

全球变化背景下的适应性研究综述

崔胜辉^{1,2}, 李旋旗^{1,2}, 李 扬^{1,2}, 李方一^{1,2}, 黄 静^{1,2,3}

(1. 中国科学院城市环境研究所 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021;

2. 厦门市城市代谢重点实验室, 厦门 361021; 3. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘 要:适应性研究是全球变化科学研究的重点领域。本文基于对适应性概念的辨析,探讨了全球变化背景下适应性的科学内涵,总结了适应性研究的途径。通过文献分析与归纳,将适应性研究途径分为敏感性-脆弱性-适应性框架、暴露-适应能力-脆弱性框架与弹性-脆弱性-适应性框架。从“适应对象”、“适应者”以及“如何适应”的角度概述了适应性研究的实践与应用,最后指出了未来的研究重点和发展方向。

关 键 词:全球变化;适应性;适应能力

1 引言

自20世纪70年代提出气候变化及其对人类社会可能产生的影响起,国际科学界就开始讨论人类社会应如何响应全球变化并采取相应的对策。具体研究方向也从20世纪70年代提出的预防和阻止(prevention)转移到80年代提出的减缓(mitigation),直至目前所普遍认同的适应(adaptation)。适应性已成为全球变化科学的核心概念之一^[1]。全球变化的4大科学计划——世界气候研究计划(WCRP)、国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)和国际生物多样性计划(DIVERSITAS)都将科学地适应未来环境变化作为人类社会保持可持续发展的重要准则^[2-5]。政府间气候变化专门委员会(IPCC)的历次评估报告也将适应作为人类应对全球气候变化的核心概念和途径^[6]。开展全球气候变化的适应性研究,科学认识适应机制,是本领域科学发展的前沿方向和热点问题,具有极重要的理论意义和应用价值。本文旨在介绍适应性概念的起源、发展以及在全球变化背景下适应性的内涵;归纳适应性在全球变化领域内的研究途径及应用并指出未来发展趋势,以期为全球变化的适应性研究提供借鉴。

2 适应性概念辨析

2.1 适应性概念溯源与发展

适应性这一概念最初起源于自然科学,特别是进化生态学的研究。尽管适应一词的含义在自然科学中仍然存在争论,但一般而言适应是指个体或者系统通过改善遗传或者行为特征从而更好地适应变化,并通过遗传保留下相应的适应性特征^[7-9]。这一定义涵盖了从生物个体到某一特定物种的种群,乃至整个生态系统的尺度。之后Odum开始采用适应性这一生理生态学的概念和措辞用于描述物质、能量和信息流及其相关概念,如弹性(resilience)、平衡(equilibrium)和适应性管理(adaptive governance)^[10]。

自然生态系统的这种能力与人类系统很相似,Steward^[11]最早将适应性的概念应用于人类系统,他用“文化适应”这一概念描述“文化核心”(cultural cores)(即一个区域社会)是如何依据自然环境调整自身行为的。Denevan^[12]认为“文化适应”是应对物理环境变化及内部刺激变化的过程,涉及人口统计学、经济学和组织学的研究内容。这种对适应性的解读将人类系统需要适应的压力从单纯的生物物理学压力拓展到更大的范围。O'Brien和Holland^[13]将适应性定义为“社会群体在处理与其文化

收稿日期:2010-09; 修订日期:2011-01.

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-450);国家自然科学基金项目(40701059).

作者简介:崔胜辉(1973-),男,研究员,主要从事城市生态过程与调控研究。E-mail: shcui@iue.ac.cn

息息相关的 environmental 问题时所采取的新的或者更先进的方法”。

20世纪90年代初,全球变化的适应性逐渐成为人类学研究的焦点,早期的学者如Butzer认为在应对未来可能出现的气候变化及全球粮食供应的问题的过程中,“文化适应”(人类的创造力包括技术进步和长期计划)是非常有效的手段^[14]。在研究全球环境风险与社会风险放大的人文驱动力、社会、经济和政治因素时,调节与适应也成为研究的焦点^[15-17];环境-社会双重系统的概念强化了人类的适应性反应,这一观点被进而发展成Turner等^[18]的脆弱性概念框架和Wisner等^[19]的脆弱性评价模型。从那时起,以Adger等^[20]为代表的学者们开始在人类主导的气候变化研究中使用适应性一词,但已逐渐脱离最初人类学对于适应性范畴和定义。

2.2 全球变化背景下适应性科学内涵

Burton等^[21]认为对气候的适应是指人们努力争取减少气候对自身健康和财富的不利影响,同时合理利用现存气候环境所提供的有利条件的过程。Stakhiv^[22]认为适应意味着调整措施,无论是被动的还是主动的,其目的都是为了减少气候变化的潜在不利影响。Smit等^[23]和Fankhauser等^[24]认为适应具有预见性,这种预见性取决于人们目标和计划。IPCC^[25]在2001年定义适应性为“为了应对实际发生的或预计到的气候变化及其各种影响(不利或者有利的),而在自然和人类系统内进行的调整”。Smit和Wandel^[26]赋予适应更广泛的含义,他们认为适应是不同尺度系统中(家庭、社区、群体、区域、国家)的一个过程、一种行动或者结果,当面对气候变化、压力、灾害以及风险或者机遇时,系统能更好地应对、管理或调整。依据IPCC^[27]在2007年的评价报告,应对全球气候变化的适应性是通过调整系统进而降低脆弱性或增强弹性的过程来体现的。

综上所述,尽管上述定义各有侧重,但都强调了两点:①调整系统以削减其脆弱性并改善应对环境变化的适应能力;②视全球变化为机遇,将其纳入未来调整、管理人类系统的决策系统中。综合不同学者对适应性的理解,笔者认为,全球变化背景下的适应性是指人类社会与自然生态系统针对全球变化导致的或预期的影响在不同尺度(个体、地区、国家、区域)上的调整。这种调整既可以针对自然生态系统也可以针对人类社会,同时这种调整既包含自然生态系统的自发反应也包含人类的主动行为。全球变化背景下的适应性研究旨在评估全球环境变化对自然生态系统和人类社会的影响,同时也为评估人类适应性对策提供理论基础。通过总结上述文献,适应性概念的发展可以参见表1。

