智慧农业赋能农业绿色转型的逻辑、障碍与建议——基于技术革新视角

顾雪微[1]，赵向豪[2*]

（1. 新疆财经大学信息管理学院，新疆乌鲁木齐 830012，中国；2. 新疆财经大学经济学院，新疆乌鲁木齐 830012，中国）

摘 要：［**目的/意义**］现代农业发展通过采用智慧农业技术推进农业绿色转型发展，实现农业生产技术范式转型，增加农业的期望产出，降低农业的非期望产出，从而提升农业绿色全要素生产率。本文旨在对智慧农业技术革新赋能农业绿色转型开展系统研究，重点厘清其赋能农业绿色转型的内在逻辑，深入剖析存在的障碍，并提出可行的对策建议，以全面提升智慧农业技术革新对农业绿色转型的赋能效果，为农业绿色转型注入新的活力。［**进展**］系统探究了智慧农业技术革新赋能农业绿色转型的内在逻辑：从数据维度切入，构建多源异构的农业数据采集体系，夯实数据根基；从算法层面发力，借助智能决策重塑资源配置模式，实现精准调控；在设备领域推进，突破传统装备创新范式，提升生产效率；自生态视角着眼，构筑绿色生态监测体系，实现农业可持续发展。通过“数据-算法-设备-生态”的协同演进，构成智慧农业赋能农业绿色转型的创新逻辑。同时，研究发现智慧农业的技术革新赋能农业绿色转型面临诸多障碍，如核心能力缺失与技术落地场景的适配性危机、市场需求侧与供给侧的适用性错配、政策培育的协同缺失与标准体系结构性缺失等。［**结论/展望**］提出如下对策建议：打破技术应用“最后一公里”，激发农业主体能动性；加速市场化进程，提升农业绿色资源配置效率；加强顶层设计，形成普惠型智慧农业新格局。

关键词：智慧农业；农业绿色转型；赋能逻辑；赋能障碍；农业数据；新质生产力

中图分类号：F303.3 **文献标识码：**A **文章编号：**SA202505010

引用格式：顾雪微, 赵向豪 . 智慧农业赋能农业绿色转型的逻辑、障碍与建议——基于技术革新视角[J]. 智慧农业(中英文), 2026, 8(3): 40-50. DOI：10.12133/j.smartag.SA202505010

GU Xuewei, ZHAO Xianghao. Logic, Impediments and Suggestion of Smart Agriculture-Enabled Green Transition in Agriculture: Based on the Perspective of Technological Innovation[J]. Smart Agriculture, 2026, 8(3): 40-50. DOI：10.12133/j.smartag.SA202505010 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

农业绿色转型作为新质生产力在农业领域的具体体现，其“新”的关键在于创新驱动，“质”的锚点在于高质量发展[1]。具体而言，农业绿色转型，指的是农业在绿色发展理念引领下，以绿色技术为核心驱动力，逐步从以往单纯追求经济增长的传统农业模式，转变为“减排”与“增效”协同共进、生态效益与经济效益并驾齐驱的新型农业发展形态的过程。

智慧农业又称数字农业或信息农业[2]，是将大模型、物联网、大数据等技术运用到农业中，通过传感器采集数据，利用移动平台或电脑平台对农业生产进行控制，实现农业生产的精准化、智能化和高效化。它涉及农业信息快速获取、农田种植、土地管理、农药利用、污染控制、农业工程设备及其产业化技术等多种农业高新技术，是中国由农业大国迈向农业强国的必经之路。随着 2017 年提出的《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》和 2018 年提出的《乡村振兴战略规划（2018—2022 年）》，中央和各部门连续提出了一系列重要举措

收稿日期：2025-05-13

基金项目：国家社会科学基金一般项目（22BGL165）

作者简介：顾雪微，硕士，讲师，研究方向为数据管理与分析预测。E-mail：1048307092@qq.com

*通信作者：赵向豪，博士，副教授，研究方向为中国特色社会主义经济理论与农业经济问题。E-mail：709007878@qq.com

copyright©2026 by the authors （登录 www.smartag.net.cn 免费获取电子版全文）

发展智慧农业，在持续关注农业绿色转型的同时，不断深化数字化绿色化协同转型发展，实现数字化赋能现代农业绿色化转型，支撑农业现代化建设[3]。相关政策文件如图1所示。

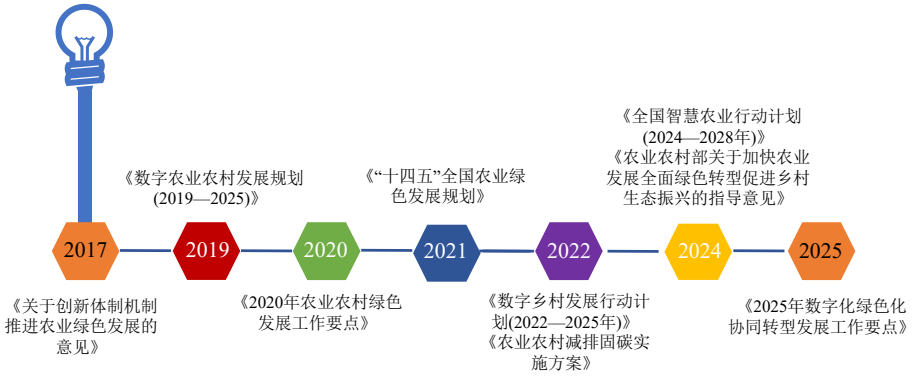


图1　2017—2025年提出的关于发展智慧农业和推动农业绿色转型的相关政策文件

Fig. 1　Policy documents pertaining to smart agriculture development and agricultural green transition promulgated from 2017 to 2025

在此背景下，根据马克思生产力和生产关系矛盾运动规律，新型生产力的发展需要与之相适应的新型生产关系[4]。现代农业发展通过采用智慧农业技术推进农业绿色转型发展，实现农业生产技术范式转型，增加农业的期望产出，降低农业的非期望产出，从而提升农业绿色全要素生产率。智慧农业通过突破传统生产边界，实现降耗增效与生态保护的协同发展，为农业绿色转型提供了强有力的技术支持。据此，从本体论、认识论、方法论[5]三个层面阐释智慧农业技术革新的内涵，这些创新如何使智慧农业成为农业绿色转型的关键驱动力，也是实现农业高质量发展与生态文明建设深度融合的必由之路。

