

周广胜,何奇瑾,汲玉河. 适应气候变化的国际行动和农业措施研究进展. 应用气象学报,2016,27(5):527-533.  
doi:10.11898/1001-7313.20160502

## 适应气候变化的国际行动和农业措施研究进展

周广胜<sup>1)\*</sup> 何奇瑾<sup>2)</sup> 汲玉河<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象科学研究院,北京 100081)

<sup>2)</sup>(中国农业大学资源与环境学院,北京 100193)

### 摘 要

针对气候变暖采取稳健的适应措施已成为国际社会共识。该文综合了当前适应气候变化的国际谈判进展及已有的农业适应气候变化措施,指出适应资金严重不足,技术研发、应用与转让难以实施,以及适应气候变化行动实施能力的不足严重制约着适应气候变化行动的有效实施;关于农业适应气候变化的技术措施仍缺乏系统的理论研究与应用示范。在此基础上,提出了未来中国农业适应气候变化需要重点开展的研究任务,即农业气象灾变过程的新特点及其风险管理,农业适应气候变化的大数据决策管理系统研发及适应气候变化的农业气候区划与减灾保产技术研究,以切实推进农业适应气候变化,为确保国家粮食安全与农业可持续发展提供支撑。

**关键词:** 农业; 气候变化; 适应; 措施; 国际谈判; 进展

### 引 言

全球变暖已是不争的事实。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第5次评估报告指出<sup>[1]</sup>,相对于1850—1900年的50年间,1880—2012年全球海陆表面平均温度升高了0.85℃(0.65~1.06℃);过去60年极端天气气候事件,特别是干旱、强降水、高温热浪等呈不断增多与增强的趋势;预计到21世纪末,全球海陆表面平均温度将升高1.0~3.7℃,降水时空异质性增大,极端气候事件增加。气候变化已经对全球自然和人类系统包括11个领域和9个区域(各大洲、两极地区和岛屿)产生了广泛和深远的影响,其中对粮食产量的不利影响较有利影响更为显著;且造成自然和人类社会系统不利影响和关键风险的主要原因是气候变化<sup>[2]</sup>。观测及模拟试验均表明,气候变化已对全球许多区域的主要粮食作物包括小麦和玉米总产量产生了不利影响,负面影响较正面影响更为普遍<sup>[3]</sup>。尽管目前关于不同作物、区域和适应情景的影响预估结果互不相同<sup>[2]</sup>,但

针对全球气候变暖采取稳健的适应政策已成为全球共识。

中国地处地球环境变化速率最大的季风气候区,天气、气候条件年际变化大,气象灾害频发。农业是受气候变化影响最敏感的领域之一,气候变化已对中国农业造成了不同程度的不利影响,且这种不利影响在未来气候变化情景下还将延续<sup>[4-7]</sup>。因此,中国对气候变化问题给予了高度重视,将适应气候变化问题纳入了政府的经济和社会发展规划之中,明确规定要在城市化地区、农业发展地区、生态安全地区有侧重地实施适应任务,构建区域适应格局等<sup>[8]</sup>。

尽管针对全球气候变暖采取稳健的适应政策已成为国际社会的共识,人类社会也已开展实施主动适应气候变化的措施,但适应气候变化的措施或行动仍很缺乏。因此,迫切需要弄清当前适应气候变化的国际谈判进展以及现有的农业适应气候变化措施,以提出未来重点研究任务,切实推进农业适应气候变化,保障国家粮食安全与农业可持续发展。

2016-06-27 收到,2016-07-18 收到再改稿。

资助项目:国家自然科学基金重点项目(41330531),公益性行业(气象)科研专项(重大专项)(GYHY201506001-3)

