

DOI: 10.5846/stxb202106221662

陈晓红,许晓庆,刘艳军,王颖,张明轩,马灵玉,刘爽.基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性时空演变格局及驱动力研究.生态学报,2022,42(15):6395-6405.

Chen X H, Xu X Q, Liu Y J, Wang Y, Zhang M X, Ma L Y, Liu S. Patterns and Driving Forces of the Temporal-Spatial Evolution of Urban Vulnerability in Harbin-Changchun Urban Agglomeration based on the production-living-ecological Spatial Quality. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(15): 6395-6405.

基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性时空演变格局及驱动力研究

陈晓红¹, 许晓庆^{1,*}, 刘艳军², 王颖¹, 张明轩¹, 马灵玉¹, 刘爽¹

1 哈尔滨师范大学地理科学学院, 哈尔滨 150025

2 东北师范大学地理科学学院, 长春 130000

摘要:高质量的三生空间是城市高品质空间布局、高效率功能体现的重要保障与载体。城市群作为城市三生空间矛盾的集中地,降低其城市脆弱性,是区域可持续发展的关键。因此,基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性研究对国土空间协调与稳定发展具有重要意义。以哈长城市群 11 个地市为研究区域,基于生产空间质量、生活空间质量、生态空间质量构建城市脆弱性评价指标体系,运用熵权-TOPSIS 评价模型、ArcGIS 空间分析工具以及地理探测器对 2010—2018 年哈长城市群城市脆弱性的时空格局演变与驱动力进行分析。研究结果表明:①在时间变化上:整体来看,2010—2018 年哈长城市群城市脆弱性呈下降的趋势,城市脆弱性空间上呈“先增强后减弱”的态势。城市脆弱性高等级地区数量呈现“先增强后减弱”的趋势,而城市脆弱性指数相似地区集中分布呈现“先减弱后增强”态势。②在空间布局上:形成了 II、I 级区“点状零散”,V、IV 级区的“边缘式”的空间分布格局。空间分布呈现“随机化”,无明显集聚性。从其演化趋势类型特征上看,呈发散趋势的城市多于呈收敛趋势的城市,说明哈长城市群城市脆弱性空间差异呈逐渐增大态势。③基于三生空间质量哈长城市群城市脆弱性的空间分异主要是由城市生活空间质量脆弱性的差异引起,其次是城市生产空间质量脆弱性。其中,经济增长水平不高是城市生产空间质量脆弱性的首要因素;交通设施水平不完善、燃气资源供给力度不够、城乡差距偏大、教育水平程度偏低、信息化水平低下是城市生活空间质量脆弱性的关键因素;污水处理强度、城市绿化水平和生活垃圾无害化处理强度是影响哈长城市群城市生态空间质量脆弱性的基础要素。

关键词:三生空间质量;城市脆弱性;时空格局演变;驱动力;哈长城市群

Patterns and Driving Forces of the Temporal-Spatial Evolution of Urban Vulnerability in Harbin-Changchun Urban Agglomeration based on the production-living-ecological Spatial Quality

CHEN Xiaohong¹, XU Xiaoqing^{1,*}, LIU Yanjun², WANG Ying¹, ZHANG Mingxuan¹, MA Lingyu¹, LIU Shuang¹

1 School of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin 150025, China

2 School of Geography Science, Northeast Normal University, Changchun 130000, China

Abstract: High-quality production-living-ecological space is an important guarantee and carrier for high-quality urban spatial layouts and high-efficiency functions. Urban Agglomerations are the concentrated areas of urban production-living-ecological spatial conflicts. Reducing the urban vulnerability of Urban Agglomerations has become the key to regional sustainable development. Therefore, the research on the urban vulnerability of Harbin-Changchun Urban Agglomeration

基金项目:黑龙江省自然科学基金项目(LH2019D008);黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(21JLE323);国家自然科学基金项目(42171191, 41771172)

收稿日期:2021-06-22; 网络出版日期:2022-04-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1909201342@qq.com

based on the production-living-ecological Spatial Quality is of great significance to the coordinated and stable development of territorial space. Taking 11 cities in the Harbin-Changchun Urban Agglomeration as the research area, the urban vulnerability evaluation index system was constructed based on the quality of production space, the quality of living space and the quality of ecological space. The entropy weight-TOPSIS evaluation model, ArcGIS spatial analysis tools and geographic detectors were used to analyze the patterns and driving forces of the spatial and temporal evolution of urban vulnerability in the Harbin-Changchun Urban Agglomeration from 2010 to 2018. The research results show that: (1) The urban vulnerability of the Harbin-Changchun Urban Agglomeration presented a downward trend from 2010 to 2018, and the urban vulnerability spatially showed a trend of increasing first and then weakening. The number of high-level areas of urban vulnerability showed a trend of strengthening first and then weakening, while the concentrated distribution of areas with similar urban vulnerability indexes showed a trend of weakening first and then increasing. (2) The II and I level areas were mainly distributed in the core area, which were distributed in spots and scattered. The V and IV level areas were mainly distributed in the peripheral areas, showing a spatial pattern of widely distributed on the edge. The spatial distribution was randomized and there was no obvious agglomeration. Judging from the characteristics of the types of evolution trends, there were more cities showing a divergent trend than a convergence trend, which indicated that the spatial differences in urban vulnerability of the Harbin-Changchun Urban Agglomeration were gradually increasing. (3) Based on the production-living-ecological Spatial Quality, the spatial differentiation of the urban vulnerability of Harbin-Changchun Urban Agglomeration was mainly caused by the difference in the vulnerability of urban living space quality, followed by the difference in the vulnerability of urban production space quality. Among them, the low level of economic growth was the primary factor for the vulnerability of urban production space quality; The imperfect transportation facilities, insufficient gas supply, large gap between urban and rural areas, low education level and low level of information were the key factors for the vulnerability of urban living space quality; The intensity of sewage treatment, the level of urban greening and the intensity of harmless treatment of domestic waste were the basic elements that affected the vulnerability of the urban ecological space quality of the Harbin-Changchun Urban Agglomeration.

