

数字经济、技术创新对经济韧性的时空演变分析

王鸿儒

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2026年1月15日; 录用日期: 2026年2月20日; 发布日期: 2026年2月27日

摘要

随着数字化浪潮席卷全球, 数字经济蓬勃兴起, 数字技术的广泛渗透与深度融合, 持续激发技术创新活力与社会进步动能。本研究以东北三省34个城市为研究对象, 借助熵值法、GIS分析法、空间杜宾模型分析东北三省2011~2021年数字经济、技术创新和经济韧性发展水平动态演进和时空特征, 并探究数字经济、技术创新对经济韧性的作用机制。研究表明: 数字经济、技术创新与经济韧性发展水平均呈波动上升的变化趋势, 数字经济、技术创新对经济韧性的提高有显著的促进作用, 同时对经济韧性的影响存在着明显的空间溢出效应, 深入探究其作用机制提供了面对风险挑战的新思路, 也为以增强经济韧性为目标的政策制定提供新视角。

关键词

数字经济, 经济韧性, 时空分布, 东北三省

Analysis of the Spatiotemporal Evolution of Economic Resilience Influenced by Digital Economy and Technological Innovation

Hongru Wang

School of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: January 15, 2026; accepted: February 20, 2026; published: February 27, 2026

Abstract

With the digital wave sweeping across the globe, the digital economy is booming, and the extensive penetration and deep integration of digital technologies continue to stimulate the vitality of

technological innovation and the momentum of social progress. This study takes 34 cities in the three northeastern provinces as the research objects, and uses the entropy method, GIS analysis method, and spatial Durbin model to analyze the dynamic evolution and spatio-temporal characteristics of the development levels of the digital economy, technological innovation, and economic resilience in the three northeastern provinces from 2011 to 2021, and explores the mechanism of the impact of the digital economy and technological innovation on economic resilience. The research shows that the development levels of the digital economy, technological innovation, and economic resilience all present a fluctuating upward trend. The digital economy and technological innovation have a significant promoting effect on the improvement of economic resilience. At the same time, there is a clear spatial spillover effect on the impact of the digital economy and technological innovation on economic resilience. In-depth exploration of its mechanism provides new ideas for facing risks and challenges, and also offers a new perspective for policy-making aimed at enhancing economic resilience.

Keywords

Digital Economy, Economic Resilience, Spatio-Temporal Distribution, Three Northeastern Provinces

Copyright © 2026 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

中国正处于全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军的新发展阶段，发展环境面临深刻变化，给中国经济发展带来多重风险与不确定性。在此背景下，如何提升国家抗风险能力，推动经济与社会在变局中实现高质量发展，已成为一项亟待解决的深刻命题[1]。作为国家总体经济韧性的微观基础，我国不同区域抵御冲击能力和冲击后恢复能力表现出较大差异。相关研究发现，经济发展具有强大韧性和活力的地区能够积极地应对外部冲击，并实现经济的可持续发展；而经济恢复能力较弱的地区在受到外部冲击后，其经济发展将大幅下滑且陷入长期停滞状态，造成不同结果的实际原因是地区间的经济弹性存在差异[2]-[3]。如何应对内外部冲击对经济造成的负面影响，数字经济和技术创新成为影响我国经济韧性强弱的关键因素。

经济韧性的测度方法主要包括核心变量法和指标体系法[4]。在对中国开展的区域经济韧性测度和评价的案例研究方面，一部分是对城市群[5]、黄河流域[6][7]、长三角[8]、珠三角[9]、东北老工业基地[10]等具有特定功能或特定地区的典型案例研究；另一部分则是以省域为基本单元研究中国区域经济韧性[11]。数字经济的概念界定是一个动态演进的过程，与数字技术本身的发展紧密相连。自 Tapscott 首次提出该概念以来，其内涵便随着技术进步不断扩展。早期定义以互联网为核心，视数字经济为数字基础设施的直接产出；而随着移动通信、物联网等技术的普及与融合，其边界与构成也在持续深化和丰富[12]；后期的定义增加了云计算、区块链、物联网、人工智能等数字技术在经济活动中的运用，杨慧梅等[13]基于主成分分析法测算了 2004~2017 年中国省级数字经济综合指标；赵涛等[14]基于五个维度构建数字经济发展指数以测度中国 222 个地级以上城市数字经济综合发展水平。在数字经济时代，数字技术创新已经成长为促进区域增长、增强区域经济韧性的重要力量，以人工智能、大数据、云计算为代表的数字技术创新与区域经济韧性之间有着较强的关系[15]。尽管大量实证研究证实了数字技术创新对区域经济韧性的提升作用，然而其具体的作用机制与复杂的影响效果，仍有待深入探究。

3. 数据来源、研究方法 with 指标体系

3.1. 数据来源

由于数据可获取性,本研究以 2011~2021 年东北三省地级市(不含延边朝鲜族自治州与大兴安岭地区)为研究对象。主要变量原始数据来源于《中国城市统计年鉴》、国家统计局官网、各地级市统计年鉴以及各地级市国民经济和社会发展统计公报。数字经济指数与技术创新指数通过构建指标体系运用熵值法测算得出,个别缺失数据使用插值方法补齐与调整。

3.2. 研究方法

3.2.1. 熵值法

熵值法是一种客观赋权方法,能够客观真实地反应隐含在指标数据中的信息,利用其计算出评价指标权重,为综合评价提供依据。

A. 预处理。利用极差法对指标体系中的相关正指标和相关逆指标,进行标准化预处理。极差法公式见式(1)、式(2),在各年份的指标数据中,获取指标极端值(最大值、最小值),将指标 X 与极端值(最大或最小值)进行相应的比较运算。正向指标为:

$$Z_i = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

逆向指标为:

$$Z_i = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{ij}} \quad (2)$$

其中, Z 为通过计算所得的标准化值,取值区间为[0, 1]。

B. 各评价指标信息熵的求解:第 i 项指标的熵值计算公式为:

$$E_i = -\frac{\sum_{j=1}^m e_{ij} \ln e_{ij}}{\ln m} \quad (3)$$

其中 $e_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum z_{ij}}$,若 $e_{ij} = 0$,则定义 $\lim_{e_{ij} \rightarrow 0} e_{ij} \ln e_{ij} = 0$ 。

