

东北地区农业适应气候变化技术体系框架研究

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 随着气候变化及其所带来的影响日益显著, 目前适应气候变化越来越成为全球关注的热点问题。东北地区是中国重要的粮食生产基地, 气候变化影响下东北农业生产变化将直接引起中国粮食安全。从气候变化角度着手, 梳理了气候变化对东北农业影响的关键问题, 分析指出近年来气候变化对东北地区农业 4 个最突出的影响: 热量资源呈现增加趋势, 旱涝灾害频次与强度增大, 极端低温冷害事件下降, 农业病虫害损失显著加重。针对这 4 个关键问题, 从作物抗逆品种选育、作物应变耕作栽培、农田基本建设、种植结构调整、病虫害防治、农业保险等不同方面形成东北农业适应技术体系框架。

关键词 适应气候变化; 技术体系框架; 东北地区; 农业

近百年来, 全球正经历一次以变暖为主要特征的气候变化, 联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第 5 次评估报告指出, 近 130 年来, 全球平均地表温度升高了 0.85°C ^[1]。随着气候变化所带来的影响日益显著, 气候变化越来越成为全球关注的热点问题。一方面, 全球极端温度、极端降水、热带气旋、海平面上升等事件更加频繁; 另一方面, 气候变化所引起的生态系统、水资源、环境污染等问题日益加剧, 由此带来的间接损失也不断加重。因此, 如何应对气候变化越来越受到重视, 全球各个国家将其视作可持续发展的重要方面, 不断推进温室气体减缓措施, 同时适应气候变化行动变得

越来越迫切。

针对气候变化本身及其对中国的影响, 中国政府于 2013 年发布了《国家适应气候变化战略》, 逐步在全国范围的不同领域推动适应行动的开展^[2]。同时, 适应气候变化理论与方法的研究初步开展, 许多学者从适应气候变化技术框架^[3]、适应气候变化内涵^[4]、适应气候变化路线图^[5]、适应技术识别标准^[6]等不同角度揭示适应气候变化规律, 深化对适应技术的认识。但目前, 中国适应气候变化行动实践尚处于初始阶段, 适应气候变化技术仍未形成体系, 不同区域和领域适应技术仍较分散^[7]。因此, 开展构建适应气候变化技术体系框架研究, 将为中国不同区域具体领域的适应气候变化工

收稿日期: 2018-03-27; 修回日期: 2018-06-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0300301); “十二五”国家科技支撑项目(2013BAC09B00)

作者简介: 李阔, 助理研究员, 研究方向为气候变化影响与适应, 电子信箱: likuo@caas.cn; 许吟隆(通信作者), 研究员, 研究方向为适应气候变化, 电子信箱: xuyinlong@caas.cn

引用格式: 李阔, 许吟隆. 东北地区农业适应气候变化技术体系框架研究[J]. 科技导报, 2018, 36(15): 67-76; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.15.008

作提供方法与有效的技术支撑^[8],加快中国适应气候变化战略的实施。

东北地区是中国重要的粮食生产基地之一,气候变化影响下东北农业生产波动将直接引起中国粮食安全问题。因此,从适应气候变化角度,分析气候变化对东北农业影响的关键问题,梳理适应气候变化关键技术与配套技术,提出构建东北农业适应气候变化技术体系框架,能够为东北地区粮食生产提供有力的科技支撑与保障。

1 气候变化对中国东北地区农业影响

1.1 气候变化的观测事实与未来趋势

东北地区,近百年来温度总体呈现显著上升趋势,年平均气温上升速率为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。1900—1920年间增温大约 0.7°C ;自20世纪70年代中期以来,东北地区的气温平均升高了 1°C ,年最高气温、年最低气温也呈现上升态势,分别为 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;四季平均气温呈现相似趋势,其中冬季升温幅度最大,上升速率为 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,夏季气温增幅最小,只有 $0.19^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。从空间上来看,整个东北地区随纬度升高增温趋势最大,增温最显著的是北部大兴安岭与小兴安岭地区,长白山南部、辽河平原和辽东半岛升温幅度较小^[9-11]。未来气候情景下,与1971—2000年相比,2030年可能升温 $1.02^{\circ}\text{C}\sim 1.05^{\circ}\text{C}$,21世纪末升温将达 $2.54^{\circ}\text{C}\sim 4.30^{\circ}\text{C}$ ^[12]。

近50年来,东北地区年降水量总体呈略减少趋势,但降水变化空间变异较大^[13-15]。降水减少主要发生在夏秋两季,夏季减少尤为明显,而在春季增加,冬季变化不明显;降水日数也在减少,但降水强度略有增强。从年降水量变化的区域分布来看,除黑龙江的漠河略增加以外,吉林西部、辽宁东南部以及黑龙江东部地区等大部分地区都呈减少趋势。气温升高、降水减少,东北地区气候变化总体上朝着暖干化方向发展^[16],尤其是吉林省中西部地区土地荒漠化和盐渍化趋势明显。未来气候情景下东北地区降水普遍呈现增加趋势,与1971—2000年相比21世纪末降水量将增加 $7.56\%\sim 13.57\%$ 。

气候变化影响下,东北地区极端降水事件的频率与强度显著增加^[17-18]。根据1950—2010年气象与农业统计资料,对比1950—1979年与1979—2010年东北地区干旱灾害与洪涝灾害频次与强度,干旱与洪涝灾害

