

全球环境变化下人-环境耦合系统的脆弱性研究综述

陈 萍^{1,2}, 陈晓玲^{2,3}

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430022;
3. 江西师范大学鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 南昌 330006)

摘 要:全球环境变化导致的冲击和压力已经成为社会与生态系统可持续发展的主要障碍,脆弱性分析作为可持续研究的主要分析工具之一引起了研究者的广泛关注。目前脆弱性研究还没有形成完善的理论体系、规范的评估程序和普遍适用的方法。本文在阅读了国内外脆弱性研究相关文献的基础上,从人-环境耦合系统的角度总结了脆弱性的概念框架,对不同研究背景下的脆弱性定义和三个组成要素进行了深入的分析,归纳了脆弱性研究的核心问题;梳理了脆弱性的起源、发展和现状,总结了人-环境耦合系统脆弱性研究中的热点问题和几个典型的脆弱性综合分析框架。由当前脆弱性的发展状况指出了未来脆弱性研究需要解决的问题;确定并有效表达系统脆弱性与多个压力间的因果关系、人-环境耦合系统的不确定性、脆弱性动力学机制问题和脆弱性与风险管理决策的信息互动关系。

关 键 词:脆弱性;全球环境变化;人-环境耦合系统;分析框架;挑战

1 引言

人类活动引起的全球环境快速变化,近年来已严重冲击了地球的生物物理及社会系统。这些变化不仅表现在地球总体的变化中,极端天气事件更是常在局地造成严重的威胁^[1]。全球环境变化导致的冲击和压力已经成为人类可持续发展的主要障碍。当前人类还无法改变环境变化趋势的情况下,改变人类自身行为和调整社会结构以适应当前和未来潜在变化是最佳的选择。因此脆弱性研究应运而生,成为众多学术研究的关注焦点,是可持续分析的主要分析工具之一^[2]。弹性(resilience)、脆弱性(vulnerability)和适应(adaptation)是全球环境变化人文因素计划(IHDP)中三个非常重要的核心概念,被作为全球环境变化人文因素研究的4个交叉主题之一^[3]。刘燕华等在探讨全球气候变化对中国脆弱生态区的可能影响及其脆弱性分析的基础上,提出了南北方5个典型的脆弱生态区的可持续发展模式^[4]。脆弱性研究已经广泛用于社会风险检验、风险来源分析以及社群或地区如何适应和减轻风险的方法中^[5]。在脆弱性研究呈现一派欣欣向荣发展势头时,也应看到其基于宽泛的基础和应用背景,它还没有形成完善的理论体系、规范的评估程序和普

遍适用的方法。因此脆弱性研究正面临着前所未有的机遇和挑战。本文主要从人-环境耦合系统的角度出发,阐述全球环境变化背景下脆弱性的研究发展状况。此处,人-环境耦合系统是指人类活动与自然环境通过相互作用和复杂的反馈作用而在彼此影响下形成的整合系统。

2 脆弱性的概念框架

2.1 脆弱性的定义

从经济学、人类学到心理学、工程学等,脆弱性这个概念被广泛使用在社会科学中^[6-8]。由于被研究的问题来自于不同的学科背景,脆弱性作为分析工具被应用到具体的案例时其内涵各不相同。最初脆弱性术语主要使用在贫困和发展研究中,90年代初首先由Liverman将此术语用于全球环境变化研究^[9]。目前在全球环境变化研究中政府间气候变化专门委员会(IPCC)对脆弱性的定义使用最为广泛。脆弱性是系统对气候变化(包括气候变异和极端气候事件)导致的负面影响的敏感程度和不能处理的程度^[10]。联合国开发计划署的危机预防与恢复项目(UNDP for Crisis Prevention and Recovery)定义人类脆弱性为自然、社会、经济和环境因素引起的状态

收稿日期:2009-06; 修订日期:2009-12.

基金项目:国家科技支撑计划课题(2007BAC23B05);科技部中德国际合作项目(2006DFB91920)。

作者简介:陈萍(1978-),女,博士研究生,主要从事遥感技术在流域生态环境中的应用研究。E-mail: cp_chenping@126.com

或过程,它们决定了灾害导致的损害的可能性和严重程度^[11]。Adger 定义脆弱性为系统暴露于环境或社会变化中,因缺乏适应能力而对变化造成的损害敏感的一种状态^[6]。Turner II 认为脆弱性是系统、子系统或系统组分因暴露在灾害下可能经历的损害程度^[12]。此定义中,灾害是指对一个系统的威胁,它由扰动、压力以及二者导致的结果构成;扰动是指系统中出现超出常规的变异过程,如特大台风或强烈地震,扰动通常来自于系统的外部;压力是在正常变化范围内连续和缓慢增长的力量,如土地退化,压力起源于系统内部;风险是扰动或压力造成的结果的可能性和严重程度^[12],它取决于暴露在危险事件中的概率。无论是何种定义,它们的共同之处在于:脆弱性并不是孤立于资源使用的政治经济状况而独立存在,它是在有意识和无意识的人类活动的驱动下,未来或潜在的压力与冲击对系统造成的影响程度的描述。