C. 各评价指标权重的确定:将第 i 项指标的熵值代入式(4)求解该指标权重:

$$W_i = \frac{1 - E_i}{N - \sum_{i=1}^N E_i} \quad (4)$$

D. 计算子系统综合评价指数

$$R_i = \sum_{j=1}^m W_j Z_{ij} \quad (5)$$

由此得出数字经济子系统综合评价价值 $d(x)$ 和经济韧性子系统综合评价价值 $s(y)$ 。

3.2.2. GIS 分析方法

运用 ArcGIS 软件对各城市数字经济水平、技术创新水平、经济韧性水平进行可视化表达,探究其时空演变特征,通过时间维度和空间维度的比较分析揭示其内在规律。

3.2.3. 空间杜宾模型

构建固定效应模型,以验证数字经济对经济韧性的影响。计算公式如下:

$$Res_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Dige_{i,t} + \alpha_c Z_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

式(6)中, $Res_{i,t}$ 为城市 i 在 t 时期的经济韧性水平, $Dige_{i,t}$ 为城市 i 在 t 时期的数字经济发展水平指标, 向量 $Z_{i,t}$ 代表一系列控制变量; μ_i 表示城市 i 不随时间变化的个体固定效应, δ_t 则控制时间固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 表示随机扰动项。

为进一步讨论数字经济对经济韧性的空间溢出效应, 在式(6)中引入此二者以及其他控制变量的空间交互项, 进一步将其拓展为空间面板计量模型:

$$Res_{i,t} = \alpha_0 + \rho W Res_{i,t} + \phi_1 W Dige_{i,t} + a_1 Dige_{i,t} + \phi_c W Z_{i,t} + \alpha_c Z_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

其中, ρ 代表空间自回归系数, W 为空间权重矩阵。 ϕ_1 和 ϕ_c 为核心解释变量以及控制变量空间交互项的弹性系数。式(7)包括了被解释变量和解释变量的空间交互项, 被称为空间杜宾模型(SDM)。

3.3. 指标体系

本文根据实现经济和社会高质量发展的要求, 结合现有文献, 基于东北三省市域尺度构建涵盖 7 个一级指标、23 项具体指标的评价体系, 突破了全国层面的宏观分析, 对东北三省地区的研究更加精细化。经济韧性涵盖三大类一级指标, 分别是抵抗与恢复能力、适应与调节能力、创新与转型能力, 三大类一级指标又包含了 16 项二级指标; 数字经济涵盖两大类一级指标, 分别是互联网发展和数字金融发展, 两大类一级指标又包含了 5 项二级指标; 结合已有文献研究, 技术创新分为两类, 万人专利授权数和发明专利申请量。

4. 数字经济、技术创新与经济韧性发展水平时空演变特征

4.1. 数字经济发展水平时空演变特征

(1) 时间演变: 运用熵值法计算出 2011~2021 年东北三省城市数字经济各指标的权重来表示发展水平, 并利用 Origin 软件绘制研究期内东北三省 34 个城市的数字经济发展水平分布图(图 2)和雷达图(图 3)。

数字经济发展水平分布图图形左右基本对称(图 2), 总体来看, 数据接近正态分布, 不同组的中位数位置差异大, 说明组间中心趋势差异明显, 离散度先增大后稳定。具体来看, 分布形态在 2011~2013 年, 整体水平低, 城市间差距小; 在 2014~2016 年形状拉长, 中下部较宽, 部分城市率先发展, 差距开始显现; 在 2017~2019 年图形上端开始拓宽, 有城市表现突出; 在 2020~2021 年图形整体上移。从离散程度看 2011~2015 年离散度逐渐增大, 2016~2021 年离散度趋于稳定。图 3 雷达图反映了 2011 年、2016 年、2021 年三个时间节点东北三省城市数字经济发展水平, 不同颜色的区域可直观比较各组的整体表现差异。2011 年位于最内层, 2016 年明显向外扩展, 2021 年覆盖范围最大。总体来看 2011~2021 年间, 东北三省各城市数字经济发展水平普遍提升。从城市来看, 研究期间东北三省城市数字经济发展水平均值差异较大。从 2011 年的 0.144 上升到 2021 年的 0.383, 增长率为 165.97%; 各个城市在 2011~2021 年期间最大值和最小值总体均呈波动升高趋势, 但最大值在 2012、2014、2021 年稍有回落; 从各城市的均值来看, 2021 年各城市的数字经济发展水平均大于均值, 2016 年数字经济发展水平均大于均值的城市占 64.71%; 超过 0.300 的城市有四个, 分别为大连市、哈尔滨市、长春市、沈阳市。综合指数排名前三位的城市为大连市(0.545)、长春市(0.383)、哈尔滨市(0.406), 省会城市具有优越的地理位置条件, 经济发展水平较高, 数字经济发展水平也相应高于其他地区; 排名后三位的城市为朝阳市(0.209)、松原市(0.203)、绥化市(0.180)。

(2) 空间演变: 为了直观显示数字经济发展水平的时空分布特征, 利用 ArcGIS 中的自然断点法, 综合 3 个时间节点年份数据将发展水平分别划分为低水平(0.0514~0.2250)、较低水平(0.2251~0.2583)、中等水平(0.2584~0.2860)、较高水平(0.2861~0.3231)、高水平(0.3232~0.7675)五个等级, 绘制 2011、2016 和 2021 年 3 个时间节点数字经济发展水平的时空分布图(图 4), 进而统计不同发展水平等级的城市数量变化情况。

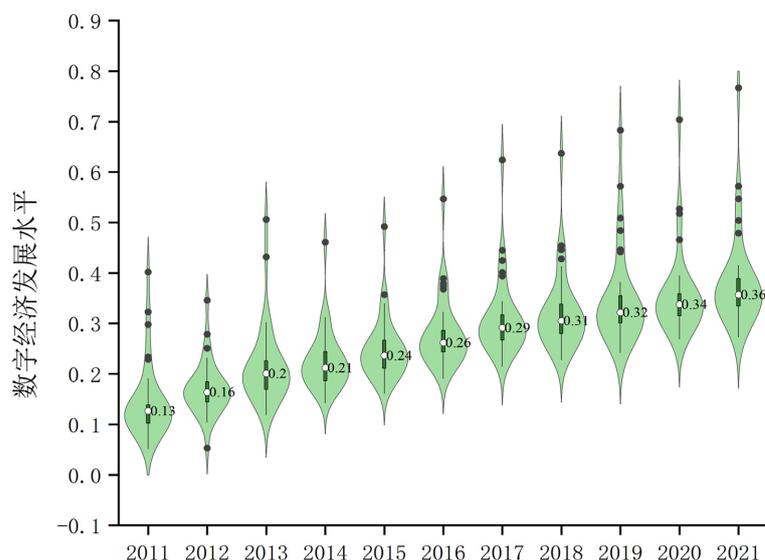


Figure 2. Distribution map of digital economy development level in cities of the three northeastern provinces from 2011~2021

