

# 粮食安全视角下中国历史气候变化影响与响应的过程与机理

方修琦<sup>1,2</sup>, 郑景云<sup>2</sup>, 葛全胜<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 基于现代全球变化研究中关于脆弱性和粮食安全的概念, 把历史时期的粮食安全分解为粮食生产安全、粮食供给安全、粮食消费安全3个层次, 以气候变化直接影响粮食生产水平为起点, 分析气候变化-农(牧)业收成-食物的人均供给量-饥民-社会稳定性的驱动-响应链中的关键过程, 指出气候变化影响的驱动-响应关系不能归结为简单的因果关系, 诸如耕地、人口、政策、外来势力都会对气候变化的影响起着放大或抑制的作用。

**关键词:** 粮食安全; 历史时期; 气候变化影响; 中国

**中图分类号:** P467      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0690(2014)11-1291-08

认识过去人类-气候-生态系统在多时空尺度上的相互作用机制与过程, 来增强对当代气候变化影响与人类社会适应的理解是过去全球变化研究计划(PAGES)研究的重要主题之一<sup>[1]</sup>。近年来, 国内外大量研究揭示出历史时期的人口波动和迁徙、社会的盛衰乃至文明的更替与气候变化存在良好的对应关系<sup>[2-16]</sup>, 但迄今所获得的认识主要为基于历史气候变化事件与社会现象发生的同期性所做的推断, 有关影响和适应机制的许多中间环节尚有待论证, 存在诸多不确定性、甚至严重分歧<sup>[11-16]</sup>。

在生产力不甚发达的历史时期, 以农为本的中国传统社会发展受到环境演变特别是气候变化的强烈影响, 在中国丰富而悠久的历史文献记录中有着大量的相关记载, 可以为深入开展历史气候变化影响与适应过程和机制研究提供十分便利的条件, 相对于国外同类研究, 具有明显的优势<sup>[9]</sup>。本文尝试基于当前全球变化有关影响与响应的若干基本概念, 在粮食安全的框架下, 探讨中国历史气候变化的影响与响应的过程与机制问题。

## 1 历史气候变化影响与响应研究的若干相关概念

### 1.1 人类系统的脆弱性与气候变化影响与响应的层次

人类系统是社会-生态耦合系统或“人类-环境耦合系统”<sup>[17]</sup>, 可划分成3个层次的子系统<sup>[18]</sup>, 第1个层次是环境和资源系统, 为地球系统中对人类产生直接影响的部分, 其突出作用是为人类的生存和发展提供资源及形成各种制约(极端情况下表现为灾害)、同时容纳和消化人类所产生的废弃物。第2个层次是支撑系统, 包括生产系统和基础设施系统, 其功能是为人类提供消费产品和基础设施与防护设施; 第3个层次是人文系统或社会经济系统, 包括人口系统、经济系统和社会系统(图1)。

从全球变化的角度看, 气候变化影响的发生机制可以理解为在一定的物理暴露条件下, 作为外部强迫因子的气候变化与人类社会系统本身的脆弱性相互作用的产物。所谓脆弱性是指系统易于遭受和缺乏能力应对气候变化(包括气候变率和极端气候事件)不利影响的程度<sup>[19]</sup>。作为社会系

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-09-04

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划(2010CB950103)、国家自然科学基金项目(41371201, 41071127)资助。

作者简介: 方修琦(1962-), 男, 吉林省前郭县人, 教授, 博士生导师, 主要从事气候变化及其影响与适应研究。E-mail: xfang@bnu.edu.cn

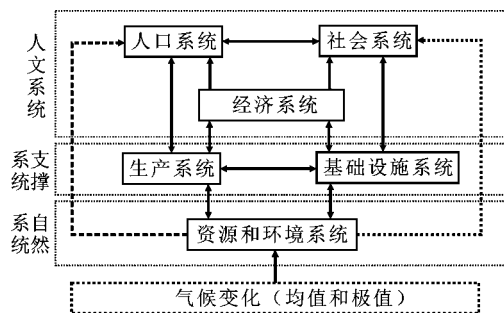


图1 人类系统的构成及气候变化影响的层次性(据文献[18]修改)

Fig.1 Composition of the human system and the hierarchy of climate change impact (modified according to literature[18])

