

周广胜,何奇瑾,宋兴阳,等,2024.气候行动最前线的高标准农田生产气象保障[J].气象,50(3):265-274. Zhou G S, He Q J, Song X Y, et al, 2024. Meteorological services support for high-standard farmland production at the frontline of climate action [J]. Meteor Mon, 50(3):265-274 (in Chinese).

气候行动最前线的高标准农田生产气象保障^{*}

周广胜^{1,2} 何奇瑾³ 宋兴阳^{1,2} 吕晓敏^{1,2} 周 莉^{1,2}

1 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081

2 河北固城农业气象国家野外科学观测研究站,保定 072656

3 中国农业大学资源与环境学院,北京 100193

提 要:以变暖为主要特征的全球气候变化已经严重威胁到全球粮食安全,高标准农田建设作为农业适应气候变化的重要措施已经在中国推广实施。为助力气候变暖影响下的高标准农田生产,文章梳理了国际土地整理与我国高标准农田建设历程,并从高标准农田适宜性评价、土地要素配置的粮食效应、高标准农田监督管理和高标准农田建设效益评价四个方面综述了高标准农田的最新研究进展,指出目前缺乏高标准农田生产气象保障相关研究。在此基础上,针对高标准农田旱涝保收、抗灾能力强和生态良好“三位一体”的要求,提出气象助力高标准农田生产应加强三个方面研究:农田生态系统-气候-水资源相互作用与农田节水灌溉;主要粮食作物气象灾害精准监测模拟与快速解析归因;农田生态气象风险敏感因子检测及其气象监测评价,以实现气象为农服务提质增效,助力高标准农田高产增效。

关键词:高标准农田,气候,节水灌溉,作物气象灾害,生态气象风险

中图分类号: P467, P49

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2024.030402

Meteorological Services Support for High-Standard Farmland Production at the Frontline of Climate Action

ZHOU Guangsheng^{1,2} HE Qijin³ SONG Xingyang^{1,2} LYU Xiaomin^{1,2} ZHOU Li^{1,2}

1 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Hebei Gucheng Agricultural Meteorology National Observation and Research Station, Baoding 072656

3 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193

Abstract: Warming-characterized global climate change has seriously threatened the global food security. High-standard farmland construction, as an important measure for agriculture to adapt to climate change, has been popularized and implemented in China. In order to support the high-standard farmland production under the influence of climate warming, this study investigates the history of the international land consolidation and the high-standard farmland construction in China, reviews the latest research progress in four key areas, including the suitability assessment of high-standard farmland, the grain crop production effect of land element configuration, the supervision and management of high-standard farmland, and the benefit evaluation of high-standard farmland construction, pointing out the current shortage of research related to meteorological support for high-standard farmland production. Focusing on the requirements of ensuring grain harvest in high-standard farmland under both drought and waterlogging conditions, possessing

^{*} 国家自然科学基金重点项目(42130514)和中国气象局农业气象重点创新团队(CMA2024ZD02)共同资助

2024 年 2 月 26 日收稿; 2024 年 3 月 7 日收修定稿

第一作者:周广胜,主要从事气候变化影响与减灾研究. E-mail: zhougs@cma.gov.cn

strong disaster resilience, and maintaining a good eco-environment, the following main tasks are proposed for high-standard farmland production with meteorological support: the interaction of farmland ecosystem-climate-water resources and the water-saving irrigation in farmland; precise monitoring and simulation of meteorological disasters, and rapid attribution analysis of major grain crops; detection of eco-meteorological risk sensitive factors in farmland and their meteorological monitoring and evaluation. These tasks would promote the quality and efficiency of meteorological services for agriculture, and support the high-yield and efficiency of high-standard farmland.

Key words: high-standard farmland, climate, water-saving irrigation, crop meteorological disaster, eco-meteorological risk

引 言

2024 年世界气象日的主题是“气候行动最前线”。农业是对气候变化最敏感的行业之一。粮食安全是国家经济发展和社会稳定的重要基石。在气候变化最前线,农业生产和粮食安全面临的风险与挑战加剧。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告(AR6)指出,未来全球升温预计将达到或超过 1.5°C ,极端天气事件频发(IPCC,2021),在不考虑适应气候变化措施的情况下,21 世纪气候变化对农业生产仍以负面影响为主(段居琦等,2022;周伯铨和翟盘茂,2023)。为确保粮食安全,我国政府实施了一系列“藏粮于地、藏粮于技”措施,使得粮食综合生产能力稳步提升。2022 年,我国粮食产量达 6.86 亿 t,人均粮食占有量达 483 kg,粮食生产实现“十九连丰”。但是,气候变暖及极端天气气候事件频发、耕地地形条件不优、水资源与耕地资源空间分布不匹配、耕地后备资源分布零散等因素,严重制约着我国粮食的生产能力。

高标准农田建设是农业适应气候变化的重要措施和“藏粮于地、藏粮于技”战略的主要抓手。所谓高标准农田,是指土地平整、集中连片、设施完善、农电配套、土壤肥沃、生态良好、抗灾能力强,与现代农业生产和经营方式相适应的旱涝保收、高产稳产,划定为永久基本农田的耕地(中华人民共和国农业农村部,2022)。高标准农田可提升农田防旱抗涝能力、水土资源利用率和耕地产出率(胡新艳和戴明宏,2022),是提高粮食生产能力的重要举措。本研究将梳理高标准农田建设历程,综述高标准农田的最新研究进展,探讨高标准农田生产的气象保障。

