

气候变化对国家脆弱性影响的计量分析 ——以苏丹为例

徐惠, 胡颖

(安徽财经大学, 安徽 蚌埠 233030)

摘 要: 考虑气候因素, 选取影响国家脆弱性的指标建立适当的指标体系, 基于模糊综合评价模型和典型相关分析方法, 以苏丹为例度量气候因素对国家脆弱性的直接和间接影响。结果显示: 气候变化能够通过直接和间接的方式影响苏丹的国家脆弱性, 使其脆弱程度增加。通过 ARIMA 时间序列模型对碳排放量、温度、降水量等气候因素进行预测发现, 气候的恶化可能导致苏丹 2021 年的脆弱程度进一步增加。

关键词: 脆弱性; 模糊综合评价; 典型相关分析; 时间序列

中图分类号: F49

文献标识码: A

文章编号: 2095-7327(2019)-07-0056-06

DOI: 10.15948/j.cnki.37-1500/s.2019.07.011

Quantitative Analysis of the Impact of Climate Change on National Vulnerability ——Take Sudan for example

XU Hui, HU Ying

(Anhui University of Finance and Economics, Bengbu Anhui 233030)

Abstract: Considering the climate factors, we select the indicators affecting national vulnerability to establish an appropriate index system. Based on the fuzzy comprehensive evaluation model and canonical correlation analysis method, we take Sudan as an example to measure the direct and indirect impacts of climate factors on national vulnerability. The results show that climate change can directly and indirectly affect Sudan's national vulnerability and increase its vulnerability. The ARIMA time series model is used to predict climate factors such as carbon emissions, temperature and precipitation. It is found that the deterioration of climate may further increase the vulnerability of Sudan in 2021.

Key words: vulnerability; fuzzy comprehensive evaluation; canonical correlation analysis; time series

气候变化对世界带来的一系列影响越来越不容忽视, 包括冰川消融、海平面上升、极端气候、粮食减产甚至物种灭绝等。在对气候变化研究的趋势演变背景下, 自 20 世纪 90 年代起, 脆弱性概念开始引入气候变化影响研究领域。脆弱性概念暴露于风险中的对象是一个多维度复杂系统, 涉及自然、

经济、社会、环境等要素。国内外学者相继在国家 and 区域尺度上, 开展了气候变化对人类社会各方面的脆弱性评价, 并且结合未来经济以及人口发展情景做出相应预测。

在气候变化对国家造成影响的问题研究上, Peter Schwartz、Doug Randall 认为气候的突然变化

作者简介: 徐惠(1970-), 女, 安徽灵璧人, 安徽财经大学统计与应用数学学院副教授, 硕士, 研究方向: 应用数学。
基金项目: 国家自然科学基金项目“3-流猜想, Fulkerson-覆盖及相关问题”(项目编号: 11601001)

将使地理政治环境失去稳定性,并对气候变化给美国国家安全带来的影响进行了预测^[1]。A. I. Kulikov 认为生态系统对气候变暖的反应是干旱和荒漠化,并且贝加尔湖地区生态系统对这种变化的反应速度最快^[2]。在对脆弱性问题的研究上,刘叶、贺培从国家的角度,使用因子分析法对金砖 5 国的脆弱性进行了比较^[3]。任崇强、孙东琪等对中国省域经济进行脆弱性的综合评价,拓展了脆弱性研究的新视角^[4]。毛亚会、余丹林等则针对城市脆弱性的概念,提出城市脆弱性研究要针对不同研究对象特征进行指标选取和选择评价方法^[5]。综上所述,学者通常对气候变化如何影响地理环境、生态系统等进行分析,脆弱性研究的重点集中在不同区域范围的脆弱性评价体系的建立。而气候对脆弱性的影响如何进行评价与测度,以及对脆弱性发生改变的预测等方面的研究仍在少数。基于此,本文选取凝聚力、经济、政治、社会、气候变化五个指标,建立模糊综合评价模型,结合典型相关分析法和时间序列模型,以苏丹为例来度量气候对国家脆弱性直接和间接的影响,并对其脆弱性的改变作出理论预测。

1 数据来源和假设

本文数据来源于 2018 年美国大学生数学建模竞赛和世界银行网站。为便于解决问题,本文的研究过程和结论均建立在以下假设成立的基础上:第一,一个国家的气候指标可以由年平均温度、平均降水量、年二氧化碳排放量来完全表示,忽略其他因素对气候的影响;第二,影响国家脆弱度的指标的选取都是合理的,即凝聚力、经济、政治、社会、气候变化可以全面反映一个国家的脆弱度;第三,建立模型的过程中定义的评语等级之间是等距的;第四,本文根据各个指标评分所划分出的 5 个脆弱度等级是合理的;第五,所有数据来源均真实可靠。

