人地系统适应性研究进展:概念、理论框架与方法

尹莎¹, 杨新军^{1,2}, 陈佳^{1,2*}

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127)

摘要:适应性研究旨在通过主体对外部环境变化的调整,以削减其负面影响并改善适应能力,是实现人地系统可持续发展的重要途径。鉴于目前对适应性理论体系缺乏统一认识和系统梳理,论文通过对国内外人地系统适应性研究文献总结,从概念内涵、理论框架和方法对适应性研究进展进行了总结,并提出了适应性研究的科学范式。研究发现:①学术界对适应性概念的理解并未达成科学共识,阻碍了通用的适应性研究理论体系的构建。②现有适应性分析框架多是基于全球变化领域理论框架基础的延伸和修订。③适应性研究缺乏具有代表性的方法,以借用脆弱性、恢复力评估方法和指标体系为主。因此,统一的适应性概念和理论体系的构建亟需加强,而国外既有积累的理论经验并不通用,中国化的适应性分析框架、方法是未来的重要研究方向。同时,应强化人类社会和自然环境“综合”的人地系统适应性研究,注重多尺度结合的适应性动态分析。

关键词:适应性;人地系统;适应能力;分析框架

20世纪以来,随着地表生态过程逐渐受人类活动主导,人类与环境互馈作用引发的资源、环境、人口问题愈发突出、全球气候变化加剧等,促使人地关系问题逐渐成为学界研究关注的焦点。作为可持续性科学重要研究范式,社会—生态系统中的脆弱性、恢复力、适应性等概念引起了学者们重视^[1-2],而系统适应性研究远不及恢复力和脆弱性广泛。适应性研究并不是孤立的,脆弱性和恢复力研究的发展在一定程度上推动了适应性研究。如何在人地系统中减少脆弱性,增强恢复力,提高适应能力;面对环境变化人类社会能否适应全球气候变化^[3];如何采取积极有效的措施应对?适应性研究为解决这些问题提供有力的条件,同时也受到越来越多国内外学者和国际研究计划的关注^[4-7]。

长期以来,对于适应性的概念、理论框架应用

以及研究方法存在较多分歧,尚未整理出一套完整的研究体系。以IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)为代表的权威国际组织,在其评估报告中多次提出了适应性概念^[8],但缺乏通用内涵的定义。随着不同背景、不同学科领域的发展,适应性概念内涵逐渐扩展。众多学者对其概念进行了辨析^[9-12],但尚未系统地梳理其发展脉络。而适应性的理论研究在国外起步较早,部分学者根据研究对象的特征提出相应的研究框架,但多数仅针对解决某一类研究问题^[13-15]。到目前为止,适应性未形成公认统一的分析框架,且大多来源于相关学科的融合。由于其理论框架的不确定性,适应性的研究方法仍较为单一,主要以借鉴脆弱性、恢复力研究方法为主,适应性研究仍以质性和半量化研究主导,囿于研究理论和方法单一性以及对其他学科领

收稿日期:2020-06-06;修订日期:2020-07-28。

基金项目:国家自然科学基金项目(41901168, 41771574);教育部人文社会科学研究青年基金项目(19YJCZH006);中国博士后科学基金项目(2019M653888XB)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41901168 and 41771574; Youth Foundation of Humanities and Social Sciences of Ministry of Education of China, No.19YJCZH006; China Postdoctoral Science Foundation, No. 2019M653888XB.]

第一作者简介:尹莎(1992—),女,湖南衡阳人,博士生,研究方向为乡村人地系统适应性。E-mail: jennifer_yinsha@126.com

***通信作者简介:**陈佳(1989—),男,湖南溆浦人,博士,讲师,硕士生导师,研究方向为乡村社会—生态系统演化与区域可持续发展。E-mail: dongdongbj2010@126.com

引用格式:尹莎, 杨新军, 陈佳. 人地系统适应性研究进展:概念、理论框架与方法[J]. 地理科学进展, 2021, 40(2): 330-342. [Yin Sha, Yang Xin-jun, Chen Jia. Progress of research on adaptation of human-environment systems: Concepts, theoretical frameworks, and methods. Progress in Geography, 2021, 40(2): 330-342.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.02.013

域的依赖,对适应性研究的发展提出了严峻挑战。

适应性旨在通过人地相互作用过程中系统转型调整,以削减其负面影响并改善适应能力^[12],同时注重建立有效适应性管理以保障系统良性发展状态,是实现人地系统可持续发展的重要途径,对人类—环境交互作用相关研究具有重要的实践意义。但现有的少数适应性综述文献集中在全球变化背景的适应性概念、核心问题、研究内容以及旅游社会—生态系统适应性进展方面^[16-19],缺乏面向人地系统实践评价的适应性理论框架、方法、问题的综合理论体系梳理。因此,本文在大量国内外文献阅读整理的基础上,通过厘清适应性概念及其发展脉络,重点总结适应性研究的理论框架和方法,探讨适应性研究科学范式和展望未来适应性研究方向。以期深化对适应性研究理论的理解,并为人地系统领域的适应性分析提供框架和方法借鉴。

1 适应性概念内涵与发展

1.1 适应性概念定义

适应环境是日益突出的人地关系问题的重要内容之一,但适应性概念最早起源和发展于自然科学,如种群生物学和进化生态学^[16]。该领域的适应性是指生物有机体为生存和繁衍对外界环境的响应^[20],成功的适应促使物种或生态系统的持续生存。20世纪50年代以来,适应外界压力已经从单纯的生物物理环境系统拓展到人类系统等更大范围。Steward^[21]较早将适应性概念引入人类系统研究,其描述“文化核心”即一个区域社会是根据周围

自然环境的变化来调整自身行为模式。Holling等^[22-23]将生态学概念(如稳定性、恢复力和适应性等)用来描述社会—生态系统适应变化条件的倾向和过程。

与自然生态系统这种“适应”的差异在于人类系统具有计划和“管理”适应的能力。因此,生物生态系统对扰动的反应是被动的,但人类系统的适应存在被动和主动2种反应方式^[24]。人类社会科学的应用和适应范式的扩展在许多领域可见,包括人类学、文化生态学、自然资源管理学、文化地理学、生态经济学以及全球气候变化影响研究^[13],但这些不同研究领域的应用导致了对适应概念的定义存在一些不同的解释(表1)。如文化生态学领域,其认为适应性是在处理与文化相关环境问题中的主体实践而产生的适应选择和方法^[25]。灾害学领域则认为适应的过程已经由人类对环境的调整发展到对自我的调整^[26]。而运用于生态系统和自然资源管理领域的适应性概念已转变为一种过程模式,从管理的结果中获取经验,促使政策和实践的调整^[27]。

