

适应气候变化技术识别标准研究

李阔, 许吟隆

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081

摘要 适应气候变化是现阶段应对气候变化行动的重要举措。适应气候变化技术的识别标准是编制适应气候变化清单的基础, 是适应气候变化方法学的重要组成部分。本研究通过对气候变化及其影响进行分析, 明确人类所面对的气候变化问题的内涵; 结合适应技术定义, 确立适应气候变化技术核心识别标准是气候变化问题的针对性, 其关键在于将技术的适应方面与常规方面区分开来。另一方面, 对比分析适应技术与减缓技术, 明确有效区分技术的减缓效果与适应效果是适应气候变化技术识别的重要标准。依托识别标准, 不但可以对不同领域、不同地域已有的适应技术进行识别筛选, 也可对未来适应气候变化技术研发提供指导, 为适应气候变化技术体系构建奠定基础。

关键词 气候变化; 适应技术; 识别标准; 影响评估

中图分类号 P467

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.16.015

On criteria for identification of adaptation to climate change

LI Kuo, XU Yinlong

Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract Adaptation to climate change is an important measure to cope with climate change problems at present. Criteria for identification of adaptation to climate change are the foundation to draw up lists of adaptation technologies, which are the important component of methodology on adaptation to climate change. Based on the analysis of climate change and its impact, the connotations of climate change problems that human face are identified. According to the definition of climate change, the core criterion for identification is confirmed, which is the pertinency of climate change problems. The key rests with how to distinguish the adaptation aspect from routine aspect of technologies. On the other hand, adaptation technologies and mitigation technologies are compared. It is an important criterion to discriminate between mitigating effects and adapting effects. According to the above criteria, the existing adaptation technologies in different regions and different fields can be recognized and selected. It can provide guidance for the research on adaptation technologies to climate change in future, and establish a solid base for constructing the technology system of adaptation to climate change.

Keywords climate change; adaptation technology; identification criterions; impact assessment

自工业革命以来, 全球正经历着以变暖为主要特征的气候变化。2013年政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)发布的第五次评估报告显示, 1880—2012年全球平均地面气温升高了0.85℃(0.65~1.06℃); 相对于1850—1900年, 预测不同典型浓度路径(RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5)情景下, 21

世纪末全球平均地面温度均可能升高超过1.5℃^[1]。与气候变暖趋势相对应, 气候变率增大, 极端天气气候事件(干旱、洪涝、高温、低温等)的发生更为频繁, 气象灾害的强度和影响范围不断增大、危害日趋严重。气候变化导致水资源短缺、干旱化加剧、海平面上升、冰川退缩、荒漠化加重, 造成生态系统退化、食物数量和品质下降、流行

收稿日期: 2015-04-08; 修回日期: 2015-06-08

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAC09B01)

作者简介: 李阔, 博士, 研究方向为气候变化影响评估与适应气候变化, 电子信箱: hqk2000@163.com

引用格式: 李阔, 许吟隆. 适应气候变化技术识别标准研究[J]. 科技导报, 2015, 33(16): 95-101.

性疾病传播等,所造成的经济损失在过去几十年来显著上升。适应气候变化将是实现未来中国社会经济可持续发展的重要基础。

目前,适应气候变化问题越来越受到国际社会的关注。随着国际社会对适应气候变化科学认识地不断深入,气候变化的科学事实和产生的影响已经得到广泛认可,对采取适应气候变化行动的重要性和紧迫性的认识逐步提高,尤其是进入21世纪以来,各国纷纷发布国家适应气候变化战略和适应行动计划^[2-4]。20世纪90年代以来,联合国与世界各国针对气候变化问题通过探讨、协商、谈判制定了一系列公约,如《气候变化框架公约》^[5]、《京都议定书》^[6]、《巴厘行动计划》^[7]、《坎昆适应框架》^[8]等,从提出适应概念、建立适应基金到实施适应项目,不断深化对适应气候变化的科学认识,并越来越重视适应气候变化的重要作用。IPCC第五次评估报告指出,适应气候变化正在逐步融入发达国家、发展中国家及不发达国家的规划过程中,并不断积累成功的适应经验^[9]。同时,气候变化已经给中国地表环境和自然生态系统带来深刻的影响,并影响到社会经济系统。未来气候变化对中国的影响,机遇和挑战并存,最大限度地利用气候变化的有利影响,规避不利影响,是中国应对气候变化面临的艰巨任务。中国已发布《国家适应气候变化战略》^[10],提出了适应目标、重点任务、区域格局和保障措施,为统筹协调开展适应工作提供了指导。总体来看,目前中国适应气候变化技术还处于发展的初步阶段,虽然形成了一些适应气候变化的技术^[11-13],但各类技术分散于不同部门,其应用领域、影响范围和成熟度均有不同,限制了适应气候变化技术的发展,同时,在生产实践中存在盲目适应、被动适应、过度适应的情况。因此,现阶段需要开展适应气候变化方法学理论研究^[14],建立适应气候变化技术体系,为不同领域、不同区域、不同层次的适应气候变化工作提供理论指导与技术支持^[15]。

