

环渤海城市人居环境韧性水平 演化特征

王靖琪

辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2025年8月2日; 录用日期: 2025年9月4日; 发布日期: 2025年9月17日

摘要

在全球城市化与气候变化背景下, 提升城市人居环境韧性是推进中国式现代化建设的重大需求。环渤海地区作为国家重大战略区域, 其人居环境韧性研究对区域可持续发展具有重要意义。本文旨在探究环渤海城市群人居环境韧性的时空演化特征, 以揭示其发展规律与存在问题。基于人居环境科学与韧性理论, 构建包含自然、人、社会、居住和支撑网络五大维度的评价指标体系, 运用箱型图与GIS空间热点分析方法, 对2015~2024年环渤海17个地级及以上城市的韧性水平进行测度与分析。研究表明: 1) 时序上, 区域韧性水平整体显著提升, 但城市间绝对差异持续扩大, 呈现“扩张型”发展态势; 2) 空间上, 韧性水平呈现显著的正向空间相关性, 格局由初期分散状态演进为以天津、青岛为双热点的“核心-外围”梯度集聚结构, 辐射带动效应初步显现, 但北部沿海地区发展相对滞后。环渤海城市人居环境韧性建设成效显著, 但内部非均衡性问题突出。未来应强化核心城市的辐射带动作用, 并实施差异化策略促进区域协同发展, 研究可为高强度开发地区人居环境韧性优化与国土空间规划提供科学参考。

关键词

环渤海, 城市人居环境, 韧性水平, 时空演化, 热点分析, “核心-外围”梯度集聚结构

Evolution Characteristics of Human Settlements Resilience Level in the Bohai Rim Region

Jingqi Wang

School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning

Received: Aug. 2nd, 2025; accepted: Sep. 4th, 2025; published: Sep. 17th, 2025

文章引用: 王靖琪. 环渤海城市人居环境韧性水平演化特征[J]. 城镇化与集约用地, 2025, 13(3): 56-63.
DOI: 10.12677/ulu.2025.133006

Abstract

Against the backdrop of global urbanization and climate change, enhancing the resilience of urban human settlements has become a crucial imperative for promoting Chinese-style modernization. As a region of major national strategic importance, studying the resilience of human settlements in the Bohai Rim is highly significant for sustainable regional development. This paper aims to explore the spatio-temporal evolution characteristics of human settlement resilience in the Bohai Rim urban agglomeration, with the goal of revealing its developmental patterns and existing issues. Based on the theories of human settlement science and resilience, an evaluation index system was constructed encompassing five dimensions: nature, human, society, residence, and supporting networks. Using box plots and GIS spatial hotspot analysis methods, the resilience levels of 17 prefecture-level and above cities in the Bohai Rim from 2015 to 2024 were measured and analyzed. The research indicates that: 1) Temporally, the overall resilience level of the region has improved significantly, but the absolute disparities among cities continue to widen, showing an “expansive development trend”; 2) Spatially, the resilience level demonstrates significant positive spatial correlation, evolving from an initially dispersed pattern to a “core-periphery” gradient agglomeration structure with Tianjin and Qingdao as dual hotspots. While a preliminary radiation-driven effect has emerged, development in the northern coastal areas remains relatively lagging. Although the construction of human settlement resilience in the Bohai Rim cities has achieved notable results, internal imbalance issues remain prominent. Future efforts should focus on strengthening the radiating and driving role of core cities and implementing differentiated strategies to promote regional coordinated development. This study can provide scientific reference for optimizing human settlement resilience and territorial spatial planning in highly developed regions.