20世纪80年代以来,全球变化领域开始广泛使用和认可适应性概念,并与脆弱性、恢复力概念联系起来。Holling^[28]在自然环境变化相关研究中涉及恢复力、平衡和适应管理过程运用了适应性的概念。2001年IPCC将适应性定义为“为了应对实际发生的或预期的气候刺激及其影响(减缓、危害或利用有利的机会),在自然或人类系统进行的调整”^[16,29]。Smit等^[10]、Adger等^[12]、Turner等^[30]在全球变化领域将适应性概念在人文社会、生态和经济等因素形成的复杂系统上不断强化拓展,已逐渐脱离

表1 不同研究领域的适应性概念
Tab.1 The concept of adaptation in different research fields

领域	典型定义
生物学和进化生态学	① 适应性是指允许有机个体在它们生存的环境中生存和繁殖的遗传特征 ^[31] ;② 适应性广义上指的是遗传或行为特征的发展,这些特征表现为有机体或系统为了生存和繁殖应对环境变化的风险 ^[10]
人类学	适应性是一个区域社会根据自然环境进行自身行为的调整 ^[21]
文化生态学	① 适应性是组织、群体在处理与文化相关的环境问题时所采取的方法,是通过文化实践产生的应对环境变化选择的结果 ^[25] ;② 文化适应性定义为响应物理环境变化及内在刺激(人口统计学、经济学和组织学)变化的一种过程 ^[32]
灾害学	适应性是对风险认知、调整和灾害管理 ^[33]
自然资源管理	① 适应性管理是用管理实验结果来检验计划管理的过程,其中将决策的实施作为检验计划中的预测与假设的标准 ^[34] ;② 适应性是通过从管理结果中学习并获取信息,以降低管理的不确定性,从而推动政策和实践做出相应调整的过程 ^[35]
全球变化	① 为了应对实际发生的或预期的气候刺激及其影响(减缓、危害或利用有利的机会),在自然或人类系统进行的调整 ^[29] ;② 将适应性定义为应对观察到的或预期的气候刺激和气候影响,为了减缓不利影响的变化或利用新的机会,生态、社会和经济系统采取的一种调整 ^[12] ;③ 适应性是指一个系统(家庭、社区、群体、部门、区域、国家)中的一个过程、行动或结果,以便系统更好地应对、管理或适应某些不断变化的条件、压力、危险、风险或机会 ^[10-11]

最初人类学领域的适应性范畴和定义^[16]。

1.2 适应性概念内涵的发展

国内外学术界针对适应性概念内涵的辨析一直不断。早期的适应性概念主要集中在较浅层次的概念辨析及讨论其性质,并没有系统地回答适应的研究对象、目标、发生的条件等。

20世纪末,学者们从气候变化领域定义适应性,分别将“响应”“减缓”和“调整”等概念与适应性联系起来,部分学者进一步探讨了人类社会系统成功的适应性以及适应性内涵的特征性质,推动了适应性概念的延伸发展^[12, 36-38]。

21世纪初,适应性的概念广泛运用于可持续科学领域。与传统的适应性研究更多关注对外部风险或环境变化做出的响应调整不同,社会—生态复杂系统角度的适应性强调从主体决策、行动到适应变化的全过程。在尺度上体现了从人类—环境系统(人地系统)的变化发展到微观个体适应层面,系统更涉及了自然、经济、社会、环境和制度等多维要素。20世纪中期以来,从进化生态学到可持续科学领域,适应性概念随着不同的研究对象、视角等变化,其概念内涵也呈现扩展趋势(图1)。即从单纯生物进化的外部环境适应反应演化为具有人类—环境综合系统交互作用意义的集成概念;对适应的关注由以有机体(个体)或群体为中心,发展到以人的适应能力为中心的系统适应管理上,注重人的主动适应对系统外部风险干扰的应对作用。

综上所述,通过梳理适应性概念定义和内涵演变表明人地系统研究领域已广泛使用并认可了适应性概念,不过仍然存在大量分歧。但一般而言,

适应都是个体或者系统为应对外界环境变化而做出响应、调整的过程。这一内涵特征涵盖了从生物个体(种群)到整个人地系统的尺度。因此,本文认为与其试图创新另一种全面的适应性内涵解释,将现有学科领域的概念综合集成,更易于厘清和明确人地系统适应性的概念内涵,主要包括3个方面:①适应性是一种能力,调整系统内外部结构以降低其脆弱性或不利影响,改善应对外部环境变化的适应能力;②适应性是一种响应/调整,为减少社会、生态或人地系统对外界变化的负面影响且保持系统原有状态的优势,在行为和系统结构上的改变,体现了系统适应的行为特性;③适应性是一个过程,系统根据已有的或将面临的外在压力或环境风险等不断调整、改变发展方向和行动,体现了系统对外界环境的动态演化过程。同时,人地系统是由人类活动和地理环境2个子系统交错构成的复杂开放的巨系统^[39]。基于以上分析,本文认为人地系统适应性是人类主体为减少地理环境变化的负面干扰,调整其行为和系统结构的过程,以降低不利影响并保持系统优势状态的能力,反映了人地系统的适应能力、响应/调整和适应变化的过程。

2 适应性理论与分析框架

由于人地系统适应性研究深受多学科交叉影响,在长期的研究积累中,国内外学者通过借助相关学科(如生态学、地理学、环境科学、人文社会科学等)理论与方法,探索和建立一系列适应性分析框架、理论模型等,本文对相关文献梳理总结发现,目前由于学者们对适应性概念、对象、影响因素理解以及学科领域认知的差异,主要以系统综合视角、资源要素评价以及面向适应性管理(治理)实践的3类人地系统适应性理论与框架为主。

2.1 系统适应性视角

2.1.1 适应性循环理论

适应性循环概念是2001年由Holling等^[40-41]提出的,最初用来强调生态系统如何进行自我组织以及如何应对环境的变化,并逐步发展成解释社会—生态系统或是人地系统运行周期的核心理论。该理论很好地描述了人地系统的动态变化过程,并提出了复杂系统适应性循环会经历的4个阶段,分别是开发(r)、保护(K)、释放(Ω)和更新重组(α)。通过系统的潜力、连通度和恢复力3个属性变化来表达