从本体论视角审视，农业绿色转型的全环节覆盖[6]包括：（1）农业空间布局绿色转型。遵循“因地制宜、宜农则农”，科学规划农业空间布局，适配资源环境承载力，优化产业结构，构建生态友好型布局体系。（2）农业资源利用绿色转型。以水土保持为核心，推广节水灌溉、提升耕地质量等技术，强化综合生产能力；推进农业废弃物资源化利用，构建资源节约型路径。（3）农业生产手段绿色转型。加强农业基建，推进农机装备绿色化、智能化改造；集成推广绿色生产技术，加快智慧农业应用，构建智慧化绿色生产体系。（4）农业产业链绿色转型。以全产业链转型为目标，推动农村一二三产业融合，发展精深加工、冷链物流等业态，延伸绿色产业链，提升附加值。（5）农产品供给绿色转型。对接消费升级，推动农产品供给优质化、多元化、营养化；完善质量标准体系，构建全链条信息化监管网络，保障绿色供给。（6）农产品消费绿色转型。强化绿色食品等认证，探索“碳标签”机制；提高全民健康与环保意识，提升绿色低碳产品市场占有率，倡导绿色消费方式。（7）农业生态环境绿色转型。聚焦减污降碳、资源利用与生态修复，通过防治农业面源污染、推广化肥农药减量增效、发展种养循环、提升耕地质量及保护生物多样性，构建绿色低碳农业体系[7]。智慧农业的技术革新以农业对象、农业环境、生产过程的三维数字化建模为基础，构建起覆盖农业空间布局、农业资源利用、农业生产手段、农业产业链、农产品供给、农产品消费、农业生态环境全环节的绿色转型数字化系统，重构传统农业的生产模式，实现农业系统要素的可视化表达、状态参数的实时采集与动态分析，进而通过数据融合与智能算法形成决策支持，最终达成农业生产系统的精准化调控与智能化优化，为破解农业高碳发展困局提供了系统性解决方案。

从认识论视角审视，面对全球气候变化、资源约束与生态压力的多重挑战，农业绿色转型已超越单一环节改良，演变为涵盖经济、生态、社会多维目标的系统性变革[8]。绿色技术作为这场变革的核心驱动力，通过构建“感知-传输-分析-决策-执行”的智慧农业闭环，实现了农业生产函数的根本性重构。这种重构不仅体现为物联网设备、大数据分析等工具层面的技术升级，更深层次地推动着传统农业从经验驱动的边际改进向数据驱动的范式突破跃迁。当数字孪生技术赋予农业系统自我学习与优化能力时，农业生产开始呈现指数型增长特征——技术、组织、制度三大要素形成协同创新网络，推动农业从自然再生产过程向数据再生产与自然再生产

深度耦合的新型生产方式演进[9]。这种转变标志着人类对农业系统的认知与改造进入新阶段，在实现资源高效利用、生态环境保护与经济价值创造的动态平衡中，绿色技术正引领农业绿色转型迈向量子跃迁式的创新发展路径。

从方法论来看，农业绿色转型的理论研究正逐步深化其内涵建构，核心聚焦于“转型路径”的系统性探索。学者基于农业多功能性视角[10]，重新界定绿色转型的复合价值内涵；在技术创新维度[11]，构建资源高效利用与环境友好的技术解决方案；从竞争策略视角出发[12]，提出市场导向的绿色转型战略选择；在宏观驱动层面，依托低碳带动视角[13]，设计政策引导与碳减排协同的转型机制。智慧农业作为现代农业技术集成的核心平台，正在农业领域掀起一场深刻的变革。在信息感知方面，通过遥感卫星、无人机和地面传感器等设备，可以实现对农田环境的实时监测和数据分析，为农业生产手段绿色革新提供科学依据。在智能决策方面，利用大数据分析和机器学习技术，可以对农田环境、作物生长周期和农业资源进行深入挖掘和分析，为农业资源利用绿色转型提供科学的决策支持。在精准作业方面，通过集成先进的自动化设备和机器人技术，可以实现农田作业的智能化和自动化，提高农业绿色生产效率和质量。

综上所述，智慧农业的技术革新为农业的绿色转型提供了新的思路和解决方案。本研究将深入探讨智慧农业的技术革新如何赋能农业绿色转型，系统分析其内在逻辑，深入剖析存在的障碍，并提出可行的对策建议。

1 智慧农业技术革新赋能农业绿色转型的逻辑

本研究遵循“系统探究-障碍剖析-对策建议”的递进式研究方法，基于研究目标与内容，研究思路如图2所示。

农业绿色转型涵盖农业空间布局、农业资源利用、农业生产手段、农业产业链、农产品供给、农产品消费、农业生态环境等环节。而智慧农业的技术革新通过数据要素渗透、智能装备替代、全链协同创新，重构了农业绿色转型的技术底座与商业模式，推动了从数据孤岛到生态闭环的技术突破。其技术逻辑本质上是利用“数据-算法-设备-生态”的协同进化，将农业生产的“经验依赖”转化为“数据智能驱动”，在提升效率的同时构建生态正循环，

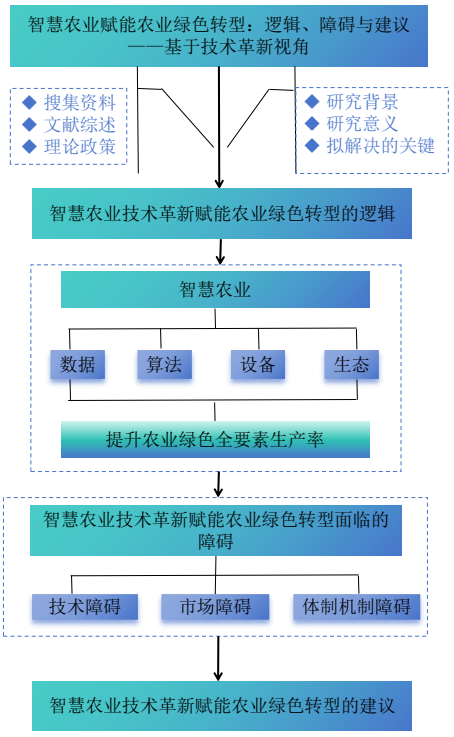


图2 智慧农业赋能农业绿色转型的总体研究思路

Fig. 2 The overarching research framework for smart agriculture-enabled green transition in agriculture

为农业绿色转型提供可量化的技术实现路径，如图3所示。

1.1 数据层：构建多源异构采集体系，夯实数据根基

在新一轮技术革命和产业变革的背景下，智慧农业将数据要素融入农业绿色生产环节，对于改造传统农业、转变农业发展方式具有重要意义。第一，农业现代化的新基建逻辑。在数字经济时代，数据已成为继土地、劳动力、资本、技术之后的第五大生产要素[14]。智慧农业的技术革新首先聚焦于数据层的重构，将农业绿色转型理念深度嵌入其技术体系。其逻辑起点在于农业信息论[15]与生态经济学的交叉融合。通过构建多源异构数据采集体系，依托多种绿色技术嵌入环境监测，实现农业活动数字孪生与绿色映射，解决数据采集痛点，构建含生态参数的数字底座，为决策优化提供支撑。第二，农业数据的复杂性管理。农业数据多源异构源于生产系统开放及与自然生态系统耦合。智慧农业突破数据采集体系兼容性与内化绿色转型的目标，采用低功耗广域网络（Low-Power Wide-Area Network，LPWAN）技术，开发太阳能供电模块降低能耗。通过标准化与语义对齐技术，嵌入生态约束

