

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2025.05.011

长江中游城市群城市韧性时空演变及关联网络研究

朱文娟, 黄涛, 曾豪

(湖南工业大学 经济与管理学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 基于2012—2021年长江中游城市群31个城市的相关数据, 从经济、社会、生态环境和基础设施4个维度构建了城市韧性综合评价指标体系, 用熵权法与地理信息系统(GIS)技术分析城市韧性综合水平及时空演变特征, 并借助社会网络分析法(SNA)探讨了城市间韧性的空间关联网络结构特征。研究发现: 10年间长江中游城市群的城市韧性水平较为稳定, 但韧性均值相对较小; 城市群内部的城市韧性水平呈现出核心—边缘的分化趋势, 逐渐形成了以武汉、长沙为中心的高韧性值“龙头城市”带动周边次级城市的空间发展格局; 城市之间韧性关联强度显著, 城市在网络中的地位和作用呈现出多样性, 武汉成为城市中下游城市群网络中的“中心领头人”, 其他城市充当“中介桥梁”或“边缘人”角色。

关键词: 城市韧性; 网络结构; 社会网络分析; 长江中游城市群

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2025)05-0074-08

引文格式: 朱文娟, 黄涛, 曾豪. 长江中游城市群城市韧性时空演变及关联网络研究[J]. 湖南工业大学学报, 2025, 39(5): 74-81.

Study on Spatio-Temporal Evolution and Correlation Network of Urban Resilience in Urban Agglomeration of the Middle Reaches of Yangtze River

ZHU Wenjuan, HUANG Tao, ZENG Hao

(School of Economics and Management, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: On the basis of relevant data from 31 cities in urban agglomeration of the middle reaches of Yangtze River from 2012 to 2021, a comprehensive evaluation index system has thus been constructed for urban resilience from four dimensions: economy, society, ecological environment, and infrastructure. By adopting the entropy weight method and geographic information system (GIS) technology, an analysis is made of the comprehensive level and spatio-temporal evolution characteristics of urban resilience, followed by an investigation of the spatial correlation network structure characteristics of resilience between cities by using social network analysis (SNA). Research has found that the resilience level is relatively stable for cities in urban agglomeration of the middle reaches of Yangtze River over a period of 10 years, while the average resilience tends to be relatively small; the resilience level of cities within urban agglomerations shows a core-to-the periphery differentiation trend, gradually forming a spatial development pattern of high resilience “leading cities” centered on Wuhan and Changsha, thus driving the surrounding secondary cities. There is a significant resilience correlation strength between cities, as well as a diversity in the status and role of cities in the network, with Wuhan becoming the “central leader” in the middle and lower reaches of the urban agglomeration network, and other cities acting as “intermediary bridges” or “marginalized role”.

Keywords: urban resilience; network structure; social network analysis; urban agglomeration of the middle reaches of the Yangtze River

收稿日期: 2024-01-11

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(23BGL259)

作者简介: 朱文娟, 女, 湖南工业大学副教授, 博士, 主要研究方向为社会保障与公共治理, E-mail: judy1101@163.com

1 研究背景

城市韧性 (urban resilience) 是城市系统在面对自然和社会的慢性压力以及急性冲击 (如自然灾害、经济波动、社会冲突等) 时, 展现出的抗压、存续、适应和可持续发展的能力。在城市发展风险问题日益受到关注的情况下, 城市韧性已逐渐成为城市复杂系统治理的核心议题。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中明确提出了建设韧性城市的目标, 强调提升城市的整体韧性和安全保障能力, 这标志着发展城市韧性已经上升为国家战略层面。

长江中游城市群作为我国中部地区的重要经济增长极, 对于促进区域经济的均衡发展和实现国家战略布局具有举足轻重的作用。然而, 在长江中游城市群快速发展的过程中, 环境污染、资源紧张、交通拥堵以及自然灾害等挑战逐渐显现, 对城市群的可持续发展 and 内部稳定性构成了威胁, 同时也对其抗风险能力提出了更高的要求。在此背景下, 本研究致力于深入分析长江中游城市群城市韧性的综合水平及其在时空维度上的演变特征, 探究城市间韧性的空间关联网络结构, 揭示城市间的相互影响和依赖关系, 以期为长江中游城市群高质量发展和我国韧性城市建设提供理论和实践参考。

城市韧性最早来源于 C. S. Holling^[1] 提出的生态系统韧性理论, 后来逐渐被应用到社会科学和城市研究中。城市韧性是一个多维度的概念, 根据国际韧性联盟定义, “韧性城市”指城市能够消化并吸收外界扰动, 同时保持原有主要特征、结构和关键功能的能力^[2]。进入 21 世纪后, 随着全球化和城市化加速, 城市韧性作为应对复杂城市问题的一个关键概念, 受到了越来越多的关注。

目前关于我国城市群城市韧性的相关研究可分为 4 类: 一是城市群城市韧性时空演变相关研究。王松茂等^[3]以演化韧性为研究视角, 从“抵抗—响应—创新”等维度构建黄河流域七大城市群生态韧性评价指标体系, 利用核密度估计和自然断裂法考察城市生态韧性的空间分异。贺丹等^[4]构建了创新韧性的测算指标, 并运用 Dagum 基尼系数、Markov 链等分析中国城市群创新韧性的时空演变特征。何志浩等^[5]从 3 个维度构建了中国城市群经济韧性综合评价指标体系, 运用核密度估计、重心—标准差椭圆和障碍度模型分析其时空格局演变特征及障碍因子。二是城市群城市韧性耦合协调研究。袁家德等^[6]运用耦合协调模型对长三角城市群城市韧性与土地利用效

