

# 减污降碳视角下的粮食绿色低碳生产： 现实基础、主要问题与优化路径

明若愚<sup>1,2</sup>, 李凡略<sup>1,2</sup>, 何可<sup>1,2\*</sup>

1. 华中农业大学经济管理学院, 武汉 430070

2. 华中农业大学农业绿色低碳发展实验室, 武汉 430070

**摘要** 从减污降碳的视角出发, 分析了中国粮食绿色低碳生产的现实基础、面临的主要问题, 并提出了优化路径。国家政策的引领和支持、技术进步与创新能力的提升、市场需求的转变是推动粮食生产绿色低碳发展的关键。然而, 也存在政策需进一步明确化、生产者减污降碳意识与能力有待加强、技术瓶颈等问题。为应对这些问题, 提出了制定减污降碳路线图、培养生产者意识、加强技术创新推广、建立绿色低碳价值实现机制等优化策略。

**关键词** 粮食绿色低碳生产; 减污降碳; 气候变化; 技术创新

粮食安全是国家安全和社会稳定的重要保障。作为世界上最大的粮食生产和消费国, 中国粮食生产已实现从低产到高产、从供应短缺到基本自给的历史性跨越, 对国家稳定和人民福祉做出了重大贡献。2023年, 中国粮食总产量达到69541万t, 相较于2000年的46217万t, 增长率达到50.47%<sup>[1]</sup>。然而, 随着人口增长、经济发展和生活水平的提高, 粮食需求持续上升。与此同时, 粮食供应面临耕地资源减少、水资源紧缺和面源污染加剧等多重资源环境约束。气候变化也带来了更频繁的极端天气事

件、气象灾害以及病虫害发生率增加等严峻挑战<sup>[2]</sup>。这些因素都对粮食生产效率产生了负面影响, 引起了粮食产量和质量的波动, 增加了粮食绿色低碳生产的不确定性和风险。

从资源环境约束的角度看, 一方面, 中国人均耕地面积仅为世界平均水平的40%左右, 而且大部分耕地质量中等偏下, 约占总耕地面积的70%<sup>[3]</sup>。这导致粮食生产的基础和潜力受到了制约, 粮食供给的稳定性和可持续性面临威胁。同时, 中国农业用水量占全国用水总量的61.5%, 是全球最大的农

收稿日期: 2023-11-20; 修回日期: 2024-06-19

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42371306); 武汉市知识创新专项“曙光计划”项目(2022020801020227); 中国博士后科学基金面上资助项目(2023M743858)

作者简介: 明若愚, 博士研究生, 研究方向为农业资源与环境经济, 电子信箱: mryhzau@126.com; 何可(通信作者), 教授, 研究方向为农业资源与环境经济, 电子信箱: hekework@gmail.com

引用格式: 明若愚, 李凡略, 何可. 减污降碳视角下的粮食绿色低碳生产: 现实基础、主要问题与优化路径[J]. 科技导报, 2024, 42(16): 72-81; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.01.00197

业用水国<sup>[4]</sup>。农业用水过量、过度、不合理,对水资源和土壤产生了负面影响<sup>[5]</sup>。另一方面,中国粮食生产长期依赖于化肥、农药、农膜等化学品,加剧了农业面源污染。例如,化肥的过量施用导致了氮素的大量流失和挥发,引起水体富营养化、土壤酸化和大气氮沉降等问题;农药的过量施用增加了农产品安全风险,提升了病虫害抗药性;农膜的过量使用有可能破坏土壤结构、降低土壤微生物活性<sup>[6]</sup>。这些问题不仅影响了粮食绿色低碳生产的可持续性,更对人类健康和福祉构成了巨大威胁。

气候变化对粮食生产带来了双重挑战。一方面,随着全球气候变化加剧,中国面临着气温上升、降水减少、干旱加剧以及极端气候事件频发等问题<sup>[7]</sup>,严重影响了农业生产的自然条件和生态环境<sup>[8]</sup>,限制了作物的生长发育,对粮食增产构成了阻碍。另一方面,粮食生产活动也是全球气候变化的促进因素之一。耕作、施肥和灌溉等农业活动均会释放大量的温室气体,如二氧化碳、甲烷和氮氧化物都是导致全球气候变暖的关键因素。

粮食生产作为保障人类生存和发展的基础,不仅关乎经济的可持续发展,更与生态环境的保护紧密相连。探索如何在减污降碳的视角下实现粮食绿色低碳生产,成为了亟待解决的问题。本文分析粮食绿色低碳生产的现实基础,探讨粮食绿色低碳生产所面临的主要问题,并提出切实可行的优化路径。

## 1 减污降碳视角下粮食绿色低碳生产的现实基础

### 1.1 国家政策的引领和支持

中国高度重视气候变化应对和粮食安全保障,制定了一系列战略、法规、政策、标准和行动计划,为助力粮食绿色低碳生产提供了强有力的指导和支持。例如,中国设定了碳达峰碳中和目标,推动能源结构向清洁低碳转型,加强生态环境分区管控,并促进绿色低碳生活方式形成。同时,中国增加对粮食生产的投入和保障,建立粮食安全责任制,完善粮食生产补贴政策,加强粮食生产的科技