图1 适应性概念内涵的扩展

Fig.1 Expansion of the concept of adaptation

应对外部“刺激”下系统适应性循环阶段发展的动态响应机制^[22,40-41]。

2.1.2 气候/环境变化下系统适应性分析框架

Nelson等^[14]从恢复力框架视角提出了环境变化下社会—生态系统适应性研究思路,在恢复力框架下,适应性是弹性社会—生态系统的中心特征,适应能力左右系统恢复力,适应能力越强,其恢复力也越强。其强调适应性研究的系统路径(system-oriented)导向,注重系统的整体性及各要素间的联系,提出了适应性评估的3个核心构成要素,即系统特征、适应过程与适应结果(图2)。系统适应的目的不是单一的稳定,而是柔韧性(flexibility),其过程具有动态累积效应,因而适应性评价不仅要考虑当前的系统状态,也要考虑对系统未来柔韧性的影响。

Smithers等^[13]在1997年提出了理解人类适应气候变化的框架,该框架将“气候事件”作为系统外部扰动,适应涉及社会—生态系统的要素变化,以响应气候变化中某种风险或扰动。该框架认为气候变化的适应分析应从处理“扰动”的属性、受影响人类系统的特性或响应着手。这3个维度代表了系统适应的主要方面,其总结了干扰或压力刺激的性质、人类系统的5个特征,以及适应响应7个属性形成的不同适应类型。该研究通过综合气候变化领域适应性概念理解,首次将描述和分析系统适应气候变化的维度和属性组织在一个概念框架中,为气候变化适应性研究提供了分析思路。

2.1.3 生计系统适应性分析框架

Chen等^[42]将生计系统适应性定义为生计主体应对外界环境风险(压力)、运用自身可接近或储备

的资源(资产)动态适应并保持适当生计状态的适应过程,基于Nelson等^[14]恢复力框架下的适应性研究基础,提出了以适应行为、能力、结果为核心的生计适应性分析框架,该框架具体要素见表2,其将生计问题与适应性概念结合,强调不同生计策略下生计适应能力对风险应对的重要性,并提倡由“外在压力—适应过程—适应状态”组成的逻辑分析思路。相比以往聚焦单一农户生计适应行为、策略及影响因素研究,该分析框架更侧重生计内部结构和系统动态过程对微观农户尺度适应性的作用机制。

2.2 资源要素适应性(能力)评价视角

Coleman^[43]为了在系统整体中研究适应性,从社会—生态系统理论框架出发,构建了森林状况的扰动和适应能力影响模型。该模型中,自变量扰动既能通过适应能力间接影响森林状况,也能与自变量适应能力一同直接影响森林状况。适应能力由治理系统、资源用户等多个子集构成。治理系统由财产权代表,资源用户由竞争对手的用户群体和组织能力表征。这些子集相互作用共同影响森林系统的结果,同时也可看作是资源系统的结果。

此外,Pandey^[15]从水资源系统视角提出了适应能力评估框架,并建立了量化适应能力的评价指标体系。该框架认为水资源系统应对压力刺激(污染排放、资源撤回等)的适应性,可将水用户的适应能力作为一种代表,借助各种用水部门的适应性来理解。通过社会系统的物质能力、人力资源能力、经济能力和生态系统的自然能力4个维度对适应性进一步量化。赵雪雁等^[44]在MPPACC分析框架的基础上,也研究了农户对水资源的适应感知,并量化为农户感知度指数。

实际上,完全量化适应性存在一定的局限性,部分学者也运用理论或概念框架,将适应性半定量化,如Gupta等^[45]提出了适应能力“轮”的理论评估框架,作为一种新的适应能力评估方法,对适应性进行了半定量化的指标研究(表3)。利用该框架指标来评估,可让社会参与者知道他们的机构如何影响适应能力的不同方面,并且什么地方有讨论和改革的余地。与此同时,Bergsma等^[46]将该理论框架运用到荷兰的水管理研究中。这些资源评价类分析框架为适应性的定量或半定量化研究提供了可操作性,也为自然资源适应性管理实践评估提供了指导。

图2 环境变化下社会—生态系统适应性^[14]

Fig.2 Adaptation of social-ecological system under environmental changes

表2 农户生计适应性分析框架的要素^[42]

Tab.2 Elements of the analytical framework for household livelihood adaptation

结构	维度	具体内容
外部风险	—	环境变化、气候变化、自然灾害风险、资源匮乏……
适应过程	生计适应策略	主体结构:农户自反应、政府政策、社会援助……
	生计适应能力	3大要素:缓冲能力、学习能力、自组织
	生计适应结果	生计产出:生计水平/生计稳定性;生计感知:满意度/农户认知
适应程度	—	生计艰难:重新适应选择;生计可持续:保持适应策略

表3 适应能力“轮”理论指标框架^[45]

Tab.3 Index system of the adaptive capacity "wheel"

目标层	准则层	指标层
适应能力	多样化	问题框架&解决;多种参与者,水平&部门;多样性;裁员
	公平治理	合法性、公平、响应能力、责任制
	资源	权力、人力、金融
	领导	合作、企业、有远见
	自主变化空间	连续获取信息;按计划行事;随机应变能力
	学习能力	信任、单环学习、双环学习、讨论疑问、制度记忆

2.3 适应性管理(治理)实践视角

2.3.1 适应性管理决策分析框架

适应性管理最初在 20 世纪 70 年代后期发展起来,目的是支持自然资源管理不确定性下的决策^[47]。Linkov 等^[48]认为适应性管理决策需要系统的量化工具和方法,通过构建框架整合适应性管理的人员、过程和工具,以使适应性管理具有结构化和科学性。该适应性管理框架分为 3 个部分即参与者(包括决策者、专家学者与工程技术人员、利益相关者 3 大群体)、管理过程、工具和方法。参与者在适应性管理决策中角色作用不同,其中,决策者需要对问题进行界定并形成范围选择,基于其他参与者建议确定最终方案,并实施政策和管理策略。利益相关者在于对决策方案筛选与确定中的基本标准和价值要素提供判断考量,为方案制定的决策者提

供建议。专家与技术人员的贡献在于提供最后决策方案形成过程中,涉及的技术方法和科学意见。适应性管理的决策过程大致包括 2 个方面:首先,明确适应性管理的方案选择,涉及问题界定后方案选择的依据和价值判断^[27];其次,通过管理过程对方案进行修正和完善。

2.3.2 适应性治理框架

Folke 等^[49]在 2005 年正式提出“社会—生态系统的适应性治理”概念,并设计了适应性治理的一般实现框架,该框架涵盖了“知识组织”“目标确定”“社会网络”的准备阶段,以及通过“机会空窗”对系统进行转型的实现阶段。该框架在后续的适应性治理实践研究中得到运用与改进,Rijke 等^[50]研究总结出实现适应性治理操作的新框架(图 3),即诊断适应性治理机制适用性的 3 步框架。该框架明确提出

