

The Impact of Climate Change on Regional Vulnerability*

Wenfeng Kong, Yajun Wang

College of Science, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi
Email: 1292035574@qq.com, 2951505300@qq.com

Received: Jul. 7th, 2018; accepted: Jul. 23rd, 2018; published: Jul. 30th, 2018

Abstract

The global climate is deteriorating. Climate change indirectly affects a country's fragility by influencing national cohesion, economy, politics and society. Firstly, we divide countries into three levels: fragile, vulnerable, and stable, by cluster analysis. And then, we introduce the concept of FSI (fragile states index), which includes four first level indexes: cohesion, economic, political and social indicators. Under each first level index, we select 3 secondary indexes additionally. We determine the weight of climate change impacts on individual indicators in combination with the actual and subjective factors, and finally determine the linear model of climate change impacts on the country's fragility. Secondly, Sudan was chosen from the top 10 most fragile states as the research goal. We introduce the concept of CCI (climate change influence). We calculate that the index of climate change impact on the fragility of Sudan in 2009 is 4.395%. Without climate impact, using linear models to calculate, country's fragility would be reduced by 1.713. Thirdly, we describe the change of FSI with time by curve fitting. And the prediction model is established, and the trend of FSI in India with time is obtained. 2014 was India's tipping point from vulnerability to frailty, according to the criteria set in the model. At last, we have improved the model by considering that state driven interventions on climate change can reduce the impact of climate change on fragility of that country, changing the constant coefficient into a variable, using CCPI to measure the intensity of interventions. Therefore, CCPI is used to calculate the different FSI after the intervention in each country.

Keywords

Fragile States Index, Climate Change Influence, Cluster Analysis

气候变化对地区脆弱性的影响*

孔文凤, 王亚俊

西北农林科技大学理学院, 陕西 杨凌
Email: 1292035574@qq.com, 2951505300@qq.com

*该文章为 2018 年美国大学生数学建模竞赛参赛论文改编。

收稿日期: 2018年7月7日; 录用日期: 2018年7月23日; 发布日期: 2018年7月30日

摘要

全球气候正在恶化, 气候变化通过影响国家的凝聚力、经济、政治、社会间接影响着国家的脆弱性。首先, 先通过聚类分析将国家划分为脆弱、易脆弱、稳定三个等级, 然后引入FSI (fragile states index) 的概念, 通过逐步分析气候变化对凝聚指标、经济指标、政治指标、社会指标的影响, 结合实际和主观判断确定气候变化对各个指标影响的权重, 最后确定了气候变化对国家脆弱性影响的线性模型。然后, 从十大脆弱国家中选择苏丹为研究目标。引入CCI (climate change influence) 的概念, 计算得到2009年气候变化对苏丹国家脆弱性的影响指数为4.395%。如果没有气候影响, 利用线性模型计算, 国家脆弱性会降低1.713。其次, 使用曲线拟合描述FSI随时间的变化, 建立预测模型, 得出印度FSI随时间变化趋势。根据模型中设定的划分标准, 2014年是印度从易脆弱变成脆弱的临界点。最后, 对以上模型进行了改进, 考虑干预措施对气候变化的影响, 进而减小对国家脆弱性的影响, 用CCPI衡量干预强度, 干预越大影响越大。因此, 在各国干预后, 采用CCPI计算不同的FSI。

关键词

脆弱指数, 气候变化影响, 聚类分析

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 背景

历年来, 气候变化一直是影响人类生存与社会发展的重要因素, 然而气候变化的影响, 包括干旱加剧、冰川萎缩、动植物范围变化和海平面上升, 已经在实现, 并因地区而异。2007年发布的政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告表明, “自20世纪70年代以来, 干旱的发生范围更广、持续时间更长、程度更严重, 特别是热带、亚热带地区。” “过去50年里, 极端高温、低温发生了大范围的变化。恶劣天气不仅会影响农业生产, 还会引起人才外流, 被迫迁徙, 进而导致天气恶劣的国家人才缺乏, 劳动力不足, 进一步影响了国家政治经济的发展。” [1]。除此之外, 气候变化还会造成能源匮乏、海平面上升、局部地区社会动荡等问题, 这些影响中的许多会改变人类的生活方式, 并有可能导致社会和政府结构的弱化和崩溃。

脆弱国家是指国家政府不能或选择不向人民提供基本必需品的国家, 而作为一个脆弱的国家, 人民则更容易受到自然灾害, 气温上升等气候冲击的影响。脆弱国家概念的结构性维度与广义的国家概念相对应, 主要是将一个国家按照构成结构组成区分为政治、经济、文化、社会等不同维度, 以实现脆弱国家概念的系统化。而气候变化会通过影响不同维度进而影响国家脆弱性。

1.2. 前人的研究

在过去十余年间, 西方学术界在研究脆弱国家时, 对国家脆弱性的定量评估是其中一项核心内容, 由此出现了评估国家脆弱性的多个指数体系。英美等国家一些知名大学和其他研究机构纷纷成立研究中心讨论

“脆弱国家”问题, 由于研究的机构及国际组织很多, 所依据的标准也不尽相同, 所以评估指数种类繁多, 德国发展研究所就搜集了分别由四个大学编制的脆弱性指数, 分别是卡尔顿大学的外交政策国家脆弱性指数(Country Indicators for Foreign Policy Fragility Index, 缩写为 CIFP 指数)、哈佛大学的非洲治理指数(Harvard Kennedy School Index of African Governance, 缩写为 IAG 指数)、马里兰大学的和平与冲突不稳定总表(Peace and Conflict Instability Ledger, 缩写 PCIL)以及乔治·梅森大学的国家脆弱指数(State Fragility Index), 而 CIFP 指数中则指出了环境这一维度[2]。目前用得较多的是和平基金会的失败国家指数(Failed States Index)。

