

王威, 于新月, 杨佩, 等. 京津冀城市群防灾韧性时空格局和空间收敛性研究[J]. 灾害学, 2023, 38(4): 1-6. [WANG Wei, YU Xinyue, YANG Pei, et al. Spatial and Temporal Patterns of Disaster Resilience and Spatial Convergence in the Beijing - Tianjin - Hebei City Cluster[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(4): 1-6. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.04.001.]

# 京津冀城市群防灾韧性时空格局和空间收敛性研究<sup>\*</sup>

王威, 于新月, 杨佩, 马东辉

(北京工业大学 城市建设学部, 北京 100124)

**摘要:** 为探究京津冀城市群防灾韧性的时空演化, 基于2010—2020年京津冀城市群13个城市的防灾韧性评估结果, 应用Kernel密度估计方法、空间自相关模型、收敛检验法以及Dagum基尼系数法, 对不同时期京津冀城市群防灾韧性水平时空动态演进分布格局及地区差异进行分析。结果显示: 2010—2020年京津冀城市群防灾韧性水平总体呈现上升趋势; 但在发展过程中, 各地区间的防灾韧性水平差距也逐渐增大, 河北省的防灾韧性水平较低且增长较缓慢, 与北京市和天津市有较大差距; 区域整体呈现出非均衡发展特征, 不存在显著的集聚与收敛特征, 未来还需不断加强区域的协调发展。

**关键词:** 公共安全; 防灾韧性; 京津冀城市群; 时空演化; 收敛性

**中图分类号:** X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2023)04-0001-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.04.001

随着当今社会经济的不断发展以及灾害的频繁发生, 城市所面临的风险逐渐增大。提升城市韧性是城市未来进行灾害治理的新趋势<sup>[1]</sup>, 加强韧性建设对城市可持续发展具有重要的意义。“韧性”一词初指恢复到原来的状态。关于韧性的认识经历了工程韧性至生态韧性的转变, 后又转化为演进韧性及文脉韧性<sup>[2]</sup>。随着社会的不断发展, 融合了“信息”的动态复合韧性被提出<sup>[3]</sup>。韧性的内涵不断地丰富与发展, 针对韧性评价的方法也不断完善, 近年来很多学者都围绕防灾韧性评价展开了不同的研究与实践。如王威<sup>[4]</sup>构建了国土空间韧性规划建设整体框架, 总结了国土空间韧性规划建设的发展路径。

关于韧性评价方面的研究目前可大致分为两种类型, 一种为从城市整体角度进行评价, 选取不同影响城市发展的要素来构建指标体系进行韧性评估, 探究不同城市要素对城市韧性水平的影响。张振等<sup>[5]</sup>从不同城市要素层面构建了城市韧性评价指标体系, 评价了长春市的城市韧性。另一种从不同的灾害种类出发, 针对不同灾害展开相关韧性评价, 周铭毅等<sup>[6]</sup>在不同的维度要素下选取了城市洪涝灾害韧性评估指标, 应用熵权法以及VIKOR方法评估了广东省地级市的洪涝灾害韧性。不同的韧性评价研究所研究的尺度各有不同, 目前多数研究集中在城市、社区以及省城层

面, 针对城市群尺度的韧性评价研究相对较少。而京津冀地区作为我国重要的发展地区, 是自然灾害的多发区, 其所面临的风险将时刻对社会经济发展与人民安全造成潜在威胁。刘晓然等<sup>[7]</sup>、刘爱利等<sup>[8]</sup>研究了京津冀地区的生命线系统脆弱性风险和时空特征。马银等<sup>[9]</sup>研究了京津冀地区的绿色基础设施时空演化特征并对其未来发展态势进行了预测。

为进一步研究京津冀地区的防灾韧性时空演变, 本文以京津冀城市群为研究对象, 对京津冀城市群2010—2020年的防灾韧性水平进行时空动态演化评价与分析, 对增强京津冀城市群抵抗自然灾害能力、促进其可持续发展以及区域协调发展具有重要借鉴意义。

## 1 研究区概况与指标构建

### 1.1 研究区概况

本文以京津冀城市群为研究对象, 对区域内13个城市展开防灾韧性分析。京津冀地区作为我国三大都市圈之一, 是我国人口密集且极具经济活力的地区之一<sup>[10]</sup>。但也面临着地震、洪涝等自然灾害风险, 容易出现城市公共安全事件。研究数据来源于(各地级市)国民经济和社会发展统计

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2023-02-08 修回日期: 2023-06-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(52278472); 北京市自然科学基金项目(8232004)

第一作者简介: 王威(1981-), 男, 汉族, 河南沈丘人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事城乡安全与防灾减灾研究。

E-mail: ieeeww@bjut.edu.cn

通信作者: 马东辉(1968-), 男, 汉族, 河北赵县人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事城乡安全与防灾减灾研究。

