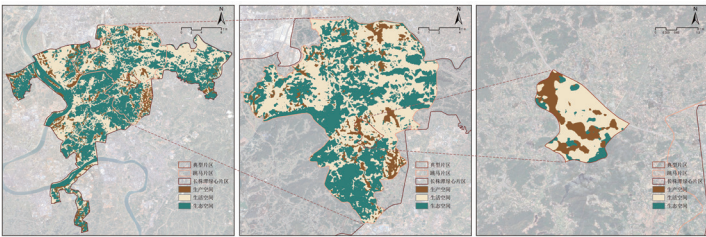


图3 绿心、跳马及典型片区三生空间分布图
Fig.3 spatial distribution of three basic spaces of green heart, Tiaoma and typical areas

本文以3 km²和1 km²作为源地选取最小面积来剔除零碎斑块,将MSPA中的结果导入ArcGIS,运用分区统计工具分别提取绿心尺度下面积>3 km²以及跳马尺度下面积>1 km²的核心区斑块,并结合InVEST生境质量评价结果,选取平均值>0.90的高质量生境作为生态源地,得到绿心片区内8个生态源地,大部分集中在中部;跳马片区11个生态源地,呈分散式布局(图6)。

2.2 生态廊道的识别

生态廊道往往基于最小积累阻力(Minimum Cumulative Resistance, MCR)模型、电路理论等进行构建^[6,18,31]。而电路理论是借鉴物理学,模拟生物流在异质景观中迁移运动的过程^[23],既能构建生态廊道,又能识别生态节点,突破了MCR模型的这一局限。

首先本研究以高程^①、坡度、土地利用类型及路网密度^②四个障碍性因素作为阻力因子^[6,31](图7)来构建生态阻力面,参考阻力因子分级^[18,32]标准将各因子阻力值分为5级并确定权重(表3)。利用ArcGIS中栅格计算器工具叠加运算各阻力因子获得绿心区域的综合阻力面(图8)。