1.3. 内容

本文旨在通过建立模型, 能够确定一个国家的状态是脆弱的, 脆弱的还是稳定的, 能够衡量不同国家的脆弱程度的相对大小, 同时能够衡量气候变化对国家脆弱程度的影响。

关键点:

- 根据影响国家脆弱程度的安全因素、经济因素、政治因素和社会因素建立了衡量国家脆弱程度的指数。
- 利用干旱、洪水、极端气温(%平均人口) (Droughts, floods, extreme temperatures (% of population, average)即 DFE)和二氧化碳排放量(人均公吨) (CO₂ emissions (metric tons per capita)即 CE)来刻画影响国家脆弱程度的气候因素。
- 提出了可以判断气候对国家脆弱性影响大小的模型。

方法:

- 采用聚类分析法, 利用 2009 年全球 155 个国家的数据[3]按类平均法进行聚类分析, 可将国家的脆弱程度分为三级: fragile, vulnerable, and stable, 并得出每个国家的等级。
- 确定表达式, 用以建立安全指标、政治指标、经济指标和社会指标与气候因素和非气候因素之间的关系。
- 定义 CCI 变量, 用以计算气候因素在导致国家脆弱的因素中所占比重, 衡量气候变化影响的大小。
- 用所建立的模型对苏丹, 印度和中国分别进行了国家脆弱性的分析, 并量化气候变化对该国脆弱性的影响。
- 通过曲线拟合的方式对印度这一国家未来的国家脆弱性进行了预测。

2. 模型假设

- 不考虑如行星碰撞地球, 导致地球文明全部毁灭等小概率事件。
- 没有造成灾难的高温、干旱不属于极端气候。
- 假设存在理想的气候, 即气候不对国家脆弱性造成任何影响。

3. 符号说明

以下给出本文中主要符号的说明(表 1)。

4. 问题求解

4.1. 模型的建立

4.1.1. 模型一

1) 模型一的构建与求解

Table 1. Symbols definition
表 1. 符号说明

符号	含义
<i>FSI</i>	脆弱状态指数
<i>Coh</i>	凝聚指标
<i>Eco</i>	经济指标
<i>Pol</i>	政治指标
<i>Soc</i>	社会指标
<i>c</i>	非气候因素对凝聚力指标的影响
<i>e</i>	非气候因素对经济指标的影响
<i>p</i>	非气候因素对政治指标的影响
<i>s</i>	非气候因素对社会指标的影响
<i>DFE</i>	人均干旱、洪水、极端气温
<i>CE</i>	人均二氧化碳排放量

脆弱国家是指国家政府不能或选择不向人民提供基本必需品的国家，而作为一个脆弱的国家，人民则更容易受到自然灾害，气温上升等气候冲击的影响。国家脆弱程度是衡量一个国家提供公共产品能力大小的评估，而这种公共产品，包括安全、自由、经济贸易等等多种部分，根据刘天旭等人的研究和总结[4]，我们将影响国家脆弱程度的因素分为：安全因素、经济因素、政治因素、社会因素和气候因素。从技术层面讲，构建这些指数体系一般都经过三个步骤：脆弱性概念的系统化、脆弱性指标的选择测量以及最终分数的合成计算。为了能够定量的刻画这些因素，我们利用目前国际认可度较高的 The Fund for Peace (机构)所整理的安全指标、经济指标、政治指标和社会指标来刻画某个国家中影响国家脆弱程度的安全因素、经济因素、政治因素和社会因素，气候因素主要有由温度变化导致的冰川融化、海平面上升，由恶劣天气导致的自然灾害等，我们利用 Droughts, floods, extreme temperatures (% of population, average) 和 CO₂ emissions (metric tons per capita)来刻画影响国家脆弱程度的气候因素(图 1)。

我们将国家的脆弱程度分为三级：fragile, vulnerable, and stable (脆弱的，易脆弱的，稳定的)，利用 2009 年全球 155 个国家的上述数据汇集成表(数据均来自世界银行及和平基金[3])，对表内数据按类平均法进行 Q 型聚类分析(图 2)，得到结果如下：

第一类(稳定)：

蒙古、罗马尼亚、克罗地亚、巴拿马、黑山、拉脱维亚、哥斯达黎加、爱沙尼亚、匈牙利、波兰、斯洛伐克共和国、立陶宛、希腊、阿根廷、毛里求斯、意大利、西班牙、捷克共和国、乌拉圭、智利、斯洛文尼亚、德国、法国、美国、英国、比利时、葡萄牙、日本、卢森堡、奥地利、荷兰、澳大利亚、新西兰、丹麦、爱尔兰、瑞士、瑞典、芬兰、挪威；

第二类(易受伤害)：

加拿大、特立尼达和多巴哥、加纳科威特

第三类(脆弱的)：

索马里、苏丹、乍得、刚果民主共和国、伊拉克、阿富汗、中非共和国、几内亚、巴基斯坦、科特迪瓦、海地、缅甸、肯尼亚、尼日利亚、埃塞俄比亚、孟加拉国、也门、东帝汶、乌干达、斯里兰卡、尼日尔、尼泊尔、喀麦隆、几内亚比绍、布基纳法索、马拉维、黎巴嫩、刚果共和国、乌兹别克斯坦、