益的耦合协调水平进行了分析; 马昊楠等^[7]通过构建评价体系, 利用改进耦合协调度系统剖析了城市群城市韧性时空演化特征及其影响因素; Sun J. 等^[8]通过结合熵权法、耦合协调度 (CCD) 模型和空间相关性分析, 在考虑空间聚类特征的同时, 测度城市韧性, 研究了子系统耦合协调关系; 三是城市群城市韧性驱动及影响因素研究。吴文洁等^[9]利用熵权法、方差分解法和障碍因子诊断法对 9 个国家中心城市的综合韧性、分项韧性和阻碍城市韧性提升的障碍因子进行了评价分析。蒋硕亮等^[10]基于洪涝情景构建了城市韧性评价指标体系, 并以河南省 18 个城市为研究对象, 开展城市韧性研究及障碍因素分析。四是城市群城市韧性关联网络结构研究。赵荣国等^[11]构建了基于贝叶斯网络模型的城市路网韧性评价模型, 评价了粤港澳大湾区内地 9 个城市的路网韧性。赖建波等^[12]分析了中原城市群内部人口流动规模与特征, 并从层级性、中断场景下传输性以及脆弱性对城市网络韧性进行评价。

以上成果体现了城市韧性研究的多样性和深入性, 特别在方法论和模型构建等方面做出了重要贡献。然而, 城市韧性的概念和理论体系仍在不断发展中, 需要更多跨学科研究和实证检验来进一步丰富和完善。本研究聚焦城市群内部城市之间的相互依赖性和协同效应, 有助于深刻理解城市系统的复杂性和动态性。此外, 通过 GIS 系统, 结合熵权法和社会网络分析, 验证城市韧性的多维度特征及其在时间序列上的变化规律, 为城市韧性理论提供了实证研究支持。

2 数据来源及研究方法

2.1 研究区域概况

长江中游城市群是以武汉城市圈、环长株潭城市群、环鄱阳湖城市群为主体形成的特大型城市群, 依托长江水运通道, 覆盖湖北、湖南、江西 3 省, 具有连接东西、贯通南北的区位优势, 对于促进中部地区的经济发展和长江流域的生态保护承担着重要使命。为确保研究区域空间单元的完整性、城市之间的可比性与数据的可获取性, 本研究选取包括抚州市和吉安市在内的共 31 个城市 (州) 为研究对象。

2.2 指标体系及数据来源

为了提升评价指标的科学性、真实性与规范性, 并准确捕捉长江中游城市群的城市韧性特征, 本研究综合考虑了经济、社会、生态环境和基础设施 4 个关键维度, 并结合文献 [13–15] 归纳总结出 27 个二级

指标(表1)。研究数据来源于《中国城市统计年鉴》、中经网统计数据库等,个别缺失数据采用贝叶斯插值法进行预测补全。

表 1 城市群城市韧性综合评价指标体系
Table 1 Comprehensive evaluation index system for the resilience of urban agglomerations

目标层	准则层	权重	指标层	意义及属性	权重
经济韧性	0.407		人均 GDP/元	经济基础(+)	0.081
			第三产业增加值占 GDP 比例/%	产业结构(+)	0.017
			城镇居民人均可支配收入/元	居民收入(+)	0.042
			第三产业从业人员比例/%	就业结构(+)	0.037
			地方财政收入/亿元	政府财政实力(+)	0.035
			实际使用外资金额/万美元	对外开放水平(+)	0.080
			社会消费品零售总额/亿元	居民消费水平(+)	0.115
			城镇职工基本医疗保险参保人数/人	社会保障(+)	0.070
			卫生医疗机构床位数/张	医疗投入(+)	0.048
			城镇失业率/%	就业水平(-)	0.026
社会韧性	0.268		城镇非私营单位在岗职工平均工资/元	经济保障(+)	0.025
			城镇非私营单位公共管理、社会保障和社会组织从业人员占比/%	管理水平(+)	0.017
			人口密度/(人·km ⁻²)	人口密集程度(-)	0.032
			每万人普通高校在校生人数/人	教育水平(+)	0.009
			老年人口占比/%	人口脆性(-)	0.041
生态环境韧性	0.235		建成区绿化覆盖率/%	城市绿化(+)	0.026
			人均公园绿地面积/m ²	居民生活环境(+)	0.009
			工业废水排放量/t	环境污染(-)	0.057
			工业 SO ₂ 排放量/t	环境污染(-)	0.048
			城市污水处理率/%	污水处理能力(+)	0.077
			生活垃圾无害化处理率/%	资源回收能力(+)	0.018
			全社会用电量/亿 kW·h	居民生活水平(+)	0.003
基础设施韧性	0.090		人均道路面积/m ²	交通发展状况(+)	0.025
			燃气普及率/%	能源供给能力(+)	0.010
			移动电话用户数/万户	信息扩散能力(+)	0.016
			公路货运量/万 t	物流辐射能力(+)	0.018
			建成区排水管道密度/(km·km ⁻²)	城市管理情况(+)	0.018