通过对不同的脆弱性定义进行分析,可将其归为两类。一类认为脆弱性是系统本身的一种状态和特质,当系统面临外界或内部的扰动时,这种特质就会显现出来;另一类是将脆弱性定义为系统因受到胁迫时可能造成的严重后果,这种后果的严重程度取决于系统对胁迫的暴露程度。在气候变化研究中,O'Brien 等^[13]认为上述两种脆弱性定义是从不同角度对脆弱性的解释:第一类定义视脆弱性为研究问题的起点(Start-point)。它是系统自身的、动态的属性,随着地方社会、政治、经济条件的连续变迁,脆弱性可理解为系统的动态过程和应对能力的变化。改变系统对气候变化的脆弱性水平需要提高系统对气候变异和长期气候变化不确定性的应对能力;第二类定义视脆弱性是灾害发生的结果,是结束点(End-point)。这类定义是从全球环境变化导致的灾害角度出发,解决气候变化问题的途径是通过温室气体的减排来降低系统的暴露度,最终降低气候变化的影响。刘燕华等将脆弱性归类为结构型脆弱性和胁迫型脆弱性^[4],与 O'Brien 对脆弱性的两种理解在本质上是相同的。

2.2 脆弱性的组成

尽管对脆弱性的表述各有不同,但是研究者普遍认为脆弱性有暴露度(Exposure)、敏感性(Sensitivity)和适应能力(Adaptive Capability)^[5-6]三个构成要素。环境和社会驱动力相互作用决定了暴露度和敏感性,不同的社会、文化、政治和经济条件改变着暴

露单元的适应能力^[14]。暴露度是系统经历环境和社会压力或冲击的程度,它与压力或冲击的强度、频率、持续时间以及与其对系统的邻近性有关,例如洪水爆发时,人口密度大的河岸地区比山区的暴露大,河岸地区对洪水的脆弱性大于山区。通过人口迁移可以改变暴露度从而降低人群对洪水的脆弱性^[15]。敏感性是暴露单元容易受到胁迫的正面或负面影响的程度,是胁迫与所产生的后果之间多维度的剂量反应关系。例如农业生态系统对全球气候变化的敏感性高于其他部门。任何水热分布的细微变化,都会导致农作物的生长期发生变化,从而影响农作物的产量。适应能力是系统能够处理、适应胁迫以及从胁迫造成的后果中恢复的能力,它由财富、技术、教育、信息、技能、基础设施、稳定能力和管理能力等决定^[10],可用阈值(Threshold)和应对范围(Coping Range)表示。系统进行结构或功能的调整以扩大可应对压力的范围称为适应(Adaptation)。例如某地农民长期面临干旱,通过滴灌、改善土地质量以增加保水能力等管理措施逐渐适应了缺水状态,这些适应过程降低了农民对干旱的敏感性;此外农民也可以通过种植抗旱作物和开采地下水来降低对干旱的敏感性。我们将潜在的可行方法称作适应能力,一旦这些适应能力得到实现,它将转变成系统正常功能的一部分,从而降低对灾害敏感性的同时相应地降低了脆弱性程度。因此脆弱性可以表达成暴露度、敏感性和适应能力的函数。通常暴露度和敏感性的增加,会增大暴露单元的脆弱性;适应能力与脆弱性的关系则比较复杂。例如经济水平高的社区通常被认为对灾害有很强的适应能力。因为高经济水平往往能够提供先进的科技手段和更优的生存空间,以避免灾害的冲击。但是如果这样的社区处于良好的孕灾环境中,一旦灾害来临,同样的暴露程度下,单位面积的损失远远大于经济落后的社区。因此超出一定阈值范围或应对范围的高或低经济水平的社区都需要在灾害或压力造成的脆弱性方面给予更多关注,因为适应能力与脆弱性间的关系并非简单的线性关系。

2.3 脆弱性研究中的核心问题

脆弱性的研究内容是自然生态系统、社会系统或者其子系统在面对压力或冲击时的潜在损失和敏感状态。脆弱性评价因此将聚焦在某个经济活动、群体或地理区域的某些属性上,这些属性依据背景环境的不同而变化。脆弱性研究需要分析目标

系统与背景环境之间的相互联系,社会和自然系统的结构特征,以及社会系统中个体的社会价值、社会意义和认知能力对脆弱性的影响。在脆弱性研究中,需要解决以下几个核心问题:①如何定义人-环境耦合系统,社会系统和生物物理系统之间的相互作用和反馈关系,人-环境耦合系统在特定阶段的理想状态是怎样的;②面临某个或某些压力(与冲击)时,人-环境耦合系统中的暴露单元的哪些属性应受到关注,这些属性将在系统处于扰动状态下时对其进化方向起主导作用;③系统面对的多个压力(与冲击)之间如何相互作用,它们如何改变暴露单元的属性;④压力(与冲击)会造成何种潜在的损失,潜在损失的时空分布和动态变化有规律可循吗?采取何种措施能最小化损失,并最大限度地返回到系统理想状态。此处的系统理想状态是指系统以正常的发展速度应达到的状态,而不是静态地和被扰动前的水平相比^[16]。