1 高标准农田建设历程

耕地是农业生产的根基,耕地保护与利用效率提升一直受到各国重视。1886 年,德国巴伐利亚州的法律中首次出现“土地整理”概念(Abubakari et al,2016),随后苏联、法国、荷兰、韩国等也开始土地整理工作(王军等,2012)。1924 年,为了促进农业发展并改善农业用地利用效率,荷兰颁布了第一个土地管理法律:《土地整理法》;并于 1938 年、1954 年陆续颁布了第二个、第三个《土地整理法》,以简化手续、在土地整理中加入景观规划等;1947 年还颁布了《瓦赫伦岛土地整理法》,旨在将土地整理由简单的农用地调整过渡到复杂的土地发展计划。1938 年,英国推出“绿带政策”,提出在城市化发展的同时需要有效保护耕地资源(Stoate et al,2009)。针对废弃农业用地及耕地转换问题,日本自 1949 年起连续颁布了农地改革法、农地法和农地租赁管理法案等(Hashiguchi,2014)。20 世纪 60 年代以来,全球人均耕地数量从 0.41 hm^2 减少到 0.21 hm^2 (Liu et al,2017),耕地资源保护的重要性日益突出。为弄清土地整理效果,各国开始了土地整理效益评价,如荷兰(Bosma,1985)、西班牙(Crecente et al,2002),并开始研究土地整理与经济社会间的关系(Pašakarnis and Maliene,2010;Renwick et al,2013)。

我国人均耕地面积远低于全球平均水平,仅为 0.08 hm^2 (Du et al,2018)。特别是,1978 年以来的改革开放使得我国社会经济快速发展,土地利用也同时发生了巨大变化,耕地面积显著减少,而且耕地逐渐北移、地力不断下降,导致耕地生产力受到较大影响。为此,我国政府开始制定并颁布各种保护耕

地的政策(Song and Liu, 2017)。1997年国务院提出要大力推进土地整治工作,同年,发布了《关于进一步加强土地管理切实保护耕地的通知》。2003年发布《全国土地开发整理规划(2001—2010)》。2005年中央一号文件强调要增加农业综合开发投入来加强高标准基本农田建设,2010年党的十七届五中全会明确提出“大规模建设旱涝保收高标准农田”,2011年印发的《高标准基本农田建设规范(试行)》标志着高标准农田建设进入综合整治阶段。

尽管国际上很早就开始了土地整理及相关研究,但是没有高标准农田这一概念,建设借鉴方法和理论较少(毛梦祺等, 2015)。早期的全国高标准农田建设工作,由相关部委根据各自职责分别牵头开展。2011年国土资源部(现自然资源部)发布了《高标准基本农田建设标准》,2012年农业部(现农业农村部)发布了《高标准农田建设标准》,明确建设选址、土地平整、灌排、田间道路及农田防护等工程建设标准。2013年,国务院批准《国家农业综合开发高标准农田建设规划(2011—2020年)》。2014年,国家标准化管理委员会发布了《高标准农田建设 通则》(GB/T 30600—2014)(全国国土资源标准化技术委员会, 2014),并于2022年进行了修订(GB/T 30600—2022)(中华人民共和国农业农村部, 2022),首次明确了高标准农田建设的国家级标准。2016年,国土资源部、农业部联合发布《高标准农田建设评价规范》,规范了高标准农田建设评价的目标任务、内容、评价原则。2018年开始,全国高标准农田建设工作实行集中统一管理体制,由农业农村部全面指导。2021年,为解决早期分散管理导致的建设标准不统一问题,国务院印发《全国高标准农田建设规划(2021—2030年)》,指出到2030年建成12亿亩(1亩 \approx 666.7 m²)并改造提升2.8亿亩高标准农田。2022年中央一号文件指出,加强高标准农田建设;同年,党的二十大报告中提出,要牢牢守住18亿亩耕地红线,逐步把15.46亿亩永久基本农田全部建成高标准农田。2023年中央农村工作会议强调“强化耕地数量、质量、生态‘三位一体’保护”。

高标准农田建设的标准、通则、规划与评价规范的制定实施,标志着我国高标准农田建设进入成熟阶段。至2022年底,全国已累计建成10亿亩高标准农田(张凤平等, 2024)。

2 高标准农田研究进展

目前,高标准农田研究主要集中在高标准农田适宜性评价、土地要素配置的粮食效应、高标准农田监督管理和高标准农田效益评价四个方面。需要指出的是,现有研究大多局限于单个高标准农田建设区或县域尺度,针对粮食主产区甚至全国层面的长时间序列研究仍较少。

2.1 高标准农田适宜性评价

适宜性评价是高标准农田的关键。当前,高标准农田适宜性评价重点关注建设区域划定、布局优化调整、模式划分与时空配置等。高标准农田适宜性评价方法,包括理想点逼近法、集对分析法、四象限法、局部空间自相关、模糊优选模型、限制因素组合法等(王晓青等, 2019)。理想点逼近法、四象限法和集对分析法能够实现建设区域最优耕地的筛选及建设分区的合理安排;局部空间自相关法能够保证对高标准农田连片性和集中性的建设选址要求;限制因素组合法和模糊优选模型能够实现不同建设区域类型划分高标准农田的建设类型。

高标准农田被视为推动农业绿色低碳高质量发展的重要举措。耕地空间稳定性、水资源利用效益与固碳功能也成为高标准农田的适宜性评价内容。赵素霞等(2018)评价了高标准农田的耕地空间稳定性。刘曜和胡筱琼(2022)研究了高标准农田项目设计中的高效节水灌溉技术。宋兰华(2023)基于我国高标准农田水利工程面临的农田水利建设整体较为滞后、农田灌溉设施运行老化、节水灌溉水平有待提升、农田水利工程规划设计滞后和工程项目建设质量等问题,探讨了高标准农田水利工程优化路径。曾琳琳等(2022)基于长江中下游3个粮食主产省(湖北、湖南和江苏)2007—2017年的面板数据开展高标准农田对化肥减量的影响研究表明,高标准农田化肥施用总量减少5.1%,且在平原和丘陵县、中部县域以及中高化肥施用强度地区的化肥减量更显著。熊飞雪等(2023)基于相同研究时段的30个省份面板数据的研究表明,高标准农田显著抑制了农业碳排放;在其他条件不变时,高标准农田可减少10.1%的农业碳排放量。

