人工智能赋能农业绿色转型的作用机制、现实困境与推进路径*

李金锴，司 伟

（中国农业大学经济管理学院，北京 100083）

摘 要：加快推进人工智能在农业绿色转型中的应用，既是发展现代农业与智慧农业的迫切需求，也是建设农业强国的重要举措。文章在厘清人工智能与农业绿色转型的基本内涵及作用机制的基础上，系统分析了人工智能在赋能农业绿色转型过程中面临的现实困境。从理论层面看，人工智能通过专业人才队伍建设、农业技术创新变革、农业要素提质增效以及治理主体协同联动四个维度推动农业绿色转型。然而，当前农业生产实践中仍存在农业复合型人才数量短缺和人机协同能力不足、人工智能红利释放面临农业生态和技术双重制约、农业绿色智能技术使用门槛高和应用景场有限、适应人工智能的配套政策体系有待完善等多重困难。基于此，应聚焦以下关键路径精准发力：加强专业人才的培养和管理、推进农业人工智能技术研发、丰富人工智能应用场景、健全人工智能保障机制，从而充分释放人工智能在农业绿色转型中的赋能效应。

关键词：人工智能；农业绿色转型；智能农机；推进路径

中图分类号：F323.22 **文献标志码**：A **文章编号**：1674-9189(2025)06-0010-11

一、问题的提出

绿色发展是中国式现代化的鲜明底色，当前中国经济社会发展正处于全面绿色转型升级的关键时期。党的二十大报告中明确指出加快发展方式绿色转型，2024年《中共中央关于进一步全面深化改革推进中国式现代化的决定》中要求“加快经济社会发展全面绿色转型”。农业作为国民经济的基础产业，其绿色转型是农业农村现代化的重要组成部分，是贯彻新发展理念和推动高质量发展的必由之路，也是中国积极参与全球气候治理和经济合作的必然要求(赵敏娟和石锐，2024)。党中央高度重视农业绿色发展，将其摆在生态文明建设全局的突出位置。近年来，中国逐步形成了较为完备的农业绿色发展制度和政策体系，且取得了一定治理成效。《中国农业绿色发展报告2023》显示，中国农业绿色发展水平稳步提升，2022年全国农业绿色发展指数升至77.90。具体来看，东北黑土地保护性耕作面积达8 300万亩，农田灌溉水有效利用系数提升至0.572，农业面源污染治理成效显著，化肥、农药使用量连续7年下降①。《2024中国农业农村低碳发展报告》显示，2018年农业温室气体排放成功实现总量和强度同步降低②。然而，目前我国耕地亩均化肥施用量仍明显高于世界安全警戒线，与现代农业

*项目来源：教育部哲学社会科学研究重大专项(2024JZDZ059)；中国博士后科学基金面上资助项目(2025M772465)。

作者简介：李金锴，男，博士，研究方向：农业经济学、资源与环境经济学、农村发展。

① 资料来源于中国农业科学院和中国农业绿色发展研究会:《中国农业绿色发展报告2023》，参见http://www.scio.gov.cn/live/2024/35055/xgbd/202410/t20241023_870617.html。

② 资料来源于中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所:《2024中国农业农村低碳发展报告》，参见https://www.caas.cn/xwzx/mtxw/0e7cf8fa0e8148ca9b2b5ec2eda18704.html。

要求存在一定差距，依靠生产要素高强度投入的传统农业发展模式还需进一步优化（杜志雄，2021）。实现农业绿色转型是一项复杂、严峻的系统性工程，鉴于我国“大国小农”的基本格局和人均资源禀赋相对匮乏的现实农情，我国传统农业生产模式正面临前所未有的转型压力，亟须寻找新的绿色发展动能（刘志彪等，2024）。

人工智能作为新一轮科技革命和产业变革中的战略性技术，成为驱动农业绿色转型的关键力量。2025年，国务院印发《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》中提出，加快农业数智化转型升级。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》中提出全面实施“人工智能+”行动，以人工智能引领科研范式变革，抢占人工智能产业应用制高点，全方位赋能千行百业。人工智能作为新一代信息技术的重要领域，其本质是通过数据驱动、算法演进、模型迭代形成自我强化机制，推动人类社会与数字世界的深度融合，具有数字化、规模化和互联互通性等特点（赵志君和庄馨予，2023）。人工智能引领科技发展方向，改变生产方式和社会进程已是共识，加快发展新一代人工智能，不仅能够壮大高端装备、新材料、新能源等战略性新兴产业，更能通过智能算法优化资源配置、提升生产效率、降低能耗，在工业制造业的绿色改造、城市治理的低碳转型、农业生产的精准管控等关键领域发挥赋能作用（周杰琦等，2023）。以人工智能为代表的新型技术正悄然重塑农业绿色发展的技术范式，面对复杂的农业生产环境和多目标协同的农业生产需求，人工智能的“智能调控力”正在成为推动农业绿色发展的关键变量（魏后凯和吴广昊，2024）。推动人工智能在农业绿色转型中的深度融合与应用，既是现代农业与智慧农业发展的迫切需求，也有助于加速农业农村现代化和贯彻国家乡村振兴战略，对实现我国从农业大国向农业强国的跃升，具有至关重要的意义。