Keywords

Bohai Rim, Urban Human Settlements, Resilience Level, Spatio-Temporal Evolution, Hotspot Analysis, “Core-Periphery” Gradient Agglomeration Structure

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球城市化进程正深刻改变人类居住形态，城市在成为经济增长核心动力的同时，也日益面临生态污染、交通拥堵、热岛效应及社会风险等多重压力。在此背景下，城市韧性作为提升城市抵御、适应与恢复能力的重要路径，已成为实现可持续发展的关键方向[1]。党的二十大报告明确提出“打造宜居、韧性、智慧城市”，中国式现代化战略更强调“人与自然和谐共生”，推动区域协同与高质量城市群建设。

环渤海城市群作为国家北方经济的核心板块和对外开放的关键区域，不仅在国家战略布局中具有重要地位，还承担着引领区域协调发展和生态文明建设的使命。该地区生态本底脆弱、人地关系紧张，同时又高度依赖海洋经济，其人居环境韧性水平直接影响区域的可持续性与竞争力[2]。因此，开展环渤海城市群人居环境韧性研究，对构建安全、宜居且具有抗逆力的城市系统具有迫切现实意义。

既有研究在城市韧性与人居住环境领域成果丰富，但仍存在三方面局限：一是多关注物理韧性而忽视社会-生态复合系统的协同机制；二是多局限于评价分析，缺乏对系统抗冲击过程的深入探讨；三是研究对象多以单一城市或乡村为主，针对沿海快速城市化的区域型城市群研究较为缺乏。基于此，本文借

鉴韧性理论及人居环境科学, 对本研究的核心概念“城市人居环境韧性”进行如下界定: 它是指在外部扰动或慢性压力下, 城市社会-生态系统(具体由居住、自然、人类、社会与支撑五大子系统构成)通过有效调动其内在结构与功能, 所呈现出的一个动态、多阶段的综合能力。该能力具体体现为: 在冲击发生前具备良好的“抵抗”能力以维持系统基本稳定; 在冲击发生时能通过快速“恢复”以减轻损害并回归原有功能状态; 更重要的是, 在冲击发生后能够主动“适应”并学习, 通过系统重构实现结构优化与功能升级, 最终达成从低水平均衡向更高水平可持续发展状态的跃迁。基于此界定, 本文构建综合评价体系, 以环渤海城市群为实证范围, 分析 2015~2024 年其人居环境韧性的时空演变特征, 旨在提炼可推广的韧性建设模式, 为区域一体化发展与宜居城市建设提供科学参考。

2. 研究方法 with 数据来源

2.1. 研究区概况

环渤海地区是中国北方经济发展的核心区域与对外开放的关键门户。本研究以环渤海地区的辽宁、河北、天津和山东等 4 个省(直辖市)内 17 个地级及以上城市为研究对象, 空间范围涵盖京津冀、辽中南和山东半岛等重要城市集聚区。该区域具备典型的海陆交互与系统复合特征: 1) 作为国家“京津冀协同发展”与“环渤海合作区”战略的重要载体, 该区域以重要区位的空间基础承载了大量人口与产业, 贡献了北方地区核心的 GDP 总量, 是推动区域协调发展和现代化建设的重要增长极; 2) 地处渤海湾生态敏感带, 面临海水入侵[3]、地面沉降、风暴潮[4]及沿海洪涝等多重复合灾害风险, 同时受高强度工业化和城镇化带来的环境污染、生态退化等压力, 人地关系紧张, 系统脆弱性突出; 3) 整体仍属韧性较高地区, 基础设施建设与经济密度位居全国前列, 但内部差异显著, 呈现“中心-外围”分化格局, 京津双核韧性优势明显, 而中小城市尤其是资源型、传统工业型城市韧性支撑能力相对薄弱, 整体系统性协同能力亟待提升[5]。

本研究聚焦 2015~2024 年该区域城市人居环境韧性的时空演变与障碍机理, 其高度集中的战略功能、敏感交织的自然-经济压力与韧性格局的不均衡性, 为探索高强度开发地区人居环境安全与可持续发展路径提供了典型实证。