2.3 适应性研究相关核心概念及其联系

目前适应性研究常涉及到以下相关概念,这些概念彼此联系,但又有区别,本文对经常涉及到的若干基本概念进行了归纳与整理。

(1) 敏感性(sensitivity): 在全球变化领域,IPCC在1995年的报告中提出了气候变化下敏感性的含义“指一个系统对气候条件变化的响应程度,这种响应可能是有害,也可能是有益的^[28]。”Moss等^[29]在评估各个国家对气候变化的脆弱性时,将气候因素当作一种输入,定义敏感性是指系统输出或系统特性响应输入变化而改变的程度。欧洲陆地生态系统分析和建模高级项目ATEAM (Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling)^[30]从环境变化的角度提出了敏感性的含义:人类-环境系统受到环境变化的正面和负面影响的程度。崔胜辉等^[31]提出敏感性是系统内部、系统与系统之间、复合系统之间相互作用的关系中用来表征某个系统应对其内部或外部因素变化的响应程度。

(2) 暴露(exposure): ATEAM项目对暴露的定

表1 适应性概念的发展

Tab.1 Development of the concept of adaptation

研究视角	概念范畴	研究领域	研究对象
进化生态学	通过改变遗传性状或行为特征从而适应环境变化	生物进化论	生物个体、物种、种群乃至整个自然生态系统
生物物理学	通过改变物质、能量和信息流进行适应	适应性管理	自然生态系统
社会学、人类学	社会群体在处理与其文化息息相关的 environmental 问题时所采取的新的或者更先进的方法	人口统计学、经济学和组织学	人类社会系统
全球变化科学	人类社会与自然生态系统针对全球变化导致的或预期的影响在不同尺度(个体、地区、国家、区域)上的调整	全球粮食供应、全球气候变化、灾害风险	不同尺度的自然生态系统与人类生态系统

义是人类-环境系统所面临的环境变化的特征及其变化程度,是指系统接触外在变化的特征、强度和速率。暴露的种类很多,包括干旱与洪涝灾害^[32]、气候变化带来的气温上升与海平面升高^[33]、地下水污染^[34]、营养元素流失以及土地利用变化^[35]等。在一项研究中的敏感主体在另一项研究中却可能被看作敏感因素^[31]。

(3) 脆弱性 (vulnerability): Adger 等^[36]对社会科学和自然科学中的脆弱性概念及研究方法的变化进行了梳理,总结了脆弱性研究在不同领域内的研究对象及源流。在全球变化研究领域,IPCC 在 2001 和 2007 年发布的评估报告中对适应和对脆弱性等概念进行了定义^[25,27]。IPCC 关于脆弱性的概念由早期的表示“系统受到伤害的程度”^[28]、“自然或社会系统对气候变化持久性伤害的敏感程度”^[38]逐渐演变为“系统容易遭受或有没有能力对付气候变化(包括气候变率和极端气候事件)的不利影响的程度”^[25]。

(4) 适应能力 (adaptive capacity): 适应能力最初源于生物学,指生物在面临一系列环境变化时生存并繁殖的能力。Dobzhansk^[34]认为“适应”是一种状态,即生物在适应环境的过程中表现出的结构、功能或行为的特征。人类社会对适应能力的要求已远远超出“生存并繁殖”的范畴;适应能力还包括社会经济活动,以及人类生活质量。Gallopin 等^[35]认为人类社会的适应能力可以定义为:从个人到全人类的人类系统在面临一系列环境变化时增加(或保持)其个体成员的生活质量的能力。IPCC^[25]在 2001 年定义适应能力为“系统调整自身以适应气候变化和极端事件和趋利避害的能力”。Nelson 等^[36]和 Folke^[37]则指出在复杂的社会-生态系统内 (social and ecological systems, SES), 适应能力代表了人类对这一复杂系统弹性的调控机制与管理;即通过学习对环境变化带来的影响进行修复与调节,进而使系统处在一个适当的状态。

(5) 弹性 (resilience): 方修琦等^[39]对弹性的概念进行了梳理和总结,指出生态系统的弹性是系统在承受变化压力的过程中吸收干扰、进行结构重组,以保持系统的基本结构、功能、关键识别特征以及反馈机制不发生根本性变化的一种能力。

综上所述,全球变化背景下适应性研究涉及的核心概念可以参见表 2。

通过比较以上概念,可以将适应性研究中涉及

的核心概念间的联系用图 1 表示。人类活动和环境变化使自然和人类系统暴露在一系列可变的压力和刺激中。弹性和适应能力是系统本身的属性,用来表征系统受到干扰后的内在变化。干扰作用于系统可以影响或改变系统的这些属性。敏感性用来表征系统内部、系统与系统之间、复合系统之间应对其内部或外部因素变化的响应程度。暴露、敏感性与适应能力共同决定系统的脆弱性。如上文所述,脆弱性是风险暴露程度、敏感性、适应能力的函数,可用于衡量系统受到干扰破坏程度。

值得注意的是,弹性是指系统受到压力时在不同状态下转变的能力,而脆弱性是指系统在某一状态(稳态)下结构改变的可能性,因此不可以理解为“弹性的反面是脆弱性”。脆弱性先于干扰或暴露程度而存在,尽管适应性也受干扰和暴露的影响,但弹性、脆弱性和适应性这 3 个概念间并没有很大的联系,特别是弹性与脆弱性/适应性。

表 2 适应性研究核心概念总结

Tab.2 Core concepts related with the study of adaptation

核心概念	内 容
敏感性	是指系统内部、系统与系统之间、复合系统之间对条件变化的响应程度,这种响应可能是有害的,也可能是有益的。
暴露	人类-环境系统所面临的环境变化的特征及其变化程度。
脆弱性	系统容易遭受或有没有能力对付气候变化(包括气候变率和极端气候事件)的不利影响的程度。
适应能力	为了应对实际发生的或预计到的变化及其各种影响(不利或者有利的),而在自然和人类系统内进行调整,并使之保持在一定状态。
弹性	系统在承受变化压力的过程中吸收干扰、进行结构重组,以保持系统的基本结构、功能、关键识别特征以及反馈机制不发生根本性变化的一种能力。