均呈现显著地上升趋势^[19-21];尤其20世纪90年代以来,洪涝频发;从空间上来看,干旱发生频次和强度均呈现从北向南逐渐增加的趋势,洪涝灾害发生频次和强度均呈现从北向南逐渐减小的趋势,整体上东北地区从南向北呈现由干旱向旱涝并存的格局演变^[22-23]。未来气候情景下年最大持续干日呈略减少趋势,年暴雨日数和大暴雨日数将增加,平均日降水强度、极端降水贡献率和 $\geq 10\text{ mm}$ 降水日数均将增加。

由于气候变暖,过去50年,东北地区霜冻季节最多缩短了40 d左右,冷害发生的年份数随年代呈现显著减少趋势,20世纪80年代以来,东北地区作物延迟型冷害的发生程度和频率均有所下降^[24]。但由于极端气候事件频发,作物生长期气温波动加大,障碍型低温冷害有加重趋势,近20年来,东部地区东部每隔2~3年发生一次严重的障碍型低温冷害事件^[25],受灾地区减产近40%。此外,受气候变化影响,东北地区复种指数增加,晚熟高产品种推广^[26],作物生长对热量资源要求更为突出,当气候波动遭遇低温年份冷害问题将更为严峻。未来气候情景下,东北地区霜冻日数将呈明显减少趋势^[27],气温年较差无明显变化趋势,生长季将呈明显增加趋势,年暖日、暖夜日数高温事件呈明显增加趋势,年冷日、冷夜日数低温事件呈明显减少趋势;极端低温事件减少,高温事件增加,同时极端温较差呈增加趋势。

1.2 气候变化对中国东北地区农业的关键影响

1) 热量资源增加。

随着气候变暖,东北地区热量资源增加趋势显著,其生产潜力也相应提高。

研究发现,东北地区近50年来,作物生长季积温增加明显^[28],积温带北移东扩明显,有效积温在大部分 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 地区都有显著提高。东北地区热量资源增加导致大部分作物适宜生育期延长,使得作物春季物候期提前、秋季物候期推后,进而出现播种期提前、收获期推后现象^[29]。玉米生育期天数在东北大部分地区增加了约10 d,适宜播种期普遍提前了2~10 d;水稻适宜生长期增加了8 d左右。另一方面,由于温度升高使春小麦和大豆发育进程在加快、生育期有所缩短,而马铃薯全生育期的没有明显变化。

气候变化使得东北地区积温带北移,作物适宜种植范围相应扩大,主要作物逐渐由早中熟品种替换为中晚熟品种。喜温作物如玉米、水稻、马铃薯等种植面积增加,春小麦种植范围不断缩小;水稻的种植北界由

嫩江县已移至呼玛县等地区^[30](北纬52°左右);玉米的种植向东扩展到辽宁东部山区,其北界也向北移到呼玛县等地区^[31];喜凉作物小麦则出现显著向南退缩现象。

2) 旱涝灾害加剧。

东北地区70%~80%降雨集中在6~9月份,具有北多南少、东多西少等特点。

随着气候变化,降水总量近50年呈下降态势,其空间分布更不均匀,由降水引发的极端干旱、洪涝事件的频次与强度呈现显著升高趋势^[19]。随着气温升高,东北地区的降水量和降水日数均在减少,连续累计不降水日在增加,土壤湿度明显趋于干旱,尤其20世纪90年代中期以来最为显著^[32]。干旱多发生于北部黑龙江干流、西辽河以及嫩江地区,尤其松嫩平原地区干旱频次、连续干旱年数明显增加^[33]。20世纪90年代以来,东北地区洪涝灾害程度增强显著^[34],主要集中在西南部与中部地区。

3) 极端低温冷害整体降低。

低温冷害是指作物在生长发育期遭受持续低温或短时低温(低于作物生长发育下限温度)造成减产的灾害。随着气候变化,近60年来,东北地区增温十分显著,明显高于同期全国平均水平,近30年来,东北地区整体上低温冷害发生的频次和强度都有一定程度的降低^[35]。

研究发现,东北水稻、玉米冷害都呈现出随年代显著递减趋势^[36-38]。一方面,20世纪90年代以来水稻冷害发生年份和区域明显减少,进入2000年,水稻冷害发生年份和区域进一步减少,发生频率较低,主要集中在黑龙江北部、东南部和吉林东南部局部区域。另一方面,东北地区严重的玉米低温冷害,在不同年代总体呈现频率减少趋势,但由于温度波动幅度变大,一些区域的低温冷害呈现增加趋势;与此同时,不同熟性品种的玉米可种植北界呈现北移东延态势,中、晚熟玉米品种种植面积不断扩大并逐渐替代早熟玉米品种,由于晚熟收获期推迟,玉米遭受严重低温冷害的频次明显增加,加大了玉米减产风险。

4) 病虫害加重。

温度是影响作物病虫害发生的主要环境条件。随着气候变化,东北地区冬季温度显著上升,暖冬现象增加。根据相关研究^[39-40],气候变暖导致东北地区多数病虫害显著加重,病虫害危害范围扩大,病虫害暴发时段随作