2.2. 指标体系构建与数据来源

城市人居环境系统是在特定地理背景下, 由居住、工作、文化等活动共同构成的复杂环境。本文依据吴良镛院士提出的人居环境五大维度[6](自然、人、社会、居住、支撑网络)及方叶林[7]关于韧性多维表征的观点, 构建城市人居环境韧性评价指标体系。首先基于五大维度初选指标, 再依据韧性内涵与指标指向进行二次筛选, 最终按科学性、可比性与数据可得性原则确定全部指标。数据主要来源于 2015~2024 年《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及各省统计信息, 缺失值采用相邻年份插值补全。具体指标体系结构见图 1。

2.3. 研究方法

1) 熵权法

本研究采用熵权法[8](EWM)确定指标体系的权重分配, 该方法通过信息熵原理实现客观赋权。对于正向和负向指标, 研究运用极差标准化方法进行数据预处理[9]:

正向指标:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

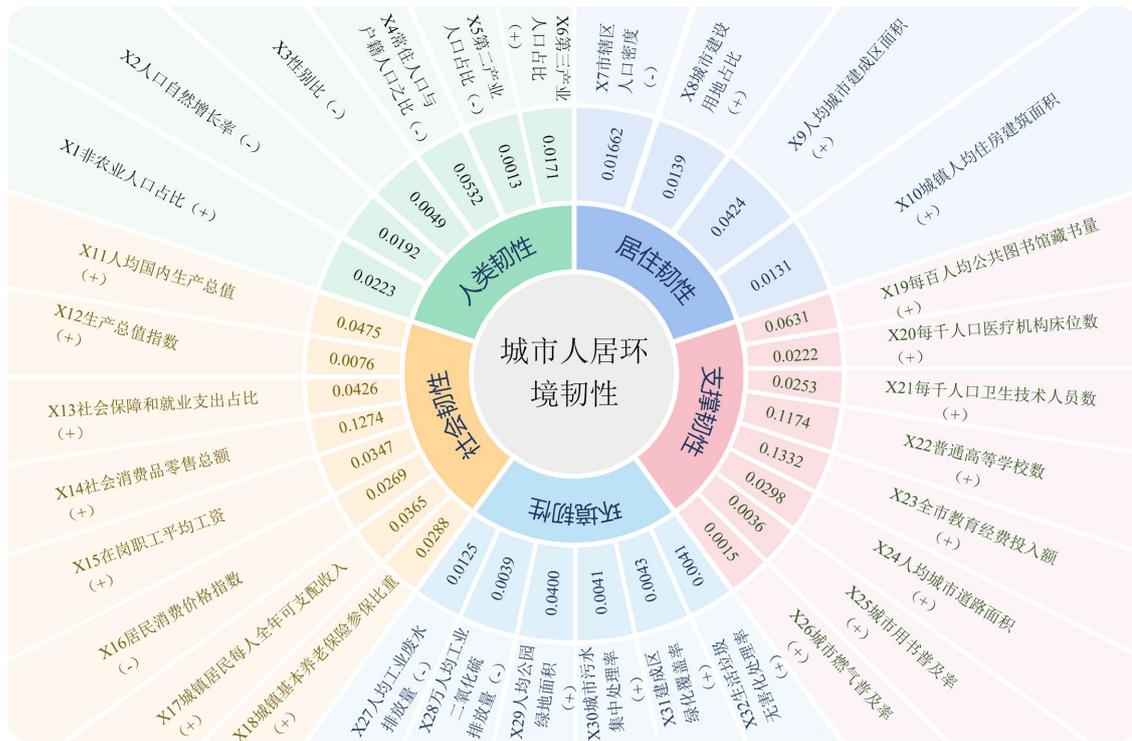


Figure 1. Comprehensive evaluation index system for urban human settlement resilience
图 1. 城市人居环境韧性水平综合评价指标体系

负向指标:

$$X_j = \frac{x_{\max} - x_j}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