E-mail: mdh@bjut.edu.cn

公报、《中国城市统计年鉴》与《河北省国民经济年鉴》等，依据插值法补齐缺少的数据。

1.2 全周期视角下的防灾韧性指标构建

加强城市灾害的全周期、全过程管理，有利于转变灾害管理理念和防灾韧性提升。灾害发生的不同阶段会体现出不同的韧性特征，即可分为灾前预防、灾中抵抗、灾后恢复(图 1)。在初始  $t_0$  时刻系统性能在预防性的作用下维持在目标系统性能水平  $y_D$  上；在  $t_d$  时刻灾害扰动发生，系统性能迅速下降，这个过程系统会表现出抵抗性来应对灾害；在  $t_r$  时刻系统性能下降到最低水平  $y_{\min}$ ，而后系统性能将逐渐恢复，理想状态为  $t_{ss}$  时刻恢复到灾前的目标性能水平  $y_D$  上；当  $y_R < y_D$ ，恢复后系统性能退化；当  $y_R > y_D$ ，恢复后系统性能提升，具有可持续性<sup>[11]</sup>。以韧性特征为基础，从灾害发生全周期、全过程管理的视角建立京津冀城市群防灾韧性评价指标体系(表 1)，通过对 2010—2020 年京津冀城市群基础数据归一化处理 and RAGA-PP 模型计算最佳投影方向的归一化权重  $a^*$ ，使用公式(1)可计算出京津冀城市群韧性指数<sup>[12]</sup>(图 2)。

$$Y_i^* = \sum_{j=1}^m a_j^* x_{ij} \quad (1)$$

式中： $x_{ij}$  代表着第  $i$  个样本第  $j$  个指标的标准化数值， $a^*$  表示归一化后的最佳投影方向值， $Y^*$  表示防灾韧性指数。

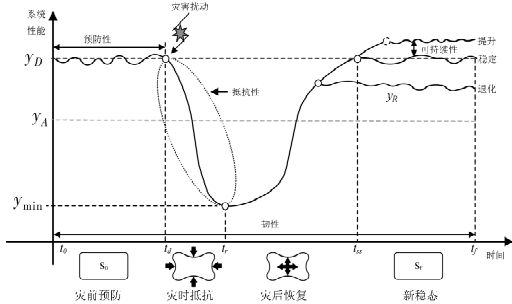


图 1 全周期视角下的城市防灾韧性示意图

表 1 京津冀城市群防灾韧性评价指标体系

目标层	灾害阶段	指标	权重
灾前预防		资源勘探支出/亿元	0.048
		气象监测支出/亿元	0.046
		卫生技术人员/(个/万人)	0.053
		消防员数/(个/万人)	0.011
		财政支出占 GDP 比重/%	0.068
		人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	0.022
		大学及以上受教育人数/(人/万人)	0.071
		15~64 岁人口比重/%	0.039
		平均受教育年限/年	0.013
		房屋抗震等级/度	0.015
灾中抵抗		建筑密度/%	0.051
		人均道路面积/(m <sup>2</sup> /人)	0.069
		移动电话普及率/%	0.048
		固定宽带家庭普及率/%	0.061
		绿化覆盖率/%	0.091
灾后恢复		人均避难场所面积/(m <sup>2</sup> /人)	0.050
		医疗卫生机构床位/(床/万人)	0.078
		公共安全财政支出比例/%	0.054
		医疗卫生财政支出比例/%	0.034
城市适灾韧性		发明专利数/个	0.077

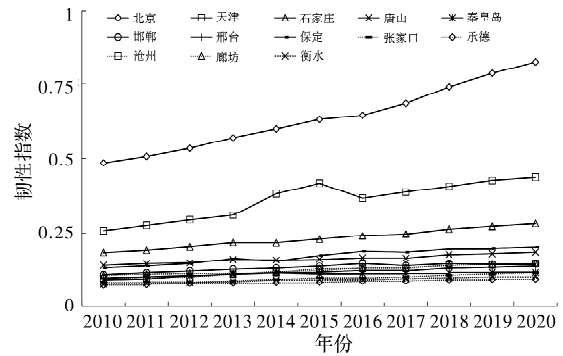


图 2 2010—2020 年京津冀城市群防灾韧性指数

2 研究方法

2.1 Kernel 密度估计模型

Kernel 密度估计能够估算随机变量的概率密度，通过连续的密度曲线，运用平滑方法描述随机变量的分布形态，进而研究是否存在均匀分布现象的方法<sup>[13]</sup>。使用 Kernel 密度估计方法可以有效展示京津冀城市群防灾韧性水平分布的动态演进情况。

2.2 空间自相关模型

为判断各城市防灾韧性水平在空间上是否存在聚合或离散现象，采用全局 Moran's  $I$  指数进行京津冀城市群防灾韧性水平的空间关联性和差异性分析，并进行显著性检验<sup>[14]</sup>。