图3 诊断适应性治理机制适用性的 3 步框架^[50]

Fig.3 A three step framework for diagnosing the applicability of adaptive governance mechanism

了为实施适应性治理带来挑战的3个不确定方面,目的是使政策制定者或决策者认识到需要解决的问题,以便建立有效的适应性治理机制。

总体来看,上述各视角典型的理论和实践分析框架为人地系统适应性的理论体系建构提供了基础,对全球变化、社会—生态系统和适应性应用管理领域提供了理论指导和评估思路。虽然面向社会—生态系统、要素评估和实践管理的分析框架涌现,但由于不同分析框架对适应性研究对象、内容、逻辑和视角解构的差异,导致通用的人地系统适应性分析框架建立受阻。气候变化领域适应性理论与分析框架依然处于主导地位,且受脆弱性、恢复力概念框架的影响较大。对于整合人地系统构成要素、过程、机制和应对管理的统一适应性理论框架仍有待于深入的理论探索和实践研究。

3 适应性研究方法

适应性研究的独立发展趋势推动其研究方法向量化评估与案例分析延伸,基于适应性概念辨析与理论框架的探索,适应性研究方法尤其是适应能力评价得到发展^[51-52]。但由于研究对象差异与复杂性,早期国内外适应性研究方法以质性研究主导,量化评估模型与方法以借鉴脆弱性研究和相关学科方法为主,并没有专门的适应性研究方法和模型。目前适应性的相关研究方法呈现出定性描述逐步向定量计算和定性社会调查分析相结合的发展趋势。

3.1 评价方法与模型

评价方法是人地系统适应性评价研究的重要手段之一,目前主要的研究方法可概括为质性调查分析、定量定性分析相结合、量化分析和空间分析技术4类。不同的评价方法和模型在运用过程中各有优劣势(表4),因此适应性评价研究方法的选择可根据研究目的、内容和应用领域进行合理选择。

从已有国内外研究来看,人地系统适应性评价研究多以适应策略、管理、行为分析和适应性(能力、程度)指数评估为主。其中,前者大多数学者采用质性研究分析,通过参与式观察对研究对象进行访谈和问卷调查的方法,全面了解研究对象的实际情况,较客观地反映出系统的适应性^[53-54]。后者是通过数理计算和模型运算得出适应性(能力)指数^[55-58],比较常见的方法有综合指数法^[59]、函数模

型法^[60]、情景分析法^[61-63]等。近年来,概念模型法与数理模型结合^[64-66],GIS、RS空间技术法^[63,66-67]对适应性评估的支撑等实践应用变得更为广泛。

3.2 评价指标体系与因素识别

评估指标体系反映了适应性研究要素的内在结构及相互作用关系,其选择和构建对适应性评价结果具有重要影响,以往研究根据研究尺度、对象、内容以及对适应性概念理解的差异,学者们构建的指标体系存在显著差异。对现阶段适应性研究的评价指标体系梳理,大致概括为区域、气候(全球)变化、复杂系统(社会—生态系统、人地系统等)、单要素系统(如产业生态、水资源、旅游、生态等)以及农户生计适应性5类(表5)。

此外,指标体系构建是实施适应性评估的基础,而适应性影响因素及机制分析为增强有效适应性政策或措施制定提供了支撑。因此,多数适应性评估研究往往涉及指标体系与因素识别分析两方面。在众多影响适应性的因素识别方法中,研究常用数理模型,如Logistic模型^[68-69]、Probit模型^[70]、OLS模型^[42]、Tobit模型^[70]、PCA分析^[71]、结构方程模型^[72]等,部分学者根据适应性研究实际情况,在已有模型的基础上进行修正,以满足多要素适应性的影响因素分析^[63,65]。

总体来说,当前大部分研究所构建的适应性指标体系通过借鉴脆弱性、恢复力研究思路,在中、宏观尺度上从社会(文化)、经济和生态环境要素出发,微观尺度上从生计资本要素出发,指标体系构建对区域实际生境特征把握不足,在实证效度和方法的科学性上仍存在一定缺陷。

4 人地系统适应性研究展望

4.1 关键科学问题与框架

科学问题是推动理论发展的基础,对任何学科领域的适应性研究都需要明确其关键问题,即适应什么、谁或什么去适应以及适应过程^[37]。本文通过对Smit等^[10]气候变化适应性概念框架的修订,在适应性科学问题和理论框架理解基础上,归纳总结了适应性科学研究的理论范式(图4)。

对象:适应分析的关键是指明与系统相关的“风险”“刺激”“压力”等外部扰动,即“适应什么”。适应的对象可以是对不利影响或脆弱性的反应,也可以是对机会的反应。如全球变化问题、自然灾

表4 人地系统适应性评价方法及应用

Tab.4 Evaluation method and application of adaptation of human-environment system

评价方法	举例	应用领域	评价
社会调查法	问卷调查法、量表分析、参与式行动研究(Participatory Action Research, PAR)	社会学、资源管理分析	常用于对研究案例地开展问卷、访谈等形式的一手资料收集,主要通过资料整理和数据统计描述分析直接反映研究对象的适应性(能力)要素及状况,难以做到适应性评估的量化表达
概念模型法	适应性循环模型、区域适应能力评价模型	社会—生态系统领域	实现了适应性理论框架到适应性评价的可操作化,但适应性量化评估仍需结合相关数据和数理模型
情景分析法	IPCC 情景模拟、情景驱动的空间适应能力模型	气候变化、全球变化、自然灾害等	是适应性演化(要素变化)评估和趋势预测常用方法,有利于改进适应性管理和实践对策,情景设置和数据模拟科学性是有效评价分析的前提
综合指数法	生态适应能力指数、城市产业适应能力指数、农户适应性指数、干旱适应能力指数	从微观个体到宏观全球尺度的多科学领域	适应性量化评估操作简单,但忽视了系统要素构成之间的关系,且指标权重的确定由于方法不同存在随机差异
函数模型法	主体建模法、数据包络分析法	自然生态评价领域	明确了适应性评估要素及其相互作用关系;但由于对研究对象适应性要素理解不同以及系统复杂化,会造成模型函数表达方式存在较大差异,其普适性下降
GIS、RS 空间技术法	空间多准则评估法、图层叠加法	城市发展、农学、土地、生态环境领域	实现了适应性评估空间可视化和直观表达,但评价结果难以反映要素内在联系及影响

