数智技术赋能农业高质量发展：现状、挑战及路径探索

何磊磊[1,3]，蒋淑吉[1]，杨 军[2*]

（1. 对外经济贸易大学国际经济贸易学院，北京 100029，中国；2. 对外经济贸易大学数字经济实验室，北京 100029，中国；3. 云南省跨境数字经济重点实验室，云南 650214，中国）

摘 要：［**目的/意义**］数智技术作为数字技术与智能技术融合的产物，是推动农业高质量发展、培育农业新质生产力的关键驱动力。本文旨在系统分析数智技术赋能农业高质量发展的内在逻辑、现实进展与主要挑战，并探索其推进路径，以期为实现农业现代化转型提供理论参考与实践依据。［**进展**］基于改造传统农业理论与农业技术扩散理论，对数智技术赋能农业高质量发展的深层逻辑进行剖析，并以此为基础，系统梳理了数智技术在生产环节、要素配置、管理服务与供应链体系中的实践应用。分析发现，当前数智技术正从局部单点应用向整体系统集成转变，持续推动农业向精准化、数据化、智能化转型。然而，仍面临核心技术瓶颈、产业生态碎片化、数据治理与安全挑战、技术推广普及困难、人才支撑体系薄弱及区域发展不平衡等问题，共同制约了数智技术在农业中的规模化与深层次应用。［**结论/展望**］推进数智技术赋能农业高质量发展需坚持系统思维，实施技术攻关、产业生态构建、数据治理、模式创新与人才培养等多路径协同。未来应聚焦关键核心技术研发与场景适配，加快构建标准化、开放化的技术生态；完善数据权属、流通与安全治理体系；创新可持续的商业模式与政策支持机制；强化多层次数字农业人才队伍建设；并注重区域差异化协同策略。通过多方联动与政策集成，推动数智技术从典型示范走向全面普及，为农业现代化注入新动能。

关键词：数智技术；智慧农业；农业转型；农业高质量发展；新质生产力；数字技术；智能技术

中图分类号：TP399;F323 **文献标识码：**A **文章编号：**SA202602002

引用格式：何磊磊, 蒋淑吉, 杨军. 数智技术赋能农业高质量发展:现状、挑战及路径探索[J]. 智慧农业(中英文), 2026, 8(3): 13-25. DOI：10.12133/j.smartag.SA202602002

HE Leilei, JIANG Shuji, YANG Jun. Digital-Intelligent Technologies Empowering High-Quality Agricultural Development: Current Status, Challenges, and Pathways[J]. Smart Agriculture, 2026, 8(3): 13-25. DOI：10.12133/j. smartag. SA202602002 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

新一轮科技革命与产业变革正深度重塑全球生产体系，以大数据、人工智能（Artificial Intelligence, AI）、物联网和区块链等为代表的新一代信息技术实现集群式突破，并与生物技术、先进制造等领域交叉融合，催生了以数字化、网络化、智能化为核心特征的新质生产力。这一趋势不仅改变着工业与服务业的形态，也为传统农业突破发展瓶颈、迈向现代化提供了历史性机遇。当前，中国农业正处于从传统生产模式向现代产业体系转型升级的关键阶段，面临资源环境约束日益趋紧、农业生产成本持续上升、农产品供需结构性矛盾突出、国际市场竞争力亟待加强等诸多严峻挑战。长期以来依赖要素规模扩张的增长模式已难以持续，加快农业发展动能转换与质量提升刻不容缓。数智赋能不仅是生产工具的技术迭代，更是对农业生产方式、要素配置、产业组织与商业模式的系统性重塑。智慧农业，正是数智技术与农业全产业链深度融合的

收稿日期：2026-01-31

基金项目：国家自然科学基金项目（72404007）

作者简介：何磊磊，博士，研究方向为数字经济、农产品贸易和智慧农业。E-mail：hll_stones@126.com

*通信作者：杨 军，博士，教授，研究方向为国际贸易、发展经济学、一般均衡模型理论与应用。E-mail：yangjunUIBE@163.com

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

集中体现，标志着农业进入以数据和知识为核心驱动力的新发展阶段[1]。因此，探讨数智技术如何赋能农业高质量发展，不仅是应对当前挑战、把握未来机遇的战略抓手，也是培育农业新质生产力、实现乡村全面振兴的必然理论命题。

数智技术赋能农业高质量发展，其内在逻辑根植于改造传统农业理论与农业技术扩散理论在新时代的融合演进，核心在于引入并高效扩散高阶生产要素，系统重构农业产业基础。改造传统农业理论指出，传统农业增长停滞的根源在于生产要素配置的长期固化与低效[2]。数智技术作为新一代高阶生产要素，通过精准感知、智能控制与数据驱动，实现对土地、劳动、资本等传统要素的数字化映射与动态优化，本质上是农业生产函数的系统性重构。这不仅体现为以智能装备与算法模型代替经验与人力，更通过智慧农业平台等新组织形式，整合分散经营主体，优化社会分工，从而提升全要素生产率，突破传统农业的收益瓶颈[3]。技术扩散理论在数字时代呈现范式跃迁[4]，数字媒介（如农业App、在线平台、短视频）极大地压缩了技术认知周期，使扩散指数级加速；传播网络也从线性的“示范户-邻里”模式转向基于数字平台的网状协同结构（专家-服务商-农户）[5]，为技术快速大规模渗透创造了条件。

在理论深化层面，数智赋能实现了改造传统农业理论与农业技术扩散理论目标的协同升级，指向经济、社会与生态可持续的多元价值统一[6-8]。一方面，它推动农业现代化与生产率持续增长，并通过精准作业与智能管理促进资源节约与环境保护，拓展了“增长”的绿色内涵；另一方面，依托政策支持与普惠性数字基建，能构建包容性技术服务网络，缓解“数字鸿沟”，使技术红利更公平地惠及各类农业主体，增强了扩散过程的公平性与包容性。因此，数智赋能本质是“生产要素重构-技术扩散加速-多元目标协同”联动的系统性工程，标志着农业从“经验依赖”走向“数据驱动”的范式转变。其实践路径清晰可循：在基础驱动层，数智技术渗透生产环节，实现耕种管收的精准化与自动化，提升土地产出率、资源利用率和劳动生产率；在产业演进层，技术融合催生智慧种植、智能养殖等新业态，并衍生大数据服务、智能农机、供应链金融等新模式，推动产业链延伸与价值链升级；在战略目标层，技术应用始终锚定粮食安全、农民增收、农村生态与乡村振兴等国家战略，兼顾效率与公平，实现经济、社会与生态效益的统一。