具体而言，农业绿色转型是指改变传统的粗放型生产模式，转向以节约集约与绿色低碳为原则的现代农业体系，优化资源配置、提高资源效率并保障绿色优质农产品供给，实现农业经济增长、居民收入提升和生态环境保护的协同发展（于法稳，2016；周子铭和高鸣，2024）。通过系统梳理我国农业绿色发展在绿色全要素生产率提升、资源利用、污染治理、减少碳排放等方面取得的成效（金书秦等，2021；刘亦文等，2021），明确了我国农业绿色转型已由问题倒逼的被动转型，逐步转变为主动求变的发展新阶段（金书秦等，2024）。但仍面临极端气候变化、耕地数量质量压力大、绿色生产要素供给不足、技术研发滞后等多重现实制约（张林秀等，2021；高鸣和张哲晰，2022）。舒尔茨在《改造传统农业》一书中指出，推动传统农业转型的关键在于引入新型生产要素，通过外生干预打破原有生产函数的均衡状态，进而使生产前沿面外延，提升农业现代化水平。在农业绿色转型的理论研究与实践探索中，已有研究围绕农业技术、数字经济、智慧农业等新型生产要素的引入与应用展开了丰富探讨，为本文分析框架的构建提供了有益借鉴与理论参照。农业信息化是农业绿色全要素生产率增长的主要动力（高杨和牛子恒，2018）。数字乡村建设可以带动绿色技术进步，降低土地、资本、劳动力资源错配程度，进而促进农业绿色发展（郭海红，2024）。建设智慧农业的农业企业往往拥有更大规模的绿色生产面积和更高的绿色生产占比（张延龙等，2025）。人工智能作为信息化、数字化与智能化的集中体现，近年来赋能农业发展亮点突出。已有研究表明人工智能发展对农业劳动生产率提升、智慧农业高质量发展和农业新质生产力培育具有积极影响（周晓时等，2021；蒙慧等，2025；黄先海等，2025）。现有文献较多讨论了人工智能在提高农业科技水平和促进农业农村现代化中发挥的重要作用，但对农业绿色转型这一目标的针对性关注尚有不足，关于人工智能赋能农业绿色转型的现实困境也缺乏系统梳理，人工智能如何精准匹配并满足农业绿色转型的多样化需求，还有待进行全面理性审视与系统论证。

鉴于我国农业的实际发展状况以及人工智能应用的深远影响力和应用前景，有必要讨论人工智能与农业这一重要实体经济部门的融合发展，研究如何用人工智能改造并重塑中国农业，以实现从传统

农业向智慧农业的转型。然而，由于我国人工智能赋能农业发展起步较晚且面临主客观条件限制，在实践过程中难免陷入发展误区，距离真正驱动农业全面转型的理想状态仍有很长距离。基于此，本文在厘清人工智能与农业绿色转型基本内涵及其作用机制的基础上，系统探讨了人工智能在赋能农业绿色转型过程中面临的现实困境，最后提出推进农业绿色转型的关键路径。

二、人工智能赋能农业绿色转型的内涵与联系

系统解构人工智能赋能农业绿色转型的内涵，并厘清其实现逻辑，不仅是准确把握“绿色”与“智能”融合发展的理论关键，更是科学制定相关政策、引导技术精准落地、最终实现农业现代化的首要前提。

（一）人工智能的基本内涵

人工智能作为新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力量，是在计算机科学、数字技术逐步成熟的基础上，通过赋予计算机感知和模拟人类思维的能力，与多学科交叉融合所形成的新兴领域。通过人类算法干预控制以及自主学习，人工智能在语音处理、图像识别、自然语言处理等领域实现重大突破，给社会再生产的各个环节和领域带来了革命性的变化（张鑫和王明辉，2019）。尽管自20世纪中后期起，人工智能在农业中的潜力已受到关注，但受制于中国农业本身的生产特性，其在该领域的渗透程度与应用范围仍远远滞后于世界农业强国，创新驱动农业高质高效发展的格局尚未形成（魏后凯和崔凯，2022）。面对耕地资源日益紧张、极端气候事件频发，加之新一代信息技术不断成熟，人工智能与农业的深度融合被视为解决未来农业问题的重要途径。

农业人工智能是多种信息技术的集成及其在农业领域的交叉应用，其核心在于突破传统农业长期依赖土地、劳动力、化肥、农药高强度投入的单一发展模式，通过整合信息感知、遥感技术、智能装备等高新技术，推动农业经营方式从粗放化向集约化跨越、田间管理从经验型向精准化升级、发展目标从单一产出向实现多元经济生态价值转化（赵春江，2021）。在技术体系构成上，农业人工智能广泛涵盖了信息获取、数据分析、智能决策、精准执行等关键环节的技术集群，具体包括获取信息的智能感知技术、实现数据分析的农业物联网和深度学习技术、模拟人类专家进行推理与决策的专家系统与农业认知计算，以及执行精准作业的智能装备等一系列关键技术（兰玉彬等，2020）。

（二）农业绿色转型的基本内涵

农业绿色转型是指在生态优先、节约集约和人与自然和谐共生的理念引领下，推动农业发展方式从传统要素驱动向绿色高效驱动转变、从粗放式外部扩张向集约化内涵增长转型的系统工程（仇焕广和黄青，2025）。其核心目标在于构建资源节约、环境友好、生态稳定的现代农业体系，实现从生产要素投入减量、生产过程减排控污、生态系统保护修复到优质绿色农产品供给的全产业链绿色转型。其实现路径是从农业布局、资源利用、生产方式、流通链条、农产品市场等全环节的绿色化改造，在保障食品安全、资源安全和生态安全的动态平衡中，最终实现农业系统与生态系统之间的良性循环互动关系（罗必良，2017）。