2.3 收敛检验法

收敛检验分析采用  $\alpha$  收敛与绝对  $\beta$  收敛。 $\alpha$  收敛可以用来反映离散程度，当存在收敛状态时其随时间变化将呈现下降趋势，反之则不存在收敛状态<sup>[15]</sup>。绝对  $\beta$  收敛是以不考虑外界影响因素为基础，来研究地区是否趋同<sup>[16]</sup>。鉴于传统  $\beta$  收敛模型忽视了空间相关性的特征，因此本研究以传统  $\beta$  收敛模型为基础，进行了回归残差以及稳健性来检验空间相关性，进而选取适合的空间计量模型，即通过验证来决定是采用空间滞后模型(SAR)还是空间误差模型(SEM)对防灾韧性水平进行空间计量分析。

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu)^2} \quad (2)$$

$$\ln(Y_{i,t+1}/Y_{i,t}) = \alpha + \beta \ln Y_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$\ln(Y_{i,t+1}/Y_{i,t}) = \alpha + \beta \ln Y_{i,t} + \rho W(\ln(Y_{i,t+1}/Y_{i,t})) + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$\ln(Y_{i,t+1}/Y_{i,t}) = \alpha + \beta \ln Y_{i,t} + (I - \lambda W)^{-1} \mu_{i,t} \quad (5)$$

$$s = -\ln(1 - |\beta|)/T \quad (6)$$

$$\tau = \ln(2)/s_0 \quad (7)$$

式(2)为  $\alpha$  收敛模型， $y_i$  表示  $i$  地区的韧性指数；式(3)是绝对  $\beta$  收敛模型，式(4)是空间滞后模型(SAR)，式(5)是空间误差模型(SEM)， $Y_{i,t+1}/Y_{i,t}$  代表  $i$  地区防灾韧性水平在第  $t$  时间段内的增长率， $Y_{i,t}$  表示  $i$  地区在第  $t$  时间段内的防灾韧性指数， $\alpha$  是一个常数项， $\beta$  表示收敛的系数， $\varepsilon_{i,t}$  代表随机误差。研究结果中，如果  $\beta < 0$ ，则意味着研究区存在绝对  $\beta$  收敛；反之代表各地区趋于发散。 $W$  是空间权重矩阵， $\rho$  是空间滞后系数，代表着观察目标的空间依赖作用。 $\lambda$  代表空间误差系数， $\mu_{i,t}$  为正态分布的随机误差项。式(6)和式(7)中  $s$  为收敛

速度、 $\tau$ 为收敛半生命周期。

#### 2.4 Dagum 基尼系数模型及其分解方法

采用 Dagum 基尼系数及其分解方法分析京津冀城市群防灾韧性水平的地区差异。将京津冀城市群分为北京市、天津市、河北省三部分,并以各地区防灾韧性水平的均值来进行排序。Dagum 基尼系数是由地区内部差距贡献、地区间的差距贡献以及超变密度贡献三部分组成,总基尼系数是三者相加之和<sup>[17]</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 时间维度下京津冀城市群防灾韧性水平的 Kernel 密度估计

利用 Kernel 密度估计的方法,对京津冀城市群的防灾韧性水平进行时间维度的动态演进分析,通过不同时期的比较,可以对京津冀城市群的防灾韧性水平形成总体认识,把握京津冀城市群防灾韧性水平的整体形态与动态特征。图 2 展示了京津冀城市群在 2010—2020 年间的防灾韧性水平演变,图 3 是从整体上绘制的 2010—2020 年京津冀城市群的防灾韧性水平 Kernel 密度估计的三维图。分析图 2 和图 3 可知,京津冀城市群的防灾韧性水平分布动态演进呈现出以下特征:①在 2010—2020 年间的 Kernel 密度估计图中,京津冀城市群的防灾韧性水平分布整体向右移动,说明京津冀地区各市的防灾韧性水平在逐渐提高。②从整体上看 2010—2020 年间京津冀城市群的分布态势呈现出单峰分布,说明京津冀城市群的防灾韧性水平没有出现极化现象。③在 2010—2020 年间,Kernel 密度函数峰值经历了下降—上升—下降—上升—下降的趋势,在总体分布上呈现出下降趋势,波峰宽度逐渐增加,说明京津冀城市群各市间的防灾韧性水平差距在逐渐增大。2010 年京津冀城市群的防灾韧性指数主要分布在 0.069~0.484 之间,2020 年京津冀城市群的防灾韧性指数主要分布在 0.091~0.826 之间,可以进一步看出京津冀城市群中各市的防灾韧性水平差距在增大。