图 2. 2011~2021 年东北三省城市数字经济发展水平分布图

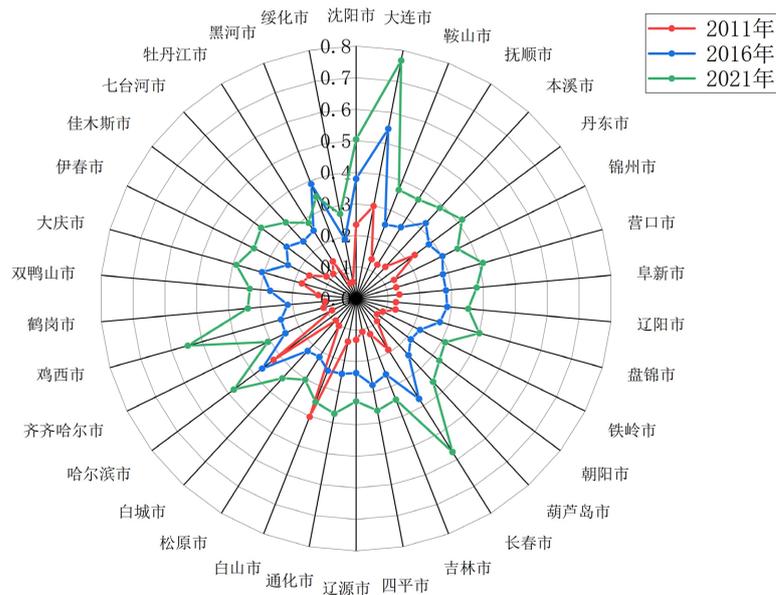
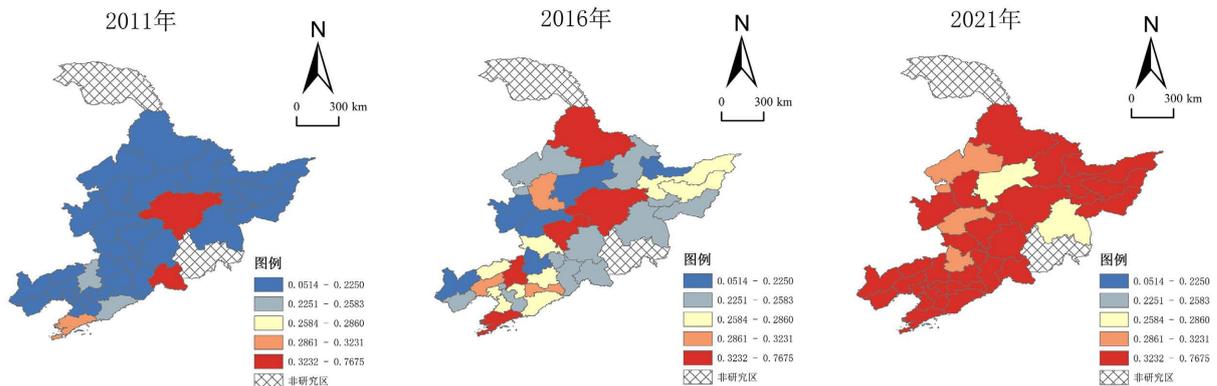


Figure 3. Radar chart of urban digital economy development levels in the three northeastern provinces of China, 2011~2021

图 3. 2011~2021 年东北三省城市数字经济发展水平雷达图

数字经济发展水平由低到高五个等级的城市分布数量分别由 2011 年 31、0、0、1、2 个演化为 2021 年 0、0、2、3、29 个，低水平城市占比大幅减少，由 31 个减少至 0 个，高水平城市数量由 2 个增至 29 个，2021 年没有城市处于低水平和较低水平，城市数字经济发展水平呈向好态势发展。从时空分布来看，2011 年到 2021 年，该区域的数字经济发展呈现出“整体水平提升，高值区域扩张”的趋势，数字经济发展中等水平、较高水平、高水平的区域面积显著增加，表明越来越多的地区突破了数字经济发展的初期门槛，进入了中高水平阶段。具体来说，2011 年，以低水平为主，占比达 91.18%，高水平零星分布在哈

尔滨市和白山市, 较高水平分布于大连市; 2016年以较低水平为主, 占比达 32.35%, 其次是中等水平, 占比达 26.47%, 低水平、高水平 and 较高水平占比分别为 17.65%、14.71%、8.82%; 2021年, 以高水平为主, 占比达 85.29%, 其次是较高水平, 占比达 8.82%, 主要分布在齐齐哈尔市、松原市、铁岭市, 中等水平占比 5.88%, 主要分布在黑龙江省的绥化市和牡丹江市。



注: 该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1822 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 4. Spatial distribution of digital economy development levels

图 4. 数字经济发展水平空间分布

4.2. 技术创新发展水平时空演变特征

(1) 时间演变: 运用熵值法计算出 2011~2021 年东北三省城市技术创新各指标的权重来表示发展水平, 并利用 Origin 软件绘制研究期内东北三省 34 个城市的技术创新发展水平分布图(图 5)和雷达图(图 6)。

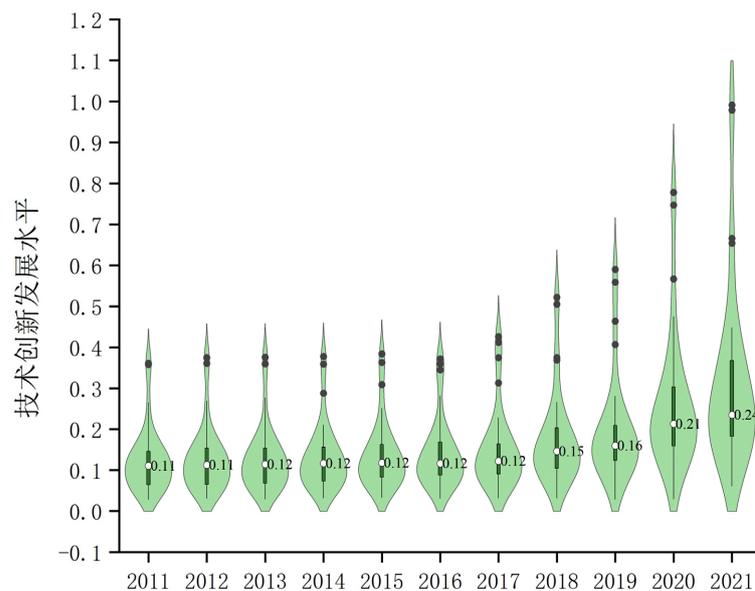


Figure 5. Distribution map of technological innovation development level in cities of the three northeastern provinces from 2011~2021

