



中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
ISSN 2096-6237, CN 13-1432/S

《中国生态农业学报(中英文)》网络首发论文

题目: 气候变化情景下农业绿色生产转型路径研究
作者: 刘洋, 岳晓鹏, 唐孝宇, 于法稳
收稿日期: 2025-01-09
网络首发日期: 2025-08-21
引用格式: 刘洋, 岳晓鹏, 唐孝宇, 于法稳. 气候变化情景下农业绿色生产转型路径研究[J/OL]. 中国生态农业学报(中英文).
<https://link.cnki.net/urlid/13.1432.S.20250821.1000.001>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

DOI: 10.12357/cjea.20250028

刘洋, 岳晓鹏, 唐孝宇, 于法稳. 气候变化情景下农业绿色生产转型路径研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2025, DOI: 10.12357/cjea.20250028

LIU Y, YUE X P, TANG X Y, YU F W. Research on the pathways for agricultural green production transformation under climate change scenarios[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2025, DOI: 10.12357/cjea.20250028

气候变化情景下农业绿色生产转型路径研究*

刘 洋^{1,2}, 岳晓鹏¹, 唐孝宇¹, 于法稳^{2,**}

(1. 湖南农业大学经济学院 长沙 410028; 2. 中国社会科学院农村发展研究所 北京 100012)

摘 要: 气候变化正在深度重构全球农业生产体系, 推动农业向绿色低碳转型已成为国际共识。本文解析了气候变化情景下农业绿色生产转型的基本含义(技术赋能与政策驱动推进农业生产向低碳、高效、可持续三位一体转型)、基本特征(经济-生态效益协同、绿色技术研发-推广耦合、区域差异化与“双碳”目标约束并存)和内在逻辑(以系统韧性为基础, 资源高效-生态保护-效益提升三维导向, 技术-政策-市场三重动力协同)。在梳理国内外文献基础上, 探讨了其在气候变化情景下的发展现状和面临的困境, 并提出了相应的优化策略。研究表明, 气候变化对农业生产结构、农作物生长周期等产生部分不利影响, 如进一步加剧了农业面源污染、资源利用效率低、绿色技术推广与应用不足等问题。此外, 农业基础设施建设、生产方式调整及政策支撑体系仍存在短板。据此提出调整农业种植制度与作物布局、推广绿色农业技术、加强农业基础设施建设等路径, 以提升农业生产系统的韧性与适应能力, 确保粮食安全, 推动农业绿色生产转型。

关键词: 气候变化; 农业绿色生产转型; 粮食安全; 农业绿色发展; 气候智慧型农业

中图分类号: F326.11

Research on the pathways for agricultural green production transformation under climate change scenarios

LIU Yang^{1,2}, YUE Xiaopeng¹, TANG Xiaoyu¹, YU Fawen^{2,**}

(1. School of Economics, Hunan Agricultural University, Changsha 410028, China; 2. Rural Development Institute, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Climate change has exerted a profound impact on the agricultural production system, and promoting the transformation of agriculture toward green, low-carbon, and sustainable development has become a global consensus. This paper analyzes the basic connotation, key characteristics, and internal logic of agricultural green production transformation under climate change scenarios. From the perspective of connotation, agricultural green production transformation refers to the process of promoting agricultural production modes toward low-carbon, efficient, and sustainable directions through technological innovation, policy support, and other measures. From the perspective of characteristics, it is manifested as the synergistic drive of economic and social benefits, the complementarity of scientific innovation and green technology promotion, and the joint guidance of regional differentiation and the “dual carbon” goals. From the perspective of internal logic, under the background of climate change, the transformation of agricultural green production is grounded in resilience theory, oriented toward efficient resource utilization, ecological environment conservation, and the multidimensional enhancement of agricultural production efficiency, and driven by the synergy of technological innovation, policy guidance, and market demand. Based on a review of domestic and international literature, this paper further examines the

* 中国社会科学院创新工程“学者资助计划”项目(XC2023001)、湖南省教育厅优秀青年项目(24B0193)和湖南省教育科学规划年度项目(XJK24CJG001)资助

**通信作者: 于法稳, 主要研究方向为生态经济学、资源管理和农村生态治理。E-mail: yufaw@cass.org.cn

刘洋, 主要研究方向为农业资源与环境经济。E-mail: yangliu2211@hunau.edu.cn

收稿日期: 2025-01-09 接受日期: 2025-07-30

This study was supported by the Scholar Funding Program of the Innovation Project of the Chinese Academy of Social Sciences (XC2023001), the Excellent Youth Project of Hunan Provincial Department of Education (24B0193), and the Hunan Provincial Education Science Planning Annual Project (XJK24CJG001).

**Corresponding author, E-mail: yufaw@cass.org.cn

Received Jan. 9, 2025; accepted Jul. 30, 2025

development status and challenges of agricultural green production transformation under climate change scenarios, and proposes corresponding optimization strategies. The study shows that climate change has adverse impacts on agricultural production structure and crop growth cycles, such as aggravating agricultural non-point source pollution, lowering resource use efficiency, and hindering the promotion and application of green technologies. Moreover, deficiencies remain in agricultural infrastructure construction, production mode adjustment, and policy support systems. To address these issues, this paper proposes optimizing planting systems and crop distribution, accelerating the promotion of green agricultural technologies, and strengthening the construction of agricultural infrastructure, so as to enhance the resilience and adaptability of agricultural production systems, ensure food security, and advance the green transformation of agriculture. Furthermore, agricultural green transformation is not only an inherent requirement for achieving sustainable development, but also an important pathway to implementing the concept of “lucid waters and lush mountains are invaluable assets” and realizing the “dual carbon” goals. By constructing an agricultural production system guided by resource conservation, environmental friendliness, and ecological priority, it can not only mitigate climate risks and maintain ecological security, but also promote the deep integration of agricultural modernization and rural revitalization, thereby providing valuable experience and references for the green and low-carbon transformation of agriculture in China and beyond.

Keywords: climate change; agricultural green production transformation; food security; green development of agriculture; climate-smart agriculture

随着科技的不断发展和社会的快速进步,人类活动与自然的矛盾日益升级,全球极端气候演变呈增强趋势。联合国政府间气候变化专门委员会发布的《第六次评估报告综合报告:气候变化 2023》中提到,近年来全球地表温度有较大幅度提高。对比工业革命前的全球平均气温(14°C),2021 年气温上升约 1.1°C 。全球温室气体排放不断增多,使得本世纪内全球气温涨幅很可能超过 1.5°C ,要实现 2°C 以内的升温控制目标难度也较大。农业是对气候变化敏感的部门,农业生产与气候变化之间的耦合关系明显^[1]。数据显示,全球农业全要素增长率已经因为人类活动引起的气候变化而下降 21%^[2]。即使考虑长期的气候适应,预计 2061—2080 年气候变化仍会使中国农业全要素生产率下降 4.4%~11.8%^[3]。

党的二十届三中全会明确提出要健全绿色低碳发展机制,加快推动经济社会发展全面绿色转型。目前中国农业面源污染排放量仍处于较高水平,《中国绿色农业发展报告(2019)》显示,全国约 1.29 亿 hm^2 耕地质量等级平均为 4.76 等,其中中低等级耕地占比较高^[4]。农业既要通过减排和增汇举措来减缓气候变化,又要增强自身适应气候变化的实际能力^[5],面对气候变化带来的挑战需要加强制度激励与监测工作,加快实现农业生产方式绿色转型^[6]。如何积极应对气候变化并加快推动农业绿色低碳发展,是“十四五”期间需要重点关注的问题之一。基于以上情况,本文从气候变化情景下农业绿色生产转型的基本含义、特征与内在逻辑出发,系统分析其影响机制与发展趋势,并在此基础上探讨气候变化情景下农业绿色生产转型所面临的现实困境与优化路径。