创新和服务支撑。这些政策的实施均为粮食绿色低碳生产奠定了坚实的制度基础,并成为减污降碳视角下粮食绿色低碳生产的关键保障,主要体现在以下个方面。

一是国家政策的引领和支持对优化粮食生产的区域布局和结构调整起到了关键作用,有助于实现粮食生产与生态环境的协调发展。国家根据不同地区的气候条件、资源禀赋、生态功能和经济发展水平,制定了具有区域特色的粮食生产发展规划。通过合理划定粮食主产区、粮食主销区和产销平衡区,调整优化粮食品种结构,培育和推广高产、优质、绿色、抗逆的粮食作物品种,从总体上有助于实现粮食产业的节能减排。此外,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》强调了粮食生产功能区和重要农产品生产保护区的重要性,要求建设国家粮食安全产业带,即以产粮大县集中且农业生产基础条件良好的主产区域为重点,建设国家粮食安全保障战略基地。这将有助于推广绿色生产方式,降低粮食生产的资源消耗和环境污染,提高粮食生产的资源利用效率和生态效益。

二是国家政策的引领和支持对推动粮食生产的绿色化和数字化转型至关重要,不仅提升了资源利用效率,也增强了粮食生产的质量效益。国家通过完善粮食生产补贴政策,鼓励和引导粮食生产者采用节水、节肥、节药、节能等技术,有效提高了资源利用效率,并对减轻粮食生产的碳排放强度具有积极作用。此外,政府高度重视信息技术在粮食生产中的应用,发布了一系列政策文件,如《关于规范粮食行业信息化建设的意见》《关于统筹推进粮食和物资储备信息化建设的指导意见》等,预示着粮食生产正逐步向智能化和网络化方向发展。未来粮食生产者将更加高效地利用生产资源,减少对环境的负面影响,从而提升粮食生产的整体效益。

三是国家政策的引领和支持在加强粮食生产的气象服务和风险管理方面发挥了重要作用,有效提升了粮食生产对气候变化的适应能力。国家高度重视粮食生产适应气候变化的问题,并在《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书中就明确提出

了“牢固树立共同体意识”“贯彻新发展理念”“以人民为中心”“大力推进碳达峰碳中和”“减污降碳协同增效”等要求。国务院在《“十四五”推进农业农村现代化规划》中强调,“加强农业气象综合监测网络建设,强化农业气象服务”。2023年,中国气象局与农业农村部进一步联合印发《气象为农服务提质增效行动方案》,强调“联合开展中长期气候变化影响及农业适应性研究,提出区域农业气候资源高效利用和风险防范总体策略”。这些措施促进了中国粮食生产气象服务体系的完善,为粮食生产提供了气候预测、灾害预警、防御指南等服务,提高了粮食生产的灾害防御和风险管理能力,减轻了气候变化对粮食生产的不利影响。这些政策和行动计划共同构成了粮食生产适应气候变化的多层次支持体系,为粮食生产的可持续发展提供了坚实保障。

### 1.2 粮食生产的技术进步和创新能力提升

中国粮食生产技术水平 and 创新能力持续增强,为粮食绿色低碳生产提供了坚实的技术支撑和动力保障。一方面,通过加强品种选育,培育一批高产、优质、绿色、抗逆的新品种,能有效提升粮食作物的产量和品质。另一方面,粮食生产技术和装备的研发也得到增强,中国推出了许多节能、高效、智能、资源化利用的技术和装备,进一步推动了粮食绿色低碳生产。具体而言,技术进步和创新能力提升,能够从以下个方面推动粮食绿色低碳生产。

一是提升粮食作物的固碳能力和抗逆性。固碳能力指的是作物通过光合作用将大气中的二氧化碳转化为植物体内的有机碳的能力。而抗逆性则是作物在面对干旱、盐碱、极端温度和病虫害等压力时,仍能保持或恢复正常生长的能力。2023年,中国在种质资源的自主控制和种子科技的自强方面取得了新的进展。例如,通过育种技术开发的耐盐小麦和玉米品种能够在盐碱土壤中生长,这不仅提高了土壤的有机碳含量,还在沧州渤海新区黄骅市实现了6.68万 $\text{hm}^2$ 旱碱麦的丰收,每公顷产量达到3681 kg,总产量达到24.5万t。

二是提高粮食生产的资源利用效率和循环利用能力。资源利用效率是指在粮食生产过程中资源投入与产出的比率,而循环利用能力是指废弃

物,如秸秆、农膜、农药包装的回收和再利用能力。采用节水、节肥、节药和节能等技术能够提升资源利用效率,减少资源消耗,缓解由资源利用引起的碳排放问题。以湖南省为例,截至2023年12月,该省在过去5年中化学农药的使用量累计减少超过20%。目前,该省每年在超过21.3万 $\text{hm}^2$ 的土地上执行专业化的病虫害统一防治,并在超过43.33万 $\text{hm}^2$ 的土地上采用绿色防控措施,有效促进了农业减污和减碳。此外,秸秆还田、有机肥替代和农业废弃物资源化等循环利用技术措施也提高了粮食生产的循环利用能力,减少了废弃物排放,增加了资源的再生利用,推动了粮食生产的可持续发展。农业农村部已建立了一个覆盖国家到县级的秸秆资源台账数据平台,用于有效管理秸秆资源。在秸秆返田比率超过40%的地区,已设立专门监测站评估生态效应。通过积极促进秸秆在肥料化、饲料化、燃料化、基料化和原料化方面的应用,中国秸秆综合利用效率获得了显著提升。