Key Words: the production-living-ecological Spatial Quality; urban vulnerability; temporal and spatial evolution pattern; driving force; Harbin-Changchun Urban Agglomeration

城市群作为人类经济社会政治文化活动的重要场所,其三生空间矛盾日益凸显,不同功能空间在空间布局与功能相互融合等方面可能出现各种矛盾问题,关系到我国城市经济社会发展的功能系统性、宜居性与可持续性^[1]。降低城市群城市脆弱性以应对冲击,成为城市群空间高质量发展面临的重要问题。党的十八大工作报告明确提出“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的新型国土空间发展目标。这种空间区域划分管理方式基本符合环保生态-绿色生产-和谐生活“三大支柱”的可持续发展规划理念,受到国内外广泛认可。因此,城市高质量的可持续发展是以三生空间高质量为本的可持续发展,三生空间是存在质量的,高质量的三生空间是城市高品质空间布局、高效率功能体现的重要保障与载体。简而言之,城市三生空间高质量发展目标是营造生产集约利用与高效益、生活宜居适度与高品质、生态绿色发展与高颜值的人居环境。近年来,有学者从城乡规划角度出发,强调城市宜居性,对城市“三生空间”评价体系进行构建^[2]。而除了从国土空间理论以及规划视角研究“三生空间”之外,李宗阳等则将“三生”概念从二维的土地延伸到一个城市的抽象空间,并运用相关衡量指标对指标体系进行构建,评价城市的综合承载力^[3]。杨发鹏等则采用城市旅游“三生”竞争力模型,对城市的旅游竞争力进行评价^[4]。这些研究虽然立足于“三生空间”的角度,但并没有以二维土地概念的角度,进行空间自身优化,也没有对此评价研究。在此背景下,基于三生空间质量对哈长城市群城市脆弱性问题展开研究,不仅在理论意义上丰富了城市脆弱性理论,从质量角度为城市脆弱性的研究提供新的方法和思路;而且在实践意义上有助于识别空间视角下哈长城市群城市脆弱性的症结,提出

因地制宜的空间优化策略,对开展城市空间高质量研究具有重要的研究价值。

城市作为人地互动复杂的系统,其脆弱性特征显著,近年来,学者们逐渐从多个研究视角对城市脆弱性展开研究,研究成果不断丰富。随着城市扰动因子的不断增多,城市脆弱性研究逐步成为学术界研究的热点。国外学者基于自然灾害^[5-8]、气候^[9]、人地协调论^[10-11]及城市边缘区^[12]等方面对城市脆弱性的内涵进行阐述,遵循经济—社会—生态—人地耦合系统测度框架,从欧共体、国家(岛屿)、地区、市域等多个尺度出发,对城市脆弱性的概念框架与评估^[13]、时空演化^[14]、测度与评估^[15-16]、影响机制^[17]、规避措施以及治理政策^[14]等方面进行了大量研究。而国内学者在城市经济^[18]、社会^[19-20]、生态^[21]、复合系统^[22]、资源环境脆弱性^[23]的理论指导下,基于区域、省域、城市群、市域、县域、社区、城市边缘区等多个尺度,对城市脆弱性的概念界定^[24-25]、定量评估与分类评价^[26-29]、空间溢出效应^[30]、时空分异特征及影响因素^[26]、调控途径^[31]等方面展开研究。纵观国内外研究,国内外学者对于城市脆弱性的研究主要集中于城市脆弱性定量评估与分类评价上,多从规模和数量的角度对城市脆弱性进行分析,而从三生空间质量的角度,对城市群城市综合脆弱性研究比较欠缺,研究视角仍需进一步完善。

本文以哈长城市群为研究区域,从生产、生活以及生态空间质量耦合规律与城市脆弱性研究的综合评价视角,基于三生空间发展质量水平构建城市脆弱性综合评价质量指标体系,从不同区域空间视角对比相同时间段各个区域城市的脆弱性,并基于发散和收敛的角度对不同时间段的脆弱性空间演变趋势类型及特征进行对比研究。在此基础上,对哈长城市群城市脆弱性的驱动力进行分析,认知哈长城市群城市脆弱性动态特征并揭示其主要驱动因子,为城市群空间高质量发展提供一定的理论指导,为东北全方位振兴提供新思路。

1 研究区与数据来源

哈长城市群主要包括哈尔滨市、大庆市、齐齐哈尔市、绥化市、牡丹江市、长春市、吉林市、四平市、辽源市、松原市、延边朝鲜族自治州,主要集中在黑龙江省中南部和吉林省中部地区(图1)。近年来,哈长城市群脆弱性日益凸出,其主要体现在经济发展水平、居民生活状况、生态环境质量等方面。具体表现如下:①经济发展水平持续下降。哈长城市群自2010年,经济增速持续下降,到2019年下降为2.97%。②居民生活质量相对较差。根据《2018年哈长城市群消费活力指数研究报告》显示,哈长城市群的消费活力指数明显低于长江中游城市群12.09个百分点。③生态环境恶化。据2019年12月中国气象局发布的《全国最差空气质量指数排行榜报告》中显示,哈长城市群的11个地级市均受到不同程度的污染。因此,基于三生空间质量研究哈长城市群城市脆弱性对该地区如何完善区域产业结构、提升地区居民生活服务质量、改善地区生态环境、降低城市脆弱性、推动城市空间高质量发展具有一定的现实指导意义。

本文以哈长城市群11个地级市作为研究区域,时间尺度上,起始年份选取“十二五”规划前的2010年,将“十三五”规划后期2018年定为目标年份。包括的27项指标的基本统计数据主要来自2011—2019年的《黑龙江省统计年鉴》^[32]、《吉林省统计年鉴》^[33]、吉林省国民经济和社会发展统计公报和黑龙江省国民经济和社会发展统计公报等。由于数据缺失、统计口径不一致等原因,本文研究区域不包括延边朝鲜族自治州。并采用指数平滑法进行填补部分相关缺失统计数据,借助EXCEL、SPSS、Matlab和ArcGIS等分析软件,对相关数据进行综合统计分析。

2 研究方法

2.1 评价指标体系构建

城市三生空间质量与城市脆弱性是辩证统一的关系,二者均在一定程度上反映城市的发展水平,城市群以优化三生空间质量,降低城市脆弱性为出发点构建评价指标体系。为了更好地测度基于三生空间质量的哈长城市群脆弱性发展水平,遵循科学性、可操作性与全面性的原则,依据城市在经济、社会、生态等不同研究领域的脆弱性特征,综合现有研究,将基于三生空间质量的城市脆弱性发展概念界定为:以可持续发展为目标,

