

DOI: 10.5846/stxb202206141698

贺大为, 金贵, 王新生, 郭柏枢. 长江经济带国土空间开发与保护路径优化. 生态学报, 2023, 43(14): 5776-5787.

He D W, Jin G, Wang X S, Guo B S. Optimization of development and protection pattern of territorial space in the Yangtze River Economic Belt. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(14): 5776-5787.

长江经济带国土空间开发与保护路径优化

贺大为¹, 金 贵^{2,*}, 王新生¹, 郭柏枢³

¹ 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062

² 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 武汉 430074

³ 中国地质大学(武汉)艺术与传媒学院, 武汉 430074

摘要: 长江经济带是重大国家战略发展区域, 优化其国土空间开发保护格局是实现生态文明建设的重要内容。研究基于“核心点-发展轴-战略区”的框架, 通过国土空间利用强度表征指标及夜间灯光数据识别发展核心点, 借助有序加权平均算法模拟多种决策愿景下的空间发展阻力面, 运用最小累积阻力模型和电路理论模型识别空间发展轴线及其内部的开发保护战略区, 定量构建不同决策偏好的空间格局优化方案, 突破了传统研究中单一目标和定性分析的局限。结果表明: 长江经济带国土空间发展核心点共 63 个, 约占区域总面积的 5%, 呈现自东向西递减的空间分布特征; 城镇扩张、协同发展和生态约束三类情景下发展轴线均为 61 条, 所覆盖的县级单元分别占总数的 36.6%、36.5 和 36.7%, 呈现出“一横三纵”的格局特征; 城镇扩张、协同发展和生态约束三类情景下开发战略区分别占轴线面积的 4.5%、4.9%、4.8%, 多分布于长江干流及其支流沿线。保护战略区分别占轴线面积的 17.1%、13.9%、15.3%, 主要分布于长江南岸区域。在此基础上形成的国土空间开发保护格局基础架构, 能够为落实长江经济带“共抓大保护、不搞大开发”提供决策参考。

关键词: 国土空间格局; 核心点; 发展轴; 战略区; 情景分析; 长江经济带

Optimization of development and protection pattern of territorial space in the Yangtze River Economic Belt

HE Dawei¹, JIN Gui^{2,*}, WANG Xinsheng¹, GUO Baishu³

¹ Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China

² School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

³ School of Arts and Communication, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The Yangtze River Economic Belt is an importantly nationally strategic development zone, and the optimization of its development and protection pattern of territorial space is an important part of realizing the ecological civilization construction. Based on the framework of “Core point-Development axis-Strategic area”, the core point of development was extracted by the intensity index of spatial development and nighttime light data, the resistance surface of spatial development under various decision visions was simulated by Ordered Weighted Averaging algorithm, and the Minimum Cumulative Resistance model and Circuit Theory model were used to identify the axis of spatial development and its internal development and protection strategy area. The quantitatively constructed optimization scheme of spatial pattern under different decision preferences breaks through the limitation of single objective and qualitative analysis in the traditional research. The results show that there are 63 development core points of territorial space in the Yangtze River Economic Belt, accounting for about 5% of the total area, and the number of core points decreases from east to west. Under the three

基金项目: 国家自然科学基金项目(71974070, 41501593); 湖北省地质局项目(MSDZ202203, KJ2021-53)

收稿日期: 2022-06-14; **网络出版日期:** 2023-03-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jingui@igsnrr.ac.cn

scenarios of urban expansion, synergistic development, and ecological constraint, there are 61 development axes, covering county-level units accounting for 36.6%, 36.5% and 36.7% of the total, respectively, showing the pattern of “one horizontal and three verticals”. Under the three scenarios, the development strategic areas account for 4.5%, 4.9% and 4.8% of the axis area, respectively, and are mostly distributed along the mainstream of the Yangtze River and its tributaries. The protection strategic areas account for 17.1%, 13.9% and 15.3% of the axis area, respectively, which are mainly distributed on the south bank of the Yangtze River. The development and protection pattern of territorial space formed on this basis can provide decision-making reference for implementing the strategy of “promoting well-coordinated environmental conservation and avoiding excessive development” in the Yangtze River Economic Belt.

Key Words: territorial patterns; core point; development axis; strategic area; scenario analysis; the Yangtze River Economic Belt

美丽中国是新时代社会主义生态文明建设的目标愿景,而实现这一愿景的关键在于“一张蓝图绘到底”,即在协调发展和有机融合的思维下形成生态优先的国土空间发展路径,实现从决策愿景到发展蓝图的转变^[1]。当前我国国土空间开发保护政策体系初步确立,生态文明建设取得了新进步,但高质量国土空间布局仍面临着资源环境约束趋紧、空间利用结构不合理等困境。长江经济带在我国生态环境保护修复、推动区域协调发展中发挥着引领作用。近年来,长江经济带国土空间开发保护初见成效,但国土开发强度高、空间无序竞争等问题仍未完全解决,人与自然和谐共生的美丽中国样板仍需要通过系列空间治理措施实现^[2]。因而,在深刻理解国土空间格局形成的本底逻辑基础上,发挥决策愿景对空间活动的导向作用,促进各类空间要素合理流动和资源高效利用,是解决当前发展困境、推进长江经济带生态文明建设的关键路径^[3]。

国土空间开发保护格局相关研究从研究议题来看遵循了从时空特征识别、功能机制揭示到发展蓝图设计由浅入深的发展历程,对应着三个层面的研究主题:一是国土空间格局特征和演变规律,如土地利用时空格局、城市和城市群扩张和城乡空间结构演变等方面的研究^[4-6];二是基于“承载力”“适宜性”等评价进行的国土空间功能识别与分区,如主体功能分区、城市功能区识别、“三生”功能识别与分区等^[7-10];三是国土空间布局体系构建与优化,如基础设施布局优化、城镇化格局优化和生态安全格局构建等^[11-13]。从研究方法来看,多基于形态学方法和功能方法评估空间发展格局^[14],形态学方法利用了区域发展中心的属性或内部特征测度空间实体的地理分布,如景观格局指数、形态学空间格局分析等^[15-16]。功能方法基于空间系统内的流动结构和关系网络对都市空间结构进行分类,如空间聚类、模糊评价理论、多智能体模型等^[17-19]。已有研究多侧重于定性地提炼或分析地区和国家层面的国土空间发展格局,无论开发或保护格局大多将单一目标作为国土空间治理的方向^[20],忽视了国土空间系统内部的竞争机制和协同关系,未能形成反映差异化政策导向下的国土空间开发保护综合蓝图工具。而通过对不同政策偏好下的空间过程进行情景模拟,则能够在多目标权衡的研究框架中突破单一目标与主观因素的局限,综合反映不同发展导向下的空间开发保护格局。

