

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202303009



基于 DPSIR 模型的新疆城市生态韧性评估及影响因素分析

钱田田^{1,2}, 王宏卫^{1,2}, 余芳瑞^{1,2},
魏一鸣^{1,2}, 尹玉聪^{1,2}, 薛孟琦^{1,2}

(1. 新疆大学 地理与遥感科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830017;
2. 新疆大学 新疆绿洲生态自治区重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830017)

摘要: 基于驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型,构建新疆城市生态韧性指标体系,探究2000—2020年新疆城市生态韧性的时空演变特征,采用地理探测器方法识别影响新疆城市生态韧性的关键影响因素,提出新疆城市生态韧性提升策略。结果表明:近年来,新疆发展迅速,2000—2020年新疆城市生态韧性水平持续增长;新疆城市生态韧性水平空间分布差异明显,呈现出北强南弱的特征;新疆城市生态韧性主要受城镇化率、林草覆盖率、人均消费水平等指标影响,其中,城镇化率和林草覆盖率的交互影响最高;新疆地广人稀,缺乏城市间的发展带动,在大力发展经济的同时,应以生态保护为前提,重点加强基础设施的建设,加强城市间的辐射带动作用,以提升城市生态韧性。

关键词: 生态韧性; DPSIR 模型; 新疆; 影响因素

中图分类号: X 826; Q 146

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2023)05-0607-08

Urban Ecological Resilience Assessment and Influencing Factors Analysis in Xinjiang Based on DPSIR Model

QIAN Tiantian^{1,2}, WANG Hongwei^{1,2}, YU Fangrui^{1,2},
WEI Yiming^{1,2}, YIN Yucong^{1,2}, XUE Mengqi^{1,2}

(1. College of Geography and Remote Sensing Science, Xinjiang University, Urumqi 830017, China;
2. Xinjiang Key Laboratory of Oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830017, China)

Abstract: Based on the Drivers-Pressures-States-Impacts-Responses (DPSIR) model, an indicator system for urban ecological resilience in Xinjiang is established to explore the spatial-temporal evolution characteristics of urban ecological resilience in Xinjiang from 2000 to 2020. The key influencing factors which can affect urban ecological resilience in Xinjiang are identified using geographic detector methods, and strategies for improving urban ecological resilience in Xinjiang are proposed. The results show that: Xinjiang has witnessed rapid development in recent years, and the level of urban ecological resilience continued to increase from 2000 to 2020. The horizontal spatial distribution of urban ecological resilience in Xinjiang is significantly different, showing the characteristics of strong in the north and weak in the south. Urban ecological resilience in Xinjiang is mainly affected by urbanization rate, forest and grass coverage rate, per capita consumption level and other indicators, among which, the interaction effect of urbanization rate and forest and grass coverage rate is the highest.

收稿日期: 2023-03-09

通信作者: 王宏卫(1967-),男,教授,博士,主要从事乡村聚落的研究. E-mail: wanghw_777@xju.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41861037)

Xinjiang has a vast territory and small population, and lacks the impetus of inter-city development. While vigorously developing the economy, ecological protection should be taken as the premise, and emphasis should be placed on strengthening the construction of infrastructure, and strengthen the radiation driving effect between cities to enhance urban ecological resilience.

Keywords: urban ecological resilience; DPSIR model; Xinjiang; influencing factor

新疆是典型的干旱半干旱区,自然条件较为恶劣.城市作为人口、产业主要集聚区,是新疆生态保护的先行区和主战场.在生态环境脆弱和外来扰动的双重压力下,城市生态保护和治理的核心任务是增强韧性转变,因此,提高城市应对生态风险的能力成为城市高质量发展的一个重要内容,也是韧性城市未来的发展方向.

韧性作为一种主动探索适应性的调整变化方式^[1],与区域高质量发展理念存在共通之处^[2],在区域不断对外界干扰和冲击的影响下^[3],给区域发展提供了新的思路.韧性从工程韧性、生态韧性发展到演化韧性(社会生态韧性).作为城市韧性的重要维度,城市生态韧性受到国内外学者的广泛关注.国外生态韧性的相关研究主要围绕韧性理论^[4]、形成机制^[5]、优化路径^[6]等内容展开. Holling^[7]将生态韧性定义为生态系统在应对自然或人为因素变化时所产生的持续应对性; André 等^[8]尝试将生态韧性与城市治理绩效相结合,构建复杂系统下的城市生态韧性提升体系.国内研究则主要涉及韧性演化^[9]、指标构建^[10]和影响因素^[11]等方面.夏楚瑜等^[12]从抵抗力、适应力和恢复力 3 个方面构建杭州市生态韧性评估模型,对杭州市生态韧性时空变化格局进行分析,并提出分区管理模式;王婷等^[13]从我国高质量发展的需求出发,构建基于高质量发展的城市生态韧性测度框架;王松茂等^[14]基于演化韧性理论,在评估和分析山东半岛城市群城市生态韧性的时空分异和演进规律的基础上,采用障碍度模型识别其主要障碍因子.现有的城市生态韧性研究限于概念的不统一,侧重分析城市生态系统在受到外来干扰和冲击后的抵御和恢复能力,较少有在演进韧性视角下对城市生态韧性进行深入探讨,难以综合评估城市生态韧性的内涵机制和高质量发展能力.