表5 代表性的适应评价指标体系

Tab.5 Representative adaptation evaluation index system

指标体系名称	一级指标	二级指标	文献来源
生态适应能力	不良影响、抵御能力、恢复能力	不良影响:地形起伏度、植被覆盖度、土壤质地、降水侵蚀力;抵御能力:农田、林地、草地、湿地、城乡、荒漠生态系统分级;恢复力能力:地貌、坡度、降水、土层厚度、土壤类型、土壤有机质含量、距灌渠距离	徐瑱等 ^[66]
城市产业生态系统适应性	易损性、敏感性、稳定性、弹性	产业系统结构熵、外贸依存度、制造业和农业增长弹性系数、产业系统发育程度指数、三废综合利用产值占GDP比重、人均GDP、单位GDP资源消耗量变化率、环境治理投资占GDP的比重、森林覆盖率等	仇方道等 ^[55]
农户生计适应性	缓冲能力、学习能力、自组织	人均实际耕种面积、农业转型、物质资产、年人均收入、耕地质量、人均水资源支出、资助机会、抚养比率、教育程度、技术学习与运用、组织潜力、社会网络等	Chen等 ^[42] Below等 ^[71]
区域适应能力	压力、状态、风险性、恢复性、适应性	耕地开垦率、农牧业生产量指数、国民生产总值、城市化率、湿润度指数、地形粗糙度指数、景观格局指数、NDVI、生态弹性度、洪涝风险度、干旱风险度、地震风险度、人为干扰风险度、人类适应性指数	陈凤臻等 ^[64]
全球变化适应能力	公平、知识、技术、基础设施、灵活性、经济能力	女性活动率、收入不平衡、识字率、就业率、研发经费支出、专利数量、电话数量、医生人数、人均国内生产总值、抚养比率、财政预算余额、世界贸易份额	Acosta等 ^[63]
水资源适应能力	自然能力、物质能力、人力能力、经济能力	植被和湿地面积的比例、灌溉覆盖率、饮用水覆盖率、识字率、经济活动人口、GDP指数、非农业就业	Pandey等 ^[115]
社会—生态系统适应性循环	潜力、连通度、恢复力	邻里信任、组织潜力、储备资金、社会支持度、沟通应对灾害、农民话语权、集体效能、灾害应对、社会秩序等	Gunderson等 ^[41]
气候变化适应性评价	经济、农业、社会和资源环境系统	经济发展水平与结构、经济发展效益与能力、农业发展水平、农业发展效益、社会人口与发展、社会发展水平、环境治理、生态建设、资源支持	陈太根等 ^[73] 崔利芳等 ^[74]
旅游适应性评价	政策适应性、社会适应性、生态适应性、文化适应性、心理适应性	政策知晓程度、旅游决策参与、网络通讯条件、环卫设施条件、专业技能培训、卫生环境意识、年旅游收入、参与旅游人数、旅游投入资金、民俗文化表演参与度、旅游资源自信度、旅游危机处理的意识等	吴吉林等 ^[75]

注:① 系统状态循环包括开发阶段 r 、保护阶段 k 、释放阶段 Ω 、更新阶段 α ;② 适应能力是决定系统应对风险或不确定性的关键,并对系统状态的转换产生影响,阈值是系统发生状态变化的表征;③ 调整与转型适应是以适应性评价为基础的适应性管理与行动。

图4 理解适应性研究范式的框架

Fig.4 A framework for understanding adaptive research paradigms

害、生态恶化、社会冲突、城市病等自然生态或人类社会社会经济系统问题。此外,它也可以是对当前、实际或预计的预期条件、变化或后果的反应,存在时间和区域空间特征。因此,适应性对象可以从个体“事件”到系统综合“干扰”,并存在时空差异。

主体:主体是指系统中具有被动反映(自适应)或主动行为的个体一直延伸到整个系统。适应性研究需要描述系统主体,即“谁或什么适应”。适应主体可以是个人、群体、社会和经济部门及活动、管理或非管理的自然或生态系统,适应主体的定义根据范围、系统特征不同而不同。在人类社会系统中,适应主体决策涉及多利益者或集体适应行动,对适应主体的互馈、信息交流与决策机制理解尤为重要。

动态:动态是系统适应的过程和由此产生的结果或影响,涉及了“适应性如何发生”和“什么是成功的适应性”。首先,适应过程或措施可以是反应性的或预期的、自发的或计划的,也可以是以主动或被动等其他方式区分的。源于系统内部过程或外部扰动促使系统及各组分随时间推移而发生的

动态变化,这种变化的关键在于系统应对外部干扰的适应能力(图4),当系统适应能力下降会导致系统超越固有阈值,系统要素发生根本变化促使系统状态转换,适应循环作用的最终结果是系统发生动态演化。其次,理解系统的动态是调整、转型适应以及应对不确定性从而实现成功适应的根本。系统适应的最终结果及影响大多数基于适应性评价来确定,适应性评估可以基于成本、效益、公平、效率、紧迫性和可持续性标准。未能减少脆弱性或应对风险变化被称为“适应不当”或“不良适应”,适应调整、转型适应是“以更好地适应”新的条件为基础的适应性管理,并对下一阶段系统适应性产生影响作用。

4.2 适应性研究的挑战

通过适应性评价和管理促进人地系统良性发展,已成为当前人地系统和复杂社会—生态系统领域新的研究方向。由于国内适应性研究以对外经验借鉴为主,中国化的适应性研究仍面临众多挑战,需要从以下几个方面强化对适应性理论与实践研究的探讨。

4.2.1 适应性概念认知统一与理论方法体系构建

由于国内外学界对适应性概念的理解尚未达成共识,目前并没有形成通用的适应性研究理论体系。其概念的模糊性、研究对象的复杂性和对相关领域理论框架的依赖性^[51],造成适应性评价思路、理论方法的混用,限制了适应性实践应用的科学性。不同领域的适应性的认知分歧也阻碍适应性研究的多学科融合交流。此外,适应性研究缺乏具有独立的代表性分析方法,除借用脆弱性、恢复力函数模型和指标体系外,多数基于社会学的质性方法。因此,统一的适应性概念和理论体系的构建亟需加强,而国外既有积累的理论经验并不通用,中国化的适应性分析框架、方法是未来的重要研究内容。在适应性概念和构成要素统一认知基础上,只有通过跨学科、多元技术方法优势整合,统筹适应性研究数据组织方法、模型和指标等问题,才能使复杂的人地系统适应性问题进行科学有效的研究。

4.2.2 强化人类社会与自然环境的“综合”适应性研究

目前的适应性研究大多集中在人类社会或自然环境单一领域,侧重“人”对外部环境“干扰”的适应,人类—环境交互系统的综合研究依然较少,如社会—生态系统、人地耦合系统等。尤其在全球气