1 文献梳理及研究脉络

目前,国内外有关气候变化对农业绿色生产转型影响的相关成果日益丰富,但多数研究主要聚焦于农业生产本身或农业绿色生产提升路径,较少从系统视角探讨气候变化对农业绿色生产转型过程的影响机制。现有研究主要围绕以下 3 方面展开。一是气候变化对农业生产的直接影响,包括粮食安全^[7]、农业生产活动等,例如气候变化会导致农作物生产环境和粮食产量的变化,生产者可以采取土地扩张的方式来缓解粮食安全指数下降问题^[8]。在气候变化情景下,为减轻农业面源污染、保护耕地土壤质量和灌溉用水水质,围绕化肥农药减量、养殖废弃物资源化利用和农膜回收处理等重点问题,推动农业绿色生产转型已成为增强农业系统韧性、应对气候变化的重要路径。二是不同主体在气候变化情景下的适应行为。对于农业生产者而言,数字化可以突破其资金投入和信息约束的限制,为“认知→意愿→行为”的行为逻辑和驱动农业生产低碳转型提供新动力^[9]。此外,农业生产者可以采取农资、农时、农业经营调整等措施适应气候变化^[9-10],降低气候变化对农业生产者收入带来的不利影响。增强农业生产者对绿色生产转型所带来的收益感受,促使其主动进行绿色生产转型,并完善认证农产品市场环境,扩大认证农产品市场份额^[11]。农业政府部门可出台相关政策文件、加大科研经费投入、加强气象灾害防治等措施。同时,为了增强农户对气候变化的认知和应对能力,开展相关教育培训^[12],还应制定绿色农业扶持补贴机制,推进农业补贴与绿色生产相结合^[12],维护农业生产系统的良性运转。在此基础上,还需要优化小农户规模结构,提高农户的技术水平^[10]。三是关于农业绿色生产能力提升的路径分析,包括研发推广生物农药、加大科技创新力度、采取激励政策等^[13],以促进农业生产与自然之间的协调,在气候变化情景下实现农业绿色生产转型。综上所述,现有文献主要聚焦气候变化对农业绿色生产影响的分析以及对应对措施探讨,而从综合性角度对气候变化情景下

农业绿色生产如何实现转型的研究有待进一步丰富与深化,特别是在不同主体的协同作用、政策设计和技术路径的融合方面,以全面推动农业绿色生产转型。在未来的研究中,可以进一步探索政策、技术和行为等因素在应对气候变化和推进绿色生产中的协同效应,进而形成系统性的应对方案,以解决气候变化给农业绿色生产带来的挑战。

本文可能的边际贡献主要表现为:一是系统性提出气候变化情景下农业绿色生产转型的适应路径,从面源污染治理、生产结构调整到绿色技术创新,结合政策支持与数字化技术应用,构建农业绿色生产实践路径,为提升适应能力与可持续性提供方案。二是通过典型案例归纳,分析不同地区农业绿色生产转型的成功案例,总结其关键因素和经验启示。

2 气候变化情景下农业绿色生产转型的基本含义、基本特征与内在逻辑

2.1 基本含义

就传统角度而言,农业绿色生产转型这一概念尚无清晰统一的界定。从农业绿色低碳角度来看,农业绿色生产转型需遵循生态环境保护的基本原则,通过变革产地环境、产品结构、生产过程及其废弃物处理方式,增加绿色优质农产品供给,实现经济社会与资源环境协调发展^[14]。在气候变化情景下,农业绿色生产转型被赋予了新的内涵。一方面,农业绿色生产转型目标是构建低碳排放农业生产体系,以此提升农业系统的气候适应能力^[15],进而降低气候变化对农业生产的影响,具体可借助集约化生产以及可再生能源应用等措施推动气候变化与农业绿色生产结合。另一方面,农业绿色生产转型和“双碳”目标实现紧密结合在一起,这不仅是出于环境保护方面的实际需要,更是达成国家碳中和目标的一条重要途径^[15],比如在关注推广低碳农业等绿色技术时,还应注重通过智能化手段实现农业精准管理和资源优化配置^[1]。

因此,农业绿色生产转型在气候变化情景下的含义,是通过技术应用及创新、政策支持等措施,达成农业生产模式向低碳、高效及可持续方向的转变,这一进程离不开政策制定者、农业从业者以及社会各层面的协同助力,以此保障在气候变化情景下,农业绿色生产转型能够平稳有序地开展。

2.2 基本特征

2.2.1 经济效益与社会效益的综合驱动

经济效益与社会效益是气候变化情景下农业绿色生产转型的内在动力,体现出农业生产由单一经济导向朝多重价值并重的演变趋势。在气候变化情景下,农业绿色生产转型所追求的目标不再局限于短期经济回报,而是经济与社会效益的相互促进、协调发展。土地生产力利用效率提升,气候风险概率降低,这些转变可以增强农业的可持续收益能力,使得农业生产者开始逐渐认识到绿色生产方式对减少资源消耗和环境污染的积极作用。社会收益层面,绿色农业在改善生态环境、提高食品安全性和优化农村产业结构等方面带来的社会价值与日俱增。市场需求及消费偏好的变化同样驱动了农业绿色生产的转型,农业的品牌效应和附加价值不断提升;绿色、有机农产品的市场竞争力日益增强,这源于社会大众对保护生态环境及可持续农业理念认同度的提高。由此可见,农业绿色生产转型的经济与社会效益互相影响,构成了推动农业绿色升级的内在动力。

2.2.2 科技创新与绿色技术推广相辅相成

农业绿色生产转型需要以科技创新为驱动,以绿色技术推广为桥梁,将新发展理念融入市场需求,推动农业生产方式向低碳化、智能化和高效化升级。事实上,部分农业生产对科技创新的需求还停留在加强农业种植过程的创新,往往忽略农业种植会受多方面影响。应对气候变化需要依靠科技创新,助力传统农业生产模式过渡到数据驱动的精准管理体系。运用精准农业、智能灌溉以及无人机防治等技术可提升生产流程的科学性与可控程度。生物防治、种养循环和废弃物资源化利用是低碳农业的重要策略,可助力农业系统破除高碳锁定效应,推动生态集约型可持续发展。耐盐碱作物品种选育技术突破与气象预测模型深度应用相结合,可增强农业生产系统应对极端气候事件的灵活性与风险抵御能力。技术扩散效应可推动多维价值融合,使农业发展目标由单一产量导向转向生态效益、资源效率与多功能协同优化的复合体系,进而体现技术创新对生态转型的驱动效能。

2.2.3 区域差异与“双碳”目标的引领

区域差异与“双碳”目标的引领是气候变化情景下农业绿色生产转型的特征与方向,体现出农业绿色发展在空间维度上的多样性与国家战略目标的方向性约束。在区域层面,不同地区气候条件、自然资源禀赋、经济发展水平及农业基础设施存在差异,农业绿色生产转型路径呈显著的非均衡性与分层发展特征。数据显示,农业绿色发展水平呈较明显的地域差异,东部最优,中部居中,西部相对落后^[16]。此外,“双碳”目标在宏观层面为农业绿色生产转型起到引领作用,农业生产正逐渐从传统的高排放模式,向低碳循环农业模式过渡。在全国范围内,各地区依据自身所处的发展阶段以及资源特性,打造出具有差异化的农业低碳发

