

华北平原农业适应气候变化技术集成创新体系

韩荣青^{1,2,3}, 潘 韬¹, 刘玉洁¹, 张九天⁴, 王文涛⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 山东师范大学人口资源与环境学院, 济南 250014;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 中国21世纪议程管理中心, 北京 100038)

摘 要:适应气候变化技术的集成创新是应对气候变化的必要途径。以我国重要的商品粮生产基地——华北平原为例, 分析了气候变化对华北平原农业的影响, 提出华北平原农业适应气候变化的技术集成创新体系, 包括: 单一目标的农业适应技术集成体系, 多目标综合的农业适应技术集成体系, 多部门综合的农业适应技术集成体系和因地制宜的分区农业适应技术集成体系等; 讨论了适应的不确定性、适应需求的差异性以及适应技术集成创新能力。最后指出, 我国应对气候变化亟需开展不同领域适应气候变化技术的集成创新研究, 构建不同部门适应气候变化技术的集成创新体系, 使各种单项和分散的技术成果得到集成, 从而建立完善的适应气候变化技术的集成创新机制。

关键词:华北平原; 适应气候变化技术; 农业; 集成创新体系

1 引言

农业生产是关系到人类生存与发展的重要部门。研究表明, 受全球气候变化的影响, 作物产量可能持续下降, 同时还可能导致品质降低、病虫害加剧、生产成本上升、效益下降等一系列问题。情景模拟分析发现, 当全球平均气温升高2.5℃时, 若保持现有种植制度、作物与品种布局及栽培技术不变, 中国3种主要粮食作物单产水平都将下降, 总产潜力降低^[1-4]。另外, 极端天气事件增加, 农业气象灾害加重都可能是造成未来粮食减产的重要因素。农业适应气候变化已经成为我国社会经济可持续发展亟待解决的关键问题之一。

适应是指自然、社会或经济系统为应对实际发生的或预估的气候变化及其影响, 旨在减轻不利影响或利用有利影响而采取的调整措施、政策方案、科学技术等^[5]。积极主动、有计划的适应行动不仅可以有效减轻气候变化带来的不利影响, 而且可以充分利用气候变化带来的有利因素, 趋利避害, 变挑战为新的发展机遇。很多学者从技术、机制等方面探讨了农业对气候变化的适应, 包括充分利用气候资源、调整种植制度和作物布局、加强农业生产

管理、改善农业基础设施、提高应对气候变化的科技创新能力、加强宣传和科普教育等^[6-8]。近年来, 我国各地逐渐开始采取不同的适应技术措施以应对气候变化, 如华北平原弱冬性小麦品种的选育和推广^[9], 宁夏等西北干旱区水稻、马铃薯的作物种植比例调整^[10], 辽宁在干旱区采取的保护性耕作^[11], 都是针对当地水热条件变化而采取的适应性措施。同时根据未来气候变化情景, 建立农业适应气候变化的理论与技术支撑体系框架, 构建主要农区适应气候变化的区域技术体系^[12-13]。但是, 目前我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, 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, 为此, 需要从不同尺度对各种适应技术进行集成创新, 形成不同层面的适应气候变化集成方案。集成创新是创新行为主体的选择、优化、配置, 相互之间以最合理的结构形式结合在一起, 形成一个由适宜要素组成、优势互补、匹配的有机体, 从而使有机体的整体功能发生质变的一种过程^[14]。科学的集成创新体系, 可以使各类适应气候变化技术在不同部门、领域或管理层面得到集成, 从而大大推动适应气候变化技术

收稿日期: 2011-12; 修订日期: 2012-06.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2010CB955905); 山东省社科规划重点项目(08BJGJ05)。

作者简介: 韩荣青(1971-), 女, 博士, 主要研究方向为自然地理综合研究。E-mail: hrqsd@126.com

通讯作者: 刘玉洁, 女, 博士, 助研。E-mail: liuyujie@igsnr.ac.cn

的发展。

华北平原地处我国中纬度地带,地势低平,平原面积占全国平原总面积的 1/3 左右,是我国重要的粮、棉、油生产基地。近 50 年来,华北平原地区变暖趋势明显,并对农业生产造成了显著的影响^[15]。本文在分析气候变化对华北平原农业生产影响的基础上,提出华北平原农业适应气候变化技术的不同集成创新体系,为华北平原农业应对气候变化行动提供决策支持。

2 华北平原气候变化对农业生产的影响

1971-2000 年,华北平原中北部呈暖干趋势,南部呈暖湿趋势^[16]。升温速率约为 0.25 °C/10a^[17]。南北之间温差减少,增温主要在 1-4 月^[18-19]。同时,全区年降水量微弱下降^[20],在 4 月、7 月、8 月减少明显,春、冬两季降水量微弱增加,但增幅小于夏、秋两季的减幅,年降水量呈西北走向递减。