2 基于模糊综合评价模型对气候影响苏丹脆弱性的测度

2.1 研究思路

为了刻画一个国家的脆弱程度,度量气候因素以直接和间接的方式对一个国家的脆弱性的影响,本文建立了基于层次分析的模糊综合评价模型。其中气候因素作为指标体系中的一级指标之一,用以度量气候对国家脆弱性的直接影响。另外,通过对气候因素和其他影响国家脆弱度的 12 个二级指标进行典型相关分析,来度量气候对国家脆弱性的间

接影响。

2.2 研究方法

2.2.1 模糊综合评价模型

通过查阅相关文献,本文选取以下指标对苏丹的国家脆弱性进行综合评价,指标的分层结构如图 1 所示。

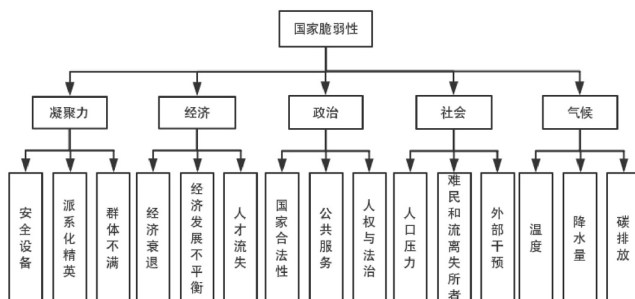


图 1 指标体系图

采用基于层次分析法的模糊综合评价模型,对苏丹的国家脆弱性评价步骤如下。

首先确定因素集,将一级指标设为 $A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\}$, 其中 A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 , 分别代表凝聚、经济、政治、社会及气候变化;二级指标设为 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}\}$, 分别代表每个一级指标下的三个影响因素,其中 $i=1, 2, 3, 4, 5$ 。其次确定评语集 $B = \{B_1, B_2, B_3, B_4, B_5\}$, 其中 B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 分别表示非常脆弱,脆弱,相对稳定,稳定,非常稳定。接着确定各指标 A_i 隶属于 B 中评语的隶属度 r_{ij} (其中 $i=1, 2, 3, 4, 5; j=1, 2, 3, 4, 5$), 得到评判矩阵 R_i 。最后,为了克服完全依靠主观分析判断来确定指标权重的片面性,本文采取了层次分析法来计算各层次指标权重,将指标两两比较得到判断矩阵,用 W 来表示 A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 五个指标的权重向量, W_i 表示各准则 $A_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 中各指标的权重向量,即 $W = (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)$, $W_i = (w_{i1}, w_{i2}, w_{i3})$, 其中 $i=1, 2, 3$ 。

表 1 “1-9”标度法

标度	含义
1	表示两个元素相比,具有同样重要性
3	表示两个元素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若元素 i 与 j 的重要性之比为 a_{ij} 那么元素 j 与元素 i 重要性之比为 a_{ji}/a_{ij}

在计算各个指标的权重时,本文借鉴普遍使用的“1-9”标度法,计算结果如表 2 到表 6。

表 2 凝聚力指标权重计算结果

	安全设备	派系化精英	群体不满	权重
安全设备	1	1/3	1/5	0.6370
派系化精英	3	1	1/3	0.2583
群体不满	5	3	1	0.1047

表 3 经济指标权重计算结果

	经济衰退	经济发展不平衡	人才流失	权重
经济衰退	1	1/3	1/7	0.6153
经济发展不平衡	3	1	1/2	0.2922
人才流失	7	2	1	0.0925

表 4 政治指标权重计算结果

	国家合法性	公共服务	人权与法治	权重
国家合法性	1	1/2	1/3	0.4434
公共服务	2	1	1	0.3874
人权与法治	3	1	1	0.1692

表 5 社会指标权重计算结果

	人口压力	难民	外部干预	权重
人口压力	1	1/3	1/8	0.6282
难民	3	1	1/2	0.2854
外部干预	8	2	1	0.0864

表 6 气候指标权重计算结果

	温度	降水	碳排放	权重
温度	1	1	3	0.2211
降水	1	1	1	0.3189
碳排放	1/3	1	1	0.4600

通过计算得到凝聚指标、经济指标、政治指标、社会指标、气候指标中影响因素的权重,求出最大特征值分别为 3.0385、3.0026、3.0183、3.0092、3.1056;一致性比例分别为 0.0331、0.0022、0.0158、0.0079、0.0910。从以上数据可以看出,1-9 标度法计算结果通过了一致性检验,说明了权重的计算结果是有效的。将结果统一进行归一化处理,得到最后的评价指标权重向量 $W=(0.1998,0.1975,0.1985,$