（三）人工智能赋能农业绿色转型的逻辑关系

稳定且可持续的农业产业是发展中国家实现经济健康运行的前提。而传统农业受限于小农生产模式和较低的比较收益，往往难以自发形成持续增长的内生动力。在技术水平保持不变的情形下，受限于相对较低的投资回报率，农户难以自主产生再投资和扩大再生产的冲动，必须依靠外部力量引入新型生产要素，才能从根本上推动农业转型（罗必良，2022）。因此，农业绿色转型的关键在于研发、引进并广泛应用绿色的现代农业生产要素，通过技术进步改变传统要素配置的路径依赖。在当代科技背景下，人工智能技术作为前沿科技的集成代表，正日益展现出在农业绿色转型中的关键价值与广阔应用前景，为推动农业农村现代化提供了新的技术范式与解决方案。农业生产本质是自然再生产过程与

社会再生产过程的统一，其生产函数的要素配置与现实产出高度依赖于生物特性与自然环境。相较于传统的农业生产与管理方式，智慧农业在绿色转型中的核心优势在于其多目标优化能力。人工智能系统可以融合农户现实需求、作物生长模型、土地墒情、天气预测、历史农事等多源数据，通过模拟建模、因果推理和动态调整，生成兼顾经济效率、资源节约与生态安全的农事方案，从而推动形成“绿色+智能”的现代农业体系。

具体而言，人工智能依托大数据、遥感监测、智能分析、模型推理等前沿科技，将绿色低碳收益纳入农业全周期生产决策，构建覆盖农业生产、加工、流通全环节的农业绿色产业体系，形成资源节约、环境友好、碳汇增强的农业绿色生产体系，推动形成兼具信息完整性、决策科学性与资本积聚性的农业绿色经营体系(夏显力等，2019)。在“物”的层面，它以基因工程、智能农机、智能冷链、电子商务等为载体，大幅提升农业智能管控力和决策科学性；在“人”的层面，则依托具备数据思维与跨学科知识的现代化人才，为农业系统注入持续创新的智力资源。这些要素的有机融合形成兼具集约化、智能化与绿色化特征的生产新质态，为农业绿色转型注入了核心动能，赋能其向高效、低碳、可持续方向迈进。

三、人工智能赋能农业绿色转型的作用机制

农业绿色转型远不止化肥、农药等化学农资投入的减少，而是一个涵盖资源节约、生态安全、产业升级多维目标的系统工程，该转型不仅需要人力与物力的全面升级，也依赖于多部门的协同保障。具体而言，人工智能通过以下机制赋能农业绿色转型，一是推动农业劳动力的技术化改造，实现专业人才培养；二是驱动农业装备与技术体系的迭代升级，实现农业技术变革；三是释放土地、农副产品碳汇潜力与生态效益，实现农业要素提质增效；四是通过合理配置财政支持、标准制定与推广机制，构建与绿色智能农业相匹配的政策体系。

（一）人工智能通过专业人才队伍建设实现农业绿色转型

人工智能通过学习和模拟人类的思维、认知与行为模式，实现自主学习和独立思考，为人们提供智库系统，进而对人类劳动进行技术化改造。人工智能正在赋能一批既懂创新又能实干的新型农业人才队伍建设，这支队伍既包含扎根基层、熟悉现代农业生产和设备操作的“新农人”，也涵盖具备创新思维的研发、推广和管理人才。

一方面，人工智能能够拓宽基层劳动者学习新技术、新理念和新思维的渠道。人工智能打破了传统农户依赖经验、信息闭塞的障碍，大幅更新和提高农业从业者的知识与技能，更好地实现了人机协同(杨和平和李红波，2024)。同时，人工智能可以结合农户兴趣，向其有效传递科学种植和低碳理念，推动其由“被动接受”向“我要转型”的内生动力转变。例如智能计算机程序“专家系统”，通过机器学习进行启发式推理，有效解决农户所提出的问题，并且使用简洁自然的语言为农户提供快速、方便、准确的查询服务，一对一指导农户科学种植(吴茜，2019)。另一方面，人工智能培养了一批参与农业绿色转型的技术研发者、技术传播者与政策制定者。一是基于机器学习与大模型的知识推断，降低了绿色生产技术研发的进入门槛与试错成本，使科研人员能够在更短周期内完成品种改良、化肥、农药减量替代的研发工作。二是农技人员、合作社骨干及农技推广人员可以借助智能诊断、可视化模拟，实现绿色生产技术的高效传播。三是人工智能在规则学习、风险识别和政策仿真方面的优势，调控引导人才资源有序流向智慧农业领域，支持政府构建更精细的绿色生产标准体系、补贴设计框架与监管模式，促进制度从经验治理向智能治理演化(蒙慧等，2025)。