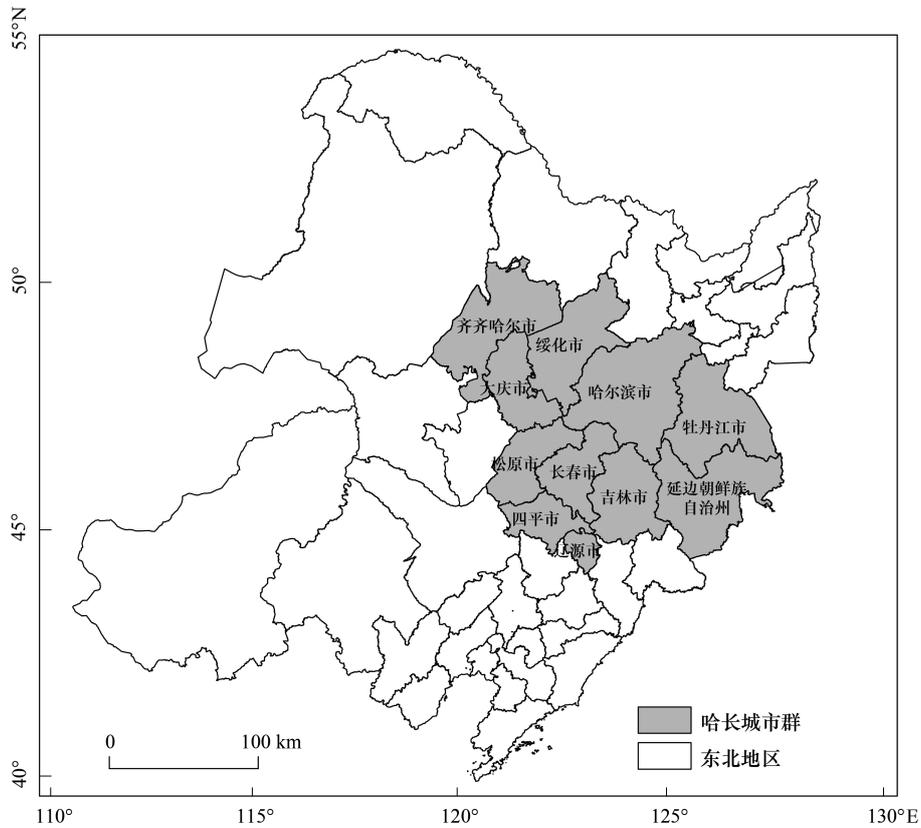


图 1 哈长城市群区位图

Fig.1 Regional overview map of Harbin-Changchun Urban Agglomeration

通过生产、生活、生态空间质量三个维度共同作用来降低城市脆弱性以促进城市空间高质量发展。从生产、生活以及生态空间质量耦合规律与脆弱性研究的综合视角切入,基于三生空间质量的角度,将城市脆弱性划分为城市生产空间质量、生活空间质量、生态空间质量的脆弱性三个子系统,构建基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性指标评价体系。基于该研究视角与方向使原有的城市脆弱性研究更具目标性,评价结果具体化,指标选取综合了脆弱性评价体系,以及与人类密切相关的三生空间体系,侧重城市发展中可能面临的问题,结合哈长城市群的实际情况,整理构建了 27 个评价指标^[34-36],由于数据获取存在局限性,仍有部分数量指标参杂其中。其中生产空间质量系统脆弱性涵盖地区总体经济发展状况,主要体现在地区的经济生产总量和增速上,通过提升地区生产总值、加大财政收入、优化产业结构、加大投资力度等来实现哈长城市群生产力的高效发展;生活空间质量脆弱性包含居民生活水平、信息技术水平、基础设施水平和风险抵御能力,具体通过教育、医疗水平、城乡差距、互联网普及率等指标来测度城市生活空间质量脆弱性;而生态空间质量脆弱性主要反映在生态污染与生态治理上,其中城镇污水集中处理程度、城市绿化水平、生活垃圾无害化处理强度是主要指标。具体指标体系构建如下:见表 1。

2.2 熵权-TOPSIS 评价模型

熵权-TOPSIS 模型适用于多指标综合评价,具有客观性、可操作性、对样本需求较小且结果合理等优点,能够定量、客观地评价哈长城市群的脆弱性特征。本文基于熵值权重的 TOPSIS 评价模型对哈长城市群空间高质量发展系统脆弱性进行测度^[37],步骤如下:首先利用熵值法确定指标权重,然后利用 TOPSIS 评价模型对确定目标进行排序。其值越大则评价子系统的城市脆弱性状况越严峻,受到外界灾害和风险扰动的可能性越大,抵抗与适应外界变化的能力越差,进而影响城市三生空间发展质量,越不利于城市发展;相反,城市脆弱性值越小,则城市抵抗与适应外界能力越强,城市三生空间质量越好,越有利于城市发展。

表 1 基于三生空间质量的哈长城市群城市脆弱性评价指标体系

Table 1 Urban vulnerability evaluation index system of Harbin-Changchun Urban Agglomeration based on the production-living-ecologica

Spatial Quality						
目标层 Target layer	系统层 System layer	指标层 Index layer	性质 Nature	指标含义 Indicator meaning	计算方式 Calculation	
哈长城市群城市脆弱性评价 Evaluation of urban vulnerability of harbin-changechun agglomeration	生产空间质量脆弱性	人均 GDP X_1	-	经济总量	地区生产总值/地区总人口	
		公共财政收入占 GDP 比重 X_2	-	经济增长	公共财政收入/GDP	
		第三产业占 GDP 比重 X_3	-	经济结构	第三产业/GDP	
		财政收入增长率 X_4	-	经济增速	本期财政收入额-对同期财政收入/对同期财政收入	
		万人发明专利拥有量 X_5	-	产出高效	年末发明专利拥有量/年末总人口	
		进出口总额占 GDP 比重 X_6	-	外贸依存度	进出口总额/GDP	
		教育支出占财政支出的比重 X_7	-	教育投入	教育支出/财政支出	
		科学支出占财政支出的比重 X_8	-	科技投入	科学支出/财政支出	
		单位城市建设用地固定资产投资额 X_9	-	投资强度	固定资产投资/城市建设用地面积	
	生活空间质量脆弱性	城镇登记失业率 X_{10}	+	就业影响	失业人口/城镇总人口	
		供水综合生产能力 X_{11}	-	水资源供给	-	
		城乡收入比 X_{12}	+	城乡差距	城镇居民收入/农村居民收入	
		城镇化率 X_{13}	-	人口集中度	城镇人口/总人口	
		互联网普及率 X_{14}	-	信息化水平	互联网用户数/常住人口总数	
		燃气普及率 X_{15}	-	燃气供给强度	用气人口数/城市人口总数	
		每万人拥有卫生院床位数 X_{16}	-	医疗卫生水平	卫生院床位数/地区总人口	
		每万人拥有公共汽车数量 X_{17}	-	交通设施水平	公共汽车数量/地区总人口	
		每万人在校学生数 X_{18}	-	教育水平	在校学生数/地区总人口	
		生态空间质量脆弱性	建成区面积比重 X_{19}	+	土地利用强度	建成区面积/总建设面积
			人均公园绿地面积 X_{20}	-	居民绿化环境	公园绿地面积/地区总人口
			建成区绿化覆盖率 X_{21}	-	城市绿化水平	建成区绿化面积/建成区面积
			万元 GDP 工业废水排放量 X_{22}	+	废水排放强度	工业废水排放量/GDP
			万元 GDP 工业 SO ₂ 排放量 X_{23}	+	SO ₂ 排放强度	工业 SO ₂ 排放量/GDP
			万元 GDP 工业烟粉尘排放量 X_{24}	+	烟粉尘排放强度	工业烟粉尘排放量/GDP
			城镇生活污水集中处理率 X_{25}	-	污水处理强度	污水处理量/污水排放总量
			工业固体废物综合利用率 X_{26}	-	废物利用强度	工业固体废物综合利用量/(工业固体废物产生量+综合利用往年贮存量)
			生活垃圾无害化处理率 X_{27}	-	环境治理强度	无害化处理的生活垃圾数量/生活垃圾产生数量