本文基于自然生态系统本底特征和空间要素流动规律,耦合点-轴理论和生态安全格局理论的研究范式构建出“核心点-发展轴-战略区”的国土空间发展架构。通过决策偏好的微调构建多情景的国土空间开发保护路径,绘制长江经济带协调发展的空间蓝图,为区域生态文明建设和可持续发展提供决策参考。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

长江经济带面积约 $2.05 \times 10^6 \text{ km}^2$, 位于 $97^\circ 21' - 122^\circ 25' \text{ E}$, $21^\circ 08' - 35^\circ 20' \text{ N}$ 之间,地势整体呈现西高东低,区域内淡水、森林、矿产等自然资源丰富,包含 7 个国家重点生态功能区和 3 个农产品主产区。覆盖长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群,人口和经济总量均占全国的 40% 以上,其定位是具备全球影响力和先进理念输出的生态文明示范带,具有重要理论和实践研究价值(图 1)。当前,受传统发展模式影响仍存

在城市规模大、核心点密度低、要素配置不均衡等区域发展不平衡问题,同时生态空间缩减、生态系统退化等导致生态安全形势严峻,其国土空间开发与保护格局亟需从理论与实践层面进一步优化^[21-22]。在“共抓大保护,不搞大开发”背景下,解析国土空间开发保护格局形成过程,通过空间规划引导和人类活动调控,形成“城镇空间宜居适度、农业空间集约高效、生态空间山清水秀”的战略布局尤为重要。



图1 长江经济带区位图

Fig.1 Location of the Yangtze River Economic Belt

1.2 数据来源及处理

本研究以规划基期 2015 年长江经济带 1072 个县级行政单元作为研究对象,所有数据归一化处理后统一处理为 1 km×1 km 栅格图层。人口、国内生产总值(GDP)、公路里程等社会经济数据,来源于各县(市)2015 年统计公报;夜间灯光数据(空间分辨率为 1.5 km),来源于中国科学院中国遥感卫星地面站陈甫团队研制的“火石”数据集;归一化植被指数(NDVI)、植被净初级生产力(NPP)、土地利用类型和地形地貌数据(空间分辨率均为 1 km)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>);气象数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>),通过对 2000 年以来逐日数据进行汇总和插值处理得到;土壤数据(空间分辨率为 1 km)来源于中国土壤数据库(<http://vdb3.soil.csdb.cn/>)和寒区旱区科学数据中心(<http://data.casnw.net/portal/>);县级尺度碳排放数据来源于中国碳核算数据库(<https://www.ceads.net.cn/>)。

1.3 研究方法

1.3.1 点-轴理论模型

点-轴理论模型由陆大道院士提出,被广泛用于国土空间格局刻画的相关研究^[23-24]。本研究选取人口密度、GDP 密度、路网密度、城镇化率、第三产业占比等国土空间利用强度表征指标识别发展核心点^[25],使用夜间灯光数据对发展核心点识别结果进行修正^[26](如式 1 所示),并通过自然断点法识别评价前 25% 的县域为国土空间发展核心点^[27]。

$$R_i = \frac{NL_i}{NL_a} \times R \quad (1)$$

式中, R_i 为基于夜间灯光指数修正的各县级单元发展能力值。 NL_i 为栅格 i 的夜间灯光指数; NL_a 为栅格 i 对应的县级单元的平均灯光指数; R 为栅格 i 的国土空间利用强度评价值。

国土空间发展轴线是核心点间要素流动和集聚的空间路径,是具有一定宽度并呈现带状形态特征的空间实体,本研究借助最小累积阻力模型(MCR)提取国土空间要素从源地向目的地流动的最低成本路径作为发展轴线^[28]:

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} D_{ij} \times R_i \quad (2)$$

式中,MCR 为最小累积阻力值; D_{ij} 表示要素从核心点 j 到指定单元 i 的空间距离; R_i 为空间单元 i 对该要素流动的阻力系数; f 表示最小累积阻力与空间拓展过程的正相关函数关系。

1.3.2 有序加权平均算法

国土空间发展阻力是社会经济发展要素在核心点之间流动时,需要克服的永久基本农田、自然保护区等介质的阻碍。本文参考相关研究选择 9 个空间发展阻力指标^[29-30],通过层次分析法确定其权重(表 1)。然后借助有序加权平均算法(OWA)确定次序权重(式 3),模拟不同决策偏好下国土空间发展阻力值,为区域发展提供多情景空间发展模式。

$$w_j = Q_{\text{RIM}}\left(\frac{j}{n}\right) - Q_{\text{RIM}}\left(\frac{j-1}{n}\right) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$Q_{\text{RIM}}(r) = r^a$$

式中, j 为位序, w_j 为位序权重, n 为指标数量, r 为自变量, a 为表征决策风险的幂指数, Q_{RIM} 为单调递增规则函数。其中, $a < 1$ 为生态约束情景,农业和生态阻力能够制约城镇空间扩张; $a > 1$ 为城镇扩张情景,认为农业和生态阻力不会制约城镇空间扩张。

表 1 国土空间发展阻力面构建指标体系

Table 1 Indicators for the construction of development resistance surface of territorial space

指标 Indexes	生态功能 重要性	地貌类型	降雨侵蚀力	土壤 可蚀性	坡度	农田 生产力	农业用 地保护	生态用 地保护	植被 覆盖度
权重 Weight	0.1620	0.1310	0.0890	0.0890	0.0960	0.1690	0.0701	0.0703	0.1250

1.3.3 电路理论模型

电路理论模型在随机游走思想下将物体运动状态与运动阻力联系进而刻画出对象的空间运动轨迹^[19,31]。本研究引入电路理论模型,以电流流动类比社会经济要素在国土空间中的流动,识别核心点之间要素流动强度以及发展轴线上的战略区和核心点的中心度。其中,战略区为决定空间格局的连通性的关键发展区域,而中心度则是核心点对于保持整个空间网络连接的重要性的度量。