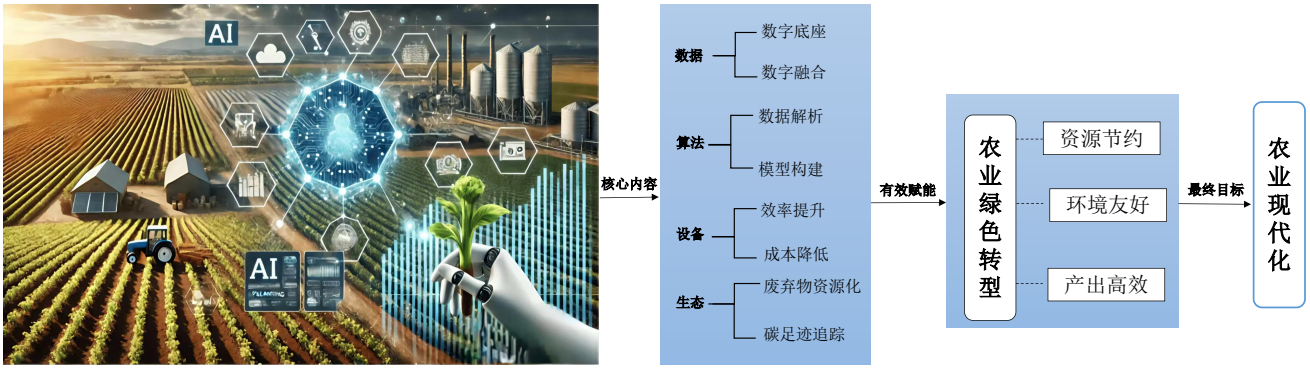


图 3　智慧农业赋能农业绿色转型的技术逻辑

Fig. 3　The technical mechanisms of smart agriculture enabling the green transition in agriculture

条件，构建多模态融合模型，实现数据融合与互操作。如农作物长势监测中，通过深度学习历史种植数据、气象信息、土壤墒情等多维农业要素，智慧平台可精准预测病虫害风险、产量波动及市场趋势，为农户提供科学种植方案。表 1 汇总了智慧农业的典型应用场景及实践效益，直观展现了数据要素对农业绿色转型的赋能效果。

表 1　智慧农业赋能农业绿色转型的典型应用案例及效益分析

Table 1　Smart agriculture-enabled agricultural green transition: exemplary implementation cases and benefit analytics

技术方案	实际案例	实施模式	实施效果
人工智能+水肥一体化	北大荒集团鹤山农场	以智慧农业全国重点实验室项目为依托，通过模型计算生成变量施肥处方图；通过水肥一体化系统控制中心的云计算，实现分区按需自动灌溉和施肥，形成了田间农事信息“采、传、算、用”的全链路数据处理、执行模式	水肥利用率提高到 60%，减少化肥用量 5%，粮食增产 8%
人工智能+农作物害虫防控	江苏姜堰井贤农场示范基地	平台可以通过输入作物、病种和环境信息，实现精准响应和无人机施药参数的指导	水稻区农药滥用率下降 20%
人工智能+农业决策	巨野县太平镇	通过对气象、土壤、市场数据的深度分析，农户依据精准气象预警，提前采取保温措施，守护麦苗安全	收集气象环境、土壤养分、虫情、病害、作物长势等 8 大类信息，为绿色农事决策提供数据支撑
人工智能+农情服务	巨野县核桃园镇	依托“作物云-农田遥感监测系统”，农户们精准掌握小麦生长动态，科学开展穗期病虫防控和抗旱减灾工作	小麦生育期监测分布图、干旱诊断图清晰呈现，让农业绿色生产管理更加精准高效
人工智能+多光谱无人机	潍坊市安丘市石堆镇岳家官庄村的智慧化示范田	用智能传感装置构建数据采集网络，通过中化现代农业技术服务平台（Modern Agriculture Platform，MAP）智能算法模型，生成“一田一策”的种植方案	化肥用量直降 20%、麦苗均匀度提升超 10%
人工智能+麦田管理	南阳市新野县施庵镇的高标准农田	通过收集卫星影像、无人机航拍，并进行光谱分析、气象站实时监测、土壤墒情等数据，传回大数据处理中心，由农业专家提出农事精细化管理方案，新型喷灌机-指针式喷灌机进行作业	亩均节水 120 m^3，节水率达到 48%

1.2　算法层：重塑资源配置模式，实现精准调控

智慧农业利用算法技术构建“数据解析-模型构建-决策优化-绿色效应”的闭环，通过提升农资供应水平、增强农资精准利用效率，将农业经验决策转化为人工智能智能驱动，进而打破农业绿色转型桎梏，实现农业资源利用绿色转型。

第一，农业知识的数字化解构。农业经验决策的本质是模糊逻辑与隐性知识的集合，而数据解析的核心任务是通过算法将非结构化经验转化为结构化数据。基于卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）[16] 与循环神经网络（Recurrent Neural Network, RNN）的混合架构，系统可优先识别资源消耗节点，解析农业数据的时空特征。引入贝叶斯网络（Bayesian Network）[17] 构建农业知识图谱，将高温高湿导致病害暴发等经验规则转化为

概率图模型。采用模糊逻辑（Fuzzy Logic）[18]处理农业数据的模糊性，将土壤肥力中等模糊表述转化为隶属度函数，通过模糊推理系统生成施肥建议，使决策更符合农业绿色生产的实际情境。

第二，农业系统的认知建模。模型构建是算法层的核心，其目标是通过数学建模实现对农业系统的认知映射。智慧农业综合运用机器学习模型，应用于精准种植决策、病虫害绿色防控、碳足迹与生态优化、供应链与市场优化等场景。例如，长短期记忆网络（Long Short-Term Memory, LSTM）模型预测作物需水量以优化灌溉计划，XGBoost回归优化物流路径，ResNet34改进提升病虫害识别准确率，强化学习动态调整灌溉策略，迁移学习减少病虫害识别模型训练数据量。智慧农业利用算法逻辑解构农业知识体系，借助认知建模实现农业系统的创新性重构，通过闭环控制实现数据到行动的转化，最终通过精准资源利用达成农业可持续发展的目标，推进农业绿色转型进程。这场算法驱动的农业革命，标志着人类从征服自然的工业化思维，向与自然和谐共生的生态文明思维转变。