表中“+”号代表该指标为正向指标,“-”号代表该指标为负向指标

2.3 时空演变分析

运用 SPSS 软件中的描述统计工具对 2010—2018 年哈长城市群城市脆弱性测度的总体特征进行分析,运用 ArcGIS 软件中的 Jenks 自然断点法对哈长城市群的城市脆弱性进行分级处理,分析其时空格局演变特征,采用全局空间自相关分析方法来分析哈长城市群城市脆弱性的空间集聚性^[38]。

2.4 地理探测器

地理探测器模型^[39]是一种适用于探测空间分异,并分析其背后驱动力的统计学方法,在分析空间分异特征等方面应用非常广泛^[40]。本文借助地理探测器模型对哈长城市群城市脆弱性空间分异的主导因素进行探

测,运用 q 值来测度某指标对城市脆弱性空间分异的解释程度^[41],其值越大,则驱动力因子对城市脆弱性空间分异的影响越大;其值越小,则驱动力因子对城市脆弱性空间分异的影响越小。

3 结果分析

3.1 城市脆弱性时空格局演变

3.1.1 城市脆弱性测度总体时间特征分析

对 2010—2018 年哈长城市群城市脆弱性指数进行描述性统计分析:见表 2,结果表明:①各地区的城市脆弱性指数相对不高,平均值总体呈下降态势。②标准差是反映地区间发展差异的统计量,标准差越大,地区间发展差异越大。哈长城市群标准差介于 0.0466—0.0783 之间,表明哈长城市群城市脆弱性指数的离散程度较小,且各地区之间存在差异性。③变异系数是反映地区空间差异大小的统计量,变异系数越大,空间差异越显著。在 2010—2018 年,变异系数逐渐上升,说明哈长城市群城市脆弱性指数的空间差异性呈逐渐增加的态势。④偏态系数是反映城市脆弱性指数高等级地区数量占比变化的统计量。偏态系数均为正值,2010—2014 年偏态系数上升趋势明显,均值保持在峰右侧,逐渐向右移动,说明城市脆弱性指数高等级地区数量占比有所增加;2014—2018 年偏态系数又逐步下降,说明城市脆弱性指数较大地区数量下降趋势显著。⑤峰态系数是反映城市脆弱性指数相似地区集中分布趋势变化的统计量。在 2010—2014 年呈减小态势,说明城市脆弱性指数相似地区集中分布趋势减弱;而在 2014—2018 年峰态系数值呈现增大趋势,说明了城市脆弱性指数相似地区集中分布趋势逐渐增强。

表 2 哈长城市群城市脆弱性值描述性统计量

Table 2 Descriptive statistics of urban vulnerability value of Harbin-Changchun Urban Agglomeration

统计量 Statistics	年份 Year			统计量 Statistics	年份 Year		
	2010 年	2014 年	2018 年		2010 年	2014 年	2018 年
平均值 Average value	0.3102	0.2925	0.1927	偏态系数 Skewness coefficient	1.0864	2.4626	0.5428
标准差 Standard deviation	0.0466	0.0641	0.0783	峰态系数 Kurtosis Coefficient	0.6649	-0.1422	6.5959
变异系数 Coefficient of Variation	0.1503	0.2191	0.4061				

3.1.2 城市脆弱性空间格局演变

为了便于分析哈长城市群城市脆弱性时空格局演变,本文选取了 2010—2018 近 9 年的统计数据,将 2010、2014、2018 年作为 3 个时间节点,根据城市脆弱性评价指数的数据特征,采用 Jenks 自然断点法将 2010 年、2014 年和 2018 年哈长城市群城市脆弱性评价指数划分 I 级低度脆弱性 ($C < 0.2$)、II 级较低脆弱性 ($0.2 \leq C < 0.3$)、III 级中度脆弱性 ($0.3 \leq C < 0.4$)、IV 级较高脆弱性 ($0.4 \leq C < 0.5$)、V 级高度脆弱性 ($C \geq 0.5$) 5 种类型区:见表 3。

表 3 城市脆弱性测度等级划分标准

Table 3 Classification standards for urban vulnerability measurement

城市脆弱性等级 Urban vulnerability level	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
等级类型 Leve type	低度脆弱性	较低脆弱性	中度脆弱性	较高脆弱性	高度脆弱性
城市脆弱性指数 C Urban vulnerability Index C	$C < 0.2$	$0.2 \leq C < 0.3$	$0.3 \leq C < 0.4$	$0.4 \leq C < 0.5$	$C \geq 0.5$

将城市脆弱性结果与分级情况空间可视化(图 2),结果表明:①2010 年松原市为 V 级区,绥化市、辽源市为 IV 级区。长春市、吉林市、四平市、牡丹江市、齐齐哈尔市为 II 级区。哈尔滨市、大庆市等地区为 I 级区。②2014 年绥化市由 IV 级区提升为 V 级区,齐齐哈尔市由 II 级区上升为 IV 级区,吉林市由 II 级区上升为 III 级区,长春市由 II 级区下降为 I 级区,辽源市由 IV 级区下降为 II 级区,松原市由 V 级区下降为 IV 级区,哈尔滨市、大庆市、牡丹江市和四平市同 2010 年一样,无明显变化。③2018 年松原市上升为 V 级区,绥化市下降为 II 级区,吉林市、牡丹江市与齐齐哈尔市均下降为 I 级区。哈尔滨市、大庆市、长春市、四平市、辽源市同

