

城市脆弱性评价与动态演进分析

——以黑龙江省为例

袁静远, 陆明*

(哈尔滨工业大学建筑与设计学院,

自然资源部寒地国土空间规划与生态保护修复重点实验室, 哈尔滨 150001)

摘要:东北地区作为中国最大的老工业基地,在计划经济体制下走上了一条以重工业为主的发展道路。该地区产业结构不可持续,需要长期依赖自然资源,生态环境遭到破坏。研究东北老工业基地的城市脆弱性,对于东北地区的振兴以及高质量发展具有重要意义。本文以黑龙江省的12个地级市作为研究对象,从生态、资源、社会、经济四个子系统构建了城市脆弱性综合评价指标体系。采用空间自相关分析和灰色关联度分析,探究2010年到2019年黑龙江省城市脆弱性的演变过程与驱动力。研究表明:(1)空间上,2015年黑龙江省城市脆弱性格局呈现出高脆弱性区域聚集的格局,随后整体脆弱性逐渐降低,并趋于均匀分布。(2)时间上,2010至2013年黑龙江省城市脆弱性呈上升趋势,2013至2019年呈逐渐下降趋势。资源、生态和社会子系统的脆弱性稳步下降,经济子系统的脆弱性先升高后下降。(3)2010年黑龙江省城市综合脆弱性与生态子系统的相关性最高,2013-2015年城市综合脆弱性与经济子系统的相关性最高,随后向社会子系统转移。这表明在新的发展时期,社会基础设施建设和完善应成为新的重点。今后,黑龙江省在振兴发展的过程中,应继续优化产业结构,保护生态环境,强化生态文明建设。

关键词:城市脆弱性;时空动态演进;空间自相关分析;灰色关联分析

中图分类号:X37 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2736(2024)05-0006-9

0 引言

20世纪70年代,“脆弱性”的概念被引入自然灾害领域,并逐渐扩展到社会科学领域^[1]。城市脆弱性是传统脆弱性研究在城市规划领域的延伸^[2,3]。然而,城市脆弱性不同,抵抗干扰的能力也不同。城市脆弱性是一个由生态、资源、社会、经济等子系统耦合而成的复杂系统,任何一个子系统的脆弱性变化都会导致城市脆弱性的变化^[4]。因此,需要从综合的角度将城市脆弱性细分为生态脆弱性、资源脆弱性、社会脆弱性和经济脆弱性。分析城市子系统脆弱性,研究城市发展现状,将研究结果转化为决策信息,并反馈给城市发展的决策者和规划者,具有重要的理论和现实意义。这对城市未来的发展模式和人民的生活质量至关重要。

国内外对脆弱性的研究主要集中在脆弱性内涵的探索^[5,6]、概念脆弱性模型的构建^[7-9]和脆弱性定量评价^[10-13]等方面。现有研究成果为拓展城市脆弱性研究提供了科学的理论支持。近年来,许多学者从不同角度展开研究,城市脆弱性逐渐成为学术界研究的热点。许多学者以资源型城市、沿海城市等为研究对象^[11,14-16],在城市脆弱性时空演化^[17,18]、影响机制^[19]、规避措施^[20]等方向展开了大量研究。但是,有关于依赖重工业发展的老工业基地城市脆弱性研究较为欠缺,研究视角有待进一步完善。

因此,本文基于耦合视角,对2010年、2013年、2015年、2017年和2019年黑龙江省城市脆弱性进行综合评价。基于生态、资源、社会和经济四个子系统构建城市脆弱性评价体系,并且从时间、空间、整体和子系统四个角度对城市脆弱

性进行分析。在此基础上,采用灰色关联度对黑龙江省城市脆弱性的驱动因素进行分析。了解黑龙江省城市脆弱性动态特征并揭示其主要驱动因子,为黑龙江省城市可持续发展和全方位振兴提供思路 and 依据。

1 数据来源

本研究的数据包括 2010 年、2013 年、2015 年、2017 年和 2019 年黑龙江省城市的社会、经济、资源和环境基础数据。基础数据主要来源于《中国城市统计年鉴》《黑龙江省统计年鉴》《黑龙江省城市社会经济统计年鉴》。黑龙江大兴安岭和大兴安岭地区由于时间长,统计不完全,数据缺失。因此,本研究不包括对这些领域的评价和分析。本文使用的黑龙江省城市空间数据来源于国家基础地理数据库。