为解决现阶段适应气候变化面临的技术判别不清晰问题,进而构建适应气候变化技术体系,推进适应气候变化行动高效有序的开展,需要首先建立适应气候变化技术识别标准,为适应气候变化技术的筛选、分类、效益评估奠定基础,充实适应气候变化机制、机理以及适应气候变化方法学的研究内容。

1 适应气候变化的内涵

适应最初多见于生物学,指生物在生存竞争中适合环境条件而形成一定性状的现象,是自然选择的结果,其基本内涵是适合、吻合和调整,后来适应概念逐步扩展到社会经济、自然科学等其他领域^[6]。

根据IPCC第五次评估报告的定义,适应是指对实际或预期的气候及其影响进行调整的过程^[9]。换言之,适应是人类社会对预估或实际的系统功能、结构或过程变化所产生的影响而采取的有目的的应对行为^[17]。根据上述定义,适

应的主体应该是人类,只有人类才能去主动调整自然系统与人类系统本身,具有趋利避害的倾向性;适应的受体应该是人类社会和自然系统,其中包括资源环境系统、社会经济系统、自然生态系统、人文系统等;适应的目的是应对实际发生的或预估的气候变化及其带来的影响,所采取的关键手段是调整自然和人类系统,适应的核心理念是趋利避害,有效减轻气候变化带来的不利影响,充分利用气候变化带来的有利因素。

2 适应技术识别标准

根据适应气候变化的内涵,本文定义适应技术为:针对气候变化所表现出来的局地趋势特征及其对不同领域、不同部门所产生的具体影响,人类所采取的有针对性的技术措施,从而减轻系统的脆弱性、减小气候变化的不利影响,并尽可能地利用气候变化的有利影响所带来的机遇。

依托对适应气候变化技术定义及内涵的认识,开展适应气候变化技术判别标准的研究。适应气候变化技术识别标准是构建适应气候变化技术体系的基础,是适应气候变化方法学的重要组成部分。通过对气候变化及其影响的分析与适应技术研发示范,明确适应技术所针对的气候变化问题,有效区分应对气候变化技术的减缓与适应功能,形成适应气候变化技术识别标准。

2.1 气候变化及其影响

气候变化是指一段时间内(通常为几十年或更长时间)气候状态的变化,并可以通过其特征的平均值或变率的变化予以判别。改变地球能量收支的自然内部过程和人类外部胁迫是气候变化的驱动因子,人为影响极有可能是造成观测到的20世纪中叶以来气候变暖的主要原因^[18]。

研究显示,气候按照其自身的变化可以分为气候长期趋势变化与极端气候事件两类^[19]。气候长期趋势变化包含陆表温度、海表温度、降水量、大气环流、太阳辐射等方面的长期变化,这些要素的变化直接影响着农、林、水、草等不同领域;极端气候事件是指发生概率较小的大气现象,主要包括异常高(低)温、异常强降雨、干旱、热带气旋以及沙尘暴、雾霾等可能产生严重影响的天气气候过程;极端气候事件变化是在一个较长时期内,极端气候事件频率和强度随时间的趋势性变化。除了气候本身的变化之外,气候变化所带来的影响也是适应气候变化的重要方面;气候变化的影响主要包括气候变化对农业^[20-22]、水资源、生态系统、重大工程、海岸带、海平面、冰川等方面的影响,如随着全球温度升高,海平面上升,冰川消融,水资源格局变化,生物多样性减少等都将成为现在以及今后很长一段时间所要面临的挑战。

通过对气候变化及其影响进行分析,明确适应气候变化的内涵,梳理适应气候变化研究的内容,为构建适应气候变化技术体系奠定基础。只有对气候变化及其影响产生趋利避害效果的技术,才能称之为适应技术,因此,能否

有效解决气候变化及其影响所带来的问题将成为适应气候变化技术识别标准的核心原则。

2.2 气候变化问题的针对性

根据适应气候变化的定义，适应气候变化技术可以理解为：为了应对实际发生或预估的气候变化及其影响，调

整自然和人类系统实现趋利避害的技术手段，其中趋利是有效利用气候变化的有利方面，如温度升高、热量资源增加、光照辐射增强等，避害是减轻气候变化带来的不利影响，如干旱、洪涝、高温灾害、低温灾害、病虫害、土地退化、生物多样性减少、海平面上升等（图1）。