图 5. 2011~2021 年东北三省技术创新发展水平分布图

技术创新发展水平分布图图形左右基本对称(图 5), 总体来看, 数据接近正态分布, 不同组的中位数

位置差异大说明组间中心趋势差异明显, 总体离散程度呈现波动变化趋势。具体来看, 分布形态在 2011~2014 年, 图形宽度大, 高度低, 数据集中底部, 说明整体水平低, 城市间差异相对小; 在 2015~2017 年形状逐渐拉长, 开始出现向上延伸, 少数城市开始突破; 在 2018~2019 年图形上端开始拓宽; 在 2020~2021 年图形中间宽, 两头渐窄, 说明中等水平城市增多, 分布趋于集中。从离散程度看 2011~2014 年离散度较大, 虽然绝对水平低, 但相对差异明显; 2015~2019 年离散度先增后减; 2018 年差异最大可能是由于领先城市技术创新水平提升导致的; 2020~2021 年离散度稳定, 差异格局基本形成。图 6 雷达图反映了 2011 年、2016 年、2021 年三个时间节点东北三省城市技术创新发展水平。总体来看 2011~2021 年间, 东北三省各城市技术创新发展水平普遍提升, 2016~2021 年扩展幅度大于 2011~2016 年。从城市来看, 研究期间东北三省城市技术创新发展水平均值差异较大。从 2011 年的 0.123 上升到 2021 年的 0.308, 增长率为 150.41%; 从各城市的均值来看, 2021 年各城市的数字经济发展水平平均大于均值; 超过 0.300 的城市有四个, 分别为沈阳市、大连市、哈尔滨市、长春市。综合指数排名前三位的城市为沈阳市(0.481)、大连市(0.450)、哈尔滨市(0.410), 沈阳市具有较好的技术创新生态环境和高端装备制造集群; 大连市除具有特色产业集群外还有沿海开放门户优势; 哈尔滨市具有科教资源富集优势, 高等教育资源丰富, 科研机构密集。排名后三位的城市为绥化市(0.071)、黑河市(0.058)、双鸭山市(0.038), 三个城市技术创新发展水平均低于排名最高的沈阳市的数字经济发展水平的一半, 这可能是由于三个城市均创新需求不足引起。

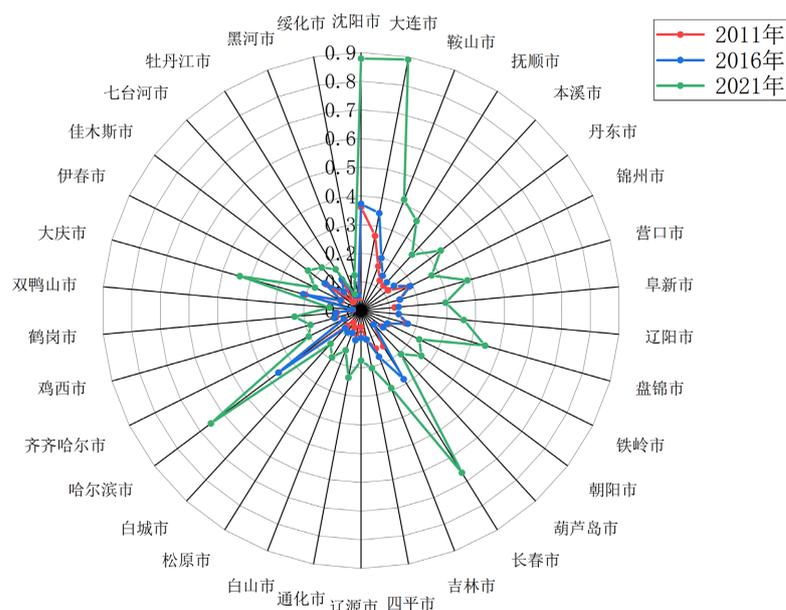
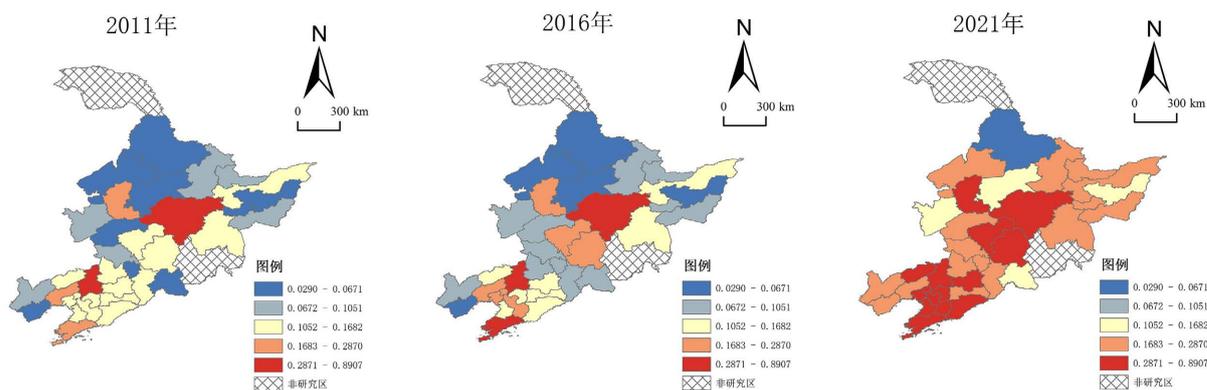


Figure 6. Radar chart of technological innovation development levels in the three northeastern provinces of China, 2011-2021

图 6. 2011~2021 年东北三省技术创新发展水平雷达图

(2) 空间演变: 利用自然断点法综合 3 个时间节点年份数据将发展水平分别划分为低水平(0.0290~0.0671)、较低水平(0.0672~0.1051)、中等水平(0.1052~0.1682)、较高水平(0.1683~0.2870)、高水平(0.2871~0.8907)五个等级, 绘制 2011、2016 和 2021 年 3 个时间节点技术创新发展水平的时空分布图(图 7)。技术创新发展水平由低到高五个等级的城市分布数量分别由 2011 年 9、6、14、3、2 个演化为 2021 年 1、0、4、17、12 个, 较高水平城市占比大幅增加, 由 3 个增加至 17 个, 2021 年城市大多处于较高水平和高水平, 技术创新发展水平呈向好态势发展。从时空分布上看, 10 年间由低水平和较低水平向较高和水平演变, 呈“北低南高”的空间格局。水平整体跃升, 较高水平、高水平区域的面积和数量显著