\* email: gszhou@camsma.cn

## 1 适应气候变化国际谈判进展

《联合国气候变化框架公约(UNFCCC)》在1990年召开的第1次缔约方会议(COP1)中就指出了气候变化的影响与适应问题。2001年IPCC正式发布的第3次评估报告进一步对气候变化适应的必要性进行了阐述<sup>[9]</sup>。2003年的第9次缔约方会议(COP9)各缔约方在科学、技术和社会发展等诸多领域针对气候变化适应开展研究和行动达成了共识;2004年召开的第10次缔约方会议(COP10)上各缔约方进一步组织制定了气候变化影响、脆弱性和适应性的5年工作计划,并在2005年第11次缔约方会议(COP11)上获得通过;2006年第12次缔约方会议(COP12)各缔约方进一步细化了气候变化影响、脆弱性和适应性的工作计划,并将该工作计划命名为内罗毕工作计划(NWP)<sup>[10]</sup>。该计划的目的在于提高对气候变化的影响、脆弱性和适应性的理解和评估水平,并确定适应气候变化的措施和实际适应行动。然而,限于对气候变化的认识水平,以往关于气候变化的国际谈判一直将减少温室气体排放作为重点。直到2007年召开的第13次缔约方会议(COP13)才将适应气候变化谈判作为重要的谈判内容,并通过了《巴厘行动计划》(Bali Action Plan),首次明确指出气候变化适应并非是减排的补充,气候变化适应与气候变化减缓并重,是气候变化的重要组成部分<sup>[10]</sup>,同时将促进适应气候变化作为《巴厘行动计划》的四大要素(减缓、适应、资金和技术)之一<sup>[11]</sup>。在第15次缔约方会议(COP15)上,发达国家集体承诺在2010—2012年通过国际机构提供约300亿美元的新的和额外的资金,均衡分配支持气候变化的适应和减缓;并承诺为解决发展中国家的适应需要,到2020年共同调动达到1000亿美元/年的目标<sup>[12]</sup>。在第16次缔约方会议(COP16)之前,基于《联合国气候变化框架公约》开展的促进适应气候变化行动主要是短期和分散的,缺乏协调性,而在COP16(墨西哥坎昆)上各缔约方决定建立以适应委员会、国家适应计划进程、损失与危害工作计划、国家机制安排和区域适应中心为主要内容的《坎昆适应框架》,设立绿色气候基金;《联合国气候变化框架公约》的缔约方要求绿色气候基金均衡用于适应和减缓气候变化<sup>[13]</sup>。第17次和第18次缔约方会议则进一步明确了《联合国气候变化框架公约》下现有的最不发达国家基金和气候变化特别基金分别支持

最不发达国家和其他发展中国家的国家适应计划进程等<sup>[14-15]</sup>。第19次缔约方会议(COP19)进一步建立了华沙损失与危害国际机制,并在国际机制下设立了执行委员会<sup>[16]</sup>。

总体而言,自2007年以来,国际社会在促进气候变化适应行动的谈判方面取得了很大进展<sup>[17]</sup>:①提出了适应气候变化的相关机制和进程,包括建立适应委员会、华沙损失与危害国际机制,设立均衡用于适应和减缓气候变化的绿色气候基金,提出国家适应计划进程、国家机制和区域适应中心,并在国际机制下设立执行委员会等。②强化适应气候变化工作的协调与整合,包括加强《联合国气候变化框架公约》下相关机构、各项规划和活动之间的协调性以及信息沟通。③要求发达国家长期支持发展中国家适应气候变化,如发达国家承诺到2020年共同调动达到1000亿美元/年的目标,以解决发展中国家的适应需要。

尽管国际社会已在适应与减缓的关系方面取得了一致的共识,但在如何有效利用这些适应气候变化机制、消除发展中国家在适应气候变化方面存在的障碍、切实推动适应行动实施方面仍存在较大的障碍,主要表现:①适应资金严重不足。现有机制下适应气候变化的出资义务均为发达国家自愿捐助,没有明确的出资数量,使得用于支持发展中国家适应气候变化的资金难以落实。②技术研发、应用与转让难以实施。发达国家以技术为企业所有、政府无权强制企业将技术转让给发展中国家为由坚决反对技术转让,使得COP16建立的以促进技术开发和转让的减缓和适应气候变化技术机制(包括技术执行委员会、气候变化技术中心和网络两部分)如同一纸空文。③发展中国家在实施适应气候变化行动方面的能力严重不足,不仅资金缺口大、国家适应能力低下,而且技术研发、推广和使用方面还存在知识产权、经济社会、政策法规、机构、信息等限制因素<sup>[17]</sup>。因此,未来如何有效发挥现有适应气候变化机制的作用以提高适应气候变化技术的研发能力则是有效实施适应气候变化行动的关键,也是未来适应气候变化谈判的重点。