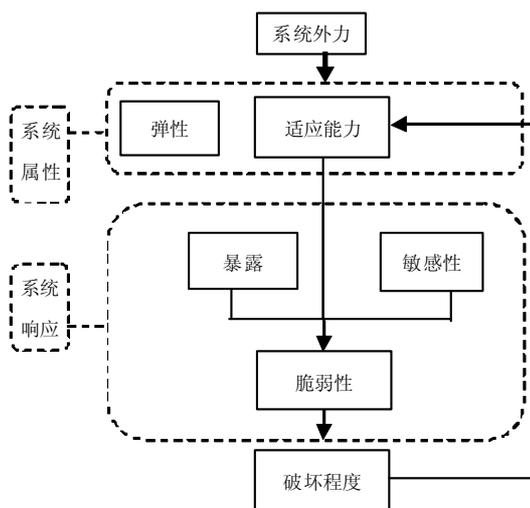


图 1 适应性研究核心概念间联系

Fig. 1 Relations among the core concepts of adaptation

3 全球变化背景下适应性研究框架及实践

3.1 研究框架

Gallopin^[40]认为脆弱性和适应性并没有太多理论基础和组织框架,只是人类应对气候变化的种种行为促成了这两个概念的发展。但通过梳理近30年来该领域的研究内容,可以发现适应性研究都是围绕着适应对象、适应主体和适应方法这3个方面展开的;也就是回答“什么需要适应”,“什么去适应”以及“如何适应”这3个核心问题^[22]。

3.1.1 适应的对象

IHDP^[2]将全球环境问题归纳为3种类型:①自然生态系统的问题,如臭氧层的损耗、气候变化、全球生物多样性和资源的衰竭;②人类社会问题随着时间的推移(通过累积作用)而发展为全球环境问题,如水资源缺乏、水污染、富营养化、酸化、土地退化、森林砍伐和地下水污染;③因地区环境问题引发的摩擦冲突随着时间的推移而发展为全球问题,如因环境问题导致的地区政治不稳定、引发疾病的发生进而在全球蔓延传播或发生环境难民的问题。上述问题既包括由全球变化而引发的资源与环境问题的变化,也包括人类活动在全球变化中的责任问题。通过分析适应对象的这些特性,适应的主体和方法也应随之做出调整。

3.1.2 适应的主体

Bossel^[41]将全球变化背景下的适应主体定义为人类生态系统,包括自然系统、支撑系统和人文系统,其中自然系统主要包括与人类密切相关的环境和资源系统,支撑系统包括经济子系统和基础设施子系统,人文系统包括政府子系统、个体发展子系统和社会子系统。自然系统的适应主要针对生态系统中的生物要素,如动物区系组成对气候变化的适应性;鱼类资源对人类捕捞的适应性。支撑系统和人文系统的适应性研究主要关注人类应对气候和土地利用变化所造成的影响的适应能力和策略,如粮食生产对环境变化的适应性。简而言之,所有社会经济部门(农业、林业、水资源等)在全球变化的条件下均会改变以适应新的环境。每个行业的适应是由许多部分的适应环节组成的,适应主体可以是人,社会经济部门,管理或非管理部门,自然或生态系统,或者是系统的实践、运行与结构。

同时需要注意,一项研究中的适应主体在另一项研究中却可能被看作适应对象。如赤道地区的热带雨林,本身是对全球环境变化的适应者,而其变化又是某些动物的适应对象,这是研究的角度和内容不同造成的。

3.2 适应的类型及适应方法

徐广才等^[42]将适应的对象划分为自然生态系统的自发适应与人为适应。从适应的对象来看,人为适应对策可以进而分为生态系统适应和人类适应。如图2所示,一类是人为地对自然生态系统进行干预和调节,从而保持生态系统结构和功能的稳定性;另一类是人们通过调整社会生产部门结构,技术进步从而减轻人类活动对环境的影响。具体的适应措施可以按照IPCC^[25]的定义划分为主动适应和被动适应,个人适应和公众适应,自发适应和计划性适应等。这里的人为适应不仅是“社会”的适应,也应包括“个体”的适应。

3.2.1 自然生态系统的自发适应

在自然生态系统的适应研究方面,针对不同的适应,研究者们在不同尺度上进行了研究。在基因尺度上Truong等^[43]研究发现,气候变化引起瑞士南部山毛榉(*Betula pubescens ssp. Tortuosa*)分布相关基因改变,使这些植物在新分布区能正常生长发育。物种尺度上Lemone等^[44]分析发现,冬天气温升高使欧洲康斯坦茨湖区长距离迁徙的鸟类数量下降,但短距离迁徙和不迁徙鸟类数量却增加,重点关注环境变化对动植物资源及其理由的影响。在生态系统的尺度上,Leemans等^[45]、Reuscht等^[46]认为伴随全球变化的加剧,许多生态系统功能将发生改变。

3.2.2 人为适应

Smit^[23]定义适应性策略为人们对于短期和长期的气候变化以及极端灾害天气采取的调整措施以增

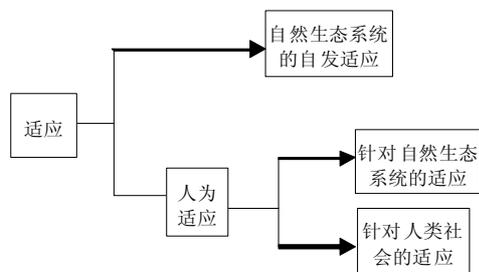


图2 适应的类型(据徐广才等^[42]的研究结果修改)