2.1 气候变化对作物生长发育的影响

气温变暖影响华北平原冬小麦籽粒灌浆和作物产量^[21]。1971-2000 年间,华北平原增温主要在 1-4 月,降水主要集中在春季,在作物生长特别需要水分的越冬时期和开花期降水反而减少,从而导致粮食生产力降低。从 1991-2000 年,耕地生产潜力小幅减少 1.1%,约 52.7 kg/hm²^[22]。同时,气温变化对耕地生产潜力的影响比降水量变化的影响更为显著。

作物的有效生育期主要受气温的影响。根据中国气象局的气象观测资料,以日平均气温稳定大于 10℃为有效生育期并计算(图 1),可以看出近 50 年来华北地区 3 个城市的有效生育期都呈现出比较明显的增长趋势。石家庄、济南和郑州的作物有效生育期分别从 1955 年的 195、171 和 197 天增加到 2005 年的 231、229 和 229 天。

同时,各地日平均气温稳定通过 10℃的初日和终日也相应地发生了变化(表 1)。随着气候趋暖,各地的初日时间逐渐提前,而终日时间相应推迟,整个生长期延长,播期提前。

2.2 气候变化对农业种植制度和种植区域的影响

气候变暖使得积温增加,作物生长季缩短,有可能导致农业复种指数增加、晚熟品种种植增加,促进种植结构调整等^[15,23]。根据作物生长所需的积温条件^[24],利用中国气象局 1994-1996 和 2004-2006 年的气象数据,计算 ≥0℃区域积温分布(图 2a、2b)。可以看出,一年二熟制的北界在华北平原北部向北移动,两年三熟和一年一熟制的区域缩小。另外,在一年两熟制作物适宜范围内,适宜小麦—玉米的 4000~4800℃的范围缩小,而适宜小麦—玉米/水稻的 4800~5500℃的范围北移扩张,且在平原南部积温更是超过了 5800℃。

气候变化影响下热量资源分布直接决定作物的分布和生育期日数,进而影响农业种植区域。以不同温度带作物分布的有效生育期为例,华北平原暖温带与中温带、中温带与北亚热带作物有效生育期的分界分别是 171 天和 221 天^[25]。利用中国气象局 1994-1996 和 2004-2006 年的气象数据,分别计算 3 年的平均 ≥10℃持续日数(图 3)。可以看出,随着

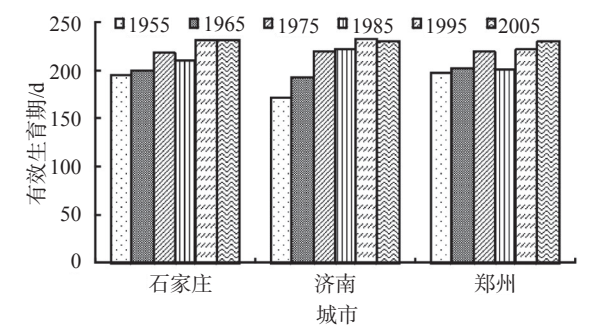


图 1 近 50 年来华北地区三城市的有效生育期的变化
Fig.1 Change of effective growth period of three cities of northern China in nearly 50 years

表 1 近 50 年来华北地区三城市日平均气温稳定通过 10℃的初日、终日变化
Tab.1 Change of beginning and ending dates of the daily temperature above 10℃ stably of three cities of northern China in nearly 50 years

名称	石家庄						济南						郑州					
年份	1955	1965	1975	1985	1995	2005	1955	1965	1975	1985	1995	2005	1955	1965	1975	1985	1995	2005
开始月	4	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3
开始日	19	21	25	3	27	23	20	30	25	30	6	25	21	21	25	31	3	24
终止月	10	11	10	10	11	11	10	11	10	11	11	11	11	11	10	10	11	11
终止日	30	6	27	29	15	12	7	7	28	5	17	12	3	8	29	17	15	13