2014年,无明显变化。④总体来看,哈长城市群2010—2018年城市脆弱性在空间上呈现“非均衡性”,齐齐哈尔市、牡丹江市、绥化市、吉林市、长春市、辽源市城市脆弱性指数均呈现下降趋势。哈尔滨、大庆市、松原市和四平市无明显变化。其中I级区和II级区占绝大部分,分布较广,I级数量逐步增多。而IV级区数量显著较少。可见,哈长城市群城市脆弱性整体处于较低水平,V、IV级区主要分布在哈长城市群的边缘地区,呈现“边缘式”的空间分布格局,而II、I级区主要分布在核心地区,呈点状零散分布,如哈尔滨、长春、大庆。IV级区与V级区多分布于哈长城市群的北部和西部,与其他城市空间差异较大。

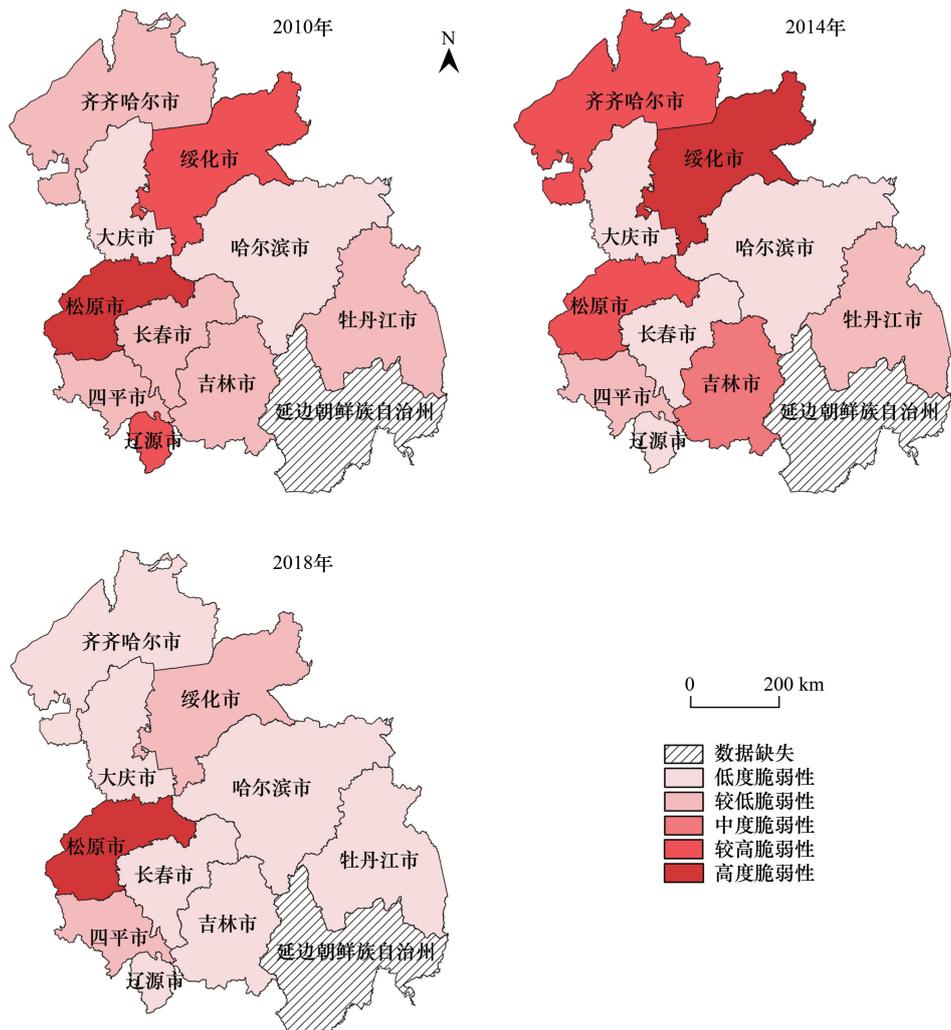


图2 哈长城市群城市脆弱性时空格局演变

Fig.2 The evolution of the spatial and temporal pattern of urban vulnerability in Harbin-Changchun Urban Agglomeration

3.1.3 城市脆弱性的空间集聚性

采用空间自相关方法,分别计算了2010年、2014年、2018年哈长城市群各地区城市脆弱性的Moran's *I*指数值:见表4,结果表明:总体上全局Moran's *I*指数均为负值,且在2010—2014年呈下降趋势,2014—2018年有所上升,表明哈长城市群各地区城市脆弱性总体上呈空间负相关,哈长城市群城市脆弱性的空间分布“随机化”,集聚特征不显著。从整体来看,哈长城市群的城市脆弱性空间集聚性不强,核心城市对周围的带动作用不显著。

3.1.4 城市脆弱性空间演变趋势类型特征

从发散和收敛的角度出发,总结分析哈长城市群空间高质量发展城市脆弱性空间演变的趋势特征。本文

选取 2010、2014、2018 年 3 个时间节点,通过计算城市单体脆弱性与哈长城市群历年平均脆弱性的比值,选取 2010—2014 年、2014—2018 年两个时间段,从总体上分析城市单体脆弱性的空间格局演变趋势对哈长城市群城市脆弱性分异演变的具体影响。城市单体在某个时间段内脆弱性提升或降低趋近于哈长城市群历年平均脆弱性,则认为这个城市是收敛的,分为向下收敛和向上收敛;反之,则为发散,包括向上发散和向下发散。

表 4 哈长城市群城市脆弱性的全局 Moran's *I* 指数

Moran's <i>I</i> 指数及统计量 Moran's <i>I</i> index and statistics	年份 Year			Moran's <i>I</i> 指数及统计量 Moran's <i>I</i> index and statistics	年份 Year		
	2010 年	2014 年	2018 年		2010 年	2014 年	2018 年
Moran's <i>I</i>	-0.3551	-0.5557	-0.1732	<i>P</i>	0.2803	0.0621	0.6664
<i>Z</i>	-1.0797	-1.8659	-0.4311				