2.3 研究方法

2.3.1 熵权法

熵权法能够有效减少主观性对决策结果的影响,同时将数据之间的波动作为信息量进行权重分析,能够更好地解释所获得的结果。因此,本研究选择熵权法进行长江中游城市群城市韧性综合评价指标赋权,计算公式如下^[16-17]:

1) 构建原始评价矩阵。评价样本数量 $m=31$, 每个评价数据样本中包含 $n=27$ 项评价指标, X_{ij} ($i=1, 2, \cdots, m; j=1, 2, \cdots, n$) 为第 i 项评价指标第 j 个城市的实际值, 因此构成了 $m \times n$ 的原始评价矩阵:

$$X = (X_{ij})_{nm} \circ \tag{1}$$

2) 对数据进行标准化处理。27 个二级指标中, 负向指标有 5 个, 正向指标有 22 个, 使用极值标准化对数据进行处理。

$$\text{正向指标: } Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} + 0.0001; \tag{2}$$

$$\text{负向指标: } Y_{ij} = \frac{\max X_{ij} - X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} + 0.0001 \circ \tag{3}$$

式(2)(3)中: Y_{ij} 为标准化后第 i 个城市对第 j 项评价指标的数值; X_{ij} 为基础数据中第 i 个城市对第 j 项评价指标的数值; $\max X_{ij}$ 和 $\min X_{ij}$ 分别为第 j 项评价指标中的最大值和最小值。

3) 计算第 j 项评价指标下第 i 个城市的比例:

$$P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{j=1}^n Y_{ij} \circ \tag{4}$$

4) 计算评价指标的熵权:

$$E_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \circ \tag{5}$$

5) 计算评价指标的权重:

$$W_i = (1 - E_i) / \left(m - \sum_{j=1}^n E_i \right) \circ \tag{6}$$

上述计算方法最终得到评价指标数据的熵权法权重值如表 1 所示。

2.3.2 修正引力模型

引力模型综合考虑了地理因素, 能有效刻画空间关联关系的演进趋势^[18]。为确定长江中游城市群各城市间的韧性发展水平联系强度, 在借鉴史玉芳等^[19]的研究基础上, 对引力模型进行修正, 具体的计算公式如下:

$$F_{km} = K_{km} (L_k \times L_m) / D_{km}^2 \circ \tag{7}$$

式中: F_{km} 为城市 k 与城市 m 之间的引力; K_{km} 为经验常数, 用于表示城市空间联系的方向性; L_k 和 L_m 分别为城市 k 和 m 的城市韧性发展水平, 由熵权法

计算得出; D_{km} 为利用百度地图查询所得的两城市最短公路距离。

在修正引力模型的基础上,测算城市 i 对其他城市的联系总量,具体计算公式如下:

$$F_i = \sum_{j=1}^{31} F_{ij} \quad (8)$$

经过处理得到城市韧性发展水平的空间联系矩阵,将每行的平均值作为该行的阈值,高于阈值的记为 1,表示两城市间韧性水平发展存在关联;低于阈值的记为 0,表示两城市间韧性水平发展不存在关联。

2.3.3 社会网络分析

参考文献 [20–21],采用基于“关系数据”的社会网络分析方法探究长江中游城市群 31 个城市韧性空间关联网络结构及其属性特征。表 2 为空间关联网络结构特征相关指标及计算公式。表中, N 为长江中游城市群城市韧性空间关联网络的节点数量; q 为空间网络中与某一特定节点连结的节点数量; l 为各节点之间的关联数量; V 为不可达点对数; S_{pq} 为成员 p 与成员 q 之间的捷径距离; m_d 为存在逆向边的边数; m 为网络中的总边数; $C_{\max}$ 为最大中心度; C_q 为节点中心度; $g_{pk}(q)$ 为经过节点 q 并且连节点 p 与成员 k 的捷径数量; g_{pk} 为节点 p 与节点 k 之间的捷径总数量。

表 2 空间关联网络结构特征相关指标及计算公式

Table 2 Index and formulae related to structural characteristics of spatial association networks

指 标	计算公式
整体网络	网络密度 $d = l/[N(N-1)]$
	网络关联度 $C = 1 - [2V/N(N-1)]$
	互惠性 $\varphi = m_d/m$
	网络度数中心势 $C_{cp} = \left[\sum_{q=1}^N (C_{\max} - C_q) \right] / \left[\max \left[\sum_{q=1}^N (C_{\max} - C_q) \right] \right]$
	点度中心度 $C_R = q/(N-1)$
个体网络	接近中心度 $C_p = \left(\sum_{p=1}^N S_{pq} \right) / (N-1), p \neq q$
	中介中心度 $C_D = 2/[N(N-1)(N-2)] \sum_{p=1}^N \sum_{k=1}^N a_{pk}(q)$ $a_{pk}(q) = [g_{pk}(q)]/g_{pk}, p \neq q \neq k, p < k$