在熵权法的计算过程中： x_i 和 x_j 分别代表原始数据矩阵中的具体数值，而 X_i 和 X_j 则是对这些原始数据进行标准化处理后的结果。标准化过程中， x_{\max} 和 x_{\min} 分别表示数据矩阵中的最大值和最小值，用于将原始数据转换为统一量纲的标准化数值，以便后续的权重计算和分析。

其次，采用熵权法确定各指标的权重。先要计算滨海城市人居环境韧性指标体系中各测度指标 X_{ij} 的信息熵 E_j [10]:

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \right) \ln \left(\frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \right) \right]$$

再计算滨海城市人居环境韧性指标体系中各标准化指标 X_{ij} 的权重 w_j :

$$w_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^m (1 - E_j)$$

2) 冷热点分析

热点分析 Getis-Ord G_i^* 用来识别地理要素在研究区内具有统计显著性的高值(热点)和低值(冷点)的空间聚类，可用于测度城市人居环境韧性的空间集聚特征[11]。公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}}$$

式中： G_i 指第*i*个位置的 Getis-Ord G_i^* 统计量； w_{ij} 指位置*i*和*j*之间的空间权重； x_j 指位置*j*的属性值； n 指要素总数。

3. 城市人居环境韧性水平时空演进分析

3.1. 韧性水平时序演变特征

本文通过箱型图综合研判了环渤海城市人居环境韧性水平的时序演变特征，研究结果表明其发展呈现出明显的整体性提升与内部差异扩大的双重趋势。

具体而言，首先从分布形态来看，17个地域单元的箱型图呈现密集集聚形态，数据离散程度较低且异常值较少(图2)。这表明绝大部分环渤海城市的人居环境韧性水平处于相近的发展阶段，仅有部分城市离散程度较大，说明滨海城市的区域一体化现象愈发明显。其次从时序变化来看，箱体随时间推移持续上移，清晰反映出整个城市群的韧性水平在考察期内得到全面提升。然而，通过对比各年份的最大值与最小值发现，城市间的绝对差距有所扩大。这表明环渤海城市的总体城市人居环境韧性水平在不断提升，但区内差异也随之拉大，呈扩张趋势。

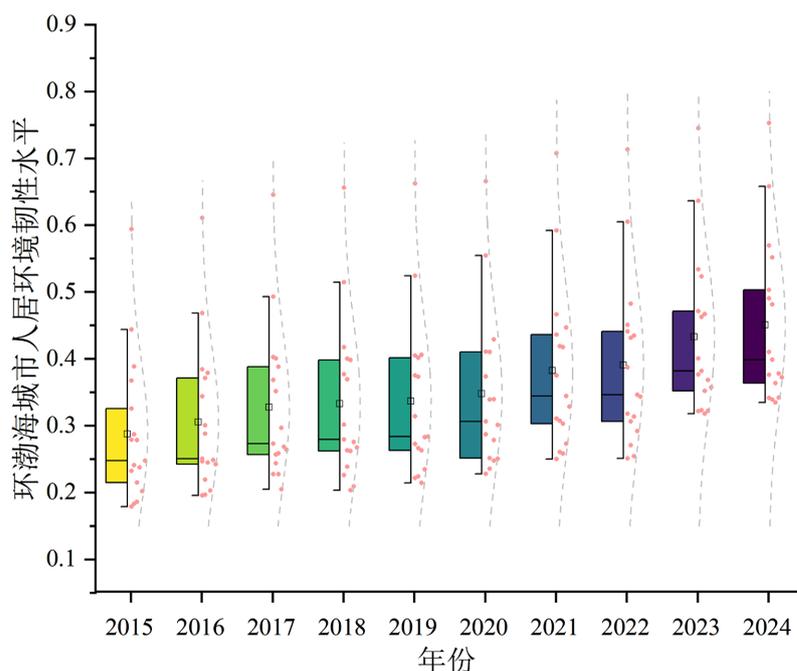


Figure 2. Temporal evolution characteristics of human settlement resilience levels in Bohai Rim cities
图 2. 环渤海城市人居环境韧性水平时序演变特征