1.3 设备层:突破传统装备创新范式,提升生产效率

智慧农业通过自动化生产管理、智能化机械收割推动农业生产手段绿色转型。其核心逻辑在于构建“设备升级-效率提升-成本降低-环境友好”的技术闭环，实现农业生产与生态保护的协同发展。

第一，农业装备的智能化跃迁。传统农业装备的本质是能量转换工具，其功能局限于机械力的放大与传递。智慧农业基于大模型技术中计算机视觉与多传感器融合，开发适应复杂农田环境的无人驾驶农机，实现厘米级路径规划与避障，并搭载土壤成分传感器与智能算法，实时分析土壤湿度、肥力数据，动态调整耕作参数，减少化肥、农药过量使用，降低碳排放。同时，利用大模型技术和机器人技术，研发出适用于不同农产品的自动化采摘设备，通过精准识别与轻柔操作减少机械损伤，降低果实腐烂率。如合肥市长丰县草莓采摘机器人，配备高分辨率摄像头与高精度机械手臂，通过视觉识别技术，准确判断作物成熟度与位置[19]。

第二，生产函数的重构与优化。设备升级直接提升农业生产效率，通过精准作业减少化肥、农药等农资过量使用，降低环境污染，突破传统生产函数边际报酬递减规律。智能设备使要素投入的边际产出持续提升，并突破人类劳动生理限制，实现全天候环境友好型作业与多任务并行处理。

第三，全生命周期的经济性革命。设备层技术的成本降低效应不仅体现在直接人力成本节约，更在于全生命周期的成本优化。江苏省吴江区通过机器人除草、覆膜插秧、侧深施肥等绿色新质生产力技术，赋能形成集约节约、循环高效的绿色生态型无人农场发展新模式[20]。当拖拉机进化为移动的超级计算机，采摘臂升级为精准的生物工程师，农业便从体力密集型产业蜕变为技术密集型产业。这场设备驱动的农业革命，标志着人类从依赖自然的农耕文明，历史性地向驾驭自然的智能文明跨越。

1.4 生态层:构筑生态监测体系,实现农业可持续发展

智慧农业通过废弃物资源化、碳足迹追踪等生态优化措施，构建“资源循环-碳减排-生态监测”的闭环，实现农业生态系统的自我调节与持续优化，从而推动农业绿色转型。

第一，农业生态系统的物质流重构。资源循环的本质是打破传统农业“资源-产品-废弃物”的线性代谢模式，构建“资源-产品-再生资源”的闭环系统。通过生物转化、热化学转化等技术，将农业废弃物转化为高值化产品。智慧农业通过在线分析粪便成分，精准调控发酵参数，加速腐熟过程，提升有机肥质量，并改造废旧水泥窑生产高效矿物质肥料，实现工业废弃物的资源化利用。基于物质流分析（Material Flow Analysis, MFA）理论，构建农业系统的物质代谢模型，系统可追踪化肥从生产，到施用，再到作物吸收的全过程，通过氮素利用效率指标量化资源浪费[21]。

第二，农业气候责任的主动担当。农业既是碳源也是碳汇，其碳减排的紧迫性源于全球气候变化的压力。在碳足迹追踪上，通过追踪农产品从生产到消费的全流程碳排放，生成碳足迹报告，结合气象数据与土壤湿度传感器，动态调整灌溉与施肥方案，减少资源浪费[22]。此外，智慧农业利用AI无人机与图像识别，监测农田周边鸟类、昆虫活动，评估生态影响，并实时监测水体、土壤中的重金属与农药残留，提前预警污染风险。例如，新疆昌吉棉花碳足迹试点搭建物联网碳监测体系，借助传感设备与AI无人机采集全流程种植数据，自动核算棉花碳足迹。依托监测数据推行减肥节水、秸秆炭化技术，大幅降低农田碳排放，氮肥施用减少

25%[23]。

第三，农业生态安全的守护机制。生态监测是农业绿色转型的“眼睛”，其核心价值在于提供实时、精准的生态状态信息。基于遥感、物联网、无人机等技术，构建“空天地一体化”监测体系，卫星遥感可监测区域植被覆盖度，无人机可捕捉田间微地形变化，地面传感器可实时监测土壤质量。引入生物完整性指数（Index of Biotic Integrity, IBI）[24]、土壤质量指数（Soil Quality Index, SQI）[25]等指标，构建农业生态健康评估框架，系统可通过分析昆虫多样性、微生物群落结构等参数，评估农田生态系统的稳定性。基于机器学习算法构建生态风险预测模型，系统可提前预测病虫害暴发概率，并生成生物防治、物理防控等综合方案，减少化学农药的使用。这一过程不仅体现了技术进步的力量，更揭示了农业作为生态系统的本质属性。当秸秆转化为肥料，当碳汇成为资产，当监测数据守护生态安全时，农业便实现了生态环境层面的绿色转型。

2　智慧农业技术革新赋能农业绿色转型面临的障碍

中国农业绿色转型虽已取得初步成效，但在向纵深推进的征程中，仍面临技术、市场与体制机制层面的多重掣肘。在“大国小农”的国情农情背景下，传统生产方式向智慧化、绿色化转变的复杂性不容小觑，智慧农业技术的适配性与推广普及面临着严峻挑战。智慧农业作为农业强国和“双碳”目标[26]两大战略目标的关键引擎，其深度融合应用与全方位推广，尚有诸多难题亟待攻克[27]。由此可见，借助智慧农业提升中国农产品绿色竞争力的任务艰巨，农业绿色转型之路依旧任重道远。

2.1 技术障碍：核心能力缺失与技术落地场景的适配性危机

在智慧农业发展初期，农业基础设施投入成本过高、技术成果转化效率低下、农民对数字农业模式认识程度不足等限制无法得到有效破解；智慧农业全流程信息化、自动化、智能化程度不足在一定程度上桎梏着农业绿色转型的深度[28]。

一是高端传感器与智能芯片的“卡脖子”困境[29]。农业传感器作为数据采集的神经末梢，其技术成熟度直接决定数据质量。中国传感器产业快速增长，应用模式也日渐成熟。目前，中国传感器产品约6 000种，而国外已达20 000多种，远远满足不了国内市场需求。中高端传感器进口占比达80%，传感器芯片进口更是达90%，国产化缺口巨大。其中数字化、智能化、微型化等高新技术产品严重短缺。国家重大装备所需高端产品主要依赖进口，生物信息传感器产品，如作物生长信息传感器、畜牧养殖信息传感器、水产养殖信息传感器几乎都来自国外企业，中国相关产品仍处于研发和试用阶段，真正市场化的产品不多，使得农业绿色转型进展缓慢[30]。