1) 整体网络结构。包括网络密度、网络关联度、互惠性和网络度数中心势 4 个指标。网络密度用于衡量网络的连通性;网络关联度用于探究网络的可达性和互动性;互惠性是指网络中两节点对彼此产生影响的可能性;网络度数中心势则用于说明网络中节点的集中趋势。2) 个体网络结构。包括点度中心度、接近中心度与中介中心度 3 个指标。点度中心度是空间网络关联结构中与该节点直接相连的关系数量,能够衡量一个城市与其他城市是否有或有多少直接

的韧性关联。接近中心度强调空间的距离最优,用以衡量城市间韧性关联的畅通度。中介中心度强调媒介城市战略区位的重要性,中介中心度高的节点在空间网络中具有较显著的中介作用。

3 城市韧性时空演化特征分析

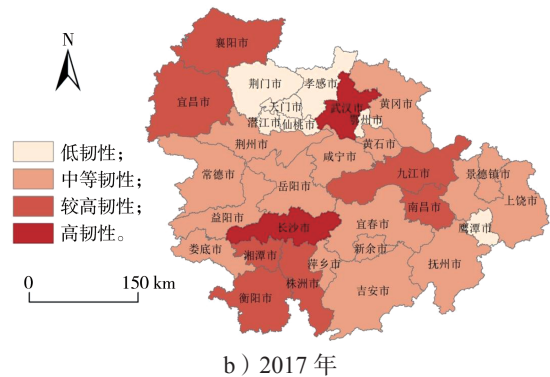
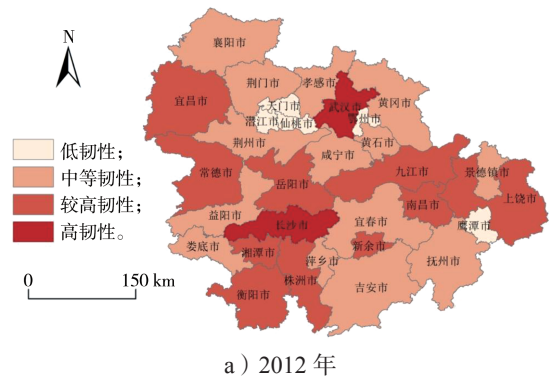
3.1 城市韧性综合水平测算

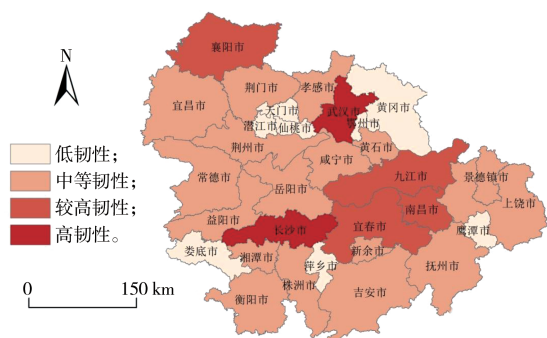
通过熵权法测算得出 2012—2021 年长江中游城市群 10 a 间城市韧性发展综合水平的均值在 0.256~0.283 间波动,整体水平偏低且发展不均衡。31 个城市中,武汉市以其 0.835 的城市韧性均值遥遥领先,位居榜首。紧随其后的是长沙市和南昌市,城市韧性均值分别为 0.659 和 0.434。天门市、仙桃市和潜江市的城市韧性综合水平最低,这可能与它们的经济基础、城市规划、基础设施建设以及对突发事件的应对能力有关。这些城市需要加大资源投入,以提升其韧性水平。

3.2 城市韧性时空演变特征分析

为进一步分析长江中游城市群城市韧性在空间上的演变,选取 2012、2017、2021 年 3 个时间节点,采用 ArcGIS 自然断裂法,将其划分为低韧性、中等韧性、较高韧性和高韧性 4 个等级(见图 1)。

从图 1 中可以看出,整体上高韧性与低韧性城市间的分化日益显著。分阶段来看,2012 年中等与较高韧性城市占比达 80.65%,主要围绕长沙向外扩散,而低韧性城市则以武汉为中心向两侧扩展。





c) 2021 年

图 1 长江中游城市群城市韧性空间演变

Fig. 1 Urban resilience spatial evolution in urban agglomeration of the middle reaches of Yangtze River

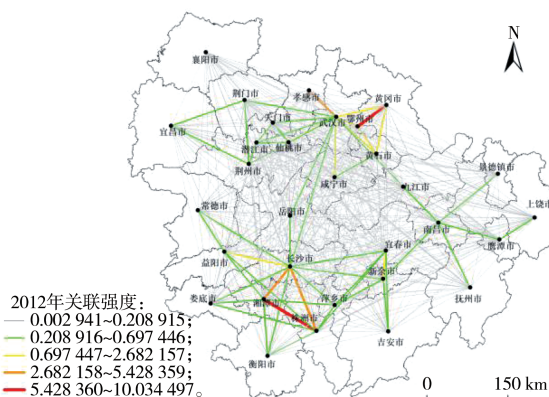
2012 至 2017 年间,《长江中游城市群发展规划》的实施加强了武汉、长沙、南昌的中心作用,与此同时,与这 3 座高韧性城市相比,孝感、荆门等邻近城市的韧性水平稍低,整体韧性差异开始显现。2017 至 2021 年间,长江经济带水资源生态环境遭受污染,也导致黄冈等靠近长江及其支流的城市生态韧性水平有所下降。2021 年疫情高峰期,城市韧性的两极分化趋势加剧,中等与低韧性城市占比仍为 80.65%。疫情对武汉等核心城市的经济和社会造成了重大冲击,但武汉通过迅速实施多项政策支持企业恢复生产,展现了强劲的城市韧性,巩固了其在长江中游城市群中的领导地位。与初始阶段相比,当前城市群中武汉和长沙作为“双核心”的地位更加显著。