展路径。例如，东北地区着重于黑土保护及秸秆还田；华北地区则突出节水农业与精准施肥的重要性；南方水稻(*Oryza sativa*)主产区积极推进稻田碳汇管理与循环种养模式。这种具有区域特色的转型模式，不仅能够使农业绿色发展与“双碳”目标的总体要求相契合，还能够满足不同地区在调整农业生产方式时所面临的现实需求。

2.3 内在逻辑

2.3.1 理论逻辑

当前研究以可持续发展理论为指导，依托农业系统理论支撑，通过耦合社会-生态系统(SES)韧性理论与生态现代化理论，解析气候变化与农业绿色转型的互馈机制。SES 韧性理论显示，农业生产系统在面临气候变化这类外部冲击时，应具备充足的韧性，包含缓冲能力、适应能力和转型能力，气候变化给农业带来的影响让农业生产面临诸多不确定性和风险^[17]。农业绿色生产转型需要依靠优化资源利用、提升生态修复力以及强化农业生产系统适应性，来有效减弱气候变化造成的不利影响。生态现代化理论指出，在工业文明发展进程中，经济增长必然会引发自然资源耗损与生态环境破坏，但依靠技术、制度与组织创新既能推动经济增长，又能让生态保持平衡^[18]。在气候变化情景下，农业绿色生产转型要求通过绿色技术引入和生产模式转变来实现农业与生态环境的共生，二者的互动关系表明气候变化既是农业绿色生产转型的外部压力源，也是倒逼生产方式改变的内生发展动力。

2.3.2 方向逻辑

从方向角度来看，农业绿色生产转型的核心在于资源高效运用、生态环境维系和农业生产效益多维度提升。面对气候变化带来的挑战，农业生产需摆脱高能耗、高污染模式，向绿色低碳与智能精准的现代农业模式转型，依靠精准施肥、施药和绿色防控等技术推广，通过提高资源利用效率来推动农业绿色生产转型。此外，生产方式向多元化和智能化转型，通过发展气候智慧型农业来提升农业系统对极端气候的适应能力，并提高生产效率和确保粮食安全。在此基础上，进一步发挥科技创新引领作用，完善政策支持体系和优化市场调节机制，通过推动产业结构升级并优化生态补偿机制，构建政府、企业、科研机构与农业经营者的协同推进体系，推动农业绿色生产转型朝系统化、规模化、标准化方向发展。

2.3.3 动力逻辑

农业绿色生产转型的推进需要依靠技术创新、政策引导与市场需求的协同驱动。技术进步是达成农业绿色生产转型的关键动力。伴随绿色农业技术持续走向成熟，农业生产正逐步朝高效且环保的方向发展，如生物农药替代化学农药、节水灌溉系统替代传统灌溉模式，这些转变切实有效地促进了农业生产过程的绿色化。政策引导为农业绿色生产转型提供了外部支持力量。政府通过制定相关政策、给予资金补助以及促进绿色认证等手段，驱动农业生产者朝着绿色可持续方向发展，推行补贴政策、税收优惠等既为技术研发提供了资金保障，又引导了农民采纳绿色生产模式，进而推动农业行业环保的高效发展。此外，随着消费者环保意识不断增强，市场对绿色低碳和有机商品的需求呈不断上升态势，这种需求变化为农业生产者提供了较强的市场动力，促使其在生产过程中更倾向选取环保可持续的生产方案，进一步加快了农业生产方式向绿色、有机方向的转型。

3 气候变化情景下农业绿色生产现状及政策梳理

3.1 气候变化情景下农业绿色生产现状

2021 年，《“十四五”全国农业绿色发展规划》提出农业绿色生产转型的“四维治理框架”。在资源再生维度，强调建立严守耕地数量红线、提升耕地质量、维护生态功能的“数量-质量-生态”三位一体耕地管护体系；在污染阻控维度，着力构建从空间约束、过程调控到末端治理的全链条防控机制；在质量安全维度，重点形成以标准升级、追溯强化和溢价实现为核心的价值传导路径；在绿色生产力变革维度，持续推进科技创新、制度创新和组织创新的协同驱动，为农业全面绿色生产转型提供系统性支撑。

耕地管护体系得到加强。2024 年，自然资源部数据显示，2021—2023 年全国耕地总量增加约 117 万 hm^2 ，其中南方省份通过土地综合整治净增约 49 万 hm^2 ，扭转了“南减北增”局面。同时，受极端天气影响的农作物倒伏减产现象逐渐改善^[19]。中国目前拥有较为完善的农作物自然灾害预测和防治体系，通过适度缩减农业受损范围，有效减轻了极端天气对粮食供应系统的负面影响。

农业面源污染治理工作取得进展。气候变化造成极端降水，洪涝灾害和旱灾频发，进而引起土壤肥力下降。此外，气候变化导致大气环流异常，病虫害增多，这也要求相应调整农业投入品的使用方式。统计年鉴数据显示，2012—2023 年，中国农用化肥施用量由 5 839 万 t 降至 5 022 万 t，农药使用量由 18 万 t 降至 12 万 t，随着绿色生产观念的深入，农户环保意识增强，农业面源污染治理模式得到了进一步探索。

农产品质量安全水平呈平稳上升趋势，气候变化引发的高温以及环境污染造成的土壤功能退化，正构

成农业可持续发展的双重束缚,按照《“十四五”全国农产品质量安全提升规划》设定,到2025年,国家对农产品质量安全抽检合格率要稳定达到98%,农兽药残留标准的数量要提升至1.5万项,实现绿色有机认证的农产品要达到7万个,以此应对气候变化导致的病虫害及品质波动现象。

农业绿色发展的支撑体系正逐步建立起来。2018年,为推动农业绿色发展,农业农村部印发的《农业绿色发展技术导则(2018—2030年)》提出加快科技创新步伐,研发精准施肥这类绿色生产技术,让农业土地产出效率得以提升。次年,该部门进一步提出要培育壮大新型农业经营主体,鼓励其采用绿色生产方式,以实现绿色农业产业链发展,增进农业生产组织协调水平,并提高市场应对能力与竞争优势。在此基础上,农业绿色发展同样依赖农业信息化与气象服务协同支撑。2024年,中央气象局印发的《农业气象观测站网和观测任务调整方案(试行)》提出,系统推进农业气象监测网络“存量优化+增量提质”双轨改革方案,通过推进智能化改造,目前实现了对1123个人工观测站的有序梯度退出,并保留642个具有区域代表性的基准站,同时提出新建1662个农业气象自动观测站。目前,全国观测站点总量突破2300个,显著提高了观测密度与数据时效性,为农业绿色生产转型提供了更加系统、精准且可靠的气候信息支撑。此外,气候变化通过降水和温度变化,影响土壤肥力,进而导致植被退化,加剧土壤盐渍化和土壤荒漠化。为应对上述挑战,在农业耕作环节,应用保护性耕作技术,通过免耕、少耕等技术减少土壤扰动,保持土壤结构稳固;鼓励有机肥施用,改善土壤理化特性,提升土壤保水、保肥性能,减少化肥过量施用造成的环境污染。在农业种植环节,作为现代农业技术落地的关键介质,种子已成为一种特殊的高科技产品^[20],优选具备较强抗病虫害特性与良好环境适应性的作物品种,降低农业种植过程对化学农药的使用需求;进行水肥一体化管理,通过滴灌、喷灌等节水灌溉技术与精准施肥技术相结合,实现水肥资源的高效利用;农作物轮作与间作。通过合理的轮作、间作制度,打破病虫害的生活周期,实现植保压力到土地产出效率之间的最优平衡,保障粮食安全。农业农村部数据显示,2020年底,中国成功达成化肥农药使用量零增长的行动目标,三大粮食作物的化肥与农药利用率均超40%,为农业绿色生产转型奠定了基础。