鉴于此,本文运用驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型、熵权法、综合指数法等评估 2000—2020 年新疆城市的生态韧性,通过地理探测器探测其影响因子,并提出城市生态韧性的提升策略.

1 研究数据及方法

1.1 研究区概况

研究区概况图,如图 1 所示.新疆地广人稀,城市作为人类活动的主要载体,在具有丰富资源储备的同时,存在生态环境脆弱,生态承载力低的先天不足问题,社会经济行为受到客观自然环境制约,工业生产和农业活动的环境依附性需要保持在较低水平.2000—2020 年间,新疆在西部大开发、对口援疆等政策的引导下,经济水平不断提升,国民生产总值由 1 363.56 亿元上升到 13 797.58 亿元;基础设施建设不断完善,到 2020 年,新疆高速公路里程已达到 5 412.9 km;生态环境遭到破坏,近 20 年来新疆生态环境的主要情况是局部(内部绿洲)改良,然而整体逐渐恶化,尤其是绿洲周围的沙漠过渡带不断恶化,对绿洲生态环境造成明显的负面影响.

1.2 数据来源

遵循指标数据获取的可得性、科学性和系统性,运用 DPSIR 模型构建新疆城市生态韧性评估体系.研究数据分别来源于美国航空航天局(NASA)、大气成分分析组、中国科学院资源环境科学数据中心网、NOAA/NCEI 美国国家环境信息中心、北京大学地理数据平台、Openstreetmap、新疆统计年鉴(2001—2021)、中国县域统计年鉴(2001—2021)、根据 2001—2021 年各地市统计年鉴、县域统计年鉴和部分县级以下统计公报进行补充.由于数据获取来源较多,对数据进行统一栅格与分辨率处理,重采样

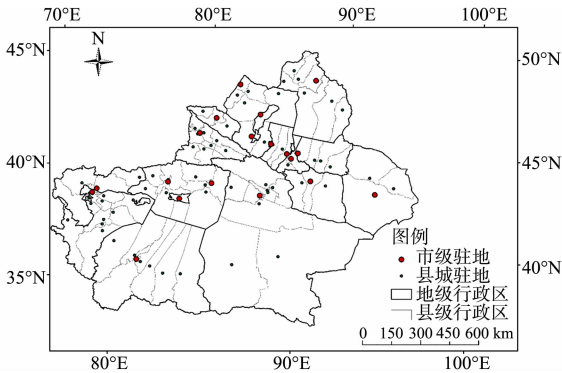


图 1 研究区概况图

Fig. 1 Overview of study area

后的数据分辨率为1 000 m.

1.3 研究方法

1.3.1 DPSIR 模型 DPSIR 模型^[15]强调社会经济发展与环境之间的关系. 在 DPSIR 模型中,经济和社会因子作为驱动力(D),增加或减轻生态环境压力(P),造成城市社会-经济-生态系统状态(S)发生改变,这些改变对城市资源质量、产业结构、区域发展等方面产生影响(I),并使系统以预防、适应或改善的方式做出响应(R). 响应又会反过来促进社会经济发展,调控环境压力,并改变城市当前的状态. DPSIR 模型,如图 2 所示.

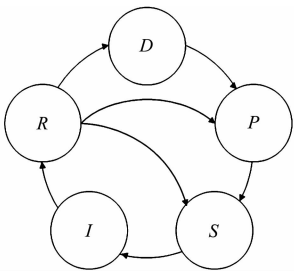


图 2 DPSIR 模型
Fig. 2 DPSIR model

1) 指标体系构建. 为准确、客观地评价新疆城市生态韧性,参考文献[16-17]的研究,综合考虑新疆社会经济发展、生态环境变化、基础设施建设等特征,构建 DPSIR 模型下新疆城市生态韧性评价指标体系,共计 24 项指标,如表 1 所示.

