适应气候变化机理研究的回顾与展望

何霄嘉[1]，许吟隆[2]
（1. 中国21世纪议程管理中心，北京 100038；
2. 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：本文首先通过政府间气候变化专门委员会（IPCC）报告回顾适应科学机理的国际研究进程，然后通过气候变化国家评估报告回顾国内关于适应机理研究的进展，结合国内外适应气候变化的需求，对未来适应机理研究创新进行展望，认为未来适应气候变化机理研究应以方法学创新引领理论创新，以实验资料积累支撑理论创新，加强边缘交叉、综合集成创新，集中优势资源实现理论研究的重点突破。

关键词：气候变化；适应机理；集成创新；理论创新
中图分类号：P467 **文献标识码**：A DOI：10.3772/j.issn.1009-8623.2016.12.012

适应与减缓是应对气候变化的两个方面，两者同等重要，不可或缺。在发展中国家，适应气候变化尤为重要。但在实际中，相较于气候变化的减缓工作，适应工作的开展还不够，对适应气候变化的科学认识还不够。为了科学选择和制定气候变化适应技术和措施，需要深入研究气候变化适应的科学机理；利用受体系统自适应能力或采取人为调控措施，通过优化系统结构和功能减少气候变化的脆弱性或改善局部生态环境，降低气候变化影响程度的机制和机理即为适应的科学机理。然而，由于气候变化影响的复杂性，适应机理研究一直是一个难点。在国际上，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布了气候变化评估报告，其中第二工作组发布的《影响、脆弱性与适应》分报告是反映国际社会适应气候变化理论研究的典型代表之作[1~6]。从历次报告的进程看，1990年发布的第一次评估报告，首先将适应作为与减缓并列的应对气候变化措施而提出。1996发布的第二次评估报告将适应分为“自主适应”和“计划适应”两类，此时适应决策的理论基础主要是基于系统“自适应性”的科学认知。第三次评估报告进一步将适应的系统分为人类系统和自然系统，人类系统又分为公共部门和私营部门，将适应措施分为“响应性”和“预见性”，适应决策的理论基础为“关注的理由”，包括关注独特的和受到威胁的系统，关注全球总体影响、影响的分布，以及关注极端天气事件和大范围的异常事件。第四次评估报告赋予了适应更多的内涵，包括与减缓的协同、发展道路的选择等，适应决策的理论基础为关键脆弱性。在第五次评估报告中，适应决策的理论基础转变为“风险”，尤其强调“关键风险”和“紧迫风险”，而适应的方式也分为减少脆弱性与暴露程度、渐进适应、转型适应与整体转型，对适应的科学认识逐渐深入。

1 中国适应气候变化科学机理研究进展回顾

首先，适应气候变化的决策科学基础取得了进展。进行适应气候变化的决策，首先需要认识变化了的气候条件作为外在强迫因子对受体的冲击有多

第一作者简介：何霄嘉（1982—），女，副研究员，主要研究方向为气候变化影响评估与适应对策。
通讯作者简介：许吟隆（1964—），男，研究员，主要研究方向为气候变化影响评估与适应对策，邮箱：xuyinlong@caas.cn。
项目来源：“十二五”国家科技支撑计划课题（2013BAC09B04）。
收稿日期：2016-12-01

大。我国学者对气候变化的影响评估最开始主要集中在农业、水资源、海岸带、森林以及其他自然生态系统、重大工程、人体健康和环境上[7]，其后的影响评估扩展至陆地水文水资源、生物多样性、冰冻圈、近海、能源、工业、交通、人居等领域/部门[8,9]。第一次气候变化国家评估报告就对气候变化的脆弱性进行了评估，第二次评估报告强调要加强气候变化影响的风险评估研究，第三次气候变化评估报告则将风险评估作为一个重要的内容。这些评估为中国的适应决策提供了强有力的科学基础支撑。此外，我国学者对适应的决策体系框架进行了很多研究，由传统的根据气候变化分析及影响评估做出适应决策，转变为基于脆弱性和风险评估进行决策[10~16]。

其次，适应行动的评估为适应措施进行计划、组织、实施、管理提供了指导。目前，成本－效益分析是国际上比较成熟和被认可的评估方法。以农业适应行动措施的效果评估为例，黄焕平等[17]使用成本－效益分析方法和政府间气候变化专门委员会[5]推荐的温室气体估算方法，评估比较了人工插秧、机械插秧和直播的水稻在麦稻轮作复种“水稻晚收，小麦晚播”（简称“两晚”）模式下的社会、经济和生态效益，通过评估得出水稻人工插秧与麦稻“两晚”相配合的种植模式是适应气候变化的较优选择这一结论。