三是提高粮食生产的智能化和数字化水平。通过采用物联网、大数据、云计算、人工智能、遥感、无人机等智能化和数字化的技术或装备,可以提高粮食生产的智能化和数字化水平,实现粮食生产的精准化、自动化、智慧化和信息化管理,由此帮助粮食生产减少污染、降低碳排放。例如,无人机的精准喷洒技术能够有效减少农药使用,降低环境污染。同时,精确施肥减少了化肥需求,进一步减轻了化肥生产和使用的碳排放。无人机的高效作业不仅减少了体力劳动,也降低了人工作业的碳足迹。此外,无人机采用电能驱动,相较于传统燃油农机,更能减少碳排放。到2023年,中国植物保护无人机的保有量已达20万架,覆盖耕地面积超过1.42亿 $\text{hm}^2$ 次。在水稻和小麦的病虫害防控上,无人机的使用正变得越来越普遍。

### 1.3 粮食市场需求转变

随着经济社会发展和人民生活水平提高,粮食消费已从注重数量转向注重质量。消费者对粮食的多样化和个性化需求不断增长,这对粮食的安全性、营养性、健康性、绿色性提出了更高要求。这种市场趋势促使粮食生产者不仅要提升粮食的品质

和安全水平,还要调整粮食的品种结构、区域结构和产业结构,以增加粮食生产的附加值和综合效益,确保粮食生产与市场的有效对接。具体而言,市场需求变化从以下两个方面推动了粮食绿色低碳生产。

一是消费者对粮食产品的市场需求从数量型向质量型转变,推动了粮食生产的品质提升和安全水平提升。消费者对粮食质量和安全的要求日益严格,这推动了生产者选择优良品种,采用科学的施肥、灌溉和病虫害防治等管理措施。这些做法不仅提高了粮食产品的品质,也在食品安全领域取得了显著成就,具体表现在食源性疾病的暴发事件数量显著减少。与“十三五”期间相比,这一数字下降了11%<sup>[8]</sup>。此外,消费者对健康饮食的重视程度日益提高,对有机粮食的需求不断增长。相关研究揭示,消费者对有机粮食的支付意愿显著高于普通粮食,他们愿意为有机粮食支付的价格是普通粮食的1.5~1.8倍<sup>[9]</sup>。

二是消费者对粮食产品的市场需求从单一化向多样化转变,推动了粮食生产品种和区域结构优化。消费者对粮食的多样化和个性化需求不断增长,要求生产者提供种类丰富、具有不同产地特色的粮食产品。为了适应这一需求,粮食生产者必须精准把握市场动态,根据消费者的具体需求和资源条件,调整粮食的品种和区域结构。这种结构优化有助于提升粮食生产的效益和质量,同时满足市场的多样化需求。有机食品作为健康饮食趋势的一部分,其市场需求近年来持续上升。消费者对有机食品的偏好不仅推动了有机种植面积的扩大,也促进了有机产品认证体系的完善。截至2022年8月,全国共有1.5万家企业获得约2.48万张有机产品认证证书<sup>[10]</sup>。

三是消费者对粮食产品的市场需求从传统化向现代化转变,推动了粮食生产者提高技术和装备水平。社会经济的快速发展促使消费者对粮食产品的品质和安全性提出了更高的要求。为了满足这些需求,粮食生产正逐步向机械化、自动化和智能化的方向发展,同时粮食产品的标签管理也在不断地信息化、数字化和网络化,以提高粮食的可追

溯性和便捷性。以锡山国家现代农业产业园的“锡山大米”为例,该产品经过权威机构的认证,于2023年荣获了碳标签证书。这一认证不仅代表了产品在生产过程中对环境保护的承诺,也反映了其在减少碳排放方面的努力。据认证核算,生产5 kg的锡山大米,从种植到包装的整个过程中,实现了4.1619 kg的碳减排量<sup>[11]</sup>。

## 2 减污降碳视角下粮食绿色低碳生产面临的主要问题

### 2.1 减污降碳政策需进一步明确化与具体化

一是顶层设计与现实贴合不够紧密,政策激励措施亟待完善。在推动粮食绿色低碳生产的过程中,顶层设计与现实贴合不够紧密成为制约其发展的关键因素。尽管国家层面已经制定了相应的战略规划,但在实施过程中,政策的连贯性和系统性往往难以得到保障。究其原因,现有农村环境相关法律不仅分散且缺乏系统性,而且在农业绿色低碳发展领域的相关规定也面临着实施难度大和缺乏可操作性的问题<sup>[12]</sup>。这一问题主要源于相关法律、规定与农村现实的脱节。尽管西部部分地区凭借生态优势,积极开发乡村资源,取得了显著的成效,但就位于自然保护区的村庄而言,其产业发展仍受到了严格限制,这在一定程度上导致了发展与生态保护之间的矛盾<sup>[13]</sup>。此外,立法和政策激励措施在推动减污降碳技术研发和应用方面的作用有限,导致技术进步和创新不足,难以满足现实需求。以沼气、秸秆还田等减排固碳技术为例,虽然这类技术有利于减排,但在现实情况中难以满足农户的创收需求<sup>[14]</sup>。

二是行动计划制定难度大,农村基础设施建设亟待完善。通过推广节水、节肥、节药和节能技术,推动粮食产业生产结构调整在理论上是可行的。然而,在实际操作中,受制于技术应用条件,行动计划的实施效果并不理想。当前,中国基层水利服务机构面临着人员短缺、结构老龄化以及专业技术人员比例不足等问题,这对农田水利设施的建设与运行构成了严峻挑战<sup>[15]</sup>。中长期目标的实现同样困