3.2 国家应对气候变化及农业绿色生产政策梳理

3.2.1 气候变化应对

2015年,中国向联合国气候变化框架公约(UNFCCC)提交了《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》,详细阐述了中国在减排领域的进展,并提出了非化石能源在2030年前占比达20%、森林蓄积量增加等目标。该文件通过制定能源管控与生态增汇措施,推动中国深度参与全球气候治理,为签署《巴黎气候变化协定》及落实2℃温控目标奠定基础。2021年10月,陆续有5项文件出台。10月24日,中共中央与国务院先后印发系列政策文件,其中《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》提到新兴技术与绿色低碳产业深度融合,鼓励绿色低碳出行等方案,这些文件为达成“双碳”目标给予了战略性的引导方向。10月27日,国务院新闻办公室发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书,强调要通过优化能源结构等系列举措来推动任务落实,使碳排放强度比2005年下降48%,并推动建立更加公平的全球气候合作机制,以“双碳”目标为核心,构建应对气候变化的新战略,助力落实《巴黎协定》目标;该白皮书发布次日,中国向UNFCCC秘书处正式提交两项核心履约文件,即《中国落实国家自主贡献成效和新目标新举措》和《中国本世纪中叶长期温室气体低排放发展战略》,这是中国履行《巴黎协定》作出的具体行动;《国家适应气候变化战略2035》由生态环境部、国家发展和改革委员会、农业农村部等部门于2022年联合发布,该纲领性文件通过系统规划气候韧性发展路径,为中国中长期应对气候变化制定了具体路线图;2024年,国家疾控局联合多部门共同印发《国家气候变化健康适应行动方案(2024—2030年)》,通过构建健康风险预警与疾病防控联动机制,系统性增强公共卫生领域气候适应韧性。

3.2.2 农业绿色发展应对

2017年中共中央办公厅和国务院办公厅发布《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》,系统地搭建了农业可持续发展的制度体系和实施路径。2017年12月,《农业部 中国农业银行关于推进金融支持农业绿色发展工作的通知》,该文件聚焦绿色农业与金融创新的协同机制,深化银政合作模式,推动建立多元化、普惠性、长效性的农业生态转型融资服务体系。2018年农业农村部印发《农业绿色发展技术导则(2018—2030年)》提出协同推进生态保育与产业升级的良性互馈,系统规划了农业绿色技术的创新框架。2019年,由中国农业科学院绿色发展研究团队主导编制的《中国农业绿色发展报告:2018》正式面世,这是聚焦于中国农业绿色发展领域的权威报告,其创新性地构建了涵盖31个省级行政区域的绿色发展评价指标体系。截至当前,该系列报告已构建连续6年的农业生态转型观测序列。2020年,农业农村部办公厅关于印发《2020年农业农村绿色发展工作要点》,聚焦在通过靶向治理农膜残留及畜禽粪污、实施水土生物资源动态监测等举措,助力农业绿色发展。2021年,农业农村部等多部门联合印发《“十四五”全国农业绿色发展规划》,提出到2025年实现“双控”三提核心目标(控水肥投入、控面源污染;提资源利用率、提碳汇

能力、提绿色供给),通过“技术创新-制度创新-组织创新”协同驱动机制,明确推动农村生产生活方式向“生态产业化-产业生态化”双向转型。2022年,农业农村部和国家发展改革委联合印发《农业农村减排固碳实施方案》,进一步完善政策衔接机制,以推动农业绿色发展与低碳转型的系统协同。农业农村部于2024年先后印发《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》以及《全国智慧农业行动计划(2024—2028年)》,着力推进农业生产全链条智能化升级,涵盖精准种植、设施数字化等七大核心领域。2024年12月,农业农村部印发《农业农村部关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见》,提出加快农业发展全面绿色转型,促进资源利用高效集约、产业模式低碳循环、乡村环境生态宜居,推动乡村生态振兴。

4 气候变化情景下农业绿色生产转型困境

气候变化正以前所未有的方式重塑农业生产体系,加剧了农业绿色生产转型过程中的系统性矛盾。本章重点剖析三大核心制约因素的内在关联。首先,气候变暖引发的病虫害扩散与作物抗逆性下降,会直接推高农药、化肥等投入品的使用强度,使得面源污染治理陷入“增量难控”的困境;其次,极端天气打破传统农业生产节奏,干旱洪涝交替发生迫使种植结构、耕作制度等基础性框架亟待重构;最后,绿色生产技术供给与气候适应性需求之间存在断层,现有创新体系难以实现技术突破,导致减排固碳、资源循环等关键环节缺乏有效解决方案。以下分别从生产投入、系统稳定和技术支撑这3个维度,揭示气候变化情景下农业绿色生产转型面临的困境。

4.1 农业投入品增加导致面源污染严重

气温升高是气候变化的重要表现,全球80%的陆地面积气温呈显著增加趋势^[21]。《一类农作物病虫害名录(2023年)》显示,至少有15种病虫害受气候变化的影响较为显著。伴随气温不断升高,暖冬可能会使得原本在冬季会因低温被冻死的害虫轻松越冬,害虫生存的概率升高。温度与降水变化对害虫分布存在制约效果。伴随气候变化的进程,害虫原本的地域针对性会逐渐减退,其分布范围变广,比如气候变暖导致低纬度地区的害虫逐渐向高纬度地区扩散,还可能会对高纬度地区农作物产量构成威胁。

为应对农业病虫害加剧现状,综合考虑利润最大化目标,加之承受意外风险的能力较低,农户更加偏向于采取保守型的生产行为,选择增加农业投入品的使用,进而导致面源污染加剧^[22-23]。一方面,气候异常现象(如干旱与洪涝等灾害)的频发及其强度的提升,不仅对农业生产效率产生负面影响,导致农产品供给数量降低,同时也通过改变农业投入品的使用模式,影响农产品质量安全。例如长期过量施肥会导致有害成分在土壤中残留,造成土壤营养成分失衡^[24]。国际公认的化肥安全限值为225 kg·hm⁻²,但中国部分地区化肥施用量显著高于这一标准。例如,统计年鉴数据显示,山东省2023年化肥平均施用量达677 kg·hm⁻²,其中氮肥施用量为181 kg·hm⁻²。《农业面源污染防治蓝皮书》指出,华北地区氮肥过量施用导致的土壤酸化速率较全国平均水平快1.8倍,直接造成作物减产5%~12%。研究预测,伴随气候变化加剧,中国农药使用量至2040年将增长1.1%~2.5%,至2070年增幅扩大至2.4%~9.1%,至2100年可能进一步攀升至2.6%~18.3%^[25]。此外,化学农药喷洒过程会直接导致大气污染,其包装材料及施药工具的不当处理也可能引发环境污染。另一方面,尽管市场对绿色、有机农产品的认可度和购买意愿持续增强,但对具有绿色标识的农产品的认知度和接受度仍然偏低,难以实现农户基于生产投入的合理收益预期,加之政府补贴政策力度不够,农户往往因短期经济效益优先,依旧倾向于传统的农资投入方式,从而导致面源污染加剧。