表 1 DPSIR 模型下新疆城市生态韧性评价指标体系
Tab. 1 Evaluation index system of urban ecological resilience in Xinjiang under DPSIR model

准则层	指标层	描述与说明	权重
驱动力	人均地区生产总值/万元·人 ⁻¹	反映城市经济总体状况	0.191
	人均住户储蓄存款余额/万元·人 ⁻¹	反映城市生活水平	0.191
	人均消费水平/万元·人 ⁻¹	反映城市消费水平	0.193
	人口密度/人·km ⁻²	反映城市人口分布情况	0.220
	城镇化率	反映人口向城市的聚集程度	0.206
压力	单位 GDP 工业 SO ₂ 排放量/μg·万元 ⁻¹	反映城市空气污染压力	0.249
	单位 GDP 工业 PM _{2.5} 浓度/μg·万元 ⁻¹	反映城市空气污染压力	0.251
	建设用地面积/km ²	反映城市土地利用压力	0.251
	化肥施用度/t·km ⁻²	反映城市土地污染压力	0.249
状态	人口自然增长率/%	反映城市居民健康水平状态	0.190
	农业产出系统结构熵 ^[18]	反映城市粮食生产状态	0.204
	农业机械总动力/kW·km ⁻²	反映城市农业现代化状态	0.191
	植被退化	反映城市植被健康水平状态	0.208
	土壤侵蚀	反映城市土壤健康水平状态	0.206
	林草覆盖率/%	反映对城市资源质量的影响	0.155
影响	城市扩展	反映对城市发展情况的影响	0.242
	空气质量指数	反映对城市环境质量的影响	0.241
	非农产业区位商 ^[18] /%	反映对城市产业结构的影响	0.116
	农业产出系统结构转换率	反映城市农业产出系统的综合性能	0.250
响应	中小学生在 校数/个	反映城市智力资本	0.200
	每万人医疗卫生床位数/张	反映城市医疗水平和社会响应	0.180
	福利院床位数/张	反映城市福利水平和社会响应	0.142
	交通通达性	反映城市交通响应	0.227
	财政支出总额/万元	反映城市响应的经济能力	0.246

2) 数据标准化处理. 为了消除原始数据量纲和数值间的差异,需要对数据进行标准化处理,即

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x_{i,j} - \min(x_{i,j})}{\max(x_{i,j}) - \min(x_{i,j})}, && \text{正向指标,} \\ x' &= \frac{\max(x_{i,j}) - x_{i,j}}{\max(x_{i,j}) - \min(x_{i,j})}, && \text{负向指标.} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)中: x' 为原始数据进行标准化处理后的数值; $x_{i,j}$ 为指标的实际值; $\max(x_{i,j})$ 为该指标序列的最大值; $\min(x_{i,j})$ 为该指标序列的最小值.

3) 熵权法. 在进行新疆城市生态韧性评价时,采用客观赋权方法中的熵权法计算指标权重^[19],即

$$p_{i,j} = x_{i,j} / \sum_{i=1}^m x_{i,j}, \quad (2)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \times \sum_{i=1}^m (p_{i,j} \times \ln p_{i,j}),$$

(3)

$$d_j = 1 - e_j,$$

(4)

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j.$$

(5)

式(2)~(5)中: $p_{i,j}$ 为第 j 项指标下第 i 个生态韧性指标值所占的比重; m 为新疆城市总数; e_j 为第 j 项指标的熵值; d_j 为第 j 项指标的冗余度; w_j 为第 j 项指标的权重; n 为指标个数.

4) 新疆城市生态韧性评价. 使用综合指数法计算新疆城市生态韧性,表达式为

$$\text{ERI} = \sum_{j=1}^n X_j \times w_j.$$

(6)

式(6)中:ERI 为新疆城市生态韧性指数; X_j 为指标 j 的标准化值.

1.3.2 全局 Moran's I 指数 全局空间自相关主要用于分析地理要素在整个区域内的关联特征,通常用全局 Moran's I 指数(I_M)来衡量,其表达式为

$$I_M = \frac{\sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m w_{a,b} (x_a - \bar{x})(x_b - \bar{x})}{s^2 \sum_{a=1}^m \sum_{b=1}^m w_{a,b}}.$$

(7)

式(7)中: x_a, x_b 分别为空间单元 a, b 的观测值; \bar{x} 和 s^2 分别为观测值 x 的均值和标准差; $w_{a,b}$ 为基于邻近标准构建的空间权重矩阵.