2010—2014 年时间段内(图 3),5 个大于哈长城市群历年平均脆弱性的城市中,齐齐哈尔市、绥化市、吉林市城市脆弱性指数出现不同程度的提升,有向上远离哈长城市群历年脆弱性均值的趋势,呈现向上发散特性。辽源市和松原市的脆弱性指数出现下降,有向下接近哈长城市群历年平均脆弱性的趋势,呈现向下收敛的特性。5 个小于哈长城市群历年平均脆弱性的城市中,牡丹江市城市脆弱性指数呈现出上升的趋势,趋近于哈长城市群历年脆弱性均值,呈现向上收敛的特征。哈尔滨市、大庆市、长春市、四平市的城市脆弱性指数均出现下降的趋势,呈现向下发散的属性。2014—2018 年时间段内(图 3),5 个大于历史均值的城市中,四平市和松原市的脆弱性指数出现上升,有向上远离哈长城市群历年脆弱性均值的趋势,呈现向上发散特性;齐齐哈尔市、绥化市、吉林市的脆弱性指数出现下降,有向下接近哈长城市群历年平均脆弱性的趋势,呈现向下收敛的特性,此外,5 个小于历史均值的城市中,哈尔滨市、牡丹江市、长春市的城市脆弱性指数出现不同程度的下降,属于向下发散特性。大庆市和辽源市城市脆弱性指数呈现出上升的趋势,趋近于哈长城市群历年脆弱性均值,呈现向上收敛的特征。总体上,2010—2018 年间,呈现发散趋势的城市多于呈现收敛趋势的城市,但其差距越来越小,这说明哈长城市群城市脆弱性分异呈现逐渐增大态势。

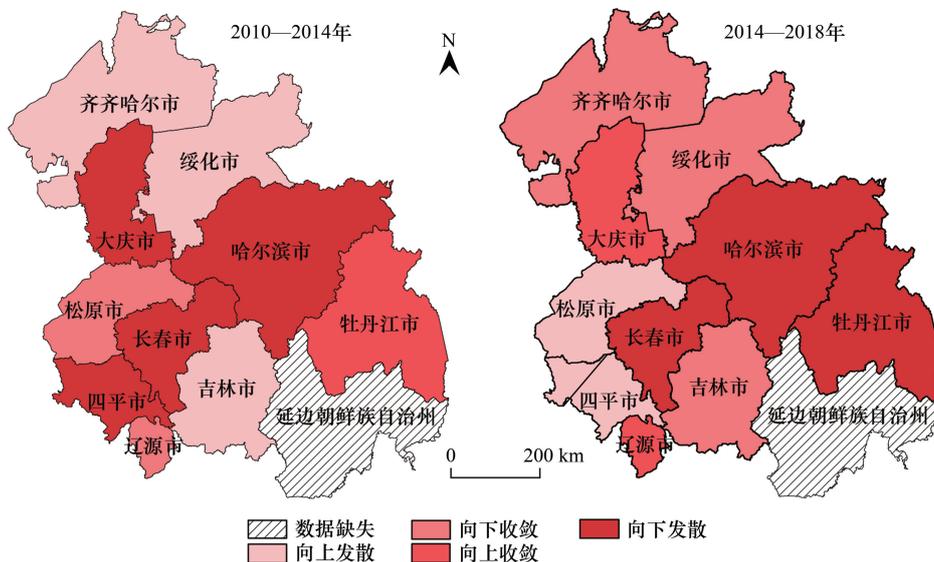


图 3 2010—2018 年城市脆弱性演变的收敛与发散图

Fig.3 Convergence and divergence diagram of urban vulnerability evolution from 2010 to 2018

3.2 空间分异的驱动力

哈长城市群生产空间质量、生活空间质量和生态空间质量的脆弱性受多因素的影响,采用地理探测器模

型对各驱动因子影响力进行探测,并列出前 10 位的主要影响指标;见表 5,指标用 X_n 表示。结果显示:2010 年、2014 年和 2018 年 3 个时点的 q 值均较大的指标有经济增长情况、经济总量、投资强度、外贸依存度、交通设施水平、污水处理强度、城市绿化水平、燃气资源供给、城镇人口集中度、城乡差距、教育水平和信息化水平。

表 5 哈长城市群城市脆弱性影响因子驱动力 q 值

Table 5 The driving force q value of the urban vulnerability influencing factors of Harbin-Changchun Urban Agglomeration

年份 Year	q 值排名前 10 的主要影响指标 The main impact indicators of the top 10 q -values									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2010	$X_{17}(0.87)$	$X_{25}(0.83)$	$X_{20}(0.81)$	$X_1(0.76)$	$X_{18}(0.73)$	$X_6(0.72)$	$X_{13}(0.71)$	$X_{12}(0.68)$	$X_{15}(0.62)$	$X_{27}(0.60)$
2014	$X_{15}(0.89)$	$X_{13}(0.86)$	$X_{12}(0.74)$	$X_{21}(0.72)$	$X_9(0.70)$	$X_{17}(0.67)$	$X_{25}(0.66)$	$X_6(0.66)$	$X_1(0.62)$	$X_{18}(0.61)$
2018	$X_{17}(0.92)$	$X_{14}(0.87)$	$X_{12}(0.84)$	$X_{15}(0.81)$	$X_2(0.80)$	$X_{18}(0.72)$	$X_{25}(0.66)$	$X_6(0.63)$	$X_{27}(0.63)$	$X_1(0.62)$

$X_i(i=1,2,\dots,27)$ 指标含义见表 1;括号内数字表示该项指标因子对应的 q 值

3.2.1 生产空间质量脆弱性驱动因素

公共财政收入占 GDP 的比重为首要驱动力,它反映该地区的经济增长情况。哈长城市群的公共财政收入占 GDP 的比重在很大程度上决定公共财政支出的规模,从而决定政府的活动范围,进而影响到哈长城市群的经济增长,经济增长状况是生产空间质量发展的关键;经济总量反映地区生产空间质量发展程度,哈长城市群各地市间经济总量差异呈现逐渐增大的态势,经济总量因子影响力于 2018 年仅次于公共财政收入水平。投资强度在一定意义上主要反映该国家地区固定资产投资目标完成程度情况和固定生产活动空间经济质量综合发展水平增长变动情况;对外贸易依存度主要反映一个地区国家对境内国际资本市场的贸易依赖严重程度,是一个地区国家对外开放繁荣程度的重要衡量指标,对提升生产空间质量贡献较大,其 q 值逐年下降,对空间分异的影响逐渐减弱。哈长城市群生产空间质量外向度低,投资强度与外贸依存度对经济发展影响较大,投资强度因子决定力 2014—2018 年有所减小,外贸依存度因子决定力在 2015 年持续减少。