2 结果与分析

2.1 国土空间发展核心点

核心点评价指标的空间分布特征如图 2 所示,其中人口密度、GDP 密度和路网密度高值区的空间集聚特征明显,城镇化率和第三产业占比则呈现出较强的空间异质性。长江经济带国土空间利用强度的综合评价结果如图 3 所示,总体呈现东高西低的空间特征,与陈雯、郭庆宾等学者对于长江经济带开发适宜性和要素集聚的格局特征相符合^[22,32]。国土空间利用强度较低的区域主要分布于四川、云南和安徽,如新建区、大丰区、寿县、白玉县等研究单元在粮食生产和生态保育中发挥重要功能,抑制了其城镇化发展趋向。而东部沿海地区具有开发历史悠久、交通便利及资金技术密集等空间开发优势,同时作为长江经济带对外联系的门户,成为区域空间发展网络的重心。

基于核心点评价结果提取出 63 个发展核心点(图 3),包括 186 个县级行政单元,其中 80%为国家主体功能区中重点开发区域,另外 20%多属于各地市中心城区,整体呈现东部集聚、中部和西部分散的分布特征。东部地区核心点主要集聚在上海市周围,并形成一个跨苏、浙、沪的空间发展核心组团,包括苏州、无锡、常州

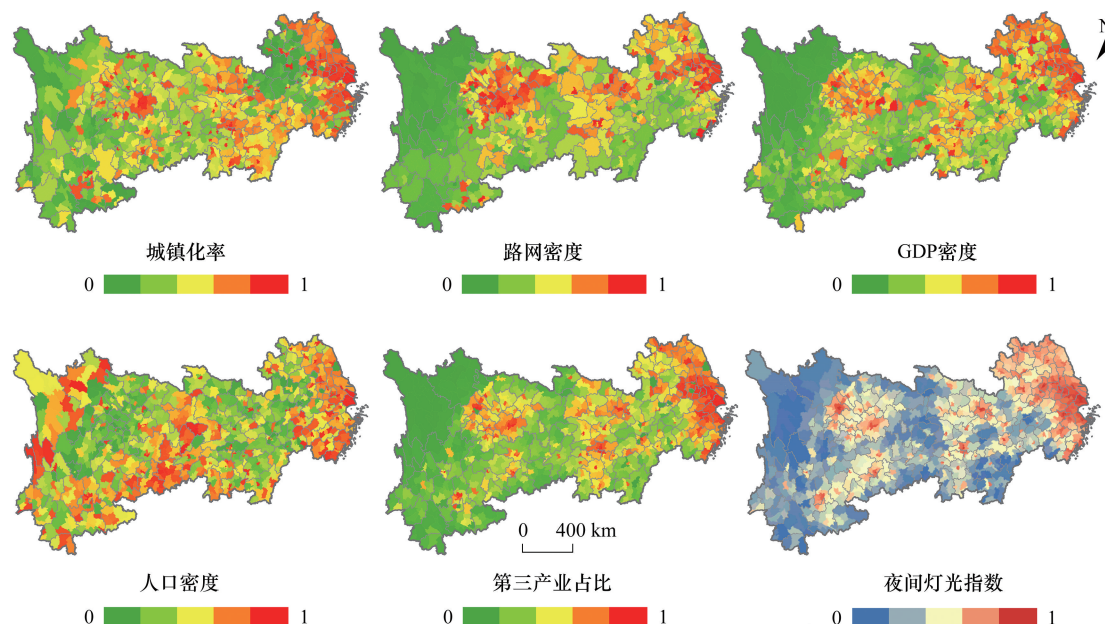


图2 长江经济带社会经济指标空间特征

Fig.2 Spatial characteristics of socio-economic indicators in the Yangtze River Economic Belt

等地区的绝大部分县级单元,并延伸至南京、扬州、镇江等的部分县市;中部地区湖南省识别核心点 11 个,空间分布均较为分散,从侧面反映出该省国土空间发展水平相对均衡;西部地区有 7 个核心点位于成渝城市群内部,其中重庆市仅有一个核心点,但占核心点总面积的 9.24%,其他核心点呈现以其为中心的环形放射状分布。此外,长江两岸存在明显的空间发展水平差异,南岸核心点面积(3147.2 km²)约为北岸(1538.99 km²)的两倍,且长江及其支流穿过 20 个核心点。这表明河流作为长江经济带形成和发展的空间基础,以长江水系为依托的沿江综合交通体系对其空间格局的塑造具有重要影响。

2.2 多情景发展阻力面对比

长江经济带国土空间发展阻力表征指标如图 4,各指标均呈现明显的空间集聚特征。构建出七类情景下发展阻力面(图 5),在 $a=1000$ 时,国土空间开发受到的阻力值(R)最小,高阻力值分布在云南西南部、湖北西部、浙江南部等山区,表明在不考虑生态和农业层面发展目标时,地形平坦、交通便捷等具有区位优势的区域均适宜城镇化发展。而在 $a=0.001$ 时,国土空间开发受到农田生产力和生态服务功能重要性等权重较大的指标约束,仅在长江中下游和东部沿海地区形成适宜开发的低阻力区。通过比较 a 不同取值下的阻力分布特征,考虑结果的代表性和适用性,分别选取 $a=2$ 、 $a=1$ 、 $a=0.5$ 的评价结果作为城镇扩张情景、协同发展情景和生态约束情景的空间发展阻力面。

三种情景下低阻力值的研究单元数量相差较小,而高、中阻力的研究单元数量差别较大,这表明决策偏好之间的差别是通过强化重要农业和生态空间对国土空间开发活动的约束实现,能够满足不同决策愿景下的国土空间发展蓝图刻画需求。城镇扩张情景中,农业和生态风险的约束被弱化,阻力高($R \geq 90$)、中($10 < R < 90$)、低($R \leq 10$)值县级单元分别占总数的 12.4%、63.5%、24.1%。高值区主要分布于研究区东部,如浙江南