4.2 极端天气频发迫使农业生产结构亟待调整

气候变化属于农业生产当中面临的主要自然风险之一,同时也是保障粮食安全所面临的重大挑战^[26]。农业绿色生产在保障粮食供给方面起到了十分重要的作用,但是它也面临着自然灾害、病虫害、环境污染等诸多挑战。由表1可知,平均气温每上升1℃,水稻生长周期缩短7~8d,双季稻早稻和晚稻产量分别减少16%~17%和14%~15%,小麦(*Triticum aestivum*)和玉米(*Zea mays*)的产量分别下降约10%~12%和5%~6%,特别是在低纬度地区,谷类作物产量可能下降5%~10%^[27]。政策支持不足与多方治理缺失也是农业生产结构调整的困境之一,尽管理论上政策应当发挥引导作用,但由于政策实施和地方政府执行力度存在差异,可能导致部分地区在应对极端天气事件时,缺乏有效的合作和协调机制。

表1 气温上升1℃对中国主要农作物生长周期和产量的影响

Table 1 Effects of a 1℃ temperature rise on the growth cycle and yield of main crops in China

品种 Variety	生长周期缩短天数 Shortening days of growth cycle /d	产量降低 Yield reduction
水稻 Rice	7~8	早稻和晚稻分别降低 16%~17%和 14%~15% Reduction of early rice and late rice are 16%~17% and 14%~15%, respectively
小麦 Wheat	17	降低 10%~12% Reduce 10%~12%
玉米 Maize	7	降低 5%~6% Reduce 5%~6%

在农作物的种植结构方面,气候变化会对部分粮食和经济作物播种、生长、成熟等整个生育周期和后期的储存环节产生深刻影响。在农作物的播种期,气温升高和降水格局变化可能改变适宜的播种窗口,导致部分粮食作物(如水稻、小麦)的播期提前或缩短,像棉花(*Gossypium*)、咖啡(*Coffea arabica*)等部分经济作物的适宜播种区域也可能发生转移;在农作物的生长中期,干旱、洪涝等自然灾害会对水稻等作物造成负面影响,如高温会导致水稻生育期压缩,进而使得产量无法保障;在农作物的成熟期,气温升高、降水模式不稳定等因素可能会改变作物的生长周期,导致作物成熟期提前或推迟,进而影响产量;在农作物的后期处理阶段,粮食在储存过程中,温度或湿度过高还会造成病原微生物更加活跃,导致虫害爆发的概率增加。与此同时,部分经济作物(如茶叶、烟草等)在晾晒过程中易受暴雨天气影响,从而导致其品质在后期处理中有所降低。

4.3 农业绿色生产技术创新能力不足

实现农业绿色发展的前提是促进农业生产模式的绿色转型,而农业绿色生产技术创新能力为推动农业生产方式绿色转型提供保障^[28]。然而,农业绿色生产技术创新能力的提升仍然面临气候变化影响、资金投入不足、知识产权制度、农户接纳程度偏低等问题。气候变化使气温升高和降水模式发生变化,直接影响作物生长周期和产量,同时增加了技术创新过程中的复杂性和不确定性,进而影响技术在不同区域的适配水平。虽然如智能农业这样的前沿技术已经得到初步应用,但由于与传统农业生产模式的有效衔接不足,绿色技术的推广和实际应用仍然滞后,使得农业领域的技术突破在短期内很难见到实际效果。农业生产所需技术不断更新迭代,但由于缺乏持续的研发投入和资金支持,很多创新技术难以实现普及,同时由于操作难度较高,农民采用新技术的难度较大。如农药包装废料回收处理的环保设施不健全,亟待引入专业化处置设施^[29]。此外,因知识产权保护机制薄弱与市场激励机制缺失,农业绿色技术创新成果的转化与推广面临较大阻力。这不仅抑制了绿色技术的扩散速率与应用规模,更迟滞了产业绿色化进程,最终导致技术应用的深度与广度受限。

《“十四五”全国农业农村科技发展规划》显示,目前智慧农业和绿色投入品等核心技术仍存在部分外部依赖情况,创新链与产业链的融合程度仍显得比较薄弱。农业绿色生产技术的创新需要农业生产经营主体去化解短期内生产成本增加和产量下降问题^[28],同时还需要应对气候变化所引发的新挑战,若农业生产经营主体依据环境监管相关标准,采取污染防治措施,可能会导致生产成本进一步增加。如选用有机肥替代化肥、生物防治替代化学农药等绿色技术通常需要更高的资金、劳动力和时间投入,从而导致生产成本上升,同时减少化肥和农药的使用短时间内可能会影响作物生长速度及抗病虫害能力,进而引起产量下降。随着技术不断优化,绿色生产技术在中长期有望实现生产成本降低和产量提升,《中国农业绿色发展报告 2023》显示,2015—2022 年全国农业绿色发展指数从 75.19 提高到 77.90。

5 气候变化情景下农业绿色生产转型路径

农业绿色生产转型顺应了环境承载能力的重要要求,其重点在于突破传统农业生产模式,转变为绿色低碳模式,同时强调资源节约以及环境保护。农业绿色生产转型过程中,应当遵循生态环境保护的原则,通过改善原产地环境、优化产品结构、调整生产流程及其废弃物处理方式来扩大绿色优质农产品的供应,进而实现经济、社会与资源环境的协调发展^[30-31]。本研究按照“双碳”文件明确的相关目标展开进一步探讨,气候变化给农业生产带来诸如面源污染加剧等多方面现实挑战,以下围绕种植制度、技术创新和基础设施提出应对策略。

5.1 调整农业种植制度和布局

调整耕作制度并提高复种指数是适应气候变化重要的策略之一。气候变化引起农业气候带向北推移,促使作物种植结构和熟制相应变化,为发展多熟制作物提供新条件。相关地区需要根据水资源和当地气候的具体情况,调整农业种植及品种结构^[29]。应根据气候变化趋势和区域特点,通过科学规划作物种植结构、选育优质作物品种、推动耕作制度创新以及优化农作物空间布局等来应对气候变化,提升生产效率。充分利用气候变暖带来的生长季延长优势,增强农田生态系统的稳定性和抗风险能力,在种植熟制南北界变化的敏感地区,可推广麦-稻两熟、油菜(*Brassica napus*)-稻两熟等多熟制模式^[29]。然而,气候变化同时也给某些地区带来了不利影响,例如降水量减少和日照时数的缩短等,这些均对农业发展构成了挑战。为了适应这些变化,必须对原有种植制度与布局进行科学调整。首先,在区域差异化方面,不同地区的气候条件、自然资源禀赋和经济发展水平决定了种植模式的选择和调整方式。海南省利用气候变化带来的优势,通过调整农业结构和优化种植布局,提升农业产出和生产效率。甘肃省针对气候变暖和极端气候事件频发现象,扩大了耐旱作物种植面积,减少了对水资源需求较高的小麦种植,增强了农业生产韧性和风险抵御阈值。同样,宁夏部分地区积极发展葡萄(*Vitis vinifera*)产业,东北地区为应对气候变暖带来的影响,也开始扩大

玉米和水稻等作物的种植面积,并逐步形成以玉米和水稻为主的因地制宜的种植结构^[28]。其次,在区域政策调整方面,河北省于2019年印发《河北省2019年度耕地季节性休耕制度试点实施方案》,内容强调通过采取“季节性休耕+生态补偿”试点等政策应对地下水超采等情况,如在廊坊、保定等地下水漏斗区的县(市、区)实施季节性休耕试点,规模约达13.33万 hm^2 ,补助标准为每公顷7500元。在青藏高原地区,为避免冻土退化与草畜失衡,青海省人民政府在《青海省碳达峰实施方案》中提到,计划推进国家生态文明试验区建设,进一步提升生态系统碳汇增量,预计在2025年前,草原的整体植被覆盖率将提升至58.5%,同时森林面积占比将增至8%。以上这些调整均有助于提高农业生产效率和增强对气候变化的适应性。通过优化种植结构,提升资源利用效率,增加农民收入,促进地方经济可持续发展,确保粮食安全和社会稳定。