2.2 土地要素配置的粮食效应

土地要素配置将严重影响粮食生产。相关研究主要集中在:(1)土地治理的粮食效应。研究表明,土地整治有助于稳定粮食产出,但不同区域的贡献不同,主产区的土地整治效果显著、主销区和平衡区次之(谢向向等,2018)。所有土地治理中,粮食增产效果在高标准农田最显著,其他土地整治工程较弱(赵和楠和侯石安,2021)。(2)耕地保护的粮食效应。研究表明,粮食生产能力和产量只有在保障耕地资源安全时才能不断提高(吴正红和燕新程,2007;于法稳等,2022)。以耕地保护与空间布局优化为核心的耕地占补平衡制度,在约束和遏制非农建设占地等方面有着积极作用(陈印军等,2016)。(3)土地利用的粮食效应。土地利用结构调整可以解决耕地保护、粮食安全保障和农民收入增加之间的矛盾(周小萍等,2008),优化农用地布局可提高粮食生产能力(Pretty et al,2018)。(4)高标准农田增产的机制。高标准农田增产的机制包括:增强农田防灾抗灾减灾能力,聚集现代生产要素(基建效应)(王越等,2023);种植结构“趋粮化”(宋羽等,2023);促进土地流转,降低耕地碎片化程度,提高机械化水平和农业生产专业化水平(资源配置效应)(卓乐,2021;陈江华和洪炜杰,2022);改善耕地质量整体偏低、污染严重和“占优补劣”现象(土地整治效应)(徐明岗等,2016)。但是,也有研究表明,高标准农田建设过程中可能会影响耕地原有生态系统,改变土地自然布局,不利于粮食生产(张宗毅,2020)。陈莉莉和彭继权(2024)基于2005—2020年31个省份面板数据的分析表明,高标准农田能够显著提升粮食生产能力,对粮食单产有正向影响,且增产效应在粮食主产区更为明显,而在经济水平较高的东部地区却较弱。与玉米相比,水稻和小麦的高标准农田生产能力提升效益更加显著。

2.3 高标准农田监督管理

高标准农田监督管理对保障高标准农田的实效、维护农田建设设施、促进农业可持续发展具有重要意义。目前,监督管理相关研究大多围绕现存问题与建后管护对策展开。包括:从农田保护的土地督察(余述琼,2018)、社会监督(张君宇等,2007)、政府责任落实(张博,2010)、生态安全与粮食安全(王珂等,2021)等方面,探讨质量数量并重、接受监督和

责任追究等监管机制;从设立专项基金、基于地理空间的监测评价(李少帅等,2020;岳永胜等,2023),设立“地长制”“田长制”以及“问责制”等角度,探讨耕地监督机制和方式。国外研究虽未涉及高标准农田概念,但均制定了保护和严格管理优质农田的相关政策(Greenberg et al,2001;Henderson and Gloy,2009;Wackernagel and Yount,2000),并从新科技应用和信息化监管(Pérez-Aróstegui et al,2015;Eitzinger et al,2019)、公众参与监督管理(Idziak et al,2015;Fors et al,2019)、管理制度与政策法规(方琳娜等,2020;赖红兵和鲁杏,2019)等方面探讨了农田建设的监督管理。师诺等(2022)通过文献研究和实地调研指出,当前我国高标准农田的全过程、多层级监管体系不健全,监督管理公众参与不足,建后管护不到位;采取第三方评估、矿山环境恢复治理保证金、退耕还林奖励补助、农田水利社会力量参与管护等机制,对于完善高标准农田的监督体系、质量保障制度及多主体协同开展监督等均具有积极意义。

2.4 高标准农田效益评价

高标准农田效益评价旨在弄清建设后是否达到建设前的预期效益,并评价当前取得的效益。为此,需要构建效益评价指标体系,通常包括目标层、准则层和指标层。目标层体现了高标准农田的综合效益,具体通过准则层所包含的经济、社会、生态效益来体现(薛剑等,2014);准则层通过指标层来描述;指标层包括经济效益、社会效益和生态效益三个方面指标。其中,经济效益指标包括亩均纯收入、新增粮食产量、新增土地租金、总产值增加率、投入产出比等(黄辉玲等,2012);社会效益指标包括田间道路通达度、农业机械化率、新增机耕面积、农业产业培育和扶植情况、受益人口数量以及公众满意度等(吴冠岑等,2008);生态效益指标包括土地利用效率、耕地质量(周引弟等,2023)、防灾御灾能力和生态环境(吴小庆等,2012)、节能减排和耕地空间形态(黄辉玲等,2012),以及景观效益(张庶等,2014)。效益评价相关方法主要有层次分析法、熵权法、多因素综合评价法、模糊综合评价法、物元分析法等(Gong et al,2012;王晓青等,2019)。为避免单一评价方法在因子选取和权重确定方面的局限性,通常采用多种方法组合进行评价(高向军和马仁会,2002)。例如,黄辉玲等(2012)将层次分析法、熵权法、德尔菲法等

方法组合,进行高标准农田效益评价。

3 气象助力高标准农田生产

气候变暖背景下,极端天气气候事件频发引起的农业气象灾害已经严重影响了全球农业生产与粮食安全(周广胜等,2016)。IPCC AR6 已经指出,未来全球升温预计将达到或超过 1.5°C ,极端天气事件频发(IPCC,2021)。Lesk et al(2016)研究发现,1964—2007 年灾害性极端天气导致全球主要粮食作物(以下简称主粮作物)大面积减产,相应灾损呈增加趋势,其中干旱和极端高温造成各国谷物减产 $9\%\sim 10\%$ 。尽管自 2010 年我国明确提出大规模建设旱涝保收高标准农田至今,学界已经开展了大量的高标准农田研究,但是这些研究主要集中在高标准农田适宜性评价、土地要素配置的粮食效应、高标准农田监督管理和高标准农田效益评价方面,关于高标准农田生产气象保障的相关研究还比较缺乏。