3 人-环境耦合系统的脆弱性研究进展

3.1 人-环境耦合系统的脆弱性研究起源

全球环境变化的脆弱性相关理论起源于人文地理学中的灾害研究和从政治经济角度出发的权利失败(Entitlement Failure)理论。20 世纪 80 年代,许多气候变化脆弱性的早期研究工作主要集中在自然灾害研究方面。这个时期的灾害脆弱性研究将脆弱性视为灾害对人群或地方造成的结果。基于此灾害理论发展起来的全球环境变化的脆弱性研究,最初应用于评估未来温室气体预测排放量对生物物理的影响以及可选择的适应措施,用采取适应措施后的气候影响净值代表气候变化导致的脆弱性水平。因此脆弱性是系统至于一系列来自于全球环境变化的外部物理威胁下的暴露度的函数。它关注的焦点是生物物理脆弱性,生活在不稳定物理环境下的主体。单独基于生物物理因素不能全面地反映气候变化对社会与生态系统的影响,脆弱性是灾害造成的结果这种观点无法解释在面对同样强度的灾害时,不同的人或地方为何灾害损失差异显著。

灾害理论无法充分解释灾难的起因及其导致的后果。例如通常认为饥荒的发生是由自然灾害如干旱、洪水等导致的粮食产量下降所致,但更多情况下饥荒和食品不安全是由疾病、战争或其他因素引起的,而非仅由食物缺乏导致^[17-19]。权利失败理论

从社会经济的角度来分析贫困和发展问题。该理论认为饥荒和自然灾害这些现象并不是相互独立的,饥荒不仅与粮食生产和农业扩展有关,也与整个经济体的运作有关,甚至更广泛地与政治和社会结构有关,后者能够直接或间接地影响人们获取食品、维持健康和营养状况的能力。此理论引发灾害研究的学者将灾害研究的重点由研究灾害本身转向承灾体的社会经济属性对灾害结果的放大或缩小的作用上来。灾害发生的机理是作为自然致灾因子的灾害危险水平,在空间上的分布是高低不均匀的,如果人类的社会经济活动忽视了区域自然致灾因子的空间集聚或高发区分布,就会对经济与社会发展产生潜在的危险,当人类抵御灾害发生的能力达不到自然致灾因子的作用力,灾害则必然发生^[20]。灾难是自然过程和人类社会相互作用的结果^[21]。因此将人文因素纳入到脆弱性研究中是其发展的必然结果。

3.2 人-环境耦合系统的脆弱性研究现状

3.2.1 当前研究的热点

(1)确定人-环境耦合系统对环境变化导致的灾害响应阈值

在生态系统弹性力的分析中,通常会对系统的不同状态明确定义多个阈值。当生态弹性力的相关概念被引入到社会和环境变化导致的潜在损失分析时,阈值的动态研究就为脆弱性分析的有力工具和热点之一^[22-24]。当前全球环境变化研究中,耦合与嵌套的人-环境系统相互作用过程模型不仅全面地模拟了未来气候变化的影响和系统的响应与变化,同时强调确定这些变化的生态阈值的重要性^[25]。阈值定义了生态系统功能发生变化的节点或是社会系统在某响应时刻的经济活动水平,它的变化反映了社会系统及其环境由一个阶段进化到另一个阶段的过程。因此阈值为利益相关者提供了计算未来某发展阶段系统脆弱性的参考点,以计算变化的风险水平,并选择有针对性的适应措施避免或减小损失。但是阈值的设定是定量分析中的难点。在某尺度上的阈值水平会随着其影响因素和组成要素的变化而发生变化,不同研究区域的脆弱性动态特征决定了阈值在时间和空间上的不确定性。因此在脆弱性评价中,任何有意义的阈值都必须基于特定地方与时刻,由人-环境耦合系统对风险的承受能力决定,而不是简单的比例问题。

(2)脆弱性与适应力、弹性力的关系

Jassen 等分析了 1967–2005 年出版的 2286 个刊物中与全球环境变化人文因素研究弹性力、脆弱性和适应力相关的文献,结果表明这三个方面出版物的数量在 1995–2005 年间迅速增长,文献交叉引用的次数不断增多,说明三者之间的联系越来越紧密^[9]。脆弱性、弹性力和适应力随着学科的发展演化出各种形式的定义和表达形式,这对它们的理解和应用造成很大的障碍。Gallopín 从系统的角度出发分析了三者的关系^[26]。他认为脆弱性与弹性力不是简单的对立关系,脆弱性强调的是面对压力与冲击时系统结构的变化,而弹性力是根据系统状态的变化来定义的。脆弱性和弹性力两者就像一个双螺旋结构,在不同的社会层面和时空尺度中交叉,它们是不可分离的^[16]。对于适应能力和弹性力的关系存在许多观点,一些学者将适应能力等同与社会弹性力,Carpenter 等认为适应能力是弹性力的组成部分,它反映了系统通过学习等行为方式对扰动做出的响应^[27]。适应能力可用阈值或是应对范围来表示,系统不同层次水平主体的适应能力存在差异,而且适应能力随着系统的演化也在变化着^[14]。这表明适应能力具有复杂的动态特质和高度的时空尺度依赖性。因此还没有一个普遍适用的表达暴露度、敏感性和适应能力与脆弱性之间关系的模型。