难重重,循环农业和生态农业模式往往需要将农产品与市场进行有效连接,以实现产品的增值和循环利用。然而,交通、储存和物流等基础设施的不足,限制了农产品的销售范围和效率,对两类生态低碳农业发展模式的发展造成了不利影响。正如《“十四五”现代物流发展规划》所指出的,虽然中国农村物流发展步伐加快,但存量物流基础设施网络“城强乡弱”的问题仍然存在。

三是反馈机制不足,碳排放监测评估体系不完善。监测系统的不健全导致无法全面准确地收集和分析粮食生产的环境影响数据,阻碍了粮食的绿色低碳生产。中国于2021年才开始在北京、湖北荆州、四川资阳等地展开农业碳排放监测评价试点工作<sup>[16]</sup>,在覆盖率和精度上仍存在较大的提升空间。同时,评估体系的建立和运行则面临人才短缺的问题,导致评估结果的准确性有待提升。中国石油和化学工业联合会数据显示,中国在“十四五”期间对“双碳”人才的需求量在55万~100万左右。然而,当前从事该领域的专业人员数量只有10万左右,这意味着中国在“双碳”专业人才方面存在显著缺口。

## 2.2 粮食生产者减污降碳意识与能力有待加强

一是粮食绿色低碳生产教育体系改革相对滞后。尽管正规教育体系在培养粮食生产主体减污降碳意识方面具有重要作用,但当前教育体系改革的步伐相对滞后,未能充分整合环境保护和绿色低碳实践的理念,导致粮食生产主体对于减污降碳的认知存在不足。虽然已有一些农业院校开设了农业绿色低碳发展相关的课程,但整体来看,农业院校和职业学校中涉及环境保护和绿色低碳实践的课程比例偏低,且课程内容往往偏重于理论,缺乏与实践相结合的教学模式。此外,教育部门与粮食生产主体之间的合作不够紧密,这容易导致教材和教学资源更新缓慢,难以跟上现代农业发展的步伐。这种教育体系的不足,直接影响了粮食生产主体对节水、节肥、节药和节能等减污降碳技术的认识,限制了在实际生产中应用这些技术的能力。

二是粮食绿色低碳生产专业培训体系不健全。专业培训体系的建立与实施对于提升粮食生产主

体的环保意识和技能至关重要,但目前这一体系存在诸多不足。例如,中国部分地区的粮食绿色低碳生产培训项目内容更新不够及时,教学方法单一,缺乏针对性和互动性,导致培训效果不佳。同时,培训资源分布不均,特别是在偏远农村地区,导致粮食生产主体难以接触到高质量的培训资源<sup>[17]</sup>。此外,虽然中国农村互联网普及率于近年得到较快发展,已于2023年12月达到了66.5%<sup>[18]</sup>。但这一数值相较于城市地区的83.3%仍存在较大差距,由此限制了网络教育平台和手机应用软件等现代信息技术在粮食绿色低碳生产专业培训中的应用。这进一步导致粮食生产主体难以享受到便捷学习途径的机会,不利于其充分认识减污降碳技术。

三是粮食绿色低碳生产社会参与度不足。宣传教育活动是提高粮食生产主体减污降碳意识的有效手段,但目前这些活动的开展存在局限性。例如,部分农村地区的宣传停留在开讲座、发手册、贴海报等传统模式,但这些方式缺乏针对性和实用性,容易导致宣传效果差强人意。同时,部分农村地区的宣传教育活动往往缺乏与生产者的互动<sup>[19]</sup>,未能有效激发他们的参与热情和创新意识。这导致粮食绿色低碳生产的社会参与度不足,特别是农业专家和环保人士的参与度有限,相关活动的效果大打折扣。上述问题的存在,限制了宣传教育活动在促进粮食生产主体采纳粮食绿色低碳生产行为方面的效果。

## 2.3 减污降碳技术的创新与推广存在瓶颈

一是减污降碳技术研发滞后,高产、优质、绿色、抗逆新品种未能得到有效推广。加强粮食生产减污降碳技术的研发是推动粮食绿色低碳生产的关键。然而,中国在这一领域的研发投入和产出并不平衡。尽管中国对农业科技研发的投入逐年增加,但相较于发达国家,中国的农业科技进步率仍存在较大提升空间。2022年,中国农业科技进步贡献率约为62.4%,而发达国家的农业科技贡献率普遍达到了70%~80%<sup>[20]</sup>。近年来,中国种业迎来了快速发展,育种创新活力显著增强,品种选育进程明显提速。然而,随着品种数量的迅速增长,品种同质化问题日益突出,不仅对品种选育的创新与

更新换代构成了障碍,同时也给农民科学选种用种带来了较大的挑战<sup>[21]</sup>。这导致许多具有减污降碳潜力的高产、优质、绿色、抗逆新品种无法快速普及,阻碍了粮食生产的绿色低碳转型。