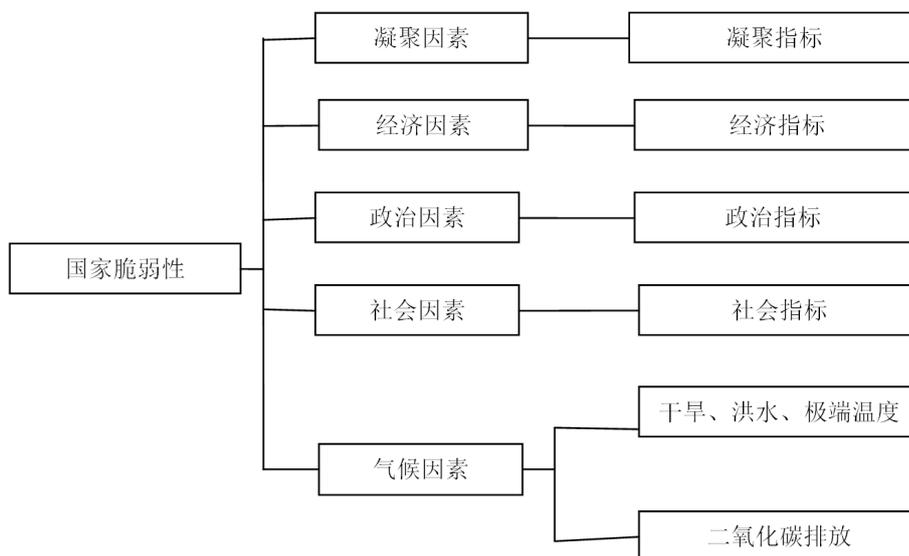


Figure 1. Factors affecting Country's fragility
图 1. 影响国家脆弱性的因素

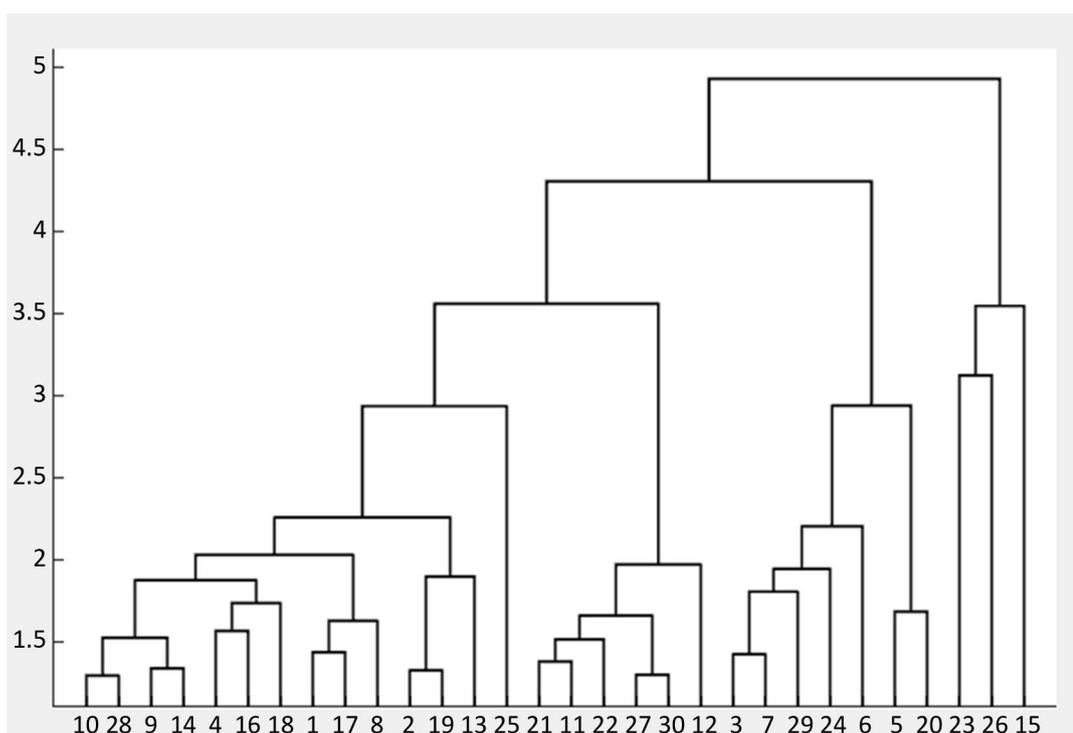


Figure 2. Clustering analysis
图 2. 聚类分析

柬埔寨、塞拉利昂、格鲁吉亚、利比里亚、塔吉克斯坦、厄立特里亚国、伊朗、所罗门群岛、哥伦比亚、吉尔吉斯共和国、埃及、老挝、卢旺达、布隆迪、毛里塔尼亚、不丹、多哥、玻利维亚、科摩罗、菲律宾、摩尔多瓦、阿塞拜疆、中国、以色列和西岸、保加利亚、土库曼斯坦、赞比亚、印度尼西亚、巴布亚、新几内亚、波斯尼亚和黑塞哥维那、尼加拉瓜、斯威士兰、白俄罗斯、莱索托、马达加斯加、厄瓜多尔、坦桑尼亚、俄罗斯、莫桑比克、古巴、吉布提、危地马拉、委内瑞拉、塞尔维亚、泰国、冈比亚、

斐济、马尔代夫、马里、土耳其、约旦、印度、多米尼加共和国、沙特阿拉伯、萨尔瓦多、洪都拉斯、摩洛哥、秘鲁、越南、纳米比亚、贝宁、墨西哥、马其顿、亚美尼亚、塞内加尔、苏里南、圭亚那、哈萨克斯坦、巴拉圭、密克罗尼西亚、萨摩亚、阿尔巴尼亚、乌克兰、伯利兹、利比亚、巴西、塞浦路斯、马来西亚、博茨瓦纳、牙买加、塞舌尔、突尼斯、南非。