4 城市韧性空间关联网络结构分析

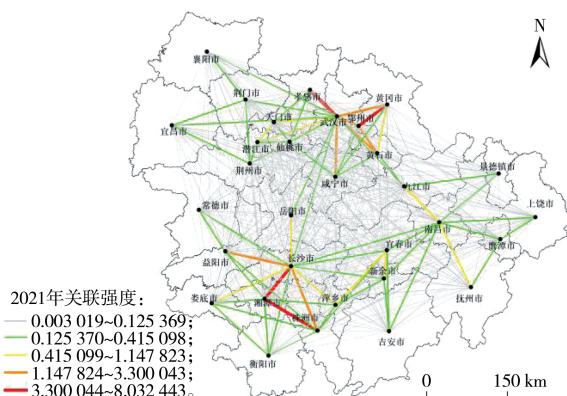
采用社会网络分析法,进一步探讨长江中游城市群在韧性空间关联网络中的互动强度及其结构演变。

4.1 城市韧性关联强度分析

通过修正引力模型计算了 2012 年和 2021 年长江中游城市群间韧性关联强度,并进行了可视化展示(见图 2)。



a) 2012 年



b) 2021 年

图 2 长江中游城市群城市韧性关联强度空间网络

Fig. 2 Spatial network of resilience correlation strength in urban agglomeration of the middle reaches of Yangtze River

图 2 结果显示,城市间韧性关联显著,未发现孤立区域。关键节点以武汉城市圈和长株潭城市群为中心,呈现局部放射状分布。城市韧性水平向更复杂的网络结构演进,非邻近城市间的联系日益增强。

4.2 整体网络结构特征分析

本研究使用 Ucinet 6.6 软件计算了长江中游城市群在研究期间的城市韧性整体关联网络结构特征指标(见表 3)。

表 3 城市韧性整体网络结构特征指标数据

Table 3 Index data of the overall network structure characteristics of urban resilience

年份	网络密度	网络关联度	互惠性	网络度数中心势 / %
2012 年	0.222	1	0.537	26.21
2021 年	0.218	1	0.574	27.36

对比 2012 年与 2021 年的数据,发现网络密度变化不大,表明城市间的连通性保持稳定。网络关联度达到 1,表明城市间联系紧密,具显著的空间关联和溢出效应。互惠性和网络度数中心势的上升趋势反映出城市集中度的增强,表明城市群正逐步向核心城市集中。

4.3 个体网络结构特征分析

为进一步探讨各城市在韧性发展中的角色、地位及作用,本研究通过计算个体城市的点度中心度(图 3)、中介中心度(图 4)、接近中心度(图 5),探讨各城市在 2012—2021 年间的韧性发展表现。

1) 由图 3 可知,株洲和新余的点度中心度有所下降,而武汉、岳阳和宜昌的点度中心度一直保持高水平,尤其是武汉位居首位。作为核心城市,武汉凭借其高城镇化率、坚实的经济基础、完善的产业结构和发达的交通网络,在长江中游城市群中扮演着“中心领头人”的角色。岳阳和宜昌作为关键的交通枢纽,

拥有密集的交通网络,与其他地区联系紧密,对整体网络的依赖性较高。点出度和点入度分别反映了城市的溢出和获益能力。在研究期间,以武汉为中心的城市圈和长株潭城市群点入度超过点出度,显示出一定的“虹吸效应”。位于长江中游城市群几何中心的

城市,如武汉及其周边部分城市,具有较高的点出入度,能有效带动周边城市群的经济的发展。相比之下,宜昌等边缘城市的点出入度较低,与城市群其他城市的经济联系较少,经济资源的集聚和辐射能力相对较弱。

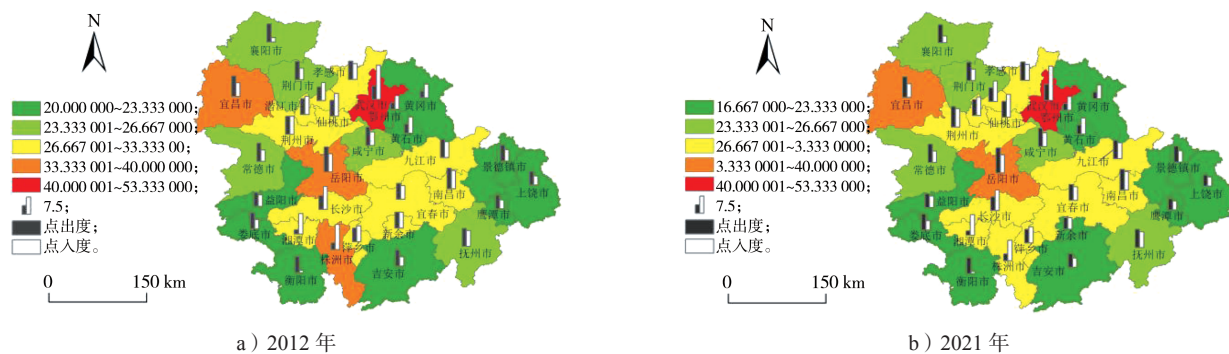


图3 长江中游城市群空间关联网络点度中心度演变

Fig. 3 Evolution of point degree centrality of spatial correlation network of city clusters in the middle reaches of the Yangtze River