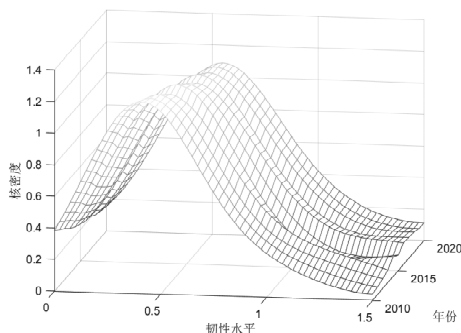


图 3 2010—2020 年京津冀城市群防灾韧性水平动态演进

由此可知,北京市防灾韧性水平较高且增长速度较快,天津市的防灾韧性水平与提高速度中等,河北省的防灾韧性水平较低且增长速度较低,与北京市天津市有较大差距,未来京津冀城市群防灾韧性提升需要注意三个区域的协调发展。

#### 3.2 空间维度下防灾韧性水平评价结果分析

##### 3.2.1 空间自相关分析

(1)全局空间自相关评价。由于时间分析无法判断在空间维度上城市防灾韧性水平的聚集程度以及相互的影响状况,因此,本部分将揭示城市

防灾韧性水平在空间维度上的关系。采用标准差等级划分方式对京津冀城市群的防灾韧性水平进行区划,图 4a 展示了 2020 年的京津冀城市群防灾韧性水平分布图。

由京津冀城市群防灾韧性水平分析可知,2010—2020 年京津冀城市群各市防灾韧性水平差异等级基本没有变化。北京地区为高防灾韧性水平,发展速度较快。天津地区为中防灾韧性水平,发展较为平稳。河北地区城市防灾韧性水平多为较低或低水平。研究区内 2010—2020 年间防灾韧性水平发展较为平稳,唐山、廊坊、保定、石家庄、沧州、邢台、邯郸七个城市始终处于较低水平,张家口、承德与衡水始终处于低防灾韧性水平;应多加关注这些城市的发展并加强提升防灾韧性水平。整体上京津冀城市群的防灾韧性水平较不均衡,尤其是河北省各市的防灾韧性水平都处于较低或者低水平等级,发展较为滞后。通过全局空间自相关的分析结果(表 2)可知,2010—2020 年的莫兰指数均小于 0 且  $P$  值均大于 0.05(未通过验证)。因此,2010—2020 年京津冀的防灾韧性水平在空间上的分布不存在显著的集聚或分散特征,亦即京津冀地区的防灾韧性水平在空间上呈随机分布。

表 2 京津冀防灾韧性水平全局 Moran's  $I$  指数与检验

维度	全局 Moran's $I$ 指数	$P$ 值	$Z$ 值
2010	-0.311	0.151	-1.433
2011	-0.314	0.154	-1.422
2012	-0.320	0.150	-1.439
2013	-0.338	0.122	-1.545
2014	-0.292	0.243	-1.168
2015	-0.276	0.294	-1.049
2016	-0.323	0.157	-1.414
2017	-0.301	0.197	-1.291
2018	-0.302	0.185	-1.325
2019	-0.290	0.207	-1.261
2020	-0.287	0.207	-1.261

(2)局部空间自相关评价。为进一步了解京津冀城市群防灾韧性水平的局部空间集聚特征,本文应用 Geo-Da 软件对研究区进行了局部空间自相关分析,得出 2010—2020 年京津冀地区防灾韧性水平的局部 Moran's  $I$  散点分布图(图 4b)和 LISA 聚集图(图 4c)。局部 Moran's  $I$  指数表明城市防灾韧性存在负空间关联和空间非均衡性。由 Moran's  $I$  指数分析可知:①在 2010、2015、2020 年的点位大多落入了二、三象限。即部分城市空间异质性较为显著,部分城市防灾韧性水平空间差异较小。②2015 年与 2010 年相比,落入第二象限的点位有所增加,其他点位分布没有变化,表明个别城市防灾韧性水平的空间异质性变得显著;2020 年与 2015 年相比,落入第三象限的点位有所增加,其他点位分布没有变化,表明空间聚集的区域有所增加。③从整体变化来看,这一阶段的空间聚集与空间分异并存,说明这一阶段京津冀城市群防灾韧性水平发展不协调不均衡。由 LISA 聚集图分析可知,大部分地区都呈现出了不显著的空间特性。承德市与廊坊市始终处于“低—高”类型区域,这一类型区域防灾韧性水平较低,与其相邻城市单元防灾韧性水平的差异较大,这一类型区域呈现空间负相关性,其空间异质性较强。总体而言,研究期内京津冀城市群各区域的防灾韧性水平差异较大,还需在不断提升防灾韧性水平的同时,加强地区间的协调发展,缩小地区间防灾韧性水平差异。