二是减污降碳技术集成创新不足,国际合作受限。减污降碳技术的集成创新是提升粮食生产效率和环境友好性的重要途径,而中国在这一领域的创新能力尚显不足。虽然中国在节水灌溉、精准施肥等关键技术方面取得了一定进展,但受制于资金投入的不足,技术集成创新仍有较大的提升空间。2015—2020年,国家对农业科技领域的财政资金支持占总科技经费的比重从4.02%降至3.76%<sup>[22]</sup>,反映出农业科技领域相对于其他科技领域在财政支持上的落差正在扩大。此外,受到贸易保护主义、文化差异等因素制约,国外先进减污降碳技术的引进和应用并不顺畅,这制约了减污降碳技术的创新和推广。其原因在于,贸易保护主义导致国际间技术交流和合作的壁垒增多,许多国外先进的减污降碳技术难以顺利进入中国市场;文化差异导致国内外研究人员在理解减污降碳技术时存在沟通障碍,阻碍了技术的有效转化。

三是减污降碳技术示范推广效率低下,监测反馈机制不健全。减污降碳技术的示范推广是提高技术转化效率的有效手段。但目前,示范区的建设和推广效果并不理想。相关研究显示,许多示范区建设缺乏科学规划和有效管理,导致示范效果不明显,难以吸引粮食生产主体的关注和参与<sup>[23]</sup>。同时,推广策略和模式单一,缺乏针对性和灵活性,难以适应不同地区的实际需求<sup>[24]</sup>。此外,推广效果的监测和反馈机制不健全,导致粮食生产主体无法及时了解和解决技术应用中的问题<sup>[25]</sup>。这不仅影响了减污降碳技术的推广效果,也制约了其持续改进和优化。

#### 2.4 绿色低碳粮食产品的市场和服务不成熟

一是政府补贴政策亟待优化与完善。尽管政府补贴政策是激励粮食生产主体采纳减污降碳技术的重要手段,但在实际操作中依旧存在不少问题。当前补贴政策在精准性和实施效果上存在局限。补贴额度往往只能覆盖生产者采纳新技术的

成本,导致生产者缺乏足够的经济激励<sup>[26]</sup>。同时,政府对补贴政策的宣传教育不到位,导致许多粮食生产主体对政策内容和申请程序了解受限,制约了补贴政策的覆盖面和实施效果<sup>[27]</sup>。

二是碳交易市场建设存在较大提升空间。碳交易市场作为促进粮食生产减污降碳的新兴机制,在中国仍处于起步阶段。目前碳市场的规模较小,交易活跃度不高,且主要集中在工业和能源领域,农业碳交易尚未形成规模<sup>[28]</sup>。同时,碳排放和碳汇的核算标准与方法尚未完善,缺乏统一的计量和认证体系,进一步给碳交易带来了不确定性<sup>[29]</sup>。此外,碳交易市场的监管体系尚不健全,影响了市场的公正性和透明度<sup>[30]</sup>。这些问题限制了碳交易机制在激励粮食绿色低碳生产方面的潜力。

三是绿色金融和保险服务面临发展瓶颈与市场障碍。绿色金融和保险服务在促进粮食生产减污降碳方面具有巨大潜力,但目前的发展面临诸多障碍。一方面,适合粮食绿色低碳生产的绿色金融产品种类有限,且贷款门槛高、利率优惠不明显<sup>[31]</sup>,难以满足广大粮食生产主体的资金需求。另一方面,绿色保险产品的创新和推广相对滞后,保险覆盖面和保障程度有限,难以有效分散粮食生产主体面临的风险<sup>[32]</sup>。此外,绿色金融和保险服务的普及受到市场认知度不高、服务网络不健全等因素的制约,导致粮食生产主体获取这些服务的成本较高,参与积极性不强<sup>[33]</sup>。

### 3 减污降碳视角下粮食绿色低碳生产的优化路径

#### 3.1 制定粮食生产减污降碳路线图

一是在顶层设计上,构建粮食生产减污降碳体系。国家层面必须制定一个全面的战略规划,以构建一个旨在减少污染和碳排放的粮食生产体系。这要求政策在连贯性和系统性上保持一致,涵盖长期的粮食安全战略,并考虑实现碳达峰和碳中和的目标。此外,应通过立法和政策激励措施,促进减污降碳技术的研究、开发和应用。同时,建立一套标准体系,对粮食生产的全链条进行规范,以确保

满足减污降碳的规范要求。

二是在行动计划上,实施分阶段减污降碳策略。制定具体的行动计划是实现粮食生产减污降碳目标的关键。行动计划应明确每个阶段的目标和时间节点。在短期内,重点应放在调整粮食产业生产结构上,推广节水、节肥、节药和节能等减污降碳技术,减少化肥和农药的使用,以提高农业生产效率。中期目标是在短期成果的基础上,进一步推广循环农业和生态农业模式,建立粮食生产废弃物的资源化利用体系,提升农田有机质含量,增强农田的固碳能力。长期目标是建立一个完善的绿色低碳粮食生产体系,实现粮食生产的全过程减污降碳,以形成一种可持续的粮食生产模式。

三是在反馈机制上,建立动态监测与评估体系。为了确保粮食生产减污降碳路线图的有效执行,必须建立一个动态的监测和评估体系。这包括建立一个监测系统,用于定期收集和分析粮食生产的碳排放、碳汇和污染数据,以实时监控其环境影响。同时,需要定期评估减污降碳措施的成效,包括碳排放减少、碳汇增加和环境污染改善情况,并据此编制评估报告。根据监测和评估结果,应及时调整和优化减污降碳措施,以确保实施效果与目标相符。此外,建立一个信息共享平台,将监测和评估结果向公众公开,以接受社会监督,促进政府、企业和公众在减污降碳方面的共同参与。