5.2 加强绿色农业技术创新与应用

生态现代化理论提出,可以通过技术创新等方式来协调经济发展与环境保护之间的关系。与发达国家相比,中国农业适应气候变化的技术仍存在较大差距^[7],绿色农业技术创新在当下已成为农业绿色生产转型的重要着力点。

5.2.1 采用生态友好型防灾技术

依据《农作物病虫害防治条例》,国家鼓励且支持运用绿色防治技术、先进施药器械以及安全高效经济的农药产品。首先,控制化学农药使用频率,更多地采用生态友好型防灾技术来防治病虫害,以此推动化学农药减量,降低农业面源污染负荷,保障农田生态系统稳定,并促进农业绿色可持续发展。在病虫害防治上,还可通过生物防治手段强化治理,如可以通过“以虫治虫”等手段强化病虫害综合治理,建设生物天敌繁育基地,加强生物防治和生物替代,遏制害虫。把瓢虫、蜘蛛、食蚜蝇等害虫天敌放入田间,此方式成本较低且见效较快。在中国东北和华北等玉米主产区,通过规模释放人工繁育的赤眼蜂,使其将卵寄生在玉米螟卵中,阻断其孵化过程,从而实现其对病虫害的防治效果。中国农业科学院数据显示,吉林省建立了赤眼蜂繁育基地,每年释放蜂卡,覆盖数十万公顷农田,以东北地区为例的相关示范区农药减量达70%以上,且保护了授粉昆虫的生态平衡。在源头防控维度,选育兼具高产、优质与抗逆性(抗病/抗旱/耐热)的气候智能型品种,并建设气候适应性种子库,可增强作物抗性,降低病虫害暴发概率,进而减少农药依赖。其次,淘汰喷枪喷淋等较为落后的施药方式和施药器械,加强先进高效施药器械的研制开发与引进,大力推广新型施药机械。如全国农技中心在2022年印发的《2022年全国小麦春季重大病虫害防控技术方案》提出针对条锈病的防治器械建议,使用自走式宽幅施药机械、无人机等先进施药机械喷雾进行防治。最后,生物农药作为一种安全高效的农药产品,具有生物活性高、专一性强、对人畜安全且环境友好等优势^[32]。据农业农村部信息可知,生物农药主要包括生物化学农药、微生物农药和植物源农药,通过天然成分实现靶向防治,如植物源的苦参碱、微生物源的Bt、生物化学的精油类等,能够有效替代部分化学农药,减轻环境负荷。

5.2.2 因地制宜推广节水灌溉技术

在气候变化情景下,农业生产面临着水资源短缺和极端气候频发的严峻挑战。当前,中国现代农业正逐步向智能化、高效化、低碳化方向发展。智能灌溉与节水灌溉等先进技术的应用,不仅减少了水资源浪费,优化了农业生产效率,也有效助力了农业绿色可持续转型。优质的灌溉用水既能为生态农产品提供可靠保障,还能促进农业绿色发展,因此农业生产对优质灌溉水源有着更多要求^[28]。而当下中国农业基础设施建设亟待加强,完善科学合理的农田水利设施是其重要内容。

针对水资源稀缺区域的基本水资源情况应进行全面调查,包括降水、地表水和地下水资源量等,通过这一方式了解水资源可利用率、水资源短缺情况等。还可基于对农业、生活和工业等多源用水需求的调查,制定水资源优化配置与管理计划,实现水资源供需平衡的科学调控。对于水资源短缺的地区可使用滴灌节水技术,通过提升水资源利用效率和减少蒸发损耗^[33],实现水分高效利用。水分灌溉管理工作也较为重要,如物联网智能滴灌技术,可通过物联网技术获取气象参数等相关指标,并在其控制下对灌溉频率进行调整,进一步搭建精准高效的灌溉管理措施。如新疆部分地区采用北斗导航与精准滴灌技术,实现了农业生产的智能化和高效化。统计数据表明,截至2023年底,新疆节水灌溉面积已达433.33万 hm^2 ,覆盖全区65.37%的有效灌溉面积^[34]。在节水灌溉技术推广应用过程中,应注重管理环节的系统培训与管控,包括对节水设施的使用培训和滴灌设备系统的维护等,以便农户全面了解节水灌溉的基本原理,并进行相应的田间灌溉管理。除上述应用节水技术的影响因素外,政策引导和经费支持也是决定该技术应用的关键因素之一,如水利部在2024年建议我国农村地区在信贷上要向农村节水设施提供财务信贷等。

5.2.3 推进科技创新应用

农业绿色发展需要以科技创新为突破口^[6]。人工智能在农业绿色生产中的应用逐渐成为推动农业现代

化和可持续发展的重要力量。将物联网、遥感技术等应用到农业生产过程中,如建设智能化的田间检测网点对害虫进行实时监测,预测病害发展趋势,以便提前做好相应的应对措施。《农作物病虫害防治条例》显示,国家倡导并支持构建智能监测等新兴技术在内的病虫害防治体系,促进实现科技成果的转化,进而推动农业绿色发展。此外,政府以农户需求为导向,通过数字化媒介,加强科学普及、舆论引导和技术推广,帮助农户和农场管理者认识到新型农业技术的应用价值,从而推动这些知识的普及和相关技术的采纳^[35]。

积极探索气候智慧型农业。联合国粮农组织将气候智慧型农业定义为一种旨在可持续提高农业生产效率、增强农业适应气候变化能力、减少温室气体排放并保障国家粮食安全的农业发展模式^[36]。故面对日益严峻的气候变化,有必要探索和发展气候智慧型农业,以增强粮食生产的抗灾能力,确保粮食的稳定供应^[37]。一方面,推广气候智慧型农业,需要政府在政策上的扶持和引导。在具体实践中,必须完善减排与固碳激励机制,化学肥料和农药的过度使用是温室气体排放的重要来源。因此,政府应通过政策引导,构建农业清洁生产协同推广体系,通过种养循环^[38]与精准施肥等技术集成,减少面源污染,同时对农民滥用农药化肥、焚烧秸秆等不当行为进行严格监管和处罚。此外,还应加大对采用绿色农业技术、减少温室气体排放的农民的补贴力度,从而促进温室气体减排目标的实现。最后,还需加快绿色农业技术领域的科技创新,尤其是现代生物技术的快速发展,为提升粮食作物抗逆性提供了全新的技术途径^[39]。

5.2.4 种子技术提升及农业废弃物资源化利用

为增强农作物抵御自然灾害的能力,可通过培育和推广具有更强抗逆性的农作物新品种等措施进行有效应对^[27]。一些极端天气导致的气温不稳定可能会使传统的农作物品种难以适应新环境,使其抗灾性降低,从而导致产量下滑。在此背景下,通过引入耐高温等改良过的农作物品种,可以显著增强其在农业生产过程抵御极端气候的能力,如选育适应暖冬气候的冬小麦新品种。为实现这一目标,需要关注种子技术的创新建设,使更多优良作物品种能够在田间实现规模化种植。

农业废弃物的资源化利用技术同样值得重视,如应用秸秆还田技术,可大幅改善耕地有机质和营养元素的存储能力,降低农业面源污染,并提高农作物资源利用效率;应用青贮、发酵和氨化等技术推动畜牧业向环境友好型过渡;秸秆气化等新技术通过将农业废弃物资源转化为清洁高效的可燃气体后,用于农业生产和农民生活,从而促进能源的绿色使用。以科技创新为先导,加强种业和农业废弃物资源化利用联合建设,从而提升农业适应气候变化的能力,减少农业环境污染风险,推动农业生产的绿色发展转型。

