

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.1155

Yierfanjiang Aihemaitijiang, Alimujiang Kasimu, Anwaer Maimaitiming. Dynamic evolution and simulation prediction of urban vulnerability: take Urumqi City as an example[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2021, 43(6):1861-1868. [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(6):1861-1868.]

城市脆弱性的动态演变与模拟预测 ——以乌鲁木齐市为例

伊尔凡江·艾合买提江¹, 阿里木江·卡斯木^{1,2}, 安瓦尔·买买提明³

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆师范大学 丝绸之路经济带城市发展研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆教育学院, 新疆 乌鲁木齐 830043)

摘要: 针对目前对我国西部城市的城市脆弱性综合研究比较缺乏的现状,以乌鲁木齐市为主要研究对象,筛选出50个具体评价指标,从资源、生态、社会和经济等四个方面构建了城市脆弱性评价指标体系,并采用综合指数分析法,对乌鲁木齐市2006—2016年的城市脆弱性进行了综合评价。结果表明:2006—2016年乌鲁木齐市城市综合脆弱性指数处于下降状态;生态脆弱性和经济脆弱性呈现出不同程度的下降趋势,资源脆弱性整体上较为平稳,但社会脆弱性逐渐增长,尤其是在2014—2016年的增长趋势更加明显。此外,构建了3套预测模型,并从中优选出精度最高的模型对乌鲁木齐市城市脆弱性进行了预测。得出2016—2019年乌鲁木齐市的城市脆弱性会呈现上升,2019年后趋于下降。最后,有针对性地提出了乌鲁木齐市在未来城市发展中减少城市脆弱性需要注意和改善的问题。相关内容可为乌鲁木齐市城市脆弱性的调控决策提供科学依据,为我国其他中西部城市的城市脆弱性研究提供参考。

关键词: 城市; 脆弱性指数; 预测; 神经网络; 乌鲁木齐市

中图分类号: F299.27; X821 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2021)06-1861-08

0 引言

随着城市的发展,各类城市问题开始出现,城市病越来越严重^[1-2],城市问题已然成为可持续发展道路中最大的问题,即要实现可持续发展,就必须降低城市脆弱性^[3-5]。城市脆弱性概念是以脆弱性的概念为基础的^[6-8],基于对脆弱性概念的不同理解,学者们对城市脆弱性的理解也各不相同^[9-10],其研究内容^[11]、方法^[12]也随之存在着差异^[13-15]。国外学术界对城市脆弱性的研究比较早,并得出很多实证研究成果。Padowski等^[16]对美国225个人口超过十万人的城市的水资源进行了脆弱性分析,指出城市水资源的可利用性导致了脆弱性。Whelan等^[17]以欧盟为主要研究区域,Guillaumont^[18]以非洲为研究区域,Rocha等^[19]对新兴市场经济国家的经

济系统进行了脆弱性分析。Farhan等^[20]对印度尼西亚Seribu群岛的生态环境进行了脆弱性分析,得出结论是政府须采取环境保护措施;Adger等^[21]构建了基于脆弱性的概念和内涵的研究模型,并对气候变化的社会经济影响进行了评估和分析。而国内学者关于城市脆弱性的研究主要集中在较为典型的地区或城市(资源型城市^[22-23]、旅游城市^[24]、沿海城市^[25]、绿洲城市^[26])。近年来,国内对城市脆弱性的概念、框架、评价等方面的研究比较多,而对其动态演变进行的研究则比较少;对我国东部沿海地区的城市或资源型城市、旅游城市等特殊类型城市的研究比较多,而对我国西北地区的城市为研究对象进行的脆弱性研究则比较少^[27];对城市单一子系统的脆弱性评价研究比较多,而对脆弱性驱动因素的综合性研究较为缺乏。城市作为一个复合性系

收稿日期: 2018-09-26; 修订日期: 2019-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41661037)资助

作者简介: 伊尔凡江·艾合买提江,硕士研究生,主要从事城市地理与城市规划研究. E-mail: 1483588930@qq.com

通信作者: 阿里木江·卡斯木,教授,主要从事城市遥感研究. E-mail: alimkasim@xjnu.edu.cn

统^[28],其资源、环境、社会、经济问题就是其脆弱性的根本体现^[29-31]。基于此,本文以我国向西开放的重要门户城市乌鲁木齐市为研究对象,从“资源—生态—社会—经济”等城市多元子系统对城市脆弱性进行了综合测度与动态预测研究。

1 研究区概况

乌鲁木齐市位于中国西北的亚欧大陆腹地,地处 $86^{\circ}37'33''\sim 88^{\circ}58'24''$ E、 $42^{\circ}45'32''\sim 45^{\circ}00'00''$ N,是新疆维吾尔自治区首府,也是全疆政治、经济、文化中心。新疆与8个国家相毗邻,乌鲁木齐市历来都是连接东西方商业贸易的重要枢纽,是中国向西开发的重要门户城市。乌鲁木齐市自然资源丰富,社会经济发展居西北地区前例,是个典型的多元性城市,其城市系统也是典型的复合性系统,因此要测度其城市脆弱性,须对整个系统的脆弱性进行综合测度。故此,基于城市脆弱性的概念、构成维度的关联逻辑和评价框架,本文在借鉴相关城市脆弱性评价体系的基础上,将评估模型设定为四个目标层,并对其进行进一步细化,使其成为敏感性、适应性、应对力三个因子的综合性函数,构建了乌鲁木齐市的城市脆弱性评价指标体系。考虑到数据的科学性,本文一共选取了50个指标层因子,确定指标属性,最终构建了乌鲁木齐市城市脆弱性评价指标体系。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究数据来源于《新疆年鉴》(2007—2017