增加,表明区域整体创新能力在过去十年间大幅提升,创新活动日趋活跃。具体来看,2011年以低水平和较低水平为主,占比达44.12%,主要分布在吉林省和黑龙江省大部,仅有哈尔滨市和沈阳市属于高水平,高水平区域范围小,围绕高水平区域,出现小范围中等水平和较高水平区域,主要分布在辽宁省大部分地区 and 吉林省,外围大片区域均为较低水平和低水平区域,表明创新能力薄弱,空间差异悬殊。2016年较高水平、高水平区域范围明显扩大,表明其创新能力持续强化。低水平和较低水平区域范围有所缩减,但依然广大,主要分布在吉林省和黑龙江省大部分地区。2021年以较高水平和高水平为主,并且较高水平与高水平区域已连成一片,占比分别为50%和35.29%,形成了广泛的创新高地;中等水平占11.76%,主要分布在黑龙江省的绥化市、双鸭山市和吉林省的白城市、白山市,低水平区域大幅减少,仅分布于黑河市,空间不均衡性得到极大改善。



注:该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作,底图无修改。

Figure 7. Spatial distribution of technological innovation development levels

图7. 技术创新发展水平空间分布

4.3. 经济韧性发展水平时空演变特征

(1) 时间演变:运用熵值法计算出2011~2021年东北三省城市经济韧性各指标的权重来表示发展水平,并利用Origin软件绘制研究期内东北三省34个城市的经济韧性发展水平分布图(图8)和雷达图(图9)。

经济韧性发展水平分布图图形左右基本对称(图8),总体来看,数据接近正态分布,不同组的中位数位置差异大说明组间中心趋势差异明显,离散度先增大后稳定。具体来看,分布形态在2011~2014年,图形逐渐拉长,早期分布较集中,多数城市韧性水平接近;在2015~2019年图形向上逐渐加宽,多数城市处于中低水平,少数城市韧性较好,内部差异存在但不太显著;在2020~2021年形态变化明显,2020年底部收缩,中部加宽,低韧性城市减少,中等韧性城市集中,2021年整体上移,顶部开始扩展,整体韧性提升,且出现高韧性城市。从离散程度看2011~2014年离散度先增后减,2015~2019年离散度趋于稳定,城市间经济韧性差距变化不大,2020~2021年离散度也呈现先减后增变化趋势,这可能是由于2020年疫情冲击下,多数城市表现趋同离散度减小,2021年复苏分化,部分城市恢复更快离散度增大。图9雷达图反映了2011年、2016年、2021年三个时间节点东北三省城市经济韧性发展水平,不同颜色的区域可直观比较各组的整体表现差异。总体来看所有城市经济韧性均有提升,同时增速加快,2016~2021年的扩展幅度大于2011~2016年。从城市来看,研究期间东北三省城市经济韧性发展水平均值差异较大。从2011年的0.218上升到2021年的0.269,增长率为23.39%;从各城市的均值来看,2021年经济韧性发展水平均大于均值的城市占82.35%;超过0.350的城市有四个,分别为大连市、哈尔滨市、长春市、沈阳市。综合指数排名前三位的城市为大连市(0.511)、沈阳市(0.425)、哈尔滨市(0.384)、长春市(0.380),四市均为副省级城市,对抗经济下行风险的能

力较强。同时交通等基础设施较其他地区完善，降低了经济循环的成本，增强了抗冲击的能力；排名后三位的城市为鹤岗市(0.149)、绥化市(0.143)、伊春市(0.137)，三个城市经济韧性发展水平平均低于排名最高的大连市的经济韧性发展水平的一半，这可能是由于三市均位于省级行政区边缘：鹤岗市、伊春市地处黑龙江东北部，远离哈大齐等核心经济走廊，物流成本高，难以承接产业转移。绥化市虽邻近哈尔滨，但长期处于“虹吸效应”之下，人才、资本等要素向哈尔滨单向流动，自身难以形成集聚中心。

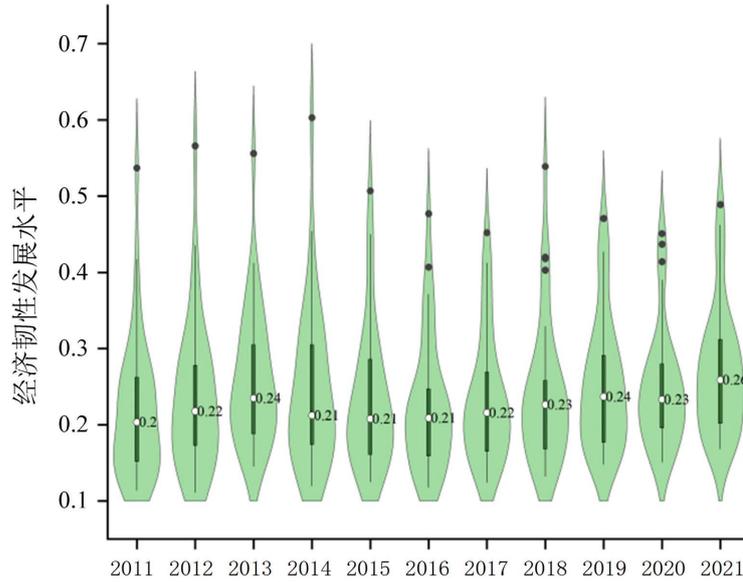


Figure 8. Distribution map of urban economic resilience development level in cities of the three northeastern provinces from 2011~2021