为系统推进农业现代化进程，近年来中国已构建起层次分明、持续深化的政策体系，为农业数字化转型提供了明确指引。2020年国家首次明确提出将物联网、大数据等现代信息技术用于智慧农业建设，随后相关政策陆续出台、层层推进。2022年《“十四五”数字经济发展规划》将农业数字化纳入国家数字经济整体布局；2024年《关于大力发展智慧农业的指导意见》（农市发〔2024〕3号）推动智慧农业从概念走向实践；2024年《全国智慧农业行动计划（2024—2028）》系统谋划未来五年智慧农业发展目标与重点工程；至2025年，《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》进一步将加快农业数智化转型升级列为重点任务，标志着政策重心从宏观倡导转向具体场景突破与整体能力构建。这一系列政策动向，为以科技创新驱动农业高质量发展、支撑现代农业强国建设确立了清晰的时间坐标与实施路径。

数智技术作为大数据、人工智能、物联网等融合应用的集成创新，正深刻改变农业生产与管理方式。现有研究显示，其应用已初见成效，但仍面临诸多挑战。早期研究侧重于概念界定、技术体系与发展战略[9-11]。随着实践深入，逐渐聚焦于无人机、人工智能等具体技术在农业中的应用[12,13]，赋能机理与影响[14,15]，以及面临的挑战与对策[16-18]。然而，多数研究仍局限于单一技术或环节，缺乏从农业全产业链视角进行的系统梳理，也未能深入揭示技术推广中经济可行性、制度约束与社会结构之间的关联，导致宏观战略与微观实践之间衔接不足，尚未形成“理论—实践”有效闭环。为此，本文的边际贡献主要体现在以下三方面：第一，在理论分析上，融合改造传统农业理论与农业技术扩散理论，阐释数智技术驱动农业高质量发展的内在逻辑。其核心在于，通过引入并加速扩散数据、知识、智能技术等高阶生产要素，系统性重构农业产业基础，从而为高质量发展奠定坚实的效率基础；第二，在研究视角上，突破单一技术局限，立足农业全产业链，统筹技术、经济、制度与社会等多维因素，系统剖析数智技术从单点应用向系统集成演进的深层次问题；第三，在路径设计上，立足中国“大国小农”、区域差异显著的农情，提出“技术攻关-产业生态构建-数据治理-模式创新-人才培养-区域协同”六位一体的协同推进体系，推动形成多方合力，实现从理论到实践的系统化闭环。基于此，

本文将系统梳理数智技术在农业生产、要素配置、管理服务与供应链体系等关键环节的应用现状，深入剖析面临的核心技术瓶颈、产业生态碎片化、数据治理与安全、技术推广普及难、人才支撑不足及区域发展不平衡等挑战，进而探索切实可行的推进路径，以期为相关研究与实践提供参考。

1 数智技术赋能农业高质量发展的多维应用现状

随着物联网、大数据、人工智能、云计算等新一代信息技术的集群式突破与深度融合，数智技术正以前所未有的广度和深度赋能农业全产业链，驱动农业生产方式、要素配置、管理服务与供应链体系发生深刻变革，成为推动农业高质量发展的核心引擎。其实践应用已从早期的局部单点技术试验，迈向以解决产业关键痛点为导向的系统集成与场景化落地阶段，展现出从效率提升到模式创新的演进路径。当前，数智技术赋能农业高质量发展的现状呈现出以下四个相互关联、层层递进的阶段性特征与渗透模式。

1.1 生产环节:从单点效率提升到全环节闭环优化

数智技术在生产环节的渗透，已超越初期简单的环境监测或设备自动化，演进为构建“感知-分析-决策-执行”的闭环赋能体系，其核心驱动力在于应对资源约束、劳动力成本上升与对产出品质一致性提升的迫切需求。这一进程呈现出从“机器换人”的替代逻辑，向“数据驱动”的优化逻辑深化的规律。技术渗透首先在标准化程度较高、劳动密集型或资源消耗关键环节取得突破。例如，在种植领域，基于物联网的精准灌溉与施肥、基于无人机的变量施药，已从示范田走向规模化应用，其模式是通过实时数据替代传统经验，实现水、肥、药等投入品的精准减量[19]。新疆尉犁县的无人化棉花农场是数智技术在生产环节实现闭环优化的典型案例。该模式的核心价值不仅体现在劳动力替代上，更在于通过全流程数字化管理，实现了资源利用效率与产出效益的协同提升[20]。2023年产季数据显示，该农场亩产达420.9 kg，较周边传统棉田增产20%；同时，用水成本降低52%，肥料与农药成本分别下降17%和30%。这一实践不仅验证了无人化种植模式在大规模棉花生产中的可行性，也充分揭示了数智技术在推动农业降本增效方面的关键作用。在畜牧领域，技术渗透从环控自动化深入到个体生命体征与行为监测，通过电子耳标、机器视觉等技术实现健康预警与精准饲喂，如京东智慧猪场案例，其本质是将管理单元从群体细化至个体，提升生物资产的管理精度与福利水平[21,22]。在渔业领域，面对环境风险与监管难题，通过水下传感器与智能装备实现养殖过程的透明化与可控化，如深远海智能化养殖平台案例，展示了技术如何突破传统养殖的空间与人力限制[23-25]。当前特征表明，生产环节的智能化正从离散应用向作物/畜禽全生命周期管理闭环集成，其成熟度与作物/养殖类型的经济价值、生产过程的标准化程度呈正相关，驱动模式从技术推动转向需求拉动与效益驱动相结合。

1.2 要素配置:从实体资源依赖到数据要素驱动

数智技术更深层次的赋能体现在对土地、水、种业等核心生产要素配置方式的革命性改变上，其核心规律是推动生产要素的数字化、在线化与共享化，从而突破物理时空限制，优化配置效率。在种业领域，技术渗透的典型模式是构建“数据驱动的智能设计育种”新范式。传统育种依赖田间表型观察，周期长、效率低。当前，通过高通量表型组学、基因测序技术将种质资源转化为标准化数据，再利用AI算法挖掘基因型-表型-环境关联，实现精准的性状预测与亲本选配。全国农作物种质资源信息平台的建设与运行，标志着种业创新的基础正从实体资源库转向数据资源池，其共享服务机制极大地加速了优异基因资源的挖掘与利用，体现了数据要素对传统育种研发模式的颠覆性重塑[26]。在水资源管理方面，技术渗透推动了从“工程节水”向“智慧节水”的范式转变[27]。智能灌溉系统集成了“空天地”一体化感知、作物需水模型与AI决策，实现了从“按亩灌溉”到“按需精溉”的根本性改变。中国农业科学院等单位研发的灌溉智能体，旨在构建具备自学习、自适应能力的灌溉决策系统，这标志着灌溉管理正从基于静态规则的自动化，迈向基于动态数据与模型迭代的智能化[28]。这一变革的驱动力，直接源于中国严峻的水资源约束与国家节水战略的刚性要求。此维度的现状揭示，数智技术通过将生产要素转化为可度量、可分析、可优化配置的数据流，正在重塑农业生产的底层逻辑，其渗透程度是衡量农业产业现代化水平的关键标尺。