候、环境变化的背景下,人类社会与自然环境互馈作用强化,要素作用影响复杂。仅从人类社会或自然环境中某一子系统或单一视角出发,难以全面地反映复杂系统适应过程和要素互馈机制。因此,加强适应性多要素的系统整合研究去诠释复杂的人地关系问题不仅有利于适应性研究内容的拓展和案例成果的积累,也符合可持续科学领域未来的发展趋势。

4.2.3 注重多尺度结合的适应性动态研究

自适应系统本身具有多尺度、多层次和嵌套性特征。不同时空尺度中人地系统适应演化表现出显著的特征差异。适应性研究尺度涉及范围广泛,包括农户、社区、区域、国家等^[16]。但绝大多数研究只关注某种单一尺度,表现出微观农户尺度对外部“干扰”适应性(如能力、行为、策略等)研究的“井喷”现象;部分研究涉及宏观区域、国家尺度分析。但总体缺乏不同时空尺度适应性演化动态分析,对人地系统适应性的尺度互馈过程和演化规律关注不够。因此,明确系统尺度特征,结合适应性构成要素、动态过程和发生机制等内容,的多尺度适应性动态研究应进一步强化。这将有利于揭示人地系统适应演化的动态过程和影响机理,深化并完善适应性研究的理论基础。

4.2.4 面向政策与实践应用的人地系统适应性研究

尽管适应性研究在面向自然资源实践应用的适应性管理(治理)方面存在一定的研究成果,但是目前人地系统适应性研究仍侧重理论探究和案例实证分析,在政策导向的人地系统适应性研究方面关注不足。国家政策与社会制度变迁对区域(地方、城市、乡村等)人地系统演化中各子系统要素变化会产生重要影响,其系统适应性评价与分析结果对不同尺度区域发展的政策调整与完善具有一定实践参考作用。因此,结合已有的适应性理论方法,加强面向政策与实践应用的人地系统适应性研究是未来应关注的重要方向之一,对中国脆弱环境和资源胁迫地区的人地系统有效适应性管理(治理)具有重要实践意义。

参考文献(References)

[1] 孙晶, 王俊, 杨新军. 社会—生态系统恢复力研究综述 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5371-5381. [Sun Jing, Wang Jun, Yang Xinjun. An overview on the resilience of social-ecological systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5371-5381.]

[2] Tyler N J C, Turi J M, Sundset M A, et al. Saami reindeer pastoralism under climate change: Applying a generalized framework for vulnerability studies to a sub-arctic social-ecological system [J]. *Global Environmental Change*, 2007, 17: 191-206.

[3] Berrang-Ford L, Ford J D, Paterson J. Are we adapting to climate change? [J]. *Global Environmental Change*, 2011, 21: 25-33.

[4] The World Climate Research Programme (WCRP). The world climate research programme achievements: Scientific knowledge for climate adaptation, mitigation and risk management [M]. WCRP, 2009.

[5] Eriksen S. Sustainable adaptation: Emphasising local and global equity and environmental integrity [J]. *IHDP Update*, 2009(2): 40-44. Retrieved from papers2://publication/uuid/5C635E6B-24EB-4B7B-AE49-5A290430DC19.

[6] ICSU-IGFA. Review of the international geosphere-biosphere programme (IGBP) [R]. Paris, France: International Council for Science, 2009.

[7] Diversitas. Diversitas annual report 2008-09: Integrating biodiversity science for human well-being [R]. Diversitas, 2009.

[8] IPCC. Climate change: The IPCC impacts assessment [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991.

[9] Gallopín G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 293-303.

[10] Smit B, Wandel J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability [J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16 (3): 282-292.

[11] Smit B, Burton I, Klein R J T, et al. An anatomy of adaptation to climate change and variability [J]. *Climatic Change*, 2000, 45: 223-251.

[12] Adger W N, Arnell N W, Tompkins E L. Successful adaptation to climate change across scales [J]. *Global Environmental Change*, 2005, 15: 77-86.

[13] Smithers J, Smit B. Human adaptation to climatic variability and change [J]. *Global Environmental Change*, 1997, 7(2): 129-146.

[14] Nelson D R, Adger W N, Brown K. Adaptation to environmental change: Contributions of a resilience framework [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2007, 32(1): 395-419.

[15] Pandey V P, Babel M S, Shrestha S, et al. A framework to assess adaptive capacity of the water resources system in Nepalese River basins [J]. *Ecological Indicators*, 2011, 11: 480-488.