基于生态源地的空间分布以及生态阻力面的构建,运用ArcGIS平台中的Linkage Mapper工具箱中的Linkage Pathways工具,分别对两

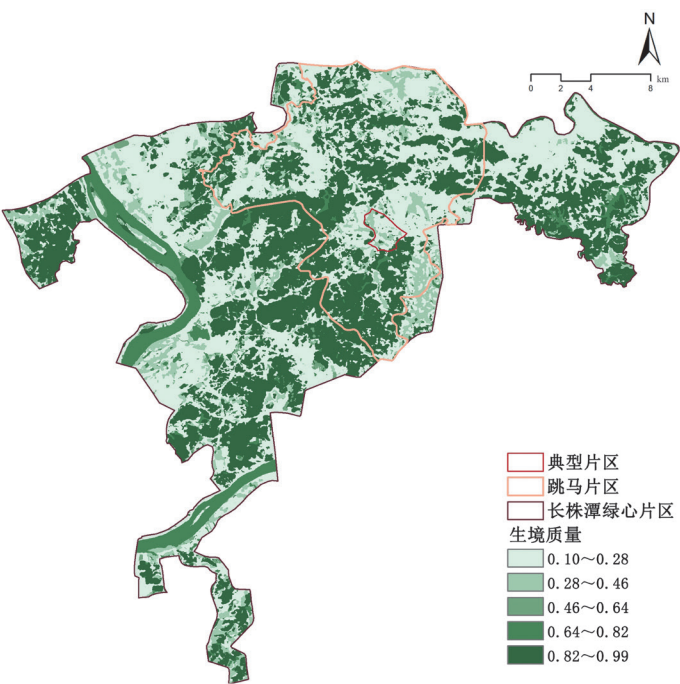


图5 绿心片区生境质量空间分布
Fig.5 spatial distribution of habitat quality in the green heart

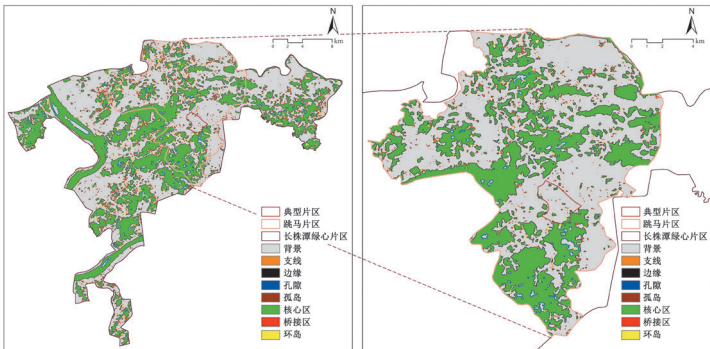


图4 MSPA绿心及跳马景观空间分布
Fig.4 spatial distribution of MSPA of green heart and Tiaoma

表1 威胁源设置情况
Tab.1 setting of threats

威胁源	衰减模式	最大影响范围/km	权重
耕地	线性	1	0.4
裸地	线性	2	0.5
建设用地	指数	3	0.7

表2 各类地对威胁因子的敏感度
Tab.2 sensitivity of land types to threats

地类编号	名称	生境适宜度	威胁源		
			耕地	裸地	建设用地
1	水	0.7	0.5	0.4	0.4
2	林地	1.0	0.6	0.9	0.9
4	湿地	0.6	0.7	0.3	0.3
5	耕地	0.3	0.5	0.1	0.7
7	建设用地	0.1	0.0	0.0	0.1
8	裸地	0.2	0.2	0.1	0.4
11	草地	0.5	0.2	0.2	0.3

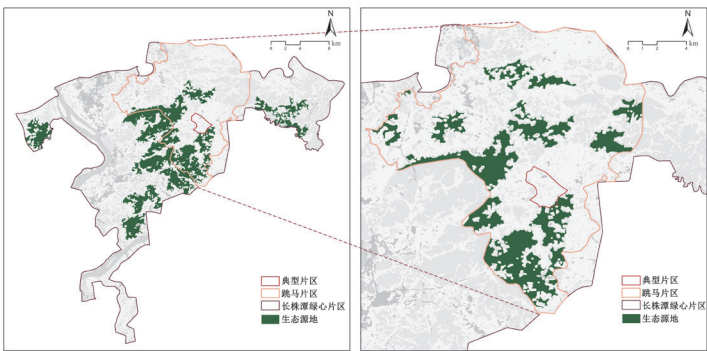


图6 研究区域生态源地空间分布
Fig.6 spatial distribution of ecological sources in the study area

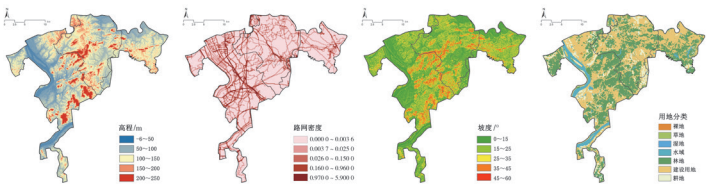


图7 生态阻力面叠加阻力因子
Fig.7 overlaying factors for constructing ecological resistance surfaces

表3 构建生态阻力面的阻力因子设置情况

Tab.3 setting of resistance factors for constructing ecological resistance surfaces					
阻力因子	高程/m	坡度/°	土地利用类型	路网密度	
阻力分值	1	<50	<15	林地、草地	0.000 0~0.003 6
	2	50~100	15~25	耕地	0.003 7~0.025 0
	3	100~150	25~35	湿地、水域	0.026 0~0.150 0
	4	150~200	35~45	裸地	0.160 0~0.960 0
	5	>200	>45	建设用地	0.970 0~5.900 0
权重	0.2	0.2	0.3	0.3	

个尺度下生态廊道进行提取,得到绿心尺度下的10条生态廊道以及跳马片区尺度下的20条生态廊道(图9)。

2.3 生态夹点的识别

研究进一步利用基于电路理论开发的Pinchpoint Mapper以及Barrier Mapper等工具识别区域生态节点。生态节点对于景观连通性影响极大,对于生态节点的识别有助于保护及恢复区域的确定,进而提升景观的生态连通性。其中生态夹点是生物移动过程中的关键节点,而障碍点则是生物移动和迁徙过程中阻力较大的区域^[5]。