1.3 管理服务:从分散管理到系统集成

数智技术正推动农业管理服务从条块分割、事后响应向系统集成、实时透明与精准协同演进。这一进程的驱动力主要来自提升政府宏观治理效能、强化产业公共服务能力以及应对日益复杂产业风险的需求。在农田监管与保护领域，技术渗透形成了“天空地”一体化立体监测网络。通过融合卫星遥感、无人机与物联网数据，结合AI图像识别，实现了对耕地“非农化”“非粮化”、作物种植结构、长势与灾情的常态化、大范围、高精度检测[29]。农业农村部开展的高标准农田遥感监测试点，正是利用技术手段将“藏粮于地”战略落实为可量化、可考核的精准管控闭环。这标志着农田管理从依赖人力巡查与统计上报，转向基于连续数据流的动态智慧监管。在产业综合服务层面，技术渗透的集中体现是各级农业大数据平台的建设与应用。这些平台致力于打破数据孤岛，整合生产、市场、资源、政策等多源异构数据，其核心模式是通过数据融合与模型开发，提供覆盖生产指导、市场预警、质量追溯、金融保险等场景的智能化服务[30]。例如，黑龙江省农业大数据平台通过整合农机调度、物联网监测等系统，实现了全省农业生产资源的优化配置与过程管理的提质增效[31]。这类平台的推广，反映了农业管理与服务正从提供通用信息向提供个性化、精准化解决方案转型，其成熟度取决于数据汇聚、治理与模型开发的能力。

1.4 供应链体系:从线性链条到网络生态

数智技术对农产品供应链的赋能，已超越提升物流效率的范畴，正在重塑其形态，推动从传统的线性、分段式链条向透明、敏捷、可追溯的数字化供应链网络演进[32]。核心驱动力来自消费市场对品质、安全、可追溯性的更高要求，以及产业内部降本增效的持续压力。技术渗透贯穿于产后处理、仓储物流、质量追溯与产销对接等关键节点，并呈现出集成联动趋势。在产后环节，基于高光谱和机器视觉的智能分选装备实现了农产品内在品质的外部化、标准化度量，提升了商品化处理能力与价值[33]。在流通环节，物联网与智慧仓储系统（Warehouse Management System, WMS）确保了仓储物流过程的精细化与可控性。更具革命性的是区块链技术的应用，它为农产品建立了贯穿全链条、不可篡改的“数字档案”[34]。如山东潍坊的“区块链+韭菜”项目，不仅实现了透明溯源，更以可信数据倒逼生产标准化，创造了品牌溢价，体现了技术从保障安全向创造价值的延伸[35]。更深层次的变革在于，供应链各环节数据的打通与融合，正催生“以销定产”的顾客对工厂（Customer to Manufacturer, C2M）模式。通过前端消费大数据分析预测市场需求，反向指导生产端的品种选择、种养规模与上市时间，阿里农产品智慧产地仓等实践正在探索这一路径[36, 37]。这标志着数智技术赋能正从优化单个环节效率，升级为重构“生产-流通-消费”的整体关系，推动农业从生产导向转向市场与消费导向。

2 数智技术赋能农业高质量发展面临的多维挑战

数智技术是推动农业向精准化、智能化与绿色化转型的关键力量，中国农业数智化已从初步探索进入深度融合阶段，正着力解决产业痛点、创造实际价值[38]。然而，立足于中国“大国小农”的基本国情，叠加资源约束与生态阈值，数智技术在赋能农业高质量发展的进程中仍面临多维挑战。这些挑战涉及技术、产业、应用与生态等多方面，成为制约其潜能释放与产业升级的主要瓶颈。

2.1 核心技术瓶颈

数智技术在农业领域的深度应用，首先面临核心技术自主可控能力不足与有效技术供给短缺的双重制约。一方面，关键技术与核心装备对外依存度过高，已成为产业发展的基础性风险与成本的瓶颈。中国智慧农业所需的高端传感器、先进算法模型、智能农机核心零部件等仍存在显著的“卡脖子”问题。以大型农机为例，250马力以上产品超过90%依赖进口，在整机设计、制造工艺、材料及关键元器件等方面均存在明显差距。2024年，中国200马力以上拖拉机市场规模达126亿元，但核心部件国产化率不足40%，尤其是大型高端农机的前驱动桥长期依赖进口，面临成本与供应链的双重压力[39]。此外，高稳定性、长寿命的土壤多参数传感器、畜禽生命体征监测传感器，以及适用于复杂农业场景的作物生长模拟与病害预测模型，也在很大程度上依赖国外技术。这种广泛的技术依赖不仅显著推高了智慧农业解决方案的整体成本，削弱了其经济可行性，更在极端国际形势下可能威胁中国粮食生产体系的稳定运行与产业安全，形成潜在的战略风险。与此同时，数据安全风险日益凸显，进

口设备所采集的农业生产数据存在被恶意利用的可能，而核心控制系统的潜在漏洞也可能直接导致生产损失。

另一方面，技术供给与农业实际需求之间存在明显的结构性错配，导致科技成果转化通道不畅。许多源自高校与科研院所的技术成果，在实验室环境下表现优异，但难以适应农业生产地域性强、变量多、环境恶劣的复杂场景，在实用性、可靠性、耐久性及成本可控性上面临严峻考验。当前的技术研发往往以“技术驱动”为主导，部分产品从工业或城市场景简单移植而来，强调技术的集成度与复杂性，却忽视了农业自身的生物学特性、地域差异性以及生产经营主体（尤其是小农户）的实际应用能力。这导致市场上充斥着一些重展示、轻实用，操作复杂、维护昂贵的技术与装备，在试点示范中表现亮眼，却难以在广大农田中大规模推广，形成了“示范盆景”与“生产风景”的脱节。广大农户真正需要的，往往是“门槛低、适配强、见效快、易操作”的轻量化、低成本解决方案，如简易智能灌溉设备、手机端可视化的农情预警工具等，但这类需求在当前的研发供给体系中尚未得到充分回应与有效满足。