Fig.2 Types of adaptation

强社会经济活动的生存能力以及降低脆弱性。因此,按照适应主体的行为方式,人为适应可分为生态系统适应和人类适应两种类型;Feenstra等^[47]指出前者重在保护和维持自然生态系统功能,人类适应强调人类社会根据对已发生、正在发生和可能发生的状况的认知,以及对于采取行动可能产生后果的认识,所进行有计划的行为。

人类对自然生态系统的调控可以在基因、物种、生态系统等3个尺度上进行。具体的措施包括保存濒危物种基因;人为选择,培育适应性强的新物种,如培育抗干旱、抗高温物种等。在物种和种群尺度上,人们可以管理人工林的密度管理、硬阔/软阔混交、区域内和区域间木材生长与采伐模式、轮伐期、新气候条件下树木品种和栽培面积改变、调整木材尺寸及质量、调整火灾控制系统等;Williams^[48]等分析南非物种保护走廊设计,指出需要考虑气候变化对物种迁移的影响,满足物种适应气候变化而迁移的需要;Bormann等^[49]认为自然保护区管理方法包括改变野生生物管理和狩猎活动使生物能够适应气候变化,应用不同的管理措施,减少栖息地的破碎化,集成管理生态系统,适应性管理森林。在生态系统的尺度上,适应性策略包括对农田、草地和森林生态系统的适应性管理,减少人为破坏和资源收获;Hannah等^[50]提出了适应气候变化的集成性保护策略(climate change-integrated conservation strategies, CCS),包括模拟区域生物多样性对气候变化响应。

人类适应性策略可以在地区、国家和区域不同尺度上实践。Adger等^[20]提出了适应性研究的尺度问题,其原因在于全球变化背景下的适应性方法政策可以在不同社会经济等级下进行,既涉及到个人、组织的参与,也需要国家、区域层面的合作。这种社会等级的差异会带来研究方法与技术的差异,同时也会造成人们对于脆弱性及其适应性概念理解的差异^[14,50-51]。如何将以往的经验与知识综合起来构建适用于多尺度的适应性措施将是该领域的热点话题^[52-54]。

目前人为适应策略既有自上而下的措施也有自下而上的措施,至于哪种方式更加有效,不同的学者有着不同的观点。OECD^[55]在其2009年的报告里详细阐述了如何将国家、城市以及乡村层面上将适应性对策融入发展政策。Vema^[56]和Raschky^[57]认为强有力的政治力量是适应性策略成功实

施的保障,即自上而下的政策手段更为有效,如Pelling等^[58],Shneider^[59]与Willows和Connell^[60]通过研究官方与非官方机构的内部关系框架分析了不同机构采取的社会学习与适应对策是如何影响个体选择并进而改变适应能力的。他们的研究均显示政府机构的关系属性和政策制度,不仅是适应能力能否提高的关键,也是经济、社会和政治变化相互作用带来的不确定的冲击的关键。又如Wilson^[61]和Yarnal^[62]在新奥尔良市的研究表明了政府城市在考虑到城市规划在城市适应能力方面的重要作用,该城市基础设施的布局采用了可以有效增强城市居民对突发灾难适应能力的设计。

同时,Stern等^[63]认为自下而上的适应性策略同样不可忽略,原因在于脆弱性与适应性问题中人与环境的关系非常复杂,而现在仍然缺少如何将日常生活水平与适应环境变化联系在一起的研究。Moser和Satterthwaite^[64]更是认为应对气候变化的适应主体不仅是各级政府,更包括个人、社群以及各种民间组织。例如Chuluundorj^[65]发现蒙古国牧民为减轻自然灾害的影响,充分利用草地资源所带来的收入,数百年来在应对自然灾害方面形成一系列有效的适应性策略。Lioubimtseva和Henebry^[66]在研究了中亚干旱地区食品安全、水资源压力及人类健康的基础上分析了该区域应对环境变化的脆弱性,他们认为应对全球环境变化的适应性对策较一般的应对对策(coping strategies)内涵更加丰富,包括改变人口收入来源、移民、改善人居环境以及政府采取的可持续发展措施。

近期一些针对气候变化的适应性研究,为适应方法提供了有力的工具。早在1998年联合国环境规划署(UNEP)^[67]就组织在气候变化影响适应评价和适应战略领域的专家共同编写了一部评价气候变化影响和适应对策的使用手册,该手册对不同的方法进行了描述,内容覆盖了几个关键经济部门。由weADAPTI^[68-69]近期开发的CADx (Climate Adaptation Decision explorer)系统提供了4类在不同情景下实施的适应性方案,用于帮助决策者做出适应性规划。Kopf等^[70]利用“类比气候”(climate analogues),即利用地球过去曾和今日类似的气候状态评估气候变化对欧洲可能产生的影响,并在此基础上讨论了应该如何适应气候变化。Dawson等^[71]开发了一个针对城市地区的综合适应性评价框架,尽管这一模型仍处在初级阶段,但将来有望成为一个

实用的适应性评价工具。

3.2.3 适应性对策评估

Tol等^[72]认为适应性对策评估可以概括为通过对拟定的适应性政策、计划和策略可能产生的影响进行系统的评估。Fankhauser^[24]认为评价的核心问题是理解适应性措施会对系统或地区产生怎样的影响,从而支持科学决策。同时,适应性也可看作政策决策的一种反馈和管理目的。因此适应性在政策决策中的角色也是影响评价的一部分。

《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)^[73]在20世纪90年代提出了适应机制的阶段目标。目前较完整的有关适应对策评估的方法和工具介绍是由UNFCCC所属科技顾问机构向UNFCCC秘书组第十次会议提供的摘要。这一SBSTA摘要对多种评价工具方法进行了总结,能够帮助研究者确定工具是否适合于分析所关心的适应性对策问题,判断是否能够在可能的适应性评价水平和给定目标情况下应用。摘要根据不同研究目的将决策工具分为5大类;与IPCC的技术指导书相比,SBSTA摘要提供了更为详细的步骤用以评价气候变化影响和适应对策^[74]。