统自身的内在属性的关键概念之一,脆弱性主要关注系统遭受危害的可能性和受害程度,它取决于决定系统应对影响能力和从影响中恢复能力的各种变化因素,是敏感性和响应能力相互作用的结果。物理暴露是指具有脆弱性的系统与气候变化强迫之间联系的特征,面对不同暴露条件,系统表现的脆弱性是不同的,系统过去所经历的暴露历史会影响适应能力,从而改变脆弱性<sup>[17]</sup>。

气候变化对人类系统的各个子系统均能够产生直接或间接的影响,其中最重要的影响途径是通过资源和灾害的变化影响生产系统和基础设施系统,进而传递到经济系统、人口系统、以及社会系统。气候变化的影响从某一层次传递到更高层次的前提是影响超出了该层次所能承受的范围或调节能力。通常情况下,气候变化的幅度越大影响的层次也越高,但人类的响应措施,会通过发生在生产、经济、人口和社会等各个领域的一系列反馈过程,缩小或放大气候变化的影响<sup>[20]</sup>。因此,气候变化的影响不是简单的因果关系,而是复杂的驱动-响应反馈关系。

## 1.2 全球环境变化与粮食安全

安全是指系统维持稳定、保持功能正常的状态范围或阈值。安全的系统能够适应其所在的环境(如气候变化),健康地存在且不断发展,如果系统安全状态受到某种威胁而被打破,则会发生受损害、直至崩溃等情况。自20世纪90年代以来,随着安全概念的扩展,全球气候变化已被看作是威胁国家和区域“非常规”安全的重要因素之一<sup>[21]</sup>。

根据地球系统科学联盟(ESSP)“全球环境变化与食物系统(GECAFS)”研究计划提出的食物安

全概念体系<sup>[22]</sup>,粮食安全是指能生产和供应足够数量的、可获取的、且安全有营养的食物,包括食物供应(生产、分发和交易)、食物获取(支付能力、配置和偏好)和食物利用(营养价值、社会价值和食品安全)3个相互关联的方面,受自然和社会经济因子的双重驱动。

## 2 粮食安全框架下的中国历史气候变化影响与响应过程

### 2.1 中国历史时期气候变化影响下的粮食安全

在以农立国的古代中国,粮食安全是人类生存的物质基础,也是维系经济发展和社会系统稳定的基础,事关整个国家安全。在古代中国,构成粮食安全的3个方面可以分别简化为:粮食生产安全,指区域生产出的粮食数量足以同时满足维持个体生计和维持社会经济运转对粮食的需求,用区域人均粮食产量相对于维持安全粮食占有水平的高低来刻画,是区域粮食安全的基础;粮食配给安全,包括个体和社会粮食配给安全两个方面,是指个人或社会实际可获得的粮食数量均能达到保证各自安全的粮食标准,用可调剂的粮食数量来刻画,是社会对区域粮食安全调节功能的体现;粮食消费安全,包括个体和社会粮食消费安全两个方面,是指维系个体生计和社会经济安全的粮食需求量,用实际人均支配的粮食数量来刻画,是粮食安全的最终表现(图3),区域粮食安全需要同时满足个体生计安全和社会安全,社会在粮食获取和使用环节可在一定程度上对粮食安全状况进行调节<sup>[23]</sup>。

### 2.2 粮食安全主导的中国历史气候变化影响与响应的过程与机制

基于现代全球变化研究中关于脆弱性和粮食安全的概念,可以将中国历史气候变化影响与响应的概念模式概括如图2所示,与此相关联的过程主要包括以下方面。

1) 气候变化对粮食产量的影响。气候均值与变率的变化均能导致气候资源及气候灾害(极端气候事件)分布概率的改变,并对粮食生产造成显著影响。中国人多地少、耕地高度集中在东部季风气候区,农业生产历来受有限的热量条件和高降水变率的双重限制,周期性冷暖和干湿波动及突发的气候灾害(旱涝、冷冻等)导致显著的农业丰歉波动<sup>[24]</sup>。气候灾害事件在年际尺度上表现