## 2 农业适应气候变化措施

气候变化对农业的影响存在显著的区域性差异,利弊共存。研究表明<sup>[18]</sup>,气候变化对中国农业影响的有利方面包括:气候变暖引起的北方部分地

区种植制度界限变化导致区域单位面积耕地粮食产量增加;部分高寒地区(如东北地区、青藏河谷)由于热量资源增加引起作物潜在生育期延长,使种植中晚熟品种和范围均明显增加;短期的温度升高引起作物产量增加;气候变暖引起的冰川融水增加使塔河等流域径流量增加,从而有利于西北干旱区绿洲农业的发展。气候变化对中国农业不利影响的主要表现包括气候变化导致的降水时空差异加剧,使水资源时空分布不均,导致洪涝和干旱频繁发生,部分农区的水资源匮乏可能加剧;同时,高温热害加重,低温灾害总体减轻,但黄淮地区霜冻有所加重,小麦干热风危害有所减轻,但雨后枯熟危害加重;特别是气候变化背景下,干旱与高温的结合使危害更加严重;极端农业气象灾害事件的频发也导致农业病虫害加剧,作物产量降低。因此,如何趋利避害、科学应对气候变化,实现农业可持续发展一直是气候变化研究的重点。人类社会一直在尝试着应对和抵御气候变化和极端事件导致的不利影响,同时也自发地开展了一系列的农业适应气候变化行动。但现有的农业适应气候变化措施还较零散、局部,缺乏系统的、大面积的适应性行动与技术支撑。

联合国开发计划署在不丹通过采取人工降低索托米湖水位和安装预警系统等措施,强化了普纳卡旺地和查姆卡流域的适应能力;通过实施包括水管制以保证水力发电在内的各种适应措施,强化了安第斯山脉中部的拉斯何莫萨马斯夫对当地山区生态系统的适应能力;通过建造U型滞留地措施,增强了厄瓜多尔对干旱年份的适应能力<sup>[19]</sup>。20世纪80年代欧洲中部地区根据气候条件对土地利用格局进行了优化,增加了冬小麦、玉米、蔬菜的种植面积,减少了春小麦、大麦和马铃薯的种植面积,提高了气候资源的利用率<sup>[20]</sup>。为解决水资源匮乏、土地退化等对粮食生产的影响,Herrero等<sup>[21]</sup>发展了作物-畜牧混合系统措施。

中国作为一个负责任的发展中国家,高度重视应对气候变化问题。2007年中国成立了由温家宝总理任组长的“国家应对气候变化领导小组”,发布实施了《中国应对气候变化国家方案》<sup>[22]</sup>;2008年发布实施了《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书<sup>[23]</sup>,并将“减缓与适应并重”作为中国应对气候变化的重要原则之一。尽管如此,当前关于农业对气候变化的适应性研究主要还是限于气候变化对农业生产的影响研究<sup>[6,24]</sup>,具体表现如下:①农业响应气

候变化的指示指标定量评估较弱,缺少对观测的主要气候要素与农作物/饲养动物生长和产量累积效应的变化关系分析<sup>[6]</sup>;②反映农业生产水平与种植范围的气候变化指示指标与各气候因子关系的综合定量评估较弱,还没有明确影响农业生态系统的气候因子及其综合评估指标体系,即仍难以识别气候变化范围、变化频率和极端事件对农业直接和间接影响的程度;③适应气候变化的可操作性对策措施示范基地仍很少,特别是严重缺乏适应气候变化对策措施的成本效益研究<sup>[6]</sup>。