物生长季延长而同时加长,害虫繁衍的世代数增加,原来的一代区可能变成二代区、二代区可能变成三代区,还会出现一些在原来严寒冬季不能生存的新类型病虫害,新的害虫也可能进入东北地区。

以东北地区玉米病虫害为例,持续暖冬可使害虫越冬存活基数明显上升^[41],现阶段冬后虫源基数比20世纪90年代增加4倍以上。以东北地区水稻病虫害为例^[42],随着温度升高,稻飞虱、稻纵卷叶螟发育、繁殖速度加快,积温增加促使其发生世代数增加,由一代向二代、三代转变;冬季增温幅度大有利其越冬,向北迁出时间提前,由夏季向春季过渡,迁入范围随水稻扩种而扩大,导致害虫危害时间延长,危害次数增加。

2 中国东北地区适应气候变化农业技术体系的构建

农业适应气候变化技术体系框架,是指针对不同区域气候变化影响所带来的关键问题,筛选并评估不同类型关键适应技术与配套适应技术,通过有机组装与集成,以达到最优的趋利避害目标。

该体系是一项复杂的系统工程,需要针对气候变化的主要影响提出核心或关键适应技术,每项核心技术又有若干辅助性技术与之配套,形成一个技术子系统,各个子系统之间有机联系并相互支持。结合气候变化影响与农业生产实践,将农业适应气候变化技术措施划分为农田基本建设(水利、基础设施等)、作物抗逆(抗旱、耐涝、耐高温、抗病虫等)品种选育、作物病虫害防治、作物应变耕作栽培、农业种植结构调整、农业适应气候变化保险6种类型^[2],适用于农业生产所覆盖的大多数区域。

对于农业适应气候变化,某类单一技术措施所起到的适应效果有一定局限,在适应过程中需要对农田基本建设、作物抗逆品种选育、作物病虫害防治、作物应变耕作栽培、农业种植结构调整、农业适应气候变化保险6类适应关键技术进行有机组合形成综合适应技术体系。气候变化影响下,东北地区的农业气候资源、农业气象灾害、病虫害等都在发生变化,其中最显著、关键的问题是:热量资源增加、旱涝灾害加剧、病虫害加重、极端低温冷害整体降低;针对气候变化对东北农业的影响风险,这些问题优化筛选并组装形成适应气候变化技术体系,是东北农业领域适应气候变化的有效途径。

2.1 中国东北地区农业关键适应技术措施

1) 针对热量资源增加问题。

面对气候变化所带来的东北地区热量资源增加趋势,调整农业种植结构是适应气候变化的关键措施,包括作物种植范围、作物布局、品种布局等方面,使之与变化了的气候要素相协调,尽可能充分利用气候变化所带来的优势。

结合国家粮食安全战略与市场需求,基于东北不同区域的具体水资源条件,适度扩种水稻;在现有种植范围基础上,水稻种植北界适度北移;在东北积温增加明显的地区,扩大中晚熟水稻、玉米品种种植面积,如三江平原、松嫩平原南部等。对于过去不能种植玉米的区域,现阶段若满足玉米生育热量条件可适当种植,如长白山地区;为了利用增长的生长期和增加的积温,调整水稻、玉米等主要作物与大豆、杂粮等次要作物的间作套种模式;通过以上不同技术措施,可以有效利用东北地区增加的热量资源。

与此同时,在气候变化背景下东北水稻和玉米种植扩种应注意量水而行,防止地下水超采,注重保护湿地和生物多样性,同时不能过分挤占适应性强的非转基因本土品种(如大豆),保证东北作物布局的适度调整,保障其可持续发展。

2) 针对旱涝灾害加剧问题。

针对气候变化引起的东北地区旱涝灾害加剧的状况,农田基本建设(水利、基础设施等)技术措施是适应气候变化的关键。通过水利工程、生态工程、农田基础设施等建设,改变不利于农业生产发展的自然条件,结合东北地区机械化、农场化大规模农业发展趋势,改造和升级已有农田基础设施及水利工程设施,提升东北地区农业应对更严重或更频繁洪涝、干旱灾害的能力,减少因灾损失,保障粮食安全。

在北部黑龙江干流、嫩江以及西辽河地区,尤其松嫩平原地区,气候变化导致干旱灾害日趋严重;在东北西南部与中部地区,气候变化影响下洪涝灾害也在加剧,为了保障作物生长安全与粮食生产安全,需要新建、改建、扩建一批大中型灌区和大中型泵站,完善渠系配套和节水改造,恢复和改善灌区骨干渠系的输配水能力,兴建小型农田水利工程,加快涝区治理,全力推进节水灌溉工程建设,增加高效节水农业灌溉面积。

3) 针对极端低温冷害整体降低问题。

针对东北地区气候变化影响下低温冷害发生的新

特征,作物应变栽培技术措施是适应气候变化的关键。结合气候变化影响下低温冷害发生的时间、范围变化趋势,运用农作物生产的技术与原理,通过调节作物群体或个体以增强对气候变化环境的适应能力,包括适时播种、耕作保墒、科学灌水、灾后补救等技术措施。