我国地处地球环境变化速率最大的季风气候区,幅员辽阔,具有从寒温带到热带、湿润到干旱的不同气候带区。全球气候变暖及其引起的极端天气气候变化,导致不同区域不同作物生产过程中不仅面临水分变化引起的干旱与洪涝灾害风险(熊伟等,2006;张强等,2015),而且面临热量变化引起的各类气象灾害风险。三大主粮作物中,玉米面临的主要气象灾害有干旱、冷害、阴雨寡照等(杨若子和周广胜,2015),小麦主要面临的有干旱、渍害、霜冻害、冻害等,而水稻则面临冷害、热害、洪涝等的风险。据统计,我国每年因气象灾害造成的损失约占整个自然灾害损失的 70% ,直接经济损失占国民生产总值的 $3\%\sim 6\%$ (翟盘茂等,2009;矫梅燕,2017),是世界上受气象灾害影响最为严重的国家之一(刘杰等,2010;周广胜,2015)。尽管高标准农田建设能对农田防旱抗涝能力起到至关重要的作用(胡新艳和戴明宏,2022),但是如何精准组织农业生产的防旱抗涝并提高水资源利用效率,仍需要准确的旱涝监测预报为支撑。特别是,除旱涝灾害外,高标准农田生产还面临由热量变化引起的各类气象灾害以及复合气象灾害,如热害、冷害、冻害、霜冻害、渍害、阴雨寡照等。因此,开展高标准农田生产气象保障服务对确保高标准农田稳产高产有着突出意义。

为助力高标准农田稳产高产,气象部门拟围绕《全国高标准农田建设规划(2021—2030 年)》,以高

标准农田生产气象风险监测预警为抓手,以高标准农田生产的“旱涝保收”“抗灾能力强”“生态良好”要求为切入点,依托国家野外科学观测研究站和中国气象局野外科学试验基地,针对主粮作物(水稻、玉米、小麦)的主要气象灾害(干旱、低温冻害、高温热害和洪涝等)以及主要农田生态问题(黑土地退化等),开展农田节水灌溉、作物气象灾变监测预警和农田生态气象保护研究,研发高标准农田气象风险监测预警技术,实现气象为农服务提质增效,为实施耕地数量、质量、生态“三位一体”保护的战略提供气象科技支撑。为实现气象助力高标准农田稳产高产以及生态高效,未来高标准农田生产气象保障拟重点关注以下任务。

(1)农田生态系统-气候-水资源相互作用与农田节水灌溉的气象支撑

针对目前我国粮食主产区(特别是玉米和冬小麦主产区)作物水资源高效利用机制不清问题,开展玉米和小麦水资源高效利用过程及机制、作物水资源高效利用指标对产量的影响方式和定量贡献、作物旱灾损失动态定量评估技术、基于多源多尺度数据的作物水资源高效利用评估方法研究,构建耦合干旱监测指数和数值模式的农田灌溉指数,创建气象与遥感信息驱动的农田灌溉需水监测预报方法,为高标准农田高效节水灌溉提供技术支撑。

(2)主粮作物气象灾变精准监测模拟与快速解析归因

围绕作物气象灾害监测评估服务中存在的精度低、时效差等问题,针对主粮作物的主要气象灾害(玉米:干旱、冷害、阴雨寡照,小麦:干旱、渍害、霜冻害、冻害,水稻:冷害、热害、洪涝),集成天-空-地等多源数据,研究主粮作物重大气象灾害灾变机制与基于多源多尺度数据的灾变识别方法,建立耦合机器学习与作物生长模型的作物气象灾变数字化模拟模型,创建作物气象灾变快速解析归因技术,定量评估不同气候情景、不同管理措施对作物生产的影响与规避减灾能力,设计综合考虑作物产量品质与资源效益协同提升的作物管理智能决策处方,突破目前农业气象灾害静态监测、灾后评估的技术瓶颈。

(3)农田生态气象风险敏感因子检测及其气象监测评价

针对主粮作物(水稻、玉米、小麦)主要农田生态问题,特别是东北黑土地退化,基于植被-大气之间的水碳通量观测、气象要素(风、温度、湿度、太阳辐

射等)、生物要素(生理生态、叶面积指数、生物量等)和土壤理化特性观测,研发耦合土壤-植被-大气多圈层相互作用模型,辨识驱动黑土地退化的生态气象因子作用路径,检测黑土地退化的生态气象影响因子;厘清生态气象因子对黑土地退化的影响程度;阐释黑土地退化的生态气象调控机制,发展黑土地退化的气象-遥感评估模型,提出高标准农田“三位一体”保护的气象保障对策建议。

4 结论与展望

4.1 结论

党的二十大报告明确提出,要牢牢守住18亿亩耕地红线,逐步把永久基本农田全部建成高标准农田。面对新形势、新要求,本研究梳理了国外土地整理与我国高标准农田建设历程,并从高标准农田适宜性评价、土地要素配置的粮食效应、高标准农田的监督管理和高标准农田效益评价四个方面综述了高标准农田研究的最新进展。主要结论如下:

(1)高标准农田适宜性评价目前仍侧重于耕地自然禀赋,不同评价方法的侧重点不同,仍缺乏高标准农田的区域最优耕地筛选及分区安排、区域划定、类型划分的综合评价方法。

(2)高标准农田的生产能力受土地整治、耕地保护、土地利用以及高标准农田建设要素的综合影响。早期研究更多关注高标准农田对粮食总产量或某一主粮作物生产的影响,难以体现区域异质性效应及其影响机制。基于长时间序列的研究更能体现高标准农田对粮食生产能力的影响及作用机制。

(3)高标准农田的监督管理是确保高标准农田可持续发展的关键。目前,高标准农田监督管理研究大多围绕现存问题与建后管护对策展开,未来需要考虑高标准农田全国推广实施的新形势和新要求下可能出现的新问题,特别是需要考虑全球气候变暖背景下绿色发展战略和我国实现碳达峰碳中和的需求。

(4)高标准农田效益评价已经由早期关注的经济效益发展到综合考虑经济、社会、生态效益逐渐并重,评价方法也由单一评价方法发展到多种方法组合,指标因子选取的全面性和权重确定的合理性得以改进。

4.2 展望

高标准农田是在总结国外土地整理经验并结合我国耕地特色提出的新概念,是我国农业适应气候变化的重要措施和“藏粮于地、藏粮于技”战略的主要抓手。目前,学界围绕高标准农田的适宜性评价、土地要素配置的粮食效应、监督管理和效益评价已经开展了大量研究,但是关于高标准农田生产气象保障的相关研究还比较缺乏。

