

“双碳”目标下农业绿色低碳发展的研究进展与展望

张英杰, 张亚茹, 宋欣洋, 段秦肖, 鞠由秀

大连海洋大学经济管理学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2026年7月6日; 录用日期: 2026年8月10日; 发布日期: 2026年8月18日

摘要

在全球气候变化与资源环境约束日益加剧的背景下, 中国提出的“双碳”目标为农业绿色低碳发展指明了方向。当前, 农业已成为温室气体排放的重要来源之一, 其碳排放测算与减排技术研究备受关注。学界围绕农业碳排放的核算方法、时空格局及驱动因素进行了系统探索, 逐步形成了以生命周期评价、投入产出分析等为主体的测算体系; 同时, 在减排技术层面, 秸秆还田、测土配方施肥、低碳养殖等具体措施被证实具有显著减排潜力。另一方面, 农业碳汇功能的挖掘与补偿机制构建成为研究热点, 通过农田土壤固碳、草地恢复及林业碳汇等项目, 农业系统由碳排放源向碳汇载体的转化路径逐步清晰。政策层面, 碳排放权交易、碳普惠机制及财政补贴等手段的运用, 为激励农业低碳转型提供了制度保障。然而, 现有研究仍存在测算标准不统一、减排技术推广受限、碳汇价值评估体系不完善、政策协同性不足等短板。未来应聚焦于构建统一规范的农业碳排放核算框架, 强化减排技术集成与区域适应性研究, 完善农业碳汇交易市场与生态补偿机制, 并推动多部门政策协同与跨学科交叉融合, 以期为中国农业绿色低碳转型提供坚实的理论支撑与实践路径。

关键词

“双碳”目标, 农业绿色低碳发展, 研究进展, 碳汇补偿

Research Progress and Prospect of Green and Low-Carbon Agricultural Development under the “Dual Carbon” Goals

Yingjie Zhang, Yaru Zhang, Xinyang Song, Qinxiao Duan, Youxiu Ju

School of Economics and Management, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

Received: July 6, 2026; accepted: August 10, 2026; published: August 18, 2026

文章引用: 张英杰, 张亚茹, 宋欣洋, 段秦肖, 鞠由秀. “双碳”目标下农业绿色低碳发展的研究进展与展望[J]. 农业科学, 2026, 16(8): 1277-1282. DOI: 10.12677/hjas.2026.168154

Abstract

Against the backdrop of intensifying global climate change and growing resource and environmental constraints, China's proposed "Dual Carbon" Goals have charted a clear direction for the green and low-carbon development of agriculture. At present, agriculture constitutes one of the major sources of greenhouse gas emissions, and research on agricultural carbon emission measurement and emission reduction technologies has attracted extensive academic attention. Scholars have carried out systematic research on accounting methods, spatial-temporal patterns and driving factors of agricultural carbon emissions, gradually establishing a measurement system centered on life cycle assessment, input-output analysis and other methodologies. Meanwhile, in terms of emission reduction technologies, targeted practices such as straw returning to fields, soil testing and formulated fertilization, and low-carbon breeding have been proven to deliver remarkable carbon abatement potential. In addition, tapping the carbon sequestration functions of agriculture and establishing compensation mechanisms have become popular research topics. Through practices including soil carbon sequestration in farmland, grassland restoration and forest carbon sinks, the pathways for transforming agricultural systems from carbon emission sources into carbon sinks have become increasingly distinct. From a policy perspective, instruments such as carbon emission trading, carbon inclusive mechanisms and fiscal subsidies have provided institutional safeguards to incentivize the low-carbon transformation of agriculture. Nevertheless, existing studies still have prominent shortcomings, including inconsistent measurement standards, limited popularization of emission reduction technologies, imperfect evaluation systems for carbon sink values, and insufficient policy coordination. Future research should focus on constructing a unified and standardized accounting framework for agricultural carbon emissions, strengthening integrated research on emission reduction technologies and their regional adaptability, improving agricultural carbon sink trading markets and ecological compensation mechanisms, and promoting cross-departmental policy coordination and interdisciplinary integration. This will lay solid theoretical support and practical approaches for the green and low-carbon transformation of agriculture in China.