4) 针对病虫害加重问题。

通过物理、化学、生物等技术手段进行综合防治,可以有效控制气候变化条件下作物病虫害的爆发,因此,病虫害综合防治技术是适应气候变化条件下病虫害加重的关键措施。

目前,通过生物技术或传统的育种技术增加寄主植物对病虫害的抗性,在监测预警的基础上,使用杀虫剂、杀菌剂和除草剂处理来防治作物病虫害,既可减缓气候变化的影响,又可因确保作物生产系统的可持续性而保障全球粮食安全,仍将是今后采取的最主要和最基本的措施。

2.2 中国东北地区农业配套适应技术体系

1) 针对中国东北地区热量资源增加进行调整。

调整种植结构是适应气候变化的关键措施。在此基础上,农田基本建设措施、作物应变栽培技术将是有效的配套技术措施。以水稻扩种和种植北界北移为例,为了有效利用增加了的热量资源,满足市场需求,在东北一些地区由原来的种植玉米或其他作物改为种植水稻。因此,相应的耕作栽培技术需要随之变化,包括播期、水肥、灌溉等多方面的措施调整,同时对于农田基本建设也要做出相应改变,将旱地改为水田、实施沟渠配套改建与节水改造、农田小水利工程改造等措施。

针对东北地区热量资源增加,以农业种植结构调整为主,农田基本建设与作物应变栽培技术为辅,两者相辅相成,将极大地提高热量资源利用效率,增强东北农业适应气候变化能力。与此同时,调整种植结构应遵循科学原则,结合科学研究与当地实践经验,有序推进热量资源高效利用,避免过度适应。

2) 针对气候变化影响下东北区域旱涝灾害加剧趋势进行调整。

农田基本建设(水利、基础设施等)技术是适应气候变化的关键措施,灾害监测预警与应急响应、抗逆(旱、涝)品种选育、应变耕作栽培、保险技术将是有效的配套技术措施。

对于旱涝灾害,加强农田基本建设是提高当地农业适应气候变化能力的根本途径,只有农田水利工程

逐步改进并完善,才能有效抵御气候变化条件下的旱涝灾害,减轻灾害带来的损失,尽快从灾害中恢复过来。旱涝灾害监测预警与应急响应是最重要的配套适应措施,通过防汛抗旱应急管理、应急抢险物资储备、专业化和社会化结合的救援队伍建设、抗旱应急水源工程建设等措施,提高抵御旱涝灾害的能力;从农作物角度来看,抗逆品种选育技术与应变耕作栽培措施是减轻灾害损失,提升作物自身恢复能力的配套适应措施;保险措施则是应对今后不断加剧的东北旱涝灾害,提升农户适应能力的有效配套适应措施。将关键适应措施与配套适应措施进行有机结合,以关键措施为基础,配套措施为补充,才能实现适应效益的最大化与最优化。

3) 针对东北地区极端低温冷害整体降低(局部时有发生)的趋势,作物应变栽培技术措施将是适应气候变化的关键措施。

随着气候变暖,东北地区低温冷害的频次和强度都有所降低,但作物种植北界向北移也增大了冷害发生的风险,尤其是区域性和阶段性的障碍型冷害仍然时有发生。在冷害可能发生的区域,采取应变栽培耕作措施可以有效缓解极端低温冷害所带来的威胁;同时,在充分开展气候变化影响下低温冷害研究基础上,进一步发展精细化的低温冷害预警预报技术也是东北地区农业适应气候变化的有效配套措施;而抗寒品种选育与保险技术将是进一步增强作物抗寒能力、提升灾害恢复能力的行之有效的配套适应措施。

4) 对于气候变化影响下病虫害加重趋势,作物病虫害防治技术将是适应气候变化的关键措施。

通过物理、化学、生物等技术手段进行综合防治,

从增强作物抗逆性、消除病虫害本体、改善农田环境等不同方面采取防治措施,提升作物对病虫害的抗御能力,遏制气候变化条件下作物病虫害的爆发。在作物病虫害防治措施基础上,采取抗病虫品种选育、应变耕作栽培、保险技术等相应的配套适应措施,将进一步提升作物抗御病虫害的能力,受灾后的恢复能力,从而形成应对东北病虫害的综合适应技术体系框架。

2.3 中国东北地区农业适应技术集成

气候变化是全球社会共同面临的巨大挑战,由此带来的社会、生态、环境等问题复杂而严峻,国内外许多学者开展了相关研究^[43-45]。针对气候变化本身及其带来的影响,采取减缓措施与适应措施被国际社会认为是两条有效途径^[46]。由于气候变化影响到自然系统与人类社会的诸多方面,适应气候变化则涉及不同区域、不同领域、不同层面、不同时效等各种维度的技术措施。如何针对不同类型的适应技术措施进行有效筛选与有机组合,构建可应用于实践的行之有效的适应技术体系框架,是今后一段时期中国开展适应气候变化研究的重点。基于上述认知,以东北农业适应气候变化为例,针对气候变化对东北农业影响的关键问题,结合专家经验优选东北农业适应气候变化的关键技术措施与配套技术措施,初步构建东北农业适应气候变化技术体系框架(表1)。

从适应理论方法角度来看,适应技术体系构建包含5个层面:1) 明晰气候变化影响问题,收集、识别和研发适应技术;2) 优选适应技术,明确关键技术,选择配套技术;3) 构建区域、领域、产业技术体系框架;4) 适应技术的示范推广和跟踪评估;5) 修订完善适应技术体系。