（二）人工智能通过农业技术创新变革实现农业绿色转型

一方面，人工智能赋能资源利用高效化、低碳化。在人工智能的带动下，生产方式正从单纯的劳

工、机械作业朝着智能化方向发展，成为绿色农业产业体系的技术中枢。集约导向的农业智能装备（如无人机、无人车、智能变量施肥系统等装备）依托北斗导航、智能感知、YOLOV3-tiny、Faster R-CNN等深度学习模型，实现精准播撒与差异管理，有效提升了农资投入精准性，减少冗余投放，提升资源利用率，降低碳排放与面源污染（张乐等，2020）。同时，绿色导向的农业智能装备（如绿色农机），引入农机装备负载感知智能控制策略，对材料、结构和工艺进行轻量化处理，调整农业机械从依赖化石燃料转为采用清洁高效的电能驱动，实现减排改造，推动农业生产能源的绿色转型。另一方面，人工智能赋能农业监管透明化。人工智能依托农业物联网、遥感卫星、信息感知、区块链技术构建的“空—天—地”一体化监测网络，使农业由物理作业转向数智调度，从而实现绿色田间管理的系统性、可视化和实时化（何勇等，2025）。数据信息不仅支撑精准生产与动态调度，还通过构建农产品全生命周期溯源体系、农田生态环境实时监控系统、智能预警模型等方式，提升农业绿色价值链的透明度和可追溯性，扩大绿色溢价空间（陈海龙等，2025）。

（三）人工智能通过农业要素提质增效实现农业绿色转型

在人工智能推动下，传统生产要素及新型生产要素的形态实现重构和升级，成为推动绿色低碳转型的重要载体。一方面，传统意义上的生产要素，如种子、耕地、畜禽、作物等，在数智技术支撑下转化为可测、可控、可再配置的生态资产。借助CRISPR技术、边缘物联网等技术系统，不仅可以对生物体的DNA精确修改，从而引入优良性状或剔除不良性状，而且可以通过卫星遥感、纳米技术实时感知与响应调节耕地墒情、评估作物健康状况，进一步拓宽土地、作物等农业要素的多功能价值[③]。通过建立包含酶解动力学、菌群互作和分离技术的多尺度工艺技术，农业副产物秸秆、畜禽粪污不再被看作废弃物，而成为有机肥、生物质能等绿色产品的重要来源（张哲瑞等，2025）。更重要的是，利用大数据确保碳汇交易、生态补偿、绿色产品认证等机制落地，农业生态功能被纳入产品价值体系，实现无形生态价值的价值显化。另一方面，随着人工智能在各类农业场景中的深度渗透，农业要素完成了从天然物质形态到数据信息形态的演变过程。这一数字化、智能化赋能过程，使农业资源管理从粗放应对迈向精准调控。农业要素不再是传统的静态自然物，而是具有环境反馈机制的绿色系统单元，主动响应气候变化、资源约束等环境信号，成为农业绿色转型路径中最佳实践载体。

（四）人工智能通过治理主体协同联动实现农业绿色转型

要想充分发挥人工智能在培养专业人才、变革农业技术、升级农业要素等层面的突破，依赖多部门的联合保障（朱晶和臧星月，2025）。主体协同方面，农业绿色转型是一项涵盖资源利用、生产方式、环境效益及社会参与的系统性转型，要求农业、科技、财政、环保等部门形成政策合力，同时还需农户、企业、科研机构和合作社等各类生产与服务主体全程参与，形成各司其职、流程顺畅的多主体协作机制。人工智能为实现跨部门、多主体高效协作提供了可量化、可交互和可追溯的技术基础与治理工具。人工智能通过构建农情监测平台、智能农机系统与绿色生产标准库等跨部门数据共享平台，将农业生产数据与生态环境监测数据自动对齐，且低成本、高频次的信息往返使不同部门在目标设定、信息获取与措施执行上实现实时对接，形成跨部门合力，提高绿色转型政策的整体有效性。政策适配方面，推动农业绿色转型面临诸多不确定性，政策发挥着引导预期、规避风险与规范约束的关键作用。当政策制度与农业绿色转型目标保持一致时，能够有效优化资源配置，提升生产效率，增强农户和企业采纳绿色技术与可持续生产方式的积极性。人工智能为提升政策精准性与效能提供了全新路径，通过大数据分析与环境感知技术，能够动态评估政策实施效果，及时调整财政补贴、绿色信贷、生态补偿等政策工具的作用方向与力度，通过对农业生产、资源利用与环境污染的实时感知，为

③ 资料来源于人民网：《七大“深度科技”将引领全球农业变革》，参见http://finance.people.com.cn/n1/2025/1113/c1004-40602858.html。

政府部门提供精准施策的数据支撑。

四、人工智能赋能农业绿色转型的现实困境

理论上，人工智能可通过赋能人才、技术、要素与治理，为农业绿色转型注入强劲动能。然而，实践中却面临复合人才短缺、技术水平制约、应用门槛高及政策体系不完善等多重挑战，共同构成制约人工智能效能释放的现实问题。

（一）农业复合型人才数量短缺和人机协同能力不足

在当前农业绿色生产向专业化、智能化快速发展的进程中，农业产业升级需求与农业专业人才供给之间的矛盾日益凸显。从涉农人才培养来看，当前部分高校的学科架构与知识体系更新速度难以匹配低碳化、数字化、智能化农业变革的需求，对人工智能、大数据精准管理等新兴交叉学科与农业场景的融合关注不足，解决现实问题的能力有待提高（司伟和王秀清，2025）。基层县乡两级农业部门普遍存在人员老化、专业结构单一、知识更新滞后等问题，缺乏对智慧农业设备、无人机应用、数字化监测与绿色投入品管理的系统性理解，使得绿色技术难以实现有效扩散。此外，职业教育体系在农业领域的支撑仍显薄弱，中高职院校在课程设置、实践条件、校企合作与师资力量等方面无法全面覆盖绿色生产、农业数字化的新需求（张成涛和张秋凤，2019）。从群体状况来看，中国务农人口绿色素养与技能水平有待进一步提升。其一，农村劳动力城镇化迁移导致的农村空心化和农民老龄化问题，使得农村呈现精英流失的特征。由于缺乏系统的现代农业专业教育和培训，农户对绿色农业技术原理、生态循环理念等理解有限；其二，受传统种植习惯、风险规避心理的束缚，农户对于精准灌溉设备、智能化施肥系统、绿色防控无人机等新兴技术设备采纳意愿不高和技能掌握不足，难以实现高效的人机协作。这种知识储备和技术应用能力的欠缺，极大地抑制了农户在农业生产中作出绿色低碳转型的行为决策。