Keywords

"Dual Carbon" Goals, Green and Low-Carbon Agricultural Development, Research Progress, Carbon Sink Compensation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景与研究目的

在全球气候变化与资源环境约束日益加剧的背景下，中国提出的“双碳”目标(即碳达峰与碳中和目标)为经济社会各领域的绿色转型提供了明确的行动纲领。农业作为国民经济的基础产业，既是温室气体的重要排放源，也是一个巨大的潜在碳汇系统，其绿色低碳发展对于实现国家整体减排目标具有不可替代的战略意义。推动农业向低碳化、绿色化方向转型，不仅关系到粮食安全与农业可持续发展的长远大局，也是响应生态文明建设、落实人与自然和谐共生现代化理念的必然要求。

当前，尽管学界与政策层面对农业低碳发展的重要性已形成广泛共识，但围绕农业碳排放的系统测算、减排技术的有效推广、碳汇价值的科学评估以及相关政策的协同整合等关键环节，仍存在诸多尚未解决的理论与实践问题。现有研究在测算标准、技术适用性、补偿机制及政策衔接等方面的不平衡与不

充分,制约了农业绿色低碳转型的整体进程。因此,从系统梳理现有研究成果出发,深入辨析农业碳排放测算、减排技术与碳汇补偿等领域的研究进展与不足,具有重要的理论价值与现实紧迫性。本研究旨在通过对国内外相关文献的系统回顾与归纳,厘清农业绿色低碳发展的主要研究脉络,分析当前研究存在的短板与争议,并在此基础上提出未来值得重点关注的研究方向,以期为后续的理论深化与实践探索提供清晰的参考框架与逻辑起点。

2. 农业碳排放测算与减排技术研究进展

2.1. 农业碳排放源识别与测算方法研究

农业碳排放源的识别与测算,是开展农业减排固碳研究的基础性工作,也是科学制定减排政策与评估技术效果的前提。现有研究普遍认为,农业碳排放源具有种类多样、排放过程复杂、时空异质性显著等特点。从排放源类型来看,农业领域的温室气体主要来源于三个方面:其一,种植业生产过程中,稻田甲烷排放、化肥施用导致的氧化亚氮排放以及农用能源消耗产生的二氧化碳排放;其二,畜牧业养殖过程中,畜禽肠道发酵产生的甲烷以及粪便管理过程中产生的甲烷和氧化亚氮;其三,农业废弃物处理环节,如秸秆露天焚烧或不当处置所释放的碳。上述排放源的识别已为学界所公认,但不同来源的排放贡献比例及其时空波动规律仍存在较大争议。

在测算方法层面,学界已发展出多种技术路径。其中,生命周期评价法通过追踪农业生产全过程(包括农资投入、田间管理、收获运输等环节)的碳足迹,能够较为全面地刻画单位产品的碳排放强度,但该方法对数据详尽程度要求较高,且系统边界界定尚未统一。投入产出分析法则侧重于从宏观经济产业关联视角测算农业部门与其他产业之间的隐含碳排放转移,适用于宏观层面的碳排放核算,但该方法难以精细到具体作物或生产环节。此外,IPCC(政府间气候变化专门委员会)清单指南提供的排放系数法因其操作简便、数据易获取,被广泛应用于国家和区域尺度的农业碳排放估算,然而该方法的准确性高度依赖于本地化排放系数的修正。部分研究尝试通过田间实测与模型模拟相结合的方式,提升测算精度,但因成本高昂、推广受限。现有研究表明,不同测算方法在适用尺度、数据需求与结果稳定性方面差异显著,尚未形成一套被广泛接受的标准核算框架[1]。这导致不同研究结论之间的可比性不足,制约了区域减排诊断与政策制定的精准性[2]。如何构建兼顾科学性与可操作性的农业碳排放统一测算体系,仍是当前亟需突破的瓶颈问题。

2.2. 农业碳减排关键技术路径研究

在农业碳排放源精确识别与测算方法逐步完善的背景下,减排技术的路径研究成为推动农业绿色低碳转型的核心环节。现有研究围绕种植业、养殖业及废弃物处理等关键领域,探索了一系列具有显著减排潜力的技术措施,并初步形成了技术集成与推广的理论框架。

在种植业领域,减排技术主要聚焦于投入品减量与生产过程优化。测土配方施肥技术的应用被广泛证实能够有效降低化肥施用量,从而大幅减少氧化亚氮的直接排放与间接碳足迹。秸秆还田技术则通过提升土壤有机碳含量,在增强农田固碳能力的同时,减少了因秸秆露天焚烧产生的温室气体。此外,水肥一体化、保护性耕作等技术的推广,在提升资源利用效率的同时,也明显降低了农业生产的碳排放强度。

