

基于DPSIR模型的北京城市生态韧性评价及演化特征

胡曾曾¹, 赵志龙^{2,3}, 于法稳⁴, 张贵祥⁵

(1. 北京市科学技术研究院, 北京 100089;

2. 河北师范大学 家政学院, 河北 石家庄 050024;

3. 河北师范大学 地理科学学院, 河北 石家庄 050024;

4. 中国社会科学院农村发展研究所, 北京 100732;

5. 首都经济贸易大学 城市经济与公共管理学院, 北京 100070)

摘要: 基于驱动力—压力—状态—影响—响应 (DPSIR) 模型, 论文对2010—2020年北京16个区的城市生态韧性进行测度及时空演化特征分析。结果发现: (1) 2010—2020年, 北京城市生态韧性的总体水平由较低升至中等。城市生态韧性评价指数的最高值一直在海淀区, 城市生态韧性的热点区也一直以海淀区为中心, 空间集聚特征明显。(2) 中心城区是城市生态韧性的热点区, 其城市生态韧性水平要高于非中心城区, 城市扩展情况、建设用地面积、财政支出总额、人均地区生产总值、城市道路里程等因素是北京城市生态韧性的主要影响因素。(3) 2030年, 城市生态韧性评价指数的最高值和城市生态韧性的热点区延续了自2010年以来形成的“高者恒高”“热点恒热”局面。论文深入探究北京城市韧性的演化特征, 对于厘清首都城市韧性发展规律、促进首都高质量发展具有重要理论意义和现实意义。

关键词: DPSIR模型; 生态韧性; 时空演变; 北京

中图分类号: X826; Q146 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2024)06-077-08

Evaluation and Evolution Characteristics of Urban Ecological Resilience in Beijing based on DPSIR Model

HU Zengzeng¹, ZHAO Zhilong^{2,3}, YU Fawen⁴, ZHANG Guixiang⁵

(1. Beijing Academy of Sciences and Technology, Beijing 100089, China;

2. College of Home Economics, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050024, China;

3. School of Geographical Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050024, China;

4. Rural Development Institute, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;

5. College of Urban Economics and Public Administration, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China)

Abstract: Based on the driver pressure state impact response (DPSIR) model, this paper measured and analyzed the spatiotemporal evolution characteristics of urban ecological resilience in 16 districts of Beijing from 2010 to 2020. The results show that: (1) From 2010 to 2020, the overall level of urban ecological resilience in Beijing increased from fairly low level to moderate level. The highest value of the urban ecological resilience had always been in Haidian District, and the hotspots of urban ecological resilience had always been centered around Haidian District with obvious spatial agglomeration characteristics. (2) The central urban area was a hot spot for urban ecological resilience, and its level of urban ecological resilience was higher than that of non-central urban areas. Factors such as urban expansion, construction land area, total fiscal expenditure, per capita GDP, and urban road mileage were the main influencing factors of Beijing's urban ecological resilience. (3) In 2030, it can be seen that the highest value of the urban ecological resilience and the hotspots of urban ecological resilience continue the trend of “higher always higher” and “hotspot constant heat” formed since 2010. This paper explored the evolution characteristics of Beijing's urban resilience, which has important theoretical and practical significance for clarifying the development laws of Beijing's urban resilience and promoting high-quality development of the capital.

Key words: DPSIR model; ecological resilience; spatio-temporal evolution; Beijing

基金项目: 北京市科学技术研究院北科萌芽计划项目“北京城市生态韧性时空变化评估研究”(23CE-BGS-18); 国家自然科学基金项目“多尺度的三江源区社会—生态系统干旱脆弱性与适应性治理研究”(42101293); 湖北省教育厅科学技术研究项目“多源数据融合的‘宜荆荆恩’城市群韧性评估与适应性治理”(Q20221207)

第一作者简介: 胡曾曾, 博士, 助理研究员, 研究方向为城市生态韧性。E-mail: huzengzeng@bjast.ac.cn

通讯作者简介: 赵志龙, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为社会—生态系统韧性。E-mail: zhaozhilong@bnu.edu.cn

0 引言

城市是最为复杂的社会—生态系统, 极其容易遭受来自外界或自身的扰动和冲击^[1]。人类已进入由人类活动主导的“人类世”^[2], 城市化已成为人类社会21世纪最具变革性的趋势之一^[3]。然而城市化和工业化在为人类带来福祉的同时, 也产生各类制约城市可持续发展的问题^[4-5]。城市经济发展与生态环境的关系是学术界长期关注的研究领域, 也是高质量发展所面临的现实问题。20世纪60年代, 美国学者Boulding提出生态经济学概念; 20世纪80年代, 在动态生态经济系统观点被提出后, 生态经济学开始兴起, 环境库兹涅茨曲线(EKC)等生态经济学的经典理论为城市发展与生态环境关系的研究提供了理论支撑^[6]。而后, 联合国《2030年可持续发展议程》、联合国《新城市议程》、美国洛克菲勒基金会“全球100韧性城市”项目等国际性倡议亦高度关注全球环境变化和城市可持续发展问题, 并将“韧性”列为城市可持续发展的核心目标之一^[5-7]。我国在《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中首次提出“建设韧性城市”。