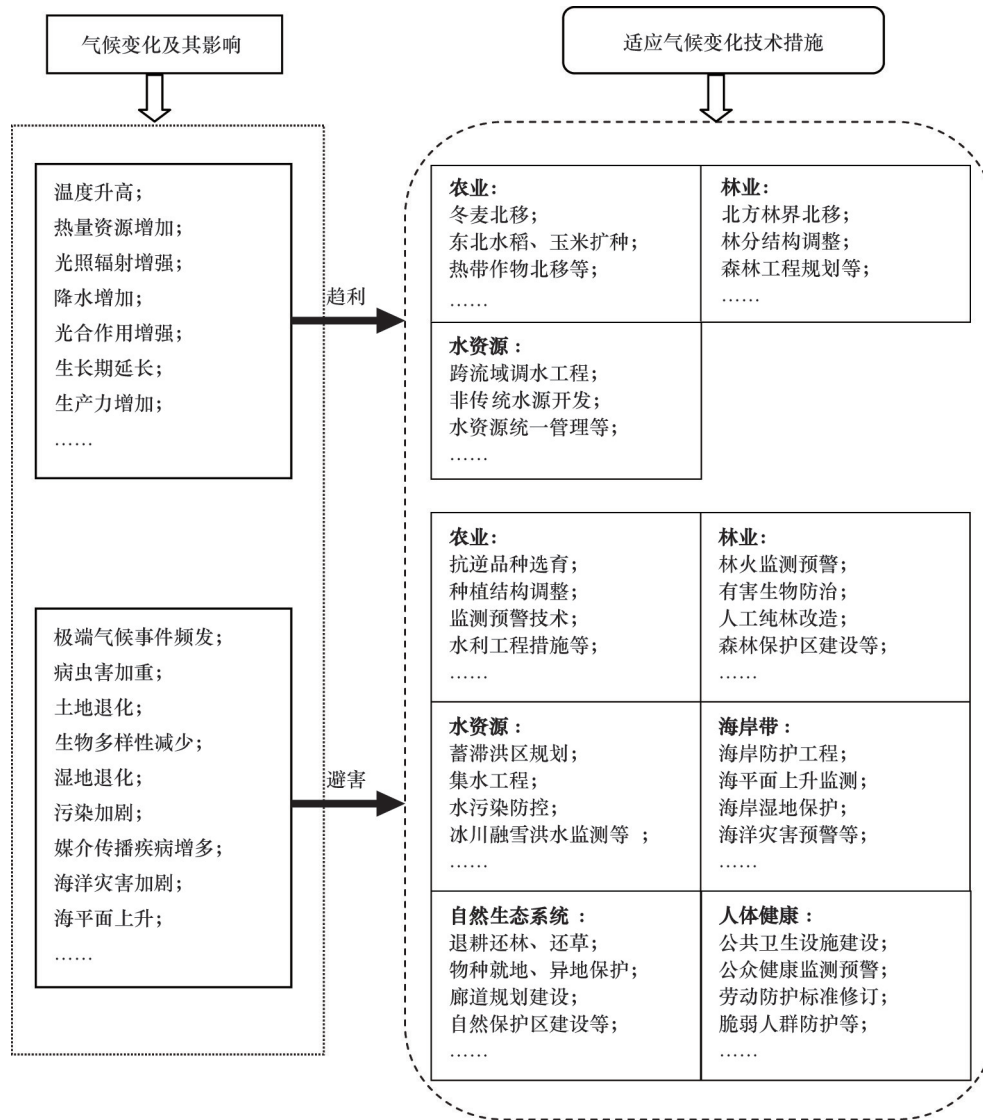


图1 不同领域适应气候变化技术措施

Fig. 1 Technologies and measures for adaptation to climate change in different sectors

根据IPCC第五次评估报告，适应气候变化必须遵循有效适应原则，降低风险并考虑脆弱性和暴露度的动态变化是适应未来气候变化的第一步^[9]。由此可见，适应气候变化技术首先应与所面临的气候变化问题密切结合在一起。在实践中，往往出现“什么都是适应，或什么都不是适应”的状况，主要是对适应技术的认识不清晰所导致，只有为解决气候变化问题而采取的应对、调整手段才能称之为适应气候变化技术。适应技术必须紧紧围绕气候变化问题，