3.2.2 生活空间质量脆弱性驱动因素

哈长城市群城市脆弱性指数与生活空间质量脆弱性各因子在空间分布上高度重合。燃气资源供给主要是地区居民的基本公共生活质量保障,2010—2018 年 q 值一直呈持续上升趋势,说明天然气资源供应对其生活空间质量分异产生持续影响;城市信息化进程水平主要反映了一个地区城市移动互联网发达迅速程度,其 q 值在 2010—2018 年持续不断下降,表明城市信息化水平对其分异呈现持续性影响;交通设施水平主要反映一个地区公共交通状况,是反映地区居民生活空间水平质量差异发展的重要质量支撑,2014—2018 年 q 值持续减小,说明地区交通设施进程水平对生活空间质量差异的影响力持续减弱;城镇人口集中度应该地区的整体城镇化水平,揭示地区城镇化发展进程的一个重要质量指标,是反映地区居民生活空间水平质量差异发展的重要标志,2014—2018 年因子决定力持续不断减小,说明地区城镇化进程水平对生活空间质量差异的影响力还在持续不断减少;城乡居民收入差距拉大,关系到经济增长,进而影响经济和社会秩序,不利于生活质量的稳定,从而影响全面建设小康社会。2014—2018 年因子决定力持续增加,说明城乡收入差距对空间差异的影响力持续增加;教育水平为居民生产生活提供教育服务,2010—2014 年教育水平因子决定力有所减少,教育水平影响力有所减弱;2014—2018 年教育水平因子决定力增加明显,教育水平影响力有所增强。

3.2.3 生态空间质量脆弱性驱动因素

哈长城市群城市脆弱性较高的有绥化、松原等不同地区,这些地区城市污水综合处理利用强度、城市绿化处理水平、生活固废垃圾无害化综合处理利用强度均较弱,致使哈长城市群城市生态空间质量脆弱性相对较高,是目前造成不同地区间城市脆弱性水平差异的主要影响因素。居民生活环境 q 值在 2010 年为 0.8 左右,而后逐渐减弱,说明部分地区注重保护居民环境。污水处理强度因子决定力在 2018 年有所增强,表明了各地区开展生态环境综合保护与污染治理工作力度加大,其对城区空间结构分异的直接影响逐渐明显增强。

总体上,城市生活质量脆弱性的驱动因子比重较大,相比而言,城市生产空间质量脆弱性和生态空间质量脆弱性的驱动因子比重较小。说明基于三生空间质量哈长城市群城市脆弱性的空间分异主要是由城市生活

空间质量脆弱性的差异所引起,其次是城市生产空间质量脆弱性与生态空间质量脆弱性。其中,经济增长水平和经济总量是城市生产空间质量脆弱性的首要因素;交通设施、燃气资源供给、城乡差距、教育水平、城镇居民生活水平是城市生活空间质量脆弱性的关键因素;污水处理强度、城市绿化水平和生活垃圾无害化处理强度是影响哈长城市群城市生态空间质量脆弱性的基础要素。

4 结论与讨论

4.1 结论

基于“生产空间质量-生活空间质量-生态空间质量”的城市脆弱性评估框架对哈长城市群城市脆弱性的测度、时空格局演变及驱动力展开研究,结果表明:

(1)整体来看,2010—2018年哈长城市群城市脆弱性指数呈下降的趋势,城市间空间差异呈逐渐增强的趋势。城市脆弱性高等级地区数量呈现“先增强后减弱”的趋势,而城市脆弱性指数相似地区集中分布呈现先减弱后增强态势。

(2)V、IV级区城市脆弱性主要分布在哈长城市群的边缘地区,呈现“边缘式”的空间分布格局,且多分布于哈长城市群的北部和西部,与其他城市空间差异较大。而II、I级区主要分布在核心地区,呈“点状零散”分布。从集聚特征来看,哈长城市群的城市脆弱性空间集聚性不强,核心城市对周围的带动作用不显著。从其演化趋势类型特征上看,在2010—2018年间,呈现发散趋势的城市多于呈现收敛趋势的城市,但其差距逐渐减小,这说明哈长城市群城市脆弱性在演化过程中空间差异呈现逐渐增大态势。

(3)基于三生空间质量哈长城市群城市脆弱性的空间分异主要取决于城市生活空间质量脆弱性,其次是城市生产空间质量脆弱性与生态空间质量脆弱性。其中,经济增长水平不高是城市生产空间质量脆弱性的首要因素;交通设施水平不完善、燃气资源供给力度不够、城乡差距偏大、教育水平程度偏低、城镇居民生活水平低下是城市生活空间质量脆弱性的关键影响因素;污水处理强度不够等是影响哈长城市群城市生态空间质量脆弱性的基础要素。

4.2 讨论

由于当前对城市脆弱性内涵认知及评价指标的获取存在局限性,未能对未来哈长城市群脆弱性动态特征加以掌握,因此今后研究仍需补充。①要在长时间序列尺度研究基础上,基于多维度视角,从发展历史、社会文化、资源禀赋等多个方面对哈长城市群城市脆弱性的动态特征进行监测。②应加入空间分析、计量模型等多种分析方法,从多个角度进一步研究城市系统间脆弱性相互作用机制,并为此提出针对性的规避措施。③将哈长城市群与全国其他城市群的横向对比,研究其时空尺度的地域差异,对降低区域城市脆弱性和城市可持续发展具有重要作用。④哈长城市群的城市脆弱性水平与区域发展政策密切相关,未来应将区域发展政策与制度因素纳入到的城市脆弱性评估框架,在此基础上,注重创新性研究,应将研究视角多元化、尺度多样化与多学科交叉相结合。

参考文献(References):

- [1] 刘鹏飞,孙斌栋.中国城市生产、生活、生态空间质量水平格局与相关因素分析.地理研究,2020,39(1):13-24.
- [2] 张红娟,李玉曼.北方平原地区“三生空间”评价及优化策略研究.规划师,2019,35(10):18-24.
- [3] 李宗阳,张雪唱,刘永萍.生态文明视角下城市承载力评价及驱动因素的分析—以新疆为例.石河子大学学报:自然科学版,2018,36(6):783-791.
- [4] 杨发鹏,张雪唱,李宗阳.城市旅游“三生”竞争力空间分异—以西北五省为例.干旱区地理,2019,42(3):664-672.
- [5] Carmichael H, Moore A, Steward L, Velopulos C G. Disparities in emergency *Versus* elective surgery: comparing measures of neighborhood social vulnerability. *Journal of Surgical Research*, 2020, 256: 397-403.
- [6] Zhang K Q, Gann D, Ross M, Robertson Q, Sarmiento J, Santana S, Rhome J, Fritz C. Accuracy assessment of ASTER, SRTM, ALOS, and TDX DEMs for Hispaniola and implications for mapping vulnerability to coastal flooding. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 225: 290-306.
- [7] Chen W L, Wang X L, Deng S H, Liu C X, Xie H Y, Zhu Y S. Integrated urban flood vulnerability assessment using local spatial dependence-