韧性(resilience)最早来源于拉丁语(resilio), 意为“恢复到原始状态”。1973年, HOLLING^[8]首次将韧性概念应用到生态学领域, 当年他发表了具有开创性意义的著作《生态系统的韧性和稳定性》。在此著作中, HOLLING将韧性定义为“生态系统受到扰动后恢复到稳定状态的能力”, 并得到了学术界的广泛响应。自此之后, 韧性研究由生态学领域向工程、经济、社会等多领域拓展^[9-11]。洛克菲勒基金会(Rockefeller Foundation)、韧性联盟(Resilience Alliance)、联合国人居署(UN-Habitat)、联合国减灾署(UNDRR)等国际机构亦开展了韧性相关研究工作^[5, 12-14]。虽然各方见解有所差异, 但社会—生态系统是韧性研究对象的观点得到了各方普遍认同, 而不仅是自然生态系统或者人类社会系统^[15-16]。

21世纪以来, 随着城市面临的不确定性风险日益增加, “韧性”被引入城市研究和规划中。针对最复杂的社会—生态系统城市, 出现了“城市韧性”的概念, 拓宽了韧性研究的视角^[1, 17]。同时, 城市生态治理的核心任务也由减轻脆弱性向增强韧性转变, 建设韧性城市已成为国际社会普遍共识^[18]。学者们认为“城市韧性”的内涵包括城市生态韧性、城市经济韧性、城市基础设施韧性、城市制度韧性以及城市社会韧性^[5, 19-20]。此外, “城市韧性”也成为地理学、经济学、社会学、生态学、灾害学和城市规划等学科交叉研究的热门话题^[5, 21]。城市如何提

升自身韧性以应对冲击, 降低外界对自身的扰动, 在各种不确定性因素下实现自身的可持续发展, 是世界各国普遍面临和亟待解决的问题之一^[1, 21-22]。作为城市韧性的重要组成部分, 城市生态韧性亦受到了国内外学者的高度关注, 它已成为当前和将来城市发展与规划的重要方向^[18]。作为城市生态系统的固有属性, 学者们主要从韧性研究的均衡论和演化论等理论视角来定义“城市生态韧性”的内涵。均衡论视角的学者们认为城市生态韧性是城市生态系统面对不确定因素造成的风险干扰时所具备的预防、响应以及反弹恢复能力^[5, 18, 23-24]。演化论视角的学者们认为城市生态韧性是城市生态系统通过调整结构、系统重组、改变路径等实现吸收干扰以及转型发展的可持续性能力, 不像均衡论强调城市生态系统恢复到原有状态的反弹能^[18, 25]。同时, 学者们在理论框架^[5, 26]、指标体系^[27]、演化特征^[19]、影响因素^[28]、形成机制^[29]、优化路径^[30-31]等方面展开了国家、省域、城市群、地级市等空间尺度的城市生态韧性探究^[12, 32]。增强城市生态韧性已成为我国实现生态文明建设的重要举措^[33]。

作为我国首都, 北京在生态文明建设和高质量发展的时代背景下, 正在积极推进“韧性城市”建设, 特别是城市生态韧性的建设, 并于2021年出台了《关于加快推进韧性城市建设的指导意见》等政策性文件。现阶段, 虽然已有学者开展北京城市生态韧性相关研究工作^[34], 但对北京城市生态韧性的关注并不充分。从研究尺度来看, 相关研究多从京津冀区域或全国角度来分析, 从北京所属各区角度探讨北京城市生态韧性较为少见^[35]; 从研究内容来看, 相关研究探讨了经济发展水平与城市韧性的耦合协调关系, 在评价时仅将城市生态韧性作为城市韧性评估的一个环节, 而以北京城市生态韧性为主题进行研究则较为少见^[36]; 从研究方法来看, 现有涉及北京城市生态韧性的研究多以基于景观生态格局的规模—密度—形态体系构建评价指标体系^[34, 37], 而从演化韧性视角出发, 依托驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)或者压力—状态—响应(PSR)模型构建北京城市生态韧性评价指标体系的研究则较少; 从研究进展来看, 已有研究多基于静态视角对过去或当前的城市生态韧性进行评价, 鲜有学者对北京城市生态韧性进行动态模拟未来发展趋势的研究^[38]。

鉴于此, 本文可能的边际贡献为: ①研究内容上, 本文从北京所属各区角度出发探索北京的城市生态韧性, 一定程度上是对现有研究的有益补充; ②研究视角上, 演化韧性实现了韧性研究从稳定均衡到动态发展的跨越, 本文基于演化韧性视角, 综合评估北京城市生态

系统的韧性及其演化特征；③研究方法上，未来发展趋势在城市生态韧性研究中日益受到关注，而现有北京城市生态韧性未来趋势的文献仍显不足，本文应用动态模拟模型探析了北京城市生态韧性的未来发展趋势。