表1 东北农业适应气候变化技术体系框架

Table 1 Framework of agricultural technology system adaptive to climate change in Northeast China

气候变化影响 (impacts of climate change)	关键适应技术措施 (key technologies and measures of adaptation)	配套适应技术措施 (supporting technologies and measures of adaptation)
热量资源增加	种植北界北移:依托气候变化条件下热量资源的增加,适度向北推移玉米、水稻的种植北界	农田基本建设 兴建农田小水利 改建灌区和渠系配套
	中晚熟品种替代早熟品种:在东北积温增加明显地区,用中晚熟水稻、玉米品种替代早熟品种	应变耕作栽培 播期调整 水肥及灌溉方式调整
旱涝灾害加剧	农田基本建设 水利工程措施:推进节水灌溉工程建设,兴建小型农田水利工程,加快涝区治理,新建、改建大中型灌区和大中型泵站	监测预警与应急响应 干旱、洪涝监测预警系统建设 防汛抗旱应急管理体系与应急预案 应急抢险物资储备 专业化和社会化结合的救援队伍建设

表1 东北农业适应气候变化技术体系框架(续)

Table 1 Framework of agricultural technology system adaptive to climate change in Northeast China (Continued)

气候变化影响 (impacts of climate change)	关键适应技术措施 (key technologies and measures of adaptation)	配套适应技术措施 (supporting technologies and measures of adaptation)
旱涝灾害加剧	农田基础设施建设:完善渠系配套,进行节水改造,改善灌区骨干渠系的输水配水能力,建设末级渠系,增加高效节水农业灌溉面积,增强旱涝防御能力	抗旱坐水种技术 应变耕作 栽培 适时播种措施 深耕蓄水保墒 灾后抢收、补种
	生态工程措施:农田防护林建设,坡地改造,土地整理,水土保持	抗逆品种 选育 抗旱品种选育、抗涝品种选育 保险 购置相应的农业保险、天气指数保险或巨灾保险
极端低温冷害 整体降低(局部 时有发生)	适时播种:针对东北地区极端低温冷害整体降低(局部时有发生)的趋势,玉米适时早播,抢墒播种,达到一次播种保全苗 应变栽培:抗寒锻炼,控旺促弱,科学施肥,地膜覆盖,深水灌溉,加强田间管理等 灾中抢救,灾后补种:利用作物的恢复性生长或前后茬作物的补偿机制减轻灾害损失	抗逆品种 选育 利用植物细胞工程技术、远缘杂交育种技术、转基因育种技术、分子标记技术等,进行抗寒玉米、水稻品种选育 保险 购置相应的农业保险、天气指数保险或巨灾保险
病虫害加重	化学防治:利用喷雾、喷粉、喷种、浸种、熏蒸、土壤处理等方法喷洒杀虫剂、杀菌剂等化学农药	抗逆品种 选育 通过抗虫转基因培育技术、抗病毒育种技术、抗真菌育种技术、抗细菌育种技术,选育抗病虫害品种
	物理防治:利用害虫的趋光性,在田间布置黑光灯、频振式灯、紫外线灯等进行诱杀;对种子进行晾晒、温水浸泡或高温处理;采用风选、水选淘汰部分被病菌感染的种子;人工捕杀害虫等 生物防治:利用微生物农药,包括微生物杀虫剂、微生物杀菌剂、微生物除草剂等,实现安全性高、残留量低、无公害、环保、可持续	应变耕作 栽培 合理轮作、间作,深耕,及时除草,科学施肥,调整播期等 保险 购置相应的农业保险、天气指数保险或巨灾保险

3 结论

气候变化是影响农业的关键问题,在不同空间尺度上,可能呈现出巨大的差异性,在不同区域上,其影响程度差异也会很显著。针对东北地区气候变化对农业影响的整体区域性状况,提出了相应的关键适应技术与配套适应技术,忽略了东北地区区域内部地形、水资源、光温资源的差异性,以及气候变化对农业的影响程度差别。

以干旱为例,对于东北整个地区而言,气候变化影响下干旱加剧状况多发生于北部黑龙江干流、嫩江以及西辽河地区。从宏观角度来看,农田基本建设是该地区防御和减轻农业干旱损失的核心措施;而在气候

变化影响下干旱加剧较轻或未加剧的其他区域内,则不一定以农田基本建设为核心措施,可以以抗旱品种选育或应变耕作技术作为主要抗旱手段;对于不同空间尺度或不同影响程度,可供选取的农业适应技术以及其主次作用可能出现较大差别,由不同适应技术措施组合而成的适应技术体系也会不同。针对东北整个区域的农业适应技术体系构建了初步框架,但并未进行更精细的分区域、分层次的农业适应技术体系。

此外,农业适应技术措施往往相互交叉,需要结合在一起实施才能起到最佳效果,因此构建适应技术体系框架是非常必要的。根据农业适应技术措施的具体内容,将其分为6个类别,为关键适应技术与配套适应技术的选取提供了很好的抓手,但对于适应技术的组