(3)脆弱性的度量

多数脆弱性研究是为了解释地方或群体对环境变化脆弱性的因果关系,并试图寻找一种普遍适用的脆弱性度量方法。脆弱性作为人-环境耦合系统的动态现象,反映了生物物理和社会经济过程改变地方状态和系统对胁迫应对能力的动态特性^[13]。脆弱性评价应反映这些动态过程和复杂的系统内外联系和反馈过程,需要将定性和定量的分析方法结合使用以进行脆弱性时间和空间分布模式以及不同系统脆弱性相对大小的比较。人-环境耦合系统的构成多样性和内部嵌套过程的复杂性要求研究者综合全面地分析系统内各个利益相关者对环境压力的响应以及环境对人类活动的反馈作用。在此基础上,由定量分析给出被评估系统脆弱性水平相对大小的空间分布,将结果用于风险和灾害管理的决策过程^[28]。指标评价法被普遍采用,但指标选取的主观性和权重不确定性,使该方法的精度受到很大影响,而且特定的环境背景和研究尺度下,需要建立不同的评价指标体系。也有学者在外界压力指标(如气候变化导致的气温变化)、脆弱性表征指

标(如农作物产量下降幅度)间建立函数关系,根据脆弱性表征指标相对于其阈值的大小来描述外界压力导致的脆弱性的程度^[6,29]。

(4)多源数据融合的脆弱性评价

脆弱性评价中的数据通常来自于实地调查、统计数据以及设站观测数据。近年来遥感和 GIS 技术的广泛应用开辟了脆弱性评价的数据来源新渠道和新方法。Forte 等以意大利南部 Graden 地区为研究区,利用航空像片、遥感影像及数字地面模型(DTM),结合历史洪水记录和水文数据,评估了该区域夏秋冬爆发洪水的脆弱性状况^[30]。王瑞燕等应用非线性科学理论,借助遥感手段设置生态环境样方,对黄河三角洲典型生态脆弱区的生态环境脆弱性的时空演变进行了系统的研究,对脆弱性的量化研究进行了新的尝试^[31]。遥感技术和 GIS 技术结合特别适合快速评价生态环境的脆弱性^[32–34]。遥感技术虽然能有效地获取生物物理信息,但是在提取和定量反演社会经济信息方面还没有得到较大突破。而社会经济因素对人-环境耦合系统脆弱性的评价至关重要,因此如何在这三者间建立数学模型以利用遥感数据评价人-环境耦合系统的脆弱性是值得深入探讨的问题。

3.2.2 典型的人-环境耦合系统的脆弱性评价框架

多数的脆弱性分析都是基于单个压力或一类压力度量人与环境系统的脆弱性^[35]。农业系统与物种对气候变化导致的脆弱性的研究最为广泛^[7,36–40],其次是气候变化导致的海平面上升而引发的极端事件的脆弱性研究^[41–44]。与人类生活息息相关的自然景观的脆弱性研究包括流域、河口、三角洲、海岸带、湖泊和湿地等^[41,45–47]。这其中又涉及到对脆弱性的组分和属性的研究,包括构成脆弱性的敏感性^[48]和适应能力^[14,49–50,52]研究以及脆弱性尺度问题的探讨^[51–53]。脆弱性问题十分复杂,它是生态环境,社会经济结构,政治制度,文化背景等相互作用的结果。家户、社群、地方、区域和国家及全球尺度上的脆弱性不尽相同,不同尺度间脆弱性的决定因素相互联系和相互影响。鉴于人-环境耦合系统的复杂性与非线性、时空尺度的多样性,以及脆弱性无法直接观测和缺乏统一的术语内涵^[35],普遍适用的脆弱性模型很难适应特定的环境背景。因此建立满足不同需求的评价框架和模型对于评价工作十分重要。以下给出了近年发展的典型的人-环境耦合系统脆弱性评价框架。

南太平洋应用地学委员会(SOPAC)和联合国环境规划署(UNEP)基于人类福利提出了自然环境脆弱性指数 EVI,将其与经济脆弱性指数和社会脆弱性指数结合以理解国家尺度上对可持续发展产生负面影响的过程。该环境脆弱性指数的理论框架包括三个组成部分:①脆弱性模型,用于确定脆弱性的组成要素和它们之间的相互依存关系,确定用何种环境属性指标来与这些要素进行关联;②系统模型,用于定义目标系统层次分解的方式,将系统分解成不同等级的层,便于由下至上地计算每个层次(子系统与系统)的脆弱性;③数学模型,将响应个体的脆弱性指标由低到高分层组织起来,由数学总合方法生成整个系统的脆弱性指数。

Cutter 将脆弱性定义为潜在的损失,认为脆弱性研究应包括 3 个部分^[54]:①暴露于灾害下的脆弱性,主要研究灾害发生的分布范围,人类对易发生灾害的地区的占有状况和灾害导致的潜在损害程度;②社会脆弱性,关注社会对灾害的响应与应对能力,以及从灾害损失中的恢复能力。它强调了社会因素对脆弱性的影响;③地方脆弱性,它是特定地理单元上暴露于灾害的脆弱性和社会脆弱性的总和。Cutter 综合上述 3 个部分,提出了综合的地方灾害脆弱性模型(Hazards-of-Place Model of Vulnerability)^[55]。该模型的最终输出结果是地方脆弱性,它