本文以北京为研究区域，以北京所属各区为研究尺度，选取2010年、2015年和2020年3个时间截面，基于驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)模型构建北京城市生态韧性评价指标体系，运用熵权法、热点分析模块(Getis-Ord G_i^*)对北京及其各区的城市生态韧性进行测度及时空演化特征分析，而后通过因子贡献度模型探究北京城市生态韧性的影响因素，进而运用CA-Markov模型预测2030年北京城市生态韧性，最后提出北京城市生态韧性发展建议，以期丰富和拓展北京城市韧性研究体系，为后续北京韧性城市建设和高质量发展提供相关参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文依据数据获取的可得性、科学性以及系统性，运用DPSIR模型构建北京城市生态韧性评价体系。研究所用数据主要来源于《北京统计年鉴2011》《北京统计年鉴2016》《北京统计年鉴2021》《北京区域统计年鉴2011》《北京区域统计年鉴2016》《北京区域统计年鉴2021》，其他少量数据从中国空气质量在线监测分析平台(www.aqistudy.cn/historydata/)获取。部分缺失数据采用线性插值法予以补充^[32]。

1.2 研究方法

1.2.1 DPSIR模型及指标体系构建

DPSIR模型是压力—状态—响应(PSR)模型、驱动力—状态—响应(DSR)模型和压力—状态—响应—压力(PSRP)模型的优化与发展，在经济合作与发展组织(OECD)、欧洲环境署(European Environment Agency)等国际机构和组织的推动下，该模型主要用于探究自然、经济、社会、政策、资源与生态环境等要素之间的关系^[39-40]，也已成为研究生态环境问题的框架体系^[41]。同时，源于适应循环理论的演化韧性的认知范式当前已常用于城市生态韧性研究^[42]。相关研究常从演化韧性视角出发基于DPSIR模型开展城市生态韧性测度工作^[41-42]，“驱动力”“压力”“状态”“影响”“响应”五个方面紧密联系，构筑起城市生态韧性的内部机理和演化过程。相较于其他研究，立足城市生态韧性本质的内涵，在DPSIR模型支持下，基于演化韧性视角的评价指标体系构建和韧性测度的研究工作，更加适合于目前的城市生

态韧性研究^[42]，有助于实现韧性研究由稳定均衡向动态发展迈进^[43]。

在城市生态韧性评价DPSIR模型(图1)中，社会、经济等要素常作为城市生态韧性的驱动力要素；压力表征对城市生态韧性水平施加压力的要素；状态表征在驱动力和压力共同作用下城市生态韧性水平的现状，其受驱动力和压力的作用而改变；影响表征各要素对城市系统所处自然和社会环境所产生的影响；响应表征面对自然和社会各要素冲击和扰动时人类社会可采取的应对举措的能力，进而使城市系统以预防、适应或者改善的方式做出响应，响应接着会反过来改善动力要素、调控城市系统压力、改变城市系统状态以及对影响产生作用^[12,40,44-45]。

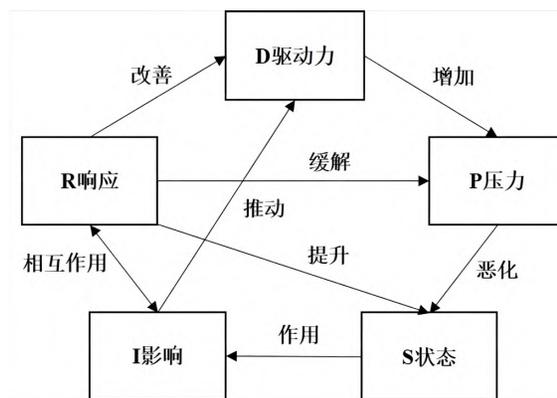


图1 城市生态韧性评价DPSIR模型

本文在参考相关研究^[12,40,44-47]的基础上，综合考虑北京城市系统各项特征，并基于DPSIR模型构建了北京城市生态韧性评价指标体系，总计23项指标，如表1所示。

表1 基于DPSIR模型的北京城市生态韧性评价指标体系

准则层	指标层	单位	权重
驱动力(D)	人均地区生产总值	万元/人	0.198
	人均住户储蓄存款余额	万元/人	0.190
	人均消费水平	万元/人	0.192
	人口密度	人/km ²	0.221
	城镇化率	%	0.199
压力(P)	SO ₂ 年平均浓度值	μg/m ³	0.256
	PM _{2.5} 年平均浓度值	μg/m ³	0.256
	建设用地面积	km ²	0.261
	化肥施用强度	t/km ²	0.227
	人口自然增长率	‰	0.212
状态(S)	农业产出系统结构熵		0.191
	农业机械总动力	kW/km ²	0.191
	植被退化		0.204
	土壤侵蚀		0.202
	林木绿化率	%	0.267
影响(I)	城市扩展情况		0.283
	空气质量指数		0.281
	非农产业区位商	%	0.169
	中小学生在人数	个	0.197
响应(R)	每万人医疗卫生床位数	张/万人	0.173
	福利机构床位数	张	0.171
	城市道路里程	千米	0.211
	财政支出总额	万元	0.248

1.2.2 数据归一化处理

由于各项指标原始数据的量纲与量级不同,运用极差归一化方法对各数据进行标准化处理,公式如下。

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } X_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中: X_{ij} 是各指标经过标准化处理后的数值, x_{ij} 是各指标的实际值, x_{\max} 是各指标实际值所构成序列中的最大值, x_{\min} 是各指标实际值所构成序列中的最小值。