2 研究方法

2.1 综合评价指标体系

目前,对以重工业为主要产业的工业城市脆弱性的研究尚不充分,工业城市脆弱性评价指标体系尚不完善。因此,在借鉴已有研究成果的基础上^[4,17,21],基于科学性、系统性和可得性原则,完善城市脆弱性评价指标体系,增加了反映老工业基地城市特色的相关指标。以黑龙江省 5 个时期地级市为研究对象,从资源、生态、社会、经济 4 个子系统中选取 35 个评价指标,构建重工业城市脆弱性评价指标体系,如表 1。

2.2 评价模型

2.2.1 数据标准化

为了消除指标的量纲差异,需要对基础数据进行标准化处理。当评价指标数值越大代表城市脆弱性越高时,指数为正,如工业企业综合能耗、二次生产占国内生产总值(GDP)的比重。负指标则相反,负面指标数值越大,城市脆弱程度越低,如污水处理率和天然气渗透率。正、负指标标准化公式如下:

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

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

式中: x_{ij} 为各评价指标的标准化值; x_{ij} 为评价指标的原始数据。

2.2.2 指标权重确定

为避免权重赋值的主观性,保证权重赋值的科学性,本文选择能够表征指标信息无序程度的熵值法来确定评价指标的权重。熵值法是一种客观的加权方法,它根据指标信息的无序程度来判别权重系数。一个指标包含的有用信息越少,信息熵越大,权重越低。反之,信息熵越小,指标的权重也越高。其计算公式如下:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^m x_{ij}} \quad (0 < y_{ij} \leq 1) \quad (3)$$

$$e_j = - \frac{\sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}}{\ln m} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m (1 - e_j)} \quad (5)$$

通过以上公式计算得到黑龙江省城市脆弱性评价体系中各指标的权重,如表 1。

2.2.3 城市脆弱性指数计算

本文采用综合指数法计算城市综合脆弱性。将标准化处理后的指标数据与熵值法确定的权重相乘,将所有结果求和,得到该城市的城市脆弱性指数(UVI)^[22],计算公式如下:

$$UVI = \sum_{j=1}^m (w_i \times x_{ij}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中: w_i 为第 i 项的权重系数; x_{ij} 为第 i 项的标准化值。

2.2.4 城市脆弱性分类

在现有研究成果的基础上,采用自然断点法将黑龙江省城市脆弱性划分为 5 个等级,对应城市脆弱性指数为:轻微脆弱 0 - 0.20,低度脆弱 0.20 - 0.40,中度脆弱 0.40 - 0.60,高度脆弱 0.60 - 0.80,极高脆弱 0.80 - 1.00,如表 2。