是地方尺度上的生物物理脆弱性和社会脆弱性的总和。该脆弱性评价框架基于地方尺度,全面考虑了影响脆弱性的地方自然环境和社会经济状况,对于地方尺度上降低脆弱性的决策制定和政策执行具有很强的指导作用。

Tuner II 提出了基于可持续科学(Sustainability Science)的脆弱性分析框架^[112]。该框架的基本思想是:脆弱性存在于人-环境耦合系统的状态和运行过程中。这个脆弱性框架虽然是一个简化分析方法,但是包括了主要系统特征,描述了人-环境耦合系统的脆弱性组成部分以及它们之间的联系。这个框架主要包括:①作用于人-环境耦合系统的动态过程,目标系统与更高尺度系统社会、环境状况间的联系;②来自于这些过程和联系的扰动和压力,以及它们之间的相互作用;③人-环境耦合系统,包括其扰动和压力的暴露度和响应过程;④灾害、人-环境耦合系统和它们的响应的尺度特征。这个框架体现了脆弱性分析中各利益方的相互作用的复杂性,尤其强调在地方尺度上人-环境耦合系统脆弱性的潜在影响因子和不同尺度上的联系。Tuner II 在另一篇文章给出了如何应用此脆弱性分析框架的三个具体案例^[56]。例如对墨西哥的 Southern Yucatan 地区的脆弱性分析中,分析的重点是该地区面临的各種压力(森林砍伐,飓风和水

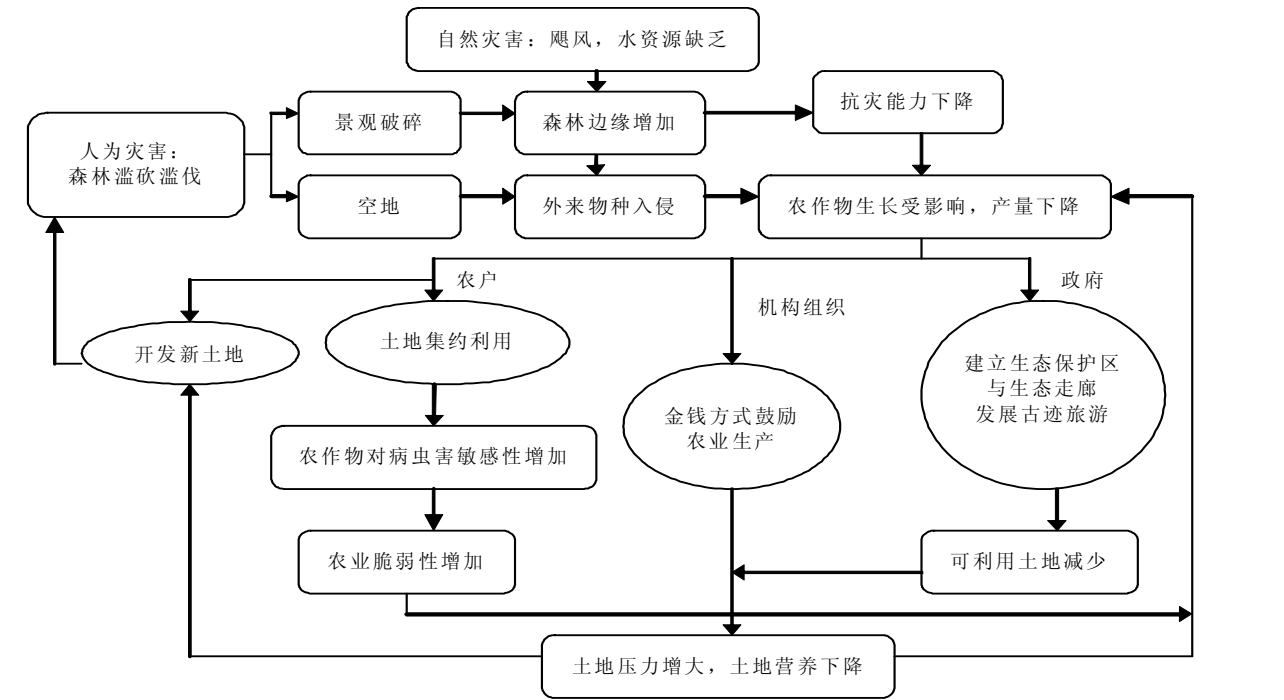


图 1 Southern Yucatan 地区的人-环境耦合系统要素间的相互作用过程^[56]

Fig.1 Interaction and feedback process of the elements in the coupled human-environment system in the Southern Yucatan Region

资源缺乏)和利益相关者(农民,机构组织和政府)针对压力做出的响应。由于这些响应没有以人与环境间相互作用和反馈为依据,导致地方脆弱性程度加重。运用可持续性脆弱性分析框架分析的结果表明响应前需要清楚认识人-环境耦合系统的动态特性,明确响应可能带来的负面结果(图 1)。