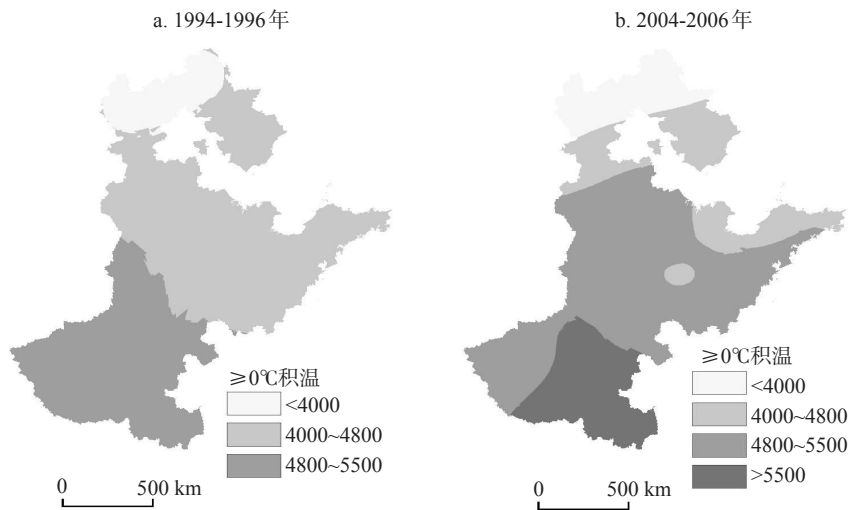


图2 不同时段华北三省≥0℃积温分布格局

Fig.2 Distribution of accumulated temperature above 0°C of three provinces of northern China

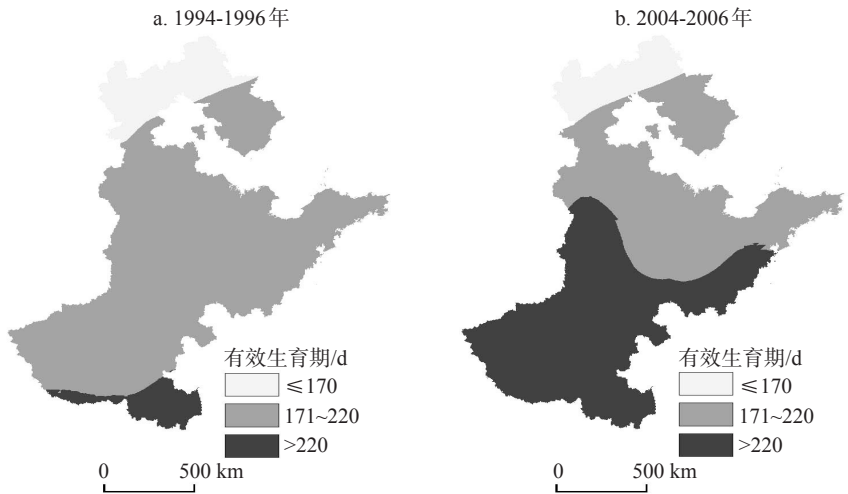


图3 不同时段华北三省有效生育期分布格局

Fig.3 Distribution of effective growth period of three provinces of northern China

华北地区气候增暖,作物适宜生长的北界北移明显,特别是北亚热带的北界北移显著,暖温带界限在河北北部北扩明显。

2.3 气候变化对农业水资源的影响

气候变化的暖干趋势对华北平原农业水资源的最主要影响是地表径流减少、作物需水增加,农业水资源短缺形势日趋严峻,加剧水资源不稳定性与供需矛盾,致使该区地下水的开采强度加大,引起地下水位下降,在部分地区形成地下水位降落漏斗及海水入侵^[26-27]。一方面,气候变暖可能使江河径流量减少。20世纪80年代之后和之前相比,相同降水产生的径流量减少。河流长期

断流导致平原区沿河道线状补给地下水量明显减少^[28]。另一方面,气候变暖使作物生长季延长,农业用水需求量不断增加,对区域农业用水产生负面影响。

2.4 气候变化下的农业灾害

气候变化给华北平原农业发展带来了干旱、洪涝、霜冻、病虫害等灾害。气候变暖使土壤水分蒸发量加大,热量资源增加的有利因素可能会因水资源的匮乏而得不到充分利用,作物产量波动的气候风险性增加^[27]。由于华北平原地区作物生育期内的自然降水和底墒水只能满足冬小麦全生育期需水的1/3~2/3。如果没有灌溉,冬小麦全生育期缺水

率20%以上出现的概率大都在80%以上,缺水率30%~40%的重旱年出现的概率高达30%^[29]。

3 华北平原农业适应气候变化技术的集成创新体系

根据农业生产的系统性和复杂性以及气候变化的不确定性,基于目前华北平原农业生产、经济发展和科技进步实际状况,提出单一目标、多目标、多部门、因地制宜的分区适应等4种农业适应气候变化技术的集成创新体系(表2)。

3.1 单一目标的农业适应技术集成创新体系

华北平原农业发展的主要障碍是水资源短缺,在气候变化影响下,水资源问题可能进一步加剧。节水农业是华北平原适应气候变化的重要技术途径之一。节水农业技术体系通常从工程节水、农艺节水与生物节水3个方面进行集成,形成以节水为单一目标的农业适应气候变化的技术集成创新体系。