气候变暖已经极大地改变了我国农业气候资源和农业气象灾害的时空分布(矫梅燕,2014;2017;周广胜和何奇瑾,2020),主要粮食作物气象灾害及其灾损的时空格局也已发生显著变化,农业气象灾害并没有减少,只是发生时间、频率、强度及空间分布均发生剧烈变化。面对出现的新情况、新问题,不仅需要完善农业种植制度,调整作物结构,优化品质布局,更需要强化高标准农田生产的气象防灾抗灾减灾,取其利避其害,以切实保障我国粮食安全和农业可持续发展。

为助力气候变暖影响下的高标准农田提质增效生态,应以高标准农田生产气象风险监测预警为抓手,研发高标准农田气象风险监测预警技术,做好高标准农田生产气象服务保障。为此,未来需要针对主粮作物(水稻、玉米、小麦)的主要气象灾害(干旱、低温冻害、高温热害和洪涝等)以及主要农田生态问题(黑土地退化等),重点开展三个方面的研究:(1)农田生态系统-气候-水资源相互作用与农田节水灌溉,(2)主粮作物气象灾变精准监测模拟与快速解析归因,(3)农田生态气象风险敏感因子检测及其气象监测评价。

参考文献

- 陈江华,洪炜杰,2022. 高标准农田建设促进了农地流转吗?[J]. 中南财经政法大学学报,(4):108-117. Chen J H, Hong W J, 2022. Does the construction of high standard farmland promote the transfer of farmland?[J]. J Zhongnan Univ Econ Law,(4): 108-117(in Chinese).
- 陈莉莉,彭继权,2024. 中国高标准农田建设政策对粮食生产能力的影响及其机制[J]. 资源科学,46(1):145-159. Chen L L, Peng J Q, 2024. Influence of high-standard farmland construction policy on grain production capacity and mechanism[J]. Resour Sci, 46 (1):145-159(in Chinese).
- 陈印军,易小燕,陈金强,等,2016. 藏粮于地战略与路径选择[J]. 中国农业资源与区划,37(12):8-14. Chen Y J, Yi X Y, Chen J Q, et al, 2016. Strategic and path selection of "Storing Grain in

- Arabile Land"[J]. Chin J Agric Resour Reg Plan, 37(12): 8-14 (in Chinese).
- 段居琦, 袁佳双, 徐新武, 等, 2022. 对 IPCC AR6 报告中有关农业系统结论的解读[J]. 气候变化研究进展, 18(4): 422-432. Duan J Q, Yuan J S, Xu X W, et al, 2022. Interpretation of the IPCC AR6 report on agricultural systems[J]. Climate Change Res, 18(4): 422-432 (in Chinese).
- 方琳娜, 李建民, 陈子雄, 等, 2020. 日韩农田建设做法及对我国高标准农田建设启示[J]. 中国农业资源与区划, 41(6): 1-6. Fang L N, Li J M, Chen Z X, et al, 2020. Practice of farmland construction in Japan and South Korea and their enlightenment to China's high standard farmland construction[J]. Chin J Agric Resour Reg Plan, 41(6): 1-6 (in Chinese).
- 高向军, 马仁会, 2002. 中国农用地等级评价研究进展[J]. 农业工程学报, 18(1): 165-168. Gao X J, Ma R H, 2002. Research advances of gradation and evaluation of agricultural land in China [J]. Trans CSAE, 18(1): 165-168 (in Chinese).
- 胡新艳, 戴明宏, 2022. 高标准农田建设政策的粮食增产效应[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 21(5): 71-85. Hu X Y, Dai M H, 2022. Effects of high-standard farmland construction policies on food production[J]. J South China Agric Univ (Soc Sci Ed), 21(5): 71-85 (in Chinese).
- 黄辉玲, 吴次芳, 张守忠, 2012. 黑龙江省土地整治规划效益分析与评价[J]. 农业工程学报, 28(6): 240-246. Huang H L, Wu C F, Zhang S Z, 2012. Benefits analysis and evaluation on land consolidation planning in Heilongjiang Province[J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 28(6): 240-246 (in Chinese).
- 矫梅燕, 2014. 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)[M]. 北京: 社会科学文献出版社. Jiao M Y, 2014. Bluebook of Agriculture for Addressing Climate Change: Assessment Report of Climatic Change Impacts on Agriculture in China (No. 1)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press (in Chinese).
- 矫梅燕, 2017. 农业应对气候变化蓝皮书: 中国农业气象灾害及其灾损评估报告(No. 2)[M]. 北京: 社会科学文献出版社. Jiao M Y, 2017. Bluebook of Agriculture for Addressing Climate Change: Assessment Report of Agro-Meteorological Disasters and Yield Losses in China (No. 2)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press (in Chinese).
- 赖红兵, 鲁杏, 2019. 国外农业现代化和农村水利建设经验对我国的启示[J]. 中国农业资源与区划, 40(11): 266-273. Lai H B, Lu X, 2019. The enlightenment of foreign agricultural modernization and rural water conservancy construction experience in foreign countries to China[J]. Chin J Agric Resour Reg Plan, 40(11): 266-273 (in Chinese).
- 李少帅, 鄢文聚, 张燕, 等, 2020. 基于空间分异的高标准农田建设空间特征判别系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 36(6): 253-261. Li S S, Yun W J, Zhang Y, et al, 2020. Design and implementation of spatial differentiation-based system for identifying spatial features of well-facilitated farmland construction [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 36(6): 253-261 (in Chinese).
- 刘杰, 许小峰, 罗慧, 2010. 气象条件影响我国农业经济产出的计量经济分析[J]. 气象, 36(10): 46-51. Liu J, Xu X F, Luo H, 2010. Econometrical analysis of the effects of weather on agriculture economic output over China[J]. Meteor Mon, 36(10): 46-51 (in Chinese).
- 刘曜, 胡筱琼, 2022. 高效节水灌溉在高标准农田工程设计中的应用[J]. 灌溉排水学报, 41(S1): 52-55. Liu Y, Hu X Q, 2022. Application of high-efficiency water-saving irrigation in high-standard farmland engineering design[J]. J Irrig Drain, 41(S1): 52-55 (in Chinese).
- 毛梦祺, 丁忠义, 董丽丽, 等, 2015. 高标准基本农田建设方案实施效益综合评价研究——以灵璧县大庙乡为例[J]. 湖北农业科学, 54(11): 2813-2816. Mao M Q, Ding Z Y, Dong L L, et al, 2015. Research on comprehensive evaluation of high-standard basic farmland construction scheme implementation benefits—take Damiao Township of Lingbi County as an example[J]. Hubei Agric Sci, 54(11): 2813-2816 (in Chinese).
- 全国国土资源标准化技术委员会, 2014. 高标准农田建设 通则: GB/T 30600—2014[S]. 北京: 中国标准出版社. National Technical Committee 93 on Land and Resource of Standardization Administration of China, 2014. Well-facilitated farmland construction—General rules: GB/T 30600—2014[S]. Beijing: Standards Press of China (in Chinese).
- 师诺, 赵华甫, 任涛, 等, 2022. 高标准农田建设全过程监管机制的构建研究[J]. 中国农业大学学报, 27(2): 173-185. Shi N, Zhao H F, Ren T, et al, 2022. Construction research on the whole-process supervision and management mechanism of high-standard farmland[J]. J China Agric Univ, 27(2): 173-185 (in Chinese).
- 宋兰华, 2023. 高标准农田水利工程建设优化研究[J]. 水电水利, 7(2): 88-90. Song L H, 2023. Study on construction optimization of high stand farmland water conservancy projects[J]. Hydro-power and Water Resources, 7(2): 88-90 (in Chinese).
- 宋羽, 刘伟平, 谢臻, 2023. 高标准农田建设政策对种植结构影响的模型评估[J]. 农业工程学报, 39(17): 227-235. Song Y, Liu W P, Xie Z, 2023. Model evaluation of the impact of high-standard farmland construction policy on planting structure [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 39(17): 227-235 (in Chinese).
- 王军, 严慎纯, 白中科, 等, 2012. 土地整理的景观格局与生态效应研究综述[J]. 中国土地科学, 26(9): 87-94. Wang J, Yan S C, Bai Z K, et al, 2012. Review on landscape patterns of land consolidation and the ecological effects[J]. China Land Sci, 26(9): 87-94 (in Chinese).
- 王珂, 李玲, 黎鹏, 2021. 基于生态安全和粮食安全的高标准农田建设研究[J]. 生态与农村环境学报, 37(6): 706-713. Wang K, Li L, Li P, 2021. Study on high-standard Farmland construction based on ecological security and food security[J]. J Ecol Rural Environ, 37(6): 706-713 (in Chinese).
- 王晓青, 史文娇, 邢晓旭, 等, 2019. 高标准农田建设适宜性评价、效益评价及影响因素解析的研究方法综述[J]. 中国农学通报, 35(19): 131-142. Wang X Q, Shi W J, Xing X X, et al, 2019. High-