在生态廊道计算结果基础上,运用Pinchpoint Mapper工具,以10 000加权成本距离作为廊道宽度,以“归一化(all to one)”模式进行迭代运算,得到生物活动浓集区的模拟结果,并利用自然间断点分级法将所得结果分为5类,选取值最高的两类与廊道位置叠加,得到一级与二级生态夹点的位置分布情况(图9)。运用Barrier Mapper工具,分别以300 m和100 m作为两个尺度的搜索半径,以“最大值(maximum)”模式得到生物活动障碍区模拟结果,与廊道叠加得到一级与二级生态障碍点的位置分布情况(图9)。

3 典型片区内部结构与功能

对于更小尺度的典型片区,其发展方向及规划需求还需进一步分析。该区域总面积为3.86 km²,占跳马片区总面积的2.25%。结合MSPA和生境质量分析(图4-5),可明确该区域内的高质量生境呈点状分布,

其他生活和生产空间的生境质量不高。片区外部以南的凤凰岭和百培冲水库及以北的三仙岭和石燕湖片区生境质量较高,明确该片区地处高质量生境环抱区域,内部地势平坦适宜改造提升。但其内部的景观结构与功能还不够清晰,对于微观尺度上的景观优化方向还需结合多次现场调研及无人机测绘,获取更细致的生境类型与分布、植被类型与结构、水资源分布详情,以明确未来优化方向。

3.1 生境类型及分布

根据湖南省国土空间三调数据,可明确重点片区内林地、农田、水域及民居的分布情况(图10)。该区域的林地空间连续性适中,居民生活的空间呈点状分布,但林地生境被大片耕地生境隔开,连通度不高;片区内水域资源丰富,坑塘呈点状散布,且有连续河流连接场地内外。

3.2 植被类型与结构

研究团队多次到现场考察,运用飞马D2000无人机搭载D-LiDAR 2000激光雷达模块测绘得到该重点区域高至3 cm精度的点云数据,从而制作数字高程模型(DEM),运用大疆精灵4无人机搭载多光谱相机测绘场地归一化植被指数(NDVI)、优化的土壤调节植被指数(OSAVI),将场地的高程、植被类型与结构转化为图示语言(图11)。结果清晰表明,长势最好的林地处于区域北部沿路缓坡和中南部山坡上,河流两侧植被长势也较为良好,结合三调数据及现场调研可明确这两个部分的植被结构也较丰富。结合土地利用分类结果和现场调研,明确耕地上也有部分植物长势较好,当地农田种有较多苗木,如桂花树、香樟、紫薇、石楠以及罗汉松等,虽长势较好,但植被结构单一,生物多样性较低。