1.3.3 地理探测器 地理探测器是由王劲峰等^[20]提出的用于空间数据探索的方法,因子探测器主要用来检测地理因素和某种指标的变化在空间上是否具有显著的一致性,其表达式为

$$P_{A, \text{ERI}} = 1 - \frac{1}{m\sigma_{\text{ERI}}^2} \sum_{c=1}^h m_{A,c} \sigma_{\text{ERI},c}^2.$$

(8)

式(8)中: $P_{A, \text{ERI}}$ 为因素 A 对新疆城市生态韧性 ERI 的解释力; σ_{ERI}^2 为新疆城市生态韧性的离散方差; $\sigma_{\text{ERI},c}^2$ 为城市 c 生态韧性的离散方差; h 为某种因子的分类个数; $m_{A,c}$ 为因素 A 在城市 c 上的样本个数.

2 研究结果与分析

2.1 新疆城市生态韧性水平演变特征

根据所建立的新疆城市生态韧性评价指标体系,对其生态韧性水平进行评价,分别得到 2000 年、2010 年和 2020 年新疆城市生态韧性评价指数. 运用 ArcGIS 中的自然断点法对新疆城市生态韧性进行分等级,划分为 5 类:Ⅰ类为低韧性($\text{ERI} < 1.691$);Ⅱ类为较低韧性($1.691 \leq \text{ERI} \leq 1.941$);Ⅲ类为中等韧性($1.941 \leq \text{ERI} \leq 2.201$);Ⅳ类为较高韧性($2.201 \leq \text{ERI} \leq 2.556$);Ⅴ类为高韧性($\text{ERI} > 2.556$).

2.1.1 时间演变规律 计算得到的 2000—2020 年的新疆城市生态韧性等级划分,如图 3 所示. 由图 3

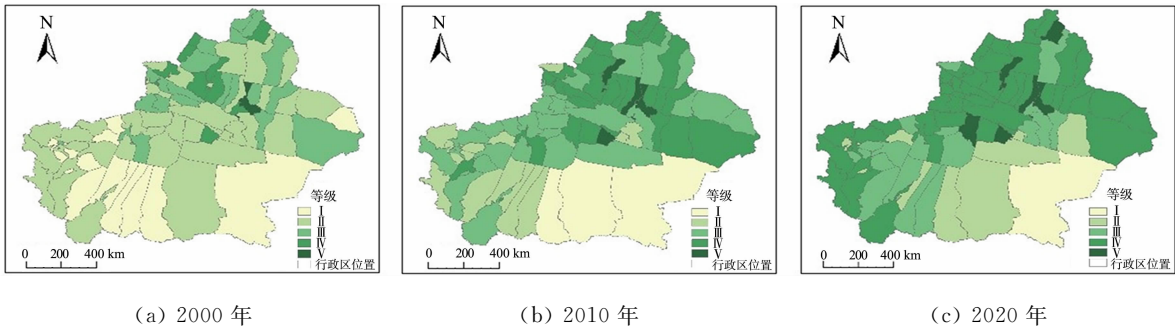


图 3 2000—2020 年新疆城市生态韧性等级划分

Fig. 3 Classification of urban ecological resilience levels in Xinjiang from 2000 to 2020

可知:新疆城市生态韧性水平整体得到提升,城市生态韧性综合指数平均值分别为 1.885(2000 年), 2.162(2010 年), 2.253(2020 年). 新疆 85 个城市中生态韧性水平提升速度最快的是奎屯市,由 1.751

增加为 2.688,而且末县、塔城市和乌鲁木齐县生态韧性水平呈现负增长。

新疆城市生态韧性等级变化,如图 4 所示.由图 4 可知:2000 年城市的 I 类生态韧性水平在 2020 年大部分优化到 II 类和 III 类生态韧性水平,很难跃迁到 IV 类及 V 类生态韧性水平;2000—2010 年, I 类和 II 类城市数由 53 个减少至 18 个, III 类、IV 类和 V 类城市数由 32 个增加到 67 个;2010—2020 年, I 类和 II 类城市数由 18 个变为 10 个, III 类城市数由 32 个变为 21 个, IV 类城市数由 31 个增加到 48 个, V 类城市数由 4 个增加到 6 个.产生这一变化的原因主要是 20 年间新疆城市经济迅速发展,社会事业不断完善,生态环境逐步变好.经济上,2000—2020 年,新疆 85 个城市人均 GDP 总值由 7 372 元增加到 23 845 元,作为中国重要的农牧业产地,新疆的农业系统产出结构熵和农业产出系统结构转换率随着科学技术水平不断完善,提升明显;社会事业上,地方财政支出由 124.96 万元提高至 3 480.46 万元,医疗卫生机构、福利机构、学校和交通道路等公共基础设施建设水平逐步完善;生态环境上,单位 GDP 工业 SO₂ 排放量和单位 GDP 工业 PM_{2.5} 浓度逐步降低,说明在工业生产上更加注意污染物的排放,但空气质量整体有所下降,土壤侵蚀、植被退化、林草覆盖率降低等问题不容忽视.