目前国内在脆弱性方面的研究主要集中在农业生产对气候变化的脆弱性,地下水的脆弱性,系统对水旱灾害等自然灾害的脆弱性以及经济发达的海岸带地区脆弱性的研究中。商彦蕊认为农业旱灾脆弱性受作物自身性质、生态环境因素与社会经济因素的影响,农业旱灾灾情与农业抗旱能力直接受到社会经济发展水平的影响^[57]。付强等用传统的 DRASTIC 方法评价三江平原地下水的脆弱性时,依据当地特性在指标体系中增加了的土地利用率和人口密度以反映人类活动对地下水的影响^[58]。刘燕华等在区域的尺度上,综合剖析了中国 5 个典型脆弱生态区的脆弱生态特征及主要环境问题^[4]。尽管少有明确地以人-环境耦合系统为对象的脆弱性研究,但是在这些研究中,人与环境耦合的理念深入其中,它们不仅强调系统本身对冲击(压力)易产生响应的属性特征,同时将人的因素对系统施加的作用力融入到了脆弱性的分析中。

4 脆弱性研究面临的挑战

4.1 脆弱性与多个压力间的因果关系

研究表明某尺度水平的人-环境耦合系统的脆弱性是不能通过单个压力得到深入理解的。多个压力之间协同地对系统中的群体或个体对施加作用力,因此暴露单元的响应必须是在综合衡量各方面冲击(或压力)导致的潜在损失后做出的最优选择。因极端天气事件突发性强,造成的后果严重,目前多数研究都是针对在短期内发生的灾害的脆弱性,而对渐变的压力,如荒漠化,土壤盐碱化等,以及由灾害引发的衍生灾害研究不多。在脆弱性分析时,人-环境耦合系统面临的多个压力与其相互作用,形成多层次、复杂的反馈和嵌套关系,应综合分析系统的自然、社会发展历程与相伴相生的外界压力组成体系,在此基础上确定对系统脆弱性起主导作用的因子。另外系统的属性因子对冲击(或压力)的敏感性和适应能力也因冲击(或压力)的不同而有所区别。例如住宅的质量在面对洪水或飓风时,是敏

感性因子,是脆弱性的决定因素,但在面对干旱时却无影响性^[59];系统内部各组成部分的对同一冲击(或压力)受到的影响也不尽相同^[60]。这是由系统内不同成分的社会属性和自然属性决定的。例如妇孺、老人、残疾人、少数民族等弱势群体脆弱性远远大于其他人群。因此,此处的“综合”不仅指对多种冲击或压力的综合考虑,还包括不同冲击(或压力)对人-环境耦合系统各个组分或子系统影响的综合,如何将这些综合信息用一个模型框架表达出来并具有可操作性是亟待解决的问题。

4.2 人-环境耦合系统的不确定性

脆弱性研究是对未来潜在损失程度的预测,多个压力相互作用会引入诸多不确定性和无法预料的结果。人-环境耦合系统是一个人与自然环境要素相互作用的整合系统。由于过去的生态学和社会科学分开独立研究,导致人-环境耦合系统的复杂性研究不足,对系统进化的演化方向和状态无法准确预测。此外科技革新,政策变化等社会经济属性的改变会增加人-环境耦合系统的不确定性因素。Patt 认为全球环境变化尤其是对气候变化的脆弱性的不确定性主要来自三个方面,它们是社会生态系统的复杂性,脆弱性的不同驱动因子间的相互作用关系难以获得数据来验证,未来气候变化预测的时间跨度太长而无法准确预测系统的适应能力^[61]。不确定性因素的引入加大了脆弱性研究结果应用于政府风险管理决策的难度。

4.3 脆弱性的动力学机制

脆弱性分析的一个至关重要的方面在于强调群体或区域的动态属性评估,考察群体如何进入和摆脱危险的动态历史过程及将来应该如何应对^[4]。尽管许多学者强调在脆弱性研究中应注重脆弱性的动态变化研究,但是涉及到脆弱性时间序列研究个案仍然不多,尤其是系统在不同演化阶段脆弱性随时间和空间的变化过程,及脆弱性组成部分暴露度、敏感性和适应能力的时空变化过程都没有的引起足够的重视。影响社会生态系统及其组分对冲击或压力的脆弱性的因素繁多,各因素间关系复杂,目前还难以用模型来模拟脆弱性时空变化过程。

4.4 脆弱性与管理决策

脆弱性分析的最终目标是为地方部门提供制定决策的科学依据以降低变化对地方系统造成的潜在影响。但是,社会和自然系统的脆弱性往往不是决策过程和执行适应措施的中心,适应措施通常

降低那些能有效利用政府政策的主体的脆弱性,而人-环境系统中边缘化和不被重视的主体的脆弱性得不到改善^[55]。因此公平性原则是风险管理和适应政策制定时的重要组成部分。公平性原则要求决策者要正视地方不平等和社会环境不平等,充分考虑脆弱主体调度资源的权利缺失和对压力响应能力的限制,对他们给予政策上的优先关注,并建立快捷有效的信息反馈机制以即时准确地了解脆弱主体的脆弱性改善状况,逐步调整和优化适应措施和政策,将有限的人力、财力等社会资源进行科学地管理与合理调配。