### 3.2 培养粮食生产者的减污降碳意识和能力

一是正规教育体系的完善与创新。通过改革和创新正规教育体系,可以有效提升粮食生产者在环境保护和低碳实践中的意识与技能。教育是提高粮食生产者环保意识和技能的关键途径。农业院校和职业学校应增加环境保护、气候变化、绿色农业、低碳农业等相关课程,将减污降碳的理念整合到教学中。教育内容应结合理论知识与实践技能,如通过田间试验和案例分析,教授节水、节肥、节药和节能等减污降碳技术。同时,鼓励学生通过实习和参与科研项目,增强实际操作能力。教育部门应与农业部门、科研机构合作,开发符合现代粮食产业需求的教材和教学资源,确保教学内容的先进性和实用性。

二是专业培训体系的建立与实施。建立和执行专业培训体系,对于提高粮食生产者的环保意识和技能至关重要。针对在职粮食生产者,应通过多样化的培训项目提升其对国家环保政策、粮食生产环保技术、粮食安全等方面的认识。培训方式应灵活多样,包括集中授课、现场教学、远程教育等,特别应利用现代信息技术,如网络教育平台和手机应用软件,为生产者提供便捷的学习途径。培训中应重视实践技能的培养,通过模拟操作和案例分析,使生产者掌握节水、节肥、节药和节能等减污降碳技术。同时,促进生产者之间的交流和分享,营造积极的学习氛围。

三是宣传教育活动的开展与推广。通过宣传教育活动提高粮食生产者的减污降碳意识是一种有效手段。这些活动可以广泛传播环保知识,提升生产者的环保意识。宣传内容应涵盖气候变化的影响、粮食生产对环境的影响、减污降碳技术的优势等。宣传方式应多样化,包括制作和分发宣传册、举办讲座和展览、利用广播和电视等媒介进行宣传。在宣传教育中,应注重与生产者的互动,鼓励他们提出问题和建议,提高宣传的针对性和有效性。邀请农业专家和环保人士参与,增加宣传的权威性。此外,利用节庆活动和集市等场合开展宣传教育,扩大影响力。通过这些活动,可以营造有利于粮食生产者采纳减污降碳技术的社会环境。

### 3.3 加强粮食生产减污降碳技术创新和推广

一是加强粮食生产减污降碳技术的研发。在推动粮食生产减污降碳技术的创新与应用中,培育和推广优良品种是首要任务。通过选育高产、优质、绿色、抗逆的品种,可以显著减少化肥和农药的使用,从而降低对环境的污染。同时,应增加强筋弱筋小麦、优质稻谷、青贮及专用玉米、高油高蛋白大豆等的供给,以丰富绿色优质粮油产品。此外,应持续投入全基因组选择、基因编辑等生物技术的研发,以培育更多优质新品种,减少对外依赖,提升国内高端品种育种的竞争力。

二是减污降碳技术的集成创新。通过整合重大品种培育、高效精准栽培和绿色低碳丰产关键技术,可以构建一个资源利用效率高、抗逆稳产、精准

轻简化的减污降碳增产模式。针对粮食生产中的污染和碳排放问题,应重点攻关一批关键技术,如节水灌溉技术、精准施肥技术、病虫害生物防治技术、低碳农业机械等。同时,应加强国际合作,引进国外先进的减污降碳技术和管理经验,结合国内实际情况进行本土化改进。

三是减污降碳技术的示范推广。建立粮食生产减污降碳技术的示范区,通过实地展示,让粮食生产者直观地了解减污降碳技术的效果。示范区应选择具有代表性的地区,涵盖不同的气候条件、土壤类型和种植模式。制定科学的推广策略,根据不同地区的实际情况,选择适宜的减污降碳技术进行推广。推广模式可以多样化,如政府引导、企业主导、农民参与等。同时,建立推广效果的监测和反馈机制,及时了解减污降碳技术在实际应用中的效果和问题。鼓励社会各界参与粮食生产减污降碳技术的推广。政府、企业、科研机构、农民组织等应形成合力,共同推动减污降碳技术的普及应用。通过建立合作机制,整合各方资源,提高减污降碳技术推广的效率和效果。

### 3.4 建立绿色低碳粮食价值实现机制

一是政府补贴政策的优化与实施。为了激励粮食生产者提升生产积极性,并形成粮食绿色低碳生产的价值观,政府需进一步优化并实施精准的补贴政策。首先,通过提升补贴额度,特别是对采纳减污降碳技术的粮食生产者,提供更高额度的补贴,以此降低其生产成本并增加其经济效益。其次,设立专项基金,鼓励粮食生产者采纳节水、节肥、节约和节能等减污降碳技术。最后,加强对补贴政策的宣传教育,确保粮食生产者能够充分理解政策内容,并熟悉申请补贴的程序和资格要求。

二是碳交易市场的建立与完善。碳交易作为一种有效的环境经济政策工具<sup>[94]</sup>,对于激励粮食生产减污降碳具有显著作用。首先,制定明确的粮食生产碳排放和碳汇核算标准与方法,为碳交易提供科学依据。这包括对粮食生产过程中的直接排放和间接排放进行精确计量,以及对粮食生态系统的碳汇能力进行评估。其次,通过立法或政策引导,建立碳交易机制,允许粮食生产者通过减少碳排放