二是算法黑箱与决策信任危机。技术可解释性是农业技术推广的关键。首先，大多数大数据模型的决策逻辑呈现“黑箱”特性，缺乏面向农业生产者的可视化解释路径。农户的传统经验与大数据决策冲突，农户对预测结果的信任度不足，间接制约了绿色技术推广效率，限制了农业生产方式的绿色转型[31]。其次，智慧农业虽被寄予了精准减量的期待，但在实践中却陷入技术增量不减量的悖论。农业面源污染已成为水体富营养化与土壤退化的主要诱因，当前，中国农业化肥利用率仅为40.2%[32]，导致大量氮、磷元素及化学残留物通过地表径流进入水体。更严峻的是，数字技术的硬件依赖可能加剧污染风险，如无人机植保作业因缺乏药液漂移的控制算法，对邻近田地造成损伤。

三是小农户场景的技术“高攀不起”。虽然高科技企业通过模型架构革新、边缘计算适配和开源生态构建降低了成本，但农业绿色转型的整体成本控制仍然面临挑战。农业生产大模型的训练需要海量高质量数据，不同区域、不同主体的数据格式差异导致模型迁移成本高昂。小农户会因初期投资过大而望而却步，从而加剧“强者愈强”的马太效应，需要在投入与产出之间找到平衡。更严峻的是，小农户的数字素养不足，数字工具使用率较低，即使获得技术补贴，其设备闲置率仍达40%。这种“技术-主体”错配的现象，导致智慧农业呈现“规模化农场加速、小农户掉队”的分化态势，从而缩减绿色技术的辐射广度，阻碍农业绿色转型进度。

2.2 市场障碍：需求侧与供给侧的适用性错配

智慧农业能够通过提升化肥利用效率、降低农业碳排放量、治理水土流失现象等途径对农业绿色转型产生一定的赋能效应。然而，这种赋能效应并不是无条件的，从而使得智慧农业只能在有限程度

内对农业绿色转型产生影响。

一是市场需求不足。农业领域对大模型软件的需求疲软，本质上是绿色技术采纳意愿与绿色技术适用性之间的错位。首先，受文化素质、数字素养、组织程度和信息渠道等因素的影响，农户对数字技术、绿色农资等新型农业生产要素的采纳程度较低，在一定程度上阻碍了农业绿色转型进度。其次，农业经营的微利特性。当亩均土地年净利润不足300元时，农户难以承受动辄数万元的年费订阅模式，进一步削弱了支付意愿。

二是竞争态势激烈。需求不足直接加剧了大模型技术市场争夺的激烈程度[33]。全球智慧农业软件市场虽以18%的年复合增长率扩张，但产品同质化严重。中国市场前十大企业的产品功能重叠率高，集中在环境监测、病虫害识别等基础模块，而真正涉及决策优化、价值链整合的高端功能缺失。这种“增量不增质”的供给过剩，导致行业利润率降低。为争夺市场份额，部分企业降低智能灌溉系统的年服务费；部分企业为追求短期数据增长，采用免费试用+数据绑架策略，通过锁定农户历史数据形成转换壁垒，这种畸形竞争模式严重扰乱市场秩序。

三是市场供给的适应性困境。智慧农业技术市场供给存在“规模偏好”与“区域盲视”，中国2.1亿小农户的经营规模与绿色技术的规模经济要求形成根本冲突。智慧农业的硬件投入，如智能传感器、物联网终端具有高固定成本特征，导致单亩成本随经营规模扩大而递减，形成规模越大越经济，小户越用越贵的悖论。同时，不同作物、不同气候区的种植管理差异，要求大模型具备极强的场景适配能力，而当前多数农业AI产品仍停留在“通用模型+简单适配”阶段，难以满足农业绿色转型的资源利用精准化需求。

2.3 体制机制障碍:政策培育协同缺失与标准体系结构性缺失

数字化政策是智慧农业发展的基础支撑。近年来，政府不断颁发智慧农业相关的政策文件，加大智慧农业相关的财政支出，加速智慧农业发展进度。但智慧农业在赋能农业绿色转型过程中，仍面临着多重体制机制障碍，这些障碍深度制约了技术潜能的释放与产业价值的实现，这在一定程度上制约了农业绿色转型的智慧农业赋能作用。

一是政策培育协同缺失。现有政策多聚焦于硬件补贴与示范项目，例如对农业物联网设备采购、绿色农业基础设施搭建等方面给予较多资金与政策倾斜。对数据要素市场培育、算法模型研发等软性投入支持不足。这种“重建设、轻运营”的政策导向，导致大量农业大数据平台在建设完成后，因缺乏持续运营与有效应用的配套政策，使得约85%的农业大数据平台陷入建而不用的尴尬困境，严重阻碍了农业绿色转型的深入推进，绿色技术落地能力待提升。例如，2023年吉林省榆树市投入500万元搭建智慧农业平台，因忽视农民需求且未对农民进行操作培训，平台使用率不足10%，大量功能闲置[34]。

二是数据产权界定模糊。农田环境数据、作物生长模型等数字资产的权属尚未明确，阻碍了农业数据交易市场发展。农业数据兼具公共属性与私有属性，但现行法律体系未明确界定其权属边界。

三是标准体系的结构性缺失。当前，农业信息资源分类标准不统一，导致跨部门、跨区域的数据共享面临绿色技术壁垒。以农产品溯源体系为例，生产、加工、物流环节的数据标准差异，可能造成溯源信息断链。此外，数据采集覆盖面不足、标准修订周期过长，未能及时跟上国际技术进步，标准化程度低，使得基于大数据的决策支持系统难以建立。例如，由于缺乏统一技术标准，导致监测数据的可比性降低，区域间虫情数据的相关系数仅为0.35～0.45，严重制约了病虫害预测模型的准确度(误差率增加40%以上)，给科研数据整合分析及农业决策支持带来显著不确定性[35]。

四是碳足迹核算的方法标准缺失。智慧农业在农业碳资产管理中的潜力受制于方法学标准缺失，全国农用地碳汇监测平台虽能计算固碳量，但因未建立区域性碳交易基准线，导致碳汇价格比林业碳汇低。在此障碍下，借助智慧农业提升碳汇交易和农产品绿色竞争力的任务艰巨，制约了农产品消费绿色转型。

3 智慧农业技术革新赋能农业绿色转型的建议

智慧农业已在实践中形成并展示出对农业绿色转型的强劲支撑力与推动力，主要表现在技术层面的创新协同推进。针对智慧农业技术革新赋能农业绿色转型过程中面临的障碍，从农业对象、农业主体、农业生产工具这三个关键层面精准施策[36]，加速推进农业数字化建设步伐，充分释放智慧农业