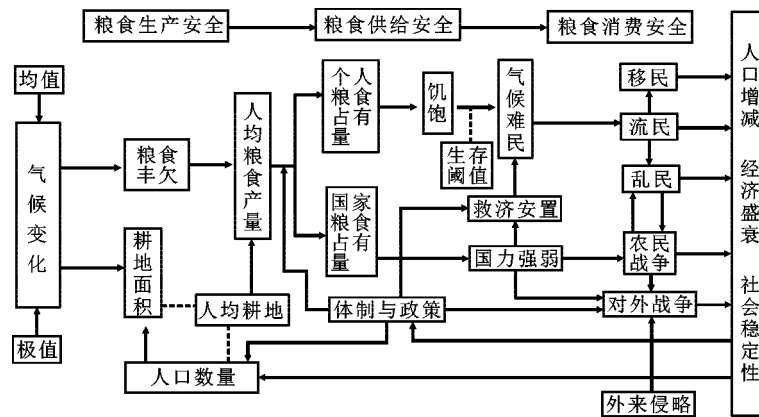


图2 基于粮食安全的中国历史气候变化影响与响应概念模式

Fig.2 The concept model of impact and response of historical climate change in China on the base of food security

显著,少数可达年代际尺度,其影响是强烈的、突发式的,可在短期内造成显而易见的歉收及生命和财产损失,甚至导致使人类系统失稳的严重饥荒。气温和降水的均值变化不仅改变灾害发生的强度和几率,还会改变农业生产的平均热量和水资源条件,这种影响往往是隐性的、逐步的,要在多年代甚至百年的尺度上才有显著表现。由于各地区对热量资源的利用常趋极致,因此,冷暖变化与农业丰歉基本为增函数关系,即产量随气温的升高而增加,不利影响主要发生在冷期;降水变化与农业丰歉的关系非单调函数关系,多雨期内水灾增多,少雨期旱灾增多,均可能造成不利影响。

2) 粮食生产安全及相关过程。粮食生产安全可以反映社会系统对气候变化的敏感性。社会系统对气候变化敏感的条件是区域人均产量低于维持生存所必需的临界粮食水平<sup>[23]</sup>。历史上气候变化对粮食生产安全的影响首先与粮食生产系统的脆弱性有关,表现为单产变化对气候变化的敏感性和人类对粮食生产的调节能力(农业生产保障和灾害防御措施),区域耕地面积和人口数量的增减都会改变表征粮食生产安全状态的人均粮食产量,因此被作为调节粮食生产安全的重要因素。历史上应对气候变化所引起的粮食生产安全危机的主要响应措施为在生产系统中挖掘粮食生产潜力,首先是通过改变种植结构、更换作物品种、提高农业生产和灾害防御技术、制定鼓励农业生产的政策等措施提高单产水平或降低对气候变化的敏感性;其次是通过扩大耕地面积提高总产量,耕地开发达到饱和状态是自然系统对粮食生

产安全调节能力所能达到的极限。降低人口数量也是提高粮食生产安全水平的一个途径,但通常不是主要措施。由粮食生产不安全状况所引发的社会矛盾主要发生在生产者之间,突出地表现为对土地、水等农业生产资源的争夺,严重者可引发群体性的冲突事件,政府及社会积极的调解和合理的制度措施可以有效地避免社会矛盾冲突的进一步升级(图3)。

3) 生计粮食安全及相关过程。个体生计粮食安全主要针对人口子系统,指每人所占有(配给)和消费的粮食数量足以保证其维持温饱水平,在粮食安全中通常需要优先予以保障。如果个人占有粮食数量不足以维持温饱,将会危及个体生计粮食安全。

个体粮食配给安全是个体粮食消费安全的前提。在区域粮食生产达到安全水平的情况下,如果社会(国家税收和地租)所占用的比例过高,可能导致生产者个体粮食配给不安全的状况;在区域粮食生产安全不能保障时,社会需要通过调整个体和社会对所生产粮食的分配比例,优先满足个体粮食的配给安全。历史上气候变化通过改变区域粮食生产和供应能力影响粮食配给安全。当个体粮食配给安全不能满足时,消费者个人会动用自己的储备,严重时从自然界寻找草根、树皮等替代性的食物资源;在流通领域,通常的适应性响应是粮食价格上涨,以吸引更多的粮食进入市场,同时限制过高的消费需求;在社会领域,有可能在不同社会阶层之间、民众与政府之间发生抗租、抗税等形式的矛盾冲突。政府可动用其经济和行政