$0.1979,0.2062)$, 则评语集 $B=W.R=(b_1,b_2,b_3,b_4,b_5)$ 。对 B 进行归一化处理,根据最大隶属度原则,得到最终的评价结果。

2.2.2 典型相关分析

为了说明气候变化还可以通过影响凝聚力指标、政治指标、经济指标、社会指标来间接影响一个国家的脆弱性,本文对气候指标和上述一系列指标之间做了典型相关分析。

将影响气候指标的 3 个因素作为第一组变量,记作 (X_1,X_2,X_3) ,将影响凝聚指标、政治指标、经济指标、社会指标的 12 个因素作为第二组变量,记作 $(Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5,Y_6,Y_7,Y_8,Y_9,Y_{10},Y_{11},Y_{12})$ 。考虑 (X_1,X_2,X_3) 的一个线性组合 U 以及 $(Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5,Y_6,Y_7,Y_8,Y_9,Y_{10},Y_{11},Y_{12})$ 的一个线性组合 V ,寻找 U 和 V 之间尽可能大的相关系数,以充分反映两组变量间的关系。设

$$X=(X_1,X_2,X_3)^T, Y=(Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5,Y_6,Y_7,Y_8,Y_9,Y_{10},Y_{11},Y_{12})^T$$

将两组合成一组向量

$$(X^T,Y^T)=(X_1,X_2,X_3,Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,Y_5,Y_6,Y_7,Y_8,Y_9,Y_{10},Y_{11},Y_{12})^T$$

其协方差矩阵为

$$\Sigma=\begin{pmatrix} \Sigma 11 & \Sigma 12 \\ \Sigma 21 & \Sigma 22 \end{pmatrix}$$

其中 $\Sigma 11=\text{Cov}(X,X)$, $\Sigma 22=\text{Cov}(Y,Y)$, $\Sigma 12=\Sigma 21^T=\text{Cov}(X,Y)$ 则线性组合

$$U_1=a_1^T X=a_{11}X_1+a_{12}X_2+a_{13}X_3$$

$$V_1=b_1^T Y=b_{11}Y_1+b_{12}Y_2+b_{13}Y_3+\cdots+b_{112}Y_{12}$$

可使相关系数 $\rho(U_1,V_1)$ 达到最大,这里 $a_1^T=(a_{11},a_{12},a_{13})$, $b_1^T=(b_{11},b_{12},b_{13},\cdots,b_{112})$ 。由协方差矩阵, $\text{Var}(U_1)=a_1^T \Sigma 11 a_1$, $\text{Var}(V_1)=b_1^T \Sigma 22 b_1$, $\text{Cov}(U_1,V_1)=a_1^T \Sigma 12 b_1$, 所以的相关系数为

$$\rho_{U_1V_1}=\frac{a_1^T \Sigma 12 b_1}{\sqrt{a_1^T \Sigma 11 a_1} \sqrt{b_1^T \Sigma 22 b_1}}$$

由于相关系数与温度、降雨量、碳排放量等指标的量纲无关,因此可设约束条件 $a_1^T \Sigma 11 a_1=b_1^T \Sigma 22 b_1=1$ 。则满足此约束条件的相关系数 $\rho(U_1,V_1)$ 的最大值就是第一典型相关系数, U_1,V_1 为第一对典型变量。

如果 U_1,V_1 不足以反映 X,Y 之间的相关性,

可以构造第二对线性组合:

$$U_2 = a_2^T X = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3$$

$$V_2 = b_2^T Y = b_{21}Y_1 + b_{22}Y_2 + b_{23}Y_3 + \cdots + b_{212}Y_{12}$$

使得 (U_1, V_1) 与 (U_2, V_2) 不相关, 即

$$\text{Cov}(U_1, U_2) = \text{Cov}(U_1, V_2) = \text{Cov}(U_2, V_1) = \text{Cov}(V_1, V_2) = 0$$