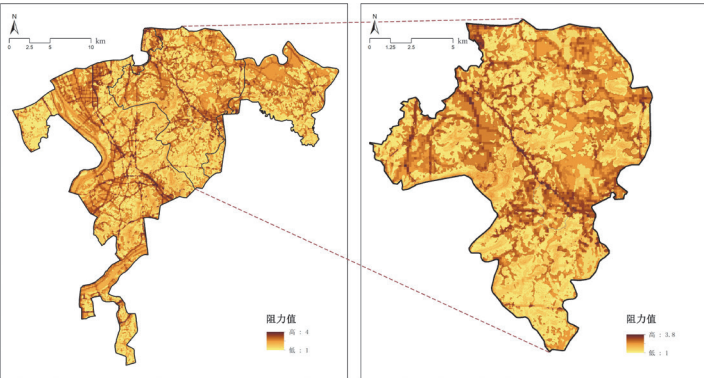


图8 生态阻力面构建
Fig.8 ecological resistance surface construction

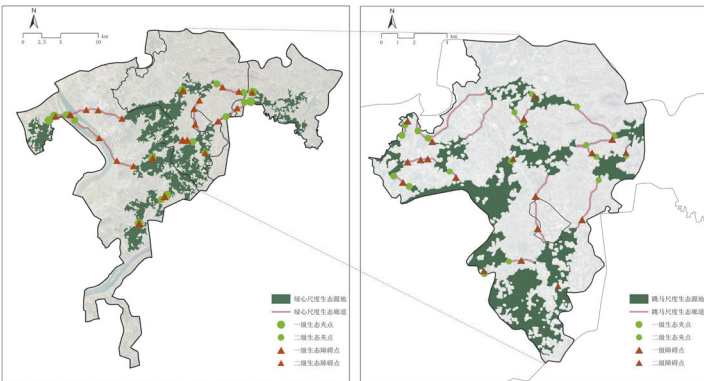


图9 生态廊道及生态节点空间分布
Fig.9 spatial distribution of ecological corridors and pinchpoints

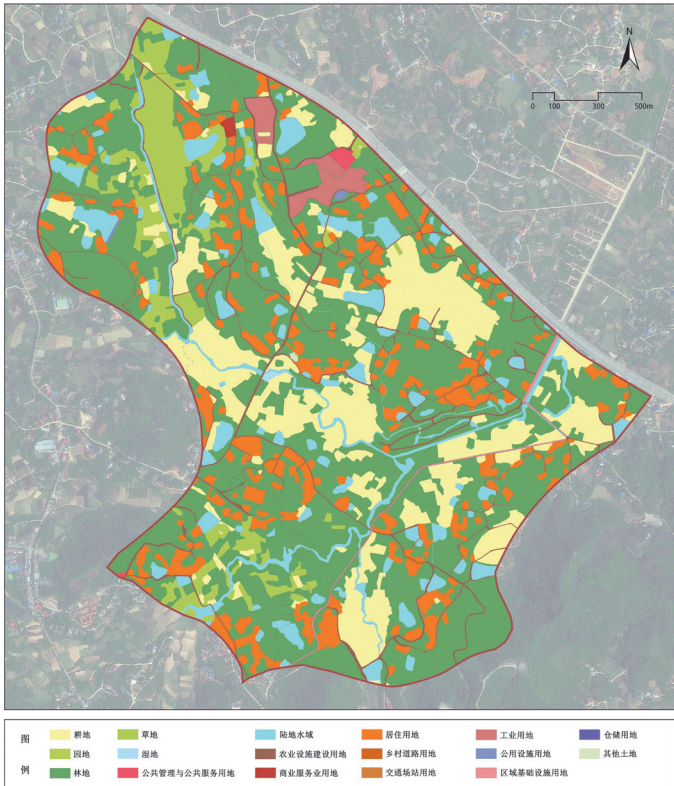


图 10 典型片区国土空间现状分类
Fig.10 land use and land cover of land in typical areas

3.3 水资源分布详情

场地内水资源丰富,运用ArcGIS的水文分析工具箱可明确水流方向为自北向南,自西向东(图11),汇于场地东侧河渠——双溪港,与场地外相连。结合高程可明确场地内坑塘可分为高位坑塘与低位坑塘,可分别起到供水、调蓄的作用。现场调研中还发现耕地中有接近干涸的沟渠,在景观规划中应将其纳入整体水系中,以形成功能健全的水网。

4 多尺度嵌套分析与优化

4.1 三尺度间生态网络嵌套分析

将第2章识别出的绿心与跳马片区的生态源地和廊道叠加相交可得(图12),两尺度共有的源地个数为4个,叠合面积共26.48 km²,占绿心片区源地面积的33.26%,跳马片区源地的74.36%。两尺度间的重合廊道有6条,叠合长度8.67 km,占绿心片区廊道长度的19.3%,跳马片区廊道的22.6%。且共有源地基本与跳马片区源地有大部分重合,共有廊道占绿心尺度内跳马片区廊道总长的46.84%。共有廊道和源地是实现不同尺度连接的重点,共有比例高则表明两尺度间的衔接度较高,可有效推动生态系统流动,促进生态网络稳定。跳马尺度内有14条绿心尺度下跳马片区未识别的廊道,它们与绿心尺度内的潜在廊道都是发展潜力较大的区域,其梳理与联通对于生态源地扩张起着重要作用。