图 8. 2011~2021 年东北三省城市经济韧性发展水平分布图

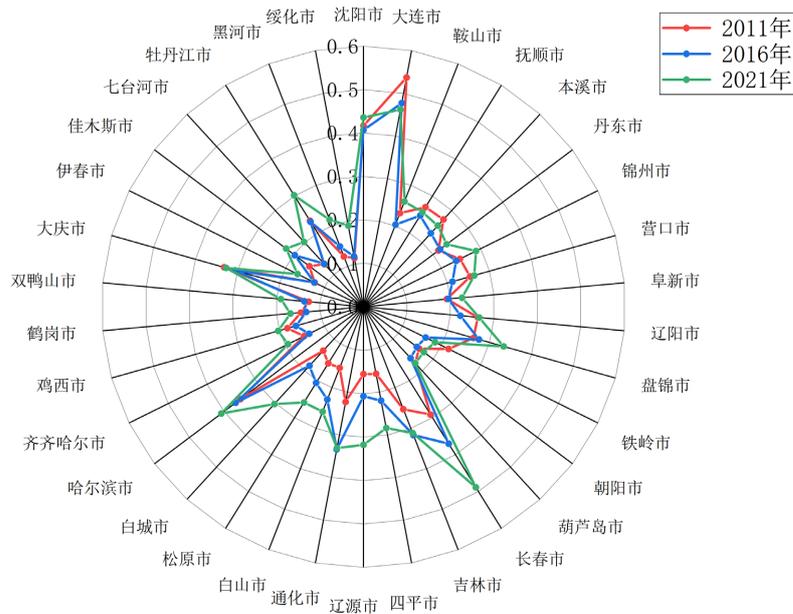
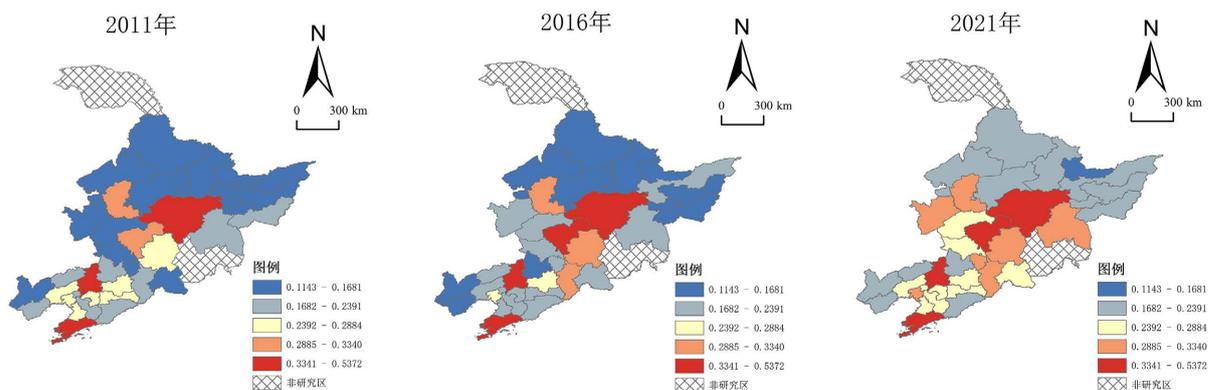


Figure 9. Radar chart of urban economic resilience development levels in the three northeastern provinces of China, 2011~2021

图 9. 2011~2021 年东北三省城市经济韧性发展水平雷达图

(2) 空间演变：利用自然断点法，综合 3 个时间节点年份数据将发展水平分别划分为低水平(0.1143~0.1681)、较低水平(0.1682~0.2391)、中等水平(0.2392~0.2884)、较高水平(0.1683~0.3340)、高水平(0.3341~0.5372)五个等级，绘制 2011、2016 和 2021 年 3 个时间节点经济韧性发展水平的时空分布图(图 10)。经济韧性发展水平由低到高五个等级的城市分布数量分别由 2011 年 14、8、7、2、3 个演化为 2021 年 1、13、9、7、4 个，低水平城市占比大幅减少，由 14 个减少至 1 个，2021 年城市大多处于较低水平和中等水平，较高水平城市占比增加，由 2 个增加至 7 个，经济韧性发展水平呈向好态势发展。从时空分布上看，10 年间整体经济韧性发展水平得到提升，较高水平和高水平区域的面积和数量显著增加，表明整个区域应对经济冲击与复苏的能力在增强。空间格局重塑，从初期以沈阳市、哈尔滨市、大连市此类传统中心城市为高值的格局，逐渐向更多城市提升、较高水平和高水平区域连片的格局演进。具体来看，2011 年以低水平为主，占比达 41.18%，低水平区域分布于整个黑龙江省绝大部分地区、吉林省西部和辽宁省西北部，经济韧性水平普遍偏低；其次是较低水平，占比达 23.53%，主要分布在黑龙江省的鸡西市和牡丹江市以及辽宁省的边缘地区；中等水平分布在辽宁省中部区域以及吉林市；高水平区域出现在哈尔滨市、沈阳市和大连市，呈零星点状分布。2016 年以低水平和较低水平为主，占比分别为 32.35%、41.18%，主要分布在黑龙江省大部分和辽宁省，这些地区经济韧性水平依然较低，而辽宁省部分传统工业城市本溪市、辽阳市、营口市、锦州市经济韧性下滑，可能原因是这些城市主导产业单一，过度依赖重工业，普遍以钢铁(本溪市、营口市)、石化(辽阳市、锦州市)、装备制造等传统重化工业为主导产业；其次是高水平，占比达 11.76%，长春市的韧性水平显著跃升，与沈阳市、哈尔滨市、大连市共同构成更为明显的高水平区域；中等水平和较高水平占比相差不大，较高水平区域开始出现连片趋势。2021 年以较低水平和中等水平为主，占比分别为 38.24%和 26.47%，其次较高水平区域占比 20.59%，高水平区域占比 11.76%，长春市、沈阳市、哈尔滨市、大连市共同构成多个高水平区域中心。中等水平、较高水平、高水平区域在哈大沿线及吉林省中部连片分布。低水平区域分布于黑龙江省的鹤岗市。



注：该图基于自然资源部标准底图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1822 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 10. Spatial distribution of economic resilience development levels

图 10. 经济韧性发展水平空间分布

5. 实证分析

5.1. 模型拟合结果

为探究东北三省数字经济、技术创新对经济韧性的影响作用，依据前文构建的指标体系加入控制变量：经济韧性作为被解释变量，数字经济与技术创新作为解释变量。统一选取以下七个指标作为控制变量：城市研发支出(a1)、每万人医院床位数(a2)、每百人新创企业数(a3)人口城镇化率(a4)、人均工业二氧

化硫排放量(a5)、人均工业废水排放量(a6)、NDVI(a7)。数字经济、技术创新与经济韧性的值采用上文熵值法计算权重得出的发展评价得分结果来表示。在控制变量中用常住人口城镇化率表征城市化水平；用城市研发支出、每万人医院床位数来表征基础设施发展水平；用每百人新创企业数来表示创新发展水平；用人均工业二氧化硫排放量、NDVI 表征生态环境发展水平。