工程节水包括采用不同的节水灌溉技术和采取有效措施截取雨季降水备用两个方面。节水灌溉技术又包括微灌、注水灌溉、膜上灌、喷灌、沟畦灌溉、管道灌溉、渠道衬砌、地面灌溉等。要根据农业水资源利用效率和适宜推广性采用不同的节水技术。比如,从微灌、注水灌溉、膜上灌、喷灌、沟畦灌溉、管道灌溉、渠道衬砌到地面灌溉,农业水资源利用效率逐渐降低^[30]。相对于具体的作物,小麦主要是改大水漫灌为小畦灌、管灌和喷灌,减少灌溉次数,降低灌溉量;玉米主要通过提前进行麦垄点播,麦黄水和玉米出苗水一水两用,隔沟灌等来减少灌溉量^[31]。截取雨季降水备用的雨水集蓄利用技术主要有小型水库和微集水、屋顶雨水收集、创建人工池塘和湖泊等,改变立地条件以增加降水就

地入渗。

在农艺节水方面,可以利用旱区农业保护性耕作技术,以秸秆覆盖来抑制农田蒸发,或者在耕作地面扩大间作套种,也能减少蒸发。利用地膜栽培,减少灌溉量。也可以采用深松蓄水技术、沟垄种植技术等方式来建设高效土壤水库,增加农田储水能力。

在生物节水方面,选用抗旱、耐旱、节水作物及品种,比如采用甜糯玉米新品种、广适应性水稻品种、高档优质水稻品种等。另外,地膜覆盖作物栽培、渗水地膜覆盖、节水作物种植、化学控制节水(比如施用微量元素肥料提高作物抗旱能力)等也是生物节水的一些重要的技术措施。

3.2 多目标综合的农业适应技术集成创新体系

应对气候变化的农业策略具有系统性与不确定性。为提高农业适应气候变化能力,应从多方面采取综合行动,以适应复杂的气候变化^[32]。多目标技术集成创新体系包括经济目标和资源环境目标,其中经济目标又包括宏观经济目标和微观经济目标,宏观经济目标是促进农、林、牧、渔的全面发展,微观经济目标是建设优质、高产、高效的农业;资源环境目标包括维护农业生态经济系统的良性循环,保证水资源、土地资源、生物资源等的可持续利用,提高资源利用效率,防治资源的污染破坏,预防和减轻气候变化造成的消极影响等^[33]。通常包括增强农业基础设施、发展设施农业、调整复种指数和作物品种布局、调整播期、合理安排田间结构、调整种植方式等方面。

加强农业基础设施建设。华北平原区水资源相对短缺,部分区域土壤盐渍化,中低产田面积较大。加强农业基础设施建设可提高水资源利用效率,防治土壤次生盐碱化,改善生态环境。主要包括:加大对病险水利工程的除险加固的整治修复力

表2 华北平原农业适应气候变化技术集成创新体系

Tab.2 Integrated innovation system of agricultural adaptation technology to climate change in the North China Plain

适应技术集成创新体系的类别	优势与不足	主要应用范围
单一目标的农业适应技术集成创新体系	目标单一、具体,可执行力强,但对农业的综合发展关注不够	单一的具体适应问题
多目标综合的农业适应技术集成创新体系	多角度、全面考虑,综合执行涉及的方面多,利于适应复杂的气候变化,但工程庞大	区域整体农业发展
多部门综合的农业适应技术集成创新体系	分工明确,组织管理有序,便于农业适应气候变化技术的落实	农业发展的组织管理
因地制宜的分区农业适应技术集成创新体系	目标具体明确,便于小区域整体实施	区域农业环境差异

度;完善水库、沟渠等排灌系统的灌溉配套,提高排涝抗旱能力;增加对水土田林路等基础设施综合配套改造;大力推广节水灌溉项目;进行中低产田改造、水土保持、国土整治等。

发展设施农业。设施农业依靠一定的设施,能在局部范围改善或创造出适宜的气象环境因素,为作物生长发育提供良好的环境条件,以此实现有效生产。设施农业包括设施栽培和设施养殖两个方面。设施栽培可以调控作物生长发育期,提早或延迟其采收期,控制作物生育所需的增加光照、遮光降温、调温、调湿、补充二氧化碳等生态条件,防止晚霜、低温、干热风、大风、冰雹等危害。设施栽培的类型主要有地膜覆盖、塑料大棚、温室、植物工厂以及无土栽培技术^[34]。目前黄淮海平原设施农业面积占全国总面积的70%以上。气候变暖有利于设施环境下作物生长,减少冻害的发生并节约成本。