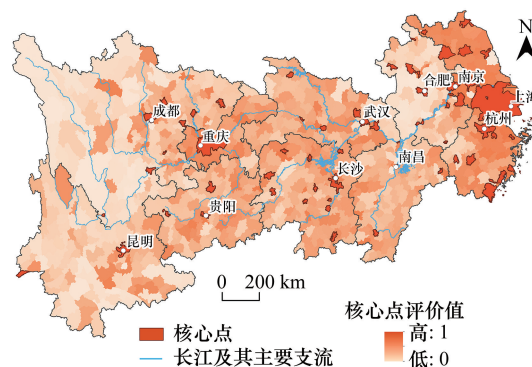


图3 长江经济带国土空间发展核心点

Fig.3 The core points of territorial space in the Yangtze River Economic Belt

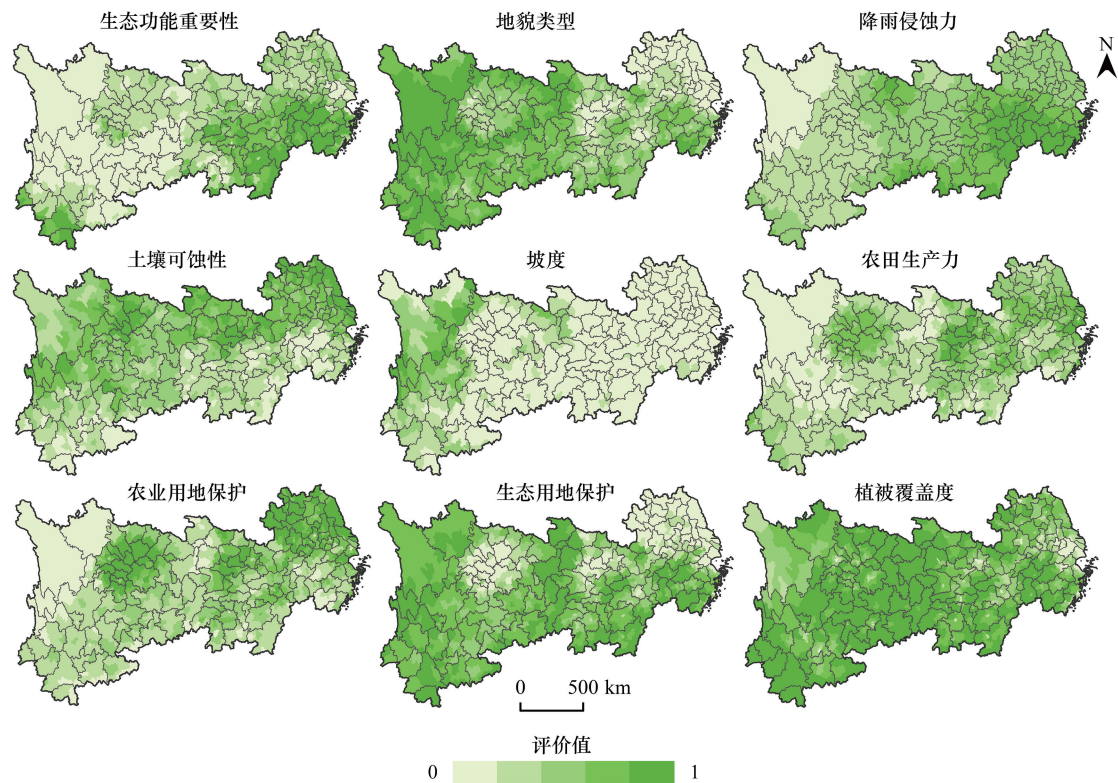


图 4 长江经济带国土空间发展阻力表征指标空间特征

Fig.4 Spatial characteristics of the indicators characterizing the resistance to territorial space

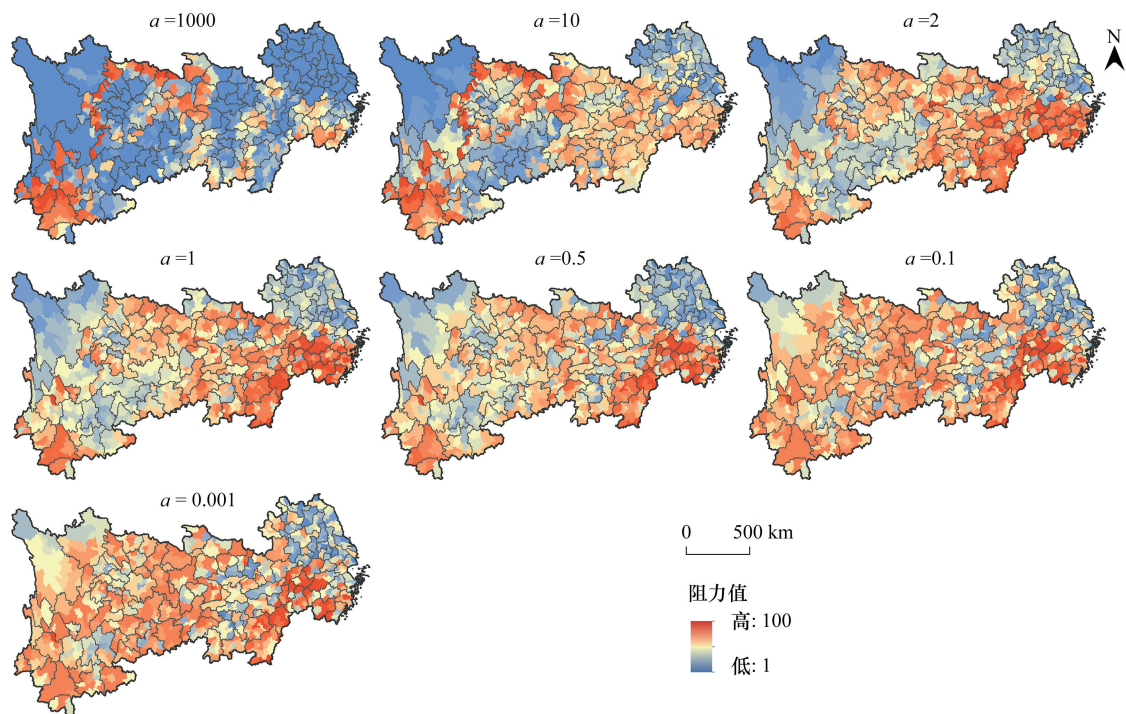


图 5 不同情景下的空间发展阻力面

Fig.5 The resistance surface of spatial development in different scenarios

a 为表征决策风险的幂指数

部延伸至江西、湖南等生态用地占比和生态功能重要性高的地区;生态约束情景中,空间开发活动面临的环境阻力被放大,阻力值的空间分布更加分散,阻力高、中、低值县级单元分别占总数的 29.8%、45.3%、24.9%,江苏北部、安徽北部和四川西北部为低阻力值集中区域;协同发展情景中,阻力值的分散程度介于城镇扩张与生态约束情景之间,阻力高、中、低值县级单元分别占总数的 22.6%、54.1%、23.3%,江苏、安徽两省综合阻力明显低于其他区域。根据不同情景的阻力值分布(图 6),城镇扩张、协同发展和生态约束三种情景下阻力平均值分别为 51.35、51.73、52.65,各情景下阻力值差异控制在合理范围内,在体现决策偏好微调的同时保障了蓝图刻画的科学性。