如果一项技术措施仅仅解决了生产实践中的常规问题，但并未解决气候变化所带来的具体问题，那么是不能成为适应技术的；如果一项技术措施既能解决常规问题，又能解决气候变化问题，那么该技术就具备了适应的涵义，但需要区分其适应方面与常规方面的含义；因此，适应技术的核心判别标准是气候变化问题的针对性，只有明确了气候变化及其影响所带来的问题，理清该技术与气候变化问题之间的关系，才能判断该技术是否为适应技术。

另一方面,适应技术具有显著的区域特征。气候变化对不同区域的影响往往差异显著,因此适应所要解决的主要气候变化问题也各有侧重。例如,针对气候变化背景下沿海城市面临的台风、风暴潮、海平面上升等极端事件加剧的情况,开展城市基础设施极端气候事件防御适应及灾害应急系统适应工程建设;针对华北地区暖干化趋势下地下水超采、地面沉降、海水入侵等问题,改造城市水系统,建设集雨工程、地下水回灌工程,推广综合配置水资源经验;针对东北地区受气候变化影响水土流失加剧、黑土肥力下降等问题,开展农田保育、生态修复、水利配套建设等多层面黑土地保护治理适应;针对气候变化影响下西南地区森林虫害、火灾加重问题,开展低效林改造并建立监测预警与应急防控体系;针对西北地区受气候变化影响生态承载力进一步下降的趋势,采取生态移民适应措施,发展设施农业、节水种植、特色养殖等产业。

适应气候变化技术古已有之,人类在生产过程中早已开展了适应气候变化的实践。由于气候变化等自然因素的作用,自战国经西汉直到明清,中国北方地区的农牧过渡带发生了很大变化,不断驱使人们调整和改变既有的生活和生产方式来适应这种变化^[23]。当代人类以主动或被动方式适应气候变化的尝试已遍布农、林、牧等不同领域和不同区域,取得了重要成果,积累了宝贵经验^[24-27]。这些适应技术往往与常规技术结合在一起,都是为了解决生产实践中的具体问题,不容易区分。例如,节水灌溉一直是干旱半干旱地区的重要农业抗旱技术^[28],其中渠道防渗是应用最普遍的农田节水灌溉技术,古代就开始砌石防渗,现代进一步开发了混凝土防渗、塑料薄膜防渗,该技术能大幅度降低农田灌溉过程中的输水渗漏损失,有效提高水资源利用效率,在水资源短缺的地区有非常好的效果。受到气候变化影响,华北地区的暖干化趋势明显^[29],节水灌溉能够有效缓解该地区的干旱与水资源短缺趋势,因此渠道防渗、滴灌、喷灌、覆膜灌等节水灌溉技术既是抵抗干旱、缓解水资源短缺的常规技术,也具有降低气候变化影响的适应属性;但在西北地区,受气候变化影响呈现暖湿化倾向,降水增加的趋势^[30,31],而西北地区的干旱状况不会显著改变,因此采取节水灌溉在该地区仍是必要的常规措施,但不能作为针对气候变化所带来问题的适应措施。由此可见,适应气候变化技术必须紧紧围绕所针对的气候变化及其影响,同一项技术在不同地区不一定都具有适应效果,最重要的判别标准是能否减轻气候变化所带来的不利影响。

现阶段适应技术大多与常规技术结合在一起,专门针对气候变化所研发的适应技术还非常少,在生产实践中,农、林、水等不同领域的常规应对技术能否成为适应技术,其关键在于是否对具体区域的气候变化问题产生有利效果。因此适应气候变化技术识别的关键在于如何将技术的适应方面与常规方面区分开来,其核心识别标准是气候变化问题的针对性。

2.3 减缓与适应的功能区分

气候变化问题针对性是识别适应技术的首要标准,但并不能有效区分应对技术的适应方面与减缓方面,尤其是许多减缓技术都具有适应效果,二者往往紧密融合在一起,很难区别,造成了对适应技术认识的混淆与不清晰,因此有效区分减缓技术与适应技术、技术的减缓方面与适应方面是识别适应气候变化技术的重要标准。