养殖业的减排路径则侧重于肠道发酵管理与废弃物资源化利用。通过调整饲料配方、添加甲烷抑制剂等手段,能够显著降低反刍动物肠道发酵产生的甲烷排放。在粪便管理环节,沼气工程与堆肥技术的应用,不仅将废弃物转化为清洁能源与有机肥料,还有效减少了甲烷和氧化亚氮的逸散。研究指出,将养殖废弃物处理与种植业需求相结合,构建种养循环的低碳生产模式,是实现系统减排的重要方向。

值得注意的是,数字技术正逐渐成为赋能农业减排的关键力量。物联网、大数据与人工智能技术的融合应用,使得农业生产过程中的碳排放监测、精准施肥与智能灌溉成为可能,从而实现了从经验管理

向数据驱动的转变。正如相关研究指出,“数智技术赋能农业绿色低碳发展是推动农业农村现代化、实现‘双碳’目标的关键路径”[3]。这一技术路径通过提升生产效率与减排效能的协同性,为农业绿色转型注入了新的动力。

然而,现有减排技术在不同区域的适用性与推广效果存在显著差异。受制于自然条件、经济发展水平以及农户认知差异,部分先进技术在中西部地区的普及率仍然偏低。如何强化减排技术的区域适应性研究,并构建可复制的技术集成模式,是当前研究亟待突破的瓶颈。未来应进一步探索“全流程资源循环-多主体协同-数字技术赋能”的综合路径,以弥补单项技术应用的局限性,推动农业减排从点状突破走向系统优化。

3. 农业碳汇补偿与政策支持研究进展

3.1. 农业碳汇功能评估与补偿机制研究

农业系统既是温室气体的重要排放源,也具备显著的碳汇功能,这一双重属性在“双碳”目标下受到越来越多的关注。农业碳汇功能的科学评估,是推动农业由碳排放源向碳汇载体转化、建立相应补偿机制的前提。现有研究表明,农业碳汇主要来源于农田土壤固碳、草地植被恢复、林业碳汇以及湿地保护等路径。其中,农田土壤固碳通过秸秆还田、保护性耕作、有机肥施用等措施提升有机碳含量,被认为是成本较低且效益广泛的增汇方式;草地恢复与退耕还林还草项目则通过植被重建与土壤保育实现碳的长期封存;林业碳汇更是成为碳交易市场的重要标的物。在评估方法层面,学界主要采用土壤有机碳库变化监测、生物量清查、遥感反演及模型模拟等路径。然而,不同方法在空间分辨率、时间周期及数据获取难度上的差异,导致评估结果的可比性较差,且缺乏对不同区域、不同作物类型碳汇潜力的精细化刻画。正如相关研究指出,农业具备碳汇系统和碳排放双重特征[4],这种双重性要求评估框架必须兼顾排放与吸收的净效应,而非孤立看待碳汇增量。

在补偿机制研究方面,国内外的探索已初步形成生态补偿、碳排放权交易与碳普惠三类主要模式。生态补偿主要通过财政转移支付对农民或农业经营主体实施固碳行为给予直接补贴,例如中国的退耕还林补贴、草原生态保护补助奖励等。碳交易机制则通过将农业碳汇项目纳入国家核证自愿减排量(CCER)体系,允许碳汇量在市场上进行交易,从而实现生态价值的货币化。近年来,碳普惠机制作为面向小型经营主体与农户的补充手段,通过积分兑换、绿色消费激励等方式,鼓励低碳生产与固碳行为。然而,当前补偿机制仍存在明显的短板:碳汇价值的核算标准尚未统一,不同项目间的核算边界与方法学差异显著,导致市场认可度与交易透明度不足;补偿资金主要依赖财政投入,社会资本参与渠道有限;农户对碳汇收益的认知与获取能力较弱,实际参与积极性不高。未来研究应着力于构建统一的农业碳汇核算方法学,探索多元化的补偿资金来源与分配机制,并强化碳汇项目开发的区域适应性,以增强制度路径的可实施性与可复制性。

3.2. 农业绿色低碳发展政策工具研究

农业绿色低碳转型的深入推进,离不开系统化的政策工具体系作为支撑。围绕“双碳”目标,学界与政策制定者已从多维度探索了激励与约束并重的政策手段,旨在为农业减排固碳行为提供制度保障与市场动力。现有研究显示,相关政策工具大致可归纳为命令控制型、经济激励型与自愿参与型三类。