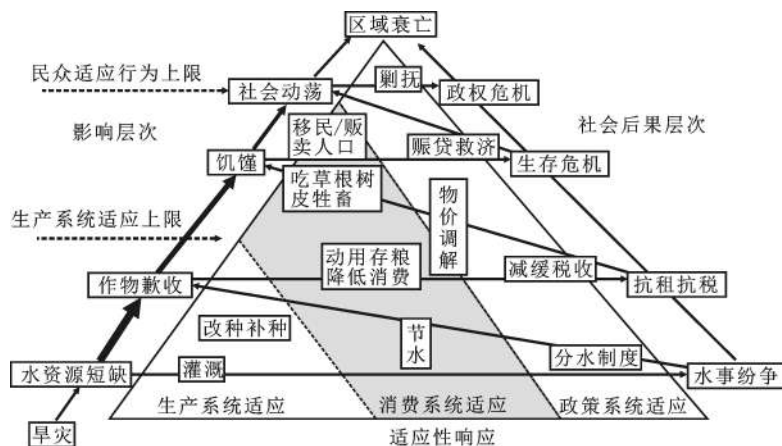


图3 历史时期人类响应旱灾影响的层次性

Fig.3 The hierarchy of human responses to drought in the history of China

能力在调节粮食配给安全状况、避免社会矛盾和冲突的进一步升级方面发挥重要的作用,主要手段包括:通过减缓、减免税收等方式给生产者自留更大比例的粮食;通过动用国家和民间的粮食储备(常平仓、义仓)或从区域以外进行粮食调运等措施缓解粮食的短缺,以使人均可支配的粮食数量处于安全状态。通过自发和政府有组织的移民减少区域内人口,也是历史上相对提高区域人均可支配的粮食数量的重要手段(图3)。

如果个体粮食配给不安全演化为个体粮食消费不安全,就会威胁到民众的基本生存条件,其直接社会后果就是出现大量饥民,标志着突破人口子系统稳定阈值并将影响进一步扩散到社会子系统;饥民进一步发展可能成为流民,在区域内部或区域间形成不同规模的难民潮,甚至转变为引发社会动乱的乱民,造成社会的不稳定乃至社会秩序的崩溃。政府在调节粮食消费安全状况、避免社会矛盾和冲突进一步升级方面通常采取的主要适应手段包括:调动全社会力量救济灾民和安置流民以避免难民规模的扩大,进行自发和政府有组织的移民以减小区域内人口压力,通过强化治安、剿抚农民起义等手段最大限度地控制乃至消除各种形式的社会动乱,以维持社会的稳定,避免社会动乱的一步扩大威胁封建王朝的统治(图3)。

4) 社会粮食安全及相关过程。社会粮食安全包括社会粮食配给安全和粮食消费安全两个层次,由可供社会支配和消费的粮食数量来决定,其大小是中国古代国家经济和整体实力强弱的具体表现,也是经济系统对人类系统的各个子系统进行

调节的基础。除用于维系社会系统的正常运行外,社会粮食调剂和消费主要用于对各子系统中可能威胁人类系统安全的过程进行调控,如投入到基础设施建设以抵御重大自然灾害,减少饥民的产生以维系人口子系统的稳定,抑制流民及社会动乱以避免发生内乱,抗御外敌入侵以消除外患。

社会粮食安全直接和间接地受气候变化所导致的粮食生产变化影响,同时,社会配给和消费粮食过程中取丰补歉(储粮备灾、从余量区向缺粮区调粮)的行为是社会调节气候变化对粮食安全影响的重要手段,从一定意义上讲,社会粮食安全状况可以反映社会应对气候变化影响的能力,有充足的粮食供社会支配和消费是控制气候变化影响的进一步扩展、维持社会经济的正常运转前提。在优先保障个体生计安全的前提下,社会所配给的粮食份额实际上相当于从生产的粮食中扣除满足生计粮食安全所需份额后剩余的部分,在粮食生产因气候变化减产时所采取的减缓、减免税收等措施实际上就是减少社会粮食配给的比例,粮食减产幅度越大,社会可配给的粮食比例就越小。而在维系粮食安全的社会粮食消费中,一个重要方面就是将社会可支配的粮食调运到灾区,救济因气候变化而出现生计粮食安全危机的灾民,灾民饥荒越严重,用于救济行为的社会粮食需求量就越多;如果气候变化的影响发展到引发社会动乱或国家间争端的程度,用于强化治安、剿抚动乱和抵御外敌等社会维稳行为所支出的社会粮食消费量也难免较正常情况显著增加。如果社会粮食配给和消费体系运转失灵,气候变化的影响