- standard farmland: a review of methods on construction suitability evaluation, benefit evaluation and influencing factors[J]. Chin Agric Sci Bull, 35(19): 131-142(in Chinese).
- 王越, 朱方林, 钟钰, 2023. “藏粮于地”战略的演进、逻辑与展望[J]. 农业经济与管理, (1): 33-44. Wang Y, Zhu F L, Zhong Y, 2023. The evolution, logic and future orientation of food crop production strategy based on farmland[J]. Agric Econom Manag, (1): 33-44(in Chinese).
- 吴冠岑, 刘友兆, 付光辉, 2008. 基于熵权可拓物元模型的土地整理项目社会效益评价[J]. 中国土地科学, 22(5): 40-45. Wu G C, Liu Y Z, Fu G H, 2008. Social benefit evaluation of land reconsolidation projects based on entropy-weighted extentic matter-element model[J]. China Land Sci, 22(5): 40-45(in Chinese).
- 吴小庆, 王亚平, 何丽梅, 等, 2012. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境, 21(6): 714-719. Wu X Q, Wang Y P, He L M, et al, 2012. Agricultural eco-efficiency evaluation based on AHP and DEA model—a case of Wuxi City [J]. Resour Environ Yangtze Basin, 21(6): 714-719(in Chinese).
- 吴正红, 燕新程, 2007. 经济快速发展时期我国耕地保护的困境与出路[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 46(6): 54-61. Wu Z H, Yan X C, 2007. The dilemma and outlet of Chinese cultivated land protection during the course of fast economy development[J]. J Huazhong Normal Univ (Hum Soc Sci), 46(6): 54-61(in Chinese).
- 谢向向, 汪晗, 张安录, 等, 2018. 土地整治对中国粮食产出稳定性的贡献[J]. 中国土地科学, 32(2): 55-62. Xie X X, Wang H, Zhang A L, et al, 2018. Land consolidation contribution to grain production stability in China[J]. China Land Sci, 32(2): 55-62(in Chinese).
- 熊飞雪, 赵星磊, 郭子毅, 等, 2023. 土地整治对农业碳排放的影响研究——基于高标准农田建设政策的准自然实验[J]. 中国生态农业学报(中英文), 31(12): 2022-2032. Xiong F X, Zhao X L, Guo Z Y, et al, 2023. Research on the effects of rural land consolidation on agricultural carbon emissions: a quasi-natural experiment based on the high-standard farmland construction policy[J]. Chin J Eco-Agric, 31(12): 2022-2032(in Chinese).
- 熊伟, 居辉, 许吟隆, 等, 2006. 两种气候变化情景下中国未来的粮食供给[J]. 气象, 32(11): 36-41. Xiong W, Ju H, Xu Y L, et al, 2006. The food security of China under IPCC SRES A2 and B2 Scenarios [J]. Meteor Mon, 32(11): 36-41(in Chinese).
- 徐明岗, 卢昌艾, 张文菊, 等, 2016. 我国耕地质量状况与提升对策[J]. 中国农业资源与区划, 37(7): 8-14. Xu M G, Lu C A, Zhang W J, et al, 2016. Situation of the quality of arable land in China and improvement strategy[J]. Chin J Agric Resour Reg Plan, 37(7): 8-14(in Chinese).
- 薛剑, 韩娟, 张凤荣, 等, 2014. 高标准基本农田建设评价模型的构建及建设时序的确定[J]. 农业工程学报, 30(5): 193-203. Xue J, Han J, Zhang F R, et al, 2014. Development of evaluation model and determination of its construction sequence for well-facilitated capital farmland[J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 30(5): 193-203(in Chinese).
- 杨若子, 周广胜, 2015. 东北三省玉米主要农业气象灾害综合危险性评估[J]. 气象学报, 73(6): 1141-1153. Yang R Z, Zhou G S, 2015. A comprehensive risk assessment of the main maize agro-meteorological disasters in the three provinces of Northeast China[J]. Acta Meteor Sinica, 73(6): 1141-1153(in Chinese).
- 于法稳, 代明慧, 林珊, 2022. 基于粮食安全底线思维的耕地保护: 现状、困境及对策[J]. 经济纵横, (12): 9-16. Yu F W, Dai M H, Lin S, 2022. Cultivated land protection based on bottom line thinking of food security: current situation, difficulties and countermeasures[J]. Econ Rev J, (12): 9-16(in Chinese).
- 余述琼, 2018. 基于数量质量并重的区域耕地保护督察研究——以玉林市为例[D]. 北京: 中国农业大学. Yu S Q, 2018. Study on the supervision of regional cultivated land protection based on quantity and quality—a case study of Yulin, Guangxi[D]. Beijing: China Agricultural University(in Chinese).
- 岳永胜, 贺永康, 罗志远, 2023. 基于地理国情的高标准农田监测与评价[J]. 测绘通报, (3): 150-154. Yue Y S, He Y K, Luo Z Y, 2023. Monitoring and evaluation of high-standard farmland based on geographical conditions[J]. Bull Surv Map, (3): 150-154(in Chinese).
- 曾琳琳, 李晓云, 张安录, 等, 2022. 高标准农田建设政策对化肥减量的影响[J]. 农业工程学报, 38(20): 229-238. Zeng L L, Li X Y, Zhang A L, et al, 2022. Effect of high-standard farmland construction policy on chemical fertilizer reduction[J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 38(20): 229-238(in Chinese).
- 翟盘茂, 李茂松, 高学杰, 等, 2009. 气候变化与灾害[M]. 北京: 气象出版社. Zhai P M, Li M S, Gao X J, et al, 2009. Climate Change and Disaster[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 张博, 2010. 我国农业可持续发展中政府责任问题研究[D]. 长春: 吉林大学. Zhang B, 2010. Research on government responsibility in agricultural sustainable development in China[D]. Changchun: Jilin University(in Chinese).
- 张凤平, 王柳, 赵云云, 等, 2024. 北京市高标准农田建设模式与路径初探[J/OL]. 中国农业资源与区划, <https://link.cnki.net/urlid/11.3513.S.20240130.1606.024>. Zhang F P, Wang L, Zhao Y Y, et al, 2024. Preliminary study on mode and path of well-facilitated farmland construction in Beijing[J/OL]. Chin J Agric Resour Reg Plan, <https://link.cnki.net/urlid/11.3513.S.20240130.1606.024>(in Chinese).
- 张君宇, 杜新波, 胡杰, 2007. 建立和完善耕地保护社会监督机制的思路探讨[J]. 中国国土资源经济, 20(2): 28-29, 36. Zhang J Y, Du X B, Hu J, 2007. Thoughts on establishing and perfecting the supervision mechanism of farmland protection[J]. Nat Resour Econ China, 20(2): 28-29, 36(in Chinese).
- 张强, 韩兰英, 郝小翠, 等, 2015. 气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其南北区域差异性[J]. 气象学报, 73(6): 1092-1103. Zhang Q, Han L Y, Hao X C, et al, 2015. On the impact of the climate change on the agricultural disaster loss caused by drought in China and the regional differences between the north