由于环境脆弱性与社会经济脆弱性、适应能力与发展水平之间往往具有关联性,在实际研究中适应性政策的成本-效益分析有很多应用实例。这些应用的实例包括Sohngen等^[75]总结分析了美国木材市场如何适应气候变化以及美国林业部门如何减缓气候变化带来的经济压力方面的研究结果,并按照生态学和经济学假设对适应性措施进行了评价分析;费用-效益分析则广泛用于海平面上升与气候变化引起的农业生产问题研究^[76-77]。但也有学者指出该评价方法的局限性,Toman^[78]认为目前缺少费用-效益分析应用于气候变化的方法论;Stern^[79]则指出将费用-效益分析应用与气候变化带来的影

响时存在诸多局限,其中最广受争议的问题是这些研究往往忽略了个人作为“理性人”(rational economic actor)的重要性,即社会个体的重要性。

3.3 核心问题间联系

如图3所示,适应性研究的框架与核心问题间联系可以用一下框图表示。适应的对象包括自然生态系统及人类生态系统由于全球变化而引起的各种问题;适应者则是自然生态系统及人类社会。自然生态系统通过自身调节从而自发适应种种变化;人类社会则基于系统的适应能力与适应过程采取各种适应行为从而适应全球变化。在采取一定的适应性策略的同时还需要通过对适应性策略的评估对其进行考核和调整。

4 全球变化背景下适应性研究的途径

适应性作为全球变化研究的核心概念,受到学者的普遍关注。但由于对适应性概念的理解以及应用领域不同,全球变化背景下的适应性研究途径也出现了分化。总的来说,可以归纳为以下3种途径。

4.1 敏感性-脆弱性-适应性途径

在适应性研究领域内,敏感性、脆弱性均与适应性联系密切^[27,32-33]。IPCC^[25,27]在其第一次(2001)和第二次(2007)《气候变化:影响、适应和脆弱性报告》中以“影响、适应和脆弱性”为主题从科学、技术、环境、社会经济方面评价了气候变化导致的脆弱性及其对生态系统、社会经济及人类健康的影响。

目前以此研究途径进行研究包括,崔胜辉等^[31]提出的脆弱性框架下的敏感性评价体系,将敏感性评价纳入脆弱性评价的过程,认为敏感性评价的最终结果和目的是系统的脆弱性。Wu等^[80]在评价中国生态系统对气候变化的敏感性及脆弱性时,对所运用的AVIM2模型进行了介绍,解释了敏感性机制。於琰等^[81]在分析了植被对气候变化的敏感性和适应性机制的基础上,评价了未来气候变化情境下中国植被分布和生态系统功能对气候变化的敏感性和脆弱性。Smit和Wandel^[38]认为脆弱性各个组成部分之间的关系是动态的,这种关系随时间、干扰类型、具体地点以及系统特性而不断变化,可以通过适应降低系统的脆弱性,其具体的应用包括IHDP推出的“交互式脆弱性评估框架”,这一评估将大多数研究中的一般性指标评价方法转变为面

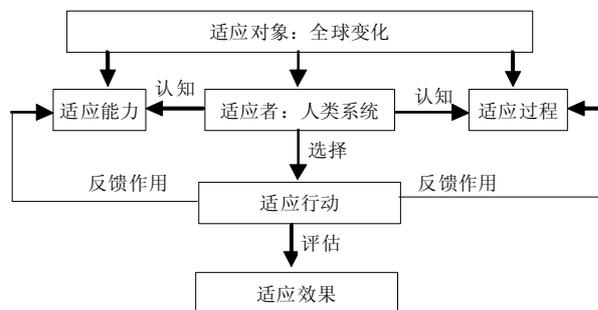


图3 适应性研究的核心问题与联系

Fig.3 Relations of the core problems of the research on adaptation

向适应者的脆弱性评价。

4.2 暴露-适应能力-脆弱性途径

IPCC在2001年的第三次评估报告^[25]中明确指出,气候变化下自然或社会系统的脆弱性,取决于系统的暴露程度、系统对气候变化的敏感性和系统的适应能力3个方面。定义脆弱性是系统内的气候风险暴露水平(压力)、系统敏感性和适应能力的函数,即脆弱性(V)= $f\{\text{风险暴露程度}(E), \text{敏感性}(S), \text{适应能力}(A)\}$ 。Metzger等^[82]认为脆弱性是气候变化的潜在影响和适应性能力的函数。Luers^[83]继而深入讨论了脆弱性、敏感性和适应能力的数学含义,用数学公式和函数图像直观地表达了三者之间的关系。Adger等^[84]在分析脆弱性与适应能力的关系时从时间尺度的角度进行了更加明晰的解释,指出系统上期的适应能力可以影响系统在面对当期发生的灾害或进展缓慢的灾害时的脆弱性,因此当期的脆弱性可以反映上一期的适应能力。系统遭遇压力或灾害(如气候变化导致的极端天气、海平面上升或空间利用变化引发的环境污染等)时被破坏的程度可以表征系统的脆弱性,而系统当期的脆弱性则由当期系统的暴露程度和敏感性以及系统上一期的适应能力决定。因此在系统的暴露程度与敏感性已经确定的情况下,适应能力决定了系统在遭遇灾害或压力时可带来的不良影响的效率。

此研究途径的具体应用主要集中在适应能力评价方面,例如Luers^[83]定量分析了墨西哥雅基流域的农业系统脆弱性,探讨了其在气候变化条件下的可能响应,并由此大致推导了适应能力。徐瑛等^[85]基于社会生态系统框架下适应能力的概念,通过不良影响、抵御能力、恢复能力3个指标构建了生态系统适应能力指数模型 $ACI=CC \times RC/EI$,定量衡量区域生态系统对特定胁迫的适应能力并获得其空间分布情况。但适应能力评价存在很多困难,一方面,上述研究往往忽略了适应能力作为系统属性而难以直接量化测定的特点,其评价指标和评价方法往往与脆弱性评价难以区分,也未能结合系统受到的干扰或压力展开深入研究;另一方面,目前罕有明晰的定量的适应能力指标,因此难以确定一个适应能力高低的基准^[84]。