从指标体系的 5 个维度来看,这 20 年间,驱动力小幅度增强,说明近 20 年新疆城市社会经济发展速度一直保持增长;压力在显著增强后又明显下降,说明 2010 年后,新疆各城市开始注重排污减污和环境保护;状态不断变好,说明系统对压力的转化能力不断优化;影响改变不大,说明在快速发展的同时,相应的配套设施也在同步发展;响应不断提升,说明基础设施和服务能力不断完善.

2.1.2 空间演变规律 1) 新疆城市生态韧性空间相关性.利用 ArcGIS 软件中的空间分析工具,得出 2000—2020 年新疆城市生态韧性水平的全局 Moran's *I* 指数,如表 2 所示.表 2 中:*Z* 为标准差的倍数;*P* 为显著性.由表 2 可知:2000—2020 年,新疆城市生态韧性全局 Moran's *I* 指数均通过了 *Z* 统计量检验, $Z \geq 2.58$,且 $P \leq 0.01$,新疆城市生态韧性之间存在显著的正相关关系,即城市生态韧性指数不论高低,在空间上都呈现集聚的特征.

表 2 2000—2020 年新疆城市生态韧性全局 Moran's *I* 指数
Tab. 2 Global Moran's *I* index of urban ecological resilience in Xinjiang from 2000 to 2020

年份	<i>I_M</i>	<i>Z</i>	<i>P</i>
2000	0.210 7	5.850 0	0.000 0
2010	0.290 6	8.029 5	0.000 0
2020	0.290 5	8.071 4	0.000 0

2) 新疆城市生态韧性空间异质性.受制于新疆特殊区位和自然环境特征,城市生态韧性空间异质性明显.在韧性等级划分中,新疆城市生态韧性水平呈现出北高南低的特征.生态韧性水平为 IV 类和 V 类的城市主要集中分布于天山北坡经济带,生态韧性水平为 I, II, III 类的城市虽有所提升,但与 IV 类和 V 类城市存在一定差异.产生这种现象的主要原因是生态基础、经济加持下的政策倾斜.天山北坡经济带的城市在优越的区位条件与丰富的资源优势的加持下,系统有更强的抗干扰和回稳能力.

2020 年新疆城市生态韧性不同维度的空间分异情况,如图 5 所示.由图 5 可知:从驱动力维度看,新疆城市驱动力整体较弱,多集中于等级 II, III,达到等级 V 的只有 4 个城市,分别为克拉玛依市、乌鲁木齐市、库尔勒市和伊吾县,说明这 4 个城市社会经济发展的驱动力较强;从压力维度看,大部分城市处于高压状态,多处于等级 IV, V,仅有若羌县处于等级 I,说明该县城市工业化水平低,产生的污染较小;从状态维度看,大部分城市处于等级 IV,表明在不同驱动力和压力影响下,城市生态系统状态表现较好;从影响维度看,等级较为分散,由于自然本底差异,城市生态系统表现出不同程度的影响水平;从响应维度看,全疆城市整体响应偏低,处于等级 V 的仅有乌鲁木齐市,说明新疆城市整体响应能力弱.

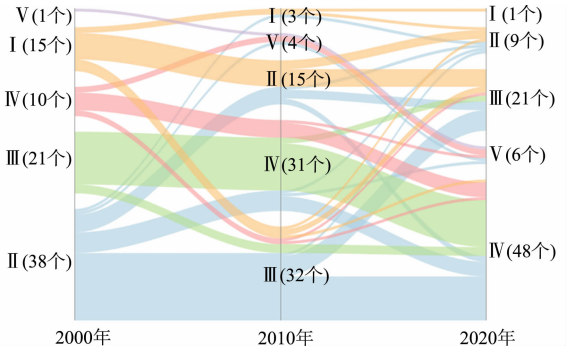


图 4 新疆城市生态韧性等级变化
Fig. 4 Changes in urban ecological resilience levels in Xinjiang