建立空间计量模型之前，使用莫兰指数对 34 个市 2011~2021 年经济韧性、数字经济及技术创新做空间相关性检验，结果表明经济韧性、数字经济及技术创新在 2011~2021 年 P 值都小于 0.1。经济韧性的莫兰指数全部都在 1% 水平下显著，数字经济的莫兰指数全部都在 1% 水平下显著，技术创新的莫兰指数全部都在 5% 水平下显著。因此有必要在回归模型中加入空间因素进行分析。使用空间计量模型进行研究，能够得出数字经济、技术创新对经济韧性更准确且更深层次的影响结果，选择具体空间计量模型的过程如下：

Table 1. LM and Robust LM test
表 1. LM 及 Robust LM 检验

检验	统计量
Lagrange Multiplier (error)	19.115***
Robust LM (error)	15.464***
Lagrange Multiplier (lag)	8.727***
Robust LM (lag)	5.077**

注：*、**、***分别表示在 1%、5%、1% 水平上显著。

根据 Anselin 提出的模型判别准则，利用 Stata16.0 对空间面板进行拉格朗日乘子统计量(LM)检验，结果如表 1 所示。Moran's I 指数计算结果 p 值均小于 0.05，在 5% 水平上显著，拒绝选取 OLS 回归，选择基于面板数据的空间计量模型。同时既存在空间误差效应又存在空间滞后效应，分别在 1%、5%、10% 的水平上显著，因此初步选择空间杜宾模型(SDM)更为合适。

Table 2. Fixed effects regression results
表 2. 固定效应回归结果

指标	空间固定效应	时间固定效应	时空双固定效应
x1	0.070* (1.89)	0.241*** (5.46)	0.040 (1.05)
x2	0.056* (1.55)	0.299*** (14.07)	0.104*** (2.84)
a1	3.596*** (3.63)	0.066 (0.06)	4.363*** (4.47)
a2	0.005*** (4.75)	0.003*** (3.18)	0.006*** (5.19)
a3	-0.026 (-0.75)	0.166*** (4.68)	-0.027 (-0.79)
a4	0.067 (1.13)	-0.209*** (-4.21)	0.032 (0.55)
a5	0.010 (0.66)	0.003 (0.22)	0.024* (1.63)
a6	0.0003 (0.51)	0.001 (1.48)	-0.001 (-0.12)
a7	0.404* (1.48)	-0.250** (-2.08)	0.319 (1.17)
R ²	0.234	0.671	0.251
Hausman 检验	卡方值为 29.27 > 0，且 P < 0.01，选择固定效应模型		
ρ	0.175*		

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1% 水平上显著。

根据 Hausman 检验结果可知(表 2), 卡方值为 29.27 大于 0, 在 1%水平上显著, 固定效应优于随机效应, 选择空间杜宾模型的固定效应结果。双固定效应显著性检验显示, 零假设为空间固定效应显著的检验结果为(42.66, $P=0.0000$), 拒绝零假设, 零假设为时间固定效应显著的检验结果为(333.43, $P=0.0000$), 拒绝零假设, 所以我们采用时间空间双固定效应。Wald 和 LR 检验的统计量均通过 1%显著性水平检验, 表示 SDM 模型不可以简化为 SAR 模型和 SEM 模型。SDM 时间空间固定效应模型的拟合优度最高, 对数似然函数值最大(359.39), 表明该模型是最优的选择。因此, 本文采用时间空间双固定效应的空间杜宾模型来研究数字经济、技术创新对经济韧性的空间效应。

通过前文的空间检验结果, 选择时空双固定效应的空间杜宾模型, 使用极大似然估计方法就数字经济、技术创新对经济韧性的空间影响进行回归, 回归结果见表 2。为了确保研究结果的稳健性, 依次列出了空间杜宾模型的空间、时间、时空双固定效应 3 类模型的回归结果。对比模型估计结果, 数字经济和技术创新三个模型的回归系数均为正值, 虽然在显著性水平上有所差异, 但基本都通过了显著性检验, 说明结果具有可靠性, 本市区的数字经济发展水平越高, 技术创新水平越高, 经济韧性就越好。

进一步分析考虑了时间空间因素的空间面板回归模型, 技术创新(x2)、城市研发支出(a1)、每万人医院卫生床位(a2)、人均工业二氧化硫排放量(a5)的 P 值均显著, 说明它们对因变量有稳定的促进作用。空间自回归系数 ρ 在 10%水平上显著为正(0.175), 证实了研究样本存在显著的正向空间溢出效应。在双固定模型下, 控制变量 a3, a4, a6, a7 的影响均不显著。但 a4 在时间固定效应模型中显著为负(-0.209), 这说明 a4 的影响可能与时间变化有关。

5.2. 空间溢出效应分析

将数字经济、技术创新对经济韧性的空间效应分解成直接效应、间接效应和总效应, 如表 3 所示。直接效应是用来解释数字经济、技术创新对本市区经济韧性的平均影响; 间接效应是用来解释数字经济、技术创新对周边市区经济韧性的平均影响, 即空间溢出效应; 总效应即两个效应的和, 用于解释数字经济、技术创新对所有市区经济韧性的平均影响。

Table 3. Decomposition of spatial effects

表 3. 空间效应分解

指标	直接效应	空间溢出效应	总效应
x1	0.035 (0.89)	-0.269** (-2.28)	0.032* (0.82)
x2	0.117*** (3.24)	0.583*** (4.16)	0.670*** (4.62)
a1	4.626*** (4.91)	6.520** (1.92)	11.145*** (3.05)
a2	0.006*** (5.21)	-0.001 (-0.12)	0.005 (1.24)
a3	-0.026 (-0.77)	0.027 (0.19)	0.002 (0.01)
a4	0.025 (0.42)	-0.451** (-2.45)	-0.426** (-2.07)
a5	0.029* (1.87)	0.205*** (4.15)	0.233*** (4.47)
a6	-0.001 (-0.41)	-0.008*** (-3.00)	-0.008*** (-2.75)
a7	0.373 (1.36)	1.249 (1.26)	1.621* (1.50)
R ²	0.251	0.251	0.251
ρ		0.175*	