对农业绿色转型的强大驱动力，强化其正向赋能作用。

3.1 打破技术应用“最后一公里”，激发农业主体能动性

为破解小农户技术应用“最后一公里”难题，合理推进农业产业多主体参与是稳步跨越智慧农业低效赋能农业绿色转型阶段的有效手段。核心在于构建“政府引导+市场运作+社会参与”的技术服务网络，各参与主体在组织架构、职责分工，以及协同合作模式上开展创新，进而搭建起高效运转、能够契合生产与需求且具备包容性的产业链体系。在硬件层面，建设县乡两级智慧农业服务站，配备智能灌溉控制器、土壤检测仪等设备，提供“以租代售”的共享服务模式；在软件层面，推动高校、科研院所与企业联合成立“农业传感器创新中心”，共享测试平台与数据资源，重点支持数字化、智能化、微型化传感器研发。创新中心可研发“数据采集-模型算法-智能决策”为一体的农业生产空间布局动态监管平台，为农户提供从种植规划到销售对接的全流程决策支持，助力优势特色农产品产业带建设和高质量发展。同时，政府以购买服务方式支持开展小农户技术托管，通过引进培育专业化农业服务商，社会资本通过股权合作参与服务站建设，形成政府主导、各方参与的良好氛围。此外，应建立技术采纳效果评估体系，将服务成效与补贴政策挂钩，形成可持续的商业闭环。通过这种多方协同模式，可降低小农户技术采纳成本，推动大中小农户协同发展。

3.2 加速市场化进程，提升农业绿色资源配置效率

为提升农业绿色资源配置效率，需以市场化改革为抓手，构建供需双向驱动新模式。在需求侧，政府需从传统文化中汲取智慧，借助宣传教育手段，大力弘扬人与自然和谐共生的价值观，以此增强农民的生态意识。通过完善绿色产品认证体系与激励机制，推动市场价格信号精准反映环境价值，引导农民从被动接受标准化产品转向主动提出个性化绿色需求，以需求升级倒逼供给结构优化。在供给侧，政府应实行差异化补贴机制，对开发特色品种、应用绿色技术、拓展精深加工的企业给予梯度奖励，形成优质优价的市场导向。通过培育新型农业服务组织，搭建技术共享平台与品牌孵化中心，降低中小主体差异化发展的创新成本与市场风险，加速形成“小而美”“专而精”的产业生态。供需协同作用下，通过智能算法实现土地、资本、绿色技术等要素的精准匹配，推动生产模式从规模偏好型向需求导向型定制转变，为农业绿色转型构建可持续的内生发展动能。

3.3 加强顶层设计，形成普惠型智慧农业新格局

加强顶层设计是深化农业专业化分工、进而实现农业绿色转型的重要支撑。首先，政府推动政策制定范式实现系统性变革，从传统“硬件基建优先”的单一导向，转向构建“数据要素流通-智能算法赋能-产业生态协同”的三维联动机制；通过确立数据产权登记、价值评估与交易结算体系，推动数据资源从闲置的“无主状态”转化为可定价、可流通的生产要素资产。其次，政府应加强农业资源承载力监测预警，科学引导合理开发利用农业自然资源、推进农业结构调整和生产力布局优化。大力扶持农村地区培育绿色产业，明确不同区域农业的主体功能及其主导产业配置和发展路径。诸如生态农业产业、绿色旅游产业和可再生能源产业等。这些绿色产业不仅能创造大量就业岗位、拓宽农民增收渠道，还能助力农村产业升级、优化产业结构，促进农村经济与生态环境保护的双赢发展。通过政府构建制度保障体系，加强农业资源区划科技支撑，形成普惠型智慧农业发展新格局，为助力农业发展全面绿色转型，促进乡村生态振兴积累经验。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献：

[1] 仇焕广, 黄青. 农业绿色转型与高质量协调发展的理论逻辑与实践[J]. 农业经济问题, 2025, 46(2): 15-23.
QIU H G, HUANG Q. The green transformation of agriculture and high-quality development: Theoretical logic and practice[J]. Issues in Agricultural Economy, 2025, 46(2): 15-23.

[2] 彭木根. 物联网基础与应用[M]. 2版. 北京: 北京邮电大学出版社, 2023.

[3] 李丽莉, 邱亚娟, 曾亿武. 数字乡村建设: 国内研究动态与展望[J]. 农业经济问题, 2025, 46(1): 44-57.
LI L L, QIU Y J, ZENG Y W. Digital countryside construction: Domestic research trends and prospects[J]. Issues in Agricultural Economy, 2025, 46(1): 44-57.

[4] 唐正东. 新质生产力与马克思主义生产力理论中国化新境界[J]. 马克思主义理论学科研究, 2024, 10(4): 15-26.
TANG Z D. The new qualitative productivity thought and the

new realm of sinicization of Marxist productivity theory[J]. Studies on Marxist Theory, 2024, 10(4): 15-26.

[5] 蒲清平, 向往. 论习近平总书记关于新质生产力的重要论述的科学体系[J]. 西南大学学报(社会科学版), 2025, 51(3): 18-32, 329.
PU Q P, XIANG W. On the scientific system of General Secretary Xi Jinping's important exposition on new quality productivity [J]. Journal of Southwest University (Social Sciences Edition), 2025, 51(3): 18-32, 329.

[6] 郑玉雨, 王德嵘, 刘文华, 等. 全面推进农业绿色转型的丰富内涵与实现路径[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(6): 62-69.
ZHENG Y Y, WANG D R, LIU W H, et al. Rich connotation and realization path of comprehensively promoting agricultural green transformation[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2024, 45(6): 62-69.

[7] 宗一鸣, 郁俊莉. 我国农业发展全面绿色转型的生态补偿政策体系及实践模式[J]. 行政管理改革, 2025(2): 70-79.
ZONG Y M, YU J L. The policy system and practical models for ecological compensation in the comprehensive green transformation of agriculture[J]. Administration Reform, 2025(2): 70-79.

[8] 韩升, 刘喆. 中国式现代化背景下DeepSeek对未来产业的驱动路径、现实困境与政策优化[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2025, 46(5): 122-133.
HAN S, LIU Z. Driving pathways, practical challenges, and policy optimization for future industries under the Chinese-style modernization: Perspectives from DeepSeek[J]. Journal of Southwest Minzu University (Humanities and Social Sciences Edition), 2025, 46(5): 122-133.