2) 结果分析

由模型一结果得

第一类中加拿大等国的国家经济政治体制较为完善, 国家较为发达, 且气候环境稳定, 不常发生较严重自然灾害, 故而国家稳定性好, 脆弱程度较低; 而第三类中的大部分国家如索马里、苏丹、乍得、伊拉克等国, 大多位于中东地区, 经济政治不发达, 社会较为混乱, 而且气候不稳定, 常发生较大变化, 故而会引起较多自然灾害的发生, 因此, 国家稳定性差, 脆弱程度高。此模型结果与实际认知吻合。

但同时我们发现, 要用此模型判断一个国家的脆弱程度, 所需数据较多, 实际操作较为复杂, 而且上述 6 个指标所占权重理应有差别, 但在此模型中没有体现, 同时我们希望提高判断的精确度, 例如, 索马里、苏丹、乍得、伊拉克同为第三类国家, 但我们希望得到它们之间脆弱性强弱顺序。为此, 我们提出下述模型。

4.1.2. 模型二

1) 模型二的建立

为了定量的描述一个国家的脆弱程度, 我们设 FSI 表示国家脆弱指数, 国家越脆弱, FSI 数值越大。根据刘天旭等人的研究[5], “脆弱国家概念的结构性维度与广义的国家概念相对应, 主要是将一个国家按照构成结构组成区分为政治、经济、文化、社会等不同维度, 以实现脆弱国家概念的系统化”, 因此, 国家脆弱指数由安全指标(security apparatus, factionalized elites and group grievance)、政治指标(state legitimacy, public services and human rights)、经济指标(economic decline, uneven economic inequality and human flight brain drain)和社会指标(demographic pressures, external intervention and refugees and IDPs)来衡量, 所占权重比为 1:1:1:1 [6]。而考虑实际情况, 一个国家的气候变化不会直接影响一个国家的脆弱情况, 而是间接发挥作用, 故而模型将安全指标、政治指标、经济指标和社会指标的影响因素分成两类: 气候因素和非气候因素, 由于各个因素对各个指标的影响程度不同, 所以各个因素在每个指标中所占权重不同(图 3)。

① 气候变化对凝聚力指标的影响

温度和降雨量的异常会引起粮食减产, 导致部分地区饥荒; 温度升高, 冰川融化, 海平面上升, 会使沿海地区生存环境遭到破坏, 人们生存受到威胁; 而极端气候与自然灾害的发生也会使生存环境变得恶劣, 疾病增加, 易导致社会混乱[7]。

故而根据朱剑, 郝巧英等人的研究[8]、实际情况和向专家咨询, 得出权重如下:

$$Coh = 0.93c + 0.035DFE + 0.035CE.$$

② 气候变化对经济指标的影响

温度和降雨量的异常会引起粮食减产, 阻碍农业国的经济发展, 增加经济衰退的可能性; 粮食价格波动, 也会影响世界经济; 温度升高, 冰川融化, 海岸侵蚀作用会加强, 河口三角洲会被淹没或侵蚀, 影响沿海港口建设, 阻碍对外贸易和经济社会发展; 温度升高, 海平面上升, 会引起海水倒灌, 发生咸潮, 使淡水资源减少, 淡水产品供给受到影响, 价格波动, 会影响经济发展; 而温度变化或极端气候影响能源开发和运输, 导致能源价格变动, 增加世界经济不稳定。

故而得出权重如下:

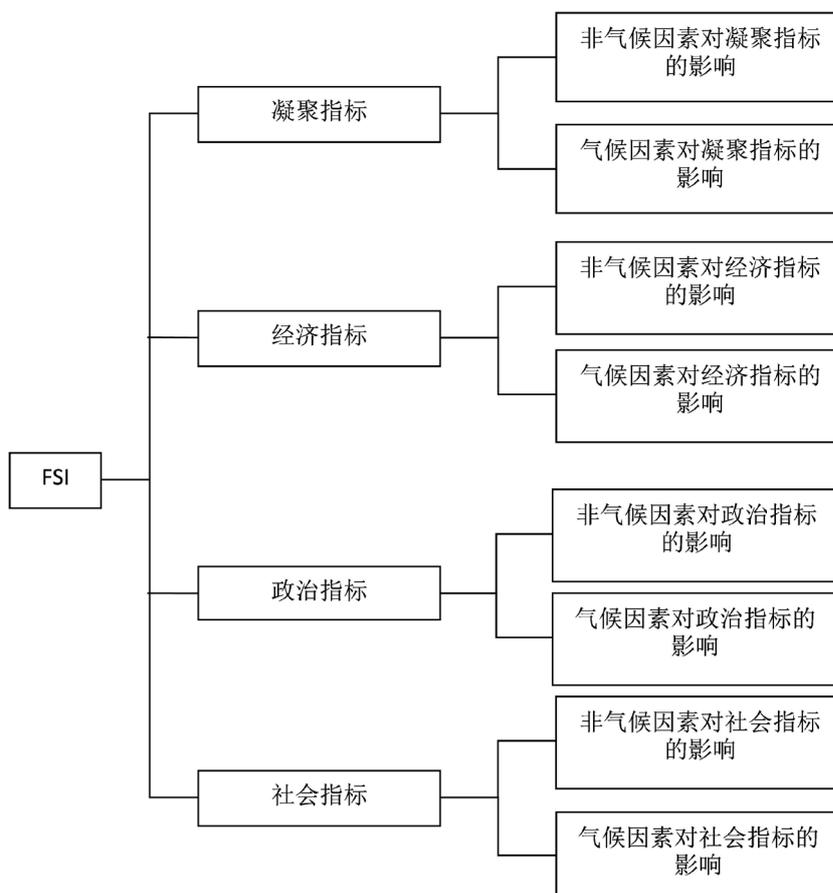


Figure 3. Factors affecting FSI
图 3. 影响 FSI 的因素

$$Eco = 0.90c + 0.06DFE + 0.04CE.$$

③ 气候变化对政治指标的影响

温度升高, 冰川融化, 海平面上升, 会引发海洋边界和海洋资源划分问题上的分歧, 故而得出权重如下:

$$Pol = 0.97c + 0.014DFE + 0.016CE.$$

④ 气候变化对社会指标的影响

天气变化会影响农业生产, 影响粮食供应, 降低社会承载力, 加重人口压力; 温度升高, 冰川融化, 海平面上升, 沿海低地被淹没, 也会威胁到低洼地区人们的生存; 而极端气候与自然灾害的发生会使生存环境变得恶劣。

故而得出权重如下:

$$Soc = 0.96s + 0.024DFE + 0.016CE.$$

由刘天旭等人研究, 可得

$$Coh : Eco : Pol : Soc = 1 : 1 : 1 : 1$$

所以,

$$FSI = Coh + Eco + Pol + Soc. \tag{1}$$

2) 模型的求解

由于气候因素和非气候因素对国家脆弱性的影响是并列关系, 所以这两个因素的分值范围应该相等, 结合实际数据, 将范围定为 0~30, 则 DFE 和 CE 的具体转换关系如下:

$$DFE = 3 \times DFE_0.$$

$$CE = 0.75 \times CE_0.$$

(DFE_0 和 CE_0 是干旱、洪水、人均极端气温和人均二氧化碳排放量的实际数值)

根据表 2 中的数据, 计算 155 个国家的 FSI , 部分结果示例如下表所示:

3) 结果分析

根据 FSI 大小排序后可以看出, 用模型一所求得的第一类稳定国家普遍 FSI 较小, 而在第三类脆弱国家 FSI 值则较高, 这与我们之前得出的结论是一致的。

4.1.3. 模型三

为了衡量气候变化影响的大小, 定义 CCI 变量, 该变量表示气候变化的影响力在其 FSI 中所占比重, 且满足下式:

$$CCI = \frac{0.035DFE + 0.035CE}{Coh} + \frac{0.06DFE + 0.04CE}{Eco} + \frac{0.014DFE + 0.016CE}{Pol} + \frac{0.024DFE + 0.016CE}{Soc}. \quad (2)$$

则某国家的 CCI 越大, 气候对该国家的脆弱程度的影响也就越大。

4.2. 具体国家分析

4.2.1. 气候因素作用机理

苏丹是一个北非国家, 南北东西气温差异很大。农业是苏丹经济的主要支柱。经济作物在农业生产中占重要地位, 苏丹对自然依赖性很强, 受气候变化影响较大。苏丹是前十大脆弱国之一, 我们选择它来进行分析(表 3)。

苏丹北部地区降雨量持续减少, 干旱严重, 土地荒漠化趋势日益加剧; 温度升高加快湖泊蒸发, 山区冰川融化, 淡水资源减少, 干旱进一步加剧。高温和干旱极大地影响了农业生产, 导致社会动荡。

苏丹南部夏季高温多雨, 温度升高加上比较湿润的环境, 就会加速病菌增生, 并有利于病虫的生存繁殖, 加快了疾病传播, 严重影响到人类身体健康, 进而造成民众焦虑, 导致社会混乱。