国际社会已经明确认识到,减缓与适应是应对气候变化的两大基本对策(图2),二者相辅相成、互为补充,在应对气候变化方面同等重要、缺一不可^[32]。IPCC第五次评估报告指出,减缓与适应之间存在显著的协同效应、协同作用和权衡取舍^[9]。减缓可以通过减少温室气体排放和增加对其固定或吸收来降低大气中温室气体浓度,是遏制全球气候变化的根本措施。但减缓气候变化关乎各国核心利益,国际社会对于适应气候变化的谈判历来步履维艰^[33];发达国家与发展中国家在减缓手段与技术上存在巨大鸿沟,大多数技术手段掌握在发达国家手中,受到商业利益、专利保护、贸易壁垒等因素影响,发达国家对发展中国家的技术转让进展缓慢;而发展中国家大多面临着减缓技术缺失、资金不足等多重困难无法完成减排目标。因此,现阶段气候变化减缓行动并不能彻底扭转气候变化,气候变化的影响在相当长时期内将持续发生作用,适应气候变化显得尤为迫切。由于对气候变化问题认识的不清晰,减缓技术措施与适应技术措施往往被混淆在一起,尤其许多技术既有减缓的效果也具有适应的特征,因此如何将技术中的减缓与适应功能区分开来,也是判别适应技术的重要方面。

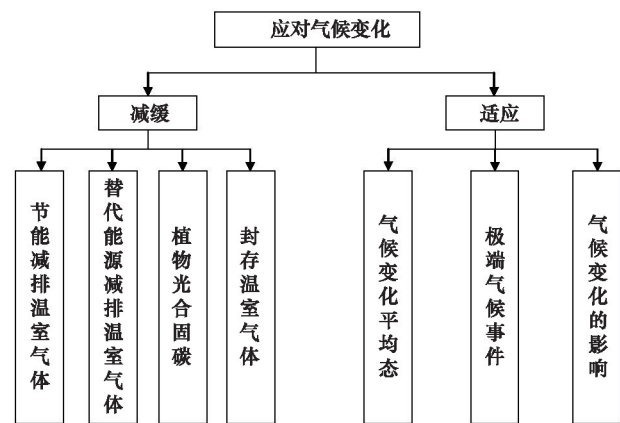


图2 应对气候变化内涵

Fig. 2 Connotation of addressing climate change

减缓针对的是导致气候变化的胁迫因子——温室气体,适应针对的是气候变化及其影响,两者作用的对象不同,但都是应对气候变化的技术,二者从不同角度指导人类如何更好地应对气候变化及其影响。减缓技术涵盖了工业、农业、林业、能源部门等社会经济生活的不同领域,以减排温室气体为例,如工业生产中采用新手段、创新流

程、应用新能源、循环利用等不同技术措施减少 CO₂、CH₄、N₂O 等温室气体的排放^[34]，农业领域采用技术措施减少反刍动物甲烷排放、水稻种植过程中的甲烷排放、施肥造成的氧化亚氮排放和动物废弃物管理过程中的甲烷和氧化亚氮排放^[35]。

现阶段国内外已开发出许多专门的减缓技术，包括钢铁行业的高炉喷煤、CO₂捕集、熔融还原等技术，石油化工行业的烧碱先进离子膜、大型密闭电石炉等技术，铁路行业的内燃机节油、铁路电气化等技术，公路行业的电动汽车、生物柴油等技术^[36]；这些技术往往具有明显的减缓效果，但其适应效果不显著或者仅具有部分适应效果。另一方面，有些技术措施，适应效果较为突出，同时具有减排效果，如为了减少农业源温室气体排放，推广秸秆还田、精准耕作、少免耕、草畜平衡、禁牧休牧轮牧、退牧还草等技术，针对林业减排增汇，实施宜林荒山荒地造林绿化、退耕还林、封山育林、生物多样性保护、森林火灾与病虫害预警等措施；这些技术措施一方面可以有效减少农业、林业、草地畜牧业的温室气体排放并增加碳汇，另一方面具有趋利避害，适应气候变化及其影响的作用。对于工业、能源、交通、建筑等行业，大多减缓技术其适应效果往往不显著，而农、林、水、草、海洋等领域，其减排增汇技术往往具有适应效果。除此之外，有些技术措施，

仅具有适应效果，不具备减缓作用，如抗逆品种选育、种植结构调整、有害生物防治、监测预警技术、防洪抗旱工程、公共卫生设施建设等，这些技术措施往往针对气候变化及其所带来的影响，通过调整人类自身行为趋利避害，但未能对温室气体减排起到作用。

从不同尺度来看（表1），在行业与领域层面，减缓技术与适应技术往往涉及具体的技术方面，有针对性的解决不同领域或行业内的具体问题；在区域与国家层面，减缓与适应大多涉及政策、法规、措施方面，从全局出发对行业标准、技术规范、产业结构、发展规划等进行修订调整；在全球层面，减缓与适应大多涉及国际谈判、技术壁垒、资金筹集等方面，如减缓技术转让、碳排放交易市场、适应资金筹集机制、国际跨流域合作适应行动等。因此有效区分技术的减缓效果与适应效果，对于适应气候变化技术体系构建具有重要的意义。