2.2.5 空间自相关分析

空间自相关分析揭示了空间中某一属性中相邻地理单元之间相互依存、相互关联的关系。本文采用莫兰指数(Moran's I)来表征研究区域

表 1 黑龙江省城市脆弱性评价指标体系

目标层	系统层	指标层	单位	指标类型	权重	
资源脆弱性	资源敏感性	单位国内生产总值用电量	千瓦时/万元	+	0.0356	
		单位 GDP 用水量	立方米/万元	+	0.0487	
		单位国内生产总值能耗	T 标准煤/万元	+	0.0264	
	资源适应性	工业企业综合能耗	标准煤/吨	+	0.0681	
		人均每日生活用水量	升	+	0.0234	
	资源恢复力	天然气普及率	%	-	0.0223	
		自来水普及率	%	-	0.0312	
	生态脆弱性	生态敏感性	工业废水排放	10 ⁴ 吨	+	0.0501
			工业烟尘排放	10 ⁴ 吨	+	0.0577
			工业二氧化硫排放	10 ⁴ 吨	+	0.0528
生态适应性		污水处理率	%	-	0.0552	
		垃圾无害化处理率	%	-	0.0026	
		工业固体废物综合利用率	%	-	0.0775	
		建成区绿化覆盖率	%	-	0.0433	
生态恢复力	人均公园绿地面积	平方米	-	0.007		
	政府在环保和节能方面的支出	万元	-	0.0048		
社会脆弱性	社会敏感性	城镇登记失业率	%	+	0.0173	
		城市人口密度	人/平方千米	+	0.0173	
		人均建设用地	平方米/人	+	0.041	
	社会适应性	第二产业从业人员比例	%	+	0.0326	
		每万人中大学生人数	人	-	0.0123	
		每万人拥有的公共汽车数量	量	-	0.0036	
		每万人拥有医院床位数	张	-	0.0166	
	社会恢复力	每千人拥有医生人数	人	-	0.017	
		财政科技支出	万元	-	0.0054	
		财政教育支出	万元	-	0.0118	
经济脆弱性	经济敏感性	财政医疗保健支出	万元	-	0.0081	
		财政社会保障支出	万元	-	0.0051	
	一产占国内生产总值的比重	%	+	0.0266		
	重工业占工业总产值的比例	%	+	0.1271		
	人均地区生产总值	万元	-	0.0033		
经济适应性	二产占国内生产总值的比重	%	-	0.0098		
	三产占国内生产总值的比重	%	-	0.0108		
	城镇居民人均可支配收入	元	-	0.0127		
经济恢复力	农村居民人均可支配收入	元	-	0.0151		

市脆弱性是否存在空间自相关,其取值范围是 -1 到 1。当指数值大于 0 时,表示空间正相关,越接近 1,空间相关性越强。当数值小于 0 时,表

示空间相关性为负, Moran's I 越接近 -1,则代表空间负相关性的强度越大。

表2 黑龙江省城市脆弱性评价等级标准

脆弱性综合指数	[0.209,0.265)	[0.265,0.313)	[0.313,0.387)	[0.387,0.449)	[0.449,0.515)
脆弱性程度	微度脆弱	低度脆弱	中度脆弱	高度脆弱	极高脆弱

2.2.6 灰色关联分析

灰色关联分析是一种根据不同系统发展趋势的相似度或不相似度来衡量不同系统之间关联程度的方法。本研究以城市脆弱性指数为参考序列,以生态、资源、社会、经济子系统脆弱性指数为比较序列,进行灰色关联度分析。

3 城市脆弱性时空演化结果

表3显示黑龙江省12个地级市在5年时间尺度上的城市脆弱性指数计算结果。根据城市脆弱性分类,采用空间分析法和灰色关联分析法对黑龙江省10年城市脆弱性的时空动态演变进行分析。根据黑龙江省城市脆弱性评价分级标准,对表3中地级市城市脆弱性综合指数进行分级,并使用ArcGIS进行可视化处理,结果如图1。

3.1 城市整体脆弱性分析

图1中,2010年的鸡西、大庆市城市脆弱性综合指数较高,处于极高脆弱性水平,伊春、七台

河和鸡西市处于较高脆弱性等级。这5个城市的生态资源处于枯竭状态,产业结构单一且不可持续,产业发展主要依靠能源开发,导致资源子系统的脆弱性增加。其余城市的脆弱性指数均低于0.387,脆弱性等级相对较低,城市发展依赖重工业发展的程度相对较低。主要依靠资源开采为主的经济发展模式持续到2013年,黑龙江省城市的综合脆弱性指数均达到了较高以上水平,表明此时的城市发展处于一种不可持续的状态。黑龙江省整体城市脆弱性上升主要是由于二、三产业占GDP的比重下降,重工业比重显著增加,城市发展对重工业的依赖程度增加,产业结构不均衡发展导致经济子系统脆弱性显著增加。其中,以鸡西、伊春、七台河、鹤岗和大庆这5个城市为例,对于重工业的高度依赖使得城市综合脆弱性达到了极高水平。在2015年,城市发展依赖重工业的程度有所改善,因此整体的城市脆弱性下降。