调整复种指数和作物品种布局。华北平原温度、降水等气候条件的变化引起复种指数的改变,应在土、肥、水变化的基础上,调整复种指数。比如,合理选择并搭配作物种类与品种,实行三茬套种。上茬以冬小麦为主,选早熟、高产、矮秆、抗倒伏和株型紧凑的类型。中茬以玉米为主。一般根据小麦收后到种麦期间热量的多少选中熟品种。华北平原南部可选生育期稍长的中晚熟品种,平原北部选生育期短些的中早熟品种。下茬一般为高粱、玉米、谷子、豆类,宜选早熟或极早熟品种,若移栽或套种,则可用生长期较长的高产品种^[35]。另外,应根据华北平原的暖干化趋势和水资源短缺,调整作物品种布局。首先应选用抗旱、耐旱、节水作物及品种,比如可以在华北平原北部地区选择硬粒小麦;其次,根据积温和生长季的变化,作物适宜性范围的变化,相应地调整作物品种布局,比如冬小麦种植向北延伸、在一年一熟区的南部边界进行一年两熟种植等。

调整播期。播期、套栽期既影响作物本身产量,也影响后茬作物。如冬小麦播期在日平均气温16~18℃时为宜,华北平原北部一般在秋分时节。春小麦则在气温稳定通过0℃开始。玉米的优化播期自北向南呈逐渐推迟的趋势:北部5月上旬播种较为适宜;中南部以6月中上旬播种较适宜^[36]。具体而言,中茬玉米套种应根据玉米品种生育期的长短、对热量的要求、当地的热量条件、适时成熟又不

影响适时种麦、埂的宽窄等因素综合考虑。如高产麦田群体结构大的宜晚播些,埂宽的(大于2尺)可适当早播。下茬栽期在麦收后越早越好^[35]。而春玉米若开花期降雨过多会造成低温寡照而影响玉米的受精授粉与结实,所以其播期以开花期避开雨季为首要考虑因素^[37]。

合理安排田间结构。田间结构包括带距、行比、间距、埂宽、株行距、密度等,合理的田间结构既利于改善农田小气候条件,又可充分利用光、热、水、气等大气候资源。搭配上、中、下茬作物时,应根据作物的需光性、生长特性、高矮特性、对气候的适应性等搭配及分配土地,使之通风透光。同时,充分利用边行效应,如第三茬应“挤中间,空两边”,使中、下茬作物处于良好的边行地位^[35]。以夏玉米为例,采用宽窄行密植有利获高产。宽行70~80 cm,窄行50~60 cm,株距20~26 cm,选用机播楼播种,下种均匀,行距易掌握^[38]。

调整种植方式。作物种植方式各有优劣,不同种植方式具有各自独特的生态适宜性。当前华北平原的作物种植方式在一年两熟区有小麦平播和麦田套种两种。小麦平播方式适于生长期长、土地平坦、便于灌排、水肥充足、机械力量强的地区。麦田套种方式适于生长季节紧,土、肥、水较差或易涝的地区,可以精耕细作,有较高的光能利用率和产量潜力。同时,套种玉米多为生长季长、产量潜力高的中、晚熟品种,比平播的早、中熟品种要稳产高产^[39]。此外,还有三茬套种,即先在小麦抽穗后套种玉米,麦收后又在茬地上套种玉米以及高粱、大豆、谷子、薯类等。另外,根据气温、降水、光照等变化,适时晚定苗和适时晚收,适当提高种植密度,合理增加播种量,都利于作物高产。

3.3 多部门综合的农业适应技术集成创新体系

农业适应气候变化需要决策管理、科技研发、技术推广、农业生产、市场等多个环节的共同协作,具体包括国家或地方政府、科研机构、生产者个体、企业等多个部门。建立健全的应对气候变化多部门综合的适应技术集成体系,各部门相互配合和协调才能实现更有效地适应气候变化,提高农业生产力。

国家政府主要进行宏观调控,包括宏观决策与计划、调控与组织协调、监督服务等。地方政府则同时具有决策职能,又起到对国家政府与其他部门之间的桥梁作用,在国家政府、企业与生产者个体

之间进行沟通,涉及农业、水利、农机、气象、植保、种业等部门,主要负责落实、执行国家有关法律及政策规定,维护地方农业生产经济秩序,根据国家的总体发展目标制定地方的发展规划,具体指导、监控生产者个体对农业自然资源的开发、利用与防灾减灾,提供农业生产产前、产中、产后的产、供、销全方位服务等^[33]。科研机构是适应气候变化技术创新、研发、示范以及推广应用等多个阶段的核心力量。农作物的生长过程随气候条件的变化会相应发生改变^[40-41]。科研机构通过评估气候变化对农业生产的影响,研发不同的适应技术,并形成咨询建议,为国家的宏观决策提供科学支持。农业生产的主体是农民,也是适应气候变化最直接的群体,农民可以通过比较优选,采用更适宜于区域特点、成本效应最优的适应技术,从而实现有效应对气候变化^[42]。通常,试验示范区的建立能对周边农户起到非常好的带动作用。农业适应技术的集成创新还需要在开放的市场环境下进行,企业是该环节的主体。企业可通过提供资金适应气候变化行动,通过市场机制实现技术的转移,也可参与支持科研技术的研发,实现农业适应技术集成创新的经济效益最大化,使得农业自然资源本身能最大程度资源产业化和农产品的市场化。