1.2.3 综合评价法

本文运用熵权法确定各指标权重,其具体计算公式可参见相关研究文献^[12, 32, 40, 44-47]。运用综合评价法测度北京城市生态韧性。公式如下:

$$Y_i = \sum_{j=1}^n w_j X_{ij}, \quad i=1, 2, 3 \quad (3)$$

$$ERI = aY_1 + bY_2 + cY_3 + dY_4 + eY_5 \quad (4)$$

式(3)、(4)中: Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 、 Y_5 分别是驱动力、压力、状态、影响、响应准则层韧性评价指数,取值范围为 [0, 1]; X_{ij} 是各指标经过标准化处理后的数值; w_j 是各指标的权重; n 为指标数量; ERI 为北京城市生态韧性评价指数; a 、 b 、 c 、 d 、 e 是待定系数,且 $a+b+c+d+e=1$, 由于各准则层同等重要,令 $a=b=c=d=e=0.2$ 。此外,在参照暴向平等^[48]研究的基础上,将城市生态韧性水平划分为 5 个等级,如表 2 所示。

表 2 城市生态韧性等级划分

等级	低韧性	较低韧性	中等韧性	较高韧性	高韧性
评价值	[0.0, 0.2)	[0.2, 0.4)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1.0]

1.2.4 热点分析模块

热点分析模块(Getis-Ord G_i^*)是一种对局部区域进行空间自相关识别的有效方法,可用于探究局部地区和相邻空间的相关性^[32]。本文通过调用 ArcGIS 软件中热点分析模块来完成此项分析工作。此外,全局莫兰指数(Moran's I)也常用于空间自相关识别,但热点分析模块与之不同在于不仅可探讨局部区域的空间聚类特征,还可判别“热点区”和“冷点区”等^[32, 49-51]。

1.2.5 因子贡献度模型

为厘清各指标对北京城市生态韧性的影响,在障碍度模型^[52]基础上,结合障碍度与贡献度之间的互反逻辑关系,采用单指标因子贡献度模型^[53]来识别北京城市生态韧性的主要影响因素。公式如下:

$$O_j = \frac{I_j \times W_j}{\sum_{j=1}^n I_j \times W_j} \quad (5)$$

式中: O_j 指第 j 指标对于韧性贡献度; I_j 为指标偏离度,表示各指标实际值与最优目标之间的差距,通常用 1 与各指标的标准化值 Y_j 之差表示; W_j 为各指标的权重; n 为各指标的数量。

1.2.6 CA-Markov模型

CA-Markov 模型将元胞自动机(CA)模型与马尔科夫(Markov)链相结合,使得自身拥有空间维度和时间维度分析能力。该模型可将连续性空间分布元素和可能的空间分布转变融入马尔科夫链中,使马尔科夫链以 $t-1$ 至 t 时间节点的状态变化规律为基础,对 $t+1$ 时间节点的系统状态进行空间预测^[54]。本文即以 2010—2020 年的北京城市生态韧性变化规律为基础,运用 CA-Markov 模型预测 2030 年北京城市生态韧性,具体运算在 IDRISI 软件平台的 CA-Markov 运行模块中完成。

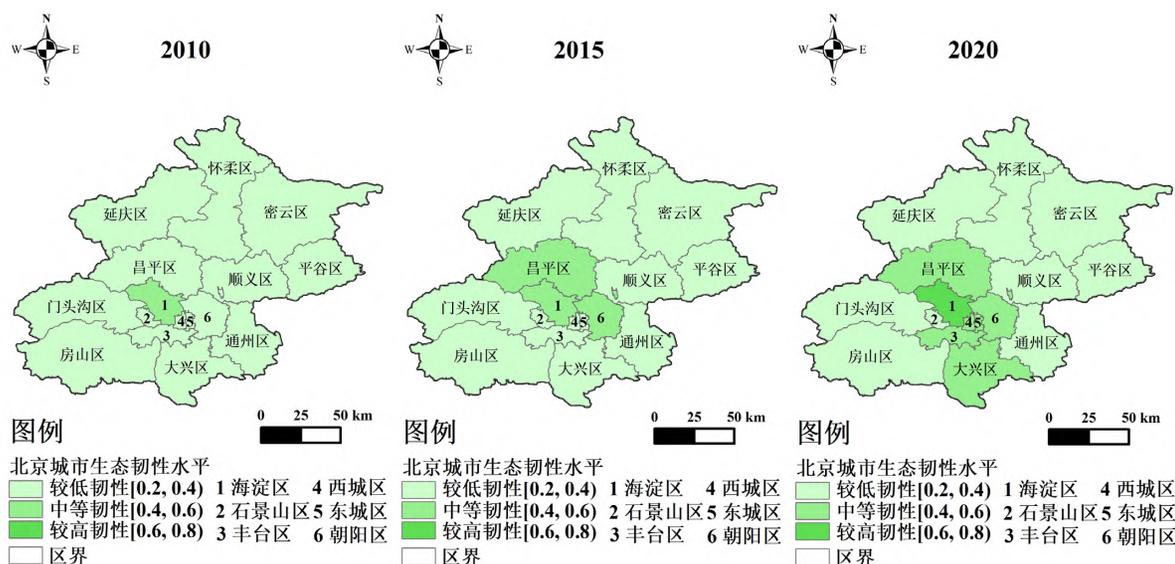
2 结果分析

2.1 北京城市生态韧性的时空演进特征

根据计算得到的生态韧性评价结果(图 2)可知,2010—2020 年,北京城市生态韧性评价指数平均值由 0.310 (2010 年)上升至 0.348 (2015 年)、再上升至 0.403 (2020 年),进而表征北京城市生态韧性的总体水平由较低韧性上升至中等韧性。