年)、《新疆统计年鉴》(2007—2017年)、《新疆调查年鉴》(2007—2017年)、《新疆维吾尔自治区国民经济与社会发展统计公报》(2007—2017年)、《乌鲁木齐统计年鉴》(2007—2017年)、《乌鲁木齐市国民经济与社会发展统计公报》(2007—2017年)。

2.2 研究方法

本文采用 min-max 标准化方法,对原始数据进行了标准化处理;利用熵值赋权法,计算得出乌鲁木齐市脆弱性评价指标体系中各项指标的权重值,并构建了乌鲁木齐市城市脆弱性评价指标体系;最后通过综合指数分析法计算得出乌鲁木齐市2006—2016年各年度的城市脆弱性指数值。详细的方法及评价指标体系见文献[32],城市脆弱性指数测度公式为

$$URB = \sum_{e=1}^p (MBC)_e Q_e \quad (1)$$

式中: $(MBC)_e$ 为目标层各项指标的脆弱性指数; Q_e 为目标层各要素的权重; p 为目标层指标的数量; URB 为城市综合脆弱性指数。

3 城市脆弱性评价与分析

3.1 资源、生态脆弱性演变特征

由图1可见,2006—2016年乌鲁木齐市的资源脆弱性指数呈现出波动性下降的状态。其中,2007年、2009年上升,2009—2015年迅速下降,2016年略微增长,但整体上趋于平衡。上述结果表明,至2009年乌鲁木齐市的资源开发模式存在严重的问题,敏感性增强,城市系统容易受到损害;在之后7年时间内,资源脆弱性指数整体上下降,说明乌鲁

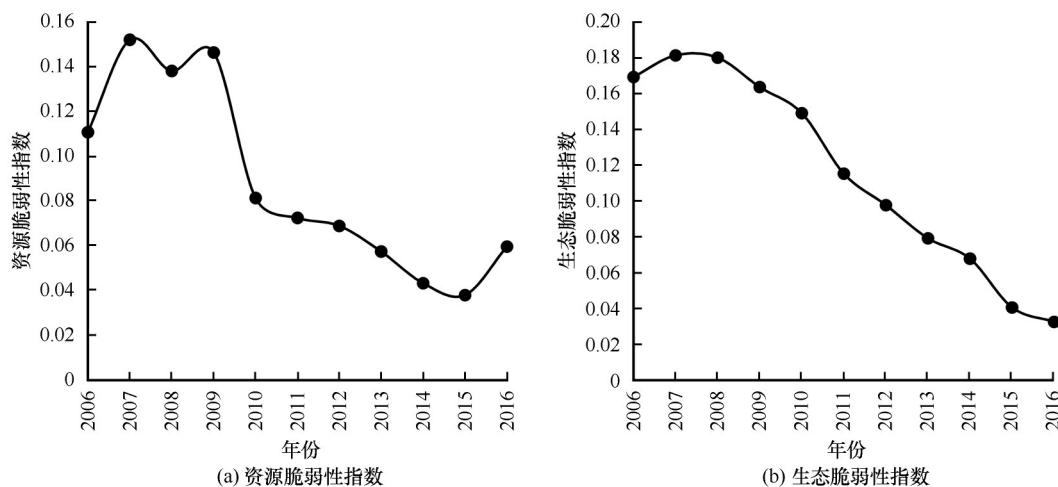


图1 乌鲁木齐市2006—2016年资源和生态脆弱性指数的时序演变曲线

Fig. 1 Temporal evolution curve of resource and ecological vulnerability index of Urumqi City from 2006 to 2016

木齐市资源开发模式已得到合理改善。乌鲁木齐市自然资源主要包括水资源、土地资源及煤矿,其他资源均从周边引进。第二产业起点低,至2010年又属于乌鲁木齐全力发展工业阶段,2007年、2009年为近11年内能源消耗量最大点,加之近几年人口的迅速增长,导致生活能耗增加。因此该阶段的能源消耗量大,且能源优化技术滞后可能是导致资源脆弱性上升的原因。

2006—2016年,乌鲁木齐市的生态脆弱性指数整体上呈现出大幅度下降趋势。其中只有在2006—2007年略有增长(增长0.02),这说明乌鲁木齐市的生态环境在这一年的时间里遭到了较大程度的破坏;在之后的时间段里,即2007—2016年,生态脆弱性指数持续下降,这说明自2007年以来乌鲁木齐市加大了对生态环境的改善力度,生态环境状况逐年向好的方面发展。近几年来,乌鲁木齐市加大了对生态环境工程的投资和改善,新标准空气质量指数对乌鲁木齐市的空气质量进行评价结果显示,至2016年乌鲁木齐市的空气质量达标率是66%,为优良状态;城市水资源质量全部达到标准水平,乌拉泊和红雁池两大水库也达到了饮用水源地一级保护区水质功能要求的标准水平,生活垃圾和固体废弃物处理率达到了95.7%,城市污水处理率也高达