合集成与体系构建造成了一定的障碍。

以病虫害为例,为了应对气候变化影响下病虫害加剧的状况,最直接的措施是使用杀虫剂,这是防治病虫害的核心举措,同时需要辅以不同的耕作栽培措施保障杀虫剂的使用效果,如利用喷雾、喷粉、喷种、浸种、熏蒸、土壤处理等方法实现对不同作物的最佳喷洒效果,这些则是防治病虫害的配套措施。此外,不同领域的适应技术措施差别非常大,但对于同一领域,适应技术措施则具有很大的相似性,但也存在一定差异,这是构建不同领域、不同区域适应技术体系的难点所在。

东北地区与华北地区在适应技术类别以及基本构成方面保持一致,但两个地区农业所面临的气候变化影响不尽相同,因此关键适应技术与配套适应技术的选取将存在差别;同时,不同区域在面临相似的气候变化影响时,由于区域间的资源禀赋、社会经济状况、生态环境特征等方面的差异,在基本适应技术措施的优选与组合过程中也会出现差别,最终形成具有不同区域特色的适应技术体系。

适应气候变化技术体系构建是一项庞杂而艰巨的任务,涉及不同领域、区域、类别、层次、尺度、时效、目的等各个方面,现阶段中国尚未有完整统一的适应气候变化技术体系。从东北农业出发,针对气候变化对东北造成的关键影响问题,化繁为简,将农业适应技术划分为6个类别,优选并组合不同的适应技术措施,初步构建东北农业适应技术体系框架。研究尚处在适应技术体系研究的起步阶段,存在诸多不足。

今后,如何构建更精细的分区域、分领域、分层次的适应技术体系是未来的重要研究方向,只有不断精细化的技术体系才能真正应用于生产实践,起到有效应对气候变化的作用;同时,如何根据区域特征构建具有不同特色的适应技术体系,避免千篇一律,是未来适应技术体系研究的难点,也是将要进一步开展的研究。

参考文献(References)

- [1] IPCC. 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: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 《第三次气候变化国家评估报告》编委会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
《The Third National Assessment Report on Climate Change》
- Editorial Committee. The third national assessment report on climate change[M]. Beijing: Sciences Press, 2015: 56-70.
- [3] 刘燕华, 钱凤魁, 王文涛, 等. 应对气候变化的适应技术框架研究[J]. 中国人口资源与环境, 2013, 23(5): 1-6.
Liu Yanhua, Qian Fengkui, Wang Wentao, et al. Research of adaptive technology framework of addressing climate change[J]. China Population, Resource and Environment, 2013, 23(5): 1-6.
- [4] 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 Regional Planning, 2013, 34(6): 12-17.
- [5] 潘家华, 郑艳. 适应气候变化的分析框架及政策涵义[J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(10): 1-5.
Pan Jiahua, Zheng Yan. Analytical framework and policy implications on adapting to climate change[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2010, 20(10): 1-5.
- [6] 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.
Li Kuo, Xu Yinlong. Study on criteria of identification of adaptation to climate change[J]. Science and Technology Review, 2015, 33(16): 95-101.
- [7] 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.
- [8] 李阔, 何霄嘉, 许吟隆, 等. 中国适应气候变化技术分类研究[J]. 中国人口资源与环境, 2016, 26(2): 123-131.
Li Kuo, He Xiaojia, Xu Yinlong, et al. Study on classification of adaptation technologies to climate change in China[J]. China Population, Resource and Environment, 2016, 26(2): 123-131.
- [9] 贺伟, 布仁仓, 熊在平, 等. 1961—2005年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报, 2013, 33(2): 519-531.
He Wei, Bu Rencang, Xiong Zaiping, et al. Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 519-531.
- [10] 姚晨雨, 黄乾. 东北地区冬季气温变化特征研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(8): 154-158.
Yao Chenyu, Huang Qian. Winter air temperature change features in northeast china[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(8): 154-158.
- [11] 贾蕾, 曾彪, 杨太保, 等. 近半个世纪以来中国季风区气温与降水变化及其时空差异[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2015, 51(2): 186-192.
Jia Lei, Zeng Biao, Yang Taibao, et al. Temperature and pre-