[9] 刘宏伟, 马酉儒. 生成式人工智能与绿色生产力培育: 关键要素、驱动路径与政策建议[J]. 学术界, 2025(3): 78-88.
LIU H W, MA Y R. Generative artificial intelligence and cultivation of green productivity: Key elements, driving path and policy suggestions[J]. Academics, 2025(3): 78-88.

[10] 金书秦, 张哲晰, 胡钰, 等. 中国农业绿色转型的历史逻辑、理论阐释与实践探索[J]. 农业经济问题, 2024, 45(3): 4-19.
JIN S Q, ZHANG Z X, HU Y, et al. Historical logic, theoretical interpretation, and practical exploration of China's agricultural green transformation[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024, 45 (3): 4-19.

[11] 朱俊峰, 邓远远. 农业生产绿色转型: 生成逻辑、困境与可行路径[J]. 经济体制改革, 2022(3): 84-89.
ZHU J F, DENG Y Y. Green transformation of agricultural production: Logic of formation, dilemma and practical strategy[J]. Reform of Economic System, 2022(3): 84-89.

[12] 罗必良. 推进我国农业绿色转型发展的战略选择[J]. 农业经济与管理, 2017(6): 8-11.
LUO B L. Strategic choice to promote the green transformation and development of China's agriculture[J]. Agricultural Economics and Management, 2017(6): 8-11.

[13] 金书秦, 林煜, 牛坤玉. 以低碳带动农业绿色转型: 中国农业碳排放特征及其减排路径[J]. 改革, 2021(5): 29-37.
JIN S Q, LIN Y, NIU K Y. Driving green transformation of agriculture with low carbon: Characteristics of agricultural carbon emissions and its emission reduction path in China[J]. Reform, 2021(5): 29-37.

[14] 李颖明, 王子彤, 汪明月, 等. 大数据支撑现代农业产业高质量发展的内在逻辑与政策建议[J]. 中国科学院院刊, 2025, 40(1): 172-180.
LI Y M, WANG Z T, WANG M Y, et al. Internal logic and policy recommendations of big data to support high-quality development of modern agricultural industry[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(1): 172-180.

[15] 骆世明. 系统论、信息论和控制论与我国农业生态学的发展[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(2): 340-344.
LUO S M. Influence of cybernetic theory, information theory, and system's theory on the development of agroecology in China [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(2): 340-344.

[16] 汪健, 梁兴建, 雷刚. 基于深度残差网络与迁移学习的水稻虫害图像识别[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(9): 198-204.
WANG J, LIANG X J, LEI G. Image recognition of rice diseases and insect pests based on deep residual network and transfer learning[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2023, 44(9): 198-204.

[17] 赵春江. 农业知识智能服务技术综述[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(2): 126-148.
ZHAO C J. Agricultural knowledge intelligent service technology: A review[J]. Smart Agriculture, 2023, 5(2): 126-148.

[18] 刘晓旭. 基于模糊逻辑的超宽带信号提取土壤特征研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
LIU X X. Research of soil parameter retrieval with fuzzy logic *via* UWB signals[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018.

[19] 姜业帆, 江朝晖, 朱瑞, 等. 基于PCIA-YOLO的复杂环境下草莓成熟度轻量化检测方法[J/OL]. 南京农业大学学报, 2024. (2024-10-08) [2025-04-20]. https://kns. cnki. net/kcms/detail/32.1148.S.20240930.1738.008.html.
JIANG Y F, JIANG Z H, ZHU R, et al. Strawberry ripeness in a complex environment based on PCIA-YOLO Lightweight detection method[J/OL]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2024. (2024-10-08) [2025-04-20]. https://kns. cnki. net/kcms/detail/32.1148.S.20240930.1738.008.html.

[20] 杜海伦. 苏州市智慧农业发展策略研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2024.
DU H L. Research on the development strategy of smart agriculture in Suzhou[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2024.

[21] 袁承程, 刘黎明, 付永虎, 等. 基于物质流分析的农业土地利用系统氮素效应分析: 以湖南省桃江县为例[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(10): 1371-1381.
YUAN C C, LIU L M, FU Y H, et al. SFA-based analysis of nitrogen effect on agricultural land use systems in Taojiang county, Hunan province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24 (10): 1371-1381.

[22] 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.

[23] 人民网. 新疆首个棉花碳排放领域试点项目获批[EB/OL]. (2025-10-12) [2026-05-22]. http://xj. people. com. cn/BIG5/n2/2025/1012/c186332-41377579. html? use_xbridge3=true&loader_name=forest&need_sec_link=1&sec_link_scene=im&theme=light.

[24] 农业农村部. 农业农村部关于印发《长江流域水生生物完整性指数评价办法(试行)》的通知[J]. 中华人民共和国农业农村部公报, 2022(2): 72.

[25] LI P, SHI K, WANG Y Y, et al. Soil quality assessment of wheat-maize cropping system with different productivities in China: Establishing a minimum data set[J]. Soil and Tillage Research, 2019, 190: 31-40.

[26] 田华文. “双碳”目标下数字经济赋能绿色低碳发展论析[J]. 中州学刊, 2023(9): 30-39.
TIAN H W. An analysis of digital economy empowering green and low carbon development under the goal of "dual carbon"[J]. Academic Journal of Zhongzhou, 2023(9): 30-39.

[27] 柳学信, 曹成梓. ESG赋能新质生产力的理论逻辑和现实路径[J]. 经济与管理研究, 2024, 45(11): 3-13.
LIU X X, CAO C Z. Theoretical logic and practical paths for ESG empowering new quality productive forces[J]. Research on Economics and Management, 2024, 45(11): 3-13.

[28] 王海侠, 屈林婧. 数字农业的发展历程、应用场景及优化路径: 基于数字农业应用场景的讨论[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(6): 146-158.
WANG H X, QU L J. Development process, application scenarios, and optimization pathways of digital agriculture: A discussion based on digital agriculture application scenarios[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2024, 24(6): 146-158.
[29] 周文, 杨正源. 人工智能赋能新质生产力: 作用机理与实践进路[J]. 改革, 2025(4): 1-15.
[30] 袁建霞, 万劲波. 强化国家农业战略科技力量的战略思考[J]. 科学学与科学技术管理, 2023(10): 35-43.
[31] 梁星亮, 陈珂. DeepSeek赋能农户增收: 机制、障碍及对策[J]. 郑州大学学报(哲学社会科学版), 2025(3): 77-84.
[32] 周卫, 丁文成. 新阶段化肥减量增效战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(1): 1-7.
ZHOU W, DING W C. Strategic researches of reducing fertilizer use and increasing use efficiency in China in the new era[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2023, 29(1): 1-7.
[33] 陈龙, 刘刚, 戚聿东, 等. 人工智能技术革命:演进、影响和应对[J]. 国际经济评论, 2024(3): 9-51.
[34] 数智新农人. “重建设轻运营”陷阱: 三农信息化的警示与破局[EB/OL]. (2025-03-18)[2025-05-21]. https://mp.weixin.qq.com/s/TbL9vuW3E7SRoFrutV9Wcg.
[35] 中农华牧. 智慧农业|三智融合驱动下的虫情测报技术革新路径研究 基于覆盖度、精准度与智能化的系统优化[EB/OL]. (2025-03-18) [2025-06-17]. https://mp. weixin. qq. com/s/CPkBdyO2m48jhnpirj0K6A.
[36] 戴小文, 漆莹, 蓝红星. “生产力-生产方式-生产关系”视域下新质生产力推动农业绿色转型的理论逻辑与实践路径[J]. 四川师范大学学报(社会科学版), 2025, 52(1): 87-95, 202-203.
DAI X W, QI Y, LAN H X. Theoretical logic and practical path of green transformation of agriculture promoted by new quality productivity forces from the perspective of "productivity-mode of production-relationships of production"[J]. Journal of Sichuan Normal University (Social Sciences Edition), 2025, 52(1): 87-95, 202-203.