现阶段在不同领域、不同区域，适应技术与减缓技术有的界限分明，有的则混淆不清。针对这种情况，在明确气候变化问题的基础上，区分应对气候变化技术的减缓与适应功能，是准确识别适应技术的重要标准。只有将适应意义与减缓意义清晰地区分开来，才能对适应气候变化技术有明确的界定，为构建适应技术体系，揭示适应气候变化技术机制提供有力的支撑。

表1 减缓与适应技术措施区别

Table 1 Differences between mitigation and adaptation to climate change

	单纯减缓技术措施	减缓为主,适应为辅	适应为主,减缓为辅	单纯适应技术措施
行业/领域	CO ₂ 捕集技术	电动汽车技术	退牧还草	抗逆品种选育
	大型密闭电石炉技术	生物柴油技术	退耕还林	种植结构调整
	高炉喷煤技术	内燃机节油技术	封山育林	有害生物防治
	烧碱先进离子膜技术等	铁路电气化技术等	草畜平衡	监测预警技术
			秸秆还田	防洪抗旱工程
区域/国家			禁牧休牧轮牧等	公共卫生设施建设等
			自然保护区规划建设	
	石油化工等行业标准调整		劳动防护标准修订	
	制造、交通等行业技术规范修订 高能耗、高污染产业结构调整等		可再生能源规划布局 综合适应规划、战略 适应气候变化立法	
全球	减缓技术合作开发		适应气候变化经验分享	
	减缓技术转让		适应资金筹集机制	
	减缓谈判		国际跨流域合作适应行动	
	碳排放交易市场等		最脆弱不发达国家适应行动支援等	

3 讨论与展望

适应气候变化技术是现阶段应对气候变化行动的重要举措，适应气候变化技术的识别标准是揭示适应气候变化机理的重要方面。本研究通过对气候变化以及适应、减缓

技术的分析，初步提出了适应气候变化技术识别标准——气候变化问题针对性、减缓与适应的区分。但适应技术识别标准研究尚处于初步阶段，还有很多问题有待探讨。

1) 现阶段提出的适应技术往往与适应措施混淆在一

起,造成诸多理解上的障碍。广义来看,适应技术包含适应措施、对策、政策等方面;狭义来看,适应技术仅指具体的技术。在适应技术识别过程中,将不同层次、不同尺度适应技术的内涵明确下来,对于适应技术体系的构建具有重要意义。

2) 对适应气候变化技术的判别,现阶段都停留在定性描述上,客观上导致了适应气候变化技术识别、筛选的不精确,限制了人们对适应气候变化技术的认识和理解。适应气候变化技术的定量化是适应气候变化理论研究的重要方面,推进适应技术能够像减缓技术一样具备量化判别的属性,是今后的一个重要研发方向。

适应气候变化研究现阶段方兴未艾,逐渐成为气候变化领域的研究热点。从科研层面来看,适应技术识别标准必然逐步走向定量化,如同减缓的量化指标,但难度仍很大,适应对象千差万别,现阶段无法统一量化衡量;从管理层面来看,适应技术的识别不但与客观的技术紧密结合,还与社会价值观、风险认知、利益驱动等方面息息相关,不同区域的传统知识体系和惯例往往是适应气候变化技术措施的主要来源,将适应技术与区域自然、社会、文化有效结合起来,将极大地推进适应技术识别;从技术层面来看,从不同领域、不同区域、不同时间尺度、不同层面、不同属性等方面进行适应技术识别,围绕气候变化影响,建立完善而详尽的适应气候变化技术体系。国内外对于适应气候变化理论、机制、方法的研究尚处于起步阶段,本研究从实践出发,对适应气候变化技术识别进行了研究,丰富并充实了适应气候变化理论,为适应气候变化技术体系构建奠定了基础。对于适应气候变化技术识别、筛选、分类、集成、效果评估、适应机制等诸多方面的研究将成为今后适应气候变化研究的主要内容,并将逐步构建起适应气候变化方法体系。

参考文献 (References)