（二）人工智能红利释放面临农业生态和技术双重制约

从农业生态条件的角度来看，农业生产环境复杂多变、作物生长周期长、农业数据获取难度高，使得数据要素无法充分发挥最大功效。农业生产中不同作物生长特性、不同区域的土壤肥力、气候条件存在明显差异，且部分地区地块分散、细碎化，加之缺乏标准化的数据指标体系，导致数据采集的覆盖面和精准度难以兼顾。智慧农业试点项目难以精准适配差异化生产场景，进一步限制了人工智能技术大规模应用（黄季焜，2024）。作物生长过程中易受病虫害、极端天气等突发、不可预见因素影响，使基于历史数据训练的算法难以实时调整优化策略。同时，传统化肥、农药滥用现象普遍，加之秸秆焚烧、畜禽粪便随意丢弃等粗放处理，不仅加剧了农业面源污染，极大损害了农业原本具有的生态价值服务功能，而且使得人工智能无法对田间数据采集进行实时追踪与智能管控，给人工智能赋能农业绿色转型带来阻碍。

从关键技术研发的角度来看，我国农业人工智能的整体研究和开发仍处于早期发展阶段，且呈现重应用、轻基础的“倒金字塔”型研发投入结构。尽管中国农业基础研究经费占比持续提升，但仍低于国内科技全行业基础研究投入平均水平（毛世平等，2025）。受市场需求驱动，中国的农业人工智能技术研发更侧重于应用层面。相比之下，在基础算法、芯片架构、智能决策模型等底层技术领域，其系统的可靠性、精度与效率，与美国、日本、德国等农业科技强国相比仍存在差距。同时，农村地区新型数字基础设施建设滞后，科研机构的高精度监测数据又与田间实操数据格式不兼容，存在农业数据失真、损坏和超载等问题。这些问题不仅增加了人工智能对农业数据的获取难度和学习成本，也导致精准种植、智慧管理等技术难以落地。

（三）农业绿色智能技术使用门槛高和应用场景有限

农业绿色智能技术虽蕴含巨大潜力，但其高门槛特征使生计资本薄弱的小农户难以跨越。具体而言：一是高成本门槛。在人工智能驱动下，智能装备与绿色技术往往伴随高昂的购置成本、复杂的操作流程与持续的维护投入，加之短期内可能存在成本增加产量下滑的风险（芦千文和苑鹏，2021）。对于资本禀赋有限的农户而言，受制于自身经济实力与风险承受能力，往往最终选择继续维持传统的生产模式。二是高技术门槛。技术本身的复杂性在推广中形成了“知识与技能”鸿沟，导致技术接受度低、实操能力不足，进而造成设备闲置率高、技术应用不深入，难以实现其应有的增产增效与资源节约效果（穆月英和张婷，2024）。

人工智能技术的效能发挥，依赖于数据全程贯通与全产业链深度协同，但在实际应用过程中仍存在各主体衔接不畅、设备适配不足等问题，导致人工智能实际应用场景有限，甚至进一步加剧“数字孤岛”“数字鸿沟”等问题。一方面，农业科研机构掌握着农作物培育的前沿技术数据，农资企业拥有产品研发与销售的数据信息，基层农业管理部门积累了大量农户信息与农村土地资源数据，但由于各主体的职能分散、数据标准不一、接口不兼容，在使用农业数据过程中形成“各自为政”的数据壁垒。这不仅阻碍了跨部门数据驱动的科学决策与协同创新，也降低了农业资源的配置效率（高鸣和杨新宇，2025）。另一方面，技术供给方与农业生产经营主体需求脱节，研发成果与田间实际不匹配，缺乏针对小农户的轻量化、低成本、易操作的技术推广方案。能够平衡技术提供商、服务商与农户利益的可持续商业模式尚不成熟，难以激发市场内生动力，进一步制约了技术的规模化应用。加之部分农村地区网络覆盖能力有限、信号不稳定，难以支撑对通信质量要求较高的智能装备与绿色技术，导致人工智能应用场景碎片化和非均衡化。在多重障碍下，农业绿色智能技术难以有效传导至微观农户个体，制约了绿色低碳转型的落地推进。

（四）适应人工智能的配套政策体系有待完善

当前，农业人工智能的深度应用仍面临数据治理体系不健全与政策协同不足的双重挑战。一方面，人工智能与农业的深度融合离不开海量涉农数据的支撑，包括政府管理、企业研发和农户生产等各类数据。这些数据在存储、共享和应用过程中，普遍面临泄露、滥用、污染等安全隐患。此外，数据所有权与使用权边界模糊，涉及人工智能领域的知识产权保护、数据隐私保护、自动决策的责任归属等问题，缺乏专门政策体系进行规范和约束。另一方面，各职能部门在政策设计与执行过程中，尚未完全形成高效联动，一定程度上存在政策目标衔接不畅、执行合力不足的情况（金书秦等，2020）。特别是绿色低碳与产能提升目标有时难以调和，受自身职能定位及政绩考核机制影响，部分地方政府在政策选择上更倾向于优先保障短期经济增长目标。此外，农业环境治理体系尚未完全适应绿色发展要求，部分地区因缺乏常态化监管手段和精准化执法能力，难以对农业面源污染、违规生产等行为形成有效约束（李金锴等，2022）。这些制度上存在的问题，制约了人工智能在推动农业绿色转型中的潜力发挥。