目前,农业生产适应气候变化技术主要仍停留在自发阶段。如湖南和湖北两湖平原的农业生产经常受到频发的洪涝灾害影响,当地农民基于长期的生产实践,总结出了采用错开洪涝高峰期的早熟早稻品种与迟熟晚稻组合搭配的种植格局适应技术<sup>[25-26]</sup>;旱灾频发导致甘肃省小麦产量低且不稳,为确保稳定的经济收入,当地农民总结出了减少小麦播种面积、扩大耐旱作物种植面积的适应措施<sup>[27]</sup>;针对气候变暖导致的作物生育期延长,河南南阳农民选择种植生育期较长的小麦品种<sup>[28]</sup>;而东北松嫩平原南部农民为了充分利用气候变暖导致的热量资源增加,总结出了种植玉米晚熟高产品种提高玉米单产的适应措施<sup>[25]</sup>。华北和黄淮海平原由于气候变暖导致的热量资源增加,使冬小麦由于冬前积温增加造成生长过旺、易受冻害,当地农民总结出了推迟小麦播种的适应措施,如鲁西北桓台县将冬小麦的适宜播期较传统播期推迟了7~9 d,即由9月23日—10月3日调整为10月2—10日<sup>[29]</sup>;山西省晋城地区将传统播期由9月24日—10月2日延至9月28日—10月6日<sup>[30]</sup>。

矫梅燕等<sup>[7]</sup>评估了1961—2010年全国、主要农区及主要粮食作物(水稻、玉米、小麦)3个层次的农业气候资源、农业气象灾害、农业病虫害、农业种植制度及其对粮食生产影响的变化趋势,指出气候变化对中国农业生产有利有弊。热量资源的显著改善有利于部分地区复种指数提高,与20世纪80年代相比,全国一年两熟耕地面积增加 $104.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;一年三熟耕地面积增加 $335.9 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;气候变暖还使得全国水稻、小麦和玉米的种植北界北移约4个纬度,特别是东北水稻种植区北扩,冷害、冻害减少,有利于东北地区粮食稳产高产。但气候变化也加剧了干旱、暴雨洪涝、高温热害和台风等灾害及农业病虫害的影响,已对农业生产构成严重威胁。为此,建

议从国家长期发展战略高度上重视和加强农业适应气候变化工作,并针对中国不同区域的农业与气候变化特点,提出了中国农业适应气候变化的具体措施,包括旨在规避和减轻灾害风险的作物播种期调整、提高耕地资源利用效率的作物复种指数调整以及促进粮食生产向气候适宜区集中的作物种植区域调整。

在全球变化研究重大科学计划支持下,中国科学家开展了一系列农作物对气候变化的适应性评估和适应技术研究。研究指出,农作物对气候变化的适应性不仅需要反映农作物本身的生长变化,还要反映其种植范围的变化,进而基于地球表面的能量平衡方程与水分平衡方程,结合物种地理分布的气候机制,提出并验证了年尺度上影响农作物对气候变化适应性的6个气候因子,即年极端最低温度(农作物能够忍受的最低温度)、年太阳辐射(完成农作物生活史所需的热量供应)、7月温度、1月温度和年平均温度(完成农作物生活史所需的生长季长度,取决于年温度的程度与强度)、年降水量(用于农作物冠层形成和维持的水分供应);建立了农作物对气候变化的适应性评价方法,评价了1961—2010年及未来气候情景下中国主要粮食作物对气候变化的适应性<sup>[31]</sup>。结果表明,相对于1961—1990年的基准期,在典型浓度路径RCP4.5和RCP8.5气候情景下中国主要粮食作物(玉米、水稻、小麦)种植面积呈扩大趋势,但不同粮食作物对气候变化的适应性因作物种类而不同:①未来气候变化对春玉米适宜种植面积扩大有积极作用,未来RCP4.5气候情景下春玉米气候不适宜种植区的面积不到基准期的一半,未来RCP8.5气候情景下春玉米种植北界基本不存在,春玉米可种植北界逐年北抬;未来RCP4.5和RCP8.5气候情景下夏玉米种植的气候适宜区面积均有不同程度的增加,且未来RCP8.5气候情景下的增加程度大于未来RCP4.5气候情景。春玉米对未来气候变化的适应性强于夏玉米,未来RCP4.5气候情景下春玉米对气候变化的适应性低于未来RCP8.5气候情景;而夏玉米在未来RCP4.5气候情景下的适应性降低为轻度适应,在未来RCP8.5气候情景下呈轻度脆弱。②未来气候变化对单季稻适宜种植面积扩大有着积极的作用,且东北地区相对明显,单季稻可种植北界呈明显的北抬趋势;但未来气候变化对双季稻种植的气候完全适宜区呈负影响,尽管双季稻种植的气候轻度适宜区面积仍呈增