98%,城市生态环境明显改善。

3.2 社会、经济脆弱性演变特征

由图2可见,2006—2016年乌鲁木齐市的社会脆弱性指数整体上呈现出下降的态势。其中只有在2007—2008年和2014—2015年两个时间段内,社会脆弱性略有增长,这说明在这两个时间段内城市社会敏感性处于较强状态,社会发展受挫,城市社会系统脆弱。在其他时间段内社会脆弱性指数则处于下降状态,而且下降幅度相当大,从2006年的0.157下降到2016年的0.078,这说明乌鲁木齐市的的城市社会系统向好的方向发展,社会状态越来越好。近几年来,乌鲁木齐市提高了对城市基础设施建设的关注程度,为了降低社会脆弱性,提高人类发展和基础设施水平,加大了医疗保险制度和社会保障系统的全方位发展速度,加强了社会治安管理,截至2016年乌鲁木齐市的犯罪率下降到0.15%。同时乌鲁木齐市大力改善民生,提高城市绿化覆盖率、燃气普及率等,城市地铁即将竣工,东进场和西外二环高架等项目相继进行,使得城市交通系统得以完善;乌鲁木齐市对医疗卫生、教育、科技以及基础设施建设的投资支出占比越来越大,说明城市社会系统的改善和发展力度越来越大。

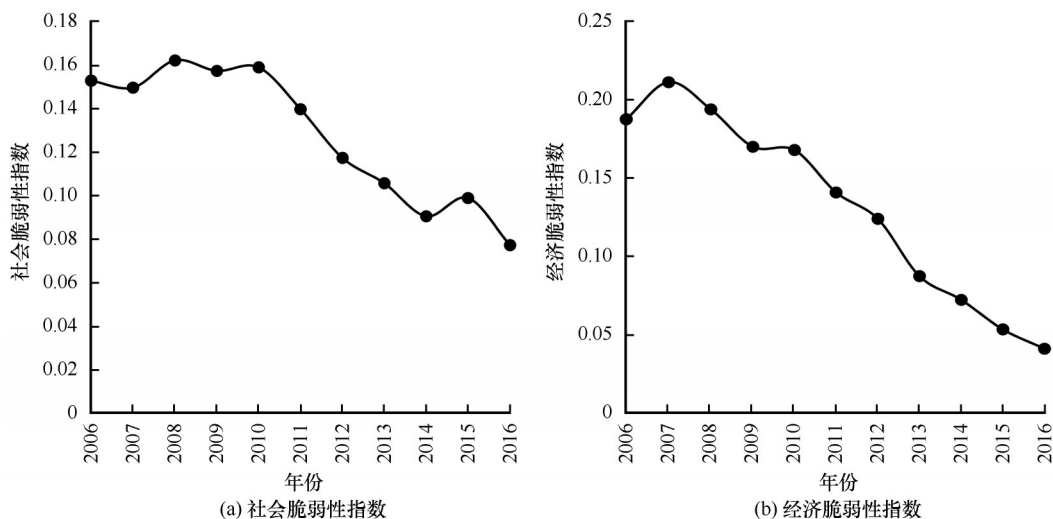


图2 乌鲁木齐市2006—2016年社会和经济脆弱性指数的时序演变曲线

Fig. 2 Temporal evolution curve of social and economic vulnerability index of Urumqi City from 2006 to 2016

2006—2016年,乌鲁木齐市经济脆弱性指数处于下降状态。其中,只有在2006—2007年略有增长(增长0.024),这说明乌鲁木齐市的经济在这一年里受到了较大程度的阻碍,经济系统处于脆弱状态。在之后的时间段里,即2007—2016年,经

济脆弱性指数持续下降,且下降幅度很大,从2007年的0.22下降到2016年的0.04。这说明在该时间段内,城市经济系统敏感性大幅度下降,经济发展水平大幅度提高。乌鲁木齐是中国西部地区重要的经济中心,是中亚重要的进出口贸易集散地;加

之乌鲁木齐作为首府城市,国有集体经济为主,多种所有制经济共同发展的格局已经形成,这得天独厚的地理优势成为了乌鲁木齐城市经济快速发展的优厚条件。近几年来,乌鲁木齐市大力引进高技能人才和高素质人才,调整改善城市产业结构,也助力了城市经济的快速发展。至2016年,乌鲁木齐市已经形成了以第三产业为主的经济结构,人均可支配收入明显提高,乌鲁木齐市开始从小康城市向相对富裕城市迈进。

3.3 综合脆弱性分析

乌鲁木齐市城市脆弱性可按照自然断裂点法分为五个等级,具体分级标准如表1所示。

表1 乌鲁木齐市城市综合脆弱度分级标准
Table 1 Classification criteria for urban comprehensive vulnerability in Urumqi City