命令控制型工具主要表现为碳排放强度标准、农业面源污染治理法规及技术规范要求。这类工具能够为农业经营主体设定明确的减排底线,但其刚性较强,且对不同区域、不同规模经营主体的适用性存在差异。经济激励型工具则更为丰富,包括对低碳技术采纳的财政补贴、对绿色生产方式的税收优惠,以及碳排放权交易与碳普惠机制。其中,碳排放权交易通过将农业碳汇项目纳入国家核证自愿减排量体

系,使生态价值得以在市场中变现,而碳普惠机制则通过积分兑换等方式,激励小农户参与低碳实践。自愿参与型工具则侧重于通过低碳农产品认证、绿色标签与品牌溢价,引导市场消费端形成对低碳农业的有效需求,从而反向驱动生产端转型。

从政策协同视角审视,现有政策工具在目标衔接与部门联动方面仍存在提升空间。绿色低碳目标与粮食安全、农民增收、环境保护等多重目标之间尚未形成高效的协同推进机制,部分地区甚至出现政策效果相互抵消的现象[5]。此外,政策工具的设计往往忽视区域资源禀赋与经济发展水平的差异,导致东部发达地区推广效果较好,而中西部欠发达地区则因财政能力不足、基础设施薄弱而面临实施困境[4]。正如有学者强调,构建“全流程资源循环-多主体协同-数字技术赋能”的综合路径[5],对于弥补单项政策工具的局限性具有重要意义。未来研究应着力于创新政策工具的组合模式,强化不同层级、不同部门政策之间的衔接与配套,同时注重区域差异化策略的设计,以提升政策工具在推动农业绿色低碳发展中的整体效能。

4. 农业低碳转型实践落地关键障碍

4.1. 经济收益失衡:低碳生产短期成本高、长效收益难以显性化

农业经营主体生产决策首要遵循成本收益逻辑,低碳技术、固碳经营模式普遍存在投入高、回报周期长、收益不直观的经济矛盾,制约主体主动采纳意愿。第一,低碳改造前期投入门槛高。测土配方施肥配套检测设备、水肥一体化节水设施、畜禽沼气循环工程、农田碳汇监测设备均需要一次性大额资金投入。普通小农户自有资金有限,涉农低碳专项信贷额度低、审批流程复杂,金融支持覆盖不足;规模化经营主体虽具备资金基础,但较长回本周期会挤占农业生产流动资金,降低经营主体投资意愿。第二,低碳生产正向收益难以即时兑现。秸秆还田、保护性耕作短期会增加农机作业成本、延缓作物出苗,农户短期内直观感受到减产风险;土壤固碳、草地碳汇属于长期生态效益,碳封存效果需3~5年以上才能体现,无法转化为当年农业经营收入。与之相对,传统化肥、露天焚烧、粗放养殖模式操作简单、当期产出稳定,农户倾向维持原有高碳生产习惯。第三,低碳农产品溢价机制缺失。当前国内低碳农产品、绿色农产品认证体系推广范围有限,市场尚未形成稳定的碳标签定价机制。即便农户采取低碳种养模式,也难以通过产品销售获得额外收益,仅能依靠少量财政补贴弥补成本,经济激励力度不足。

4.2. 低碳减排技术适配与采纳约束:区域差异大、落地配套不足

现有研究证实秸秆还田、种养循环、数字精准农业等技术具备显著减排潜力,但从经营主体实践层面看,技术推广存在多重落地约束。一是技术区域适配性不足。我国南北气候、土壤类型、种养结构差异巨大,统一标准化低碳技术难以适配地方生产条件。例如南方水田秸秆还田易诱发病虫害,北方旱地长期免耕易出现墒情不足;针对规模化养殖场的大型沼气工程,不适用于散户小规模养殖。现有技术研发多聚焦示范基地,缺少针对分散小农户的轻量化、低成本简易低碳方案。二是配套服务体系缺位。多数农村地区缺少常态化农技下乡指导队伍,测土配方施肥土壤检测网点覆盖不足;秸秆回收、有机肥加工、粪污处理等社会化服务产业发展滞后,农户自行完成低碳改造缺少外部服务支撑。数字低碳农业所需物联网设备、智能监测终端运维门槛高,农村缺乏专业技术运维人员,设备闲置现象普遍。三是经营规模分化带来推广壁垒。小农户地块细碎、经营规模小,单独采用低碳农机、碳汇项目边际成本极高;规模化主体虽适合成套低碳技术,但土地流转成本、连片化管理约束,也限制低碳模式连片落地。大、小经营主体差异化的技术需求,尚未形成分层适配的技术推广体系。