4.3 弹性-脆弱性-适应性途径

弹性、脆弱性和适应性是IHDP^[39]中3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。目前从这一角度进行的研

究集中在概念的评述,多以辨析弹性、脆弱性与适应能力概念异同为主。例如,Gallopín^[86]依据这3个概念为主题的自20世纪60年代至2006年发表的文章和出版物,通过文献学的手段对这3个概念的关系进行了比较,发现弹性方面的研究具有明显的生态学和数学的学术背景,与脆弱性和适应研究联系较弱,主要侧重理论模型的研究;而脆弱性和适应方面的研究主要集中在地理学和自然灾害研究领域,侧重于案例研究和气候变化研究。有学者认为脆弱性是弹性的反面,但其实并非如此,因为弹性是系统在不同状态间的转换,脆弱性则是指系统在同一稳定结构模式(stability landscape)内的结构变化。

但也有一些研究可以认为是基于此研究途径开展的,例如Turner等^[87]提出的针对全球、地区和区域的自然-社会耦合系统脆弱研究框架,概括了社会、经济、政治和环境因素共同作用、影响不同尺度区域的脆弱性;脆弱性包括暴露、敏感性和弹性,其中弹性又包括应对能力、响应能力、适应能力,适应是系统响应之后的结构重组过程。

5 适应性研究展望

5.1 加强跨尺度的适应性研究

科学家们已经在不同尺度上对全球变化的适应性进行了大量的工作,这些工作大体上可以分为两类:一类是针对自然环境系统对全球变化的自发适应,这类研究分别从基于、物种和生态系统的尺度上开展适应性研究;另一类是针对人类社会的人为适应,这类研究的研究尺度覆盖了全球、国家、区域、地方或是部门。然而涉及跨尺度的适应性研究仍然较少,由于不同尺度上的研究对象以及关注程度不同,所得到的研究结果也差别较大,难以形成清晰明确的认识。如采用多尺度的生态系统联合观测获取更多的系统响应信息、采用跨尺度的数据模型融合技术来开展全球变化的适应性研究,则能够形成客观的易于理解的定量化的结论为决策者提供切实有效的决策依据。

5.2 加强自然生态系统的适应性研究

现有研究已表明人类活动可能是导致气候变化的主要原因之一,因此气候变化的适应性研究对人类活动的关注也相对较多,如土地利用方式的改变、海平面上升和温度升高对人类社会及其经济活

动的影响。而对受人类影响比较小的自然生态系统的自发适应的研究相对较少。但全球变化无论是对人类生活还是生态系统而言都有显著的作用,人类社会的发展最终仍然取决于自然环境系统,自然环境系统的衰退终将导致人类社会的衰退;这对经济欠发达,社会经济仍然较多依赖自然资源的国家或地区而言尤为重要,目前来看这些国家和地区也正是对全球环境变化最为敏感的地区。因此应加强对生态系统自身适应能力和变化趋势的分析。在此基础上根据系统的状态判断人类作用的大小,从而提出适宜的适应性对策。

5.3 加强城市尺度的适应性研究

当前的研究尽管已在全球、国家、区域、地方或是部门尺度上取得了大量的成果,但是在城市尺度上未得到足够的重视,尤其是综合的适应研究远远不足^[88]。城市作为人类社会经济活动的中心,聚集了世界上半以上的人口,温室气体排放占全球总量的75%左右^[89]。OECD最近的一份报告强调了城市的适应性研究,指出对气候变化的适应是一个持续的过程,应与城市的发展战略结合在一起,而不仅考虑近期的成果,并将脆弱性研究作为适应研究的重要步骤^[55]。

目前一些学者对城市对气候变化的适应方式、适应对策和适应过程等进行了研究^[90-91]。城市作为应对全球变化的关键平台,城市尺度上的适应研究成为全球气候变化适应研究的一个重要方向。

参考文献

- [1] 陈宜瑜. 对开展全球变化区域适应研究的几点看法. 地球科学进展, 2004, 19(4): 495-499.
- [2] The World Climate Research Programme Achievements: Scientific Knowledge for Climate Adaptation, Mitigation and Risk Management. WCRP, 2009.
- [3] Eriksen S. Sustainable adaptation: Emphasising local and global equity and environmental integrity. IHDP Update, 2009(2): 40-44.
- [4] ICSU-IGFA. Review of the International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP). International Council for Science, Paris, 2009.
- [5] DIVERSITAS. DIVERSITAS Annual Report 2008-09: Integrating biodiversity science for human well-being. DIVERSITAS, 2009.
- [6] IPCC. Climate Change: The IPCC Impacts Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [7] Futuyama D J. Evolutionary Biology. Sinauer: Sunderland, 1979.
- [8] Winterhalder G. Environmental analysis in human evolution and adaptation research. Human Ecology, 1980, 8(2): 135-170.
- [9] Kitano H. Systems biology: A brief overview. Science, 2002, 295(5560): 1662-1664.
- [10] Odum H T. Environment, Power and Society. New York: John Wiley & Sons, 1971.
- [11] Steward J H. Theory of Culture Change: the Methodology of Multi-linear Evolution. Urbana: University of Illinois Press, 1955, 1972.
- [12] Denevan W M. Adaptation, variation and cultural geography. Professional Geographer, 1983, 35(4): 399-406.
- [13] O'Brien M J, Holland T D. The role of adaptation in archaeological explanation. American Antiquity, 1992, 57(1): 36-69.
- [14] Butzer K W. Cultural Ecology//Gaile G L, Willmott C J. Geography in America. Columbus: Merrill Publishing, 1989: 192-208.
- [15] Kasperson J X, Kasperson R E. Climate Change, Vulnerability and Social Justice. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2001.
- [16] Kasperson J X, Kasperson R E. The Social Contours of Risk, Volume 1: Publics, Risk Communication and the Social Amplification of Risk (The Earthscan Risk in Society Series). London: Earthscan, 2005.
- [17] Pidgeon N F, Kasperson R E, Slovic P. The Social Amplification of Risk. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.
- [18] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Science of the USA, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [19] Wisner B, Blaikie P, Cannon T, et al. At Risk. London: Routledge, 2004.
- [20] Adger W N, Arnell N W, Tompkins E L. Successful adaptation to climate change across scales. Global Environmental Change, 2005, 15(2): 77-86.
- [21] Burton I, Kates R W, White G F. The Environment as Hazard. New York, New York: Oxford University Press, 1978.
- [22] Stakhiv E Z. Evaluation of IPCC adaptation strategies. Fort Belvoir. Draft Report. Institute for Water Resources and US Army Corps of Engineers, 1993: 12-39.
- [23] Smit B, Burton I, Klein R J T, et al. The science of adaptation: A framework for assessment. Mitigation and Adapta-