2) 图4显示,长江中游城市群中介中心度在空间分布上正逐渐向几何中心靠拢。在2021年,12个城市中介中心度超过了平均水平。中介中心度较高的城市主要集中在中部地区的岳阳、咸宁和九江等,这或许与它们的区位优势有关,与其它城市的平

均距离最短,且接壤城市数量多,有效扮演了网络结构中的“中介桥梁”角色。而边缘城市的中介中心度相对较低,由于经济发展相对滞后、地理位置不利及交通通达性不足,这些城市更易受中介中心度较高城市的影响,难以对其他城市产生显著的带动作用。

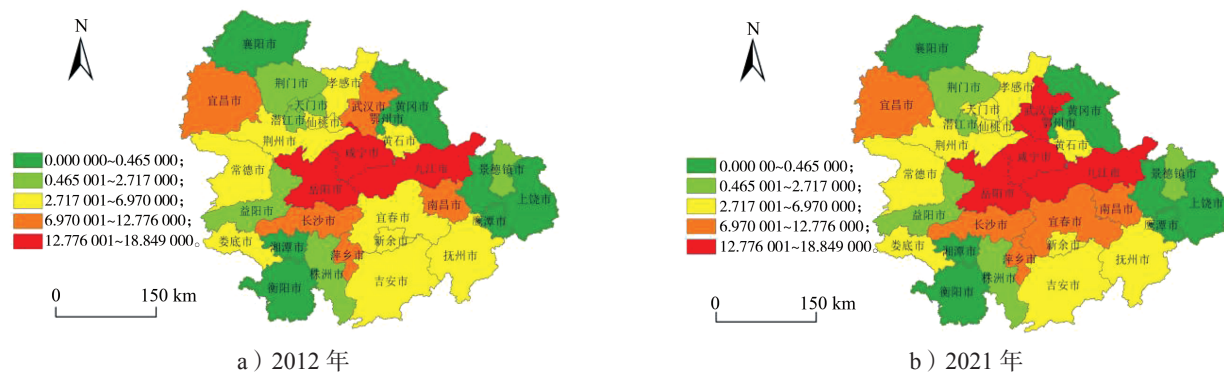


图4 长江中游城市群空间关联网络中介中心度演变

Fig. 4 Evolution of intermediary degree centrality of spatial correlation networks in city clusters in urban agglomeration of the middle reaches of Yangtze River

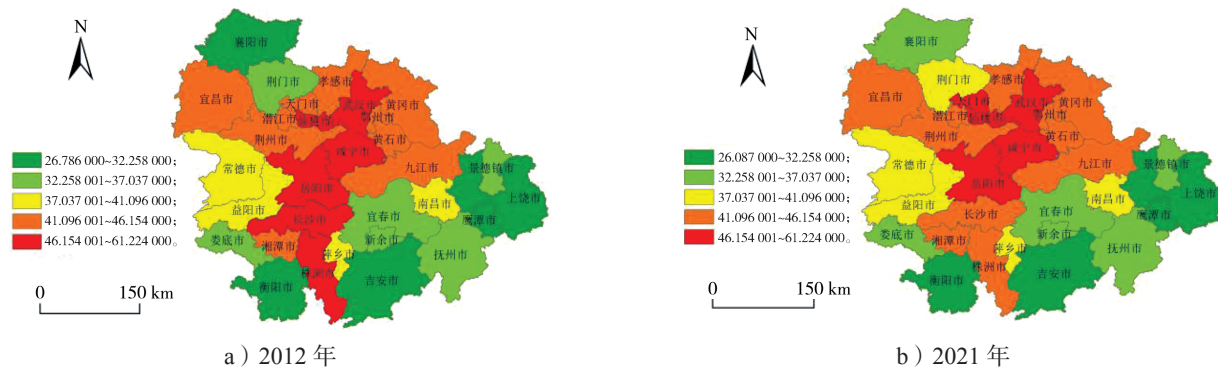


图5 长江中游城市群空间关联网络接近中心度演变

Fig. 5 Evolution of the proximity centrality of spatial association networks of city clusters in urban agglomeration of the middle reaches of Yangtze River

3) 根据图 5, 吉安、衡阳、上饶和鹰潭等城市的接近中心度低于平均水平, 它们在网络结构中处于边缘位置, 并且资源相对不足。这些城市在面对自然灾害时难以有效吸引其他城市的资源转移, 对其他城市韧性提升的带动作用有限, 同时也易受到其他城市的控制, 在空间关联网络中充当“边缘人”角色。相反, 接近中心度持续保持高值的地区, 如武汉、仙桃、咸宁和岳阳等, 它们在空间关联网络中扮演“中心人”角色。这表明这些城市经济繁荣、交通设施完备, 能够促进资源的扩散和流通, 从而与其它城市建立起紧密的空间联系。