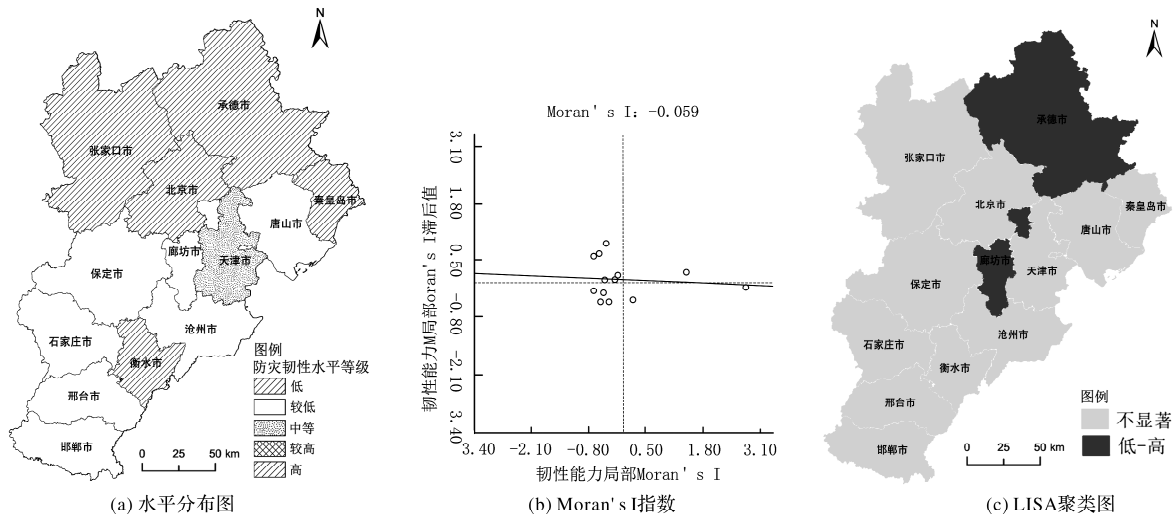


图4 2020年京津冀城市群韧性空间异质性分析图  
(基于自然资源部标准地图服务系统下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图边界无修改。)

3.2.2  $\alpha$  收敛

从图5可知,2010—2020年京津冀城市群防灾韧性水平的 $\alpha$ 收敛系数中,整体上变异系数与标准差呈现波动上升趋势,不具有 $\alpha$ 收敛特征。但在2015—2016年间变异系数与标准差呈现下降趋势,存在局部收敛。

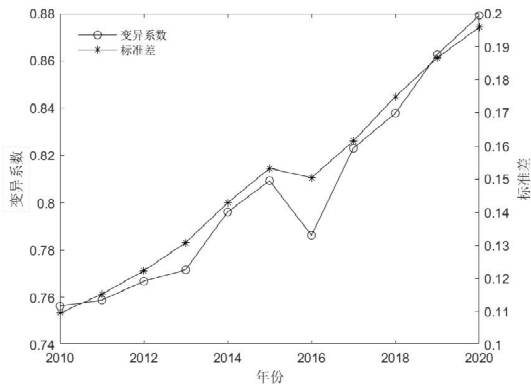


图5 2010—2020年京津冀防灾韧性水平 $\alpha$ 收敛系数

3.2.3 绝对 $\beta$ 收敛

将本文数据的时间段按照5年进行划分,用以判断不同时间段京津冀地区防灾韧性水平空间收敛情况。检验结果如表3所示。

从表3可以看出2010—2015年与2010—2020年的绝对 $\beta$ 收敛检验结果,拉格朗日乘数LM(LAG)与LM(ERR)都没有通过显著性的检验,无

法判断哪一模型更加适合,还需要观察其稳健性形式来进一步判断。2010—2015年的检验结果中, $R-LM(ERR)$ 的统计值大于 $R-LM(LAG)$ ,更合适选取空间误差模型(SEM)进行空间收敛分析;2010—2020年的 $R-LM(ERR)$ 统计值小于 $R-LM(LAG)$ ,更适合选取空间滞后模型(SLM)进行空间收敛分析。考虑2010—2020年 $R-LM(ERR)$ 与 $R-LM(LAG)$ 之间的统计值差值大于2010—2015年的间差值,且本研究的研究为2010—2020年,因此选择空间滞后模型进行分析。进一步分析绝对 $\beta$ 收敛结果,对比对数似然检验值 $\text{Log}(L)$ 与拟合优度 $R^2$ ,2010—2015年与2010—2020年空间滞后模型检验值优于传统绝对 $\beta$ 收敛检验值,说明选择空间滞后模型的拟合度优于传统绝对 $\beta$ 收敛模型。

从空间滞后模型看,两个时间段内的 $\beta$ 值均大于0,说明考虑空间效应后2个时间段的韧性水平不存在显著的绝对 $\beta$ 收敛趋势,意味着京津冀城市群间的韧性水平差距逐渐增大。其中,2010—2020年的 $\beta$ 值大于2010—2015年 $\beta$ 值,说明随着时间推移以及不同地区对防灾韧性的重视程度不同,加之相关政策等因素影响,2010—2020年的收敛速度表现出由快转慢的发展趋势。而收敛速度 $s$ 以及半生命周期 $\tau$ 的检验结果中,2010—2015年的收敛速度为0.019,其半生命周期为35.993;2010—2020年的收敛速度为0.014,其半生命周期为48.264;经过比对,进一步验证了2010—2020年的收敛速度变化趋势。