- tion Strategies for Global Change. 1999, 4(3-4): 199-213.
- [24] Fankhauser S. The Costs of Adapting to Climate Change. The Global Environmental Facility, Washington, 1998.
- [25] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001). Climate Change 2001: the Science of Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [26] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 282-292.
- [27] IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change). Climate Change 2007: Impacts, Adaptations and Vulnerability. Fourth Assessment Report of Working Group II. Cambridge, UK: University Press, 2007.
- [28] IPCC. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, the Second Assessment Report of IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [29] Moss R H, Brenkert A L, Malone E L. Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach. Washington DC: U.S. Department of Energy, 2002.
- [30] Schroter D, Acosta-Michlik L, A W Arnell, et al. ATEAM Final Report 2004. Potsdam, Germany: Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2004.
- [31] 崔胜辉, 李方一, 黄静, 等. 全球变化背景下的敏感性研究综述. *地球科学进展*, 2009, 24(9): 1033-1041.
- [32] Simelton E, Fraser E D G, Termansen M, et al. Typologies of crop-drought vulnerability: An empirical analysis of the socio-economic factors that influence the sensitivity and resilience to drought of three major food crops in China (1961-2001). *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(4): 438-452.
- [33] U. S. Environment Protection Agency. Coastal Sensitivity to Sea Level Rise: A Focus on the Mid-Atlantic Region. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2009.
- [34] Dobzhansky T. Adaptness and fitness//Lewontin R C(Ed.). *Population Biology and Evolution*. Syracuse, New York: Syracuse University Press, 1968: 109-121.
- [35] Gallopin G C, Gutman P, Maletta H. Global impoverishment, sustainable development and the environment: A conceptual approach. *International Social Science Journal*, 1989, 41(3): 375-397.
- [36] Nelson D R, Adger W N, Brown K. Adaptation to environmental change: Contributions of a resilience framework. *Annual Review of Environment and Resources*. 2006, 32(1): 395-419.
- [37] Folke C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environment Change*, 2006, 16(3): 253-267.
- [38] Watson R T, Zinyowera M C, Moss R H. The Regional Impacts of Climate Change An Assessment of Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [39] 方修琦, 殷培红. 弹性、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.
- [40] Gallopin G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 293-303.
- [41] Bossel H. Indicators for Sustainable Development. Theory, Method, Applications. Canada: International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, 1999: 84-87.
- [42] 徐广才, 康慕仪, 贺丽娜, 等. 生态脆弱性及其研究进展. *生态学报*, 2008, 29(5): 2578-2588.
- [43] Truong C, Palme A E, Felber F. Recent invasion of the mountain birch *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* above the treeline due to climate change: Genetic and ecological study in northern Sweden. *Journal of Evolutionary Biology*, 2007, 20(1): 369-380.
- [44] Lemone N, Bohning-Gaese K. Potential impacts of global climate change on species richness of long-distance migrants. *Conservation Biology*, 2003, 17(2): 577-586.
- [45] Leemans R, Eickhout B. Another reason for concern: Regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change. *Global Environmental Change*, 2004, 14(3): 219-228.
- [46] Reusch T B H, Ehlers A, Hammerli A, et al. An other reason for concern: Regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change. *Global Environmental Change*, 2004, 34(7): 1369-1378.
- [47] Feenstra F J, Burton I, Smith J B, et al. Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies., Version 2.0. United Nations Environment Programme Institute for Environmental Studies, 1998.
- [48] Willanms P, Hannah L, Andelman S, et al. Planning for climate change: identifying minimum-dispersal corridor for the capeproteaceae. *Conservation Biology*, 2005, 19(4): 1063-1074.
- [49] Bormann B T, Haynes R W, Marttn J R. Adaptive management of forest ecosystems: did some rubber hit the road. *Bioscience*, 2007, 57(2): 186-171.
- [50] Hannah L, Midgley G F, Millar D. Climate change-integrated conservation strategies. *Global Ecology & Biogeography*, 2002, 11(6): 485-495.
- [51] Gunderson L H. Resilience in theory and practice. *Annual*