[16] 崔胜辉, 李旋旗, 李扬, 等. 全球变化背景下的适应性研

- 究综述 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(9): 1088-1098. [Cui Shenghui, Li Xuanqi, Li Yang, et al. Review on adaptation in the perspective of global change. Progress in Geography, 2011, 30(9): 1088-1098.]
- [17] 方一平, 秦大河, 丁永建. 气候变化适应性研究综述: 现状与趋向 [J]. 干旱区研究, 2009, 26(3): 299-305. [Fang Yiping, Qin Dahe, Ding Yongjian. A review about the research on adaptability in climate change-present situation and tendency. Arid Zone Research, 2009, 26(3): 299-305.]
- [18] 沈莎莎, 高群, 陈爽, 等. 全球变化下的适应性及其研究进展 [J]. 环境科学与技术, 2012, 35(S2): 166-173. [Shen Shasha, Gao Qun, Chen Shuang, et al. Study and advances in research on adaptation under global change. Environmental Science & Technology, 2012, 35(S2): 166-173.]
- [19] 苏飞, 莫潇杭, 童磊, 等. 旅游地社会—生态系统适应性研究进展 [J]. 地理科学, 2020, 40(2): 280-288. [Su Fei, Mo Xiaohang, Tong Lei, et al. Progress on adaptability of tourism destination social-ecological system. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(2): 280-288.]
- [20] Darwin C. The origin of species by means of natural selection [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2009.
- [21] Steward J H. Theory of culture change: The methodology of multilineal evolution [M]. Urbana, USA: University of Illinois Press, 1972.
- [22] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 1-23.
- [23] Walker B, Holling C S, Carpenter S R, et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems [J/OL]. Ecology and Society, 2004, 9(2): 5. <http://ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>.
- [24] 方修琦, 殷培红. 弹性、脆弱性和适应: IHDP 三个核心概念综述 [J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 11-22. [Fang Xiuqi, Yin Peihong. Review on the three key concepts of resilience, vulnerability and adaptation in the research of global environmental change. Progress in Geography, 2007, 26(5): 11-22.]
- [25] O'Brien M J, Holland T D. The role of adaptation in archaeological explanation [J]. American Antiquity, 1992, 57: 36-59.
- [26] 贾慧聪, 潘东华, 王静爱, 等. 自然灾害适应性研究进展 [J]. 灾害学, 2014, 29(4): 122-128. [Jia Huicong, Pan Donghua, Wang Jing'ai, et al. Research progress of natural disaster adaptation. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 122-128.]
- [27] 徐广才, 康慕谊, 史亚军. 自然资源适应性管理研究综述 [J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1797-1807. [Xu Guangcai, Kang Muiyi, Shi Yajun. A review of adaptive management research on natural resources. Journal of Natural Resources, 2013, 28(10): 1797-1807.]
- [28] Holling C S. Resilience of ecosystems: Local surprise and global change [C]// Clark W C, Munn R E. Sustainable development as hazard. New York, USA: Oxford University Press, 1978.
- [29] IPCC. Climate change: Impacts, adaptation & vulnerability [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [30] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science [J]. PNAS, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [31] Slobodkin L B, Rapoport A. An optimal strategy of evolution [J]. The Quarterly Review of Biology, 1974, 49: 181-200.
- [32] Denevan W M. Adaptation, variation and cultural geography [J]. Professional Geographer, 1983, 35(4): 399-407.
- [33] Burton I, Kates R W, White G F. The environment as hazard [M]. New York, USA: Oxford University Press, 1978.
- [34] Forest Ecosystem Management Assessment Team. Forest ecosystem management: An ecological, economic, and social assessment [R]. Washington D C, USA: US Government Printing Office, 1993.
- [35] Habron G. Role of adaptive management for watershed councils [J]. Environmental Management, 2003, 31(1): 29-41.
- [36] Smith J B, Ragland S E, Pitts G J. A process for evaluating anticipatory adaptation measures for climate change [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1996, 92: 229-238.
- [37] Smit B, Burton I, Klein R J T, et al. The science of adaptation: A framework for assessment [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1999, 4(3/4): 199-213.
- [38] Smith J B. Setting priorities for adapting to climate change [J]. Global Environmental Change, 1997, 7(3): 251-264.
- [39] 吴传钧. 论地理学的研究核心: 人地关系地域系统 [J]. 经济地理, 1991, 11(3): 1-6. [Wu Chuanjun. The core of geography study: Man-earth areal system. Economic Geography, 1991, 11(3): 1-6.]
- [40] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems [J]. Ecosystems, 2001, 4 (5): 390-405.
- [41] Gunderson L H, Holling C S. Panarchy: Understanding

- transformation in human and natural systems [M]. Washington D C, USA: Island Press, 2002.
- [42] Chen J, Yin S, Gebhardt H, et al. Farmers' livelihood adaptation to environmental change in an arid region: A case study of the Minqin Oasis, Northwestern China [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 93: 411-423.
- [43] Coleman E A. Common property rights, adaptive capacity, and response to forest disturbance [J]. *Global Environmental Change*, 2011, 21: 855-865.
- [44] 赵雪雁, 薛冰. 干旱区内陆河流域农户对水资源紧缺的感知及适应: 以石羊河中下游为例 [J]. *地理科学*, 2015, 35(12): 1622-1630. [Zhao Xueyan, Xue Bing. Farmers' perception of water resource shortage and adaptation in continental river basin of arid zone: A case of the middle-lower reaches of the Shiyang River. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(12): 1622-1630.]
- [45] Gupta J, Termeer C, Klostermann J, et al. The Adaptive Capacity Wheel: A method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society [J]. *Environmental Science & Policy*, 2010, 13: 459-471.
- [46] Bergsma E, Gupta J, Jong P. Does individual responsibility increase the adaptive capacity of society? The case of local water management in the Netherlands [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 64: 13-22.
- [47] Holling C S. Adaptive environmental assessment and management [M]. New York, USA: Wiley, 1978.
- [48] Linkov I, Satterstrom F K, Kiker G, et al. From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications [J]. *Environment International*, 2006, 32(8): 1072-1093.
- [49] Folke C, Hahn T, Olsson P, et al. Adaptive governance of social-ecological systems [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005, 30(1): 441-473.
- [50] Rijke J, Brown R, Zevenbergen C, et al. Fit-for-purpose governance: A framework to make adaptive governance operational [J]. *Environmental Science & Policy*, 2012, 22: 73-84.
- [51] Engle N L. Adaptive capacity and its assessment [J]. *Global Environmental Change*, 2011, 21: 647-656.
- [52] Adger W N, Vincent K. Uncertainty in adaptive capacity [J]. *Comptes Rendus Geoscience*, 2005, 337(4): 399-410.
- [53] 张倩, 艾丽坤. 适应性治理与气候变化: 内蒙古草原案例分析与对策探讨 [J]. *气候变化研究进展*, 2018, 14(4): 411-422. [Zhang Qian, Ai Likun. Adaptive governance and climate change: Case analysis of Inner Mongolia grassland and counterplan study. *Climate Change Research*, 2018, 14(4): 411-422.]
- [54] Bunclark L, Gowing J, Oughton E, et al. Understanding farmers' decisions on adaptation to climate change: Exploring adoption of water harvesting technologies in Burkina Faso [J]. *Global Environmental Change*, 2018, 48: 243-254.
- [55] 仇方道, 佟连军, 姜萌. 东北地区矿业城市产业生态系统适应性评价 [J]. *地理研究*, 2011, 30(2): 243-255. [Qiu Fangdao, Tong Lianjun, Jiang Meng. Adaptability assessment of industrial ecological system of mining cities in Northeast China. *Geographical Research*, 2011, 30(2): 243-255.]
- [56] Carien de Villiers A, Esler K J, Knight A T. Social processes promoting the adaptive capacity of rangeland managers to achieve resilience in the Karoo, South Africa [J]. *Journal of Environmental Management*, 2014, 146: 276-283.
- [57] 程怀文, 李玉文, 徐中民. 水资源短缺的社会适应能力理论及实证: 以黑河流域为例 [J]. *生态学报*, 2011, 31(5): 1430-1439. [Cheng Huaiwen, Li Yuwen, Xu Zhongmin. Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(5): 1430-1439.]
- [58] 周松秀, 田亚平, 刘兰芳. 南方丘陵区农业生态系统适应能力及其驱动因子: 以衡阳盆地为例 [J]. *生态学报*, 2015, 35(6): 1991-2002. [Zhou Songxiu, Tian Yaping, Liu Lanfang. Adaptability of agricultural ecosystems in the hilly areas in southern China: A case study in Hengyang Basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(6): 1991-2002.]
- [59] 李博, 张志强, 苏飞, 等. 环渤海地区海洋产业生态系统适应性时空演变及影响因素 [J]. *地理科学*, 2017, 37(5): 701-708. [Li Bo, Zhang Zhiqiang, Su Fei, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of marine industrial ecosystem adaptability in the Bohai Sea region. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(5): 701-708.]
- [60] 郭付友, 佟连军, 李平, 等. 效率演化视角下吉林省松花江流域产业系统环境适应性研究 [J]. *地理科学*, 2018, 38(10): 1681-1689. [Guo Fuyou, Tong Lianjun, Li Ping et al. Environmental adaptability of industrial system in the Songhua River Basin of Jilin Province from the perspective of efficiency evolution. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(10): 1681-1689.]
- [61] IPCC. Climate change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability [M]. Working Group II Contributions to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Cambridge, UK and