参考文献

- [1] 林冠慧, 吴佩瑛. 全球变迁下脆弱性与适应性研究方法与方法论的探讨. 全球变迁通讯, 2004(43): 33-38.
- [2] Roberts M G, 杨国安. 可持续发展研究方法国际进展: 脆弱性分析方法与可持续生计方法比较. 地理科学进展, 2003, 22(1): 11-21.
- [3] 方修琦, 殷培红. 弹性力、脆弱性和适应: IHDP 三个核心概念综述. 地理科学进展, 2007, 26(5): 11-22.
- [4] 刘燕华, 李秀彬. 脆弱生态环境与可持续发展. 北京: 商务印书馆, 2007.
- [5] Roberts M G, Yang G A. The international progress of sustainable development research: A comparison of vulnerability analysis and the sustainable livelihoods approach. Progress in Geography, 2003, 22(1): 11-21.
- [6] Adger W N. Vulnerability. Global Environmental Change, 2006, 16: 268-281.
- [7] Berry P M, Rounsevell M D A, Harrison P A. Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. Environmental Science & Policy, 2006, 9 (2): 189-204.
- [8] Cannon T. Vulnerability Analysis and Disasters. London: Routledge, 2001.
- [9] Janssen M A, Schoon M L, Ke W. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 240-252.
- [10] McCarthy J J, Canziani O F, Leary N A. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [11] UNDP. Reducing disaster risk: A challenge for development. United Nations Development Programme, Bureau for Crisis and Recovery, 2004.
- [12] Turner II B L, Kasperson R E, Matson P A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences US, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [13] O'Brien K, Eriksen S, Schjolden A. What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change Research. CICERO Working Paper 2004: 04, CICERO, Oslo University Oslo, Norway, 2004.
- [14] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change, 2006, 16 (3): 282-292.
- [15] 陈迎. 适应问题研究的概念模型及其发展阶段. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 133-136.
- [16] 刘婧, 史培军, 葛怡. 灾害恢复力研究进展综述. 地球科学进展, 2006, 21(2): 211-218.
- [17] Blaikie P, Cannon T, Davis I. At risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. London: Routledge, 1994.
- [18] Bohle H G, Downing T E, Watts M J. Climate change and social vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. Global Environmental Change, 1994, 4(1): 437-448.
- [19] 阿玛蒂亚·森. 贫困与饥荒: 论权利与剥夺. 王宇, 王文玉, 译. 上海: 商务印书馆, 2001.
- [20] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践. 自然灾害学报, 2002, 11(8): 1-9.
- [21] 郭跃. 灾害易损性研究的回顾与展望. 灾害学, 2005, 20 (4): 92-96.
- [22] Christensen L, Coughenour M B, Ellis J E, Chen Z Z. Vulnerability of the Asian typical steppe to grazing and climate change. Climate Change, 2004, 63(3): 351-356.
- [23] Laurance W, Williamson B. Positive feedbacks among forest fragmentation, drought, and climate change in the Amazon: Synergistic effects in fragmented landscapes. Conservation Biology, 2001, 15(6): 1529-1535.
- [24] Oyama M, Nobre C. A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. Geophys Research, 2003, 30(23): 2199-2202.
- [25] Eakin H, Luers A L. Assessing the vulnerability of social-environmental system. Annual Review of Environment and Resources, 2006, 31: 365-394.
- [26] Gallopin G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 293-303.
- [27] Carpenter S R, Walker B H, Anderies J M. From metaphor to measurement: Resilience of what to what? Ecosystems, 2001, 4(8): 765-781.
- [28] Luers A L. The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. Global Environmental Change Part A, 2005, 15(3): 214-223.
- [29] Luers A L, Lobell D B. A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. Global Environmental Change, 2003, 13 (4): 255-267.
- [30] Forte F, Strobl R O, Pennetta L. A methodology using GIS,