2.3 多种决策愿景下空间发展格局

不同决策愿景下国土空间电流密度、中心度及发展轴线如图 7 所示,电流密度值呈现东部高、西部低的空间特征,其中长三角城市群至成渝城市群的主轴上电流密度最高,且其走向与长江流向相吻合。中心度较高的核心点往往分布于长江及其支流沿线,在网络空间中处于核心地位,具有更大的空间影响范围,且呈现出与长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群较为契合的组团形式,涂建军等学者对长江经济带网络空间的研究也呈现类似特征^[33]。城镇扩张情景、协同发展情景和生态约束情景下的轴线覆盖的县级单元分别占总数的 36.6%、36.5 和 36.7%,均略高于当前重点开发区域在主体功能区中的比重(32.8%),与吴常艳等学者对长江经济带城市经济联系的空间格局以及冯兴华等学者对城市引力强度的研究结果一致,长三角城市群空间联系紧密形成向内陆区域的辐射通道^[5,34]。值得注意的是,三类情景下国土空间发展轴线总体走向较为一致,但中部与西部轴线格局较东部存在更大差异,如云南西部、渝黔鄂湘四省交界处以及湖北西部等区域,通过分析发现这些区域均分布有重要生态功能区。此外,城镇扩张情景、协同发展情景和生态约束情景下的发

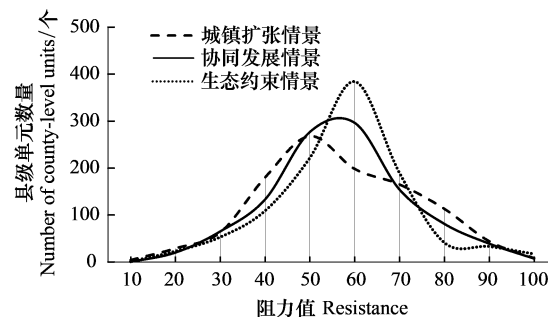


图 6 不同情景下县级单元的空间发展阻力值分布

Fig.6 Distribution of resistance of county-level units in different scenarios

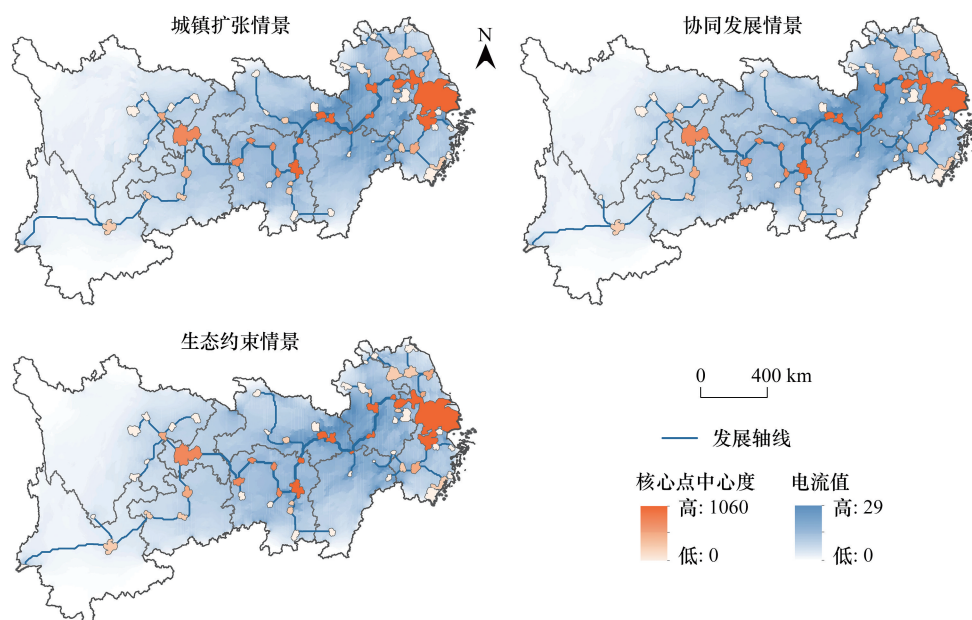


图 7 不同情景下长江经济带国土空间发展轴线

Fig.7 Development axis of territorial space in the Yangtze River Economic Belt under different scenarios

展轴线所包括的县级单元并未呈现单调递减的特点,如云南、贵州两省。其主要原因是云南、贵州大部分区域地形地貌复杂、生态敏感性高,在城镇扩张导向下空间阻力被强化,因而更倾向于在空间阻力更低的东中部县级单元扩张,而生态约束情景下,云南、贵州两省生态和农业空间产生的阻力被弱化,更多的县级单元被识别为具有较高发展潜力的发展轴。

城镇扩张情景下发展轴线长度约为 6398 km,约占研究区总面积的 29.9%,覆盖的县级单元在东、中、西部分布较均衡;生态约束情景下发展轴线总长度约为 6723 km,约占研究区总面积的 29.8%,东部和中部地区覆盖的县级单元明显多于西部,空间开发活动更倾向于布局在发展基础好、农业和生态约束小的区域;协同发展情景下轴线总长度约 6375 km,约占总面积的 30.2%,轴线布局既体现了协调发展导向,又通过空间发展组团扩大区域辐射带动能力,形成生产、生活、生态权衡下的可持续空间发展格局。三类情景下发展轴线总体均呈现出“一横三纵”的网络化空间格局特征,“一横”即呈现西南-东北走向的贯穿东、中、西部的沿江发展轴(上海-云南),“三纵”则是南北延伸的东部沿海发展轴(江苏-上海-浙江)、中部发展轴(湖北-湖南)和西部发展轴(四川-重庆)。通过与当前三大城市群发展规划的对比分析,中部发展轴应加强长株潭都市圈与南昌都市圈之间的基础设施建设,提升该区域综合承载能力;西部发展轴需加强成渝发展主轴的协同发展,扩大对周边区域的辐射能力。

2.4 基于战略区的国土空间格局优化

开发战略区作为空间要素的主要汇集区域,在区域发展中具有较高的比较优势,成为区域国土空间开发格局优化的关键。提取发展轴线内部高电流值区域作为开发战略区,城镇扩张、协同发展和生态约束三种情景下开发战略区数量分别为 25 个、29 个、28 个,主要分布于中下游省份(图 8)。其中,城镇扩张情景下开发战略区主要分布于各省边界、长江与其支流交汇处,如岷江、嘉陵江、湘江和赣江与长江的交汇处,重庆与贵州、湖北与安徽的交界处,往往是空间要素流动较为活跃的地带。在此情景下建议加强对鄂赣皖、渝黔鄂湘等省份交界的关键连接区域的政策倾斜,促进要素的充分流动,推进长江经济带上中下游协同发展;生态约束情景下开发战略区多位于核心点之间连接的中点周围,成为两两核心点之间要素流动的“中转点”,实现以较少的发展单元保证核心点的有效连接。综合来看,不同情景下的开发战略区空间差异主要体现在贵州、浙江和江苏三省内,生态约束情景下其集聚特征更明显,其发展重点在于提升国土空间利用效率。而中部开发战略