综合脆弱性指数	分级	脆弱程度	表征状态
<0.07	一级	低	极好
≥0.07~0.1	二级	较低	良好
≥0.1~0.13	三级	中度	一般
≥0.13~0.16	四级	较高	警戒
≥0.16	五级	高	危机

将乌鲁木齐城市综合脆弱度分级标准与乌鲁木齐市城市综合脆弱性指数时序演变特征曲线(图3)相结合可知,在研究时间段内,城市脆弱性整体上呈现出下降的状态。其中,只有在2006—2007年略有增长,这说明乌鲁木齐市城市系统在这一年中处于脆弱的状态,敏感性最强。在之后的时间段里,即2007—2016年持续下降,且下降幅度很大,从2007年的0.178下降到2016年的0.06,这说明乌鲁木齐市的城市系统发展越来越好。虽然城市脆弱性指数呈现出下降态势,但是城市脆弱度水平

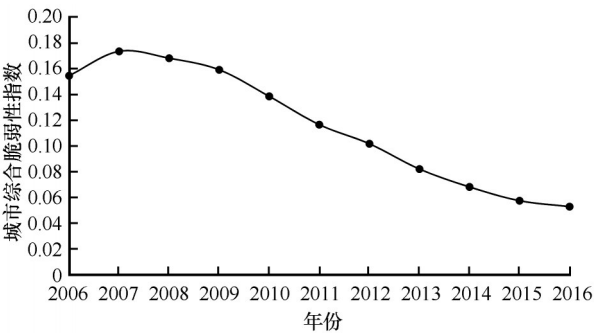


图3 乌鲁木齐市2006—2016年城市综合脆弱性指数的时序演变曲线
Fig. 3 Temporal evolution curve of urban comprehensive vulnerability index of Urumqi City from 2006 to 2016

在每个时间段处于不一样的脆弱程度。2007—2009年,脆弱性指数下降,但是处于较高水平,乌鲁木齐市处于高脆弱性状态;2009—2012年处于中度脆弱性状态;2012—2013年脆弱性指数快速下降,乌鲁木齐市由中度脆弱性状态向较低脆弱性状态转变;2013—2016年转变为低脆弱性状态,乌鲁木齐市城市系统也处于极好状态,这也说明在这段时间里,乌鲁木齐市是以最好的发展模式推进其城市化发展。

本文采用贡献率算法,计算得出了各城市子系统对城市脆弱性的贡献率。由图4可知,2006—2016年资源脆弱性贡献率变化相对平稳,2015—2016年才呈现出增长趋势;生态脆弱性和经济脆弱性的贡献率所占比例明显减少,而社会脆弱性则呈现出增长趋势,自2014年起更加明显。这说明乌鲁木齐市的城市脆弱性主要是由其社会脆弱性导致的。2006年经济脆弱性贡献率所占比例最大,2016年社会脆弱性贡献率所占比例最大,这表明乌鲁木齐市的城市脆弱性由经济主导型脆弱性向社会主导型脆弱性转变。

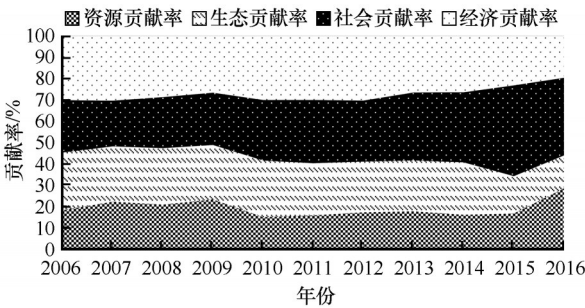


图4 乌鲁木齐市2006—2016年脆弱性各子系统的贡献率

Fig. 4 Contribution of vulnerability subsystems in Urumqi City from 2006 to 2016

4 城市脆弱性的动态演变预测

4.1 预测模型的构建与优选

由于模拟预测的复杂性和现有方法的局限性,不能以所有指标为变量进行模拟预测,只能抓住影响乌鲁木齐市城市脆弱性的几个关键指标来进行预测。因此,本研究综合采用贡献率算法和相关系数分析法,筛选出与脆弱性指数高度相关的人均道路面积、废气排放总量、人均公园绿地面积、城镇登记失业率、城市人口密度和财政教育支出等6个指标,用来进行城市脆弱性模拟预测研究。

为了找出预测精度较高、适用性较强的预测模

型,保证预测结果的准确性和科学性,建立了乌鲁木齐市城市脆弱性指数和6个主要影响指标之间的脆弱性动态演变线性预测模型和非线性预测模型,并通过检验预测方程对其进行优选。其中,判定系数 R^2 和概率 P 值是对线性预测方程的优选标准。

4.1.1 一元线性预测模型(SLR)的构建

由表2可知,测度指标财政教育支出(x_5)和城市脆弱性指数的预测方程的 R^2 值最大(0.954),表明方程 $y = 0.057 + 0.121 x_5$ 有最好的拟合精度,可选