再次，“边缘适应”“转型适应”等新概念的提出，加速了适应理论的创新。适应气候变化可以分为自主适应与规划适应、主动适应与被动适应、渐进适应与转型适应等。《适应气候变化国家战略研究》和《国家适应气候变化科技发展战略研究》报告的发布，是我国主动适应、规划适应的一个重要标志[18,19]。许吟隆等[20]选取中国农业典型适应案例，进行了渐进适应与转型适应的分析，并指出随着气候变化的不断加剧，转型适应将越来越多地应用于适应决策与适应实践，应对“转型适应”进行更多的研究。我国学者还提出了边缘适应的概念[21]。应用系统学的方法进行科学机理探索是一个尝试，以“边缘适应”作为适应科学机理研究的切入点，有望取得适应气候变化理论的创新性突破。此外，适应气候变化、减少脆弱性和暴露度、增强恢复力以及进行风险转移等，都是适应机理的不同方面，对于指导实际的适应实践有着重要意义，如建设“韧性（海绵）”城市，就是通过增强恢复力来适应气候变化的典型案例[19]。

最后，适应气候变化的行动与实践支撑着适应理论创新。中国有着世界上最丰富的适应实践。王建国[22]系统总结了中国农业适应气候变化的技术措施，以及在河北省、江苏省、安徽省、山东省、河南省和宁夏回族自治区开展的农业综合开发适应实践，进行了适应措施的成本效益分析；许吟隆等[21]总结了草地畜牧业、生物多样性保护、自然保护区、人体健康等方面的适应技术，并进行了适应效果分析，以及适应技术的集成与适应技术途径研究。全球变化研究近年来呈现一种趋势，从侧重于关注全球变化的自然因素向强调自然与人文因素的综合作用研究发展，对气候变化脆弱性的关注也从自然生态系统转向“人－环境耦合系统、社会生态系统、人地系统”耦合系统，并提出了相应的研究框架。其中，可持续生计框架和“暴露－敏感性－适应能力”框架，对于认识区域气候变化脆弱性具有较好的借鉴意义[23]。

2 适应气候变化的理论需求

政府间气候变化专门委员会第五次评估报告[6]总结了过去几年在适应工作中的理论进展，认为存在以下明显创新：一是提出了适应气候变化以减少脆弱性和暴露度及增加气候恢复能力的有效适应原则；二是提出了适应极限的概念，明确了其在适应气候变化中的意义；三是适应气候变化的研究视角从自然生态脆弱性转向更广泛的社会经济脆弱性及人类的响应能力；四是提出了保障社会可持续发展的气候恢复能力路径，注重适应和减缓的协同作用和综合效应，指出转型适应是应对气候变化影响、突破适应极限的必要选择[24]。

与国际研究相同的是，我国在适应的需求和决策领域，越来越多地研究关注那些威胁人类生计和生命财产安全的极端灾害事件。在适应理论研究方面也在不断加强与可持续发展理论的结合。如何使适应气候变化与可持续发展协同起来是当前面临的新任务。适应决策框架和指南还处于起步阶段，虽已有一些有价值的探索研究[25]，但是还有很多相关研究工作有待开展。在适应的规划和执行领域，

则偏重减小气候变化影响的基础防御设施建设，优化适应策略和方法以更好地利用适应气候变化的资源，将适应措施整合到社会发展中以实现共赢。此外，适应途径的选择，还要考虑收益、成本、协同、权衡取舍和限制因素等[24]。中国科学界围绕适应对象、适应主体、适应方法开展了多方面的研究，对不同的适应措施进行了科学阐述和说明[26]，提出了主动利用适用性策略和自下而上的途径是适应性研究的重要方向。大量研究表明，单一的手段和知识领域难以达到适应的预期效果，多维知识和学科领域的联合是增强适应能力的重要途径[27]。现今,虽然适应决策的科学基础研究有了一定的进展，但是中国尚未建立完善的气候变化适应决策体系，大部分研究只是提供了比较通用的适应行动实施模式[28]。因此，完善适应决策体系，是适应气候变化、减轻气候变化对自然生态系统和社会经济系统不利影响的必由之路[19]。

3 我国适应气候变化的科学理论发展展望

（1）以方法学创新引领理论创新

未来适应气候变化理论研究应该加强方法学创新,特别是强调客观认识气候变化影响及其风险,加强对减少相关领域暴露度和脆弱性及增加气候恢复能力的机制和方法研究,切实推动适应气候变化、保障自然和社会经济系统可持续发展[24,29]。目前中国学者提出的“边缘适应”概念是适应方法学创新的一个尝试，在此概念基础上，在生态边缘过渡区域开展适应的技术示范，深入挖掘“草根适应”技术并梳理成技术体系，然后进行全新的适应技术创新，支撑适应理论的创新，是一个可行的适应科技创新途径[19]。