4.2.2. 气候对脆弱性的影响

选取苏丹的数据, 有

根据模型二(1)式计算得表 4。

根据模型三(2)式计算得 $CCI = 4.395\%$ 。

即 2009 年气候变化对苏丹国家脆弱性的影响指数为 4.395%。

如果没有气候因素影响, 认为是气候理想的情况, 即 $DFE = CE = 0$, 则

$$FSI = 0.93c + 0.90e + 0.97p + 0.96s = 105.786.$$

即如果没有气候影响, 国家脆弱指数会变成 105.786。

$$\Delta FSI = 107.499 - 105.786 = 1.713.$$

即国家脆弱指数降低 1.713。

Table 2. Examples of FSI results in selected countries
表 2. 部分国家 FSI 的结果示例

Country Name	<i>DFE</i>	<i>CE</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>Coh</i>	<i>Eoh</i>	<i>Pol</i>	<i>Soc</i>	<i>FSI</i>
Afghanistan	3.177871	0.181292	28.6	23.9	27.5	28.2	27.3	21.7	26.72239	27.151117	102.8905502265
Albania	15.80873	1.1217	16.8	19.6	18.9	15.7	16.6	18.6	18.57227	14.50936	68.26758313636
Argentina	0.50157	3.308167	9.7	14.3	11.6	9.1	9.3	13.0	11.31195	8.800968	42.49368270421
Armenia	1.434693	1.32059	18.2	18.5	18.6	19.0	17.4	16.8	Q8.0802	18.29255	70.53394451247
Australia	9.141296	13.65014	5.9	8.3	5.3	6.4	6.4	8.6	5.48733	6.581795	27.03635694620
Austria	0.114459	5.639063	7.0	8.3	4.6	7.7	6.9	7.7	4.553827	7.484972	26.59260281426
Azerbaijan	3.316695	2.674251	23.1	19.2	20.7	21.6	22.3	17.6	20.16822	10.85839	80.76726533606
Bangladesh	13.75408	0.267869	26.3	25.4	24.1	22.3	25.5	23.7	23.37384	21.74238	94.49795500043
Belarus	0.065876	4.829763	21.6	18.8	23.5	18.4	20.7	17.1	22.8732	17.74286	78.42454612448
Belgium	0.005077	6.937212	10.1	9.4	6.5	7.5	9.8	8.7	6.416066	7.311117	32.30295683381
Belize	2.418257	1.401718	15.4	20.2	15.9	18.0	14.8	18.4	15.47928	17.36047	65.98461199979
Benin	2.574824	0.390797	13.6	21.4	20.2	20.4	13.0	19.3	19.6363	19.65205	71.65226696553
Bhutan	0.040503	0.408039	21.1	23.0	23.0	20.2	20.1	20.7	22.3171	29.3995	82.49604707879
Bolivia	3.892287	1.075159	22.1	22.6	22.1	19.5	21.2	20.6	21.50869	18.83062	82.12471622743
Bosnia and Herzegovina	1.479684	4.144577	24.3	28.6	19.2	21.2	23.3	17.0	18.71103	20.45383	79.44126793707
Botswana	2.221256	1.425214	11.1	18.8	17.2	21.7	10.7	17.1	16.7379	20.90811	65.42892504445
Brazil	1.447353	1.412859	18.4	18.0	18.0	14.7	17.6	16.3	17.50287	14.16934	65.59567385587
Bulgaria	0.025659	4.298395	14.3	23.7	23.4	23.0	13.7	21.5	22.76713	22.14939	80.15634100737
Burkina Faso	3.75011	0.095725	21.2	22.9	24.1	26.2	20.3	20.8	23.43103	25.24353	89.78800726946
Burundi	7.132234	0.016847	22.5	2.7	23.8	19.8	21.6	20.9	23.18612	19.17944	84.84938971179
Cambodia	19.93137	0.247695	21.0	23.8	25.2	22.6	20.7	22.6	24.727	22.17823	90.18731594389
Cameroon	0.217117	0.259562	23.7	23.8	25.2	22.6	22.5	21.4	24.45119	21.70536	90.13164969483
Afghanistan	3.177871	0.181292	28.6	23.9	27.5	28.2	27.3	21.7	26.72239	27.151117	102.8905502265

Table 3. The data of Sudan
表 3. 苏丹的数据

<i>Coh</i>	<i>Eco</i>	<i>Pol</i>	<i>Sol</i>	<i>FSI</i>
27.9	23.5	28.3473	27.65927	107.499

Table 4. *FSI* of Sudan
表 4. 苏丹的 *FSI*

<i>DFE</i>	<i>CE</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>p</i>
8.296247	0.259838	29.1	25.6	29.1

4.3. 临界点的确定

4.3.1. 气候因素作用机理

印度不属于前十大脆弱国，我们选择印度为目标国家进行研究。

印度全境炎热, 大部分属于热带季风气候, 而印度西部的塔尔沙漠则是热带沙漠气候。夏天时有较明显的季风, 冬天则较无明显的季风

气候变化对印度的影响:

印度的降水变化主要受季风影响, 因为西南季风不稳定所以旱涝灾害频繁, 给农业造成灾害。印度十几亿人口的一半以上人口从事农业, 因此印度依然对季风降雨的依赖很大, 现在印度面临的最大的风险就是全球气候变化。

4.3.2. 临界点的确定

根据目前国际认可度较高的 The Fund for Peace(机构)所提出的评判方法, FSI 分值超过 80 分即评定为脆弱国家, 采用这个标准(本模型中的 FSI 与该机构所提出的 FSI 分值分布相同)。

4.3.3. 模型四的建立与求解

为了考察印度的 FSI 随时间的变化趋势, 我们收集了 2006 年~2012 年印度的 DFE 、 CE 、 c 、 e 、 p 、 s 数值, 根据模型二(1)式计算得出 FSI , 采用 SPSS 对年份和 FSI 进行曲线拟合, 采用线性模型、二次模型和立方模型进行拟合(图 4), 根据图示可得, 采用线性模型即可。即得:

$$FSI = 1.4296ye - 2799.3571. \quad (3)$$

其中 ye 表示年份。

其中, $Sig = 0.0123 < 0.05$ 。故拟合效果较好。

而 FSI 分值超过 80 分即评定为脆弱国家, 根据模型四(3)式可得, 印度在 2014 年达到脆弱国家标准。

4.4. 国家干预措施的影响

4.4.1. 模型二的改进

对模型二, 在考虑气候变化对国家脆弱性影响时, 认为对于气候变化任何国家的影响程度都相同, 并不因国家而异, 即所有国家均没有采取任何人为措施干预气候变化, 这个模型虽然在一定程度上可以