用该方程对URB进行拟合。为实现对预测方程的检验,对拟合值和拟合残差分别进行Spearman相关分析和K-S检验。结果表明,在拟合残差的K-S检验中,渐进显著性水平为0.536,远大于0.05,满足建立模型的前提要求。Spearman相关性分析表明,拟合值与拟合残差相关等级系数为0.100, P 值为0.732,相关关系较弱,表明残差与变量不存在相关关系,因此预测方程 $y = 0.057 + 0.121 x_5$ 可以作为备选方程。

表2 一元线性回归预测方程

Table 2 One-variable linear regression prediction equation

因变量	自变量	拟合方程	R^2	P 值
城市脆弱性指数	人均道路面积(x_1)	$y = 0.054 + 0.100 x_1$	0.677	0.002
	废气排放总量(x_2)	$y = 0.169 - 0.108 x_2$	0.670	0.002
	人均公园绿地面积(x_3)	$y = 0.055 + 0.125 x_3$	0.923	<0.001
	城市人口密度(x_4)	$y = 0.190 - 0.120 x_4$	0.873	<0.001
	财政教育支出(x_5)	$y = 0.057 + 0.121 x_5$	0.954	<0.001
	城镇登记失业率(x_6)	$y = 0.100 + 0.033 x_6$	0.046	0.528

4.1.2 多元线性预测模型(MLR)的构建

建立多元线性模型,并做出评价和预测,其中城市脆弱性指数为因变量,6个主要影响因子为自变量,采用逐步法进行计算,得出最终的拟合方程为

$$y = 0.060 + 0.117 x_5 \quad (2)$$

同样,为实现对预测方程的检验,进一步对拟合值和拟合残差分别进行Spearman相关分析和K-S检验。最终检验结果表明,该预测方程可以作为城市脆弱性动态演变预测的备选方程。

4.1.3 RBF(径向基函数)神经网络预测模型的构建

RBF神经网络作为高效的前馈式神经网络,具有较快的学习速度。鉴于此,本文在MATLAB 2016环境下,以2006—2016年的数据作为学习样本,构建了乌鲁木齐市城市脆弱性指数的RBF神经网络预测模型,数据的训练用newrb函数进行,最后用训练好的网络对2006—2016年的乌鲁木齐市城市脆弱性指数进行拟合。newrb函数格式为

$$\text{net} = \text{newrb}(X, F, 0.001, 1) \quad (3)$$

式中: X 为6个主要影响因子; F 为乌鲁木齐市城市脆弱性指数。

4.1.4 预测模型的对比优选

通过平均值对比分析(表3)可知,多元线性拟合(MLR)的拟合残差平均值与拟合相对误差平均值最小,仅为0.0031和2.94%。而一元线性拟合(SLR)和RBF神经网络拟合的拟合残差平均值和

拟合相对误差平均值均明显高于MLR,其中,RBF网络的拟合精度最差。此外,通过残差对比可知,RBF网络的拟合残差在各个年度(2006年除外)均最大;SLR拟合残差次之。MLR的拟合残差在各年度均最小,尤其是在2007年、2009年和2011年无限接近于0,表现了较高的预测精确度。

除此之外,在2007年有乌鲁木齐市城市脆弱性指数实测值的唯一增高点,可作为模型预测精度的重要检验点。三种预测模型的预测结果表明,在2007年只有多元线性预测模型(MLR)表现出增长态势,且拟合残差为0.0011,拟合精度较高。

基于此,通过对乌鲁木齐市2006—2016年的城市脆弱性指数与三种预测模型的拟合值进行对比,本研究最终选择多元线性预测模型为乌鲁木齐市城市脆弱性演变动态预测模型。

4.2 城市脆弱性的动态演变预测

首先,通过利用预测模型测算出测度指标2016—2021年的预测值;其次,将该值作为输入变量,计算出2016—2021年的城市脆弱性指数预测值,分析乌鲁木齐市城市脆弱性的未来发展趋势,该过程是在MATLAB 2016环境下完成。由图5可知,2016—2021年乌鲁木齐市的城市脆弱性指数整体上呈现出上升趋势。其中,2016—2019年的脆弱性指数快速增长,2019年是起始值的2倍,这说明在这段时间内,乌鲁木齐市城市系统出现重大问题,敏感性

表3 预测模型的对比分析

Table 3 Comparative analysis of the predictive models

年份	SLR 拟合值	SLR 拟合残差	SLR 拟合相 对误差/%	MLR 拟合值	MLR 拟合残差	MLR 拟合相 对误差/%	RBF 拟合值	RBF 拟合残差	RBF 拟合相 对误差/%
2006年	0.1860	0.0158	9.26	0.1735	0.0033	1.93	0.1637	0.0066	3.86
2007年	0.1735	0.0054	3.04	0.1778	0.0011	0.63	0.1614	0.0176	9.82
2008年	0.1644	0.0058	3.44	0.1677	0.0025	1.50	0.1572	0.0130	7.65
2009年	0.1561	0.0067	4.10	0.1629	0.0001	0.04	0.1802	0.0174	10.69
2010年	0.1494	0.0030	2.07	0.1520	0.0057	3.88	0.1589	0.0126	8.61
2011年	0.1240	0.0033	2.60	0.1261	0.0012	0.92	0.1233	0.0040	3.15
2012年	0.1081	0.0052	4.57	0.1061	0.0071	6.30	0.0896	0.0236	20.87
2013年	0.0916	0.0017	1.87	0.0859	0.0040	4.43	0.0725	0.0174	19.32
2014年	0.0796	0.0017	2.21	0.0799	0.0020	2.52	0.0830	0.0051	6.59
2015年	0.0714	0.0024	3.48	0.0730	0.0040	5.79	0.0895	0.0206	29.84
2016年	0.0690	0.0039	5.98	0.0680	0.0029	4.44	0.0916	0.0265	40.65
平均值		0.0050	3.87		0.0031	2.94		0.0149	14.64