将最终导致社会秩序的崩溃与区域的衰落(图3)。

5) 社会响应行为的层次性及其适用区间。以粮食安全为主线,可将历史气候变化对社会不同层次的影响归结为有机联系的影响与响应链。气候变化-农(牧)业收成-食物的人均供给量-饥民-社会稳定性的因果链是气候变化影响与响应发展的最主要途径。然而,气候变化的影响绝非单向的,更不是简单的线性因果关系,而是一种非线性过程。气候变化的直接影响在因果链上的发展需要特定的物理暴露条件(自然、人口数量和社会条件等)与之相匹配,人类各种主动或被动的响应行为,构成了气候变化影响与响应链中的调节因子,诸如耕地、人口、政策、外来势力都会对气候变化的影响起到放大或抑制的作用,气候变化影响最终形成的种种社会后果绝不仅仅由气候变化引发,而是整个响应过程链的产物。

随着气候变化影响从低(资源)到高(社会)层次的逐级传递,在各层次上均可能导致不同的社会风险,与此相对应,人类响应不同层次气候变化影响的主题和响应行为也不尽相同,但目的都是通过人类的主动行为去适应气候的变化,保障粮食安全,维持社会系统稳定。历史上人类对气候变化影响的响应方式按行为主体可分为生产行为、民众行为和政府行为3类。各行为主体的响应方式具有显著的层次性特征,每种措施都有一定的适用区间,针对不同的气候变化影响阈值,一旦阈值被突破,影响会被进一步放大进入下一个层次,社会的响应方式也会发生相应的改变。在每一个层次上,民众的自发行为和政府层面的体制运转与政策调控具有重要的作用,两者彼此互动关系的良性与否,决定了整个社会面对外部压力时所具有的应对能力的高低,并对气候影响起到放大或缩小的作用。与生产层次的响应行为不同,民众和政府的响应行为均可以在突破区域资源利用极限时,动用其它区域和国家储备等资源,因而这2类响应措施主要取决于区域粮食配给安全的保障能力,以气候变化的冲击不突破国家范畴的资源利用极限为其所能承受的阈值(图3)。

对已发生事件的归纳总结是公众形成对气候变化影响认知的主要途径<sup>[25,26]</sup>,历史上更是如此。建立在此基础上的人类适应行为,符合有限理性决策的基本特点<sup>[25]</sup>,一般而言,人类对降水变化所采取的适应行为较对温度变化的适应迅

速,对极端气候变化的适应较对均值变化的适应迅速;在面对重大事件的影响时,响应行为往往是过激的<sup>[27]</sup>。

6) 历史气候变化影响与响应的区际关联。一个地区发生的气候变化影响及其响应行为会通过多种方式传递到相关的其他地区,造成气候变化影响的异地响应及区际关联。中国的气候和社会经济区域差异显著,气候变化的影响也因此存在显著的区域差异,这为通过区际联系进行区域粮食安全的调节提供了可能。区际之间的关联可以具体归纳以下3个方面。

第一,区域影响过程受关联区域的调节。受气候变化影响地区的粮食危机通常可通过粮食调入或移民输出两种途径进行调节<sup>[23,27]</sup>,从而与其他区域产生区际关联。粮食调运属发生在经济子系统的调节行为,粮食调入区域的粮食安全在很大程度上依赖于粮食调出区的粮食供给能力,这种能力受到调出区土地生产力、气候变化和人口等因素的制约。移民输出属发生在人口子系统的调节行为,受气候变化影响区域通过自发和政府组织的向区外移民而缓解粮食安全危机,与移民目的地发生区域关联。如果移民目的地的人口较少、开发程度较低,大量的外来移民可能会加速人口移入区的开发;否则,可能加重人口移入区的粮食安全问题,使本地人口与外来人口之间的矛盾冲突加剧。