3.4 因地制宜的分区农业适应技术集成创新体系

应对气候变化的农业策略具有系统性与不确定性。气候变化对农业的影响具有明显的季节性和区域差异性^[43]。因此应从区域实际和农业发展的阶段性出发,同时借鉴发达国家应对气候变化的策略,充分考虑区域的自然资源状况、社会经济条件及区域生态环境,根据区域之间差异性和区内相对一致性的特点,因地制宜地采取分区农业适应技术集成体系。

从华北平原最紧缺的水资源开发利用角度,可以分为太行山、燕山山前平原水资源轻度紧缺区(以渠道防渗为主+田间节水措施+节水型农业措施)、海河冲积平原水资源重度紧缺区(以低压管道输水为主+适水种植+微灌)、黄北引河水资源中度紧缺区(渠道防渗、管道输水+田间节水工程+农业节水措施)^[44]。

在充分考虑气候条件、水资源条件与农业发展途径、行政区界、流域水系相对完整及区内社会经济发展水平基础上划分为5个不同的适宜性节水技术区:京津冀东、太行山前、黑龙港区、鲁北区、豫

北区。各区农田灌溉应各具自己的发展模式,并应与其他措施相结合,如土壤水利用、农业综合节水、作物结构调整等。比如京津冀东区和鲁北区的农田灌溉有一定的余水量,应积极稳妥地扩大灌溉面积^[30]。太行山前区的山前倾斜阶地,地形起伏较大,可建立从干渠引水入管的自压式管灌系统,同时对渠道进行整修和衬砌,利用地势落差合理布置喷灌、微灌、低压管道输水灌溉、选用节水耐旱品种、实行水价浮动、定额内平价供水、定额外加价供水等措施^[45]。

4 讨论

4.1 适应的不确定性

气候变化对农业活动的影响是多方面的,机制与过程十分复杂。限于目前的研究手段,对气候变化的农业影响评价、适应机制及未来预测的认知仍存在许多不确定性。其中最根本的原因是对生物学、地球科学等与气候变化密切相关的一些机理还没有充分认识。尤其在全球变化中一系列因子,如:CO₂、气温、辐射、降水、营养元素等的动态及其错综复杂的相互作用如何影响整个农田生态系统,农田生态系统又会对上述因子的变化做出怎样的反馈,气候要素和生物要素的相互作用过程、机制是什么,模型对不同情景下作物生长过程的模拟是否可靠,以及模型模拟的不确定性都需要进一步的深入研究。而适应气候变化必须以定量的影响评估为基础,否则无从谈起。因此,目前的适应技术体系仍然存在一定的不确定性。所以,考虑多元化的潜在适应技术的集成创新显得尤为重要。另外,农业系统对气候变化的适应性和定量适应措施的研究仍比较薄弱,对适应技术选择的依据、适应性效果等的研究都需要继续加强。

4.2 适应需求的差异性与技术选择

由于区域空间差异性的存在,不同地区受气候变化影响的部门不尽相同,气候变化不利影响的范围和强度也有所差异,需要对不同区域进行适应需求分析评估,因地制宜选择不同的适应集成技术。因地制宜地选择适应措施是一项基本原则,研究区域范围的适应性技术是未来适应技术的研究重点。不同领域或区域应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,如农业领域与水资源领域整合,从而形成集成的资源和

能力,为适应气候变化技术整体的发展奠定基础。

4.3 适应技术集成创新能力

在适应性技术评估中,气候因素并不是单独起作用的,而是与非气候因素相互作用,从而影响技术的适用性。气候变化适应技术的有效性还取决于社会经济和文化背景,信息缺乏、资金短缺、人力资本和设备不足均是影响气候变化适应集成技术有效实施的主要因素。由于技术水平、经济能力、政府决策水平、教育水平、科学研究水平等的差异导致的不同地区、不同层次、不同组织和实施者的适应集成创新能力的差异。其中,科技创新是适应气候变化技术集成创新的动力来源,不同领域与区域的适应气候变化技术需要通过科技创新获得。其次,适应气候变化需要庞大的资金支持,区域的经济水平必然制约着适应集成技术的投资规模,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,充分利用国际适应性资金,全面提高区域适应气候变化的能力,最大限度地降低气候变化的不利影响。再次,整合是适应技术实现集成创新的手段。不同适应主体或决策部门需要整合不同区域与领域的资源与能力,才能形成整合的创新能力,实现集成创新。另外,适应气候变化的主体有多个层次。目前情况下,政府部门是适应气候变化的首要主体,不同领域的生产者也是适应气候变化的重要主体,普通人群也是适应气候变化的重要组成部分。科学的适应气候变化集成创新机制需要建立起科学的适应气候变化主体的组织机制。因此,协同是国家、政府或部门实现适应技术集成创新的关键。协同就是要实现“1+1>2”,即多个部门合作创新产生的效益大于部门独立进行创新产生的效益之和。