- precipitation changes in the chinese monsoon region during the recent half century and the spatio-temporal differences[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2015, 51(2): 186-192.
- [12] 《东北区域气候变化评估报告》编写委员会. 东北区域气候变化评估报告[M]. 北京: 气象出版社, 2013
《Assessment Report on Climate Change in Northeast China》Editorial Committee. *Assessment Report on Climate Change in Northeast China*[M]. Beijing: Meteorology Press, 2013
- [13] 吴佳, 周波涛, 徐影. 中国平均降水和极端降水对气候变暖的响应: CMIP5 模式模拟评估和预估[J]. *地球物理学报*, 2015, 58(9): 3048-3060.
Wu Jia, Zhou Botao, Xu Ying. Response of precipitation and its extremes over china to warming: CMIP5 simulation and projection[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2015, 58(9): 3048-3060.
- [14] 高西宁, 王耸, 郝志新, 等. 东北地区近 50 年降水量变化特征的分区[J]. *沈阳农业大学学报*, 2015, 46(3): 270-276.
Gao Xining, Wang Song, Hao Zhixin, et al. Regionalization of precipitation changes in northeast region in past 50 years[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2015, 46(3): 270-276.
- [15] 任国玉, 任王玉, 战云健, 等. 中国大陆降水时空变异规律—II. 现代变化趋势[J]. *水科学进展*, 2015, 26(4): 451-465.
Ren Guoyu, Ren Yuyu, Zhan Yunjian, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: II: Recent trends[J]. *Advances in Water Science*, 2015, 26(4): 451-465.
- [16] 孙凤华, 杨素英, 陈鹏狮. 东北地区近 44 年的气候暖干化趋势分析及可能影响[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(7): 751-755.
Sun Fenghua, Yang Suying, Chen Pengshi. Climatic warming drying trend in Northeastern China during the last 44 years and its effects[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(7): 751-755.
- [17] 韩晓敏, 延军平. 气候暖干化背景下东北地区旱涝时空演变特征[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(4): 314-318.
Han Xiaomin, Yan Junping. Spatiotemporal evolution of drought and flood under drying-warming climate in Northeast China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(4): 314-318.
- [18] 孙凤华. 东北气候变化与极端气候事件[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
Sun Fenghua. *Climate change and climate extreme events in Northeast China*[M]. Beijing: Meteorology Press, 2008.
- [19] 杨贵羽, 韩冬梅, 陈一鸣. 1950—2010 年东北地区旱涝演变特征分析[J]. *中国水利*, 2014, 243(5): 45-48.
Yang Guiyu, Han Dongmei, Chen Yiming. Studies on drought and flood transformation in Northeast China from 1950 to 2010[J]. *China Water*, 2014, 243(5): 45-48.
- [20] 王富强, 许士国. 东北区旱涝灾害特征分析及趋势预测[J]. *大连理工大学学报*, 2007, 47(5): 735-739.
Wang Fuqiang, Xu Shiguo. Characteristics analysis and trend forecast of drought and flood in Northeast China[J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2007, 47(5): 735-739.
- [21] 叶敏, 钱忠华, 吴永萍. 中国旱涝时空分布特征分析[J]. *物理学报*, 2013, 62(13): 139203.
Ye Min, Qian Zhonghua, Wu Yongping. Spatiotemporal evolution of the droughts and floods over China[J]. *Acta Physica Sinica*, 2013, 62(13): 139203.
- [22] 水利部松辽水利委员会. 东北区水旱灾害[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2003.
Song-Liao Water Boards from Ministry of Water Resources. *Floods and droughts in Northeast China*[M]. Changchun: People Press in Jilin, 2003.
- [23] 韩冬梅, 杨贵羽, 严登华, 等. 近 50 年东北地区旱涝时空特征分析[J]. *水电能源科学*, 2014, 32(6): 5-8.
Han Dongmei, Yang Guiyu, Yan Denghua, et al. Spatial-temporal feature analysis of drought and flood in Northeast China in recent 50 years[J]. *Water Resources and Power*, 2014, 32(6): 5-8.
- [24] 袭祝香, 马树庆, 纪玲玲. 东北地区水稻延迟型冷害时空特征及其与气候变暖的关系[J]. *地理研究*, 2014, 33(7): 1373-1382.
Xi Zhuxiang, Ma Shuqing, Ji Lingling. Spatial-temporal characteristics of prolong-type rice chilling damage and its relationship with climate change in Northeast China[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(7): 1373-1382.
- [25] 郝天依, 王式功, 尚可政, 等. 中国东北地区低温冷害研究进展与展望[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(34): 19626-19629.
Hao Tianyi, Wang Shigong, Shang Kezheng, et al. Research progress and prospects of chilling damage in Northeast China [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2010, 38(34): 19626-19629.
- [26] 赵俊芳, 杨晓光, 刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6544-6551.
Zhao Junfang, Yang Xiaoguang, Liu Zhijuan. Influence of climate warming on serious low temperature and cold damage and cultivation pattern of spring maize in Northeast China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6544-6551.
- [27] 陶纯苇, 姜超, 孙建新. CMIP5 多模式集合对东北三省未来气候变化的预估研究[J]. *地球物理学报*, 2016, 59(10): 3580-3591.
Tao Chunwei, Jiang Chao, Sun Jianxin. Projection of future changes in climate in Northeast China using a CMIP5 multi-model ensemble[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2016, 59