第二,区域影响扩散使其他区域受到连带的影响。当受气候变化影响区域粮食配给安全发生问题时,区域内部粮食价格的上涨会引发周边地区粮价的上涨;受影响区域的流民潮、社会动乱均可能波及周边地区,移民接收地的人口、土地开垦、乃至行政建制均可能因大规模移民的涌入而出现非常规增长,特别是大规模农民起义所经地区均难免遭受战乱的袭扰;政府用于维持受影响区域粮食安全和社会稳定财政投入的增加,将增加其他地区的经济负担,使得其他地区乃至整个国家经济都因此影响。

第三,气候变化影响改变区域间的互动关系。气候变化影响国家或区域的矛盾外部化,可激化与其他国家或地区之间的矛盾冲突或改变彼此之间的力量对比。如果受气候变化影响的国家或地区试图将其所遇到的安全危机转嫁到其他国家和地区时,难免激化与这些国家和地区的矛盾,

甚至发生战争;原本力量均衡的两个国家或地区,因受气候变化影响程度的不同而发生力量对比的此消彼长,处于劣势的一方因此更多地受到来自相对强势一方的威胁。

### 2.3 历史气候变化影响与响应的复杂性与认识的不确定性问题

1) 气候变化的社会影响与响应机制的复杂性。气候变化的社会影响与响应机制的复杂性突出地表现在3个方面。首先是途径的多样性。气候变化-农(牧)业收成-食物的人均供给量-饥民-社会稳定性的影响-响应链是气候变化影响发展的最主要途径,但并非惟一途径。极端情况下气候变化可直接影响决策者的认知和行为<sup>[10]</sup>。其次是基于粮食安全的气候变化影响与响应过程不能归结为简单的因果关系,而是一种对影响起放大或抑制的作用的非线性过程,气候变化影响的最终结果可能与气候变化初始影响相差甚远。人类对气候变化各种响应方式的阈值也不是一个统一的气候要素值或变化幅度,而是因时因地而变的。第三是存在诸多的非气候因素影响。气候变化影响只是社会发展的影响因素之一,许多社会事件的发生不一定需要气候变化驱动,即便是对气候变化的社会响应也受各种社会经济因素的制约,区域空间尺度的不同、社会政治与经济条件的不同、社会本身适应能力的进化、甚至许多随机因素都可能使得同样的气候变化产生不同的社会后果。对于中国社会这样一个极其复杂的巨系统而言,简单地把一些历史事件归结为气候变化影响是危险的。为论证气候变化确实对历史事件产生了影响,需要对气候变化可能起作用的关键环节及相关条件进行深入分析和小心求证,包括排除非气候因素在各个环节中起决定性作用的可能性。

2) 历史气候变化及其影响与响应史实认识的不确定性。首先是有关历史气候变化史实的认识的不确定性,突出地表现在3个方面。一是部分代用资料所指示的气候变化意义存在一定的歧义<sup>[11-16]</sup>。二是同一区域不同重建结果之间存在很大的差异,甚至超过历史时期气候变化的幅度<sup>[28]</sup>。三是某些气候变化重建结果的区域差异,尚不能确定是否是由重建的不确定性造成的<sup>[28]</sup>。有关气候变化影响与响应史实重建结果的不确定性更大,代用资料的不完备性较之重建气候变化的代

用资料更为突出,对如何有效地剔除这些代用资料中的大量非气候变化信息尚在探索之中,相关的历史重建的方法也尚不成熟。

## 3 结 论

历史气候变化影响与响应问题是气候变化驱动的人地关系问题,其主要关注的科学问题是,由气候变化所导致的资源和灾害变化对人类社会的作用,人类对气候变化影响的认知与所采取的响应行为,以及气候变化所造成的最终结果。通过认识过去人类-气候-生态系统在多时空尺度上的相互作用机制与过程,增强对当代气候变化影响与人类社会适应的理解是过去全球变化研究计划(PAGES)研究的重要主题之一。