表3 2010—2019年黑龙江省城市脆弱性指数

年份 城市	2010	2013	2015	2017	2019
哈尔滨	0.364	0.442	0.374	0.234	0.209
齐齐哈尔	0.385	0.428	0.473	0.303	0.280
鸡西	0.412	0.515	0.527	0.361	0.310
鹤岗	0.370	0.476	0.430	0.356	0.277
双鸭山	0.459	0.440	0.462	0.334	0.337
大庆	0.459	0.486	0.409	0.374	0.310
伊春	0.390	0.449	0.424	0.387	0.357
佳木斯	0.370	0.397	0.423	0.265	0.237
七台河	0.417	0.493	0.455	0.330	0.297
牡丹江	0.384	0.439	0.405	0.305	0.262
黑河	0.305	0.420	0.317	0.277	0.230
绥化	0.369	0.401	0.395	0.313	0.286

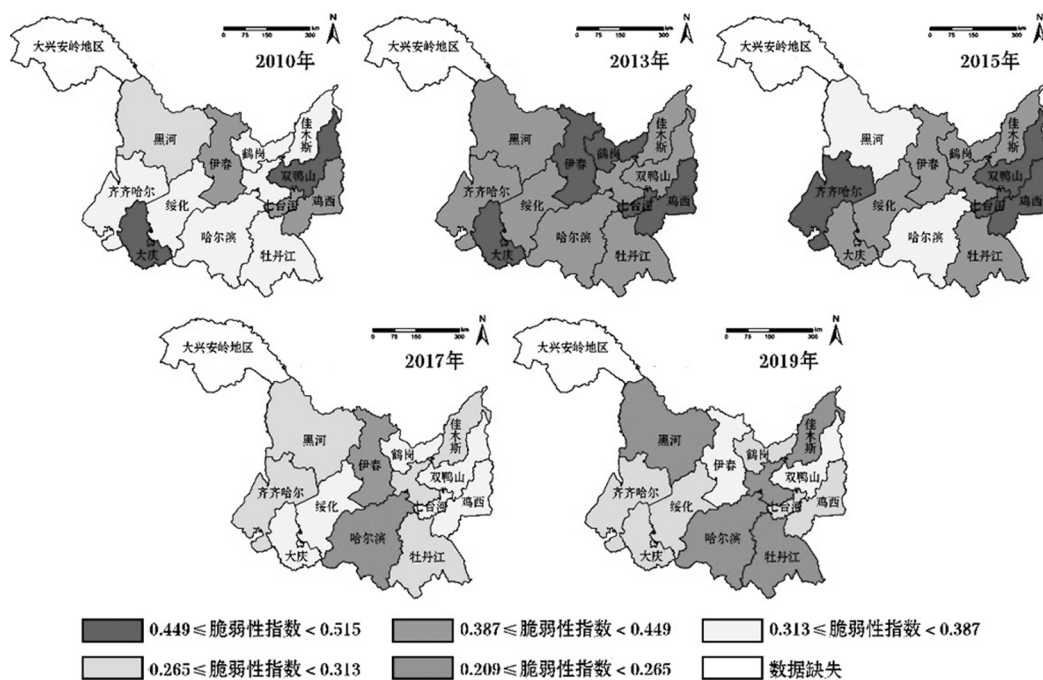


图 1 2010 - 2019 年黑龙江省城市脆弱性等级 (审图号:GS(2024)0650 号)

由图 2 可以看出,2017 到 2019 年,随着老工业基地的产业转型和可持续建设,城市综合脆弱性指数均呈下降趋势,且大部分城市都达到了低度脆弱的水平。双鸭山和伊春的综合脆弱性指数和资源脆弱性指数相对高于其他城市,但生态、社会和经济子系统的脆弱性指数与其他城市的差异并不显著。这表明在这一阶段,黑龙江省的产业振兴政策已初见成效,且各子系统的脆弱性程度均降低。由于黑龙江省的发展重心从能源开发逐步转向重工业、制造业、农业和服务业综合发展的模式,在保障重工业发展的同时,提高第三产业比重,丰富产业结构,改善城市子系

统的脆弱程度。

综上所述,黑龙江省城市的发展存在差异,城市脆弱性等级在 2013 年呈现显著不同。随着东北地区经济转型、老工业基地振兴等政策的实施,城市整体脆弱性得到有效缓解,城市承载能力提升,城市资源配置趋于均衡,发展差距逐步缩小,至 2019 年已呈现均衡的低脆弱度水平。