将两尺度下的生态夹点和障碍点叠加可得(图12),重合夹点共2处,分别占绿心及跳马片区夹点数量的11.76%和10.53%;重合障碍点共6处,占绿心及跳马片区障碍点总数的26.09%和31.58%。其跨尺度上的生态节点重合度不高,表明在未来生态优化中应注重多尺度间的生态过程传递,促进物质和能量流动。且生态夹点保护及障碍点修复则

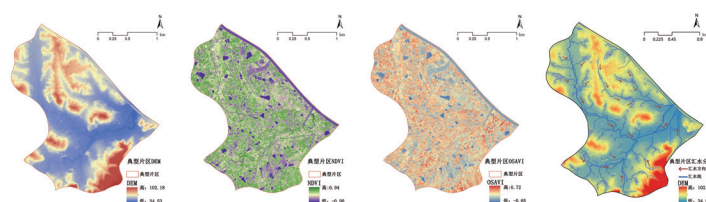


图11 典型片区内生态识别及汇水分析

Fig.11 ecological identification and catchment analysis within a typical area

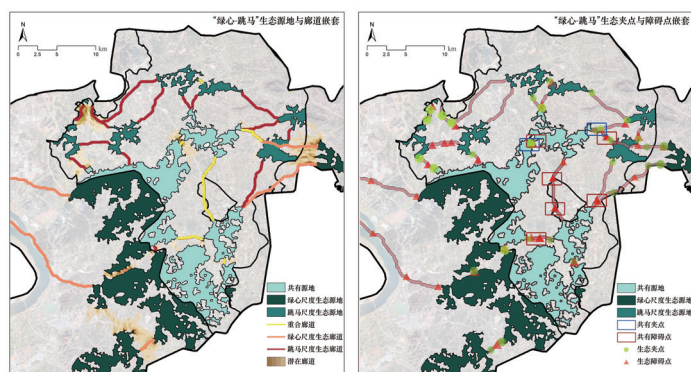


图12 “绿心—跳马”两尺度生态要素识别与嵌套

Fig.12 identification and nesting of ecological elements at the two scales of green heart and Tiaoma

对于绿心乃至更大尺度上的整体生态网络构建具有重要作用。对于此两类关键节点的保护与修复,需明确生态建设重点,以实现高效可持续发展的生态服务目标。

在更小尺度的典型片区内虽识别出了共有廊道中最长的一条,但同时识别出了两个生态障碍点,说明该廊道的提升潜力较大。周边生产、生活空间分布较广,还与主干道邻近,具体如何提升应结合更小尺度的生态分析来明确。

结合第3章中对典型片区的分析,明确场地中部、南部山坡以及西北部林地以自然生长的林地为主,生态潜力较大,位于谷地的水系虽在大尺度上未被识别,但也可充当小型廊道的作用。因此,结合大尺度生态结构、小尺度三调数据以及现场调研的植被现状,研究预设了四个生态踏脚石的可行点位,并通过2.2中对廊道的提取方法再次进行识别,结果表明增加了7条廊道(图13)。因此,小尺度上“踏脚石”的构建能有效增加生态廊道以及生态夹点的数量,从而提升斑块间的连通度,促进生态网络稳定发展。

4.2 跳马片区生态景观优化方向与需求

4.2.1 保护生态源地,适度干预保障物种多样性

跳马片区与绿心的共有源地与绿心尺度下跳马片区的生态源地区域几乎完全重合,这类共有生态源地是保障生态系统连续性和完整性的关键。跳马中部及南部的生态源地提供了丰富的生物多样性和生态服务,对于北部及中东部生活及生产空间融合度较高的区域,可结合监测与评估实施生态恢复或重建,这些适当干预可防止生态退化和物种丧失。

4.2.2 联通生态廊道,陆生与水域廊道并行

对于跳马片区与绿心片区内的共有廊道应重点保护,严格控制开发强度。跳马片区中洞株路呈西北—东南走向,对于跳马东西向生境之间的连接有较大的阻力,可以通过架生态廊桥、打通水域空间等方式联通生态廊道;对于可清晰识别的廊道,应尽量减少乡村生活和生产对其的扰动;对于潜在廊道,应推动林业发展,进而完善乡村生态结构。另外,结合场地水域较多的特点,可结合湖湘特色灌溉体系,结合种植、防洪与灌溉发展蓝绿交织的特色生态网络。