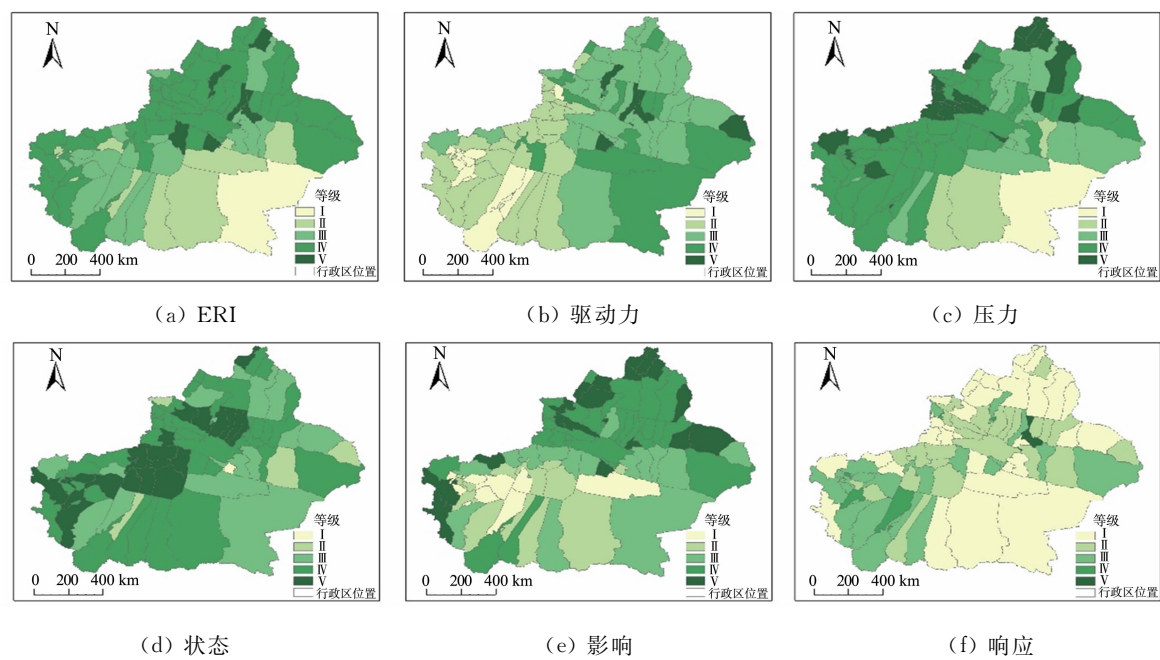


图 5 2020 年新疆城市生态韧性不同维度的空间分异情况

Fig. 5 Spatial differentiation of urban ecological resilience in Xinjiang in different dimensions in 2020

2.2 新疆城市生态韧性影响因素分析

2.2.1 单因子探测分析 采用 ArcGIS 自然断点法对新疆城市生态韧性指标体系中各项指标数值进行离散化,将离散化后的类型量导入地理探测器中进行因子探测,前 8 位影响因子的探测结果,如表 3 所示.表 3 中: q 为影响因子对城市生态韧性的决定力.由表 3 可知:各影响因子对城市生态韧性的决定力存在较大差异.

在驱动力维度中,人均消费水平和城镇化率能表征城市生态韧性的动力来源,其中,城镇化率的 q 值高于人均消费水平,反映出人口向城市的集中是城市生态韧性的主要动力来源.城镇化率和消费水平的提升是城市发展的主要原因.

在压力维度中,化肥施用度能够反映生态系统所面临的生态威胁情况,其 q 值为 0.186,说明新疆城市间受到化肥施用度的影响较大,化肥施用度为城市生态韧性的主要压力来源,过度施用化肥对土壤和地下水产生不同程度的污染,直接影响当地作物的产量和人们的日常生活.

在状态维度中,植被退化和土壤侵蚀能够反映城市系统的基本情况,其因子决定作用较高,说明植被退化和土壤侵蚀能较大程度地反映新疆城市间的资源环境情况.

在影响维度中,非农产业区位商、林草覆盖率和空气质量指数能够反映城市产业结构、资源质量、生态环境等方面对生态韧性的影响,其中,林草覆盖率因子 q 值最高,说明林草资源质量是城市生态韧性产生显著正效应的关键.

2.2.2 交互探测分析 运用地理探测器中的交互探测器探测双因子对城市生态韧性的共同作用.新疆城市生态韧性因子交互探测结果,如表 4 所示.图 4 中:箭头表示影响因子两两交互的作用值高于单一因子的作用值.

由表 4 可知:8 个主要影响因子两两交互的作用值均高于单一因子的作用值,表明双因子的共同作用会增加其对生态韧性水平的解释力,其中,城镇化率和林草覆盖率的交互探测结果最高,为 0.615,表明新疆城市生态韧性受城镇化率和林草覆盖率的共同影响最大.因此,可以从双因子的交互作用着手,提升城市生态韧性.