- and the south[J]. *Acta Meteor Sin*, 73(6):1092-1103 (in Chinese).
- 张庶, 金晓斌, 魏东岳, 等, 2014. 土地整治项目绩效评价指标设置和测度方法研究综述[J]. *中国土地科学*, 28(7):90-96. Zhang S, Jin X B, Wei D Y, et al, 2014. Review on the index systems and methods on assessing the performance of land consolidation projects[J]. *China Land Sci*, 28(7):90-96 (in Chinese).
- 张宗毅, 2020. “十四五”期间丘陵山区农田宜机化改造若干重大问题与举措[J]. *中国农村经济*, (11):13-28. Zhang Z Y, 2020. Some important problems and measures of farmland construction suitable for mechanization in hilly and mountainous areas during the 14th Five-Year Plan Period[J]. *Chin Rural Econ*, (11):13-28 (in Chinese).
- 赵和楠, 侯石安, 2021. 乡村振兴战略下土地治理投入对粮食生产的影响——“藏粮于地”“藏粮于技”一体推进的经验证据[J]. *贵州社会科学*, (5):153-160. Zhao H N, Hou S A, 2021. The impact of land governance input on grain production under the rural revitalization strategy: empirical evidence of the integrated promotion of “Storing Grain in the Land” and “Storing Grain in Technology”[J]. *Guizhou Soc Sci*, (5):153-160 (in Chinese).
- 赵素霞, 牛海鹏, 张合兵, 等, 2018. 高标准农田建设中耕地空间稳定性评价研究[J]. *农业机械学报*, 49(7):119-126. Zhao S X, Niu H P, Zhang H B, et al, 2018. Space stability evaluation during well-facilitated farmland consolidation[J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 49(7):119-126 (in Chinese).
- 中华人民共和国农业农村部, 2022. 高标准农田建设 通则: GB/T 30600—2022[S]. 北京: 中国标准出版社. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2022. Well-facilitated farmland construction-General rules: GB/T 30600—2022[S]. Beijing: Standards Press of China (in Chinese).
- 周佰铨, 翟盘茂, 2023. 未来的极端天气气候与水文事件预估及其应对[J]. *气象*, 49(3):257-266. Zhou B Q, Zhai P M, 2023. The future projections of extreme weather, climate and water events and strategic responses[J]. *Meteor Mon*, 49(3):257-266 (in Chinese).
- 周广胜, 2015. 气候变化对中国农业生产影响研究展望[J]. *气象与环境科学*, 38(1):80-94. Zhou G S, 2015. Research prospect on impact of climate change on agricultural production in China[J]. *Meteor Environ Sci*, 38(1):80-94 (in Chinese).
- 周广胜, 何奇瑾, 2020. 农业应对气候变化蓝皮书: 中国农业生产气候危险性评估报告(No. 3)[M]. 北京: 社会科学文献出版社. Zhou G S, He Q J, 2020. Bluebook of Agriculture for Addressing Climate Change: Assessment Report of Climate Hazard of Agricultural Production in China (No. 3)[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press (in Chinese).
- 周广胜, 何奇瑾, 汲玉河, 2016. 适应气候变化的国际行动和农业措施研究进展[J]. *应用气象学报*, 27(5):527-533. Zhou G S, He Q J, Ji Y H, 2016. Advances in the international action and agricultural measurements of adaptation to climate change[J]. *J Appl Meteor Sci*, 27(5):527-533 (in Chinese).
- 周小萍, 陈百明, 张添丁, 2008. 中国“藏粮于地”粮食生产能力评估[J]. *经济地理*, 28(3):475-478. Zhou X P, Chen B M, Zhang T D, 2008. Evaluating grain productive capacity of China for “Storing Food in Land”[J]. *Econ Geogr*, 28(3):475-478 (in Chinese).
- 周引弟, 蔡立群, 董博, 等, 2023. 高标准农田建设项目实施前后耕地质量等级变化——以甘肃省灵台县为例[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 59(3):331-338. Zhou Y D, Cai L Q, Dong B, et al, 2023. Changes in cultivated land quality grades before and after the implementation of high standard farmland construction project: a case study of Lingtai County, Gansu Province[J]. *J Lanzhou Univ (Nat Sci)*, 59(3):331-338 (in Chinese).
- 卓乐, 2021. 农业基础设施对粮食增产的作用机理及效应分析[J]. *求索*, (4):125-132. Zhuo L, 2021. Analysis of the mechanism and effect of agricultural infrastructure on grain yield increase[J]. *Seeker*, (4):125-132 (in Chinese).
- Abubakari Z, van der Molen P, Bennett R M, et al, 2016. Land consolidation, customary lands, and Ghana's Northern Savannah Ecological Zone: an evaluation of the possibilities and pitfalls[J]. *Land Use Pol*, 54:386-398.
- Bosma H, 1985. Evaluation in advance of the effects and costs of land consolidation-projects in the Netherlands[C]. *Agriculture and the Management of Natural Resources: Eighth Symposium of the European Association of Agricultural Economics*.
- Crecente R, Alvarez C, Fra U, 2002. Economic, social and environmental impact of land consolidation in Galicia[J]. *Land Use Pol*, 19(2):135-147.
- Du X D, Zhang X K, Jin X B, 2018. Assessing the effectiveness of land consolidation for improving agricultural productivity in China[J]. *Land Use Pol*, 70:360-367.
- Eitzinger A, Cock J, Atzmanstorfer K, et al, 2019. GeoFarmer: a monitoring and feedback system for agricultural development projects[J]. *Comput Electron Agric*, 158:109-121.
- Fors H, Wiström B, Nielsen A B, 2019. Personal and environmental drivers of resident participation in urban public woodland management—a longitudinal study[J]. *Landsc Urban Plan*, 186:79-90.
- Gong J Z, Liu Y S, Chen W L, 2012. Land suitability evaluation for development using a matter-element model: a case study in Zengcheng, Guangzhou, China[J]. *Land Use Pol*, 29(2):464-472.
- Greenberg M, Lowrie K, Mayer H, et al, 2001. Brownfield redevelopment as a smart growth option in the United States[J]. *Environmentalist*, 21(2):129-143.
- Hashiguchi T, 2014. Japan's agricultural policies after world war II: Agricultural land use policies and problems[M] // Usio N, Miyashita T. *Social-Ecological Restoration in Paddy-Dominated Landscapes*. Tokyo: Springer:3-15.
- Henderson J, Gloy B A, 2009. The impact of ethanol plants on cropland values in the great plains[J]. *Agric Finance Rev*, 69(1):36-48.
- Idziak W, Majewski J, Zmyslony P, 2015. Community participation in