（2）以实验资料和适应实践积累支撑理论创新

纵观世界科学发展史，原始资料的积累是实现理论创新的前提与必要条件。中国已经积累了大量的自主适应经验，具有丰富的“草根适应”技术和实践案例，对这些“草根适应”技术和经验的挖掘，可以为我国的理论创新提供很多有益的资料与启示；同时，还可以根据气候变化带来的典型适应问题，有针对性地开展适应机理试验，通过机理试验实现适应理论的突破[19]。此外，还要推动已有适应研究科技成果的转化，并提炼适应实践的理论基础。

（3）边缘交叉、综合集成创新

集成创新确立的竞争优势和科技创新能力的意义远远超过单项技术的突破[30]。适应气候变化技术的集成创新至少需要从技术整合、协调机制以及资金机制三个方面来实现。一是不同领域或区域以自身的能力与资源为基础，寻找具有互补资源和能力的领域与区域，实现适应技术的集成创新，如农业领域与水资源领域的适应技术整合。二是建立起科学的适应气候变化主体的组织机制。这种组织机制需要紧密结合不同级别的政府部门、科研机构、企业和生产部门以及普通人群。三是需要在国家财政投入之外，鼓励和引导金融机构和企业单位投资气候变化适应行动，同时充分利用国际适应资金，全面提高我国适应气候变化的能力[19,30]。

（4）集中优势资源，实现理论研究的重点突破

适应气候变化涉及我国社会经济生活的多方面，其研究对象错综复杂，研究议题纷繁多样。要针对国家重大需求，立足适应气候变化学科长远发展，遴选适应研究的重大科学问题，集中优势资源进行理论创新，力求在重点关键科学问题、重大关键技术上实现重点突破，以点带面，推动适应学科的发展。要加强适应科技的支撑和先导引领作用，构建一个对气候变化的冲击具有强恢复力的社会经济系统。例如，国际上目前提出了“整体转型”的概念，这就要求在适应的同时考虑与减缓的结合，需要寻找考虑不同时间和空间的最佳适应路径，这可能是适应理论研究的突破点之一[19]。

（5）增强顶层设计，实现适应科技路径创新

适应气候变化机理研究是适应科技的组成部分，适应科技的路径探索是适应机理的重要研究内容。对中国适应气候变化科技发展的实现路径的探讨，包括发展的整体思路、原则导向与目标设计。增强社会经济系统的适应能力、维持和提升生态环境健康水平、减轻当前生态和社会系统的脆弱性、降低未来的潜在风险、选择具有持续恢复力和韧性的经济发展途径，“趋利避害”，是适应气候变化的核心。其中，如何做好适应的规划与顶层设计、做出正确的适应展现抉择、甄别适应的优先事项与

优先区域、选择双赢无悔的适应措施、对适应过程进行量化监测与评估，是适应路径首先要回答的问题；适应能力提升与整体优化是贯穿整个适应过程的关键。

4 结论

通过对政府间气候变化专门委员会发布的五次气候变化评估报告的回顾，可以看出国际上适应气候变化科学理论研究工作的进展和趋势，即适应决策的理论基础经历了由气候变化的“影响”到“关键脆弱性”，再到“风险”的转变，近期的研究工作尤其强调“关键脆弱性”和“紧迫风险”，由此对适应气候变化的风险管理方式、需求与抉择、规划与实施、机遇与挑战，以及适应与发展路径、减缓和可持续发展等开展深入研究。整体上，国内目前对转型适应的研究以及适应决策的风险评估研究不足，适应的示范基地建设与机理研究不够，适应技术体系尚未完善。要实现适应理论上的突破，首先需要方法学上的突破，同时要加强适应试验基地建设，促进适应机理研究的创新。

同时，还要充分发挥温室气体减排增汇与气候变化适应的协同作用。强调适应与减缓并举、减排与增汇并重，是提升全球变化与可持续发展关系研究整体性与综合性的当务之急，直接关系到发展中国家的切身利益和发展空间。■

致谢：感谢北京师范大学袁文平、缪驰远，以及中国农科院贺勇、李迎春和李阔对本文的贡献和帮助。

参考文献：

[1] Tegart McG W J, Sheldon G W, Griffiths D C. Climate Change: The IPCC Impacts Assessment, Report Prepared for IPCC by Working Group II[R]. Australia, 1990.

[2] Bernthal F, Dowdeswell E, Luo J, et al. Climate Change: The IPCC Response Strategies[R]. Australia, 1990.