5 结论

(1) 初步提出华北平原农业适应气候变化技术的集成创新体系,包括:单一目标的农业适应技术集成创新体系、多目标综合的农业适应技术集成创新体系、多部门综合的农业适应技术集成创新体系和因地制宜的分区农业适应技术集成创新体系。气候变化对华北平原农业的影响是多方面的,表现出一定的阶段性和区域差异性特征,同时又有一定的不确定性。为最大限度降低气候变化风险,提高农业生产效益,适应气候变化对华北平原农业的影

响,需要针对区域自然条件、社会经济和科学技术水平,建立农业适应气候变化技术的集成创新机制,发展区域适应气候变化技术的集成创新体系。

(2) 研究不同领域适应气候变化技术的集成创新机制,构建不同部门适应气候变化技术的集成创新体系是我国适应气候变化技术发展的必要途径。集成创新可以使适应气候变化不同主体的资源、技术、能力等得到充分优化、选择、配置,从而相互之间形成最合理的结构形式,发展成为一个由适宜要素组成的、优势互补的、匹配的有机体,可使各种单项和分散的相关技术成果得到集成。应对气候变化的适应技术体系需要充分发挥集成创新的力量,从不同层面的适应主体的组织机制开始,充分整合适应气候变化技术体系,发挥不同适应部门的协同机制,建立完善的国家适应气候变化科技战略,同时合理利用市场的资金机制,从而建立完善的适应气候变化技术的集成创新机制。

参考文献

- [1] 陈宜瑜,丁永建,余之祥,等. 中国气候与环境演变评估(II): 气候与环境变化的影响与适应、减缓对策. 气候变化研究进展, 2005, 1(2): 51-57.
- [2] 居焯,熊伟,徐吟隆,等. IPCC SRES A2 和 B2 情景下中国小麦产量变化模拟. 作物学报, 2005, 31(8): 24-29.
- [3] 熊伟,林而达,居焯,等. 气候变化的影响阈值和中国的粮食安全. 气候变化研究进展, 2005, 1(2): 84-87.
- [4] 张建平,赵燕霞,王春乙,等. 未来气候变化情景下中国主要粮食作物产量变化模拟. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 209-213.
- [5] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 1-976.
- [6] 蔡运龙, Barry S. 全球气候变化下中国农业的脆弱性与适应对策. 地理学报, 1996, 51(3): 202-212.
- [7] 肖凤劲,张海东,王春乙,等. 气候变化对我国农业的可能影响及适应性对策. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 327-331.
- [8] 徐斌,辛晓平,唐华俊,等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及对策. 地理科学进展, 1999, 18(4): 316-321.
- [9] 张宇. 气候变化对我国小麦发育及产量可能影响的模拟研究. 应用气象学报, 2000, 11(3): 264-270.
- [10] 刘德祥,董安祥,陆登荣. 中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响. 干旱地区农业研究, 2005,