4.2.3 修复生态点位,支撑生态格局优化

对于绿心与跳马片区内重合的生态夹点和生态障碍点,应作为重

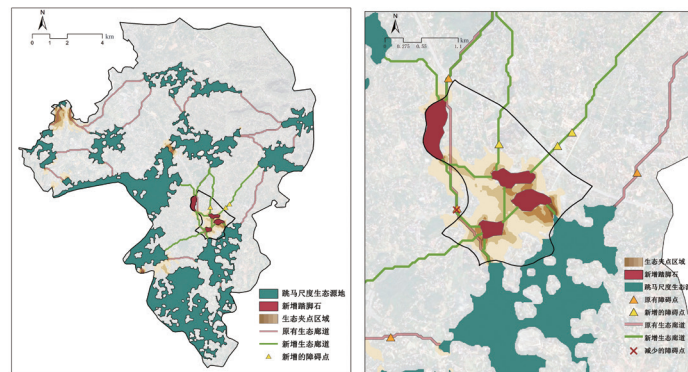


图13 典型片区增加踏脚石后廊道及夹点空间分布

Fig.13 spatial distribution of corridors and pinchpoints after adding stepping stones in a typical area

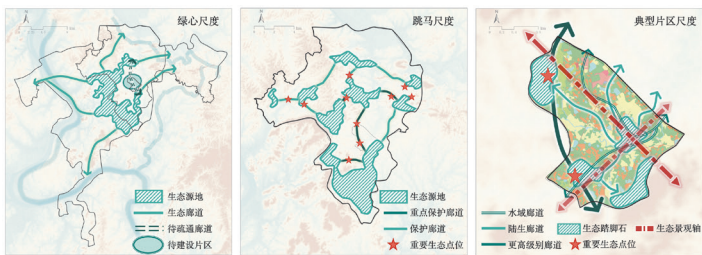


图14 基于“绿心—跳马—典型片区”生态结构的多尺度生态景观优化
Fig.14 multi-scale ecological landscape optimisation based on the ecological structure of study areas

点调整部分。如洞株路上中部的一级障碍点，疏通该点则可加强跳马东西向生境斑块的串联。从典型片区的生态结构上推，在其未来的优化提升中，可在廊道上选取林地斑块、湿地或水域斑块等点位作为生态踏脚石，以增强物种流通，支撑生态格局的稳定。同时还能根据生态结构提出在地规划的景观轴，为下一步的设计提升提供参考（图14）。

5 结论

本文以长株潭绿心、跳马片区及其内部的典型片区三种尺度为例，以MSPA、InVEST及MCR模型为基础，识别了场地内生态源地、生态廊道及生态节点，通过三尺度生态结构的叠加，落位小尺度片区的优化方向，并通过设立踏脚石反证其合理性，多层次传递这一路径弥补了单一尺度生态网络构建中对生态过程考虑的不足，所提出的多尺度生态网络嵌套下乡村景观规划路径可为其他城乡交流频繁的丘陵区景观建设提供参考。

研究表明，长株潭绿心的高质量生态源地有8个，大多集中在绿心中部地区，其中4个共有源地的保护对于跨尺度生态连通具有重要意义。共有廊道6条，且共有比例较高，表明尺度间的衔接度较高，能量传递较好，需重点保护；对于小尺度上识别存在但大尺度上没有的和潜在的廊道，应积极疏通，有利于源地扩张。且个别源地之间的距离较远，导致廊道较长，联通难度较大，因此根据更小尺度生态网络中生态夹点、生态障碍点以及生态廊道等识别结果，提出低层级尺度的廊道以及生态踏脚石建设方向，有利于生态结构稳定和整体网络优化。为切实改善乡村生态环境的整体水平，在尊重乡村当前的三生空间现状和规划特征下，设计应注重从前期策划到后期建设、维护等环节的科学性，促进乡村景观的可持续性发展。本研究提出从如下四个部分考虑，为乡村景观规划提供优化方向：一是宏观生态网络为底，保障生态结构稳定；二是生态网络嵌套为据，保护重合或优化缺失区域；三是微观尺度上推反证，健全区域性生态网络；四是多尺度生态分析联动，稳固乡村景观结构。将如上总结为多尺度分析嵌套的景观规划路径，并抽象化表达（图15）。