从时序特征来看,2010 年,城市生态韧性评价指数最高值为 0.462,在海淀区,达到了中等韧性水平;北京其余 15 个区均处于较低韧性水平,评价指数最低值为 0.241,在石景山区(图 2)。2015 年,城市生态韧性评价指数最高值为 0.519,仍在海淀区,达到中等韧性水平,此外,朝阳区、昌平区的城市生态韧性评价指数也达到了中等韧性水平;北京其余 13 个区仍处于较低韧性水平,评价指数最低值为 0.276,在房山区(图 2)。2020 年,城市生态韧性评价指数最高值为 0.604,仍在海淀区,进入了较高韧性水平,并体现出“高者恒高”现象;此外,有 6 个区的城市生态韧性评价指数达到了中等韧性水平,分别是朝阳区、昌平区、东城区、西城区、丰台区、大兴区;北京其余 9 个区仍处于较低韧性水平,评价指数最低值为 0.311,仍在房山区(图 2);总体来看,中心城区(东城区、西城区、海淀区、朝阳区、丰台区等)的城市生态韧性水平要高于非中心城区。

从空间特征来看,2010—2020 年,城市生态韧性的热点区一直以海淀区为中心(图 3),相对稳定,置信水平一直在 95% 及以上。围绕着海淀区,在 2010 年,西城区、石景山区也成为城市生态韧性热点区,至 2020 年,新增东城区、丰台区为城市生态韧性热点区。城市生态韧性的



注：北京市域底图来源于北京市地理信息公共服务平台，审图号为京S(2022)019号。图3、图4同。

图2 2010—2020年北京城市生态韧性时空分布格局

冷点区仅在2020年出现，为门头沟区，置信水平为90%。本段前述内容未提及的北京其余各区在研究时段内均为随机分布区(图3)。总体来看，北京16个区在2010—2020年的城市生态韧性评价中表现出“热点恒热”现象。

2.2 北京城市生态韧性的影响因素分析

根据单指标因子贡献度模型的计算结果，对城市生态韧性各评价指标的贡献度进行排序，取前5位评价指标^[35]为北京城市生态韧性的主要影响因素。进而可得，2010—2020年北京城市生态韧性的主要影响因素有城市扩展情况、建设用地面积、财政支出总额、人均地区生产总值以及城市道路里程。

从各准则层情况来看，在驱动力准则层面，人均地区生产总值的不断提升是北京城市生态韧性发展的动力

来源。在压力准则层面，建设用地面积表征着城市社会—生态系统所面临的挑战，城市建设用地的不断扩张给北京城市生态韧性带来威胁。在影响准则层面，本文用街道办事处和居委会新增数量表征城市扩展情况。城市扩展作为北京城市生态韧性的主要影响因素之一，表明城市发展是北京城市生态韧性产生显著正效应的关键。在响应准则层面，财政支出总额表征城市的经济实力，城市道路里程反映城市交通通达性，它们也是北京城市生态韧性产生显著正效应的关键。

2.3 北京城市生态韧性的未来变化模拟

由CA-Markov模型运算结果(图4)可知，2030年，北京城市生态韧性评价指数平均值已上升到0.530，进而表征北京城市生态韧性的总体水平已达到中等偏上水平。

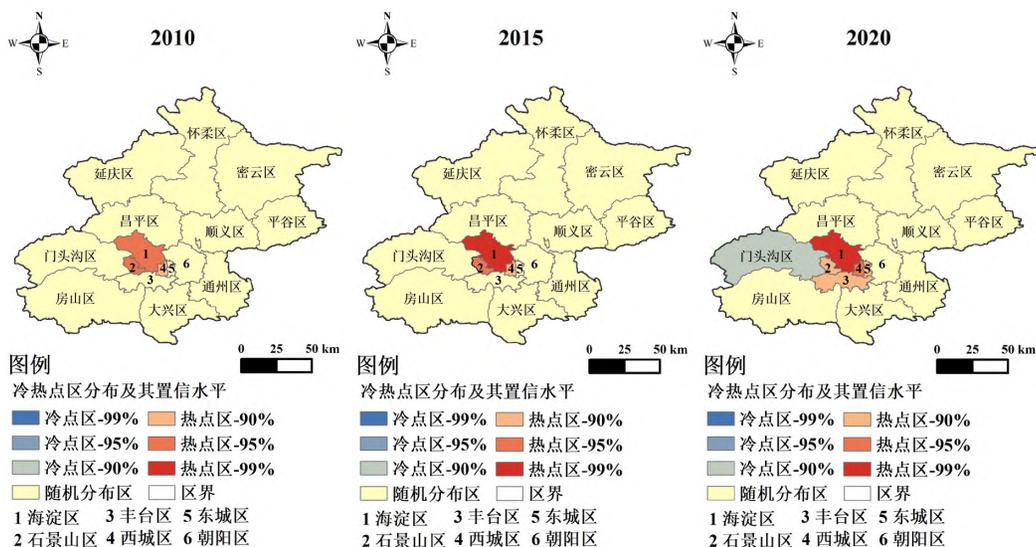


图3 2010—2020年北京城市生态韧性冷热点分布格局



图4 2030年北京城市生态韧性及其冷热点分布格局

2030年,城市生态韧性评价指数最高值为0.806,仍在海淀区,已达到高韧性水平,延续了自2010年以来的“高者恒高”现象;此外,有5个区的城市生态韧性评价指数达到了较高韧性水平,分别是朝阳区、东城区、西城区、丰台区、昌平区;北京其余10个区处于中等韧性水平,评价指数最低值为0.402,在延庆区(图4)。