2.2 产业生态碎片化

健康且协同的产业生态是数智技术规模化应用和价值倍增的基础[40]。然而，当前中国农业数智化领域却呈现出显著的碎片化特征，主要体现在产业链协同不足与统一标准规范缺失两个方面。从产业链条看，智慧农业涉及硬件制造、软件开发、数据服务、电信运营、农业经营主体等多个环节，但各参与主体之间往往缺乏有效的协同机制，处于“各自为战”的状态。农业生产、加工、流通、销售等各环节主体之间数据标准不一、格式互异、系统封闭，形成了严重的“数据孤岛”。例如，种植端的作物生长数据无法与加工端的品质需求数据有效对接，流通端的物流信息难以与销售端的市场信息实时同步，导致产业链整体运行效率低下，无法基于全链条数据实现精准的市场预测、生产规划与资源调度。

产业生态碎片化的另一核心表现是技术标准与互联互通规范的严重滞后。智慧农业技术体系庞杂，设备种类繁多，但全国范围内缺乏统一且强制性的技术标准、数据接口协议、通信规范及安全基线。不同厂商生产的设备与系统之间互操作性差，数据难以自由、安全地流动与汇聚。这种状况不仅造成了大量的重复建设和资源浪费，形成了彼此割裂的“技术烟囱”，更带来了网络安全的“洼地效应”，即一些采用非标、低安全防护水平的设备极易成为整个农业数字系统的脆弱环节和攻击入口。标准体系的缺失，已成为数据要素价值释放、阻碍跨主体协同创新、限制产业规模化健康发展的关键瓶颈。推动建立开放、协同、安全的产业生态，亟须从顶层设计入手，加快构建覆盖数据采集、传输、交换、应用全流程的标准规范体系。

2.3 数据治理与安全之困

数据是数智农业的核心生产要素，但其价值的充分发挥有赖于健全的治理框架与可靠的安全保障。当前，中国农业数据领域面临治理规则缺失与安全风险突出的双重困境。在数据治理方面，数据“归谁所有、由谁管理、谁能使用、如何受益”等核心问题的权责利界定尚不清晰，缺乏明确的法律法规与政策依据[41]。数据产权制度、质量标准、共享机制、价值评估与收益分配规则的基本空白，导致各数据持有主体（包括政府、企业、科研机构、农户）因权益无法得到保障而不愿、不敢共享数据。这使得大量高价值的农业数据被困于分散的系统和部门内部，难以实现跨域融合与深度挖掘，数据作为关键生产要素的潜能远未释放，制约了基于大数据的精准决策和智能服务创新。与此同时，农业数据安全风险贯穿于采集、传输、存储、应用的全生命周期，且日益严峻。在采集端，部署于露天野外的大量物联网传感设备易遭受物理破坏或数据篡改；在传输端，无线通信链路可能面临窃听、干扰等攻击；在存储端，汇聚了海量生产经营数据、种质资源信息乃至国家粮食战略布局数据的云平台或数据中心，成为高级持续性威胁等网络攻击的高价值目标，一旦失守可能导致大规模敏感信息泄露，危及产业乃至国家安全；在应用与共享端，由于数据流转边界模糊、访问权限控制不当，极易引发数据滥用或违规跨境流动[42]。农业数据不仅关乎经营主体的商业秘密，更与国计民生紧密相连，构建兼顾发展与安全、权责清晰、流转有序的数据治理与安全保障体系，已成为推动农业数智化行稳致远的紧迫任务。

2.4 技术推广与普及难题

数智技术在农业领域的广泛应用，特别是向以小农户为主体的生产经营体系的渗透，面临着严峻

的经济可行性与推广模式挑战，核心在于投入产出比失衡与小农户转型滞后。智慧农业的前期建设需要高昂的硬件投入（如智能传感网、无人农机、农业机器人等），后期运营则伴随持续的软件服务、数据流量、设备维护与迭代升级成本。对于利润空间有限、经营规模普遍较小的广大中小农户和家庭农场而言，这是一笔经济回报周期长且不确定的沉重投资[43]。尽管规模化应用能带来显著的节本增效收益，但分散经营主体难以清晰核算并确信其长期经济效益，普遍存在“用不起、不敢用”的观望心理，严重制约了技术的市场化普及。这一经济约束直接导致了技术推广中“盆景”与“风景”的矛盾。当前，许多成功的智慧农业项目多依赖于政府主导的示范园区或专项补贴，如同精心培育的“盆景”，展示了技术可能性，但其商业模式尚未经过完全市场化环境的验证。如何将这些依赖“输血”的示范点，转化为广大农村地区能够自主生存、可复制、可推广的“风景”，即探索出可持续、具有内生动力的商业化运营模式，是核心挑战。小农户作为中国农业经营主体的绝对多数，其数智化转型滞后问题尤为突出。他们不仅受限于经济实力，还面临数字素养偏低、缺乏适配性产品等障碍。市场上多数产品针对规模化主体设计，昂贵且复杂，缺乏适合小农户的轻量化、低成本、易操作的产品与服务方案。若不破解小农户的融入难题，数智技术赋能将可能加剧农业内部的发展不平衡，难以实现整体高质量发展的目标。

2.5 人才支撑体系短板

人才是驱动数智技术与农业深度融合的第一资源，当前人才供给的结构性矛盾已成为制约创新与落地的关键短板。智慧农业本质上是农学、信息科学、工程学等多学科交叉融合的领域，亟需大量既精通农业专业知识又掌握数据分析、人工智能或智能装备技术的“农业数字工程师”或“新农人”[44]。然而，中国现行的高等教育与职业教育体系，学科壁垒相对分明，跨学科人才培养机制尚不完善，导致此类复合型人才供给严重短缺。同时，由于农业领域的工作环境、职业发展前景及薪资待遇等方面相较于城市信息和通信技术（Information and Communication Technology, ICT）行业缺乏竞争力，难以吸引和留住顶尖的数字技术人才投身农业农村，人才“引不来、留不住”的问题十分突出。

另一方面，作为技术应用终端的广大农业从业人员，其数字素养不足构成了技术落地的“最后一公里”障碍。中国农业从业人员老龄化、兼业化趋势明显，许多传统农户对智能手机、电脑等基础数字工具的掌握尚且有限，面对更为复杂的智能管理系统、数据分析平台或先进装备操作界面时，往往存在“不会用、不愿用”的困难[45]。使用主体与先进技术之间的“数字鸿沟”，不仅影响了技术的实际应用效果和用户体验，甚至可能导致昂贵的智能设备被闲置，造成资源浪费。因此，在加强高端复合型人才培养与引进的同时，必须高度重视对现有农业生产经营主体，特别是小农户的数字技能普及与培训，提升其技术接纳和应用能力，这是确保数智技术真正扎根田间地头的基础工程。