3.2 城市脆弱性动态演化分析

依据各城市脆弱性指数的变化情况,随着时间的推移,总体脆弱性由中向低转变,呈现出“小幅上升→稳步下降”的趋势。2010 至 2013

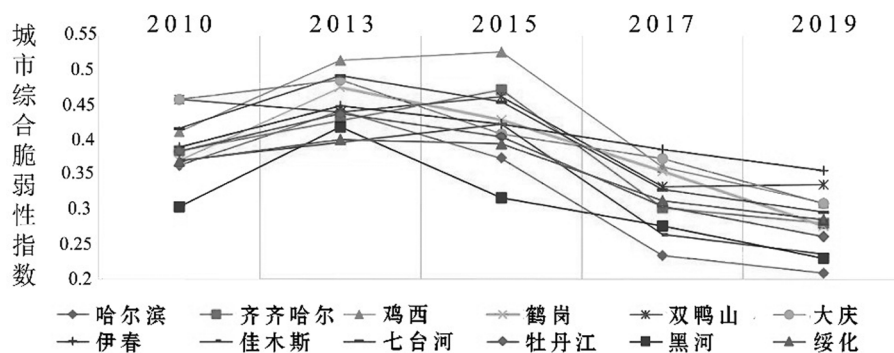


图 2 2010 - 2019 年城市脆弱性指数变化趋势

年,双鸭山市的城市综合脆弱性指数降低,其余城市的综合脆弱性均显著增加。2013 至 2015 时间段内,城市脆弱性指数存在小幅度波动性的变化,致使这一阶段的城市脆弱性等级普遍偏高。2013 至 2019 年,各城市综合脆弱性指数主要呈下降趋势,其中城市脆弱性下降最快的城市为哈尔滨市。其作为黑龙江省省会城市,经济发展优势较强,三产发展及社会子系统的建设都优于其他地级城市,因此哈尔滨市的城市脆弱性等级更低。2015 年,双鸭山、鸡西、齐齐哈尔等城市综合脆弱性指数略有上升,但城市脆弱性等级未发生变化。这是由于城市的发展虽然对于资源、生态的依赖程度有所下降,但是经济社会发展相对较慢,社会基础设施建设尚未完善。2015 到 2019 年,研究区内的所有城市脆弱性等级均出现较大幅度的下降,且脆弱性指数均保持在 0.387 以下,表明近年来城市脆弱性有明显改善。研究区内城市资源子系统脆弱性呈波动下降趋势。从图 3 可以看出,城市资源子系统的脆弱性与国家调控、单位 GDP 的水、电、能源等资源需求有关。由于国家实施了绿色发展和生态优先的政策,地方政府积极开展了保护生态环境和减少废物排放等多项工程,生态子系统的脆弱性不断降低。以生态环境保护为城市发展的前提,在很大程度上缓解了重工业过度发展造成的生态环境污染问题,加大环境保护投入力度,修复和保护了现有生态环境。

在国家制定的绿色发展政策下,以重工业为主要产业的黑龙江省经济受到了一定程度的影响。虽然生态脆弱性有所降低,但其经济子系统

的脆弱性却显著增加。这一时期的城市经济转型并不成功,主要依靠能源工业和重工业制造业带动城市发展。但 2017 年以后,黑龙江省城市经济脆弱性明显下降,第一、第二产业稳步增长,第三产业发展也明显改善。2010 - 2013 年社会子系统脆弱性呈先小幅上升后稳步下降的趋势,与政府加大基础设施建设投入和社会保障体系进一步完善密切相关。

利用 GeoDa 软件对研究区 2010 - 2019 年城市综合脆弱性进行空间自相关分析,如表 4。基于 Z 得分,2010 年和 2015 年具有统计学意义 ($P < 0.01$),置信水平大于 99%。然而,其余年份没有统计学意义,因此本文仅对 2010 年和 2015 年的空间相关性进行分析。2010 及 2015 年 Moran's I 均高于 0.2,城市脆弱性呈现出正的空间相关性,表明高脆弱性的城市连片分布呈现聚集的空间格局。这是由于在 2015 年之前,黑龙江省内的大部分城市依旧处于一种不可持续、产业结构单一,依赖资源开采的发展模式。2015 年以后,黑龙江省为解决资源依赖和重工业衰退等问题,响应国家振兴东北、产业转型的发展目标,优化产业结构,保护生态环境。因此城市脆弱性等级降低,且城市间脆弱性差距逐渐缩小,空间格局呈现出离散和均衡趋势。这表明,优化产业结构的发展战略对于黑龙江省的城市振兴与老工业基地改造发展是相当有效的,并且绿色发展的目标也一定程度上改善了城市的生态脆弱性。