4.3. 主体认知薄弱、专业能力不足,低碳参与内生动力匮乏

农户与基层农业经营者对“双碳”、农业碳汇、碳交易的认知水平偏低,是制约低碳转型的软性核

心障碍。第一，低碳相关知识普及程度低。多数农户仅了解化肥减量、秸秆禁烧等基础环保要求，不清楚农田固碳、畜禽减排的碳汇价值，不了解 CCER 碳汇项目、碳普惠可以产生额外经济收益，无法形成“固碳 = 增收”的价值认知，主观上缺乏主动开展低碳生产的动力。第二，经营主体专业能力存在短板。碳汇项目开发、碳排放核算、碳交易申报需要专业测算、材料申报能力，普通农户、中小型合作社缺乏专业人才，难以独立参与碳汇市场交易；数字低碳设备操作、种养循环系统管理也要求一定数字化、标准化生产能力，中老年农户学习成本高，接受意愿低。第三，风险规避心理抑制转型行为。农业生产本身受气候、市场价格双重波动影响，农户天然厌恶生产模式变革带来的未知风险。低碳新技术、新模式缺少长期本地化示范案例，农户担心减产、增收不确定，倾向维持传统高碳生产方式，形成路径依赖。

4.4. 碳汇补偿市场机制不完善，经营主体碳价值变现渠道狭窄

碳汇补偿、碳交易是实现农业低碳行为经济变现的核心制度设计，但当前机制短板直接损害经营主体参与积极性。其一，农业碳汇项目开发门槛高。现有 CCER 碳汇项目多面向大面积林地、连片规模化农田，地块细碎、经营分散的小农户无法单独开发碳汇项目，难以直接进入碳市场获取收益；碳普惠积分兑换品类有限、兑换渠道单一，小额碳收益对农户吸引力微弱。其二，碳汇核算标准不统一，收益分配机制模糊。不同碳汇项目采用的测算方法、排放系数存在差异，碳汇量核算结果认可度不一；碳汇项目产生的经济收益，在村集体、土地承包农户、经营主体之间缺少清晰分配规则，易产生利益纠纷，打击农户参与积极性。其三，社会资本参与农业碳汇渠道有限。当前农业碳汇补偿资金仍以各级财政补贴为主，企业自愿购买农业碳汇抵消碳排放的市场需求不足，碳汇价格偏低，难以覆盖经营主体开展固碳生产的额外成本，市场激励作用微弱。

5. 研究结论与未来展望

基于前文对农业碳排放测算、减排技术、碳汇补偿、宏观政策，以及微观农户与经营主体实践障碍等方面的系统梳理，研究得出以下主要结论。当前，学界已较为清晰地识别了农业领域的温室气体排放源，并形成了以生命周期评价、投入产出分析及排放系数法为主的测算方法体系。然而，不同方法间在系统边界、数据需求及适用尺度上的差异显著。现有证据显示，在数字技术赋能下，测土配方施肥、秸秆还田及种养循环等减排技术已被证实具备显著减排潜力，但受经营主体经济约束、区域适配性不足、基层农技服务缺位等实践障碍限制，技术规模化推广受阻。农业碳汇功能及其补偿机制的研究同样取得进展，围绕土壤固碳与生态系统恢复形成了多种评估路径，并探索了生态补偿、碳交易及碳普惠等激励机制。然而，测算标准不统一、价值核算体系不完备、农户碳收益变现渠道狭窄、低碳生产短期经济激励不足及政策协同性不足等问题，制约了农业绿色低碳转型的整体效能。

参考文献

- [1] 初金哲, 吕嫚, 许春姝. “双碳”目标下农业绿色低碳发展的现实挑战及实现路径[J]. 当代农村财经, 2026(4): 35-40.
- [2] 李凡略, 何可. “双碳”目标下农业绿色低碳发展研究: 现状、困境与展望[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2025, 25(6): 101-116.
- [3] 荣越, 黄高彦, 宋春晓, 等. 数智技术赋能农业绿色低碳发展的动力机制、工程路径与系统仿真[J]. 农业工程学报, 2026, 42(4): 78-90.
- [4] 王雪蕾. “双碳”目标下农业绿色低碳发展现实障碍与路径研究[J]. 商展经济, 2026(5): 142-145.
- [5] 胡江峰, 黄庆华. 数字乡村建设对农业农村碳减排成本的影响: 机理与实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2025, 35(2): 78-87.