五、人工智能赋能农业绿色转型的推进路径

针对当前实践过程中存在的农业复合型人才数量短缺和人机协同能力不足、前沿技术从研发到落地应用的转化梗阻尚未完全打通、政策协同联动不足等问题，应充分发挥人工智能的赋能作用，全面畅通人工智能赋能农业绿色转型的提升通道，推动农业强国建设稳步前行。

（一）加强专业人才的培养和管理，全方位培育人工智能复合型人才

人工智能所适配的劳动者，必定是具备前沿知识、创新思维以及多元技能的复合型人才梯队。一

是加快高层次人才培养，依托国内外顶尖农业大学、人工智能研究机构和国家重点实验室，融合农业科学、信息技术、人工智能等多学科知识体系，建立跨学科硕博士联合培养机制与博士后流动站，培养熟练掌握前沿科技的高素质创新型人才。二是加快中坚力量培养。核心目标在于对成熟的绿色低碳农业技术进行高效学习与广泛推广。主要依托涉农高校、农民职业教育机构等，鼓励其开设土壤墒情检测、保护性耕作、精准灌溉、无人机施药、智能温室环境调控等专业，将绿色生产技术、智慧农业设备运维等技能纳入职业资格认证体系，培育出一批既具备扎实农学基础，又精通绿色低碳农业技术的应用型人才。三是基层务农人员培训。依靠当地农业部门以及合作社等社会化服务组织，针对农村基层干部、新型农业经营主体、小农户等不同群体，开展形式多样的绿色生产、绿色技术应用培训以及现场技术指导。通过以点带面、逐步辐射的方式逐渐推广人工智能技术，培养一批理解并掌握绿色农业技术原理、生态循环理念和人工智能技术的“新农人”。上述三类人才的相互协作、紧密配合，能够使得农业高端技术孵化与推广顺利衔接，提升农业生产的精准化、智能化与绿色化水平，全方位、多层次地推动中国绿色低碳农业的发展。

（二）推进农业人工智能技术研发，建设数据驱动的农业智能决策体系

党的二十大报告指出，科技是第一生产力，实现中国式现代化离不开科技自立自强。只有依靠从基础研究到应用研究的技术链条，才能全方位提升农业绿色全要素生产率，进而实现农业高质量发展。首先，强化政策引导与优化科研投入结构，设立专项农业科研基金。加大对绿色智能农机装备研发的财政支持力度，推动高性能、高效率、低排放农业装备的技术突破。对从事相关研发的企业与科研机构给予税收优惠政策、减免贷款利率，降低研发成本，激发创新活力。其次，依托国家重点实验室、农业高新技术产业园区、国家农业智能装备创新中心等平台，聚焦智慧农机装备、农业遥感智能识别、作物模型与人工智能算法融合等关键领域，攻克“卡脖子”难题。鼓励龙头企业、合作社、农机社会化服务组织参与技术验证与试点示范，通过场景化测试不断优化农业人工智能技术的适应性与可扩展性。从源头预防、过程控制、终端治理推进技术集成与场景落地，建设全流程数据驱动的农业智能决策体系。品种选育环节，依托机器学习、深度学习等人工智能技术构建作物生长模型，通过基因挖掘、性状筛选、杂交育种等生物育种创新技术，培育抗病虫、抗倒伏作物品种，增强农业抗灾能力的同时减少化学药剂依赖。田间管理环节，借助图像识别和光谱分析技术，融合人工智能智能感知、决策算法和农业物联网技术，精准采集作物生长、土壤墒情等关键参数，优化种植结构与田间管理决策，实现农业投入品的精准施用。废弃物处理与资源化环节，借助传感器和计算机视觉等，实现高价值酶制剂研发、生物活性成分筛选，将畜禽粪便转化为有机肥或清洁能源，同步推进农业废弃物与副产物的深度加工与产业化开发，充分挖掘其在生物医药、生物智能等新兴产业中的市场潜力（何可和朱润，2025）。

（三）丰富人工智能应用场景，推进数字基础设施建设

充分利用大数据、人工智能、物联网等新质技术，面向不同农业经营主体打造分层分类、可复制可推广的人工能源应用场景。根据实际情况因地制宜，充分考虑农户认知能力与现实需求差异，及时将高门槛人工智能技术推广向不同类型农户。对小农户侧重提供简单易操作、成本可控的智能化辅助工具；对家庭农场、合作社侧重提供智能农机装备、精准施肥与灌溉决策系统；对龙头企业与产业园区则侧重提供数字孪生、智能调度与绿色供应链管理系统。完善智能农机装备补贴机制，通过风险分担和经济补充政策降低农户的经济压力，激发农户和农业企业的技术采纳积极性。针对可能存在的“数字孤岛”“数字鸿沟”现象，借助大数据技术建立农业数据资源管理系统和农业大数据运行平台，推动各部门、各行业与各地区的数据资源规范化采集、接口标准化搭建与共享交换机制建设，避免信息割据。通过对土壤、气象、作物生长等数据的集成与分析，充分发挥数据在农业资源配置与绿色生产中