在约束条件 $\text{Var}(U_1) = \text{Var}(V_1) = \text{Var}(U_2) = \text{Var}(V_2)$ 下, 求出 a_2, b_2 使得 $\rho_{U_1V_1} = a_2^T \Sigma 12 b_2$ 取得最大值, 此时 $\rho_{U_2V_2}$ 为第二典型相关系数, U_2, V_2 为第二对典型相关变量。

类似地, 若前 $k-1$ 对典型相关变量还不足以反映 X, Y 之间的相关性, 则构造第 k 对线性组合:

$$U_k = a_k^T X = a_{k1}X_1 + a_{k2}X_2 + a_{k3}X_3$$

$$V_k = b_k^T Y = b_{k1}Y_1 + b_{k2}Y_2 + b_{k3}Y_3 + \cdots + b_{k12}Y_{12}$$

在约束条件

$$\begin{aligned} \text{Var}(U_k) &= \text{Var}(V_k) = 1 \\ \text{Cov}(U_k, U_j) &= \text{Cov}(U_k, V_j) = \text{Cov}(U_j, V_k) = \text{Cov}(V_j, V_k) = 0 \quad (1 \leq j < k) \end{aligned}$$

下, 求出 a_k, b_k , 使得 $\rho_{U_kV_k} = a_k^T \Sigma 12 b_k$ 取得最大值, 此时 $\rho_{U_kV_k}$ 为第 k 个典型相关系数, U_k, V_k 为第 k 对典型相关变量。

按照这种方法, 借助相关程序运算, 直到找出能够充分反映两组指标之间关系的典型相关系数和典型相关变量。两组指标存在相关性表明气候可以通过影响其他因素进而影响一个国家的脆弱性。

2.3 结果分析

运用所建立的模糊综合评价模型对苏丹的国家脆弱程度做出评价。下图给出了苏丹 55 年来的碳排放量及 25 年来的温度和降水变化情况。

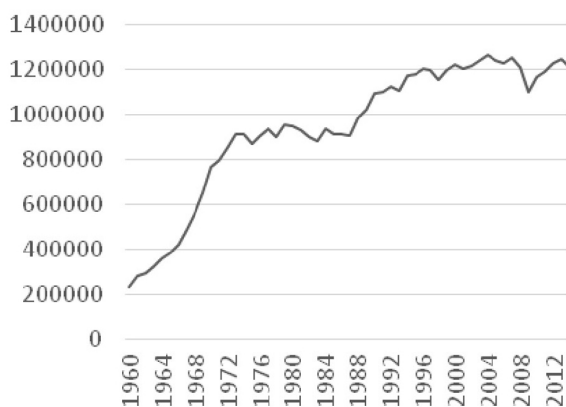


图2 碳排放量变化折线图(单位:十吨)

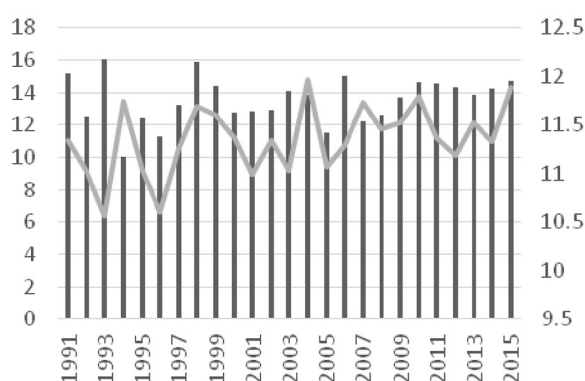


图3 温度、降水量变化图(单位:摄氏度、毫米)

将气候指标所需数据与其他 12 个影响因素的评分代入模型, 求出其模糊评判矩阵

$$R_a = \begin{pmatrix} 9.87 & 9.73 & 9.60 & 9.47 & 9.29 \\ 8.06 & 8.18 & 8.41 & 8.42 & 8.22 \\ 9.24 & 9.23 & 9.29 & 9.44 & 9.41 \\ 9.25 & 9.00 & 9.17 & 9.36 & 9.48 \\ 2.75 & 2.67 & 3.03 & 3.28 & 3.48 \end{pmatrix}$$

对矩阵 R_a 进行合成运算可得 $B_a = W \cdot R_a = (7.79, 7.96, 7.72, 7.86, 7.94)$ 。经过归一化处理, 依据最大隶属度原则, 取数值最大的评语作为综合评价结果, 则评价结果为 B_2 , 即苏丹目前的脆弱程度为“脆弱”。