- 23(2): 195-200.
- [11] 单葆成, 徐永生, 张祖立. 辽宁省机械化保护性耕作技术发展现状与对策研究. 农机化研究, 2008(9): 234-236.
- [12] 谢立勇, 郭明顺, 刘思才, 等. 农业适应气候变化的行动与展望. 农业经济, 2009(12): 35-36.
- [13] 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1): 51-56.
- [14] 孟浩, 何建坤, 吕春燕. 创新集成与集成创新探析. 科学学研究, 2006, 24(增刊): 261-267.
- [15] Yang X, Liu Z, Chen F. The possible effect of climate warming on northern limits of cropping system and crop yield in China. *Agricultural Sciences in China*, 2011, 10(4): 585-594.
- [16] 李爽, 王羊, 李双成. 中国近30年气候要素时空变化特征. 地理研究, 2009, 28(6): 1593-1605.
- [17] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 4-9.
- [18] 马洁华, 刘园, 杨晓光, 等. 全球气候变化背景下华北平原气候资源变化趋势. 生态学报, 2010, 30(14): 3818-3827.
- [19] 谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原近45年气候变化特征分析. 气象, 2010, 36(5): 40-45.
- [20] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [21] Chavas D R, Izaurrealde R C, Thomson A M. Long-term climate change impacts on agricultural productivity in eastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149(6/7): 1118-1128.
- [22] 姜群鸥, 邓祥征, 战金艳, 等. 黄淮海平原气候变化及其对耕地生产潜力的影响. 地理与地理信息科学, 2007, 23(5): 82-85.
- [23] Chen C, Qian C, Deng A, et al. Progressive and active adaptations of cropping system to climate change in North-east China. *Eur. J. Agron.*, 2011, doi: 10.1016/j.eja.2011.07.003.
- [24] Wang F. Impacts of climate change on cropping system and its implication for agriculture in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 11(4): 407-415.
- [25] 郑度, 杨勤业, 吴绍洪, 等. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008.
- [26] 夏军. 华北地区水循环与水资源安全: 问题与挑战. 地理科学进展, 2002, 21(6): 517-526.
- [27] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 51-56.
- [28] 费宇红, 张兆吉, 张凤娥, 等. 气候变化和人类活动对华北平原水资源影响分析. 地球学报, 2007, 28(6): 567-571.
- [29] 薛昌颖, 霍治国, 李世奎, 等. 灌溉降低华北冬小麦干旱减产的风险评估研究. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 131-136.
- [30] 姚治君, 林耀明, 高迎春, 等. 华北平原分区适宜性农业节水技术与潜力. 自然资源学报, 2000, 15(3): 259-264.
- [31] 张正斌, 崔玉亭, 陈兆波, 等. 华北平原水资源平衡和节水农业发展的若干问题探讨. 中国农业科技导报, 2003, 5(4): 42-47.
- [32] Saavedra C, Budd W W. Climate change and environmental planning: Working to build community resilience and adaptive capacity in Washington State, USA. *Habitat International*, 2009, 33(3): 246-252.
- [33] 谢高地, 章予舒, 齐文虎, 等. 农业资源高效利用评价模型与决策支持. 北京: 科学出版社, 2002.
- [34] 安国民, 徐世艳, 赵化春. 国外设施农业现状与发展趋势. 现代化农业, 2004(12): 34-36.
- [35] 华北农业大学农业气象组耕作组. 华北平原地区气候与种植制度的改革. 气象科技, 1976(S1): 5-10.
- [36] 戴明宏, 陶洪斌, 廖树华, 等. 基于 CERES-Maize 模型的华北平原玉米生产潜力的估算与分析. 农业工程学报, 2008, 24(4): 30-36.
- [37] 刘明, 陶洪斌, 王璞, 等. 播期对春玉米生长发育与产量形成的影响. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 18-23.
- [38] 王春虎, 冯荣成, 陈士林, 等. 华北平原夏玉米高产的几项关键技术. 中国农村小康科技, 2008(8): 31-33.
- [39] 刘巽浩, 韩湘玲, 赵明斋, 等. 华北平原地区麦田两熟的光能利用作物竞争与产量分析. 作物学报, 1981, 7(1): 63-72.
- [40] Miraglia M, Marvin H J P, Kleter G A. Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. *Food and Chemical Toxicology*, 2009, 47(5): 1009-1021.
- [41] Lobell D B, Ortiz-Monasterio I, Asier G P, et al. Analysis of wheat yield and climatic trends in Mexico. *Field Crops Res*, 2005, 94(2-3): 250-256.
- [42] Ortiz R, Sayre K D, Govaerts B. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 126(1/2): 46-58.
- [43] Liu H, Li X B, Fischer G. Study on the impacts of climate change on China's agriculture. *Climatic Change*, 2004, 65(1/2): 125-148.
- [44] 罗其友. 节水型农业模式及其区域选择: 以华北平原为例. 农业现代化研究, 1997, 18(5): 283-286.
- [45] 叶志华, 刘国栋, 钱永忠, 等. 农业资源高效利用新技术应用前景与技术对策. 北京: 科学出版社, 2002.

Integrated Innovation Systems for Climate Change Adaptation Technologies in North China Plain

HAN Rongqing^{1,2,3}, PAN Tao¹, LIU Yujie¹, ZHANG Jiutian⁴, WANG Wentao⁴

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Population, Resources and Environment College of Shandong Normal University, Jinan 250014, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. The Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100038, China)

Abstract: Integrated technology innovation is a necessary approach to climate change adaptation. This paper, taking the North China Plain (NCP), one of the most important commodity grain producing regions, as a case, analyzes the impacts of climate change on the region's agriculture, and puts forward several integrated innovation systems for climate change adaptation technologies for the agriculture in NCP, including: (1) single-objective system, (2) multi-objective system, (3) multi-agency system, (4) area-specific system. In examining the different scenarios for implementation of climate change adaptation, this paper discusses the uncertainty of climate change adaptation, differences in the need for the adaptation, and integrated innovation capability of the adaptation technologies. This paper also points out that climate change adaptation in China requires the study of integrated technology innovation in different fields, and requires the formation of integrated innovation system in different agencies, so that many a single and independent technical achievement can be integrated into the system, which leads to the establishment of an integrated innovation mechanism for climate adaptation technologies.

Key words: North China Plain; adaptation technology to climate change; agriculture; integrated innovation system

本文引用格式:

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. 地理科学进展, 2012, 31(11): 1537-1545.