表 3 前 8 位影响因子的探测结果

Tab. 3 Detection results of top 8 influencing factors

影响因子	q	P
城镇化率	0.410	0.000
化肥施用度	0.186	0.000
植被退化	0.230	0.000
土壤侵蚀	0.093	0.000
林草覆盖率	0.328	0.000
非农产业区位商	0.235	0.000
人均消费水平	0.333	0.007
空气质量指数	0.074	0.040

表 4 新疆城市生态韧性因子交互探测结果

Tab. 4 Interactive detection results of urban ecological resilience factors in Xinjiang

影响因子	城镇化率	化肥施用度	植被退化	土壤侵蚀	林草覆盖率	非农产业区位商	人均消费水平	空气质量指数
城镇化率	0.410	—	—	—	—	—	—	—
化肥施用度	0.575 ↑	0.186	—	—	—	—	—	—
植被退化	0.553 ↑	0.394 ↑	0.230	—	—	—	—	—
土壤侵蚀	0.541 ↑	0.288 ↑	0.407 ↑	0.093	—	—	—	—
林草覆盖率	0.615 ↑	0.431 ↑	0.458 ↑	0.414 ↑	0.328	—	—	—
非农产业区位商	0.499 ↑	0.416 ↑	0.437 ↑	0.410 ↑	0.546 ↑	0.235	—	—
人均消费水平	0.572 ↑	0.515 ↑	0.568 ↑	0.494 ↑	0.411 ↑	0.439 ↑	0.333	—
空气质量指数	0.482 ↑	0.266 ↑	0.367 ↑	0.226 ↑	0.432 ↑	0.350 ↑	0.411 ↑	0.074

2.3 新疆城市生态韧性优化建议

- 1) 提升驱动力. 把握天山北坡城市群高质量发展的战略定位, 大力发展经济, 吸引并留住人才, 以点带面, 辐射全疆, 协调推进全疆城市生态建设, 通过技术溢出、制度溢出和人才溢出, 扩大高生态韧性城市的生态建设辐射带动作用 and 示范效应, 打破区域城市生态韧性两极化困境.
- 2) 化解压力. 在增强压力转化的同时, 划定并严守生态保护红线, 加强对社会安全事故及城市节能减排的管控力度, 鼓励绿色发展型企业的转型升级, 转变城市高耗能、高污染的发展模式, 坚决不走“先污染, 后治理”的老路.
- 3) 改善状态. 通过制定环境保护规章制度和更新产业结构入手, 加快构建多元化现代生态产业体系, 完善劣势地区生态产业链、供应链建设, 以提高经济稳定性, 并合理布局应急产业, 有效应对各类风险压力.
- 4) 优化影响. 通过对城市用地空间的合理布局, 降低社会经济发展对生态环境的压力, 从而有效提升城市生态系统对压力的适应能力.
- 5) 提升响应. 加强基础设施建设, 完善交通道路网络体系, 提升综合服务能力, 以复合功能为导向布局城市基础设施, 增强城市生态承载能力, 加大“人才兴疆”战略实施力度, 推动科教深度融合创新, 加快科技成果资本化、产业化, 有效增强城市生态系统的学习和转化能力.

3 结论

2000—2020 年新疆发展迅速, 结合统计数据和遥感数据, 建立 DPSIR 框架下的城市生态韧性评价指标体系, 借助地理探测器对城市生态韧性影响因子进行探测并分析, 得出以下 4 点结论.

1) 时间尺度上, 随着生态理念日益完善和落地, 新疆在 20 年间的城市生态韧性水平不断提升, I 类、II 类生态韧性水平的城市明显减少, IV 类、V 类生态韧性水平的城市数量逐步增多, 但跨越式的韧性跃迁尚不明显. 分阶段来看, 2000—2010 年, 新疆城市社会经济的发展给生态环境带来了较大的压力; 2010—2020 年, 新疆在保持经济快速发展的同时, 开始注重响应措施的提升.

2) 空间分布上, 新疆城市生态韧性之间呈现显著的空间正相关性, 新疆城市生态韧性具有明显的区域辐射性; 新疆城市生态韧性水平空间异质性明显, 天山北坡经济带中的城市生态韧性水平相对较高, 各时间结点均表现为北疆城市生态韧性高, 南疆城市生态韧性低的特征.

3) 影响新疆城市生态韧性的因子主要为城镇化率、化肥施用度、植被退化、土壤侵蚀、林草覆盖率、非农产业区位商、人均消费水平、空气质量指数; 影响因子两两交互的作用值均高于单一因子的作用值, 其中, 城镇化率和林草覆盖率的交互探测结果最高, 为 0.615.

4) 新疆地域广阔、自然环境复杂, 在大力发展经济的同时, 应在绿色生态等思想的引导下, 通过合理规划城市定位提升驱动力, 借助严格划定生态保护红线和发展绿色企业等措施化解压力, 结合制定环境保护规章制度和更新产业结构等策略改善状态, 通过调整用地空间布局来优化影响, 并从完善基础设施和社会保障等方面提升响应, 最终实现新疆城市韧性水平的提升.