Logic, Impediments and Suggestion of Smart Agriculture-Enabled Green Transition in Agriculture: Based on the Perspective of Technological Innovation

GU Xuewei[1], ZHAO Xianghao[2*]

（1. *The School of Information Management*, *Xinjiang University of Finance &Economics*, *Urumqi* 830012, *China*;
2. *The School of Economics*, *Xinjiang University of Finance &Economics*, *Urumqi* 830012, *China*）

Abstract: [Significance] The adoption of smart agricultural technologies has significantly accelerated the development of modern agriculture, emerging as a pivotal driver for green transition within the agricultural sector. By enabling a fundamental shift in agricultural production paradigms, these innovations not only enhance desirable agricultural outputs but also effectively reduce undesirable environmental outputs. This dual effect substantially contributes to the improvement of agricultural green total factor productivity (AGTFP). **[Progress]** A systematic investigation was undertaken into the pivotal role of smart agriculture technology innovation in driving the green transition within the agricultural sector. The analysis was meticulously structured across three sequential stages: Firstly, it elucidated the intrinsic mechanisms through which technological advancements serve as enablers for this green transition, detailing how innovations in agriculture technology translate into environmental sustainability gains. Secondly, it identified and categorized the existing implementation barriers that hinder the widespread adoption of smart agriculture solutions, providing insights into the challenges faced by stakeholders at various levels. The advancement of smart agricultural technologies facilitated a paradigm shift, moving from isolated, fragmented data systems to cohesive, interconnected ecological systems that support sustainable growth. The core technological logic underpinning this transition operates through a synergistic "data-algorithm-equipment-ecology" evolutionary trajectory: (1) Data infrastructure construction: Establishing comprehensive, multi-source heterogeneous agricultural data acquisition systems that collect, process, and analyze data from diverse sources, forming the foundational data assets necessary for the development and deployment of smart agriculture solutions. (2) Algorithmic decision-making: Developing sophisticated AI-driven resource allocation models that leverage big data analytics to enable precision management, optimizing resource use, and enhancing productivity through intelligent decision-making systems. (3) Equipment modernization: Creating technical closed loops characterized by a virtuous cycle of "equipment upgrading-efficiency enhancement-cost reduction-environmental benefits" through the implementation of automated production management and intelligent harvesting systems that minimize human intervention and maximize output. (4) Ecological optimization: Building circular systems for waste valorization, carbon footprint tracking, and ecological monitoring that facilitate the recycling of agricultural by-products, reduce greenhouse gas emissions, and promote the restoration and preservation of agricultural ecosystems, ultimately achieving self-regulating, resilient agricultural environments. However, the implementation process

faces three categories of barriers: (1) Technological barriers: High infrastructure costs, inefficient technology commercialization, insufficient digital literacy among farmers, and inadequate full-process automation/intelligence levels constrain transformation depth. (2) Market barriers: Significant mismatches between supply-side capabilities and demand-side requirements in technology applicability. (3) Institutional barriers: Firstly, the lack of policy coordination is evident in the "prioritizing construction over operation" approach, leading to many agricultural big data platforms failing to effectively implement green technologies post-completion due to inadequate policies supporting sustained operations and practical applications. Secondly, structural deficiencies in the standard system, particularly the absence of unified classification standards for agricultural information resources, create technical barriers to cross-departmental and cross-regional data sharing. **[Conclusions and Prospects]** To effectively advance smart agriculture technology in driving the agricultural green transition and systematically address identified barriers, the following policy recommendations are proposed: (1) To effectively overcome the persistent "last mile" barrier that impedes the widespread adoption of technological innovations among smallholder farmers, it is imperative to actively promote multi-stakeholder participation across the agricultural sector. This involves fostering collaboration among governments, private enterprises, non-profit organizations, and local communities. Additionally, establishing a comprehensive technical service network is crucial, one that seamlessly integrates government guidance to ensure policy alignment, market operations to drive efficiency and sustainability, and social engagement to enhance community buy-in and knowledge dissemination. (2) To significantly boost the efficiency of green resource allocation within the agricultural sector, it is imperative to harness the power of market-oriented reforms. These reforms should serve as the cornerstone for forging a novel supply-demand-driven model that is both dynamic and responsive. By integrating intelligent algorithms and advanced data analytics, this coordinated approach will facilitate the precise matching of essential resources such as land, capital, and cutting-edge green technologies. Such precision will enable a paradigm shift from traditional, scale-oriented production methods to more flexible, demand-driven customization tailored to specific market needs. Ultimately, this transformation will cultivate sustainable endogenous growth momentum, providing a robust foundation for the agricultural sector's green transition and ensuring its long-term viability and competitiveness. (3) Governments ought to take the lead in driving systemic and comprehensive reform of existing policy formulation frameworks, ensuring that agricultural development strategies are aligned with long-term sustainability goals. Additionally, they should strengthen technological support systems for agricultural resource zoning, leveraging advanced tools such as big data analytics and geographic information systems to optimize land use and resource allocation. By doing so, governments can foster a new universal smart agriculture development paradigm that integrates digital innovation with ecological principles. These targeted measures will not only enhance agricultural productivity but also accumulate valuable experience for comprehensively advancing the agricultural green transition and promoting rural ecological revitalization in a systematic manner.

Key words: smart agriculture; green transformation in agriculture; technology-enabled empowerment logic; empowerment impediments; agricultural data; new quality productive forces

Foundation items: The National Social Science Fund of China (22BGL165)

First author: GU Xuewei, E-mail: 1048307092@qq.com
***Corresponding author:** ZHAO Xianghao, E-mail: 709007878@qq.com