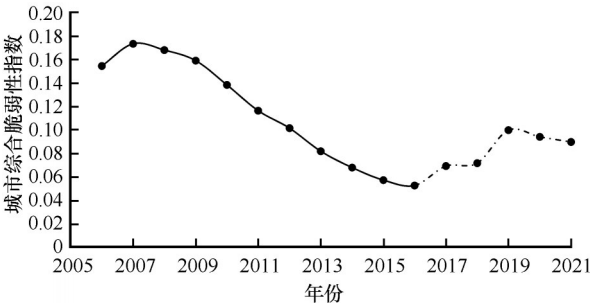


图5 乌鲁木齐市2006—2021年城市脆弱性
动态演变预测结果

Fig. 5 Forecast results of dynamic evolution of urban
vulnerability in Urumqi City from 2006 to 2021

快速增加,城市系统遭到破坏,乌鲁木齐市又退回到较高脆弱性状态。2019年以后,城市脆弱性指数开始下降,城市应对来自外界干扰和破坏的能力逐渐提高,城市系统开始向好的方向发展。

上述结果是在2006—2016年城市脆弱性变化趋势不变的基础上预测出来的,表明如果不采取任何影响城市系统的措施,在原来的发展趋势基础上乌鲁木齐市可能会呈现出上述结果所示的发展趋势。截至2016年,乌鲁木齐市的城市脆弱性是以社会脆弱性为主导,且筛选出的6项脆弱性高相关指标中,有2项指标属于社会脆弱性的评价指标,由此可以得出结论,社会脆弱性可能是导致乌鲁木齐市脆弱性指数自2016年以后反弹增长的主要原因。因此,乌鲁木齐市在以后的城市化发展中,做好资源、生态、经济系统发展的同时,着重关注社会系统的发展,着力推进社会发展模式的改善,加强民生工程,增加社会基础设施建设力度,促进社会的健康可持续发展。

需要说明,本文之所以选择多元线性预测模型,是因为三种模型对比分析后其拟合精度最好。但是,城市是一个复合系统,具有很大的复杂性,因此不会一直表现出线性的特征,预测模型应根据研究对象的特征和研究内容,适当地选择,这也是笔者在以后的研究中需要进一步探索和改善的地方。此外,由于模型的局限性,多元线性预测模型适宜做短期(3~5年)的预测研究,因此本文对乌鲁木齐市的城市脆弱性演变只做了2016—2021年5个年份的模拟预测。

5 结论与建议

(1)乌鲁木齐市的城市脆弱性演变模式虽然呈现出了下降的趋势,但总体上处于中等偏高脆弱性的状态。导致这种演变状态的原因可能是因为乌鲁木齐市的资源开发和利用模式较为落后,经济发展模式较为传统,社会基础设施建设力度仍需进一步加强,目前的交通规划和管理模式需进一步改善。乌鲁木齐市显现出社会主导型脆弱性城市特征,降低社会脆弱性是此时的重中之重,政府可以在优化资源配置的同时,全力开发建设优质的社会环境。

(2)乌鲁木齐城市各子系统中,经济脆弱性和生态脆弱性的贡献率所占比例越来越少,但资源脆弱性的贡献率占比呈现出后期大幅度增加的趋势,导致这种情况的原因可能是乌鲁木齐市的经济仍然存在着通过资源环境的牺牲而得以发展的粗放型的发展模式。所以,政府应该加强对工业污染的控制,优化产业结构,可通过新城区的建设来改善

市区工业集中而产生污染集中的问题,充分发挥地理优势,加大力度推进科技产业和第三产业的发展,并以此创造更高的经济效益。

(3)由预测结果可知,2016—2021年乌鲁木齐市的城市脆弱性可能会提高。截至2016年的城市各子系统贡献率结果表明,社会脆弱性贡献率占比最大,且持续增加,乌鲁木齐市成了社会主导型脆弱性城市。因此,在之后的城市化发展道路中,乌鲁木齐市可以在做好资源、生态和经济系统发展的同时,更加关注社会发展模式的改善,加强民生工程,增加社会基础设施建设力度,促进社会的健康可持续发展。

参考文献(References):