总体而言，环渤海城市人居环境韧性建设虽取得显著成效，总体水平不断攀升，但区域内部的发展差异也同步显现，呈现出总体提升与区内分化并存的扩张型发展态势。

3.2. 韧性水平空间集聚特征

为探明滨海城市人居环境韧性水平的空间聚类特征，本研究基于 ArcGIS10.8 中的热点分析工具，借鉴自然断点分类法，将 2015、2020 及 2024 三个年份的局域统计量 G_i^* 划分为冷点区、次冷点区、过渡区、次热点区与热点区五个等级(图3)。结果显示，环渤海城市人居环境韧性水平在空间聚类上呈现从次冷点主导逐步演进为热点集群的明显趋势，区域协同与分化特征并存。

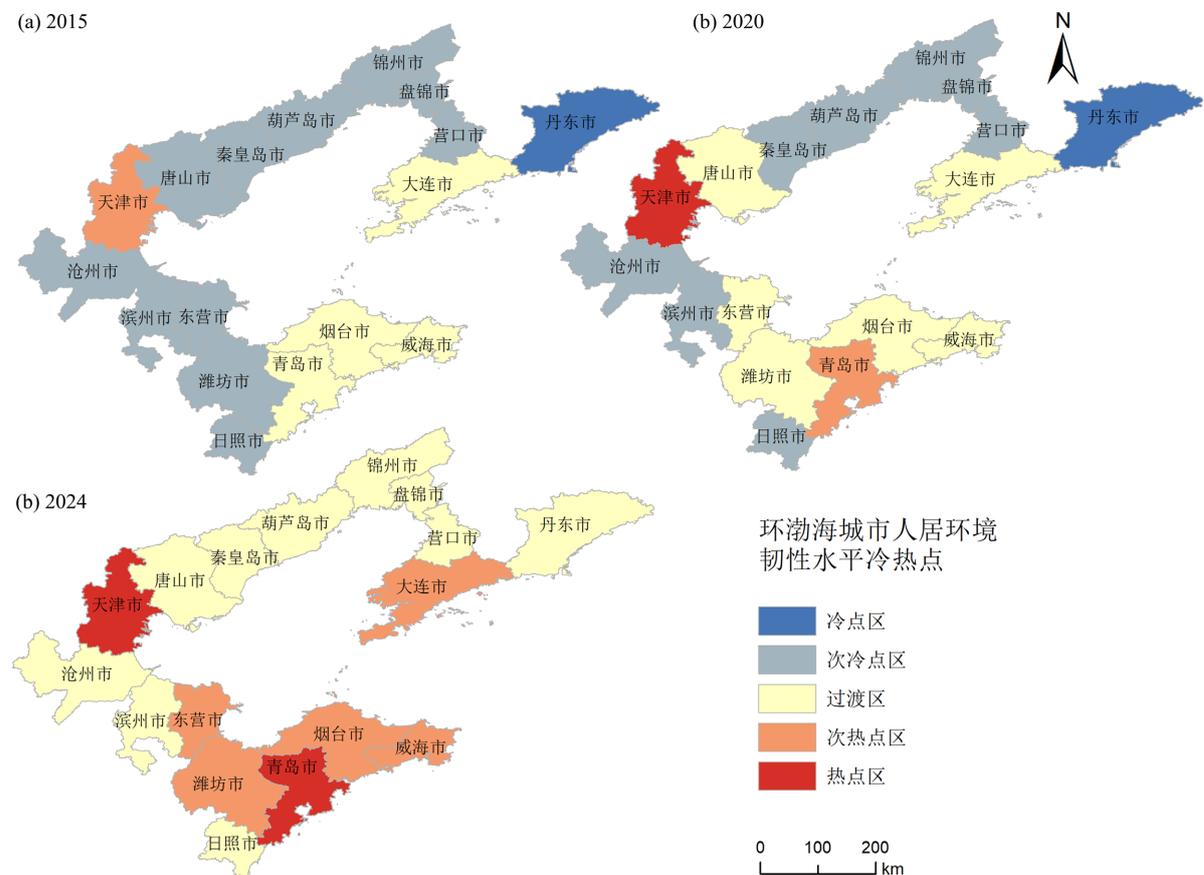


Figure 3. Spatial agglomeration characteristics of human settlement resilience level in Bohai Rim cities
图 3. 环渤海城市人居环境韧性水平空间集聚特征

从整体演变来看，2015 年以次冷点区与过渡区为主，天津市处于次热点状态，2020 年出现热点区，至 2024 年总体区域均达到过渡区及以上等级，反映出韧性水平空间格局的整体提升和集聚增强。

从分区聚类特征来看，2015 年次冷点广泛分布于除高值城市外的大部分地区，分布范围最为广泛，过渡区、次热点零星分布，不呈集聚态势；2020 年次冷点区开始收缩，多数区域转为过渡区及以上，青岛晋级次热点区，天津成为唯一热点城市；到 2024 年，已形成以天津和青岛为热点核心，青岛周边城市呈次热点集聚态势，大连处于北部沿海唯一一次热点城市，其余多个城市处于过渡区的层级化集聚格局，显示出区域正向同化的发展潜力。