的智能决策与动态调度能力，真正实现农业全要素绿色增效。各地政府应根据本地基础设施条件与产业发展需求，因地制宜推进农村数字新基建，重点聚焦农村地区网络覆盖能力的提升与信息化设施的智能化改造（司伟和李金锴，2025）。持续推进“宽带下乡”和“数字乡村战略”，确保网络、数字红利更多惠及农村地区，推进光纤入村与部署5G基站、建设乡村数字化公共服务节点、建设智慧农业基础平台，不断优化农村网络发展环境，降低农村宽带资费门槛，加强农户互联网应用技能培训，逐步弥合“数字鸿沟”。

（四）健全人工智能保障机制，加强多部门协同联动

推动农业绿色转型，需要完善与农业人工智能相适应的制度保障机制。一方面，制定农业数据专属管理细则，明确数据的所有权归属与使用权划分，界定数据采集、共享、交易的合法流程，区分服务提供者和使用者的信息披露义务。出台人工智能在农业领域的权益保护政策，将智能算法、育种模型、决策系统等纳入知识产权保护范畴，规范专利申请、软件著作权登记流程，明确侵权判定标准（高鸣和周子铭，2025）。另一方面，推动以农业部门为主导的多部门协同联动，加强与自然资源、财政、科技等重点部门的联动协作，明确各方权责边界，推动跨部门的目标对齐，职能协同与资源整合。一是在农业保险领域，结合区域资源禀赋与产业发展实际，适度推广农业信贷保险等金融产品来促进对绿色智能化装备的应用，在保障经济收益的基础上降低农户的技术采纳风险，进一步增强农户的绿色转型意愿。二是推动财政与技术资源精准投向农业绿色发展重点领域，应优先支持智能化农机装备与绿色环保的农资产品，加快推动农业补贴政策由“增产导向”向“绿色导向”转型，逐步推广环保型投入品、生物农药和智能农机等绿色要素在实际农业生产环节中的多场景应用。三是加强与自然资源管理等相关部门的协同，推动农业生态资源的资产化核算，健全农业生态补偿和碳交易机制，完善农业碳减排与绿色收益兑现之间的制度衔接，从而实现农民增收与生态保护的双重效益。依托高标准农田建设与退化耕地治理，将盐碱地、天然湿地等后备资源纳入农业空间规划，构建生态低碳田园系统，增强农业系统的内在循环能力。

参考文献

[1] 赵敏娟, 石锐. “双碳”目标下农业绿色发展的内涵、挑战及路径选择[J]. 社会科学辑刊, 2024(2): 162−171+239+241.

[2] 杜志雄. 农业农村现代化: 内涵辨析、问题挑战与实现路径[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2021, 21(5): 1−10.

[3] 刘志彪, 凌永辉, 孙瑞东. 传统产业改造: 发展新质生产力的重点选择策略——兼论对农业现代化的启示[J]. 农业经济问题, 2024(4): 47−57.

[4] 赵志君, 庄馨予. 中国人工智能高质量发展: 现状、问题与方略[J]. 改革, 2023(9): 11−20.

[5] 周杰琦, 陈达, 夏南新. 人工智能、产业结构优化与绿色发展效率——理论分析和经验证据[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2023, 43(4): 96−113.

[6] 魏后凯, 吴广昊. 以新质生产力引领现代化大农业发展[J]. 改革, 2024(5): 1−11.

[7] 于法稳. 习近平绿色发展新思想与农业的绿色转型发展[J]. 中国农村观察, 2016(5): 2−9+94.

[8] 周子铭, 高鸣. 数字技术赋能农业绿色低碳转型: 理论基础、现实困境与路径优化[J]. 四川农业大学学报, 2024, 42(5): 927−933.

[9] 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.

[10] 刘亦文, 欧阳莹, 蔡宏宇. 中国农业绿色全要素生产率测度及时空演化特征研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(5): 39−56.

[11] 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(3): 4−19.

[12] 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(10): 42−50.

[13] 高鸣, 张哲晰. 碳达峰、碳中和目标下我国农业绿色发展的定位和政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1): 24−31.

[14] 高杨, 牛子恒. 农业信息化、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于SBM−ML指数法和空间杜宾模型[J]. 统计与信息论

坛, 2018, 33(10): 66−75.

[15] 郭海红. 数字乡村建设、资源要素错配与农业绿色全要素生产率[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2024, 24(1): 102−116.

[16] 张延龙, 王明哲, 汤佳. 智慧农业与企业绿色生产行为: 来自全国代表性农业企业的微观证据[J]. 中国软科学, 2025(7): 157−168.

[17] 周晓时, 李俊鹏, 吴清华. 人工智能发展对农业生产率的影响: 基于跨国面板数据的实证分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2021(5): 158−167+199.

[18] 蒙慧, 刘允秀, 刘光旭. DeepSeek何以赋能智慧农业高质量发展: 内在机理与路径选择[J/OL]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2025, 1−11. https://link.cnki.net/urlid/61.1376.c.20250430.1541.002.

[19] 黄先海, 黄雨晗, 虞柳明. 人工智能赋能农业新质生产力: 实现逻辑、运行机制与跃升路径[J]. 中国农村经济, 2025(7): 3−22.

[20] 张鑫, 王明辉. 中国人工智能发展态势及其促进策略[J]. 改革, 2019(9): 31−44.