2.6 区域发展不平衡

中国各地区在资源禀赋、经济水平、基础设施等方面差异明显，这直接导致了数智技术赋能农业进程出现显著的空间分异，区域发展不平衡问题突出，并可能进一步拉大原有的农业发展差距[46]。首先，这种不均衡体现在数字基础设施的“接入不平等”上。东部发达地区及大城市郊区网络覆盖质量高、新型基础设施完善，为智能装备和物联网技术的大规模应用提供了良好基础。而中西部地区、偏远山区及丘陵地带，不仅网络覆盖存在盲区，农田条件也较为碎片化，制约了大型智能农机和连贯物联网络的部署。根据第三次国土调查数据计算得到，丘陵山区农作物各环节机械化水平均落后于平原地区。西南丘陵山区的综合机械化率仅为41.57%，且与全国综合机械化率差32.72个百分点[47]，形成了明显的区域“数字鸿沟”。其次，区域经济承载力与政策聚焦度的差异，深刻影响了技术渗透的深度与广度。东部沿海等经济发达地区，政府财政支持力度大，新型农业经营主体集聚，更有能力和意愿承担高成本的数字技术试验与迭代推广，往往在技术研发、模式创新方面处于引领地位。相比之下，欠发达地区政府投入有限，经营主体规模小、实力弱，数智技术的应用多停留在农业信息发布、电商销售等初级层面，向生产核心环节的智能决策、精准管控等深度应用推进困难。此外，各地对农业数字化的战略重视程度、规划的系统性及政策配套的完整性也存在差异，部分先行地区已形成政策与产业协同的集群效应，而有些地区尚处于起步或碎片化推进阶段。这种区域间在基础设施、经济支撑、政策环境等方面的多维差距，若

不加以有效干预和统筹，将影响国家整体农业数字化进程的协同推进，不利于实现共同富裕背景下的农业高质量发展。

3 推动数智技术赋能农业高质量发展的协同路径探索

推动数智技术赋能农业高质量发展，是一项涉及技术、数据、市场、人才与区域协调的系统性工程，不能依赖单一环节的突破，而必须通过多维度、多主体的协同推进，形成发展合力。为此，应构建以“技术攻关-产业生态构建-数据治理-模式创新-人才培养-区域协同”为核心的六位一体协同推进体系，注重政策联动与差异化实施，推动技术创新切实转化为产业效能，实现数智技术对农业生产全链条与各环节的全面覆盖，最终实现农业质量、效率与竞争力的整体跃升。

3.1 路径一:聚焦关键核心技术攻关,提升自主可控与场景适配能力

针对当前核心技术自主可控能力薄弱、有效技术供给不足且与农业实际需求错配的突出瓶颈[48]，必须将科技创新置于核心位置，实施精准定向攻关，并强化产学研用深度融合，以提升技术的自主性、适配性与经济性。首要任务是集中优势资源，围绕智慧农业产业链的薄弱环节，设立国家与地方联动的重大科技专项，重点攻关高稳定性、长寿命、低成本的农业专用传感器（如土壤多参数、畜禽生命体征、作物表型传感器），开发适应复杂农田环境的先进算法模型（如作物生长模拟、病虫害智能诊断与预测、产量预估模型），以及实现智能农机装备核心零部件（如高性能控制器、专用执行器、导航模块）的国产化替代[49, 50]。攻关过程需强调需求导向，建立由农业龙头企业、新型经营主体提出真实技术需求，科研院所与高校进行针对性研发的“揭榜挂帅”机制。同时，鼓励采用“赛马制”，支持不同技术路线并行探索，通过实际应用场景的检验筛选最优方案。此举旨在降低对外技术依存度，保障产业安全，并从根本上降低智慧农业解决方案的成本，提升其经济可行性。

其次，必须构建以产业需求为牵引、产学研用深度协同的创新转化体系，解决技术供给与农业场景“水土不服”的问题。推动成立由龙头企业牵头，联合高校、科研机构、技术服务商和典型用户共同组成的创新联合体或产业技术联盟。该联合体的核心职能是共同定义产品规格、共建中试熟化基地、共担应用风险。例如，针对小农户需求，联合体可协同开发“门槛低、易操作、见效快”的轻量化解决方案，如基于智能手机的简易环境监测与农情预警App、低成本自动化灌溉控制模块等。此外，应改革科技成果评价体系，将技术的田间可靠性、用户友好性、维护便捷性及全生命周期成本作为重要评价指标，引导研发从“技术驱动”的实验室完美主义，转向“场景驱动”的实用主义。通过建立快速迭代反馈机制，使技术能够在真实生产环境中持续优化，最终形成“研发-试点-反馈-改进-推广”的良性循环，弥合“示范盆景”与“生产风景”之间的鸿沟。

3.2 路径二:构建开放协同产业生态,破解碎片化与标准缺失困境

为扭转当前产业生态碎片化、产业链协同不足、标准规范缺失导致的“数据孤岛”与“技术烟囱”局面，必须从顶层设计入手，着力构建开放、协同、标准统一的产业生态，促进数据要素的自由流动与价值倍增。核心举措是加快制定并推广覆盖全产业链的智慧农业标准规范体系。由政府主管部门牵头，联合行业协会、领先企业及科研机构，加快研制并强制实施关键领域的技术标准。这包括：农业物联网设备的统一数据采集格式、通信协议（如兼容5G、NB-IoT、LoRa等）与安全接口规范；农业大数据平台的数据元、代码、交换共享等基础标准；智能农机装备的作业数据接口与互联互通标准。标准制定应遵循“急用先行、成熟先上”原则，优先在国家级现代农业产业园、数字农业试点项目中推广应用，形成示范效应。通过强制性标准，确保不同厂商、不同环节的设备与系统能够“即插即用”、数据能够无缝对接，从根本上减少重复建设，降低系统集成复杂度与成本，为构建全国性或区域性农业大数据平台奠定基础。

在统一标准的基础上，积极打造基于平台的产业协同生态。鼓励具有技术整合能力的平台型企业（如大型科技公司、电信运营商、领先农业企业）构建开放式的智慧农业服务平台。该平台应提供设备接入、数据汇聚、模型算法、应用开发等基础能力，吸引各类硬件制造商、软件开发商、数据服务商、农业合作社等主体入驻，形成“平台+生态伙伴”的模式。平台通过制定公平合理的利益分配与数据共享规则，激励生态伙伴在统一框架下进行创

新与合作。例如，种植端的传感器数据可安全流转至加工端的品质控制模型，再与流通端的冷链物流系统、销售端的市场需求预测系统联动，最终实现从“田间到餐桌”的全链条数据驱动与协同优化。政府可通过采购公共服务、开放公共数据资源、举办创新挑战赛等方式，引导和培育此类协同生态，逐步化解产业链各环节主体“各自为战”的局面，实现整体效率提升与价值创造。