为衡量气候因素对苏丹脆弱性的影响情况, 将气候指标剔除后, 用剩余 4 个指标的 12 个影响因素重新对模糊综合评价模型求解, 得到其模糊评判矩阵

$$R_b = \begin{pmatrix} 9.87 & 9.73 & 9.60 & 9.47 & 9.29 \\ 8.06 & 8.18 & 8.41 & 8.42 & 8.22 \\ 9.24 & 9.23 & 9.29 & 9.44 & 9.41 \\ 9.25 & 9.00 & 9.17 & 9.36 & 9.48 \end{pmatrix}$$

对矩阵 R_b 进行合成运算可得 $B_b = W \cdot R_b = (7.23, 7.17, 7.28, 7.24, 7.22)$ 。再对 B_b 进行归一化处理, 同理可得评价结果为 B_3 , 即若不考虑气候因素的影响, 苏丹的国家脆弱程度为“相对稳定”。由结果可知, 气候变化的直接影响能够使得苏丹的国家脆弱性从“相对稳定”变为“脆弱”的等级。

另外, 经对两组变量 (X_1, X_2, X_3) 和 $(Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9, Y_{10}, Y_{11}, Y_{12})$ 进行典型相关分析, 得到第一对典型变量的相关系数 $\rho_{U_1V_1} = 0.6931$, 可以认为气候指标与其他影响苏丹脆弱性的指标之间存在一定的相关性, 即气候因素可以通过影响其他因

素进而间接影响国家的脆弱程度。

3 基于 ARIMA 时间序列模型对苏丹脆弱性的预测

3.1 研究思路

本文在已经说明气候能够对国家脆弱度产生直接和间接影响的基础上,以 1991–2017 年苏丹的温度、降水量、碳排放量数据为基础,运用 ARIMA 时间序列模型对之后几年气候的变化进行 4 到 5 步的预测,得出截至 2021 年每年的气候数据,将数据重新用于模糊综合评价模型的求解,得出苏丹 2019 年的国家脆弱程度评价结果。

3.2 研究方法

ARIMA 时间序列模型为精度较高的小时间尺度的有效预测模型。该模型可以较好的处理变量随着时间尺度变化且变量具有相关性的时间序列。由于时间序列预测模型所需数据是平稳的序列数据,因此需将原始气候数据进行平稳化。通过计算每组数据的自相关函数和偏相关函数,对气候数据的原始样本序列进行 d 差分运算,将原来的非平稳序列 X_t 转化为平稳序列 $\nabla^d X_t$,假设 p, q 已知,取差分阶数 $d=1$,则 ARIMA 时间序列模型可用数学形式表示为:

$$\varphi(B)\nabla^d X_t = \theta(B)\varepsilon_t$$

其中, φ 表示 AR 的系数, θ 表示 MA 的系数, X_t 表示非平稳时间序列数据, ε_t 表示预测误差。

通过 AIC 最小的定阶准则,对气候指标下的三个影响因素分别建立合适的时间序列模型,即能够对气候的变化做出理论预测。

对碳排放量数据建立 ARIMA(0,1,2)模型进行五步预测;对降水量数据建立 ARIMA(0,1,1)模型、温度数据建立 ARIMA(1,1,1)模型进行四步预测。使用 MATLAB 软件计算出各模型具体形式如下。

碳排放量预测模型为:

$$(1-B)X_t = (1-0.0895B+0.3518B^2)\varepsilon_t$$

降水量预测模型为:

$$(1-B)X_t = (1-1.0000B)\varepsilon_t$$

温度预测模型为:

$$(1+0.4017B)(1-B)X_t = (1-1.0000B)\varepsilon_t$$

通过 MATLAB 软件求解,得到对气候数据的四到五步预测结果见表 7。

表 7 气候数据预测结果

年份	2017	2018	2019	2020	2021
碳排放量/千吨	15829.83	16134.9	16394.41	16653.65	16912.99
降水量/毫米	-	35.4186	35.3006	35.1825	35.0645
温度/摄氏度	-	28.1490	28.1108	28.1224	28.1541

3.3 结果分析

从时间序列模型的预测结果来看,苏丹 2017–2021 年的碳排放量呈递增趋势;2018–2021 年降水量呈递减趋势,而温度没有表现出明显的单调性。预测结果表明苏丹的气候在未来几年可能出现恶化,因此本文将预测所得数据重新用于评价苏丹的国家脆弱性,探究气候的恶化将如何影响苏丹未来的脆弱程度。