5.3 完善农业基础设施建设

5.3.1 提升农业气象灾害监测与预警能力

韧性理论强调系统在面对外部干扰时,能够保持核心功能并及时恢复的能力。对于农业而言,主要体现在农业生产过程中遭遇极端气候事件或自然灾害等外界冲击时,如何快速恢复该过程中应有的稳定性。在技术层面,应尽快完善国家农业气象灾害监测网络,依托国家气象中心,构建分区分类的预警体系,从而高效且迅速地处理与应对各类极端天气。在制度层面,政府需建立跨部门协同机制,明确部门间的权责划分,并鼓励社会各界力量积极参与到预防农业气象灾害的行动中。在资金保障方面,除政府专项投入外,还可加强金融创新或保险托底,如农户通过及时购买农业保险等也可在一定程度上降低气象灾害对农业的负面影响。中国气象局相关信息显示,浙江省玉环市气象局和玉环农商银行共同推出“共富气象贷”,专设10亿元信贷资金,在台风“格美”过后,为受灾的水稻种植专业合作社和水产养殖个体户提供贷款,帮助其恢复生产。

5.3.2 加强农业适应与管理策略

地方政府、企业和农民等利益主体要密切配合,共同推进防洪减灾体系建设工作。面对气候变化导致的极端气象事件增多局面,首先,为确保水库下游地区安全度汛,要提高防洪标准,加大水库除险加固工程力度;其次,科学合理用地,保护湿地和森林^[29],把退耕还湿、退耕还林等各项措施落到实处;再次,还需通过发展设施农业来提升农业系统的抗风险能力^[36]。以上这些要求政府制定专项扶持政策,提供资金保障,并鼓励科研机构与农业生产者合作,共同推进抗灾型设施的建设与应用。如各地结合实际,通过发展智能塑料大棚、温室等设施农业,推动技术创新和普及,探索并确定适合本地的防灾减灾型农业生产技术模式^[29],提高农业生产者应对气候变化的水平。这些举措在维护生态环境和生物多样性的同时,也为农业生产系统提供了坚实的生态保障。此外,需强化农业科技支撑。一方面,提升科技创新水平,加速绿色生产技术研发与推广;另一方面,加强对从业人员的教育培训,提升其气候适应技术应用能力,强化其绿色生产理念。通过科技赋能与人力资本升级双轨驱动,推动农业绿色生产转型,促进农村生态振兴。

6 结论

在气候变化情景下,农业绿色生产转型不仅是农业发展方式的技术性调整,更是价值取向与发展逻辑

的系统性重构。本文从气候变化情景下农业绿色生产转型的基本含义、特征与内在逻辑出发,通过对当下中国农业绿色生产现状及政策梳理,指出农业绿色生产转型不仅强调资源节约与环境友好,更体现出经济效益、生态效益与社会效益的多重耦合特征;其内在逻辑在于通过制度创新、技术进步与农户主体能力提升的有机结合,推动农业体系由高投入、高消耗向绿色、高效、可持续方向转变。这一逻辑不仅回应了气候变化对农业生态系统韧性的挑战,也为农业现代化探索出新的路径。

研究表明,中国农业绿色生产转型面临的现实困境主要集中在资源利用效率偏低、绿色技术推广不足、基础设施薄弱等方面。因此,未来的路径选择应当坚持系统治理与协同推进:一是通过优化种植制度与空间布局,提升农业对气候风险的适应能力;二是加快绿色技术研发与推广,推动节水灌溉、生态防控和废弃物资源化利用的全面落地;三是健全农业基础设施与灾害防御体系,构建绿色生产的坚实支撑。

进一步而言,农业绿色生产转型既是应对气候变化的必然选择和保障粮食安全、生态安全的内在要求,也是践行“绿水青山就是金山银山”理念的核心路径。通过服务“双碳”目标与乡村振兴战略,该转型将成为推动中国迈向可持续农业与生态文明建设的关键举措。

参考文献 References

- [1] 周洁红,唐利群,李凯. 应对气候变化的农业生产转型研究进展[J]. 中国农村观察, 2015(3): 74 - 86, 97
ZHOU J H, TANG L Q, LI K. Research progress on adapting agricultural production transformation to climate change[J]. China Rural Survey, 2015(3): 74 - 86, 97
- [2] ORTIZ-BOBEA A, AULT T R, CARRILLO C M, et al. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth[J]. Nature Climate Change, 2021, 11(4): 306-312
- [3] CHEN S, GONG B L. Response and adaptation of agriculture to climate change: Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2021, 148: 102557
- [4] 刘连馥. 中国农业绿色发展报(2019)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019
LIU L F. China Agricultural Green Development Report 2019[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019
- [5] 何可,汪昊,张俊飏. “双碳”目标下的农业转型路径: 从市场中来到“市场”中去[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1): 1-9
HE K, WANG H, ZHANG J B. Agricultural transformation path with respect to the target of carbon peak and carbon neutrality: From the market to the “market”[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2022(1): 1-9
- [6] 韦佳培,吴滨滨. “双碳”目标下我国农业绿色发展的路径选择[J]. 农业经济, 2023(9): 25-27
WEI J P, WU Y B. Path selection of China's agricultural green development under the target of “double carbon”[J]. Agricultural Economy, 2023(9): 25-27
- [7] 覃志豪,唐华俊,李文娟. 气候变化对我国粮食生产系统影响的研究前沿[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 1-8
QIN Z H, TANG H J, LI W J. Front issues in studying the impacts of climate change on grain farming system in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36(1): 1-8
- [8] BOCCHIOLA D, BRUNETTI L, SONCINI A, et al. Impact of climate change on agricultural productivity and food security in the Himalayas: a case study in Nepal[J]. Agricultural Systems, 2019, 171: 113-125
- [9] 黄晓慧,聂凤英. 数字化驱动农户农业绿色低碳转型的机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 30-37
HUANG X H, NIE F Y. Research on the mechanism of digitalization driving farmers' agriculture green and low-carbon transformation[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2023, 23(1): 30-37
- [10] 王建华, 钭露露, 马玲. 农户融入农业绿色生产转型的驱动机制分析——以农户农业废弃物资源化利用为例[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2023, 23(5): 165-177
WANG J H, TOU L L, MA L. Analysis of the driving mechanism for farmers' integration into agricultural green production transformation: A case study of agricultural waste resource utilization[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2023, 23(5): 165-177
- [11] 王建华, 周瑾. 农业绿色生产转型的内在动力——基于微观主体实践与外部结构性因素的影响分析[J]. 农村经济, 2022(12): 67 - 77
WANG J H, ZHOU J. The internal motive force of the transformation of agricultural green production: Based on the analysis of the influence of micro-subject practice and external structural factors[J]. Rural Economy, 2022(12): 67-77
- [12] 王娜娜, 王志刚, 罗良国. 技术偏好异质性、农户参与式方案创设与政策绿色转型[J]. 中国农村经济, 2023(3): 136-156
WANG N N, WANG Z G, LUO L G. Technology preference heterogeneity, scheme design of farmers' participation, and green transformation of policies[J]. Chinese Rural Economy, 2023(3): 136-156