- New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [62] IPCC. Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability, glossary [M]. Working Group II Contributions to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2014.
- [63] Acosta L, Klein R J T, Reidsma P, et al. A spatially explicit scenario-driven model of adaptive capacity to global change in Europe [J]. *Global Environmental Change*, 2013, 23: 1211-1224.
- [64] 陈凤臻, 姜琦刚, 于显双, 等. 全球变化下北方农牧交错地带区域适应能力评价模型研究 [J]. *地球科学与环境学报*, 2010, 32(3): 292-296, 323. [Chen Fengzhen, Jiang Qigang, Yu Xianshuang, et al. Study on regional adaptability model for farming-pastoral zone in the northern of China under global change. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2010, 32(3): 292-296, 323.]
- [65] Clarvis M H, Allan A. Adaptive capacity in a Chilean context: A questionable model for Latin America [J]. *Environmental Science & Policy*, 2014, 43: 78-90.
- [66] 徐瑱, 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 [J]. *中国沙漠*, 2010, 30(5): 1174-1181. [Xu Zhen, Qi Yuan, Qi Hongchao, et al. Modeling of ecosystem adaptive capability under the framework of social-ecological system. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(5): 1174-1181.]
- [67] Villagra P, Rojas C, Ohno R, et al. A GIS-base exploration of the relationships between open space systems and urban form for the adaptive capacity of cities after an earthquake: The cases of two Chilean cities [J]. *Applied Geography*, 2014, 48: 64-78.
- [68] 赵雪雁, 介永庆, 何小风, 等. 多重压力下重点生态功能区农户的生计适应性研究: 以甘南黄河水源补给区为例 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(1): 140-149. [Zhao Xueyan, Jie Yongqing, He Xiaofeng, et al. Livelihood adaptability of farmers in key ecological functional areas under multiple pressures: A case study of Yellow River water source areas of Gannan. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(1): 140-149.]
- [69] 尹莎, 陈佳, 杨新军. 社会—生态系统重构背景下农户适应行为及影响机理 [J]. *人文地理*, 2020, 35(2): 112-121. [Yin Sha, Chen Jia, Yang Xinjun. Adaptive behavior of farming household and influential mechanism in the background of social- ecological system reconstruction. *Human Geography*, 2020, 35(2): 112-121.]
- [70] 朱红根, 康兰媛, 周曙东. 南方稻区季节性干旱农户适应行为及其影响因素实证分析 [J]. *自然资源学报*, 2016, 31(9): 1540-1552. [Zhu Honggen, Kang Lanyuan, Zhou Shudong. The empirical analysis of farmers' adaptation behavior to seasonal drought in southern rice growing area and its influencing factors. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(9): 1540-1552.]
- [71] Below T B, Mutabazi K D, Kirschke D, et al. Can farmers' adaptation to climate change be explained by socioeconomic household-level variables? [J]. *Global Environmental Change*, 2012, 22: 223-235.
- [72] 冀县卿, 钱忠好. 失地农民城市适应性影响因素分析: 基于江苏省的调查数据 [J]. *中国农村经济*, 2011(11): 23-35, 61. [Ji Xianqing, Qian Zhonghao. Analysis on influence factors of urban adaptability for land-lost farmers: Based on survey data of Jiangsu Province. *Chinese Rural Economy*, 2011(11): 23-35, 61.]
- [73] 陈太根, 董婕, 延军平, 等. 区域气候变化适应度评价: 以咸阳市为例 [J]. *地理科学进展*, 2011, 30(3): 319-324. [Chen Taigen, Dong Jie, Yan Junping, et al. The evaluation of regional adaptation to climatic change: The case study of Xianyang City. *Progress in Geography*, 2011, 30(3): 319-324.]
- [74] 崔利芳, 任学慧. 大连市气候变化适应度评价 [J]. *资源科学*, 2012, 34(2): 273-279. [Cui Lifang, Ren Xuehui. An assessment of adaptation to climate change in Dalian. *Resources Science*, 2012, 34(2): 273-279.]
- [75] 吴吉林, 周春山, 谢文海. 传统村落农户乡村旅游适应性评价与影响因素研究: 基于湘西州6个村落的调查 [J]. *地理科学*, 2018, 38(5): 755-763. [Wu Jilin, Zhou Chunshan, Xie Wenhai. The influencing factors and evaluation of farmer's adaptability towards rural tourism in traditional village: Based on the survey of 6 villages in Xiangxi Prefecture, Hunan. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(5): 755-763.]

Progress of research on adaptation of human–environment systems: Concepts, theoretical frameworks, and methods

YIN Sha¹, YANG Xinjun^{1,2}, CHEN Jia^{1,2*}

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China)

Abstract: The purpose of adaptation research is to reduce the negative effects of external environment and improve adaptation through the adjustment of the subject to the changes of the external environment, which is an important way to realize the sustainable development of human-environment systems. In view of the lack of a unified understanding and systematic review of the adaptation theories, this article summarized the progress of research on adaptation from the concepts, theoretical frameworks, and methods by examining the literature on adaptation of human-environment systems in China and internationally, and put forward a scientific paradigm of adaptation research. The findings are as follows: 1) There is no scientific consensus on the concept of adaptation in academia, which hinders the construction of a general theoretical system of adaptation research. 2) The existing analytical frameworks of adaptation are mostly based on the extension and revision of the theoretical framework in the field of global change. 3) There is no representative method in adaptation research, which mainly uses vulnerability and resilience assessment methods and index systems. Therefore, the construction of a unified concept and theoretical system of adaptation needs to be strengthened. The existing theoretical research in other countries may not be universally applicable, and an analytical framework and method of adaptation research specifically useful in China should be an important research direction in the future. Simultaneously, it is necessary to strengthen the research on integrated adaptation of human-environment systems considering both human society and the natural environment, and pay attention to the dynamic analysis of adaptation with a combination of multiple scales.

Keywords: adaptation; human-environment system; adaptive capacity; analytical framework