将预测所得的气候因素数据再次运用到模糊综合评价模型,求出其模糊评判矩阵

$$R_c = \begin{pmatrix} 9.85 & 9.67 & 9.84 & 9.71 & 9.78 \\ 8.02 & 7.94 & 7.70 & 7.35 & 7.83 \\ 9.80 & 9.68 & 9.67 & 9.30 & 9.10 \\ 9.25 & 9.30 & 9.15 & 8.90 & 8.92 \\ 2.31 & 2.82 & 3.13 & 2.89 & 2.09 \end{pmatrix}$$

和 $B_c = W \cdot R_c = (7.86, 7.80, 7.84, 7.60, 7.50)$ 。同理依据最大隶属度原则,其评价结果为 B_t ,即此时苏丹的脆弱程度为“非常脆弱”。

对比气候预测前的模型评价结果,可以看出由于气候变化的影响,例如碳排放量增多,温度升高和降水过多或过少等因素,使得苏丹的脆弱性在 2021 年转变为非常脆弱。

4 结语

本文以苏丹为例,通过构建影响国家脆弱性的指标体系,基于模糊综合评价模型、典型相关分析法、ARIMA 时间序列模型来度量气候变化对国家脆弱性的影响,得到结论:第一,若不考虑气候因素的影响,当前苏丹的脆弱程度为“相对稳定”,而将气候因素考虑后,苏丹的脆弱程度为“脆弱”。第二,气候的恶化将加剧国家脆弱性,可能导致苏丹的脆弱程度在 2021 年由“脆弱”变为“非常脆弱”。因此,气候因素不仅会对生态环境造成巨大损害,而且能够通过直接和间接的方式影响国家的脆弱程度,为国家安全、社会稳定造成了一定的威胁。

本文建立的多层次的模糊综合评价法能够把定性方法与定量方法有机结合,很好的处理国家脆弱性这一模糊的评价对象,做出比较科学、合理、贴近实际的量化评价。但由于影响国家脆弱性的指标和因素繁多,现有指标体系无法保证将所有的影响因素全面考虑。另外本文仅以苏丹为例进行实证分析,因此模型在不同国家和地区的运行能力还有待检验。

参考文献:

- [1] Schwartz P, Randall D. An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security[M]. October, 2003.
- [2] A. I. Kulikov, L. L. Ubugunov, A. Ts. Mangataev. Global climate change and its impact on ecosystems [J]. Arid Ecosystems, 2014, Vol.4 (3).
- [3] 刘叶,贺培.金砖国家金融脆弱性的跨国比较研究——基于因子分析方法[J].经济经纬,2016,33(04):62-67.
- [4] 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[J].经济地理,2019,39(01):37-46.
- [5] 毛亚会,余丹林,郑江华,常琳琳,王慧玲.城市脆弱性评价研究进展[J].环境科学与技术,2017,40(12):97-103.
- [6] 李丹,朱家明,徐亮,李薇.基于判别分析探析气候变化对国家脆弱性的影响[J].齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2019,35(01):85-89
- [7] 王艳慧,路荣武,方泳.气候变化对国家脆弱性的影响[J].数学建模及其应用,2018,7(04):56-63.
- [8] 张紫东,张雷.气候变化影响区域不稳定性的优化研究[J].科技与创新,2018(20):104-105.
- [9] 郑章琴.国家脆弱性度量及干预政策影响分析[J].经贸实践,2018(17):233.
- [10] 于保慧.时间序列模型在辽西降水量动态预测的应用[J].东北水利水电,2019,37(03):42-44+54+71.
- [11] 程敏,张耀文,姜纪沂,任杰,赵振宏.基于时间序列模型的降雨量预测分析[J].水科学与工程技术,2019(01):1-5.
- [12] 李红星,郝国松,李娜.大厂县污染物浓度与气象要素相关性研究[J].节能与环保,2019(02):86-88.
- [13] 杜亚冰,郭卫宁,田巍,杜佳慧.层次分析法探讨气候变化对一个国家脆弱性的影响 [J/OL]. 河南城建学院学报, 2019 (01):86-92 [2019-03-28].<https://doi.org/10.14140/j.cnki.hncjxb.2019.01.016>.
- [14] 江燕,朱家明,杨丽君,温渴星.基于多元线性回归对气候变化影响国家脆弱性的研究 [J]. 商丘师范学院学报, 2019,35(03):1-7.]
- [15] 吴自豪,朱家明,汪伟舵,熊姿.气候变化对国家脆弱性影响的测度[J].齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2018,34(04):88-94.

编辑:林军