- [1] Bumairiyemu Maimaiti, Ding Jianli, Zibibula Simayi. Association study of the relation between urbanization and urban construction land structure change in Aksu City[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(1): 279-290. [布买日也木·买买提, 丁建丽, 孜比布拉·司马义. 阿克苏市城市化发展与建设用地结构变化之间的关联性研究[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(1): 279-290.]
- [2] Zhao Dan, Li Feng, Wang Rusong. Effects of urban land use change on ecosystem services: a case study of Huaibei City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2343-2349. [赵丹, 李峰, 王如松. 城市土地利用变化对生态系统服务的影响: 以淮北市为例[J]. *生态学报*, 2013, 33(8): 2343-2349.]
- [3] Zhao Rongqin, Huang Xianjin, Peng Buzhuo. Analysis of carbon cycle and carbon balance in Nanjing urban system[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 758-770. [赵荣钦, 黄贤金, 彭补拙. 南京城市系统碳循环与碳平衡分析[J]. *地理学报*, 2012, 67(6): 758-770.]
- [4] Dong Wen, Zhang Xiaolei. Study on Urumqi metropolitan integration and its development trend [J]. *Human Geography*, 2006, 21(4): 44-47. [董雯, 张小雷. 乌鲁木齐都市圈整合及其发展趋势研究[J]. *人文地理*, 2006, 21(4): 44-47.]
- [5] Anwaer Maimaitiming, Dai Rui. Study of the natural disaster vulnerability evaluation in Aksu Prefecture, Xinjiang[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(5): 1301-1307. [安瓦尔·买买提明, 戴锐. 新疆阿克苏地区城市自然灾害脆弱性评价研究[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(5): 1301-1307.]
- [6] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards[J]. *Social Science Quarterly*, 2003, 84(2): 242-261.
- [7] Bohle W C. Bringing social theory to hazards research: conditions and consequences of the mitigation of environmental hazards[J]. *Sociological Perspectives*, 1989, 31: 147-168.
- [8] Dow K. Exploring differences in our common futures: the meaning of vulnerability to global environmental change[J]. *Geoforum*, 1992, 23: 417-436.
- [9] Blaikie P, Cannon T, Davis I, et al. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters[M]. London: Routledge, 1994.
- [10] Yu Xiaohong, Xia Antao, Liu Yingjun. Expression and countermeasures of urban vulnerability[J]. *Journal of Hunan City University*, 2007, 28(3): 96-98. [余小红, 夏安桃, 刘盈军. 城市脆弱性的表现与对策[J]. *湖南城市学院学报*, 2007, 28(3): 96-98.]
- [11] Feng Zhenhuan. Study on the vulnerability and optimization of economic development in western China[D]. Tianjin: Tianjin University, 2003. [冯振环. 西部地区经济发展的脆弱性与优化调控研究[D]. 天津: 天津大学, 2003.]
- [12] Ma Dingguo, Liu Ying, Chen Jie. Farmers' vulnerability to flooding in the Poyang Lake region[J]. *Journal of Geographical Science*, 2007, 62(3): 321-332. [马定国, 刘影, 陈洁. 鄱阳湖区洪灾风险与农户脆弱性分析[J]. *地理学报*, 2007, 62(3): 321-332.]
- [13] Sun Pingjun, Xiu Chunliang. Analysis of coping ability and vulnerability evaluation of economic system in Liaoning mining city[J]. *Resources and Environment in Arid Areas*, 2011, 25(4): 22-27. [孙平军, 修春亮. 辽宁矿业城市经济系统应对能力分析与脆弱性评价[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(4): 22-27.]
- [14] Liu Jisheng, Na Wei, Fang Yangang. Vulnerability of social system in Liaoyuan City and its circumvention measures[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(6): 944-948. [刘继生, 那伟, 房艳刚. 辽源市社会系统的脆弱性及其规避措施[J]. *经济地理*, 2010, 30(6): 944-948.]
- [15] Hasbagan, Li Tongyi, Ling Baoquan. Study on the vulnerability of human-land system and its development model in ecological region[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(4): 149-154. [哈斯巴根, 李同异, 伶宝全. 生态地区人地系统脆弱性及其发展模式研究[J]. *经济地理*, 2013, 33(4): 149-154.]
- [16] Padowski J C, Jawitz J W. Water availability and vulnerability of 225 large cities in the United States[J]. *Water Resources Research*, 2012, 48(12): 299-312.
- [17] Whelan C T, Maitre B. Economic vulnerability, multidimensional deprivation and social cohesion in an enlarged European Community[J]. *International Journal of Comparative Sociology*, 2005, 46(3): 215-239.
- [18] Guillaumont P. Economic vulnerability, persistent challenge to African development[J]. *African Development Review*, 2007, 19(1): 123-162.
- [19] Rocha K, Moreira A. The role of domestic fundamentals on the economic vulnerability of emerging markets[J]. *Emerging Markets Review*, 2010(11): 173-182.
- [20] Farhan A R, Lim S. Vulnerability assessment of ecological conditions in Seribu Island, Indonesia[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2012, 65(9): 1-14.
- [21] Adger W N, Kelly P M. Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4(3): 253-266.
- [22] Su Fei, Zhang Pingyu, Li He. Vulnerability assessment of urban economic system in China coal mine[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 907-916. [苏飞, 张平宇, 李鹤. 中国煤矿城市经济系统脆弱性评价[J]. *地理研究*, 2008, 27(4): 907-916.]
- [23] Su Fei, Chen Yuan, Zhang Pingyu. Evaluation of economic system vulnerability of tourism cities based on set-to-analysis: a case study of Zhoushan City[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(5): 538-544. [苏飞, 陈媛, 张平宇. 基于集对分析的旅游城市经济系统脆弱性评价: 以舟山市为例[J]. *地理科学*, 2013, 33(5): 538-544.]
- [24] Li Bo, Han Zenglin. A study on the regional vulnerability of the relationship between man and land in coastal cities: a case study of Dalian City[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(10): 1722-1728. [李博, 韩增林. 沿海城市人地关系地域系统脆弱性研究: 以大连市为例[J]. *经济地理*, 2010, 30(10):