表3 绝对 $\beta$ 收敛空间收敛模型检验

OLM 模型			空间误差模型(SEM)			空间滞后模型(SAR)		
变量	2010—2015	2010—2020	变量	2010—2015	2010—2020	变量	2010—2015	2010—2020
Constant	0.424	0.660	Constant	0.444	0.641	Constant	0.452	0.513
$\beta$	0.090	0.135	$\beta$	0.100	0.128	$\beta$	0.092	0.134
$s$	0.019	0.014	$\lambda$	-0.280	0.304	$\rho$	-0.107	0.372
$\tau$	36.608	47.670	$s$	0.021	0.134	$s$	0.019	0.014
$R^2$	0.247	0.560	$\tau$	32.962	50.686	$\tau$	35.993	48.264
LM(LAG)	0.100(0.752)	1.857(0.173)	$R^2$	0.294	0.597	$R^2$	0.235	0.605
R-LM(LAG)	0.966(0.326)	1.711(0.191)	Log(L)	20.564	23.153	Log(L)	20.346	23.731
LM(ERR)	0.442(0.506)	0.636(0.425)						
R-LM(ERR)	1.307(0.253)	0.489(0.484)						

表4 京津冀防灾韧性水平的基尼系数及其分解结果

年份	总体差异	地区内差异			地区间差异			差异贡献率/%		
		北京	天津	河北	北京-天津	北京-河北	天津-河北	地区内	地区间	超变密度
2010	0.329	0	0	0.159	0.311	0.646	0.418	24.835	75.165	0
2011	0.333	0	0	0.162	0.300	0.647	0.430	24.953	75.047	0
2012	0.337	0	0	0.164	0.293	0.650	0.440	24.837	75.163	0
2013	0.341	0	0	0.171	0.299	0.651	0.437	25.626	74.374	0
2014	0.350	0	0	0.157	0.225	0.659	0.510	21.990	78.012	0
2015	0.360	0	0	0.168	0.207	0.661	0.527	22.761	77.239	0
2016	0.350	0	0	0.177	0.278	0.656	0.462	25.434	74.566	0
2017	0.360	0	0	0.172	0.280	0.672	0.483	23.548	76.452	0
2018	0.365	0	0	0.178	0.295	0.678	0.479	23.786	76.214	0
2019	0.373	0	0	0.177	0.300	0.689	0.490	22.830	77.169	0
2020	0.378	0	0	0.180	0.309	0.695	0.492	22.710	77.290	0

### 3.3 城市群防灾韧性水平地区差异及动态演进

为了进一步了解京津冀城市群防灾韧性水平的地区差异,利用 Dagum 基尼系数计算得出 2010—2020 年京津冀城市群防灾韧性水平的总体基尼系数,以及北京、天津、河北省三个地区的基尼系数(表4)。

#### 3.3.1 总体差异与地区内差异及动态演进

从图6可以看出,2010—2020年间京津冀城市群防灾韧性水平的总体基尼系数呈现出上升-下降-上升的趋势,总体呈上升趋势。2010—2015年间,京津冀城市群的防灾韧性指数的总体基尼系数由0.329上升至0.360,说明在此期间,京津冀城市群防灾韧性水平总体区域差异不断增加;2015—2016年间,京津冀城市群的防灾韧性指数的总体基尼系数由0.360下降至0.350,在此期间京津冀城市群防灾韧性水平总体区域差异不断减小;而2016—2020年间,京津冀城市群的防灾韧性指数的总体基尼系数由0.350上升至0.378,京津冀城市群防灾韧性水平总体区域差异逐渐增加。总体而言,京津冀城市群的防灾韧性指数的总体基尼系数由0.329上升至0.378,京津冀城市群的防灾韧性水平的总体差异逐渐增大。

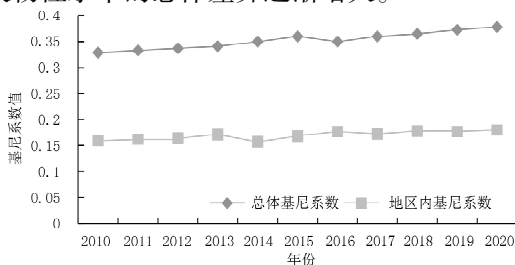


图6 2010—2020年京津冀防灾韧性水平总体、地区内差异及演变趋势

由于本次研究中的北京市与天津市为两个直辖市,故而不考虑地区内差异。因此本部分研究的重点以河北省内部的防灾韧性水平差异展开分析。从图6可以看出,2010—2020年间河北省内防灾韧性指数的总体基尼系数呈现出上升-下降-上升的趋势,总体上呈现出上升趋势。2013—2014年间,河北省11个地级市防灾韧性指数的地区内基尼系数由0.171降至0.157,下降到研究期内的最小值,说明在此期间,河北省11个地级市防灾韧性水平的地区内差异呈现下降趋势;整体上看,在2010—2020年间,河北省11个地级市防灾韧性指数的地区内基尼系数由0.159上升至0.180,说明河北省防灾韧性水平的地区内差异不断增大。