3.3 路径三:健全数据治理与安全体系,筑牢数据要素价值化根基

面对农业数据权属不清、共享不畅、安全风险突出的治理困境，必须加快建立健全权责清晰、流转有序、安全可控的数据治理与安全保障体系，这是释放数据要素价值、保障产业健康发展的前提[51]。首先，需在法律与政策层面明确农业数据的产权界定、流通规则与收益分配机制。建议研究制定专门的农业数据管理办法，对农业生产数据（如地块信息、种植过程、环境监测）、经营数据（如投入品记录、产量、成本）、市场数据（如价格、流通信息）等不同类型数据的权属进行原则性界定。探索建立“数据分类分级管理”制度，对涉及国家粮食安全战略、核心种质资源、敏感地理信息等数据实施严格管控；对一般性生产经营数据，在脱敏脱密后，鼓励在保障主体权益的前提下通过市场化机制流通。可借鉴“数据信托”或“数据银行”模式，引入可信第三方平台，提供数据确权、存证、评估、交易撮合与结算服务。同时，探索建立基于区块链技术的农业数据溯源与共享机制，确保数据流转过程可追溯、不可篡改，利益分配依约定自动执行，从而破解各主体“不愿、不敢共享”的难题，激活数据潜能。

其次，必须构建贯穿数据生命周期的全方位安全防护体系。针对农业物联网设备分布广、环境开放、防护能力弱的特点，制定并强制实施《智慧农业网络安全防护指南》，明确设备入网安全基线要求，推广使用国产密码技术进行数据加密传输和存储。对于部署在田间地头的传感设备，需加强物理防护设计，并建立远程监控与异常报警机制。在平台层面，对汇聚海量农业数据的云平台或数据中心，应将其纳入关键信息基础设施保护范围，实施等级保护制度，定期进行安全渗透测试和风险评估。建立农业网络安全威胁监测预警与应急响应平台，实现跨区域、跨部门的安全信息共享与协同处置。此外，加强对数据应用与共享环节的监管，建立严格的数据访问权限控制、审计日志和跨境流动安全评估机制，防止数据滥用和泄露。通过“技术防护、管理规范、法规保障”三管齐下，为农业数智化发展构筑坚实的安全防线。

3.4 路径四:创新普惠性商业模式与政策工具,破解推广与普及难题

为克服技术应用经济可行性低、小农户融入难、推广模式不可持续的挑战，必须创新商业模式，优化政策支持导向，形成政府引导、市场主导、多方共赢的推广普及机制[52, 53]。大力创新并推广面向小农户的普惠性智慧农业服务模式是核心突破口。积极发展以“服务外包”为核心的智慧农业社会化服务体系[54]。鼓励成立专业的农业数字化服务公司或由合作社拓展服务功能，为小农户提供“用而不买”的按需服务。具体模式包括3种。①托管服务。如智能灌溉托管、无人机植保飞防托管，服务商负责设备投入、运维和作业，农户按面积或效果付费。②数据服务订阅。服务商通过布设区域化传感网络或利用遥感数据，向农户提供地块级的作物长势监测、病虫害预警、施肥配方建议等数据产品，农户通过手机App订阅并支付服务费。③金融保险联动服务。与金融机构合作，将农户应用智慧农业服务产生的可信数据（如规范的农事记录、产量提升证明）作为信用评估依据，提供优惠信贷；与保险机构合作，开发“数字农险”，将智能监测数据用于灾情定损与理赔，降低保费和提高理赔效率。这些模式能显著降低小农户的初始投资门槛和风险，使其以可承担的成本享受数智技术红利[55]。

政策支持方式需从“补硬件”向“补服务”和“补效果”进行战略性转变。财政补贴资金应更多投向能够证明实际成效的智慧农业服务采购、数据产品应用以及基于效果的奖励。例如，可设立“智慧农业应用效果奖励基金”，对通过权威认证、确实实现节本增效、品质提升或减排增收的新型经营主体或服务组织给予后补助。税收政策上，对提供智慧农业社会化服务的企业给予所得税优惠，对其购买的专用设备实行加速折旧。金融政策方面，鼓励银行开发“智慧农机融资租赁贷款”“农业数字化升级改造贷款”等产品，并扩大合格抵押品范围，将数据资产、未来收益权等纳入考量；政府性融资担保机构应提高对智慧农业项目的担保比例并

降低费率。通过这一系列精准、创新的政策组合拳，引导市场资源流向真正创造价值的应用环节，培育可持续的内生发展动力，推动智慧农业从“政策盆景”规模化发展为“产业风景”[56]。

3.5 路径五:实施多层次数字人才培养计划，弥合主体数字素养鸿沟

针对高端复合型人才短缺与广大农业从业人员数字素养不足的双重人才短板，必须构建“高端引领、中坚支撑、基础普及”的多层次数字人才培养与素养提升体系[57]。在高层次复合型人才培养与引进方面，推动教育体系改革与人才政策创新双轮驱动。教育层面，支持涉农高校与信息技术强校联合设立“智慧农业”交叉学科，开设农业人工智能、农业大数据分析、智能装备工程等专业方向[58, 59]，设计跨学科课程体系，实行“双导师制”（校内学术导师+企业产业导师）。深化校企合作，共建产业学院、联合实验室和实习实训基地，让学生深度参与真实项目研发。人才引进层面，制定专项计划，吸引国内外人工智能、数据科学、物联网等领域的优秀人才投身农业领域。在国家级农业科研院所、重点龙头企业设立“农业数字科学家”岗位，提供具有市场竞争力的薪酬待遇、充足的科研经费和良好的职业发展通道。对返乡入乡创业就业的数字技术人才，在住房、子女教育、职称评定等方面给予倾斜，解决其后顾之忧，打造农业数字领域的“人才高地”。

在广大农业从业者数字技能普及方面，开展大规模、精准化、实效性的培训工程。整合农业农村部门、教育部门、科协、企业等多方资源，构建“县乡村”三级联动的培训网络。培训内容坚持“实用为主、急需先行”，重点包括：智能手机与农业App操作、短视频与直播电商技能、无人机基本操作与安全规范、物联网设备查看与简单维护、数据记录与解读等。培训形式应灵活多样，结合农时农事，采用“田间课堂”“线上微课”“夜校”“师傅带徒弟”等多种模式。特别要重视对家庭农场主、合作社带头人、返乡创业青年等“关键少数”的深度培训，将其培养成为乡村数字化的“种子”和“带头人”。此外，鼓励企业开发更加人性化、直观化、本地语言适配的智能系统和设备界面，降低使用难度。通过“培养新农人、提升传统农人、优化产品体验”三结合，切实弥合数字鸿沟，确保技术“下得去、用得好”。