- based probabilistic approach. *Journal of Hydrology*, 2019, 575: 454-469.
- [8] Sahana M, Sajjad H. Vulnerability to storm surge flood using remote sensing and GIS techniques: A study on Sundarban Biosphere Reserve, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2019, 13: 106-120.
- [9] Sahana Mehebut, Rehman Sufia, Paul Ashish Kumar, Sajjad Haroon. Assessing socio-economic vulnerability to climate change-induced disasters: evidence from Sundarban Biosphere Reserve, India[J]. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2021, 5(1): 40-52.
- [10] Mukherjee N, Siddique G, Basak A, Roy A, Mandal M H. Climate change and livelihood vulnerability of the local population on Sagar Island, India. *Chinese Geographical Science*, 2019, 29(3): 417-436.
- [11] Bongiovanni I, Newton C. Toward an epidemiology of safety and security risks: an organizational vulnerability assessment in international airports. *Risk Analysis*, 2019, 39(6): 1281-1297.
- [12] Rosa E. Why self-care matters for Roma people and beyond. *Vulnerability and the (un)making of water and sanitation infrastructure at the margins of the city*. *Geoforum*, 2019, 101: 192-201.
- [13] Birkmann J, Cardona O D, Carreño M L, Barbat A H, Pelling M, Schneiderbauer S, Kienberger S, Keiler M, Alexander D, Zeil P, Welle T. Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural Hazards*, 2013, 67(2): 193-211.
- [14] Kheradmand M, Jahangiri K, Sohrabizadeh S, Safarpour H, Jazani R K. Physical seismic vulnerability assessment of neighborhood emphasizing on critical land uses. *International Journal of Structural Integrity*, 2019, 10(2): 176-187.
- [15] Kienberger S. Spatial modelling of social and economic vulnerability to floods at the district level in Búzi, Mozambique. *Natural Hazards*, 2012, 64(3): 2001-2019.
- [16] Noy I, Yonson R. Economic vulnerability and resilience to natural hazards: a survey of concepts and measurements. *Sustainability*, 2018, 10(8): 2850.
- [17] Aksha S K, Juran L, Resler L M, Zhang Y. An analysis of social vulnerability to natural hazards in Nepal using a modified social vulnerability index. *International Journal of Disaster Risk Science*, 2019, 10(1): 103-116.
- [18] 袁海红, 牛方曲, 高晓路. 城市经济脆弱性模拟评估系统的构建及其应用. *地理学报*, 2015, 70(2): 271-282.
- [19] 何艳冰, 黄晓军, 翟令鑫, 闫倩, 杨新军. 西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素. *地理学报*, 2016, 71(8): 1315-1328.
- [20] 黄建毅, 苏飞. 城市灾害社会脆弱性研究热点问题评述与展望. *地理科学*, 2017, 37(8): 1211-1217.
- [21] 杨俊, 关莹莹, 李雪铭, 席建超. 城市边缘区生态脆弱性时空演变——以大连市甘井子区为例. *生态学报*, 2018, 38(3): 778-787.
- [22] 方创琳, 王岩. 中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征. *地理学报*, 2015, 70(2): 234-247.
- [23] 李鹤, 张平宇. 矿业城市经济脆弱性演变过程及应对时机选择研究——以东北三省为例. *经济地理*, 2014, 34(1): 82-88.
- [24] 王岩, 方创琳, 张蔷. 城市脆弱性研究评述与展望. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 755-768.
- [25] 张晓瑞, 张琳雅, 方创琳. 概念、框架和测度: 城市脆弱性研究脉络评述及其拓展. *地理与地理信息科学*, 2015, 31(4): 94-99.
- [26] 何艳冰, 黄晓军, 杨新军. 西安城市边缘区失地农户社会脆弱性评价. *经济地理*, 2017, 37(4): 149-157.
- [27] 黄晓军, 王晨, 胡凯丽. 快速空间扩张下西安市边缘区社会脆弱性多尺度评估. *地理学报*, 2018, 73(6): 1002-1017.
- [28] 王贝贝, 丁明军, 管琪卉, 艾嘉会. 基于格网的南昌市生态环境脆弱性评价. *生态学报*, 2019, 39(15): 5460-5472.
- [29] 林明水, 林金煌, 程煜, 王新歌, 张明锋, 祁新华. 省域乡村旅游扶贫重点村生态脆弱性评价——以福建省为例. *生态学报*, 2018, 38(19): 7093-7101.
- [30] 刘海猛, 方创琳, 黄解军, 朱向东, 周艺, 王振波, 张蔷. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析. *地理学报*, 2018, 73(1): 177-191.
- [31] 杨艳茹, 王士君, 陈晓红. 石油城市经济系统脆弱性动态演变及调控途径研究——以大庆市为例. *地理科学*, 2015, 35(4): 456-463.
- [32] 黑龙江省统计局, 国家统计局黑龙江调查总队. 黑龙江统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2011-2019.
- [33] 吉林省统计局, 国家统计局吉林调查总队. 吉林统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2011-2019.
- [34] 任崇强, 孙东琪, 翟国方, 李宇. 中国省域经济脆弱性的综合评价及其空间差异分析. *经济地理*, 2019, 39(1): 37-46.
- [35] 李海玲, 马蓓蓓, 薛东前, 江军, 刘聪慧. 丝路经济带背景下我国西北地区城市脆弱性的空间分异与影响因素. *经济地理*, 2018, 38(2): 66-73.
- [36] 李彤玥. 基于“暴露-敏感-适应”的城市脆弱性空间研究——以兰州市为例. *经济地理*, 2017, 37(3): 66-73.
- [37] 马雪莹, 邵景安, 徐新良. 基于熵权-TOPSIS 的山区乡镇通达性研究——以重庆市石柱县为例. *地理科学进展*, 2016, 35(9): 1144-1154.
- [38] 孙玉, 程叶青, 张平宇. 东北地区乡村性评价及时空分异. *地理研究*, 2015, 34(10): 1864-1874.
- [39] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [40] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策. *地理学报*, 2017, 72(1): 161-173.
- [41] 王正雄, 蒋勇军, 张远瞩, 段世辉, 刘九缠, 曾泽, 曾思博. 基于 GIS 与地理探测器的岩溶槽谷石漠化空间分布及驱动因素分析. *地理学报*, 2019, 74(5): 1025-1039.