#### 3.3.2 地区间差异及动态演进

图7展示了京津冀城市群防灾韧性水平的地区间的差异。可以看出,2010—2020年间,北京-河北之间的地区差异最大,其基尼系数值比北京-天津平均高38%,比天津-河北平均高19%。从变动趋势上看,2010—2020年间三个区域的地

区间差异总体上始终保持着北京-河北>天津-河北>北京-天津的趋势;具体而言,北京-河北间的差异波动幅度较小,较为平缓;天津-河北间的差异呈现出倒“v”型曲线,在2015年上升至0.527,达到2010—2020年间的最大值,总体上呈现出上升趋势;北京-天津间的差异呈现出下降-上升的趋势,2010—2015年间由0.311降至0.207,又在2015—2020年间由0.207上升至0.309,总体上呈现出下降的趋势。

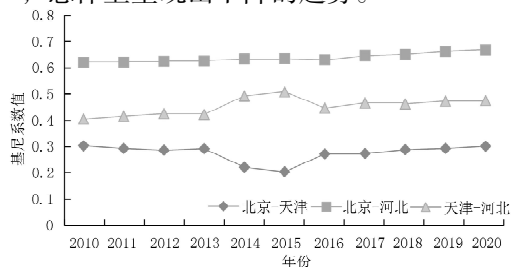


图7 2010—2020年京津冀防灾韧性水平地区间差异及演变趋势

总体上看,在2010年至2020年间,北京-河北、天津-河北间的地区差异逐渐增大,北京-天津的地区差异逐渐缩小,因此在未来京津冀协同发展过程中,还需更加注意对河北省的防灾韧性提升。

#### 3.3.3 地区差异贡献率

从图8中可以看出,2010—2020年京津冀防灾韧性水平的地区间差异贡献率远大于地区内的差异贡献率,说明京津冀防灾韧性水平的总体差异主要是由地区间差异造成的。2010—2020年间的地区间差异贡献率总体呈现出了上升的趋势。2010—2020年间的地区内差异贡献率总体呈现出了下降的趋势;在2010—2014年间,由24.84%下降至21.99%,后又在2014—2020年由21.99%上升至22.71%。本次研究中以城市作为研究对象,因此北京、天津不存在地区内差异,两者的地区内差异为0,超变密度值为0。

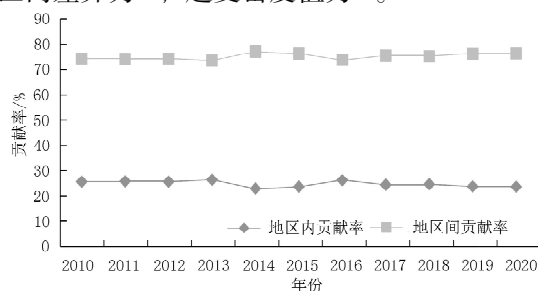


图8 2010—2020年京津冀防灾韧性水平地区差异贡献率及演变趋势

整体而言,京津冀防灾韧性水平的地区间差异依旧是总体差异的主要来源,这会在一定程度上影响着京津冀的协同发展。

## 4 结论

针对 2010—2020 年间京津冀城市群防灾韧性水平进行评价分析,本次评价是京津冀城市群内的一个相对水平而不是绝对水平,研究结论如下:

(1)在时间维度方面,通过 Kernel 密度估计法可知,随着社会经济的不断发展,整体上京津冀城市群的防灾韧性水平不断提高。但在发展过程中,各地区间的防灾韧性水平差距也逐渐增大,河北省的防灾韧性水平较低且增长速度较低,与北京市天津市仍有较大差距。

(2)在空间维度方面,通过空间自相关模型可知,2010—2020 年京津冀城市群各市防灾韧性水平差异等级基本没有变化。北京地区为高防灾韧性水平,天津地区为中防灾韧性水平,河北地区城市防灾韧性水平多为较低或低水平。研究期内的空间聚集与空间分异现象并存,而通过收敛检验分析显示 2010—2020 年京津冀城市群各市防灾韧性水平不存在明显的收敛性,进一步说明了这一阶段京津冀城市群防灾韧性水平发展的不协调不均衡。