3.6 路径六:推行差异化区域协同战略,促进全域普惠与平衡发展

为应对区域间数字基础设施、经济承载力、政策聚焦度差异导致的发展不平衡问题，必须实施分类指导、协同联动的区域发展战略，并持续夯实基础设施底座，推动数智技术赋能农业实现全域普惠。实施差异化发展战略是立足国情的关键[60, 61]。针对不同区域资源禀赋和发展阶段，明确其数智化发展的重点方向与支持政策。东部沿海及大城市郊区等先行区，定位为“创新策源与模式输出区”，支持其开展前沿技术集成应用、复杂场景解决方案探索和商业化模式创新，打造具有国际影响力的智慧农业科创中心和产业集群。在中部粮食主产区，定位为“稳产保供核心应用区”，财政与科技资源重点支持粮食生产全过程的智能化升级，大力推广智能节水灌溉、精准施肥施药、无人化收获、粮食烘干收储智能化等技术，筑牢国家粮食安全数字屏障。西部及特色农产品优势区，定位为“特色价值提升区”，支持其利用数智技术赋能特色种养业，聚焦于产品品质溯源、生长环境精准调控、病虫害绿色防控、品牌电商营销等环节，打造“数字赋能+特色产业”的增值模式。国家层面建立区域协同发展机制，通过东西部协作、对口支援、园区共建等方式，推动技术、人才、资本、数据等要素从先进地区向后发地区有序流动[62, 63]。

全域普惠发展的根本在于持续提升农村地区，特别是欠发达地区的数字基础设施覆盖水平与服务质量[64]。将农村数字基础设施纳入乡村振兴战略和新型基础设施建设规划，予以优先保障。持续推进5G网络、千兆光网向有条件、有需求的乡村延伸，优化4G网络覆盖质量。针对偏远山区、丘陵地带等网络盲区或弱区，综合运用卫星互联网、高通量空中平台等技术手段作为补充，确保网络连接“无处不在”。同时，加强农业农村大数据中心、农业物联网公共服务平台等新型基础设施的统筹布局与共建共享，避免重复建设。探索“数字基建共建共享”模式，鼓励电信运营商、电网公司、社会化企业等多方参与投资与运营。通过持续的基础设施投入与优化，逐步填平区域间的“数字鸿沟”，为所有地区的农业经营主体平等接入数字时代、共享发展红利提供坚实的物质基础，最终实现农业高质量发展的共同富裕目标。

4 结论与展望

数智技术赋能农业高质量发展，是一场涉及技术革新、产业重构、制度调整与人力资本提升的深刻系统性变革。数智化浪潮下，技术迭代与场景应用相互促进，使得数智赋能成为顺应数字时代发展、体现智慧农业新内涵的战略必然。作为一种融合大数据、人工智能、物联网、区块链等前沿技术的综合体，数智技术正通过数据驱动，深刻优化农业生产流程，提升资源利用效率，推动农业向精准化、智能化、绿色化转型。然而，实践表明，技术创新与农业复杂系统的有效融合仍面临诸多瓶颈，包括数据安全与隐私保护、技术标准与系统兼容性、技术经济性以及从业者数字素养等关键问题。这些问题的解决，是技术从“可用”走向“好用、愿用”的核心，要求采取协同、系统的整体性应对策略。

面向未来，数智赋能农业新模式的核心特征将体现在数据要素的价值化、应用场景的智能化、产业生态的协同化。其发展将更加注重释放数据要素潜能，实现智能技术在更广泛场景中的泛在渗透，促进开放协同的产业生态构建，并确保发展成果的普惠共享。最终目标是构建一个全链条低碳化、全要素资本化、全主体协同化的农业农村发展新图景。实现这一愿景，需要政府、企业、科研机构、新型经营主体及广大农户形成发展合力：政府应完善顶层设计与政策支持体系，破除制度壁垒；企业需加强核心技术攻关与适用产品研发；科研机构要深化前沿探索与交叉研究；农业经营主体则应积极提升数字素养。通过持续在科技创新、制度完善、模式探索和人才培养上协同发力，推动数智技术从分散的“示范盆景”汇聚成广阔的“产业风景”，为中国式农业现代化与高质量发展注入强劲而持久的数智动能。

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] 赵春江, 李瑾, 冯献. 面向2035年智慧农业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 1-9.
ZHAO C J, LI J, FENG X. Development strategy of smart agriculture for 2035 in China[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 1-9.

[2] 邓大才. 改造传统农业:经典理论与中国经验[J]. 学术月刊, 2013, 45(3): 14-25.
DENG D C. Transforming traditional agriculture: Classical theory and Chinese experience[J]. Academic Monthly, 2013, 45(3): 14-25.

[3] 潘锦云, 汪时珍, 李晏墅. 现代服务业改造传统农业的理论与实证研究——基于产业耦合的视角[J]. 经济学家, 2011(12): 40-47.

[4] 刘丽, 孙炜琳. 农业技术扩散的研究进展、热点趋势与未来展望[J]. 农经, 2025(Z2): 67-80.
LI L, SUN W L. Research progress, hot trends, and future perspectives on agricultural technology diffusion[J]. Agriculture Economics, 2025(Z2): 67-80.

[5] GAO Y, ZHAO D, YU L, et al. Influence of a new agricultural technology extension mode on farmers' technology adoption behavior in China[J]. Journal of Rural Studies, 2020, 76: 173-183.

[6] 李宇翔, 王田月, 黄艳芳, 等. 农户与组织化视角下农业技术扩散机理[J]. 南方农业学报, 2019, 50(9): 2127-2132.
LI Y X, WANG T Y, HU Y F, SU J L, et al. Mechanism of agricultural technology diffusion from the perspective of farmers and organization[J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(9): 2127-2132.

[7] YU D K, ZHOU R. Coordination of cooperative knowledge creation for agricultural technology diffusion in China's "company plus farmers" organizations[J]. Sustainability, 2017, 9(10): 1906.

[8] 孙杰, 周力, 应瑞瑶. 精准农业技术扩散机制与政策研究——以测土配方施肥技术为例[J]. 中国农村经济, 2019(12): 65-84.
SUN J, ZHOU L, YING R Y. A study on the diffusion mechanisms and policies of precision agriculture technology: A case study of soil testing and formulated fertilization technology[J]. Chinese Rural Economy, 2019(12): 65-84.