2030年,城市生态韧性的热点区仍以海淀区为中心(图4),置信水平达99%。围绕着海淀区,西城区、石景山区、东城区、丰台区也是城市生态韧性热点区,置信水平达95%。新增朝阳区为城市生态韧性热点区,置信水平达90%。北京的其余10个区在2030年均处于随机分布区(图4)。总体来看,在2030年的城市生态韧性预测模拟中,北京城市生态韧性延续了自2010年以来的“热点恒热”现象。

3 结论与对策

3.1 结论

本文基于驱动力—压力—状态—影响—响应(DPSIR)模型对2010年以来北京城市生态韧性的时空演化特征及冷热点分布格局进行探究,主要结论如下。

(1) 2010年以来,北京城市生态韧性的总体水平已由较低韧性上升至中等韧性。中心城区(东城区、西城区、海淀区、朝阳区、丰台区等)的城市生态韧性水平要高于非中心城区,“高者恒高”“热点恒热”的现象显著。

(2) 2010—2020年,城市生态韧性评价指数的最高值一直在海淀区,城市生态韧性的热点区也一直以海淀区为中心,空间集聚特征明显。至2020年,海淀区进入城市生态韧性较高水平;东城区、西城区、朝阳区、丰台区等中心城区和昌平区、大兴区等近郊区进入城市生态韧性中等水平,而其余9区仍处于城市生态韧性较低水平。此外,海淀区、西城区、东城区、丰台区、石景山区等中心城区是2020年城市生态韧性热点区。城市扩展情况、建设用地面积、财政支出总额、人均地区生产总值以及城市道路里程等因素是2010—2020年北京城市生态韧性的主要影响因素。

(3) 从2030年北京城市生态韧性预测模拟来看,城市生态韧性评价指数的最高值和城市生态韧性的热点区延续了自2010年以来形成的“高者恒高”“热点恒热”局面。海淀区已进入城市生态韧性高水平阶段,朝阳区、东城区、西城区、丰台区等中心城区以及昌平区等近郊区也已进入城市生态韧性较高水平阶段。海淀区、西城区、石景山区、东城区、丰台区、朝阳区等中心城区成为2030年北京城市生态韧性热点区。

3.2 对策

韧性城市是城市发展的新范式。基于上述结论和研究结果,本文结合北京自身实际提出增强城市生态韧性的对策建议。

(1) 推进中心城区与非中心城区的城市生态韧性协同建设。2010年以来,北京城市生态韧性一直保持“高者恒高”“热点恒热”态势。东城区、西城区、海淀区、朝阳区、丰台区、石景山区等中心城区在城市生态韧性评价中值域和热点区多高于非中心城区,后续可协同推进北京16区城市生态建设,中心城区可通过技术溢出、制度溢出、人才溢出以及非首都功能疏解等与非中心城区协同推进首都城市生态韧性建设,打破中心城区与非中心城区的城市生态韧性两极化困境,进而推动首都全域高质量发展。

(2) 扩大海淀区城市生态韧性建设的辐射带动作用

和示范效应。2010年以来,海淀区一直保持着城市生态韧性评价指数的最高值和城市生态韧性热点区的中心,结合北京韧性城市建设的工作目标,可率先在海淀区建成一批韧性社区、韧性街区或者韧性项目,形成可复制的城市生态韧性建设典型经验,而后推广到中心城区、近郊区以及远郊区,进而充分发挥海淀区在韧性城市建设中的辐射带动作用 and 示范效应。

(3)提升城市生态韧性响应能力,构建城市感知体系。继续加强北京16区的基础设施建设,继续完善交通道路网络体系,提高各区交通保障能力和综合服务能力。在互联网、物联网、大数据、云计算平台、区块链以及人工智能等数字科技支撑的基础上,加大财政支出,着力构建首都城市生态韧性感知体系,实时动态监测北京城市生态韧性,实现各区智慧感知设施的共建共享、互联互通以及数字协同管理。[2]

参考文献:

- [1] 孙阳, 张落成, 姚士谋. 基于社会生态系统视角的长三角地级城市韧性度评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(8): 151-158.
- [2] WATERS C, ZALASIEWICZ J, SUMMERHAYES C, et al. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene [J]. *Science*, 2016, 351(6269): add2622.
- [3] KORHONEN J, SNÄKIN J. Quantifying the relationship of resilience and eco-efficiency in complex adaptive energy systems [J]. *Ecological Economics*, 2015, 120: 83-92.
- [4] 吕永龙, 曹祥会, 王尘辰. 实现城市可持续发展的系统转型[J]. 生态学报, 2019, 39(4): 1125-1134.
- [5] 赵瑞东, 方创琳, 刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2020, 39(10): 1717-1731.
- [6] 赵领娣, 孙兆旭. 海岸带城市经济发展质量与生态韧性协同发展演化及空间收敛特征[J]. 经济地理, 2023, 43(7): 119-129.
- [7] SPAANS M, WATERHOUT B. Building up resilience in cities worldwide: Rotterdam as participant in the 100 resilient cities programme [J]. *Cities*, 2017, 61: 109-116.
- [8] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 1973, 4: 1-23.
- [9] 郭卫东, 钟业喜, 冯兴华. 基于脆弱性视角的中国高铁城市网络韧性研究[J]. 地理研究, 2022, 41(5): 1371-1387.
- [10] WALKER B H, ANDERIES J M, KINZIG A P, et al. Exploring resilience in social-ecological systems through comparative studies and theory development: Introduction to the special issue [J]. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 12.
- [11] SMIT B, WANDEL J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282-292.
- [12] 李雪铭, 刘凯强, 田深圳, 等. 基于DPSIR模型的城市人居环境韧性评价: 以长三角城市群为例[J]. 人文地理, 2022, 37(1): 54-62.
- [13] 蒋正云, 刘庆芳, 宋金平. 中国区域经济韧性的格局特征及演化机制[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 1-12.
- [14] 彭坤杰, 许春晓, 贺小荣. 长三角地区城市人居环境韧性水平演化特征[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 74-84.
- [15] 宋爽, 王帅, 傅伯杰, 等. 社会-生态系统适应性治理研究进展与展望[J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2401-2410.
- [16] 刘焱序, 傅伯杰, 王帅, 等. 空间恢复力理论支持下的人地系统动态研究进展[J]. 地理学报, 2020, 75(5): 891-903.
- [17] 彭翀, 林樱子, 吴宇彤, 等. 基于“成本-能力-能效”的长江经济带城市韧性评估[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(8): 1795-1808.
- [18] 王松茂, 牛金兰. 山东省旅游经济与城市生态韧性协同演化研究[J]. 地理学报, 2023, 78(10): 2591-2608.
- [19] 张思思, 马晓钰, 崔琪. 中国城市韧性的时空动态演变及影响因素分析[J]. 统计与决策, 2023, 39(3): 110-115.
- [20] 黄梦涵, 张卫国. 中国四类资源型城市韧性水平比较与发展策略[J]. 经济地理, 2023, 43(1): 34-43.
- [21] 王璇, 史佳璐, 慈福义. 黄河流域城市群韧性度的时空演化特征[J]. 统计与决策, 2022, 38(5): 70-74.
- [22] 李彦军, 马港, 宋舒雅. 长江中游城市群城市韧性的空间分异及演进[J]. 区域经济评论, 2022(2): 88-96.
- [23] AHERN J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 100(4): 341-343.
- [24] MEEROW S, NEWELL J P, STULTS M. Defining urban resilience: A review [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 147(1): 38-49.
- [25] HOSSEINI S, BARKER K, RAMIREZ-MARQUEZ J E. A review of definitions and measures of system resilience [J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2016, 145: 47-61.
- [26] BOTEQUILHA-LEITÃO A, DÍAZ-VARELA E R. Performance based planning of complex urban social-ecological systems: The quest for sustainability through the promotion of resilience [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 56: 102089.
- [27] 于斌斌, 郭东. 长江中游城市群城市韧性的综合测度与提升路径研究[J]. 区域经济评论, 2022(6): 101-111.
- [28] 陈萱伊, 李俊翰, 谢炳庚, 等. 基于生态韧性评价的长株潭城市群生态廊道识别[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(5): 95-107.
- [29] BERKES F, JOLLY D. Adapting to climate change: Social-ecological resilience in a Canadian western arctic community [J]. *Conservation Ecology*, 2000, 5(2): 213-218.
- [30] LEBEL L, ANDERIES J M, CAMPBELL B, et al. Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological system [J]. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 230-250.
- [31] 傅伯杰, 刘彦随, 曹智, 等. 黄土高原生态保护和高质量发展现状、问题与建议[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1110-1117.
- [32] 吴菊平, 潘玉君, 骆华松, 等. 滇中城市群城市韧性时空格局演变及动态预测研究[J]. 生态经济, 2023, 39(8): 95-105.
- [33] 张阳, 谭良敏, 田鸣, 等. 基于PSR模型的城市生态韧性成长力评价指标体系构建及应用[J]. 水利经济, 2023, 41