参考文献:

[1] KELLY C,FERRARA A,WILSON G A,*et al.* Community resilience and land degradation in forest and shrubland socio-ecological systems; Evidence from Gorgoglione, Basilicata, Italy[J]. Land Use Policy,2015,46:11-20. DOI: 10.1016/J.LANDUSEPOL. 2015. 01. 026.

[2] 李玉恒,阎佳玉,刘彦随. 基于乡村弹性的乡村振兴理论认知与路径研究[J]. 地理学报,2019,74(10):2001-2010. DOI:10.11821/dlxb201910004.

[3] WILSON G A,HU Zhanping,RAHMAN S. Community resilience in rural China: The case of Hu Village, Sichuan Province[J]. Journal of Rural Studies,2018,60:130-140. DOI:10.1016/j.jrurstud. 2018. 03. 016.

[4] DELETTRE O. Identity of ecological systems and the meaning of resilience[J]. Journal of Ecology,2021,109(9): 3147-3156. DOI:10.1111/1365-2745. 13655.

[5] BERKES F,JOLLY D. Adapting to climate change: Social-ecological resilience in a Canadian western arctic community[J]. Ecology and Society,2000,5(2):213-218. DOI:10.5751/ES-00342-050218.

[6] LEBEL L. Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems[J]. Ecology and Society,2006,11(1):230-250. DOI:10.5751/ES-01606-110119.

[7] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics,1973, 4(1):1-23. DOI:10.1146/ANNUREV. ES. 04. 110173. 000245.

[8] ANDRÉ B L,EMILIO R. Performance based planning of complex urban social-ecological systems: The quest for sustainability through the promotion of resilience[J]. Sustainable Cities and Society,2020,56(5):35-48. DOI:10.1016/j.scs. 2020. 102089.

[9] 吕添贵,胡哈,付舒斐,等. 长三角地区城市生态韧性时空分异特征及影响因素[J]. 地域研究与开发,2023,42(1): 54-60. DOI:10.3969/j. issn. 1003-2363. 2023. 01. 010.

[10] 杨晓冬,李紫薇,张家玉,等. 可持续发展视角下城市韧性的时空评价[J]. 城市问题,2021,40(3):29-37. DOI:10.13239/j. bjsshkxy. cswt. 210303.

[11] 朱金鹤,孙红雪. 中国三大城市群城市韧性时空演进与影响因素研究[J]. 软科学,2020,34(2):72-79. DOI:10.13956/j. ss. 1001-8409. 2020. 02. 12.

[12] 夏楚瑜,董照樱子,陈彬. 城市生态韧性时空变化及情景模拟研究: 以杭州市为例[J]. 生态学报,2022,42(1):116-126. DOI:10.5846/stxb202101030007.

[13] 王婷,邹紫涵,周国华,等. 高质量发展下城市生态韧性的测度框架[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2022,45(5): 33-40. DOI:10.7612/j. issn. 2096-5281. 2022. 05. 004.

[14] 王松茂,牛金兰. 山东半岛城市群城市生态韧性的动态演化及障碍因子分析[J]. 经济地理,2022,42(8):51-61. DOI:10.15957/j. cnki. jjdl. 2022. 08. 006.

[15] LEWISON R L,RUDD M A,AL-HAYEK W,*et al.* How the DPSIR framework can be used for structuring problems and facilitating empirical research in coastal systems[J]. Environmental Science and Policy,2016,56:110-119. DOI:10.1016/J. ENVSCI. 2015. 11. 001.

[16] NATHWANI J,LU Xiaoli,WU Chunyou,*et al.* Quantifying security and resilience of Chinese coastal urban ecosystems[J]. Science of the Total Environment,2019,672:51-60. DOI:10.1016/j. scitotenv. 2019. 03. 322.

[17] ZHAO Ruidong,FANG Chuanglin,LIU Haimeng,*et al.* Evaluating urban ecosystem resilience using the DPSIR framework and the ENA model: A case study of 35 cities in China[J]. Sustainable Cities and Society,2021,72: 102997. DOI:10.1016/j. scs. 2021. 102997.

[18] 郭付友,佟连军,魏强,等. 吉林省松花江流域产业系统环境适应性时空分异与影响因素[J]. 地理学报,2016,71 (3):459-470. DOI:10.11821/dlxb201603009.

[19] 郭亚军. 综合评价理论、方法及运用[M]. 北京:科学出版社,2006.

[20] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116-134. DOI:10.11821/dlxb201701010.

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 刘源岗)