或增加碳汇来获得碳信用,并在碳交易市场上进行交易,从而获得经济收益。这将为采纳减污降碳技术的粮食生产者提供额外的经济激励。最后,应加强对碳交易市场的监管,确保交易的公正性和透明度,防止市场操纵和欺诈行为,保护粮食生产者的合法权益。

三是绿色金融和保险服务的创新与推广。绿色金融和保险服务是促进粮食生产减污降碳的关键工具。首先,金融机构应开发更多适合粮食生产减污降碳的绿色金融产品,如绿色贷款、绿色基金等,为粮食生产者提供低成本的资金支持,激励他们采纳减污降碳技术。这些金融产品可以与粮食生产减污降碳成效挂钩,例如,根据生产者减少的污染和碳排放量或增加的碳汇量来确定贷款额度或利率优惠。其次,保险公司应推出更多针对粮食生产减污降碳的绿色保险产品,如天气指数保险、产量保险等,以降低粮食生产者面临的自然风险和市场风险。同时,保险费率可以基于粮食生产者的减污降碳表现来确定,以此激励他们采纳更环保的生产方式。最后,通过提供保费补贴、税收优惠等措施,降低粮食生产者获取绿色金融和保险服务的成本,提高他们参与绿色金融和保险的积极性。

## 4 结论

分析了中国粮食生产在减污降碳视角下的现实基础、面临的挑战,并探讨了相应的优化路径。研究得出以下结论:首先,中国粮食生产已取得显著成就,实现了从低产到高产的历史性跨越,为国家稳定和人民福祉做出了重大贡献。然而,随着人口增长和经济发展,粮食需求持续上升,导致农业生产面临着耕地资源减少、水资源紧缺和面源污染加剧等资源环境约束,以及气候变化带来的双重挑战。其次,国家政策的引领和支持、粮食生产的技术进步与创新能力提升、市场需求的转变是推动粮食生产绿色低碳发展的关键因素。但当前减污降碳政策需进一步明确化与具体化,粮食生产者减污降碳意识与能力有待加强,减污降碳技术的创新与推广存在瓶颈。再次,提出的优化路径包括制定粮

食生产减污降碳路线图、培养粮食生产者的减污降碳意识和能力、加强粮食生产减污降碳技术创新和推广、建立绿色低碳粮食价值实现机制。这些措施旨在提高粮食生产的资源利用效率和生态效益,促进粮食产业的节能减排,实现粮食生产的绿色低碳转型和可持续发展。最后,实现粮食生产的绿色低碳发展需要政府、企业和社会各界的共同努力。政府需加强政策引导和支持,企业需积极响应政策,加大技术创新投入,而社会各界应提高对粮食绿色低碳生产重要性的认识,共同营造有利于粮食产业可持续发展的环境。