- Review of Ecology and Systematics, 2000, 31: 425-439.
- [52] Holcombe E, Andreson M. Implementation of community-based landslides hazard mitigation measures: the role of stakeholder engagement in 'sustainable' project scale-up. *Sustain Dev* 2009 doi:10.1002/sd.409 (www.interscience.wiley.com).
- [53] Erwing R, Bartholomew K, Winkelman S, et al. The evidence on urban development and climate change, Washington DC, Urban Land Institute, 2008, 1(3): 201-216.
- [54] Hodson M, Marvin S. Urban Ecological Security': a new urban paradigm? *International Journal Urban Region Research*, 2009, 33(1): 193-215.
- [55] OECD. Policy Guidance on Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation, 2009.
- [56] Verna N. Institutions and Planning. Oxford: Emerald Group Publishing, 2007.
- [57] Raschky P. Institutions and the losses from natural disasters. *Natural Hazard Earth System Science*, 2008, 8: 627-634.
- [58] Pelling M, High C, Dearing J, et al. Shadow spaces for social learning: A relational understanding of adaptive capacity to climate change within organisations. *Environment and Planning A*, 2008, 40(4): 867-884.
- [59] Schneider S H. Abrupt non-linear climate change, irreversibility and surprise. *Global Environmental Change*, 2004, 14(3): 245-258.
- [60] Willows R J, Connell R K. Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision-Making UKCIP Technical Report. Oxford: UKCIP, 2003.
- [61] Wilson E. Adaptation to climate change at the local level: The spatial planning response. *Local Environment*, 2006, 11(6): 609-625.
- [62] Yarnal B. Vulnerability and all that jazz: Addressing vulnerability in New Orleans after hurricane Katrina. *Technology in Society*, 2007, 29(2): 249-255.
- [63] Stern P C, Young O R, Druckman D. Global environmental change: Understanding the human dimensions. Committee on the Human Dimensions of Global Change. National Research Council, 1991.
- [64] Moser C, Satterthwaite D. Towards Pro-poor Adaptation to Climate Change in the Urban Centers of Low-and Middle-income Countries. *Climate Change and Cities Discussion Paper 3*. IIED, 2008.
- [65] Chuluundorj O. A multi-level study of vulnerability of Mongolian pastoralists to natural hazards and its consequences on individual and household well-being. Denver: University of Colorado, 2006.
- [66] Lioubimtseva E, Henebry G M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(11): 963-977.
- [67] United Nations Environment Programme, 1998 Assessment of alternatives to methyl bromide, Methyl Bromide Tech. Options Commomts., Nairobi, Kenya Tom batchelor, Janice miller, 1998.
- [68] UN-Habitat: Enhancing Urban Safety and Security; Global Report on Human Settlements 2007. Earthscan Publications, 2007.
- [69] United Nations Population Fund: State of the World Population 2007. Unleashing the potential of Urban Growth. United Nations, 2007.
- [70] Kopf S, Ha-Duong M, Hallegate S. Using maps of city analogues to display and interpret climate change scenarios and their uncertainty. *Natural Hazard Earth System Science*, 2008, 8(4): 905-918.
- [71] Dawson R, Hall J, Barr S, B et al. A Blueprint for the Integrated Assessment of Climate Change in Cities. Tydall Working Paper 129. Tydall Center for Climate Change Research, 2009.
- [72] Tol R S J, Fankhauser S, Smith J B. The scope for adaptation to climate change: What can we learn from the impact literature? *Global Environmental Change*, 1998, 8 (2): 109-123.
- [73] Stratus Consulting Inc. Compendium Of Decision Tools To Evaluate Strategies For Adaptation To Climate Change, Final Report. FCCC/SBSTA/2000/MISC.5. UN-FCCC Secretariat, Bonn, Germany. 1999: 159-197.
- [74] 殷永元. 气候变化适应对策的评价方法和工具. *冰川冻土*, 2002, 24(4): 2579-2588.
- [75] Sohngen B, Mendelsohn R, Sedjo R. A Global Model of Climate Change Impacts on Timber Markets. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2010, 26(2): 326-343.
- [76] Yohe G W, Schlesinger M E. Sealevel Change: The expected economic cost of protection or abandonment in the United States. *Climatic Change*, 1998, 38(4): 447-472.
- [77] Nicholls R J, Tol R S J. Regional to global implications of sea-level rise: An analysis of the SRES scenarios. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2005.
- [78] Toman M. Values in the economics of climate change. *Environmental Values*, 2006, 15(3): 365-379.
- [79] Stern N. The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, 2008, 98(2): 1-37.
- [80] Wu S H, Dai E F, Huang M, et al. Ecosystem vulnerability

- ty of China under B2 climate scenario in the 21st century. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(10): 1379-1386.
- [81] 於琍, 曹明奎, 陶波, 等. 基于潜在植被的中国陆地生态系统对气候变化的脆弱性定量评价. 植物生态学报, 2008, 32(3): 521-530.
- [82] Metzger M J, Rounsevell M D A, Acosta-Michlik L, et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2006, 114(1): 69-85.
- [83] Luers A L. The Surface of Vulnerability: An analytical framework for examining environment change. Global Environmental Change, 2005, 15(3): 214-223.
- [84] Adger W N, Brooks N, Bentham G, et al. New indicators of vulnerability and adaptive capacity. Tyndall Centre for Climate Change Research Technical Report 7, 2004.
- [85] 徐瑛, 祁元, 齐红超, 等. 社会生态系统框架(SES)下区域生态系统适应能力建模研究. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1174-1181.
- [86] Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, 2006, 16(3): 293-303.
- [87] Turner II B L, Matson P A, McCarthy J J, et al. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8080-8085.
- [88] Stern N. The Economics of Climate Change. American Economic Review, 2008, 98(2): 1-37.
- [89] Roberto S.R. Learning to adapt to climate change in urban areas. A review of recent contributions. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2009, 1(2): 201-206.
- [90] Fussler H M. Adaptation planning for climate change: Concepts, assessment approaches, and key lessons. Sustainability Science, 2007, 2(2): 265-275.
- [91] Review A. Climate change risks: An adaptation and mitigation agenda for Indian cities. Environment and Urbanization, 2008, 20(1): 207-229.

Review on Adaptation in the Perspective of Global Change

CUI Shenghui^{1,2}, LI Xuanqi^{1,2}, LI YANG^{1,2}, LI Fangyi^{1,2}, HUANG Jing^{1,2,3}

(1. Key Lab of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, CAS, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Key Lab of Urban Metabolism, Xiamen 361021, China;

3. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: The study on adaptation attracts much attention in the field of global change. Based on the concepts of adaptation, this paper concluded scientific meanings of adaptation and the approaches to study adaptation. As listed below, there are three approaches to study adaptation: (1) in the perspective of sensitivity-vulnerability-adaptation, (2) in the perspective of adaptive capacity-resilience-vulnerability, and (3) in the perspective of resilience-vulnerability-adaptation. Furthermore, this paper also discussed how to take the study of adaptation into practice and provided several examples. Finally, the aim and focal points of the study on adaptation were discussed in this paper.

Key words: global change; adaptation; adaptive capacity

本文引用格式:

崔胜辉, 李旋旗, 李扬, 等. 全球变化背景下的适应性研究综述. 地理科学进展, 2011, 30(9): 1088-1098.