注: *, **, ***分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

从直接效应的估计结果来看,解释变量技术创新(x2),控制变量城市研发支出(a1)、每万人医院卫生院床位数(a2)、人均工业二氧化硫排放量(a5)都具有显著正向作用。影响程度绝对值由小到大依次为:每万人医院卫生院床位数 < 人均工业二氧化硫排放量 < 技术创新 < 数字经济。从间接效应的估计结果来看,解释变量数字经济(x1)、技术创新(x2),控制变量城市研发支出(a1)、人口城镇化率(a4)、人均工业二氧化硫排放量(a5)、人均工业废水排放量(a6)存在显著的空间溢出效应,影响程度绝对值由小到大依次为:城市研发支出 < 技术创新 < 常住人口城镇化率 < 数字经济 < 人均工业二氧化硫排放量 < 人均工业废水排放量。总效应的估计表明,解释变量数字经济(x1)、技术创新(x2)具有显著正向作用;控制变量城市研发支出(a1)、人口城镇化率(a4)、人均工业二氧化硫排放量(a5)、人均工业废水排放量(a6)、NDVI(a7)存在显著的影响作用,都有助于经济韧性提升。影响程度绝对值由小到大依次为:城市研发支出 < NDVI < 技术创新 < 常住人口城镇化率 < 人均工业二氧化硫排放量 < 数字经济 < 人均工业废水排放量。从整体来看,各城市研发通过了1%的显著性水平检验,且显著为正,表明城市研发支出的增加促进了经济韧性的增长。各城市NDVI每变化1%,经济韧性增加1.624%,东北地区是我国重要的商品粮基地和生态保护区,较高的NDVI利于发展高附加值的生态农业,从而为区域经济提供稳定的支撑。各城市技术创新每变化1%,经济韧性增加0.670%,技术创新催生了一系列新兴产业。这些新兴产业的成长降低了经济对单一传统产业的依赖,实现了产业结构的多元化,从而提升经济系统的稳定性和抗风险能力。各城市人口城镇化率每变化1%,经济韧性减少0.426%,城镇化加速了人口老龄化进程,导致城市劳动力供给短缺,社会保障压力加大。在面对外部经济冲击时,恢复能力较弱。各城市人均工业二氧化硫排放量每变化1%,经济韧性增加0.233%;各城市数字经济每变化1%,经济韧性增加0.032%;这可能是由于数字经济主要通过赋能实体经济来驱动经济增长:一方面,它推动传统产业转型,催生了新应用场景;另一方面,它通过影响投入产出效率,从而对经济发展产生影响。各城市人均工业废水排放量每变化1%,经济韧性下降0.008%,这可能是由于产业结构调整、人口流失和经济活力下降导致的。

6. 结论

本文以东北三省城市为研究单元,2011~2021年为研究时段,采用熵值法对数字经济、技术创新与经济韧性水平进行测算,分析数字经济、技术创新与经济韧性的时空演变;采用空间杜宾模型分析数字经济、技术创新对经济韧性的发展速度差异和空间动态演化趋势,并做出区域影响因素异质性分析,研究发现数字经济、技术创新与经济韧性发展水平均呈波动上升的变化趋势,三者相比较来看数字经济发展水平和技术创新发展水平变化更为剧烈,经济韧性发展水平变化幅度较小;大连市、哈尔滨市、长春市、沈阳市等核心城市数字经济发展水平、技术创新发展水平以及经济韧性发展水平都较高,各城市差异较为明显。数字经济、技术创新对经济韧性的提高有显著的促进作用,在加入控制变量以后,数字经济、技术创新仍能显著促进经济韧性的提升,数字经济、技术创新、城市研发支出、人均工业二氧化硫排放量、NDVI具有显著正向作用;人口城镇化率、人均工业废水排放量具有显著负向作用。数字经济、技术创新对经济韧性的影响存在着明显的空间溢出效应。为此提出以下建议:

(1) 强化数字基础设施建设,夯实经济韧性根基。加快新型数字基础设施建设,重点推进5G网络、工业互联网、数据中心等新型基础设施布局,构建安全可靠的新型数字基础设施体系。(2) 深化产业数字化转型,培育经济韧性新动能。推动制造业数字化智能化转型,培育数字消费新场景,加快农业数字化转型,提升农业生产智能化水平,促进农村一二三产业融合发展。(3) 加强技术创新能力建设,增强经济韧性内生动力。强化创新平台建设,建立健全科技成果转化激励机制,促进科技成果转化。(4) 优化数字经济发展环境,激发经济韧性活力。加强人才队伍建设,完善人才激励机制,营造有利于人才创新创业的良好环境。

参考文献

- [1] 文军, 刘雨航. 面向不确定性: 新发展阶段中国社会治理的困境及其应对[J]. 地理科学, 2022, 42(3): 390-400.
- [2] Eraydin, A. (2015) Attributes and Characteristics of Regional Resilience: Defining and Measuring the Resilience of Turkish Regions. *Regional Studies*, **50**, 600-614. <https://doi.org/10.1080/00343404.2015.1034672>
- [3] Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., *et al.* (2020) The Socio-Economic Implications of the Coronavirus Pandemic (COVID-19): A Review. *International Journal of Surgery*, **78**, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.04.018>
- [4] 孙久文, 孙翔宇. 区域经济韧性研究进展和在中国应用的探索[J]. 经济地理, 2017, 37(10): 1-9.
- [5] 刘海龙, 安芷萱, 王焕珂, 等. 京津冀城市群县域城市韧性与创新效率耦合协调时空演变及影响因素的空间异质性[J]. 地理研究, 2025, 44(2): 577-602.
- [6] 叶文显. 黄河流域经济韧性的时空演变特征与影响因素[J]. 统计与决策, 2024, 40(17): 132-137.
- [7] 李连刚, 张平宇, 程钰, 等. 黄河流域经济韧性时空演变与影响因素研究[J]. 地理科学, 2022, 42(4): 557-567.
- [8] 杜文瑄, 施益军, 徐丽华, 等. 风险扰动下的城市经济韧性多维测度与分析——以长三角地区为例[J]. 地理科学进展, 2022, 41(6): 956-971.
- [9] Du, Z., Zhang, H., Ye, Y., Jin, L. and Xu, Q. (2019) Urban Shrinkage and Growth: Measurement and Determinants of Economic Resilience in the Pearl River Delta. *Journal of Geographical Sciences*, **29**, 1331-1345. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1662-6>
- [10] 关皓明, 杨青山, 浩飞龙, 等. 基于“产业-企业-空间”的沈阳市经济韧性特征[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 415-427.
- [11] 朱琳. 中国区域经济韧性的质量评价与影响因素分析[J]. 统计与决策, 2024, 40(3): 123-127.
- [12] Tapscott, D. (1996) *The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence*. McGraw-Hill.
- [13] 杨慧梅, 江璐. 数字经济、空间效应与全要素生产率[J]. 统计研究, 2021, 38(4): 3-15.
- [14] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [15] 刘洋, 应震洲, 应瑛. 数字创新能力: 内涵结构与理论框架[J]. 科学学研究, 2021, 39(6): 981-984, 988.