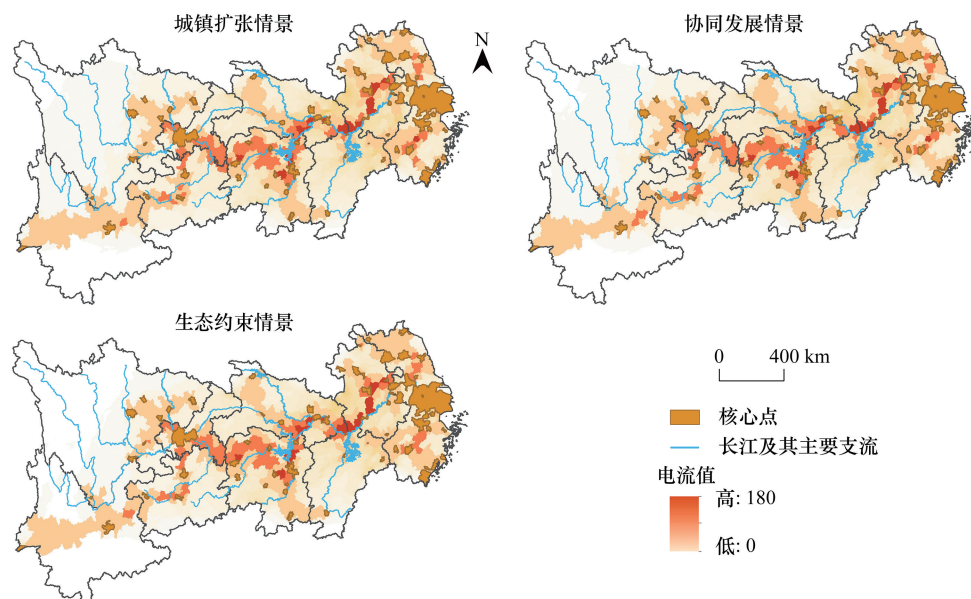


图 8 不同情景下的国土空间开发战略区

Fig.8 Strategic areas for the development of territorial space under different scenarios

区在长江经济带国土空间发展中的作用较为稳定,从资源环境承载能力强、经济和人口集聚条件好的开发战略区着手优化区域资源配置,有利于构建更科学有效的高质量国土空间开发格局。

保护战略区是轴线内部发展阻力较高、要素流动受到制约的区域,在生态安全和粮食安全保障中发挥着重要作用,发展过程中需着力提升空间利用效率、兼顾耕地与生态保护。本研究识别出城镇扩张、协同发展和生态约束三种情景对应的保护战略区数量分别为 56 个、38 个、39 个(图 9),其差异主要体现在重庆市东南部,该区域国土空间开发受到的生态环境制约较强,但同时对于成渝城市群和长江中游城市群的协同发展意义重大。具体来看,协同发展情景下保护战略区包括施甸县、营山县、桃源县、神农架林区、枞阳县、常山县等县市,多位于山区和盆地等地形区。一方面山区植被覆盖度较高,具有较高的生态功能,另一方面盆地地势低平、土壤肥沃,农业发展条件优良,权衡下城镇化发展相对受限。而城镇扩张情景下被识别为保护战略区的县域单元明显高于其他情景,这说明在侧重空间开发的愿景下更多的区域需加强生态环境保护与耕地安全保障。此外,三类情景下长江南岸保护战略区明显多于北岸,分析发现南岸整体经济水平高于北岸,但地形地貌等因素制约着资源环境承载能力的提升,面临日益增强的生态压力^[35],南岸应促进发展方式向环境友好和资源节约转变,构建社会经济发展与资源环境相协调的新发展格局。

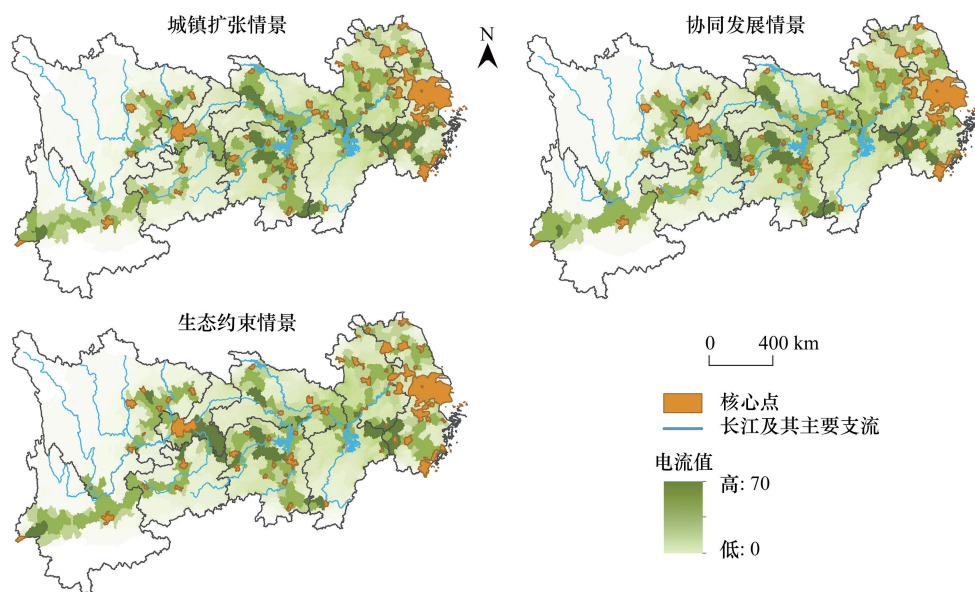


图 9 不同情景下的国土空间保护战略区

Fig.9 Strategic areas for the protection of territorial space under different scenarios