3.3 子系统脆弱性关联度分析

2010 至 2019 年各城市子系统脆弱性与城

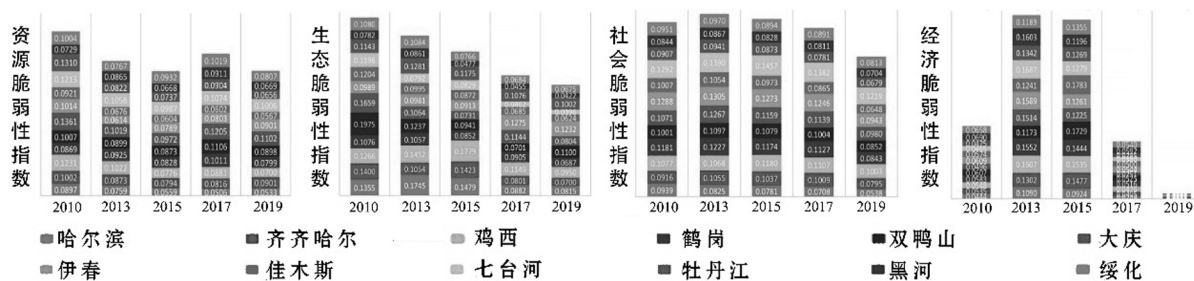


图 3 2010 - 2019 年子系统脆弱性指标变化趋势

表 4 2010 - 2019 年城市脆弱性莫兰指数

年份	2010	2013	2015	2017	2019
P 值	0.0030	0.0650	0.0070	0.1200	0.1480
Z 值	2.9424	1.5648	3.0301	1.2436	-1.0550
Moran's I	0.2253	0.0464	0.2577	0.0649	-0.2675

市综合脆弱性指数的灰色关联度分析结果如图 4 所示。2010 年,各子系统脆弱性指数的关联程度相差不大,其中城市脆弱性与生态子系统的关联度最高,与经济子系统相关程度最低。这表明,在此阶段城市经济发展高度依赖重工业、制造业,而忽略了生态环境的保护,没有形成绿色可持续的发展模式。2013 年和 2015 年,经济子系统与城市综合脆弱性的关联度逐渐升高且高于其他子系统,这表明,高度依赖重工业的发展模式导致了城市脆弱性显著上升。2017 年和 2019 年,城市脆弱性指数与经济子系统的关联度迅速下降,与生态、资源与社会子系统的关联程度显著上升。这表明,经济的绿色发展和产业结构的优化降低了城市的脆弱性,但在此基础之上的社会基础设施建设和生态资源保护工作应继续有序展开。

4 结论

通过对资源、生态、经济、社会四个子系统的综合脆弱性、时空动态演化的脆弱性分析,得出以下结论:

(1)从空间上看,2015 年黑龙江省城市脆弱性格局呈现高脆弱性区域集聚格局。城市脆弱

性总体下降,分布趋于均匀。这说明振兴东北老工业基地的战略是有效的,黑龙江省城市发展潜力有所提升。未来老工业基地的改革政策应继续遵循当前的城市发展模式,如保护城市生态环境、加强城市经济转型等。

(2)从时间上看,2010 - 2013 年黑龙江省城市脆弱性呈上升趋势,2013 - 2019 年呈逐渐下降趋势,其中资源、生态和社会子系统的脆弱性均呈稳步下降趋势。经济脆弱性呈现先上升后下降的趋势。经济脆弱性的波动趋势表明,黑龙江省的经济绿色发展与产业结构转型对于降低城市脆弱性产生了积极的影响。