气候变化的影响从根本上讲是由资源和灾害的变化引起的。然而,气候变化的影响不能归结为简单的因果关系,它是由气候变化与暴露于气候变化中的社会系统的脆弱性共同决定的,而脆弱性是系统对气候变化敏感性和人类社会应对气候变化的响应能力的函数。基于以上认识开展研究,可避免片面地强调气候变化对社会的影响。

基于现代全球变化研究中关于脆弱性和粮食安全的概念,中国历史时期气候变化的影响问题可归结为粮食安全问题,具体可分解为粮食生产安全、粮食供给安全、粮食消费安全3个层次。在此框架下,气候变化-农(牧)业收成-食物的人均供给量-饥民-社会稳定性的影响与响应链构成了气候变化影响发展的最主要途径,并通过多种途径产生区域关联。气候变化的影响在过程链中的传递需要特定的人口数量(影响到人均食物占有量)和社会条件(影响到社会应对饥荒的能力)等与之相匹配。作为一种非线性过程,诸如耕地、人口、政策、外来势力等都会对基于粮食安全的气候变化影响起着放大或抑制的作用。民众的自发行为和政府层面的体制运转与政策调控在历史气候变化影响与适应过程的各个环节中均发挥重要的作用,但在特定的历史条件下,每种调节方式的调节能力均存在极限。

气候变化的影响是制约人类社会发展的—种客观因素,既有不利的一面,也有有利的一面,即使是不利的影响也不能全都看成是消极的,人们对不利环境影响的积极响应在一定程度上也是社会与文明发展的机遇。对气候变化的影响需要客



观、辩证地看待,无视其影响的地理环境虚无主义和夸大其影响的地理环境决定论都是错误的。

## 参考文献:

- [1] IHOPE. Developing an Integrated History and Future of People on Earth (IHOPE): Research Plan (IGBP Report No. 59) [EB/OL]. <http://www.stockholmresilience.org/ihope>, 2010.
- [2] Buntgen U, Tegel W, Nicolussi K, et al. 2 500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility[J]. *Science*, 2011, **331**(6017): 578-582.
- [3] Richard S J, Wagner T S. Climate change and violent conflict in Europe over the last millennium[J]. *Climatic Change*, 2010, **99**: 65-79.
- [4] Burke M B, Miguel E, Satyanath S, et al. Warming increases the risk of civil war in Africa[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, **106**(49): 20670-20674.
- [5] Weiss H, Bradley R S. What Drives Societal Collapse?[J]. *Science*, 2001, **291**(5504): 609-610.
- [6] Haug G H, Günther D, Peterson L C, et al. Climate and the collapse of Maya civilization[J]. *Science*, 2003, **299**(5613): 1731-1735.
- [7] Patterson W P, Dietrich K A, Holmden C, et al. Two millennia of North Atlantic seasonality and implications for Norse colonies [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, **107**(12): 5306-5310.
- [8] Hsu K J. Sun, climate, hunger and mass migration[J]. *Science in China (Ser. D)*, 1998, **41**(5): 449-472.
- [9] 葛全胜. 中国历朝气候变化[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [10] Zhang D, Jim C, Lin C, et al. Climate change, social unrest and dynastic transition in ancient China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2005, **50**(2): 137-144.
- [11] Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J, et al. Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian Monsoon[J]. *Nature*, 2007, **445**: 74-77.
- [12] Zhang P Z, Cheng H, Edwards R L, et al. A test of climate, sun and culture relationships from an 1810-year Chinese cave record[J]. *Science*, 2008, **322**(5903): 940-942.
- [13] Zhang D E, Li H C, Ku T L, et al. On linking climate to Chinese dynastic change: Spatial and temporal variations of monsoonal rain[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, **55**(1): 77-83.
- [14] Cheng H, Edwards R L, Haug G H. Comment on "On linking climate to Chinese dynastic change: Spatial and temporal variations of monsoonal rain" [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, **55**(32): 3734-3737.
- [15] Zhang D E, Li H C, Ku T L, et al. Reply to the comment of Cheng et al [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, **55**(32): 3738-3740.
- [16] Zhang D E, Lin L H. Anti-correlation of summer/winter monsoon?[J]. *Nature*, 2007, **450**(7168): E7-E8.
- [17] Gallopin G, Gilberto C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity[J]. *Global Environmental Change*, 2006, **16**(3): 293-303.
- [18] Bossel H. Indicators for sustainable development. Theory, method, applications[M]. Winnipeg, Canada: International Institute for Sustainable Development, 1999.
- [19] James J, McCarthy, Osvaldo F, et al (Eds.). *Climate Change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability, Contribution Of Working Group II to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change* [M]. UK: Cambridge University Press, 2001.
- [20] 张兰生, 方修琦, 任国玉. 全球变化[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [21] 刘燕华, 葛全胜, 方修琦, 等. 全球环境变化与中国国家安全[J]. *地球科学进展*, 2006, **21**(4): 346-351.
- [22] GECAFS. A Set of Prototype Caribbean Scenarios for Research on Global Environmental Change and Regional Food Systems [R]. GECAFS Report, 2006, No. 2; 62pp, Wallingford.
- [23] 方修琦, 萧凌波, 魏柱灯. 18~19 世纪之交华北平原气候转冷的社会影响及其发生机制[J]. *中国科学(地球科学)*, 2013, **43**(5): 810-823.
- [24] 张家诚. 气候变化对中国农业生产的影响初探[J]. *地理研究*, 1982, **1**(2): 8-15.
- [25] 云雅如, 方修琦, 田青. 我国东北农业生产适应气候变化行为的行为经济学解释[J]. *地理学报*, 2009, **64**(6): 687-692.
- [26] 常跟应, 李曼, 黄夫朋. 陇中和鲁西南乡村居民对当地气候变化感知研究[J]. *地理科学*, 2011, **31**(6): 708-714.
- [27] 方修琦, 叶瑜, 曾早早. 极端气候事件-移民开垦-政策管理的互动——1660~1680 年东北移民开垦对华北水旱灾的异地响应[J]. *中国科学(D 辑)*, 2006, **49**(7): 680-688.
- [28] 葛全胜, 刘健, 方修琦, 等. 过去 2000 年冷暖变化的基本特征与主要暖期[J]. *地理学报*, 2006, **68**(5): 579-592.