多尺度生态分析使乡村生态系统认知更加综合，使资源配置更加合理。而尺度是一个相对的概念，未来仍需探索如何与更大尺度的网络连接以提升生态环境的整体水平以及如何从更小尺度上的景观设计出发促进生态发展；多尺度生态分析与嵌套如何应用于实践中，又能对生态景观产生何种影响。对于生态较好的重点源地、廊道的保

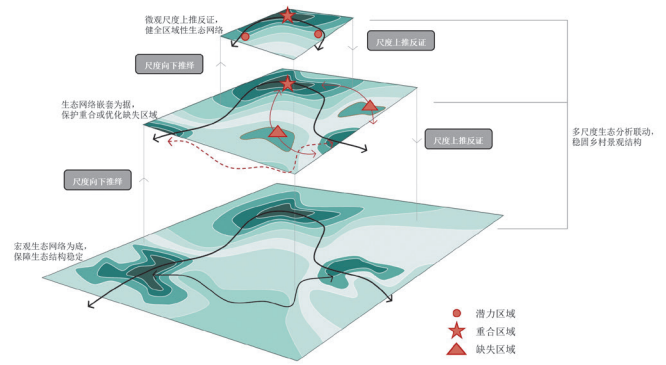


图15 基于多尺度嵌套的乡村景观规划途径示意
Fig.15 schematic illustration of a rural landscape planning pathway based on multi-scale nesting

护，应积极优化布局，以促进野生动植物的迁徙和交流，这部分研究可在未来进一步展开。对于生态脆弱的区域，未来可引入大数据来进行风险预测，还可结合实时监测外界干扰来降低生态系统受损的风险，从而帮助制定更具针对性和可持续性的景观规划方案，实现生态、社会和经济的协调发展。

注释：

- ① 数据源自<https://search.asf.alaska.edu/>。将数据导入ArcGIS中，并运用裁剪工具处理得到研究区内高程概况。
- ② 数据源自<http://www.openstreetmap.org/>。将数据导入ArcGIS中，并运用网格计数法，通过计数每个格网内道路的数量，然后与格网面积相除得到研究区内的路网密度。

参考文献：

[1] 叶林, 邢忠, 颜文涛. 生态导向下城市边缘区规划研究[J]. 城市规划学刊, 2011(6): 68-76.

[2] 住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于在实施城市更新行动中防止大拆大建问题的通知[EB/OL]. (2021-08-30)[2023-08-15]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-08/31/content_5634560.htm.

[3] 丁成呈, 张敏, 束学超, 等. 多尺度的城市生态网络构建方法——以合肥市主城区生态网络规划为例[J]. 规划师, 2021, 37(3): 35-43.

[4] 王丽容, 冯晓蕾, 常青, 等. 基于InVEST-MCR复合模型的城市绿色空间生境网络格局构建研究[J]. 中国园林, 2020, 36(6): 113-118.

[5] 樊柏青, 成玉宁. 乡村生态景观识别与生境网络优化——以南京市江宁区为例[J]. 风景园林, 2023, 30(4): 27-33.

[6] 郑群明, 扈嘉辉, 申明智. 基于MSPA和MCR模型的湖南省生态网络构建[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2021, 44(5): 1-10.

[7] 张豆, 渠丽萍, 张策滴. 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.

[8] WEI Q Q, HALIKE A, YAO K X, et al. Construction and Optimization of Ecological Security Pattern in Ebinur Lake Basin Based on MSPA-MCR Models[J]. Ecological Indicators, 2022, 138: 108857.

[9] WEI L, ZHOU L, SUN D Q, et al. Evaluating the Impact of Urban Expansion on the Habitat Quality and Constructing Ecological Security Patterns: A Case Study of Jiziwan in the Yellow River Basin, China[J]. Ecological Indicators, 2022, 145: 109544.