(3)2010 年黑龙江省城市脆弱性与生态脆弱性关联度最高。2013 - 2015 年,城市脆弱性与经济脆弱性的相关性最高,之后相关性最高的是社会脆弱性。城镇社会保障和基础设施建设稳步推进,但不平衡不充分的状况依然存在。

(4)黑龙江作为老工业基地,城市经济的调结构攻坚战是振兴发展的重中之重。在未来的发展中,应进一步持续调整产业结构,加大科技投入,发展高技术产业,降低经济脆弱性。随着城市的发展,接下来应该加强社会保障制度和资源配置的政策倾斜,增加教育和医疗的投资份

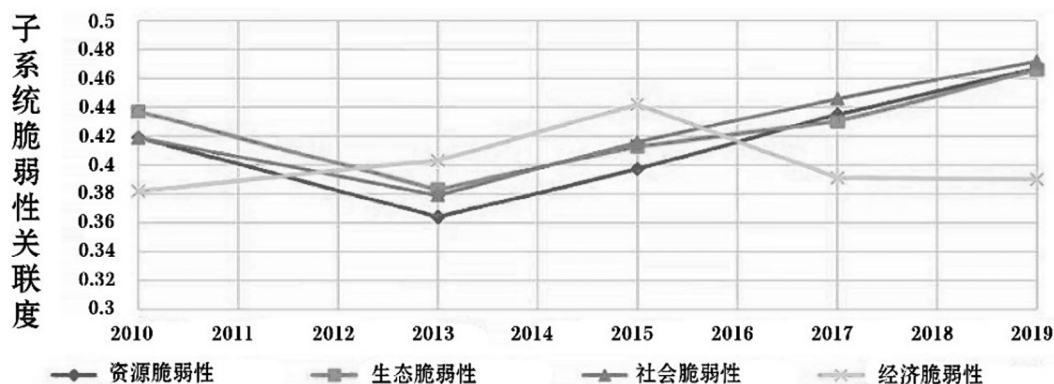


图 4 2010 - 2019 年子系统脆弱性相关程度变化

额,完善社会基础设施的建设,降低城市社会的脆弱性。在当下生态优先绿色发展的环境下,应促使生态保护与经济发展相协调,注重绿色可持续发展,减少环境污染与不可持续的资源开采。

参考文献(References):

- [1] Turner B, Kaspersen R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003, 100(14): 8074 - 8079.
- [2] 李鹤,张平宇. 全球变化背景下脆弱性研究进展与应用展望[J]. 地理科学进展, 2011, 30(07): 920 - 929.
- [3] 方创琳,王岩,方嘉雯. 中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征(英文)[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(02): 153 - 170.
- [4] 王佳宁,薛东前,马蓓蓓,等. 黄土高原地区矿产资源型城市脆弱性及其人口响应[J]. 干旱区地理, 2020, 43(06): 1679 - 1690.
- [5] Vogel C. Vulnerability and global environmental change[J]. AVISO (Ottawa, Ont.), 2004, 13: 1 - 8.
- [6] Adger, Huq S, Brown K, et al. Adger, W. N., (2006), Vulnerability, Global Environmental Change 16 (03), 268 - 281[J]. [2024 - 12 - 10].
- [7] Lee Y J. Social vulnerability indicators as a sustainable planning tool[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2014, 44(01): 31 - 42.
- [8] 王岩,方创琳,张蕾. 城市脆弱性研究评述与展望[J]. 地理科学进展, 2013, 32(05): 14.
- [9] Villa F, Mcleod H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision - Making: Guidelines and Applications [J]. Environmental Management, 2002, 29, 335 - 348.
- [10] Li B, Yang Z, Su F. Measurement of vulnerability in human - sea economic system based on set pair analysis: A case study of Dalian city [J]. Geographical Research, 2015, 34(05): 967 - 976.
- [11] 张梅,罗怀良,陈林. 资源型城市脆弱性评价——以攀枝花市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(05): 1170 - 1178.
- [12] 刘艳中,宋改凤,陈勇,等. 矿产资源型城市脆弱性综合测度与评价[J]. 矿产综合利用, 2021(04): 10 - 16.
- [13] Zhao L, Wang W, Zhang Y S, et al. The Spatio - Temporal Evolution about Urban Vulnerability on the Northeast Region since Northeast Revitalization[J]. Economic Geography, 2014, 34(12): 69 - 77.
- [14] Gao Y C. Vulnerability Assessment of Resources - based Cities Based on Pse - C Model[J]. Resources & Industries, 2014.
- [15] 徐君,李贵芳. 资源型城市脆弱性的 AHV 模型及演化耦合作用分析[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(08): 899 - 904.
- [16] 王士君,王永超,冯章献. 石油城市经济系统脆弱性发生过程、机理及程度研究——以大庆市为例[J]. 经济地理, 2010, 30(03): 6.
- [17] 伊尔凡江·艾合买提江,阿里木江·卡斯木,安瓦尔·买买提明. 城市脆弱性的动态演变与模拟预测——以乌鲁木齐市为例[J]. 冰川冻土, 2021, 43(06): 1861 - 1868.
- [18] 陈伟珂,闫超华,董静,等. 城市脆弱性时空动态演变及关键致脆因子分析——以河南省为例[J]. 城市问题, 2020(03): 9.
- [19] 毕云龙,牛方曲,李伟,等. 资源型城市脆弱性评价和预警机制研究: 以山西省为例[J]. 中国矿业, 2021, 30(06): 65 - 73.
- [20] 赵学青. 内蒙古城市气候脆弱性评价及其适应性研究[D]. 内蒙古大学, 2020.
- [21] 苏飞,张平宇. 石油城市经济系统脆弱性评价——以大庆市为例[J]. 自然资源学报, 2009, 024(07): 1267 - 1274.
- [22] 梁保平,梁诗婷. 桂林市脆弱性综合评价与动态演变研究[J]. 国土资源科技管理, 2020, 37(04): 1 - 11.