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2013: The physical science base: Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 葛全胜, 曲建升, 曾静静, 等. 国际气候变化适应战略与态势分析[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(6): 369-375.
Ge Quansheng, Qu Jiansheng, Zeng Jingjing, et al. Review on international strategies and trends for adaptation to climate change[J]. Advances in Climate Change Research, 2009, 5(6): 369-375.
- [3] Trevor H B. Biodiversity and climate change adaptation in Australia: Strategy and research developments[J]. Advances Climate Change Research, 2012, 3(1): 12-21.
- [4] 冯相昭, 周景博, Wei Yongping. 中澳适应气候变化比较研究[J]. 环境与可持续发展, 2012(2): 56-60.
Feng Xiangzhao, Zhou Jingbo, Wei Yongping. Comparative study on adaptation to climate change between China and Australia[J]. Environment and Sustainable Development, 2012(2): 56-60.
- [5] United Nations Framework Convention on Climate Change. United nations framework convention on climate change[EB/OL]. (1992-05-09) [2015-06-08]. <http://unfccc.int/2860.php>.
- [6] United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto protocol [EB/OL]. (1997-12-11) [2015-06-08]. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php.
- [7] United Nations Framework Convention on Climate Change. Bali action plan[EB/OL]. (2007-12-15) [2015-06-08]. <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/eng/06a01.pdf#page=3>.
- [8] United Nations Framework Convention on Climate Change. The Cancun agreements: Outcome of the work of the ad hoc working group on long-term cooperative action under the convention[EB/OL]. (2010-12-10) [2015-06-08]. <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014: 1-40.
- [10] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家适应气候变化战略[EB/OL]. (2013-11-18) [2015-06-08]. <http://www.gov.cn/gzdt/att/att/site1/20131209/001e3741a2cc140f6a8701.pdf>.
National Development and Reform Commission. Strategy of adaptation to climate change in China [EB/OL]. (2013-11-18) [2015-06-08]. <http://www.gov.cn/gzdt/att/att/site1/20131209001e3741a2cc140f6a8701.pdf>.
- [11] 谢立勇, 郭明顺, 刘恩财, 等. 农业适应气候变化的行动与展望[J]. 农村经济, 2009(12): 35-36.
Xie Liyong, Guo Mingshun, Liu Encai, et al. Actions and prospects on adaptation to climate change in agriculture[J]. Rural Economy, 2009 (12): 35-36.
- [12] 张兵, 张宁, 张铁凡. 农业适应气候变化措施绩效评价——基于苏北 GEF 项目 300 户农户的调查[J]. 农业技术经济, 2011(7): 43-49.
Zhang Bing, Zhang Ning, Zhang Yifan. Performance assessment on adaptation measures to climate change in agriculture: Based on investigation of 300 farmers in north Jiangsu under GEF project[J]. Journal of Agrotechnical, 2011(7): 43-49.
- [13] 崔永伟, 杜聪慧, 侯麟科. 气候变化下农业适应行为的现状及研究进展[J]. 世界农业, 2012(11): 25-29.
Cui Yongwei, Du Conghui, Hou Linke. Advances and status of adaptation actions to climate change in agriculture[J]. World Agriculture, 2012(11): 25-29.
- [14] 许吟隆, 郑大玮, 李阔, 等. 边缘适应: 一个适应气候变化新概念的提出[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(5): 376-378.
Xu Yinlong, Zheng Dawei, Li Kuo, et al. Edge adaptation: A new concept on adapting to climate change[J]. Advances in Climate Change Research, 2013, 9(5): 376-378.
- [15] 韩荣青, 潘韬, 刘玉洁, 等. 华北平原农业适应气候变化技术集成创新体系[J]. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1537-1545.
Han Rongqing, Pan Tao, Liu Yujie, et al. Integrated innovation systems for climate change adaptation technologies in north China Plain[J]. Progress in Geography, 2012, 31(11): 1537-1545.
- [16] 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 on climate change[J]. Arid Zone Research, 2009, 26 (3): 299-305.

- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability: Contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [18] 潘志华, 郑大玮. 适应气候变化的内涵、机制与理论研究框架初探[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(6): 12-17.
Pan Zhihua, Zheng Dawei. Preliminary study on the connotation, mechanism and theoretical research framework of climate change adaptation[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Region Planning, 2013, 34(6): 12-17.
- [19] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: Mitigation: Contribution of working group III to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001: 1-120.
- [20] 秦大河, Stocker T, 259 作者和 TSU. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
Qin Dahe, Stocker T, 259 Authors and TSU. Highlights of the IPCC working group I fifth assessment report[J]. Advances in Climate Change Research, 2014, 10(1): 1-6.
- [21] 陈兆波, 董文, 霍治国, 等. 中国农业应对气候变化关键技术研究进展及发展方向[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3097-3104.
Chen Zhaobo, Dong Wen, Huo Zhiguo, et al. Research advances and the development direction of key techniques for agriculture addressing climate change in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 46(15): 3097-3104.
- [22] 赵俊芳, 赵艳霞, 郭建平, 等. 过去 50 年黄淮海地区冬小麦干热风发生的时空演变规律[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2815-2825.
Zhao Junfang, Zhao Yanxia, Guo Jianping, et al. Spatial-temporal changes of dry-hot wind for winter wheat in Huanghuaihai Plain during the past 50 years[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 45(14): 2815-2825.
- [23] 李克南, 杨晓光, 慕臣英, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 VIII——气候变化对中国冬小麦冬春性品种种植界限的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(8): 1583-1594.
Li Kenan, Yang Xiaoguang, Mu Chenying, et al. The possible effects of global warming on cropping system in China VIII: The effects of climate change on planting boundaries of different winter-spring varieties of winter wheat in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 46(8): 1583-1594.
- [24] 白屯. 适应气候变化: 缘由与思考[J]. 自然辩证法研究, 2013, 29(3): 74-78.
Bai Tun. Adaptation to climate change: Reasons and thinking[J]. Studies in Dialectics of Nature, 2013, 29(3): 74-78.
- [25] 姜冬梅, 王灿, 张孟衡. 中国适应气候变化国家战略定位的初步探讨[J]. 环境保护, 2007(11): 58-61.
Jiang Dongmei, Wang Can, Zhang Mengheng. Preliminary discussion of strategy position of adaptation to climate change in China[J]. Environmental Protection, 2007(11): 58-61.
- [26] 房世波, 谭凯炎, 任三学, 等. 气候变暖对冬小麦生长和产量影响的大田实验研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(7): 1069-1075.
Fang Shibo, Tan Kaiyan, Ren Sanxue, et al. Fields experiments in north China show no decrease in winter wheat yields with night temperature increased by 2.0~2.5°C[J]. Science China Earth Science, 2012, 42(7): 1069-1075.
- [27] 吴建国, 吕佳佳, 艾丽. 气候变化对生物多样性的影响: 脆弱性和适应[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 693-703.
Wu Jianguo, Lü Jiajia, Ai Li. The impacts of climate change on the biodiversity: Vulnerability and adaptation[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(2): 693-703.
- [28] 逢焕成. 我国节水灌溉技术现状与发展趋势分析[J]. 中国土壤与肥料, 2006(5): 1-6.
Feng Huancheng. Analysis on the status of the water-saving irrigation techniques and its development trends in China[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2006(5): 1-6.
- [29] 谭方颖, 王建林, 宋迎波, 等. 华北平原近 45 年农业气候资源变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 19-24.
Tan Fangying, Wang Jianlin, Song Yingbo, et al. Analysis of changing characteristics of agricultural climate resources over last 45 years in North China Plain[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(1): 19-24.
- [30] 施雅风, 赵井东. 40~30 ka BP 中国特殊暖湿气候与环境的发现与研究过程的回顾[J]. 冰川冻土, 2009, 31(1): 1-10.
Shi Yafeng, Zhao Jingdong. The special warm-humid climate and environment in China during 40-30 Ka BP: Discovery and review[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(1): 1-10.
- [31] 王绍武, 朱锦红, 蔡静宁, 等. 近 500 年 ENSO 时间序列的建立与分析[J]. 自然科学进展, 2004, 14(4): 424-430.
Wang Shaowu, Zhu Jinhong, Cai Jingning, et al. Establish and analysis of time series of ENSO in the past 500 years[J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(4): 424-430.
- [32] 科学技术部社会发展科技司, 中国 21 世纪议程管理中心. 适应气候变化国家战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 30-35.
Department of Science and Technology of Society Development, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, The Administrative Center for China's Agenda 21. Study on national strategy of adaptation to climate change[M]. Beijing: Science Press, 2011: 30-35.
- [33] 李玉娥, 马欣, 何霄嘉. 《巴厘行动计划》以来适应气候变化谈判进展及未来需求分析[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(2): 135-141.
Li Yu'e, Ma Xin, He Xiaojia. The Progress on adaptation negotiations since adoption of Bali Action Plan and future needs analysis[J]. Advances in Climate Change Research, 2014, 10(2): 135-141.
- [34] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009(4): 41-55.
Chen Shiyi. Energy consumption, CO₂ emission and sustainable development in Chinese industry[J]. Economic Research Journal, 2009(4): 41-55.
- [35] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 269-273.
Dong Hongmin, Li Yu'e, Tao Xiuping, et al. China greenhouse gas emissions from agricultural activities and its mitigation strategy[J]. Transactions of the CASE, 2008, 24(10): 269-273.
- [36] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 151-160.
Writing Committees of the Second National Assessment Report on Climate Change. The second national assessment report on climate change[M]. Beijing: Science Press, 2011: 151-160.

(编辑 陈华蛟)