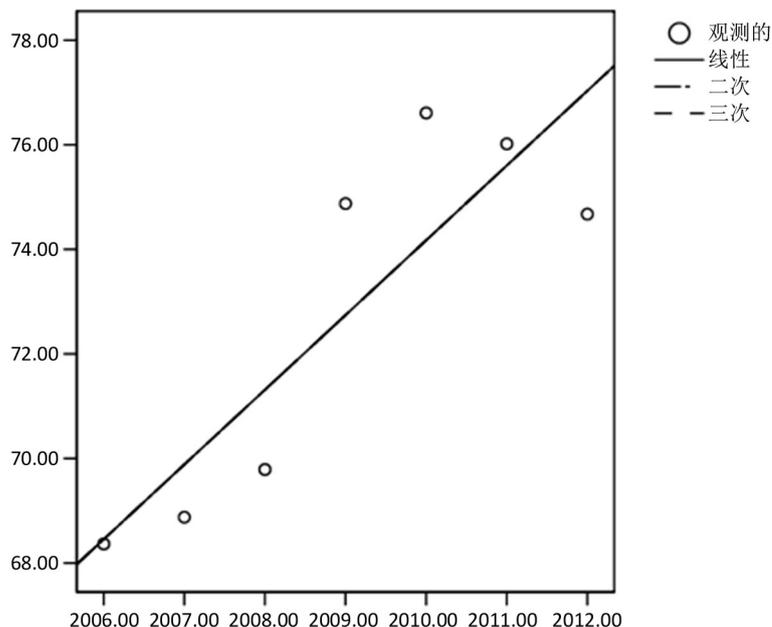


Figure 4. Curve fitting

图 4. 曲线拟合

衡量气候变化对国家的影响,但是和实际情况是存在偏差的,因为既然气候变化会对国家凝聚力、经济、政治、社会造成恶劣影响,那么国家一定会采取干预措施,通过减缓气候变化、采取防御措施等减小气候变化对国家发展的影响。

根据以上分析对模型作出如下改进:

$$FSI = Coh + Eco + Pol + Sol. \quad (4)$$

并且

$$Coh = 0.93c + (1-x) \times (0.035DFE + 0.035CE);$$

$$Eco = 0.90e + (1-x) \times (0.06DFE + 0.04CE);$$

$$Pol = 0.97p + (1-x) \times (0.014DFE + 0.016CE);$$

$$Sol = 0.96s + (1-x) \times (0.024DFE + 0.016CE);$$

$x \in (0,1)$ 表示国家对气候变化的干预力度。

x 越大表示对气候干预程度越大, $1-x$ 就越小, 总指标减小就越明显, 国家脆弱指数降低越显著。

4.4.2. 改进后模型的应用

为了衡量国家对气候的干预程度, 引入 CCPI (climate change performance index) [9]。CCPI 是各国在 2018 年前对气候变化采取措施后所取得的平均绩效的水平。所以将它视为每一年国家对气候的干预程度的刻画。

令 y 为各个国家的 CCPI score, $y \in (0,100)$, y 越大, 表示国家干预程度越大。因 $x \in (0,1)$, 采用下述公式定义: $x = \frac{y}{100}$ 。

我们选取中国的数据(表 5)。

利用原模型二中(1)式, 计算得 $FSI = 83.71774$ 。

查阅数据值, 对于中国, $y = 45.84$ 。

利用改进后的模型二中(4)式, 计算得 $FSI' = 81.54875$

则有 $\Delta FSI = FSI' - FSI = -2.16899$ 。

即中国因采取干预措施干预气候变化, 使 FSI 降低了 2.16899。

4.4.3. 干预影响

中国积极推进减缓气候变化的政策和行动, 在调整经济结构, 转变发展方式, 大力节约能源、提高能源利用效率、优化能源结构, 植树造林等方面采取了一系列政策措施, 例如积极开发新能源来代替传统资源(如: 煤炭), 以减少温室气体排放, 同时缓解能源危机, 通过植树造林来调节气候, 改善干旱和土地荒漠化等, 均取得了显著成效。

4.5. 模型拓展

该模型主要是根据分析与气候变化有关的两个指标和非气候指标与国家脆弱性的四个指标安全指标、政治指标、经济指标和社会指标之间的关系, 进而反映气候对国家脆弱性的影响, 确定一个国家的脆弱性的。与气候变化有关的两个指标和安全指标、政治指标、经济指标和社会指标中的每一个的关系都为线性关系。

想要知道该模型在在较小的“州”(比如城市)或者更大的“州”(比如大洲)上是否可以工作, 可以将分析线性关系的参数和指标的稳定性, 与分析州与该州国家的相关数据(国与各国城市相关数据)之间的联系相结合, 从而得出结果。

Table 5. Date of China
表 5. 中国的数据

<i>DFE</i>	<i>CE</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>p</i>
23.8529144	4.507577	21.1	19.8	24.6

在表示非气候因素、二氧化碳排放量(人均公吨)和极端气候人均水平与国家脆弱性的各指标之间的线性关系时,所用的参数是根据相应的资料分析进而主观确定的,存在一定的理论依据但并没有严格的数据支持与证明,在使用时具有高度主观性,先以确定的常量表示;但另一方面,就像第四题中所提到的一样,这三个因素对每个国家的四个指标的影响并不是完全相同的,占每个指标的权重是不完全相同的,这与每个国家具体的经济状况、地理位置、采取的措施等存在一定的关系,如果利用各个国家的各种方面的数据进行具体分析,可得出因国家不同而略微有些差异的参数,虽然这些参数为变量时能更具体详细地表现气候因素对国家脆弱性的影响,但不能否认用主观确定的常数作为参数的正确性和方向性;再者,世界上的国家太多,各国的数据都不一样,也没有一个能够确定参数的具体的算法,这就要根据每个国家的数据求得每一个国家所对应的参数,工作量比较大而且过程冗杂、算法复杂,对从全球范围研究气候变化对国家脆弱性的影响有很大的困难,耗费了大量的人力物力可能最后得出的结果与常数作为参数的结果差别很小。另外,常量参数的确定是在分析了各气候因素和各非气候因素对安全、政治、经济和社会方面的影响而确定的,按理说在全球范围内都可以使用该参数,不会出现太大的误差,且国家是该国家各个州的整体表现,州是该国家城市的具体表现,所以所给参数可以用在研究气候变化对较小的“州”(比如城市)或者更大的“州”(比如大洲)的影响上且不会出现太大的误差。