[10] JUSTEN H, LEEYAW J A, DELMORE K E. Reduced Habitat Suitability and Landscape Connectivity in a Songbird Migratory Divide[J]. Global Ecology and Biogeography, 2021, 30(10): 2043-2056.

- [11] 李空明, 李春林, 曹建军, 等. 基于景观生态学的辽宁中部城市群绿色基础设施20年时空格局演变[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8408-8420.
- [12] 曾真, 艾婧文, 王梓凌, 等. 三明市区景观格局时空演变及生态网络构建研究[J/OL]. 生态与农村环境学报. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.2022.101>.
- [13] BAGSTAD K J, JOHNSON G W, VOIGT B, *et al.* Spatial Dynamics of Ecosystem Service Flows: A Comprehensive Approach to Quantifying Actual Services[J]. *Ecosystem Services*, 2013, 4: 117-125.
- [14] 何建华, 詹皖欣, 黄俊龙. 基于GIS的武汉市生态红线划定的技术方法研究[J]. 生态科学, 2018, 37(5): 131-139.
- [15] 王云才, 吕东, 彭震伟, 等. 基于生态网络规划的生态红线划定研究——以安徽省宣城市南漪湖地区为例[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 28-35.
- [16] 孙鼎文. 基于“源—汇”的城市边缘区村镇生态景观格局规划策略研究[D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [17] 邱硕, 王宇欣, 王平智, 等. 基于MCR模型的城镇生态安全格局构建和建设用地开发模式[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 257-265.
- [18] 李志英, 李媛媛, 李文星, 等. 基于形态学空间格局分析与最小累积阻力模型的昆明市生态安全格局构建研究[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(1): 69-79.
- [19] 徐延达, 傅伯杰, 吕一河. 基于模型的景观格局与生态过程研究[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 212-220.
- [20] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法[J]. 生态学报, 2001(12): 2096-2105.
- [21] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法[J]. 生态学报, 2006(7): 2340-2355.
- [22] 张娜. 生态学中的尺度问题——尺度上推[J]. 生态学报, 2007(10): 4252-4266.
- [23] 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.
- [24] 王云才, 吕东. 基于尺度转换与嵌套的生态网络规划研究——以安徽省宣城市南漪湖地区为例[C]//孟兆祯, 陈晓丽. 中国风景园林学会2015年会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 317-322.
- [25] 赵炜, 杨睿, 王倩娜. 丘陵城市蓝绿空间多尺度协同规划技术路径与方法——以资阳市为例[J]. 西部人居环境学刊, 2023, 38(4): 31-39.
- [26] 湖南省自然资源厅. 长株潭城市群生态绿心地区总体规划(2010—2030)(2018年修改)[EB/OL]. (2019-09-25)[2023-08-15]. https://zrzyt.hunan.gov.cn/zrzyt/xxgk/tzgg/201909/t20190926_10466709.html.
- [27] KARRA K, KONTGIS C, STAMAN-WEIL Z, *et al.* Global Land Use/Land Cover with Sentinel 2 and Deep Learning[C]//2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Igarss: Ieee, 2021: 4704-4707.
- [28] 景晓玮. 基于InVEST模型的贵州省生态系统服务计量及价值评估研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2021.
- [29] 雷金睿, 陈毅青, 陈宗铸, 等. 基于InVEST模型的海南岛三大流域生境质量时空演变[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2511-2520.
- [30] 焦云腾, 程文仕. 基于InVEST模型的土地整治对生境质量的影响研究[J]. 国土与自然资源研究, 2019(2): 39-42.
- [31] 黄雪飞, 吴次芳, 游和远, 等. 基于MCR模型的水网平原区乡村景观生态廊道构建[J]. 农业工程学报, 2019, 35(10): 243-251.
- [32] LU J, JIAO S, HAN Z W, *et al.* Promoting Ecological Restoration of Deeply Urbanized Hilly Areas: A Multi-Scale Ecological Networks Approach[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110655.

图表来源:

图1-15: 作者绘制

表1-3: 作者绘制

收稿日期: 2023-09-13

(编辑: 苏小亨)