作者简介:

第一作者:袁静远,1998年生,女,浙江湖州人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,主要研究方向为城乡规划。Email:2894532067@qq.com;

通讯作者:陆明,1969年生,女,黑龙江哈尔滨人,博士,哈尔滨工业大学建筑与设计学院,教授,主要研究方向为城乡规划。Email:hitlm@126.com

Urban Vulnerability Assessment and Dynamic Evolution ——Case of Heilongjiang Province

YUAN Jingyuan, LU Ming*

(School of Architecture and Design, Harbin Institute of Technology,

Key Laboratory of Cold Land Region Spatial Planning and Ecological Protection and Restoration,

Ministry of Natural Resources, Harbin 150001, China)

Abstract: As the largest old industrial base in China, Northeast China has embarked on a development road dominated by heavy industry under the planned economic system. The region's industrial structure is not sustainable, it needs to rely on natural resources for a long time, and the ecological environment is destroyed. It is of great significance to study the urban vulnerability of the old industrial base in Northeast China for the revitalization and high - quality development of Northeast China. Taking 12 prefecture - level cities in Heilongjiang Province as the research object, this paper constructs a comprehensive assessment index system of urban vulnerability from four subsystem: ecology, resources, society and economy. This paper analyzes the spatial distribution pattern and dynamic evolution process of urban vulnerability in Heilongjiang Province from 2010 to 2019. The research results are as follows: (1) Spatially, the vulnerability pattern of cities in Heilongjiang Province in 2015 showed a cluster pattern of high - vulnerability regions, and then the overall vulnerability gradually decreased and tended to be evenly distributed. (2) In terms of time, urban vulnerability in Heilongjiang Province showed an upward trend from 2010 to 2013, and a gradual downward trend from 2013 to 2019. Resource, ecological and social vulnerability declined steadily, while economic vulnerability rose first and then declined. (3) The correlation between urban comprehensive vulnerability and ecological vulnerability was the highest in 2010, and the correlation between urban comprehensive vulnerability and economic vulnerability was the highest from 2013 to 2015, and then it transferred to social vulnerability. In the future, in the process of revitalization and development, Heilongjiang Province should continue to optimize the industrial structure, protect the ecological environment, and strengthen the construction of ecological civilization.

Key words: urban vulnerability; spatio - temporal dynamic evolution; spatial autocorrelation analysis; grey correlation analysis