3 讨论

3.1 轴线宽度对国土空间发展格局的影响

国土空间发展轴线作为社会经济要素密集带,对相邻区域有辐射和扩散作用,轴线宽度的确定应符合自然、经济规律,并能够促进形成高效协调的空间格局^[24,36]。本研究基于协同发展情景,通过累积阻力值对轴线宽度进行调整,分析其对国土空间格局的影响(图 10)。四种宽度下所包含的县域单元数量分别为:390、431、509、628 个,分别占长江经济带总面积的 29.8%、33.0%、38.2%、46.9%。本研究发现,随着轴线宽度的成倍增加,轴线所包含的县域单元数量及占区域面积增长速度逐渐减缓,这表明由于空间要素流动相对集聚,轴线宽度越高并不意味着其效益越高。此外,随着轴线宽度的增加,轴线所覆盖的县域单元在长三角城市群和长江中游城市群内的增长幅度明显高于成渝城市群,这侧面反映了发展轴线过宽可能加剧长江经济带上中下游的发展差距。综合来看,本研究所设置的宽度为 200 的发展轴线,既能够协调重点发展区域在东、中、西部

地区的布局,又能够在整合资源、优化配置的同时促进区域协调发展。

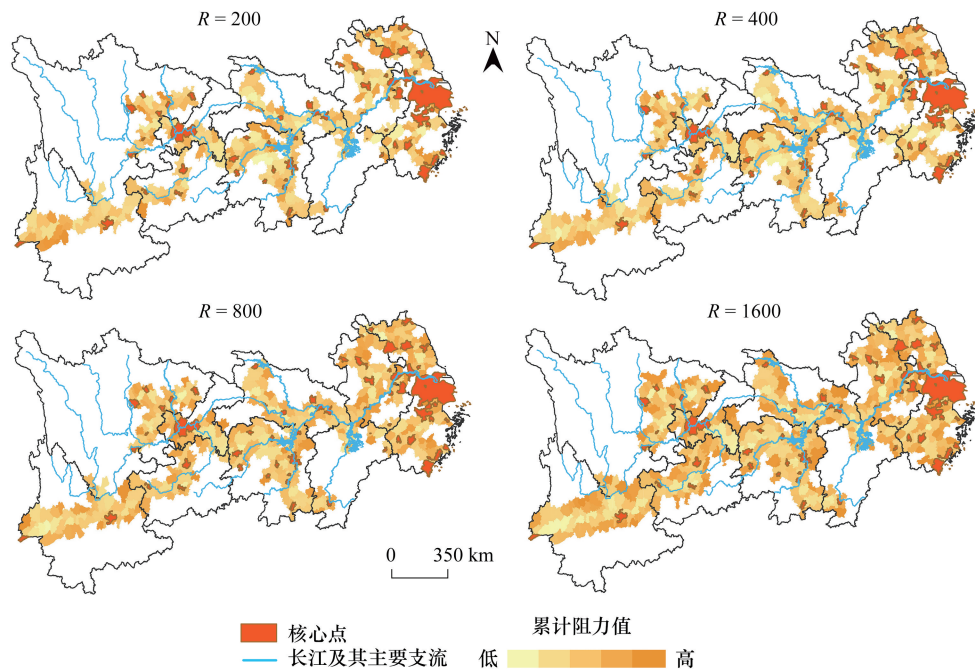


图 10 协同发展情景下不同宽度的轴线(200、400、800、1600)

Fig.10 Axes with different widths (200, 400, 800, 1600) under the scenario of synergistic development

R 为累积阻力值

3.2 国土空间要素流动与碳排放耦合分析

长江经济带作为国家生态文明建设的先行示范带,在“双碳”目标导向下,形成绿色低碳的国土空间新格局,是促进区域生态环境改善和经济社会高质量发展的重要前提^[37]。为验证“核心点-发展轴-战略区”研究框架下国土空间与低碳目标的耦合情况,本研究以各县域单元的累积电阻值表征国土空间发展过程,与碳排放量进行耦合分析。结果显示,三种情景下国土空间发展与碳排放量的耦合协调程度差别较小,且整体耦合协调度较低,大多处于0—0.4之间,属于低水平耦合阶段,无论何种情景未来国土空间开发与保护过程都需加强低碳管控。此外,长江中下游各县市累积电阻值与碳排放量耦合程度明显高于其他区域,主要由于长江中下游地区经济发展水平较高,空间要素流动密集,城镇化和工业化发展产生了大量的二氧化碳排放,因而在发展过程中应将碳中和目标纳入国土空间开发与保护全过程,促进长江经济带绿色低碳发展。

4 结论

长江经济带是我国社会经济发展的重要战略支撑,在“共抓大保护,不搞大开发”的绿色发展基调下,亟需构建科学的国土空间开发保护格局指导空间活动,以促进形成高效、协调的绿色经济带。基于此,本研究遵循“点-轴-面”的国土空间格局演变过程,探索绿色、协调的国土空间开发保护格局优化路径。

在“核心点”层面,长江经济带国土空间利用强度总体呈现东高西低的空间特征,提取出国土空间发展核心点共63个,约占区域总面积的5%,其中80%为国家主体功能区中重点开发区域。东、中、西部核心点数量呈递减特征,南岸核心点面积约为北岸的两倍,河流及路网对长江经济带空间格局的塑造具有重要影响;在“发展轴”层面,城镇扩张、协同发展和生态约束三种情景下发展轴线均为61条,呈现出“一横三纵”的格局特征。中部和西部区域轴线格局较东部存在更大差异,未来应通过长三角城市群、长江中游城市群和成渝城市群关键衔接区域的连通性建设,实现长江经济带东、中、西部协同发展;在“战略区”层面,中心度较高的核心

点多分布于长江及其支流沿线,城镇扩张、协同发展和生态约束三种情景下保护战略区面积高于开发战略区,在“长江大保护”的基调下制定差别化、针对性的国土空间开发保护政策,是形成高质量发展的国土空间开发保护新格局的重要基础。

本研究通过构建城镇扩张、协同发展和生态约束三种导向下空间阻力面,形成政策权衡下的空间格局优化方案,对不同决策愿景下各县级单元因地制宜的空间开发保护布局具有重要参考作用。但由于数据获取的限制,核心点识别仅基于各县级单元的国土空间利用强度数据,未来的研究中可考虑基于动态发展视角选择更多元、更详细的指标体系进行长时间序列的空间发展能力评价。其次,区域性的开发保护格局识别,在强调内部要素流动的过程中忽视了与研究区外的空间联系,同时,基于行政单元的开发保护格局构建,弱化了流域、地形区等区域自然特征。综合来看,研究形成的国土空间格局优化框架,有助于加深对各类空间发展需求的竞争与权衡关系的理解,城镇和农业发展制约下的生态安全格局或城镇发展和生态安全制约下的农业发展格局构建成为潜在的研究方向。