加趋势。未来RCP4.5和RCP8.5气候情景下单季稻与双季稻的适应性均呈降低趋势,且RCP4.5气候情景下的单季稻与双季稻的自适应性均高于RCP8.5气候情景。③未来气候变化对冬小麦与春小麦的适宜种植面积扩大有促进作用,且RCP8.5气候情景下冬小麦气候完全适宜区较未来RCP4.5气候情景下增加更大,气候适宜面积的增加主要表现在中国西部、内蒙古和东北地区;未来气候情景下春小麦种植的气候中度适宜区、轻度适宜区和不适宜区面积显著减小,气候完全适宜区面积成倍增加,且RCP8.5气候情景较RCP4.5气候情景具有更大的气候完全适宜区面积。未来RCP4.5气候情景下冬小麦的气候适应性低于未来RCP8.5气候情景,而未来RCP8.5气候情景下春小麦扩展适应性高于未来RCP4.5气候情景。

针对气候变暖对农业的影响,研究者从包括播种期调整和种植熟性调整等方面探讨了农业适应气候变化技术,发展了农业适应气候变化的技术流程、指标体系及其效果评价技术体系,并建立了农业适应气候变化的技术示范基地<sup>[32]</sup>。如东北三省春播玉米区是中国第一大玉米产区,气候变暖将导致东北三省春播玉米区不同熟性春玉米种植区的北移东扩。为适应气候变暖,在不改变耕作制度和更换更晚熟春玉米品种的前提下,预计在未来RCP4.5气候情景下松嫩平原春玉米播种期可提前或推迟16~20 d,部分地区可超过20 d;三江平原和辽河平原区春玉米播种期可提前或推迟8~12 d;南部沿海地区春玉米播种期变化范围在8 d以内;同时,亦可通过种植区春玉米的北移东扩以充分利用气候变暖带来的热量资源,预计在未来RCP4.5气候情景下东北三省晚熟、中晚熟和中熟春玉米的种植北界将在现有基础上分别北移 $2^{\circ}13'$ 、 $1^{\circ}08'$ 和近 $3^{\circ}$ <sup>[33]</sup>。王雅琼等<sup>[34]</sup>根据国际上已有的研究成果和中国农业生产实践,针对中国农业生产条件的显著地域差异,分区域综述了中国已有的和潜在的适应技术:①东北平原山区可采用的适应技术有冬小麦种植界限北移,采用生育期更长的品种,采用粮食、经济和饲料作物的三元结构,推广施肥技术,采用旱作农业技术;②黄淮海平原可采用的适应技术有农业节水技术、推广集水和保水工程措施;③长江中下游及沿海平原丘陵可采用的适应技术有保护和发展的防护林、水源涵养林,引进和培育耐高温耐旱涝的新品种,适当调整播期;④江南丘陵可采用的适应技术有压缩

小麦、扩种耐湿作物、双季稻区可结合早播早插和选择较迟熟品种,植树造林、设施防护林,冬种可由马铃薯、绿肥、反季节瓜果、蔬菜、蚕豆、紫云英等进行年际间的轮作;⑤华南地区可采用的适应技术有兴建海堤、海闸和大型的排洪、泄洪系统,培育抗病、抗虫、耐高温的作物品种,热带亚热带作物北移、甘蔗西移;⑥北部低中高原可采用的适应技术有在农牧交错带提高林草覆盖率,发展和推广旱地集水、保墒耕作等节水技术,培育和引进抗旱品种;⑦西北干旱区可采用的适应技术有棉花主产区西移新疆、西部发展优质瓜果生产、河西走廊发展夏淡季蔬菜生产、甘南和宁南发展药材生产,节水技术,建设渠道防渗工程,人工增雪,开发风能、太阳能,秸秆还田;⑧四川盆地可采用的适应技术有调整播期,兴修水利、合理灌溉,平整土地、深耕改土,耕作保墒、覆盖保墒等,防涝栽培,压缩双季稻,发展早三熟;⑨西南中高原可采用的适应技术有推广防御霜冻和冷害的技术,建设植物基因库和中药材基地、发展花卉生产,增加梯田,采用秸秆还田等措施提高地力,采用水土保持技术;⑩青藏高原可采用的适应技术有退耕还林还草,建设防护林、水源涵养林等,采用节水技术,发展转光膜温室生产。尽管如此,目前农业适应气候变化的具体措施研究仍较为薄弱,仍缺乏农业适应气候变化的措施选择依据与适应效果分析等方面的研究。李阔等<sup>[35]</sup>基于过程(气候变化影响发生之前、进行中、之后)、区域(东北、华北、华中、华东、华南、西南、西北、青藏高原等)、领域(农业、林业、水资源、生态环境、人体健康等)、目的(趋利、避害)、机制(主动适应、被动适应)、时效(长期、中期、短期、应急)、性质(技术适应、政策适应、工程适应等)、程度(适应不足、适度适应、过度适应)、层面(国家、省级、县市、村镇等)等对当前适应气候变化技术进行了系统梳理,探讨了中国适应气候变化的技术分类体系,认为目前适应气候变化技术仍较零散,缺乏针对不同气候变化关键问题的适应气候变化关键核心技术与配套技术体系,严重制约着适应行动的指导作用。未来需要强化适应气候变化的技术识别、筛选、集成、效果评估、适应机制等研究,以构建系统的适应气候变化技术体系。