综上所述, 长江中游城市群中, 武汉、岳阳和咸宁 3 市在相对中心度、中介中心度和接近中心度方面均表现突出。这反映出经济基础较强的城市在个体网络结构中数值较高, 能够迅速与其它城市建立紧密联系。这些城市利用其地理优势和发达的交通网络, 在网络中充当“中心人”角色, 有效发挥“中介桥梁”功能, 推动其他城市的韧性发展。

5 主要结论与对策建议

基于长江中游城市群 31 个城市的相关数据, 从经济、社会、生态环境和基础设施 4 个维度构建了城市韧性综合评价指标体系, 用熵权法与地理信息系统 (GIS) 技术分析城市韧性综合水平及时空演变特征, 并借助社会网络分析法 (SNA) 探讨了城市间韧性的空间关联网络结构特征。主要研究结论如下: 第一, 从时间维度看, 过去 10 a 长江中游城市群的城市韧性水平较为稳定, 但韧性均值相对较小, 城市群整体韧性仍有较大提升空间。两个核心城市——武汉和长沙的城市韧性综合水平相对更高, 城市群内的城市韧性水平差异逐步扩大。第二, 从空间维度看, 城市群内部的城市韧性水平呈现出核心—边缘的分化趋势, 逐渐形成了以武汉、长沙为中心的高韧性值“龙头城市”带动周边次级城市的空间发展格局。第三, 从网络结构看, 城市之间韧性关联强度显著, 连通性较为稳定且紧密, 城市在网络中的地位和作用呈现出多样性。观察期内, 武汉是长江中下游城市群网络中的“中心领头人”, 其他城市充当“中介桥梁”或“边缘人”角色。

根据研究结论, 提出以下对策建议: 第一, 提升城市群的整体城市韧性水平。政府和相关部门应从构成城市韧性的主要维度出发, 通过对基础设施进行现代化改造, 加强生态环境保护措施, 提升社会治理和经济多元化等针对性策略, 增强城市群对各种冲击和压力的应对能力。第二, 促进城市群城市韧性的均衡

发展。通过财政补贴、税收优惠等激励措施, 支持边缘城市提升其基础设施建设、生态环境保护和社会治理能力, 增强其经济和社会韧性。鼓励龙头城市与周边次级城市建立更加紧密的合作关系, 通过技术和人才交流、产业链延伸等方式, 带动整个城市群的城市韧性提升和均衡发展。第三, 优化城市群城市韧性的网络结构。通过建立区域合作平台, 促进信息共享、技术交流和市场一体化, 提升整个城市群的协同效应和整体韧性。同时, 鼓励城市根据自身特点和优势, 发挥在网络中的“中心领头人”“中介桥梁”“边缘人”等不同角色, 以增强网络的稳定性和多样性, 促进长江中游城市群的高质量发展。

参考文献:

- [1] HOLLING C S. Resilience and Stability of Ecological Systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1–23.
- [2] ALEXANDER D E. Resilience and Disaster Risk Reduction: An Etymological Journey[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2013, 13(11): 2707–2716.
- [3] 王松茂, 宁文萍, 牛金兰, 等. 黄河流域城市生态韧性时空分异及收敛研究: 基于七大城市群 61 个城市的实证分析 [J]. *干旱区地理*, 2024, 47(1): 93–103.
WANG Songmao, NING Wenping, NIU Jinlan, et al. Spatiotemporal Differentiation and Convergence of Urban Ecological Resilience in the Yellow River Basin: An Empirical Analysis Based on 61 Cities in Seven Major Urban Agglomerations[J]. *Arid Land Geography*, 2024, 47(1): 93–103.
- [4] 贺丹, 任苗苗, 胡绪华. 中国城市群创新韧性的时空演变及收敛性分析 [J]. *调研世界*, 2023(7): 16–27.
HE Dan, REN Miaomiao, HU Xuhua. Spatial-Temporal Evolution and Convergence of Innovation Resilience in Chinese Urban Agglomerations[J]. *The World of Survey and Research*, 2023(7): 16–27.
- [5] 何志浩, 张学波, 卢冰坤, 等. 中国城市群经济韧性时空演变及障碍因子分析 [J]. *地理与地理信息科学*, 2023, 39(6): 125–133.
HE Zhihao, ZHANG Xuebo, LU Bingkun, et al. Spatio-Temporal Evolution and Obstacle Factor Analysis of Economic Resilience of Urban Agglomerations in China[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2023, 39(6): 125–133.
- [6] 袁家德, 张杰, 王玉纯. 长三角城市群城市韧性与土地利用效益的耦合协调及驱动因素 [J]. *陕西师范大学学报 (自然科学版)*, 2023, 51(6): 72–83.
YUAN Jiade, ZHANG Jie, WANG Yuchun. Coupling Coordination and Driving Factors of Urban Resilience and