- 1722-1728.]
- [25] Gao Chao, Jin Fengjun, Lei Jun. Study on vulnerability assessment of urban economic system in arid oasis[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(8): 43-49. [高超, 金凤君, 雷军. 干旱区绿洲城市经济系统脆弱性评价研究[J]. *经济地理*, 2012, 32(8): 43-49.]
- [26] Yu Yingying. Urban vulnerability assessment system[J]. *Journal of Peking University of Information Technology (Natural Science Edition)*, 2011, 26(1): 57-61. [于瑛英. 城市脆弱性评估体系[J]. *北京信息科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 26(1): 57-61.]
- [27] Li Tongyue. Spatial vulnerability study of urban vulnerability based on “exposure sensitivity adaptation”: taking Lanzhou as an example[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(3): 86-95. [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[J]. *经济地理*, 2017, 37(3): 86-95.]
- [28] Luo Pan, Yang Xu, Wan Luhe, et al. Study of coordination of population urbanization with land urbanization in Harbin, a cold northern city[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(5): 1150-1156. [罗盼, 杨旭, 万鲁河, 等. 北方寒冷地区城市哈尔滨人口城市化与土地城市化协调关系研究[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(5): 1150-1156.]
- [29] Bumairiyemu Maimaiti, Ding Jianli, Zibibula Simayi, et al. Characteristics of urban spatial expansion and its driving factors in Korla City[J]. *Journal of the Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(2): 443-452. [布买日也木·买买提, 丁建丽, 孜比布拉·司马义, 等. 库尔勒市城市空间扩展特征及其驱动因素研究[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(2): 443-452.]
- [30] Alimujiang Kasimu, Tang Bing, Gulikezi Tulake. Analysis of the spatial-temporal dynamic changes of urban expansion in oasis of Xinjiang based on RS and GIS[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(4): 1056-1064. [阿里木江·卡斯木, 唐兵, 古丽克孜·吐拉克. 基于遥感和GIS的新疆绿洲城市空间扩展时空动态变化分析[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(4): 1056-1064.]
- [31] Qi Cuishan, He Yuanqing, Wang Shijin, et al. The classification and comprehensive assessment of the geological relics resources in Mt. Yulong National Geopark[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(1): 186-196. [齐翠珊, 何元庆, 王世金, 等. 玉龙雪山国家地质公园地质遗迹资源类型划分及其综合评价[J]. *冰川冻土*, 2018, 40(1): 186-196.]
- [32] Yierfanjiang Aihemaitijiang. Comprehensive measurement and prediction of urban vulnerability in Urumqi[D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2019. [伊尔凡江·艾合买提江. 乌鲁木齐市城市脆弱性的综合测度与预测分析[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2019.]

Dynamic evolution and simulation prediction of urban vulnerability: take Urumqi City as an example

Yierfanjiang Aihemaitijiang¹, Alimujiang Kasimu^{1,2}, Anwaer Maimaitiming³

(1. School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Silk Road Economic

Belt Urban Development Research Center, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

3. Xinjiang Institute of Education, Urumqi 830043, China)

Abstract: At present, there is a lack of comprehensive research on urban vulnerability of western cities in China. Taking Urumqi as an example, according to 50 specific evaluation indexes from 2006 to 2016, this paper makes a comprehensive evaluation and dynamic evolution prediction of its vulnerability from four aspects: resources, ecology, economy and society. The results showed that the urban comprehensive vulnerability index of Urumqi City from 2006 to 2016 was in a state of decline. Ecological vulnerability and economic vulnerability show a decreasing trend in varying degrees, and the overall vulnerability of resources is relatively stable, but the social vulnerability gradually increases, especially during 2014—2016 the growth trend is more obvious. The main influencing factors of urban vulnerability are extracted by using the contribution rate calculation method and the correlation coefficient analysis method, then the prediction model is constructed and the model with the highest precision is selected for prediction. The results show that the urban vulnerability of Urumqi City will fluctuate slightly and increase during 2016—2019, and then decrease after 2019. Finally, the paper puts forward the problems to be improved in future development of Urumqi City. This study can provide a reference for the study of urban vulnerability in other central and western cities in China, and also provide scientific basis for urban vulnerability control and decision-making in Urumqi City.

Key words: city; vulnerability index; prediction; neural network; Urumqi City

(责任编辑: 周成林; 编辑: 武俊杰)