- aerial photos and remote sensing for loss estimation and flood vulnerability analysis in the Supersano-Ruffano-Nociglia Graben, Southern Italy. *Environmental Geology*, 2006, 50(3):581-594.
- [31] 王瑞燕, 赵庚星, 姜曙千, 等. 基于遥感及突变理论的生态环境脆弱性时空演变. *应用生态学报*, 2008, 19(8): 1782-1788.
- [32] 胡宝清, 金姝兰, 曹少英, 等. 基于 GIS 技术的广西喀斯特生态环境脆弱性综合评价. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 103-107.
- [33] 张红梅, 沙晋明. 基于 RS 与 GIS 的福州市生态环境脆弱性研究. *自然灾害学报*, 2007, 16(2): 133-137.
- [34] 黄方, 刘湘南, 张养贞. GIS 支持下的吉林省西部生态环境脆弱态势评价研究. *地理科学*, 2003, 23(1): 95-100.
- [35] Villa F, McLeod H. Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decision-making: Guidelines and applications. *Environmental Management*, 2002, 29(3):335-348.
- [36] 杨彬云, 吴荣军, 郑有飞. 河北省农业旱灾脆弱性评价. *安徽农业科学*, 2008, 36(15): 6499-6502.
- [37] O'Brien K, Leichenko R, Kelkar U. Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. *Global Environmental Change*, 2004, 14 (4): 303-313.
- [38] Kracauer Hartig E, Grozev O, Rosenzweig C. Climate change, agriculture and wetlands in eastern Europe: Vulnerability, adaption and policy. *Climatic Change*, 1997, 36(1): 107-121.
- [39] Vasquez-Leon M, West C T, Finan T J. A comparative assessment of climate vulnerability: Agriculture and ranching on both sides of the US-Mexico border. *Global Environmental Change*, 2003, 13(3): 159-173.
- [40] 孙芳, 杨修, 林而达. 中国小麦对气候变化的敏感性和脆弱性研究. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 692-696.
- [41] Gao J, Nickum J E, Pan Y. An assessment of flood hazard vulnerability in the Dongting Lake region of China. *Lake & Reservoirs: Research and Management*, 2007, 12(1): 27-34.
- [42] Mimura N. Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change. *Climate Research*, 1999, 12: 137-142.
- [43] Nicholls R J. Analysis of global impacts of sea-level rise: A case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002, 27(32): 1455-1466.
- [44] 葛怡, 刘婧, 史培军. 家户水灾社会脆弱性的评估方法研究: 以长沙地区为例. *自然灾害学报*, 2006, 15(6): 33-37.
- [45] 刘振乾, 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究. *应用生态学报*, 2001, 12(2): 241-244.
- [46] 叶正伟, 朱国传, 陈良. 洪泽湖湿地生态脆弱性的理论与实践. *资源开发与市场*, 2005, 21(5): 416-420.
- [47] 张国防, 陈瑞炎, 曾建容. 闽江流域洪灾与生态环境脆弱性研究. *水土保持通报*, 2000, 20(4): 51-55.
- [48] Fang S, Xiu Y, Er-da L. Study on the sensitivity and vulnerability of wheat to climate change in China. *Agricultural Sciences in China*, 2005, 4(3): 175-180.
- [49] Thomas D S G, Twyman C. Equity and justice in climate change adaptation amongst natural-resource-dependent societies. *Global Environmental Change*, 2005, 15 (2): 115-124.
- [50] Paavola J, Adger W N. Fair adaptation to climate change. *Ecological Economics*, 2006, 56(4): 594-609.
- [51] Vincent K. Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. *Global Environmental Change*, 2007, 17(1): 12-24.
- [52] Adger W N, Arnell N W, Tompkins E L. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change*, 2005, 15(2): 77-86.
- [53] Metzger M J, Leemans R, Schroter D. A multidisciplinary multi-scale framework for assessing vulnerabilities to global change. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2005, 7(4): 253-267.
- [54] Cutter S L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 1996, 20(4): 529-539.
- [55] Cutter S L, Boruff B J, Shirley W L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 2003, 84(1): 242-261.
- [56] Turner II B L, Matson P A, McCarthy J J. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences US*, 2003, 100(14): 8080-8085.
- [57] 商彦蕊. 农业旱灾缝隙与脆弱性评估及其相关关系的建立. *河北师范大学学报: 自然科学版*, 1999, 23 (3): 420-424.
- [58] 付强, 刘仁涛, 盖兆梅. 几种地下水脆弱性评价方法之比较. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 46-52.
- [59] 林冠慧, 张长义. 巨大灾害后的脆弱性: 台湾集集地震后中部地区土地利用与覆盖变迁. *地球科学进展*, 2006, 21(2): 201-210.
- [60] Kumpulainen S. Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. *Geological Survey of Finland, Spatial Paper*, 2006, 42: 65-74.
- [61] Patt A, Klein R J T, Vega-Leinert A. Taking the uncertainty in climate-change vulnerability assessment seriously. *Comptes Rendus Geoscience*, 2005, 337(4): 411-424.

Summary of the Research of Coupled Human–Environment System Vulnerability under Global Environmental Change

CHEN Ping^{1,2}, CHEN Xiaoling^{2,3}

- (1. School of Geography Science, Southwest University of China, Chongqing 400715, China;
- 2. LMARS, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
- 3. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract: Perturbations and stresses induced by global environmental change due to human activities have been the primary hindrances to sustainability of coupled human–environment system. Vulnerability analysis serving as a principal tool for sustainable researches increasingly arrests research communities’ attentions and it has become the hotspot in researches of global environment change. So far there have no consummate theory for vulnerability research, normal evaluation procedure and genetic metrics. Based on collected literatures, the conceptual framework of vulnerability was summarized, and formulation and components of vulnerability, exposure, sensitivity and adaptive capacity, on different research contexts were analyzed in depth as well as the core issues around vulnerability. From a perspective of the human–environment system, traditions and states quo of vulnerability research were presented through summing up current hotspots, and assembling researches on hazard responding thresholds, relationships among three vulnerability components, qualitative measurement of vulnerability and multi–source–data integration for evaluating vulnerability. Three typical analytical frameworks in vulnerability studies, which are especially suitable for coupled human–environment system, are also discussed. The challenges for vulnerability research in the future are concluded to effectively illustrate the causal relationship between vulnerability and multiple stressors in the coupled human–environmental system, to solve uncertain issues of the system, to accurately delineate dynamical process and the interaction among the elements of the system in vulnerability evaluation and to improve the efficiency of the information flow between vulnerability evaluation and decision makers.

Key words: vulnerability; global environmental change; coupled human–environment system; analytical framework; challenge

本文引用格式：
陈萍, 陈晓玲. 全球环境变化下人–环境耦合系统的脆弱性研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(4): 454–462.