[3] Watson R T, Zinyowera M C, Moss R H. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge, New York, Melbourne, 1996.

[4] McCarthy J J, Canziani O F, Leary N A, et al. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge and New York, 2001.

[5] Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge and New York, 2007.

[6] Field C B, Barros V R, Dokken D J, et al. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge and New York, 2014.

[7] 《气候变化国家评估报告》编写委员会 . 气候变化国家评估报告 [R]. 北京，2007.

[8] 《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 [R]. 北京，2011.

[9] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会 . 第三次气候变化国家评估报告 [R]. 北京，2015.

[10] 方一平，秦大河，丁永建 . 气候变化脆弱性及其国际研究进展 [J]. 冰川冻土，2009（3）：540-545.

[11] 唐为安，马世铭，吴必文，等 . 全球气候变化背景下农业脆弱性评估方法研究进展 [J]. 安徽农业科学，2010（25）：13 847-13 849.

[12] 夏军，邱冰，潘兴瑶，等 . 气候变化影响下水资源脆弱性评估方法及其应用 [J]. 地球科学进展，2012，27（4）：443-451.

[13] 王宁，张利权，袁琳，等 . 气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展 [J]. 生态学报，2012，32（7）：2 248-2 258.

[14] 夏军，石卫，雒新萍，等 . 气候变化下水资源脆弱性的适应性管理新认识 [J]. 水科学进展，2015，26（2）：279-286.

[15] 彭鹏，张韧，洪梅，等 . 气候变化影响与风险评估方法的研究进展 [J]. 大气科学学报，2015，38（2）：155-164.

[16] 李莹，高歌，宋连春 . IPCC 第五次评估报告对气候变化风险及风险管理的新认知 [J]. 气候变化研究进展，

2014，10（4）：260-267.
[17] 黄焕平，马世铭，林而达，等 . 不同稻麦种植模式适应气候变化的效益比较分析 [J]. 气候变化研究进展，2013（9）：132-138.
[18] 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.
[19] 中国 21 世纪议程管理中心 . 国家适应气候变化科技发展战略研究 [M] . 北京：科学出版社，2017：52-75.
[20] 许吟隆，郑大玮，刘晓英，等 . 中国农业适应气候变化关键问题研究 [M]. 北京：气象出版社，2014：1-198.
[21] 许吟隆，吴绍洪，吴建国，等 . 气候变化对中国生态和人体健康的影响与适应 [M]. 北京：科学出版社，2013：1-137.
[22] 王建国 . 中国农业综合开发适应气候变化理论与实践 [M]. 北京：中国财政经济出版社，2012：1-305.
[23] 喻鸥，阎建忠，张镱锂 . 区域气候变化脆弱性综合评估研究进展 [J]. 地理科学进展，2011，30（1）：27-34.
[24] 段居琦，徐新武，高清竹 . IPCC 第五次评估报告关于适应气候变化与可持续发展的新认知 [J]. 气候变化研究进展，2014（10）：197-202.
[25] 彭斯震，何霄嘉，张九天，等 . 中国适应气候变化政策现状、问题和建议 [J] 中国人口 . 资源与环境，2015（9）：1-7.
[26] 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）：1 088-1 098.
[27] 方一平，秦大河，丁永建 . 气候变化适应性研究综述 [J]. 干旱区研究， 2009，26（3）：299-305.
[28] 居煇，李玉娥，许吟隆，等 . 气候变化适应行动实施框架 [J]. 气象与环境学报，2014，26（6）：55-58.
[29] 孙成永，康相武，马欣 . 我国适应气候变化科技发展的形势与任务 [J]. 中国软科学，2013（10）：182-185.
[30] 潘韬，刘玉洁，张九天，等 . 适应气候变化技术体系的集成创新机制 [J]. 中国人口资源与环境，2012（22）：1-5.

Review and Prospects on the Theoretical Mechanism of Climate Change Adaptation

HE Xiao-jia[1], XU Yin-long[2]
(1. The Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100038;
2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081)

Abstract: In this paper, the international research progress on the theoretical mechanism of climate change adaptation is reviewed from Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report, and the domestic progress is reviewed mainly from China's national assessment report on climate change. Combining the international and domestic requirements from adaptation practices, the paper prospects on the breakthrough of the theoretical mechanism of adaptation, and concludes that the innovation on adaptation mechanism should be led with innovation of methodology, supported with the accumulation of experiments, accelerated with inter-discipline and integrate innovation, and make progress with the integrated investments of superior resources.

Key words: climate change; theoretical mechanism of adaptation; integrated innovation; theoretical innovation