- sustainable rural tourism experience creation: a long-term appraisal and lessons from a thematic villages project in Poland [J]. *J Sustain Tour*, 23(8-9):1341-1362.
- IPCC, 2021. Climate change 2021: the physical science basis [M] // Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Lesk C, Rowhani P, Ramankutty N, 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production [J]. *Nature*, 529(7584):84-87.
- Liu X W, Zhao C L, Song W, 2017. Review of the evolution of cultivated land protection policies in the period following China's reform and liberalization [J]. *Land Use Pol*, 67:660-669.
- Pašakarnis G, Maliene V, 2010. Towards sustainable rural development in Central and Eastern Europe: applying land consolidation [J]. *Land Use Pol*, 27(2):545-549.
- Pérez-Aróstegui M N, Bustinza-Sánchez F, Barrales-Molina V, 2015. Exploring the relationship between information technology competence and quality management [J]. *BRQ Bus Res Quart*, 18(1):4-17.
- Pretty J, Benton T G, Bharucha Z P, et al, 2018. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification [J]. *Nat Sustain*, 1(8):441-446.
- Renwick A, Jansson T, Verburg P H, et al, 2013. Policy reform and agricultural land abandonment in the EU [J]. *Land Use Pol*, 30(1):446-457.
- Song W, Liu M L, 2017. Farmland conversion decreases regional and national land quality in China [J]. *Land Degrad Dev*, 28(2):459-471.
- Stoate C, Báldi A, Beja P, et al, 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe—a review [J]. *J Environ Manage*, 91(1):22-46.
- Wackernagel M, Yount J D, 2000. Footprints for sustainability: the next steps [J]. *Environ Dev Sustain*, 2(1):23-44.

(本文责编:戴洋)