## Historical Climate Change Impact-Response Processes Under the Framework of Food Security in China

FANG Xiu-qi<sup>1,2</sup>, ZHENG Jing-yun<sup>2</sup>, GE Quan-sheng<sup>2</sup>

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Institute of Geographical Sciences  
and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract:** It is one of the core themes of the Past Global Change Sciences (PAGES) that to understand the mechanism and process of the past human-climate-ecosystem's interaction in various spatial and temporal scales in order to improve the understanding of contemporary climate change impacts and adaptation. The topic is also the important theme of historical man/milieu relationships that is a big issue of concern by geographers. In this article, concepts of vulnerability and food security in the regime of Global Changes are used to illustrate historical climate change impact-response processes in China. Corresponding to the food access, food availability and food utilization, the food security of historical China is simplified to three levels of food production safety, food supply safety and food consumption safety. The food production safety was the base of food security which could reflect the social sensitivity to climate change. The food supply safety was the capacity of the society to accommodate the crisis of regional food security which could indicate the social capacity to response the impacts of climate change. The food consumption safety was the final state of food security. The insecurity of food consumption was essential for the occurrence of social instability impacted by climate change. The processes related to the impacts of climate change to grain productivity, food supply production security, individual food security, and social security are discussed. For human society, climate change means the changes of climatic resources or disasters. Impacts of climate change occurred from the direct impact on the grain harvest, then transferred further up to the sub-systems of economy, population and society mainly through the impact-response chain of climate change, agriculture harvest per capita food supply, famine, and social stability. However, the impact-response processes of climate change could not be attributed to a simple causality. The initial impact could be amplified or suppressed in feedback processes affected by many factors in each sub-system, such as arable land, population, policy, foreign forces, and so on. Both people's spontaneous behaviours and the government's organized policies and operations played very important roles in all steps of adjusting the responses on the impacts of climate change. But each adjustment had its limitation under the given historical condition. The impact of climate change could be positive or negative. To a certain degree, even the negative impacts could be converted into new opportunity for development if right countermeasures were taken. This article has provided a framework on the impact-response processes of historical climate change. Further research should be carried out to measure the processes quantitatively on the base of the framework.

**Key words:** food security; historical climate change; impact of climate change; China