### 3 农业适应气候变化展望

采取稳健的农业适应气候变化政策已成为国际

社会的共识,但目前关于气候变化的适应性认识不足且评估能力有限<sup>[36]</sup>。气候变化背景下中国的农业气候资源与农业气象灾害时空格局发生了较大变化。面对已发生的气候变化,农业如何取其利避其害,切实保障农业丰产增效与国家中长期粮食安全,是中国面临的紧迫任务之一。研究表明:如果针对未来气候变化改进种植制度、品种及其他管理措施,未来气候变化情景 A2 和 B2 下中国粮食总产在 21 世纪 20 年代将分别增加 14.2% 和 5.5%,在 40 年代分别增加 13.9% 和 6.6%<sup>[37]</sup>。特别是在不考虑水资源与社会经济发展水平的影响,只考虑 CO<sub>2</sub> 肥效作用与气候变化的共同影响时,未来三大作物粮食总产与 1960—1990 年相比将显著增加,其中,水稻增产幅度达 23%~38%,小麦增产幅度为 8%~25%,而玉米则略有减产<sup>[38]</sup>。然而,目前还未建立起国家水平的农业对气候变化的适应性评价指标体系,更未形成可应用示范的农业适应气候变化技术体系,大多仍停留在概念和框架构建阶段。特别是已有农业适应气候变化对策措施主要针对当前气候变化的范围、强度、趋势及其影响的认知,侧重于农业气象防灾减灾的应急管理,还没有从未来气候变化预测及农业面临的风险方面制定农业适应气候变化的对策措施,即实现农业适应气候变化的风险管理。IPCC 第 5 次评估报告将如何实现农业气象防灾减灾由应急管理向风险管理的转变作为主题之一<sup>[39]</sup>,为有效和系统地实施适应气候变化的政策和行动提供了新思路。针对气候变化背景下中国农业面临的新形势,迫切需要基于可持续性科学理论深入开展气候变化背景下中国农业生产风险与适应技术研究,建立农业生产适应性管理科学理论和方法体系,切实推进农业适应气候变化行动,保障农业丰产增效和国家粮食安全。为此,未来中国农业适应气候变化需要加强以下 3 个方面的研究:

1) 农业气象灾变过程的新特点及其风险管理。季风气候的不稳定性直接影响粮食生产安全,使中国成为农业气象灾害频繁发生的国家。同时,气候变化背景下极端天气、气候事件频发引发了农业气象灾害的新特点,如北方干旱缺水与南方季节性干旱加剧,干旱与高温相结合使危害加重;大雨、暴雨频次增加导致部分地区洪涝与湿害加重,新疆融雪性洪水频发;高温热害加重,低温灾害总体减轻,但黄淮地区霜冻有所加重;平均风速减弱导致大风、冰雹、沙尘暴等灾害总体减轻,但局部地区仍较严重;