- [13] SCHNEIDER P, ASCH F. Rice production and food security in Asian Mega deltas — A review on characteristics, vulnerabilities and agricultural adaptation options to cope with climate change[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2020, 206(4): 491–503
- [14] 郭海红, 刘新民. 粮食安全与农业绿色低碳发展协同推进机制研究——基于粮食主产区政策的准自然实验[J]. *湖南师范大学社会科学学报*, 2024, 53(3): 13–28
- GUO H H, LIU X M. Research on the synergistic promotion mechanism of food security and green low-carbon agricultural development: based on a quasi-natural experiment of the policy in major grain production areas[J]. *Journal of Social Science of Hunan Normal University*, 2024, 53(3): 13–28
- [15] 郑玉雨, 于法稳. 气候变化背景下农业低碳发展: 国际经验与中国策略[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2024, 32(2): 183–195
- ZHENG Y Y, YU F W. Low-carbon agricultural development in the context of climate change: International experiences and China's strategies[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(2): 183–195
- [16] 黄炎忠, 罗小锋, 李兆亮. 我国农业绿色生产水平的时空差异及影响因素[J]. *中国农业大学学报*, 2017, 22(9): 183–190
- HUANG Y Z, LUO X F, LI Z L. Analysis on spatial-temporal differences and influence factors of agricultural green production level in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(9): 183–190
- [17] BERKES F, COLDING J, FOLKE C. *Navigating Social-ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003
- [18] EHRENFELD J R. The refinement of production: Ecological modernization theory and the chemical industry[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996, 16(1): 57–61
- [19] 全水萍, 李颖明, 汪明月. 农户与政府气候变化认知及适应措施比较研究——以河南省为例[J]. *农业资源与环境学报*, 2022, 39(4): 847–854
- QUAN S P, LI Y M, WANG M Y. Comparison of farmers' and governments' cognition and adaptation measures to climate change: a case study in Henan Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(4): 847–854
- [20] 刘洋, 蓝思羽. “绿色”引领种子产业发展: 理论逻辑、制约瓶颈与实现路径[J]. *重庆社会科学*, 2024(11): 87–100
- LIU Y, LAN S Y. “Green” leads the development of the seed industry: theoretical logic, bottlenecks and implementation paths[J]. *Chongqing Social Sciences*, 2024(11): 87–100
- [21] 沈贝蓓, 宋帅峰, 张丽娟, 等. 1981—2019 年全球气温变化特征[J]. *地理学报*, 2021, 76(11): 2660–2672
- SHEN B B, SONG S F, ZHANG L J, et al. Changes in global air temperature from 1981 to 2019[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(11): 2660–2672
- [22] 黄季焜, 齐亮, 陈瑞剑. 技术信息知识、风险偏好与农民施用农药[J]. *管理世界*, 2008, 24(5): 71–76
- HUANG J K, QI L, CHEN R J. Technical information knowledge, risk preference and farmers' application of pesticides[J]. *Management World*, 2008, 24(5): 71–76
- [23] 刘莹, 黄季焜. 农户多目标种植决策模型与目标权重的估计[J]. *经济研究*, 2010, 45(1): 148–157, 160
- LIU Y, HUANG J K. A multi-objective decision model of farmers' crop production[J]. *Economic Research Journal*, 2010, 45(1): 148–157, 160
- [24] 于法稳. 实现我国农业绿色转型发展的思考[J]. *生态经济*, 2016, 32(4): 42–44, 88
- YU F W. Thinking on agricultural green transformation development of China[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(4): 42–44, 88
- [25] ZHANG Y W, MCCARL B A, LUAN Y B, et al. Climate change effects on pesticide usage reduction efforts: a case study in China[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2018, 23(5): 685–701
- [26] 郭燕, 杜志雄. 气候变化对中国粮食作物与饲料作物播种面积的影响[J]. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2024, 24(6): 96–106
- GUO Y, DU Z X. Impact of climate change on the sown area of food and feed crops in China[J]. *Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition)*, 2024, 24(6): 96–106
- [27] 周曙东, 周文魁, 林光华, 等. 未来气候变化对我国粮食安全的影响[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2013, 13(1): 56–65
- ZHOU S D, ZHOU W K, LIN G H, et al. The impact of future climate change on China's food security[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2013, 13(1): 56–65
- [28] 代明慧, 于法稳. 气候变化背景下农业绿色发展能力提升研究[J]. *中州学刊*, 2024(4): 49–56
- DAI M H, YU F W. Research on enhancing agricultural green development capability under the background of climate change[J]. *Academic Journal of Zhongzhou*, 2024(4): 49–56
- [29] 包晓斌. 种植业面源污染防治对策研究[J]. *重庆社会科学*, 2019(10): 6–16, 2

- BAO X B. A study on countermeasures for non-point source pollution prevention and control of crop farming[J]. *Chongqing Social Sciences*, 2019(10): 6–16, 2
- [30] 莫经梅, 张社梅. 城市参与驱动小农户生产绿色转型的行为逻辑——基于成都蒲江箭塔村的经验考察[J]. *农业经济问题*, 2021, 42(11): 77–88
- MO J M, ZHANG S M. Urban participation in driving the green transformation of farmers' production behavioral logic: Based on the experience survey of Jianta Village, Pujiang County, Chengdu[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(11): 77–88
- [31] 张林秀, 白云丽, 孙明星, 等. 从系统科学视角探讨农业生产绿色转型[J]. *农业经济问题*, 2021, 42(10): 42–50
- ZHANG L X, BAI Y L, SUN M X, et al. Views on agricultural green production from the perspective of system science[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(10): 42–50
- [32] 罗岚, 李桦, 许贝贝. 绿色认知、现实情景与农户生物农药施用行为——对意愿与行为悖离的现象解释[J]. *农业现代化研究*, 2020, 41(4): 649–658
- LUO L, LI H, XU B B. Green cognition, reality, and farmers' biological pesticide application behaviors: Explaining the deviation between farmers' willingness and their behaviors[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2020, 41(4): 649–658
- [33] CHOUHAN S, KUMARI S, KUMAR R, et al. Climate resilient water management for sustainable agriculture[J]. *International Journal of Environment and Climate Change*, 2023, 13(7): 411–426
- [34] 尹飞虎, 张富仓. 新疆农业节水与水资源高效利用的对策与建议[J]. *水资源与水工程学报*, 2025, 36(2): 1–8
- YIN F H, ZHANG F C. Countermeasures and recommendations for agricultural water conservation and high-efficient water resources utilization in Xinjiang[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2025, 36(2): 1–8
- [35] 周子铭, 高鸣. 数字技术赋能农业环境污染防治: 逻辑基础、关键问题与路径构建[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2025, 33(2): 218–227
- ZHOU Z M, GAO M. Digital technology-enabled agricultural environmental pollution prevention and control: Logical basis, key issues, and path construction[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2025, 33(2): 218–227
- [36] 王一杰, 管大海, 王全辉, 等. 气候智慧型农业在我国的实践探索[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(10): 43–50
- WANG Y J, GUAN D H, WANG Q H, et al. The practical exploration of climate-smart agriculture in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(10): 43–50
- [37] 管大海, 张俊, 郑成岩, 等. 国外气候智慧型农业发展概况与借鉴[J]. *世界农业*, 2017(4): 23–28
- GUAN D H, ZHANG J, ZHENG C Y, et al. General situation and reference of climate intelligent agriculture development abroad[J]. *World Agriculture*, 2017(4): 23–28
- [38] 何可, 刘洋, 郑家喜. “双碳”目标下的种养结合循环农业发展[J]. *中南财经政法大学学报*, 2024(6): 28–39
- HE K, LIU Y, ZHENG J X. The development of integrated crop-livestock system under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2024(6): 28–39
- [39] BRIEF I. Global status of commercialized biotech/GM crops in 2017: Biotech crop adoption surges as economic benefits accumulate in 22 years[J]. *ISAAA Brief*, 2017, 53: 25–26