下面来研究与气候变化有关的两个指标和非气候指标这三个指标的稳定性。

先看非气候指标,以非气候因素对安全方面的影响为例(政治、经济、社会方面一样),将各国非气候因素影响的安全指标按年份收集,然后作图比较,结合全球的发展和时代的变化,发现各国的安全指标随着年份的变化,或变化幅度很小,或有较大的变化幅度,但整体来说在全球的排名基本上处于一个稳定的阶段,说明非气候因素对安全的影响随着全球的发展一直处于一个比较稳定的状态,非气候指标具有稳定性;在与气候变化有关的指标中,以二氧化碳排放量(人均公吨)为例,收集各国家各年的二氧化碳排放量(人均公吨)并作图比较,发现各国的二氧化碳排放量(人均公吨)是与世界的发展状况相符合的,与重大世界气候事件有关,处于一个动态稳定的状态,说明,该指标也具有稳定性。则在指标的稳定性方面说明该模型可以用于较小的“州”(比如城市)或者更大的“州”(比如大洲)。

图 5 为随机选定的几个国家的二氧化碳排放量(人均公吨)随年份的变化量。

综上所述,该模型可以在较小的“州”(比如城市)或者更大的“州”(比如大洲)上工作,虽然存在细微的误差,但不影响气候变化对国家脆弱性影响的结果的准确性与方向。

5. 模型优缺点评价

优点:

模型具体地分析了气候如何影响国家脆弱性,利用聚类分析的方法将所有国家划分为脆弱、易脆弱、稳定,对于解决这个问题非常合适。

通过定性分析建立了气候变化对国家脆弱性影响的模型,简单直观,并利用模型成功解决了问题,并考虑政府等外力干预,根据实际情况对模型做出了改进。

最后客观分析了这个模型的适用性。

缺点:

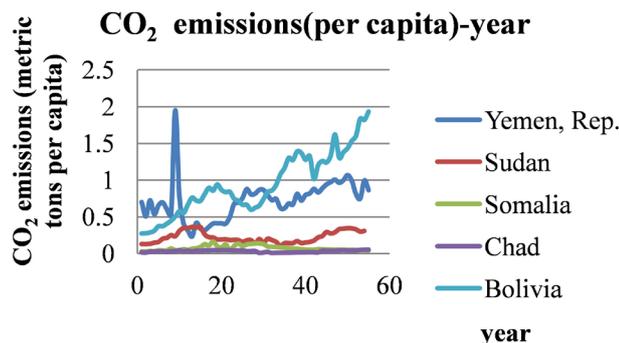


Figure 5. CO₂ emissions (per capita)-year
图 5. 二氧化碳排放量(人均) - 年

分析衡量国家脆弱性的四个指标的影响因素(非气候因素和气候因素)时,各个指标所占权重主要是根据实际情况定性分析后主观确定,主观因素影响较大。

数据收集不够全面。收集的关于气候变化的数据较少,这就导致在对印度脆弱情况的预测中,用线性回归分析预测 FSI 随时间增长模型时,预测出的未来 FSI 与实际存在偏差。

CCPI 是一个平均指标,但是 DFE、CE 是某一年的数据。在模型改进时,用 CCPI 来衡量某一年采取干预措施对国家脆弱性的影响,这会造成一定的误差。

6. 总结

根据收集到的所有数据,结合各个国家实际情况,运用聚类分析法将各个国家划分出脆弱、易脆弱及稳定三个等级;运用定性分析法,得出了不同影响国家脆弱性的因素所占权重,为不同因素限定相同阈值,然后进行变换,最后得出每一个国家的脆弱指数 FSI,并且通过构造 CCI 描述出气候变化对国家脆弱指数的影响。使得不同国家之间脆弱程度均可比,气候变化对国家脆弱程度影响亦可比。然后通过曲线拟合预测了印度未来的发展趋势。后面考虑到人工干预会减缓环境变化,对模型进行了改进。最后通过定性分析确定模型在城市和大洲仍然适用。

基金项目

感谢祖国的培养,感谢西北农林科技大学理学院郑立飞老师的指导。

参考文献

- [1] Schwartz, P. and Randall, D. (2003) An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security. <http://eesc.columbia.edu/courses/v1003/readings/Pentagon.pdf>
- [2] Mata, J.F. and Ziaja, S. (2009) Users' Guide on Measuring Fragility. German Development Institute, Bonn.
- [3] The World Bank (2017). <http://www.worldbank.org/en/topic/fragilityconflictviolence/brief/harmonized-list-of-fragile-situations>
- [4] Liu, T.X. and Wu, T. (2016) Assessment Criteria for Fragile States. Three Gorges University, Yichang.
- [5] Liu, T.X. (2012) The Rise of the Study of Fragile States: Status Quo, Causes and Limitations. Three Gorges University, Yichang.
- [6] The Fund for Peace. Fragile States Index (2017). <http://fundforpeace.org/fsi/>
- [7] Theisen, O.M., Gleditsch, N.P. and Buhaug, H. (2013) Is Climate Change a Driver of Armed Conflict? *Climate Change*, **117**, 613-625. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0649-4>
- [8] Zhu, J. and Hao, Q.Y. (2016) Failed State and Civilization Mission: Reassessment of State Vulnerability Index. East China University of Political Science and Law, Shanghai.
- [9] Climate Change Performance Index (2018). <https://www.climate-change-performance-index.org/>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2324-7991，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：aam@hanspub.org