小麦干热风危害有所减轻,而雨后枯熟危害加重;太阳辐射减弱导致雾霾天气增多阴害加重。气候变暖还导致植物病虫害危害期提前和延长,范围北扩,繁殖加快<sup>[40]</sup>。针对气候变化背景下农业气象灾害新特点,需要从天气气候尺度研究作物生产过程中单一/复合气象灾害发生规律与机制,综合辨识气象灾害最优前兆信号,确定不同作物、不同生育期的气象敏感指标及其致灾临界条件。同时,强化不同作物不同发育阶段多灾种综合风险评估技术的研究,为实现农业气象防灾减灾由应急管理向风险管理转变提供基础。

2) 农业适应气候变化的大数据决策管理系统研发。农业适应气候变化涉及经济和环境等诸多决策,不仅与农业生产与管理、社会经济及其与气候变化的共同影响有关,且与实施适应措施的时间、地点、环境条件等有关。因此,需要有农业适应气候变化的大数据信息支持。特别是需要加强基于现代信息技术与新媒体的、集农业气象数据库、农业生产信息系统和地理信息系统于一体的气象灾害监测预警评估信息系统的研制;加强数据分析和预测技术研发,研究建立不同时空尺度数据-模型融合的粮食生产动态模拟系统,重点关注区域和全球尺度的、可靠的、综合的粮食系统动态模拟模型发展。

3) 适应气候变化的农业气候区划与减灾保产技术研究。重视气候变化的时空差异与水、土、气、生的可持续发展,研发适应气候变化的农业生产可持续发展精细化适应区划技术;建立可持续农业生态系统的适应气候变化区划指标体系;针对气象灾害发生发展的新特点,筛选具有御逆减灾效果的生物化学制剂和生物物理技术,构建其与土壤耕作、栽培和水肥管理等农艺措施相结合的有效减灾保产技术体系并示范。

### 参考文献

- [1] IPCC. IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] IPCC. Climate Change 2014: Impact, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [3] IPCC WG II. The Contribution to the IPCC's Fifth Assessment Report (WGII AR5). Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 79-132.
- [5] 《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. 北京: 科学出版社, 2007: 177-312.
- [6] 《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. 北京: 科学出版社, 2011: 195-344.
- [7] 矫梅燕, 周广胜, 陈振林. 农业应对气候变化蓝皮书: 气候变化对中国农业影响评估报告(NO. 1). 北京: 社会科学文献出版社, 2014.
- [8] 中国·国家适应气候变化战略. 2013. <http://www.gov.cn/gzdt/att/att/site1/20131209/001e3741a2cc140f6a8701.pdf>.
- [9] IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [10] UNFCCC. Bali Action Plan(Decision 1/CP. 13). 2007. <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/eng/06a01.pdf#page=3>.
- [11] 苏伟, 吕学都, 孙国顺. 未来联合国气候变化谈判的核心内容及前景展望:“巴厘行动计划”解读. 气候变化研究进展, 2008, 4(1): 57-60.
- [12] UNFCCC. Copenhagen accord (Decision 2/CP15). 2009. <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf#page=4>.
- [13] UNFCCC. The Cancun Agreements(Decision 1/CP16): Outcome of the Work of the ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action Under the Convention. 2010. <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>.
- [14] UNFCCC. National adaption plans (Decision 5/CP17). 2011. <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf>.
- [15] UNFCCC. National adaption plans (Decision 12/CP18). 2012. [http://unfccc.int/files/meetings/doha\\_nov/2012/decisions/application/pdf/cop18\\_naps.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/doha_nov/2012/decisions/application/pdf/cop18_naps.pdf).
- [16] UNFCCC. Warsaw International Mechanism for Loss and Damage Associated with Climatic Change Impacts (Decision 2/CP19). 2014. <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf#page=6>.
- [17] 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. 气候变化研究进展, 2014, 10(2): 135-141.
- [18] 吴绍洪, 黄季坑, 刘燕华, 等. 气候变化对中国的影响利弊. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 7-13.
- [19] Warren R, Arnell N, Nicholls R, et al. Understanding the Regional Impacts of Climate Change, Research Report Prepared for the Stern Review on the Economics of Climate Change. Research Working Paper No. 90 Tyndall Centre for Climate Change, Norwich, 2006.
- [20] Parry M L, Carter T R, Knott N T, et al. The Impact of Climatic Variations on Agriculture. 1988.
- [21] Herrero M, Thornton P K, Notenbaert A M, et al. Smart investments in sustainable food production: Revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 2010, 327: 822-825.
- [22] 中华人民共和国国务院办公厅. 中国应对气候变化国家方案[国发(2007)17号]. 2007.
- [23] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国应对气候变化的政