参考文献 (References):

- [1] 林坚,刘松雪,刘诗毅. 区域—要素统筹: 构建国土空间开发保护制度的关键. 中国土地科学, 2018, 32(6): 1-7.
- [2] 方创琳,周成虎,王振波. 长江经济带城市群可持续发展战略问题与分级梯度发展重点. 地理科学进展, 2015, 34(11): 1398-1408.
- [3] 樊杰. “人地关系地域系统”是综合研究地理格局形成与演变规律的理论基石. 地理学报, 2018, 73(4): 597-607.
- [4] 邓祥征,林英志,战金艳,何书金. 基于栅格数据的土地利用格局解释模型及应用. 地理科学进展, 2009, 28(6): 912-918.
- [5] 冯兴华,钟业喜,李峥荣,傅钰. 长江经济带城市体系空间格局演变. 长江流域资源与环境, 2017, 26(11): 1721-1733.
- [6] 胡盼盼,李锋,胡聃,孙晓,刘雅莉,陈新闻. 1980—2015 年珠三角城市群城市扩张的时空特征分析. 生态学报, 2021, 41(17): 7063-7072.
- [7] 战金艳,史娜娜,邓祥征. 鄱阳湖湖区核心生态系统服务功能空间辨识. 地理研究, 2009, 28(4): 1022-1030.
- [8] 樊杰. 中国主体功能区划方案. 地理学报, 2015, 70(2): 186-201.
- [9] 金贵,吴锋,李兆华,郭柏枢,赵晓东. 快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析. 生态学报, 2017, 37(23): 8048-8057.
- [10] 李欣,殷如梦,方斌,李在军,王丹. 基于“三生”功能的江苏省国土空间特征及分区调控. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1833-1846.
- [11] 王婧,李裕瑞. 中国县域城镇化发展格局及其影响因素——基于 2000 和 2010 年全国人口普查分县数据. 地理学报, 2016, 71(4): 621-636.
- [12] 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.
- [13] 于婧,汤昇,陈艳红,张蕾,聂艳,邓文胜. 山水资源型城市景观生态风险评价及生态安全格局构建——以张家界市为例. 生态学报, 2022, 42(4): 1290-1299.
- [14] Burger M, Meijers E. Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity. Urban Studies, 2012, 49(5): 1127-1149.
- [15] Tian Y Y, Tsendbazar N E, van Leeuwen E, Fensholt R, Herold M. A global analysis of multifaceted urbanization patterns using Earth Observation data from 1975 to 2015. Landscape and Urban Planning, 2022, 219: 104316.
- [16] 汪勇政,李久林,顾康康,陆林. 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. 生态学报, 2022, 42(5): 2022-2032.
- [17] Vasanen A. Functional polycentricity: examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centres. Urban Studies, 2012, 49(16): 3627-3644.
- [18] Hersperger A M, Grădinaru S, Oliveira E, Pagliarin S, Palka G. Understanding strategic spatial planning to effectively guide development of urban regions. Cities, 2019, 94: 96-105.
- [19] Jin G, Shi X, He D W, Guo B S, Li Z H, Shi X B. Designing a spatial pattern to rebalance the orientation of development and protection in Wuhan. Journal of Geographical Sciences, 2020, 30(4): 569-582.
- [20] 金贵,郭柏枢,成金华,邓祥征,吴锋. 基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架. 地理学报, 2022, 77(3): 534-546.
- [21] 邓宗兵,宗树伟,苏聪文,陈征. 长江经济带生态文明建设与新型城镇化耦合协调发展及动力因素研究. 经济地理, 2019, 39(10): 78-86.
- [22] 陈雯,孙伟,吴加伟,陈诚,闫东升. 长江经济带开发与保护空间格局构建及其分析路径. 地理科学进展, 2015, 34(11): 1388-1397.

- [23] 陆大道. 二〇〇〇年我国工业生产力布局总图的科学基础. 地理科学, 1986, 6(2): 110-118.
- [24] 王亚飞, 樊杰. 基于中国主体功能区划的国家与省级点-轴结构解析. 地理研究, 2019, 38(7): 1651-1663.
- [25] Qi Y, Lian X H, Wang H W, Zhang J L, Yang R. Dynamic mechanism between human activities and ecosystem services: a case study of Qinghai lake watershed, China. *Ecological Indicators*, 2020, 117: 106528.
- [26] 王利伟, 冯长春. 转型期京津冀城市群空间扩展格局及其动力机制——基于夜间灯光数据方法. 地理学报, 2016, 71(12): 2155-2169.
- [27] Peng J, Yang Y, Liu Y X, Hu Y N, Du Y Y, Meersmans J, Qiu S J. Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of the Total Environment*, 2018, 644: 781-790.
- [28] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 李春波. 北京市生态安全格局及城市增长远景. 生态学报, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [29] Liu H J, Niu T, Yu Q, Yang L Z, Ma J, Qiu S, Wang R R, Liu W, Li J Z. Spatial and temporal variations in the relationship between the topological structure of eco-spatial network and biodiversity maintenance function in China. *Ecological Indicators*, 2022, 139: 108919.
- [30] Jin G, Li Z H, Deng X Z, Yang J, Chen D D, Li W Q. An analysis of spatiotemporal patterns in Chinese agricultural productivity between 2004 and 2014. *Ecological Indicators*, 2019, 105: 591-600.
- [31] McRae B H, Beier P. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(50): 19885-19890.
- [32] 郭庆宾, 骆康, 刘承良. 长江经济带城市群要素集聚能力差异的比较研究. 地理科学进展, 2020, 39(4): 542-552.
- [33] 涂建军, 朱月, 李琪, 刘莉, 向文. 基于网络空间结构的长江经济带城市影响区划定. 经济地理, 2017, 37(12): 65-73.
- [34] 吴常艳, 黄贤金, 陈博文, 李建豹, 徐静. 长江经济带经济联系空间格局及其经济一体化趋势. 经济地理, 2017, 37(7): 71-78.
- [35] 王维, 张涛, 王晓伟, 文春生. 长江经济带城市生态承载力时空格局研究. 长江流域资源与环境, 2017, 26(12): 1963-1971.
- [36] 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.
- [37] 丁明磊, 杨晓娜, 赵荣钦, 张战平, 肖连刚, 谢志祥. 碳中和目标下的国土空间格局优化: 理论框架与实践策略. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1137-1147.