- Land Use Efficiency in the Yangtze River Delta Urban Agglomeration[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2023, 51(6): 72–83.
- [7] 马昊楠, 储金龙, 李久林. 安徽省城市韧性与城镇化水平耦合协调状态研究[J]. 调研世界, 2023(7): 28–37.
- MA Haonan, CHU Jinlong, LI Jiulin. A Study on the Coupling Coordination Between Urban Resilience and Urbanization in Anhui Province[J]. The World of Survey and Research, 2023(7): 28–37.
- [8] SUN J, ZHAI N N, MU H R, et al. Assessment of Urban Resilience and Subsystem Coupling Coordination in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 100: 105058.
- [9] 吴文洁, 黄海云. 国家中心城市综合韧性评价及障碍因素分析[J]. 生态经济, 2023, 39(4): 89–94, 102.
- WU Wenjie, HUANG Haiyun. Evaluation on Comprehensive Resilience of National Central Cities and Analysis of the Obstacle Factors[J]. Ecological Economy, 2023, 39(4): 89–94, 102.
- [10] 蒋硕亮, 陈贤胜. 洪涝情景下城市韧性评估及障碍因素分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(24): 63–67.
- JIANG Shuoliang, CHEN Xiansheng. Evaluation of Urban Resilience and Analysis of Obstacles Under Flood Scenarios[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(24): 63–67.
- [11] 赵荣国, 杨锦琛, 李 洁, 等. 粤港澳大湾区内地城市群路网韧性的贝叶斯网络评估[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(3): 825–835.
- ZHAO Rongguo, YANG Jinchen, LI Jie, et al. Bayesian Network Evaluation of Road Network Resilience in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area City Cluster[J]. Journal of Safety and Environment, 2024, 24(3): 825–835.
- [12] 赖建波, 朱 军, 郭煜坤, 等. 中原城市群人口流动空间格局与网络结构韧性分析[J]. 地理与地理信息科学, 2023, 39(2): 55–63.
- LAI Jianbo, ZHU Jun, GUO Yukun, et al. Spatial Pattern of Population Flow and the Resilience of Network Structure of Central Plains Urban Agglomeration[J]. Geography and Geo-Information Science, 2023, 39(2): 55–63.
- [13] HUANG J, LI Q Q, DU M Z, et al. Spatial and Temporal Variation of Economic Resilience and Its Drivers: Evidence from Chinese Cities[J]. Frontiers in Environmental Science, 2023, 11: 1109857.
- [14] WANG Y Y, CAI Y P, XIE Y L, et al. A Quantitative Framework to Evaluate Urban Ecological Resilience: Broadening Understanding Through Multi-Attribute Perspectives[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2023, 11: 1144244.
- [15] KOZLOVA M, HUHTA K, LOHRMANN A. The Interface Between Support Schemes for Renewable Energy and Security of Supply: Reviewing Capacity Mechanisms and Support Schemes for Renewable Energy in Europe[J]. Energy Policy, 2023, 181: 113707.
- [16] 张志成, 刘徐璋, 刘 伟. 基于 AHP—熵值法的高椅古村品质提升综合评价[J]. 家具与室内装饰, 2023, 30(9): 124–131.
- ZHANG Zhicheng, LIU Xuzhang, LIU Wei. Comprehensive Evaluation of the Quality Improvement of Gaoyi Ancient Village Based on AHP-Entropy Method[J]. Furniture & Interior Design, 2023, 30(9): 124–131.
- [17] 童金杰, 高 燕, 李 涛. 江西省县域创新发展水平测度方法及其评价结果的稳定性: 基于专家赋权与熵值赋权的比较分析[J]. 科技管理研究, 2023, 43(18): 70–78.
- TONG Jinjie, GAO Yan, LI Tao. Measure Method for County Innovation and Development Level of Jiangxi Province and Its Stability of Evaluation Results: Comparative Analysis Based on Experts' Weight and Entropy Weight[J]. Science and Technology Management Research, 2023, 43(18): 70–78.
- [18] 李云燕, 张 硕. 中国绿色金融发展的时空格局变迁与关联网络演化[J]. 当代经济管理, 2023, 45(11): 76–87.
- LI Yunyan, ZHANG Shuo. Spatial-Temporal Pattern Changes and Associated Network Evolution of China's Green Finance Development[J]. Contemporary Economic Management, 2023, 45(11): 76–87.
- [19] 史玉芳, 牛 玉. 关中平原城市群韧性空间关联网络及其影响因素研究[J]. 干旱区地理, 2024, 47(2): 270–280.
- SHI Yufang, NIU Yu. Resilience Spatial Correlation Network and Its Influencing Factors in Guanzhong Plain Urban Agglomeration[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(2): 270–280.
- [20] 钱昭英, 刘书杰. 黄河流域农业绿色低碳生产效率空间关联网络结构特征及驱动因素识别[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(2): 27–38.
- QIAN Zhaoying, LIU Shujie. On the Characteristics and Drivers of Spatial Correlation Network of Green Low-Carbon Agricultural Production Efficiency in the Yellow River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024, 38(2): 27–38.
- [21] 张明斗, 张 蕊. 中国城镇化包容性发展的空间关联网络及形成机制研究[J]. 地理与地理信息科学, 2023, 39(6): 45–54.
- ZHANG Mingdou, ZHANG Rui. Spatial Correlation Network and Its Formation Mechanism of Inclusive Urbanization Development in China[J]. Geography and Geo-Information Science, 2023, 39(6): 45–54.