### 参考文献(References)

- [1] 国家统计局关于 2023 年粮食产量数据的公告[EB/OL]. (2023-12-11) [2024-04-25]. [https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202312/t20231211\\_1945417.html](https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202312/t20231211_1945417.html).
- [2] 何可, 张俊飏, 张露, 等. 人际信任、制度信任与农民环境治理参与意愿: 以农业废弃物资源化为例[J]. 管理世界, 2015(5): 75-88.
- [3] 我国多措并举严守耕地红线[EB/OL]. (2022-06-26) [2024-04-25]. [https://www.gov.cn/xinwen/2022-06/26/content\\_5697791.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2022-06/26/content_5697791.htm).
- [4] 2022 年《中国水资源公报》发布[EB/OL]. (2023-06-29) [2024-04-25]. [http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202306/t20230629\\_1672395.html](http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202306/t20230629_1672395.html).
- [5] 邱君. 我国化肥施用对水污染的影响及其调控措施[J]. 农业经济问题, 2007, 28(S1): 75-80.
- [6] 侯孟阳, 邓元杰, 姚顺波. 城镇化、耕地集约利用与粮食生产: 气候条件下有调节的中介效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(10): 160-171.
- [7] 何可, 朱信凯, 李凡略. 聚“碳”成“能”: 碳交易政策如何缓解农村能源贫困?[J]. 管理世界, 2023, 39(12): 122-144.
- [8] 我国食源性疾病暴发事件数量下降 11%[EB/OL]. (2023-12-13) [2024-04-25]. [http://m.xinhuanet.com/2023-12/13/c\\_1130025118.htm](http://m.xinhuanet.com/2023-12/13/c_1130025118.htm).
- [9] 刘宇翔. 消费者对有机粮溢价支付行为分析: 以河南省为例[J]. 农业技术经济, 2013(12): 43-53.
- [10] 关于政协第十三届全国委员会第五次会议第 02424 号(农业水利类 197 号)提案的答复的函[EB/OL]. (2022-08-24) [2024-04-25]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/nepzlaq/202208/t20220824\\_6407697.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/nepzlaq/202208/t20220824_6407697.htm).
- [11] “锡山大米”获碳标签证书[EB/OL]. (2023-07-27) [2024-04-25]. [http://www.js.xinhuanet.com/20230727/](http://www.js.xinhuanet.com/20230727/fc2b2438043645af8bc4ff98a2bfc097/c.html)
- [12] 王学婷, 张俊飏. 双碳战略目标下农业绿色低碳发展的基本路径与制度构建[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 516-526.
- [13] 政策脱节: 保了生态, 保不了发展[EB/OL]. (2019-07-02) [2024-04-25]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2019-07/02/c\\_1124698927.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2019-07/02/c_1124698927.htm).
- [14] 以低碳带动农业绿色转型[EB/OL]. (2021-11-03) [2024-04-25]. [http://paper.ce.cn/jjrb/html/2021-11/03/content\\_452925.htm](http://paper.ce.cn/jjrb/html/2021-11/03/content_452925.htm).
- [15] 农业现代化辉煌五年系列宣传之二十三: 大力推进农业节水 保障国家粮食安全[EB/OL]. (2021-07-13) [2024-04-25]. [http://www.ghs.moa.gov.cn/ghgl/202107/t20210713\\_6371688.htm](http://www.ghs.moa.gov.cn/ghgl/202107/t20210713_6371688.htm).
- [16] 对十三届全国人大五次会议第 4289 号建议的答复[EB/OL]. (2022-07-29) [2024-04-25]. [http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202208/t20220830\\_6408090.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/KJJYS/202208/t20220830_6408090.htm).
- [17] 杜志雄, 高鸣. 新阶段深化农村改革的关键问题和路径选择[J]. 农业经济问题, 2023, 44(9): 4-18.
- [18] 第 53 次《中国互联网络发展状况统计报告》[EB/OL]. (2024-03-22) [2024-04-25]. <https://www.cnnic.net.cn/n4/2024/0322/c88-10964.html>.
- [19] 崔军伟, 孙念超. 当前农村社会推进马克思主义大众化的问题与对策[J]. 广西社会科学, 2012(6): 10-14.
- [20] 用科技赋能乡村全面振兴[EB/OL]. (2024-02-07) [2024-04-25]. <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2024/2/517347.shtm>.
- [21] 国家农作物优良品种推广目录(2023 年)[EB/OL]. (2023-03-02) [2024-04-25]. [http://www.zys.moa.gov.cn/gzdt/202303/t20230302\\_6422033.htm](http://www.zys.moa.gov.cn/gzdt/202303/t20230302_6422033.htm).
- [22] 优化农业科技投入 提高农业科技创新效率[EB/OL]. (2022-11-23) [2024-04-25]. [https://kepu.gmw.cn/2022-11/23/content\\_36183132.htm](https://kepu.gmw.cn/2022-11/23/content_36183132.htm).
- [23] 汪洋, 王宏. 现代农业产业园发展现状、问题及对策建议[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(4): 57-64.
- [24] 高鸣, 江帆. 推进全链条粮食减损: 理论逻辑、现实困境与路径优化[J]. 中州学刊, 2022(12): 57-65.
- [25] 杨高第, 张露. 农业生产性服务对农户耕地质量保护行为的影响: 来自江汉平原水稻主产区的证据[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1848-1864.
- [26] 魏程琳. 中国东部农村的空间功能与制度安排[J]. 理论月刊, 2024(1): 123-130.
- [27] 罗浩轩. 中国农业农村碳排放趋势测算及实现碳中和政策路线图研究[J]. 广西社会科学, 2023(2): 121-131.

- [28] 田云, 蔡艳蓉. “双碳”目标下的农业碳问题研究进展及未来展望[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(3): 75-88.
- [29] 徐以祥, 刘峻宇. “购买碳汇”司法适用的法理基础和规范建构[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2023, 22(4): 29-38, 109.
- [30] 谢富胜, 程瀚. 碳市场能解决气候变化问题吗?——基于政治经济学视角的分析[J]. 教学与研究, 2014(7): 20-27.
- [31] 杜凯华, 李巧莎. 金融支持低碳农业发展问题研究[J]. 经济与管理, 2012, 26(3): 62-64.
- [32] 庞金波, 韩英荻, 尚雨航. 绿色金融与农村产业融合发展面临的困境及发展对策[J]. 学术交流, 2023(3): 96-106.
- [33] 杨世伟. 绿色金融支持乡村振兴: 内在逻辑、现实境遇与实践理路[J]. 农业经济与管理, 2019(5): 16-24.
- [34] He K, Li F L, Wang H, et al. A low-carbon future for China's tech industry[J]. Science, 2022, 377(6614): 1498-1499.

## Green and low-carbon food production from the perspective of pollution reduction and carbon emission reduction: Practical basis, main problems, and optimization pathways

MING Ruoyu<sup>1,2</sup>, LI Fanlue<sup>1,2</sup>, HE Ke<sup>1,2\*</sup>

1. College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. Laboratory of Green and Low-carbon Development in Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** This paper starts from the perspective of pollution reduction and carbon emission reduction, and deeply analyzes the realistic foundation of China's green and low-carbon food production, the main problems faced, and proposes optimization paths. The paper points out that the guidance and support of national policies, the improvement of technological progress and innovation capabilities, and the transformation of market demand are key to promoting the green and low-carbon development of food production. However, there are also issues such as the need for further clarification of policies, the need to strengthen the awareness and ability of producers to reduce pollution and carbon emissions, and technological bottlenecks. To address these issues, the paper proposes optimization strategies including the formulation of a pollution and carbon reduction roadmap, the cultivation of producers' awareness, the strengthening of technological innovation and promotion, and the establishment of a green and low-carbon value realization mechanism. These measures aim to provide theoretical and practical guidance for the green and low-carbon transformation and sustainable development of food production.

**Keywords** green and low-carbon production of food; pollution and carbon reduction; climate change; technological innovation



(责任编辑 徐丽娇)