- (10): 3580–3591.
- [28] 云雅如, 方修琦, 王丽岩, 等. 我国作物种植界线对气候变暖的适应性响应[J]. 作物杂志, 2007, 133(3): 20–23.
Yun Yaru, Fang Xiuqi, Wang Liyan, et al. Adaptive response of crops boundary to climate warming in China[J]. Crops, 2007, 133(3): 20–23.
- [29] 赵秀兰. 近50年中国东北地区气候变化对农业的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 144–149
Zhao Xiulan. Influence of climate change on agriculture in Northeast China in recent 50 years[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9): 144–149.
- [30] 李奇峰, 张海林, 陈阜. 东北农作区粮食作物种植格局变化的特征分析[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(3): 74–79
Li Qifeng, Zhang Hailin, Chen Fu. Changes in spatial distribution and planting structure of major crops in Northeast China[J]. Journal of China Agricultural University, 2008, 13(3): 74–79.
- [31] 李大林. 气候变化对黑龙江水稻生产可能带来的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010, 395(2): 16–19.
Li Dalin. The possible effect of climate change on rice production in Heilongjiang Province[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010, 395(2): 16–19.
- [32] 卢洪健, 莫兴国, 孟德娟, 等. 气候变化背景下东北地区气象干旱的时空演变特征[J]. 地理科学, 2015, 35(8): 1051–1059.
Lu Hongjian, Mo Xingguo, Meng Dejuan, et al. Analyzing spatiotemporal patterns of meteorological drought and its responses to climate change across Northeast China[J]. Geographical Sciences, 2015, 35(8): 1051–1059.
- [33] 魏凤英, 张婷. 东北地区干旱强度频率分布特征及其环流背景[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(3): 1–7.
Wei Fengying, Zhang Ting. Frequency distribution of drought intensity in Northeast China and relevant circulation background[J]. 2009, 18(3): 1–7.
- [34] 王春乙. 重大农业气象灾害研究进展[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
Wang Chunyi. Advances on research of major agro meteorological disasters[M]. Beijing: Meteorology Press, 2007.
- [35] 王春乙. 东北地区农作物低温冷害研究[M]. 北京: 气象出版社, 2008
Wang Chunyi. Research on low temperature and cold damage of crops in Northeast China[M]. Beijing: Meteorology Press, 2008.
- [36] 冯喜媛, 郭春明, 陈长胜, 等. 基于气象模型分析东北三省近50年水稻孕穗期障碍型低温冷害时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4): 462–467.
Feng Xiyuan, Guo Chunming, Chen Changsheng, et al. Spatial-temporal variation of sterile-type chilling damages at rice booting stage in Northeast China in last 50 years based on meteorological model[J]. Chinese Journal of Agro-meteorology, 2013, 34(4): 462–467.
- [37] 张卫建, 陈金, 徐志宇, 等. 东北稻作系统对气候变暖的实际响应与适应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(7): 1265–1273.
Zhang Weijian, Chen Jin, Xu Zhiyu, etc. Actual responses and adaptations of rice cropping system to global warming in Northeast China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(7): 1265–1273.
- [38] 高晓容, 王春乙, 张继权. 气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(7): 2110–2118.
Gao Xiaorong, Wang Chunyi, Zhang Jiquan. The Impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2110–2118.
- [39] 霍治国, 李茂松, 王丽, 等. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1926–1934.
Huo Zhiguo, Li Maosong, Wang Li, et al. Impacts of climate warming on crop diseases and pests in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(10): 1926–1934.
- [40] 李伟君, 王春乙, 赵蓓, 等. 气候变化对中国农业气象灾害与病虫害的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊1): 263–271.
Li Yijun, Wang Chunyi, Zhao pei, et al. Effects of climate change on agricultural meteorological disaster and crop insects diseases[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Supp1): 263–271.
- [41] 顾娟. 浅谈气候变化对我国农业气象灾害及病虫害的影响[J]. 农业科技与信息, 2016(28): 65–66.
Gu Juan. Discussion on effects of climate change on agricultural meteorological disaster and crop insects diseases[J]. Technology and Information of Agriculture, 2016(28): 65–66.
- [42] 王丽, 霍治国, 张蕾, 等. 气候变化对中国农作物病害发生的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(7): 1673–1684.
Wang Li, Huo Zhiguo, Zhang Lei, et al. Effects of climate change on the occurrence of crop diseases in China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(7): 1673–1684.
- [43] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [44] Zwiers F W, Hegerl G C. Climate change: Attributing cause and effect[J]. Nature, 2008, 453(7193): 296–297.
- [45] 丁一汇, 王会军. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. 科学通报, 2016, 61(10): 1029–1041.
Ding Yihui, Wang Huijun. Newly Acquired Knowledge on the Scientific Issues Related to Climate Change over the Recent 100 Years in China[J]. Chinese Sciences Bulletin, 2016, 61(10): 1029–1041.
- [46] 吴绍洪, 罗勇, 王浩, 等. 中国气候变化影响与适应: 态势和

展望[J]. 科学通报, 2016, 61(10): 1042-1054.
Wu Shaohong, Luo Yong, Wang Hao, et al. Climate change
impacts and adaptation in China: Current situation and fu-

ture prospect[J]. Chinese Sciences Bulletin, 2016, 61(10):
1042-1054.

The framework of agricultural technology system adaptive to climate change in Northeast China

LI Kuo, XU Yinlong

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

Abstract The impacts of climate change are becoming more and more remarkable. So adaptation to climate change has gradually turned into a global hotpot. Northeast China is an important base of grain production, the impact of climate change on which will directly cause fluctuations of the grain production in China. From the perspective of adaptation to climate change, the key challenges to agriculture due to climate change are analyzed. According to the analysis, four key problems are discussed, which are the increasing heat resources, the rising frequency and intensity of drought and flood disasters, the declining extreme events of low temperature and chilling, and significantly increasing plant diseases and insect pests damage. In view of the above influencing key issues, the adaptation technologies are classified into six categories, namely capital construction of farmland, selection and breeding of anti adversity varieties, tillage and cultivation of crops to cope with disasters, adjustment of planting structure, pest control, and agricultural insurance. In this paper, the key technologies of adaptation to climate change in Northeast China are identified and optimized. They and assorted technologies are assembled and integrated to form a framework of technology system adaptive to climate change. This paper may provide some theoretical guidance and technical support to the adaptation work in different regions and sectors of China to speed up the activities of adaptation to climate change.

Keywords adaptation climate change; technology system framework; Northeast China; agriculture ●



(责任编辑 卫夏雯)