[21] 魏后凯, 崔凯. 农业强国的内涵特征、建设基础与推进策略[J]. 改革, 2022(12): 1−11.

[22] 赵春江. 智慧农业的发展现状与未来展望[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 1−7.

[23] 兰玉彬, 王天伟, 陈盛德, 等. 农业人工智能技术: 现代农业科技的翅膀[J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(6): 1−13.

[24] 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(2): 15−23.

[25] 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.

[26] 罗必良. 基要性变革: 理解农业现代化的中国道路[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(4): 1−9.

[27] 夏显力, 陈哲, 张慧利, 等. 农业高质量发展: 数字赋能与实现路径[J]. 中国农村经济, 2019(12): 2−15.

[28] 杨和平, 李红波. 农业新质生产力对耕地利用生态效率的影响——以长江经济带为例[J]. 中国土地科学, 2024, 38(11): 94−104.

[29] 吴茜. 基于知识图谱的农业智能问答系统设计与实现[D]. 厦门: 厦门大学, 2019.

[30] 张乐, 金秀, 傅雷扬, 等. 基于Faster R−CNN深度网络的油菜田间杂草识别方法[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(2): 304−312.

[31] 何勇, 王月影, 何立文, 等. 低空经济政策和技术在农业农村的应用现状与前景[J]. 农业工程学报, 2025, 41(8): 1−16.

[32] 陈海龙, 李宛淞, 徐倩, 等. 数字乡村建设对农业绿色全要素生产率提升效应与机制研究[J]. 农业经济与管理, 2025(2): 38−51.

[33] 张哲瑞, 蒋芳婷, 高乐, 等. 秸秆类木质纤维素生物质转化微生物蛋白研究进展[J/OL]. 科学通报, 2025, 1−10. https://link.cnki.net/urlid/11.1784.N.20250923.1158.016.

[34] 朱晶, 臧星月. 新质生产力赋能粮食大面积单产提升: 逻辑基础、关键问题与实现路径[J]. 农业经济与管理, 2025(2): 1−11.

[35] 司伟, 王秀清. 外察内审: 中国农业大学农业经济学科回顾与展望[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2025, 42(5): 22−31.

[36] 张成涛, 张秋凤. 乡村振兴背景下农业职业教育的机遇、挑战与应对[J]. 中国职业技术教育, 2019(3): 79−85.

[37] 黄季焜. 农业新质生产力: 内涵与外延、潜力与挑战和发展思路[J]. 中国农村观察, 2024(5): 19−34.

[38] 毛世平, 刘婉钰, 林青宁. 中国农业科技投入强度、结构及政策取向——兼论农业科技创新“最后一公里”的经费投入[J]. 农业经济问题, 2025(3): 18−31.

[39] 芦千文, 苑鹏. 农业生产托管与稳固中国粮食安全战略根基[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2021, 21(3): 58−67.

[40] 穆月英, 张婷. 农户实现农业绿色发展的现实特征与路径优化研究[J]. 农业经济与管理, 2024(6): 1−11.

[41] 高鸣, 杨新宇. 农业增效益: 数字技术赋能粮食产业高质量发展的实践进路[J]. 学习与探索, 2025(2): 23−32+2.

[42] 金书秦, 牛坤玉, 韩冬梅. 农业绿色发展路径及其“十四五”取向[J]. 改革, 2020(2): 30−39.

[43] 李金锴, 苏青松, 高鸣. 乡村治理何以有效?——国外典型实践模式及启示[J]. 山西农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(1): 44−54.

[44] 何可, 朱润. 数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2025, 25(1): 55−67.

[45] 司伟, 李金锴. 深化改革视角下农村增活力的根本、关键与路径[J]. 农村经济, 2025(3): 10−19.

[46] 高鸣, 周子铭. 强化农业科技支撑: 体系构建、关键问题与政策路径[J]. 中国农业大学学报(社会科学版), 2025, 42(3): 37−52.

（**责任编辑**：肖舒苑）

Empowering Agricultural Green Transition through Artificial Intelligence: Mechanisms, Challenges, and Strategic Pathways

LI Jinkai, SI Wei

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Accelerating the application of artificial intelligence in agricultural green transformation is both an urgent requirement for the development of modern and smart agriculture and a key component of building a strong agricultural sector. Based on a conceptual clarification of artificial intelligence and agricultural green transformation, this paper systematically examines the mechanisms through which artificial intelligence enables green transformation in agriculture and analyzes the major constraints faced in practice. From a theoretical perspective, artificial intelligence promotes agricultural green transformation through four interrelated channels: the development of professional talent teams, agricultural technological innovation, improvements in factor quality and efficiency, and enhanced coordination among governance actors. However, current agricultural production practices still face multiple challenges, including a shortage of multi-skilled agricultural professionals and inadequate human-machine collaboration capabilities, the release of artificiac intelligence dividends is facing dual constraints from agricultural ecology and technology, high barriers to entry and limited application scenarios for green intelligent agricultural technologies, and an incomplete supporting policy framework for artificial intelligence. In light of this, this paper proposes focusing efforts on the following key pathways: strengthening the cultivation and management of specialized talent, advancing the research and development of agricultural AI technologies, expanding AI application scenarios and establishing a sound guarantee mechanism for artificial intelligence. These approaches will fully unleash the enabling effects of artificial intelligence in driving the green transformation of agriculture.

Key words: artificial intelligence; agricultural green transformation; smart agriculture machinery; pathways for advancement