总体而言，环渤海城市人居环境韧性水平空间集聚态势持续向好，已形成以天津、青岛为引领的热点集群，并带动周边地区韧性协同提升。然而，北部沿海部分城市在空间集聚速率方面仍相对滞后，未来需进一步关注其韧性协同发展路径，以促进区域整体均衡演进。

4. 结论

本文以环渤海城市群 17 个地级及以上城市为研究对象，构建了城市人居环境韧性评价指标体系，综合运用箱型图分析与 GIS 空间热点分析等方法，对 2015~2024 年研究区韧性水平的时空演化特征进行了实证研究。主要结论如下：

1) 时序演变上呈现“总体提升，差异扩大”的扩张型发展态势。环渤海地区城市人居环境韧性水平在考察期内整体获得显著提升，反映出区域韧性建设取得的积极成效。然而，城市间绝对差距同步拉大，

表明在整体向好发展的背后，内部非均衡性问题日益凸显，高水平城市与滞后城市间的分化加剧。

2) **空间格局上形成“双核引领，梯度集聚”的集群化分布特征。**韧性水平呈现出显著的空间正相关性，并随时间推移不断增强。空间格局从早期“次冷点主导”的分散状态，逐步演进为以天津、青岛为两大热点核心的集群结构，呈现出明显的中心-外围梯度特征。热点区的辐射带动效应初步显现，促进了周边区域的协同提升，但北部沿海等地区的发展动能仍相对不足，区域一体化均衡发展面临挑战。

3) **环渤海城市人居环境韧性的提升是政策驱动、经济基础与地理区位共同作用的结果。**天津作为国家中心城市与青岛作为区域经济中心，凭借其雄厚的经济实力、完善的支撑体系与战略区位优势，率先成为韧性发展的“增长极”。然而，固有的行政壁垒、资源禀赋差异以及产业转型步伐不一，也加剧了区域内部发展的异质性[12]。