(3)通过 Dagum 基尼系数对京津冀城市群防灾韧性水平的地区差异及其动态演进的研究表明,2010—2020 年间京津冀城市群的防灾韧性水平总体差异逐渐增大,河北省地区内防灾韧性水平差异也在不断增大。地区间的差异则是京津冀城市群中防灾韧性水平差距的主要来源,按照根据其差异值大小进行排序后,其顺序分别为北京—河北、天津—河北、北京—天津,整体表现出非均衡特征。此外,地区间差异贡献率大于地区内差异贡献率。未来仍需不断加强京津冀地区的协调发展,缩小地区内差距,均衡提高京津冀城市群的防灾韧性水平。

## 参考文献:

[1] 许燕婷. 京津冀城市群城市发展韧性的时空分异特征及其影

- 响因素分析[C]//中国城市规划学会. 2020 中国城市规划年会论文集. 成都: 中国建筑工业出版社, 2021.
- [2] 杨秀平, 王里克, 李亚兵, 等. 韧性城市研究综述与展望[J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(6): 78–84.
- [3] 程朋根, 付家能, 李聪毅, 等. 城市韧性量化评估研究进展[J]. 灾害学, 2023, 38(3): 139–147.
- [4] 王威, 朱峻佚, 费智涛, 等. 国土空间韧性规划建设整体框架与发展路径研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(3): 1–10.
- [5] 张振, 张以晨, 张继权, 等. 基于熵权法和 TOPSIS 模型的城市韧性评估——以长春市为例[J]. 灾害学, 2023, 38(1): 213–219.
- [6] 周铭毅, 尚志海, 蔡灼芬, 等. 基于 VIKOR 方法的广东省城市洪涝灾害韧性评估[J]. 灾害学, 2023, 38(1): 206–212.
- [7] 刘晓然, 王威, 刘爱利. 京津冀地区生命线系统宏观脆弱性动态仿真模拟[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(21): 9–20.
- [8] 刘爱利, 王威, 苏经宇, 等. 京津冀地区生命线系统宏观脆弱性时空特征研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2018, 40(2): 122–128.
- [9] 马银, 郑敏睿, 郑新奇, 等. 基于 CA—Markov 和 MSPA 的绿色基础设施预测与时空演变分析研究——以京津冀城市群为例[J/OL]. 生态学报, 2023(16): 1–13 [2023–06–03].
- [10] 徐嵩, 王鹤, 孔维东. 防灾视角下基于 MCR 模型的山地生态安全格局优化研究——以京津冀山区为例[J]. 灾害学, 2021, 36(2): 118–123.
- [11] 毕玮, 汤育春, 冒婷婷, 等. 城市基础设施系统韧性管理综述[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(6): 14–28.
- [12] 张永欢. 城市适灾韧性评估及影响因素分析: 以中国三大城市群为例[D]. 太原: 太原理工大学, 2022.
- [13] 沈丽, 鲍建慧. 中国金融发展的分布动态演进: 1978—2008 年: 基于非参数估计方法的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2013, 30(5): 33–47.
- [14] 任平, 吴涛, 周介铭. 基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析: 以成都市龙泉驿区为例[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(3): 325–334.
- [15] 李卫兵, 涂蕾. 中国城市绿色全要素生产率的空间差异与收敛性分析[J]. 城市问题, 2017(9): 55–63.
- [16] 张玉臣, 朱铭祺, 廖凯诚. 粤港澳大湾区创新生态系统内部耦合时空演化及空间收敛分析[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(24): 38–47.
- [17] 刘忠宇, 热孜燕·瓦卡斯. 中国农业高质量发展的地区差异及分布动态演进[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(6): 28–44.

# Spatial and Temporal Patterns of Disaster Resilience and Spatial Convergence in the Beijing – Tianjin – Hebei City Cluster

WANG Wei, YU Xinyue, YANG Pei, MA Donghui

(Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** Based on results of disaster prevention resilience assessment, and in order to explore the spatio-temporal evolution of the resilience in the Beijing – Tianjin – Hebei urban agglomeration, the Kernel density estimation method, spatial autocorrelation model, convergence test method and Dagum Gini coefficient method were employed to analyze the spatio-temporal dynamic evolution distribution pattern and regional differences of the disaster prevention and resilience in the region in different periods. The results show that the disaster prevention and resilience in the Beijing – Tianjin – Hebei region shows an upward trend from 2010 to 2020. Nevertheless, in the process of development, the gaps in the level of disaster prevention and resilience among different regions have also gradually increased. The level of disaster prevention and resilience in Hebei Province is low and the growth rate is low, and there is still a large gap with Beijing and Tianjin. The region presents the characteristics of unbalanced development. There is no clear clustering or dispersal of disaster resilience in the Beijing – Tianjin – Hebei region. There is also a need to continuously strengthen the coordinated development of the region.

**Keywords:** public safety; disaster prevention resilience; Beijing – Tianjin – Hebei urban agglomeration; temporal and spatial evolution; convergence