- (5): 9-17.
- [34] NING X G, ZHANG X Y, ZHANG X Y, et al. A method for assessing urban ecological resilience and identifying its critical distance belt based on the "source-sink" theory: A case study of Beijing [J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(10): 2502.
- [35] 张永欢, 薛晔, 徐美玲, 等. 京津冀城市韧性动态预测及时空演进研究[J]. *管理现代化*, 2021, 41(5): 77-81.
- [36] 马德彬, 沈正平. 城市韧性与经济发展水平耦合协调研究: 以京津冀城市群为例[J]. *资源开发与市场*, 2021, 37(7): 820-827.
- [37] 汪东川, 龙慧, 王康健, 等. 京津冀城市群城市化强度与生态韧性的耦合协调分析[J]. *生态学报*, 2023, 43(15): 6321-6331.
- [38] 谭日辉, 陈思懿, 王涛. 数字平台优化韧性城市建设研究: 以北京城市副中心为例[J]. *城市问题*, 2022(1): 86-94.
- [39] OECD. OECD core set of indicators for environmental performance reviews: A synthesis report by the group on the state of the environment [R]. Paris: Organization for the Economic Co-operation and Development, 1993.
- [40] 朱晏君, 李红波, 胡晓亮, 等. 欠发达地区县域乡村社会-生态系统韧性研究[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2022, 45(1): 11-20.
- [41] 张明斗, 任衍婷, 周亮. 黄河流域城市生态韧性时空演变特征及影响因素分析[J]. *干旱区地理*, 2024, 47(3): 445-454.
- [42] 王松茂, 牛金兰. 黄河流域城市生态韧性时空演变及其影响因素[J]. *生态学报*, 2023, 43(20): 8309-8320.
- [43] BOSCHMA R. Towards an evolutionary perspective on regional resilience [J]. *Regional Studies*, 2015, 49(5): 733-751.
- [44] 于伯华, 吕昌河. 基于DPSIR概念模型的农业可持续发展宏观分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2004, 14(5): 70-74.
- [45] 钱田田, 王宏卫, 余芳瑞, 等. 基于DPSIR模型的新疆城市生态韧性评估及影响因素分析[J]. *华侨大学学报(自然科学版)*, 2023, 44(5): 84-91.
- [46] NATHWANI J, LU X L, WU C Y, et al. Quantifying security and resilience of Chinese coastal urban ecosystems [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 672: 51-60.
- [47] ZHAO R D, FANG C L, LIU H M, et al. Evaluating urban ecosystem resilience using the DPSIR framework and the ENA model: A case study of 35 cities in China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 72: 102997.
- [48] 暴向平, 张学波. 内蒙古经济韧性时空演化与影响因素分析[J]. *资源开发与市场*, 2021, 37(9): 1059-1065.
- [49] 曹小曙, 徐建斌. 中国省际边界区县经济格局及影响因素的空间异质性[J]. *地理学报*, 2018, 73(6): 1065-1075.
- [50] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [51] 王奇珍, 朱英明. 中国城市经济韧性及影响因素研究[J]. *生态经济*, 2021, 37(10): 84-92.
- [52] 张立江, 汪景宽, 裴久渤, 等. 东北典型黑土区耕地地力评价与障碍因素诊断[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(1): 110-117.
- [53] 徐晗. 基于熵权法的陕西省农业干旱脆弱性评价及影响因素识别[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(3): 198-205.
- [54] 王柯文, 秦见, 马海涛. 基于CA-Markov模型的重庆西部新城城市扩张时空演化模拟与生态响应[J]. *中国科学院大学学报*, 2023, 40(4): 496-505.

(责任编辑: 张海艳)

(上接76页)

- [3] 杨宏山. 双轨制政策试验: 政策创新的中国经验[J]. *中国行政管理*, 2013(6): 12-15.
- [4] [英]大卫·皮尔斯, 等. 绿色经济的蓝图: 绿化世界经济[M]. 初兆丰, 张绪军, 译. 北京: 北京师范大学出版社, 1997.
- [5] 李杨, 魏磊. 美国绿色经济理念下的贸易摩擦隐患及中国对策[J]. *东北亚论坛*, 2012, 21(6): 33-38.
- [6] 赵彦珍, 林寅, 陈昊. 发达国家建立绿色经济发展测度体系的经验及借鉴[J]. *经济纵横*, 2011(1): 34-37.
- [7] 肖军. 绿色革命对印度农业发展的影响[J]. *世界农业*, 2017(1): 53-57.
- [8] 联合国粮农组织. 绿色气候基金批准智利、吉尔吉斯斯坦和尼泊尔气候变化应对计划[J]. *世界农业*, 2019(12): 122-123.
- [9] 刘思华. 对可持续发展经济的理论思考[J]. *经济研究*, 1997(3): 46-54.
- [10] 苏时鹏, 张春霞, 翟光红. 绿色政策执行的博弈分析[J]. *中国环境管理*, 2003(6): 8-10.
- [11] 陈华文. 论现代绿色经济如何继承“天人合一”的思想精髓[J]. *湘潮(下半月)*, 2012(2): 63-64.
- [12] [美]查尔斯·林德布罗姆. 决策过程[M]. 竺乾威, 胡君芳, 译. 上海: 上海译文出版社, 1988.
- [13] 和经纬. 中国公共政策评估研究的方法论取向: 走向实证主义[J]. *中国行政管理*, 2008(9): 118-124.
- [14] [美]埃贡·G·古贝, [美]伊冯娜·S·林肯. 第四代评估[M]. 秦霖, 蒋燕玲, 等译. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [15] [美]弗兰克·费希尔. 公共政策评估[M]. 吴爱民, 李平, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2003.
- [16] 陈振明, 曹瑞阳. 引进台湾人才政策执行困境的生成逻辑: 基于S市Z制度执行的案例研究[J]. *台湾研究集刊*, 2022(2): 122-140.
- [17] ROTHWELL R, ZEGVELD W. Reindustrialization and technology [M]. London: Logman Group Limited, 1985.

(责任编辑: 冯胜军)