5. 讨论

1) **与既有理论及研究的对话。**本研究从“演进韧性”(Evolutionary Resilience)的视角深化了对环渤海城市群韧性发展动态的理解。研究发现，“总体提升、差异扩大”的态势表明，该区域并未走向传统均衡发展理论所预测的收敛路径，而是呈现出典型的非均衡、非线性演进特征。这一过程印证了演进韧性理论的核心观点，即韧性并非静态地抵御或回归原状的能力，而是系统在应对扰动中不断学习、调整结构并实现更高层次发展的动态适应过程。天津与青岛作为韧性“双核”，不仅体现了“核心-外围”理论在韧性空间结构中的适用性，更反映出增长极通过集聚效应与扩散效应塑造区域韧性格局的关键作用。然而，当前“双核”以外区域的发展动能不足，也暴露出核心-外围结构可能强化区域内部差距的风险，这与方创琳等[13]关于城市群发育普遍存在核心-边缘结构的判断相一致，但进一步表明在生态本底脆弱、人地关系紧张的区域，纯粹的市场机制可能难以自发实现韧性的协同提升，必须引入区域协调治理与政策干预。

2) **政策启示。**基于上述理论认识，环渤海城市群的韧性建设应超越传统单一目标的灾害防治或经济振兴模式，转而采取一种契合“社会-生态系统”演进规律的协同治理路径。一方面，应依托“双核”城市的创新资源与制度优势，通过构建区域性基础设施网络、生态补偿机制和创新共同体，增强高韧性节点对周边的知识溢出、技术扩散与制度带动作用，推动韧性由“单点突进”向“网络化协同”演进。另一方面，须正视核心-外围结构下的异质性困境，对北部沿海等韧性滞后区域实施精准干预，重点突破生态修复、产业转型与公共服务短板等系统性的“韧性锁定”效应，通过培育特色韧性模块，如生态安全屏障、海洋适应性产业等，将其有机嵌入区域韧性网络，最终推动区域从“非均衡韧性”向“协同型韧性”转型，实现区域高质量协调发展的目标。

3) **研究不足与展望。**本研究从宏观层面刻画了韧性的时空格局，但对韧性演进中多尺度交互机制的理解仍显不足。未来研究可进一步融入政治经济学与制度变迁视角，运用质性比较分析(QCA)、动态系统模拟等方法，揭示不同城市在相似外部条件下呈现韧性路径分异的深层机理。此外，可引入“韧性体制”分析框架，探讨治理模式、市场力量与社会资本如何共同影响子系统间的耦合协调过程，从而在“过程-机制-模式”层面深化对城市群人居环境韧性复杂演化规律的认识。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 李睿倩, 单季香, 赵健, 等. 环渤海地区国土空间利用质量时空演化及障碍因子分析[J]. 地理研究, 2024, 43(3): 736-753.
- [3] 盖美, 徐晶晶, 岳鹏. 环渤海地区海岸带人地系统韧性空间关联网络特征及形成机制[J]. 资源科学, 2024, 46(3): 565-582.

-
- [4] 李南, 王筑城. 基于生态位理论的环渤海港口城市群演化: 格局变迁与共生策略[J]. 地理与地理信息科学, 2024, 40(3): 80-87.
- [5] 张学波, 李亚宁, 马海涛, 等. 基于适应性循环的环渤海地区经济韧性演化分异机制[J]. 地理研究, 2024, 43(5): 1126-1145.
- [6] 吴良镛. 区域规划与人居环境创造[J]. 城市发展研究, 2005(4): 1-6.
- [7] 方叶林, 苏雪晴, 黄震方, 等. 城市韧性对旅游经济的空间溢出效应研究——以长三角城市群为例[J]. 地理科学进展, 2022, 41(2): 214-223.
- [8] Shannon, C.E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, **27**, 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- [9] Jaynes, E.T. (1957) Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review*, **106**, 620-630. <https://doi.org/10.1103/physrev.106.620>
- [10] Wang, Y. and Luo, Y. (2010) Integration of Correlations with Standard Deviations for Determining Attribute Weights in Multiple Attribute Decision Making. *Mathematical and Computer Modelling*, **51**, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2009.07.016>
- [11] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [12] 尚虎平, 刘俊腾. 京津冀协同发展的政策效应及空间分异研究[J]. 地理学报, 2024, 79(8): 2020-2041.
- [13] 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.