- 策与行动. 2008. [2009-08-28]. [http://www.gov.cn/zwggk/2008-10/29/content\\_1134378.htm](http://www.gov.cn/zwggk/2008-10/29/content_1134378.htm).
- [24] 周广胜,许振柱,王玉辉. 全球变化的生态系统适应性. 地球科学进展, 2004, 19(4): 642-649.
- [25] 王宗明,于磊,张柏,等. 过去50年吉林玉米带玉米种植面积时空变化及其成因分析. 地理科学, 2006, 26: 299-305.
- [26] 陶建平,李翠霞. 两湖平原种植制度调整与农业避洪减灾策略. 农业现代化研究, 2002, 23: 26-29.
- [27] 邓振镛,张强,韩永翔,等. 甘肃省农业种植结构影响因素调整原则探讨. 干旱地区农业研究, 2006, 24: 126-129.
- [28] Liu Y, Wang E, Yang X, et al. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biology*, 2009, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02077.x.
- [29] 荣云鹏,朱保美,韩贵香,等. 气温变化对鲁西北冬小麦最佳适播期的影响. 气象, 2007, 33(10): 110-113.
- [30] 程海霞,宋军芳,帅克杰,等. 气温变化对晋城市冬小麦适宜播种期的影响. 安徽农业科学, 2009, 37: 552-553.
- [31] 周广胜,何奇瑾,殷晓洁. 中国植被/陆地生态系统对气候变化的适应性与脆弱性. 北京:气象出版社, 2015.
- [32] 吕宪国. 全球气候变化下我国典型脆弱生态系统的适应技术. 北京:科学出版社, 2015.
- [33] 王培娟,韩丽娟,周广胜,等. 气候变暖对东北三省春玉米布局的可能影响及其应对策略. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1343-1355.
- [34] 王雅琼,马世铭. 中国区域农业适应气候变化技术选择. 中国农业气象, 2009, 30(增刊 I): 51-56.
- [35] 李阔,何霄嘉,许吟隆,等. 中国适应气候变化技术分类研究. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 18-26.
- [36] 《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. 北京:科学出版社, 2007: 177-305.
- [37] Xiong W, Holman I, Lin E D, et al. Future cereal production in China: The interaction of climate change, water availability and social-economic scenarios. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 2009, 19(1): 34-44.
- [38] 熊伟,林而达,蒋金荷,等. 中国粮食生产的综合影响因素分析. 地理学报, 2010, 65(4): 397-406.
- [39] 姜彤,李修仓,巢清尘,等. 《气候变化2014:影响、适应和脆弱性》的主要结论和新认知. 气候变化研究进展, 2014, 10(3): 157-166.
- [40] 郑大玮,李茂松,霍治国. 农业灾害与减灾对策. 北京:中国农业大学出版社, 2013.

## Advances in the International Action and Agricultural Measurements of Adaptation to Climate Change

Zhou Guangsheng<sup>1)</sup> He Qijin<sup>2)</sup> Ji Yuhe<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

<sup>2)</sup> (College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193)

### Abstract

Taking robust adaptation measures to climate warming is a consensus of the international community. Advances in international negotiation of adaptation to climate change and existing agricultural adaptation measures to climate change are reviewed. Several essential factors are analyzed, such as the serious shortages including funds, technology research and development, application and transfer, the action capacity, and the lack of systematic theoretical research and application demonstration of agricultural measurements adaptive to climate change. In order to improve measurements of agricultural adaptation to climate change and ensure the sustainable development of agriculture in China, the future research tasks of China's agriculture adaptation to climate change are put forwards, including new characteristics of agricultural meteorological disaster process and risk management, big-data based decision support system for agricultural adaptation to climate change, and division of agriculture adaptive to climate change and key technology for agricultural disaster reduction.

**Key words:** agriculture; climatic change; adaptation; measurements; international negotiation; advances