[9] 孙忠富, 杜克明, 郑飞翔, 等. 大数据在智慧农业中研究与应用展望[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(6): 63-71.
SUN Z F, DU K M, ZHENG F X, et al. Research and application prospects of big data in smart agriculture[J]. China Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 15(6), 63-71.

[10] 沈剑波, 王应宽. 中国农业信息化水平评价指标体系研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(24): 162-172.
SHEN J B, WANG Y K. Investigation of evaluation index system for agricultural informatization level in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(24): 162-172.

[11] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.
ZHAO C J. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectivs of smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 1-7.

[12] AYAMGA M, AKABA S, NYAABA A A. Multifaceted applicability of drones: A review[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 167: 120677.

[13] AMALAN A A, ARAM I A. Artificial intelligence adoption in non-chemical agriculture: An integrated mechanism for sustainable practices[J]. Sustainability, 2025, 17(19): 8865.

[14] 殷浩栋, 霍鹏, 汪三贵. 农业农村数字化转型: 现实表征、影响机理与推进策略[J]. 改革, 2020(12): 48-56.
YIN H D, HUO P, WANG S G. Agricultural and rural digital transformation: Realistic representation, impact mechanism and promotion strategy[J]. Reform, 2020(12): 48-56.

[15] 戴魁早, 黄姿, 梁银笛. 数智技术、技术要素市场与服务型制造[J]. 中国工业经济, 2025(1): 137-155.
DAI K Z, HUANG Z, LIANG Y D. Digital intelligence technology, technical factor market and service-oriented manufacturing [J]. China Industrial Economics, 2025(1): 137-155.

[16] 王勇旗. 数智赋能农业农村经济高质量发展: 底层逻辑、障碍与实践进路[J]. 北京印刷学院学报, 2025, 33(7): 50-56.
WANG Y Q. Numerical intelligence empowers high-quality development of agricultural and rural economy: Underlying logic, obstacles and practical approaches[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2025, 33(7): 50-56.

[17] 陈一明. 数字经济与乡村产业融合发展的机制创新[J]. 农业经济问题, 2021(12): 81-91.
CHEN Y M. Mechanism innovation for the integrated development of digital economy and rural industry[J]. Issues in Agricultural Economy, 2021(12): 81-91.
[18] 王陶. 数智技术赋能农村经济高质量发展的路径[J]. 农村经济与科技, 2025, 36(7): 30-32, 40.
[19] FAIAL B S, FREITAS H, GOMES P H, et al. An adaptive approach for UAV-based pesticide spraying in dynamic environments[C]// Computers and Electronics in Agriculture. New York, USA: ACM, 2017: 210-223.
[20] 新疆日报. 新疆:智慧棉田连年丰收的背后[EB/OL]. (2024-11-13)[2026-01-20]. http://xj.people.com.cn/n2/2024/1113/c186332-41040549.html.
[21] 吉林日报. 全国首个京东智能猪场落户吉林[EB/OL]. (2019-06-18) [2026-01-20]. https://baijiahao. baidu. com/s id=1636637128050103588.
[22] 青橙融媒. 产业发展丨土默特左旗:全产业链布局赋能乳业高质量发展[EB/OL]. (2025-09-05)[2026-01-20]. https://swt.nmg.gov.cn/tznmg2/tznmg_zwb/xwdt/202509/t20250904_2785070.html.
[23] 闫国琦, 倪小辉, 莫嘉嗣. 深远海养殖装备技术研究现状与发展趋势[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(1): 123-129.
YAN G Q, NI X H, MO J S. Research status and development tendency of deep sea aquaculture equipments: A review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(1): 123-129.
[24] 海报新闻. 海上春耕忙!智能养殖平台打造中国“蓝色粮仓”, 万吨海鲜这样养成→[EB/OL]. (2025-04-25)[2026-01-20]. https://www. dzwww. com/xinwen/guoneixinwen/202504/t20250425_15845864.htm
[25] 江苏省农业农村厅. 智能装备技术集成应用 科技助力渔业高质量发展[EB/OL]. (2025-04-01)[2026-01-20]. http://nynct.jiangsu.gov.cn/art/2025/4/1/art_66206_11530741.html.
[26] 人民网. 汇集30余万份种质资源基本信息 全国农作物种质资源信息平台上线试运行[EB/OL]. (2025-09-10)[2026-01-20]. https://www.chinacoop.gov.cn/news.html aid=1856447.
[27] 赵春江, 郭文忠. 中国水肥一体化装备的分类及发展方向[J]. 农业工程技术, 2017, 37(7): 10-15.
[28] 中国日报网. 第四届智慧灌溉大会在昆山召开[EB/OL]. (2025-10-27) [2026-01-20]. https://baijiahao. baidu. com/s id=1847098612495267579&wfr=spider&for=pc
[29] 曹英丽, 张弘泽, 郭福旭, 等. 基于无人机遥感的农作物病害监测研究进展[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(5): 616-628.
CAO Y L, ZHANG H Z, GUO F X, et al. Research progress of crop disease monitoring based on UAV remote sensing[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(5): 616-628.
[30] ZHU L, LI F. Agricultural data sharing and sustainable development of ecosystem based on block chain[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 315: 127869.
[31] 心屿栖声. 黑龙江农业数字化revolution: 从数据平台到智慧农业的全方位实践[EB/OL]. (2025-12-07)[2026-01-20]. https://baijiahao.baidu.com/s id=1850815412495581607&wfr=spider&for=pc.
[32] 韩佳伟, 杨信廷. 农产品智慧供应链: 内涵、关键技术与未来方向[J]. 智慧农业(中英文), 2025, 7(3): 1-16.
HAN J W, YANG X T. Smart supply chains for agricultural products: Key technologies, research progress and future direction[J]. Smart Agriculture, 2025, 7(3): 1-16.
[33] FAQEERZADA M A, KIM Y N, KIM H, et al. Hyperspectral imaging system for pre- and post-harvest defect detection in paprika fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 218: 113151.
[34] VANGIPURAM S L T, MOHANTY S P, KOUGIANOS E, et al. agroString: Visibility and provenance through a private blockchain platform for agricultural dispense towards consumers[J]. Sensors, 2022, 22(21): 8227.
[35] 海报新闻. 农业农村部“区块链+韭菜”试点项目在潍坊坊子启动实施[EB/OL]. (2021-07-20)[2026-01-20]. https://baijiahao.baidu.com/s id=1705790132477369432&wfr=spider&for=pc
[36] IDRISSI Z K, LACHGAR M, HRIMECH H. Blockchain, IoT and AI in logistics and transportation: A systematic review[J]. Transport Economics and Management, 2024, 2: 275-285.
[37] 财经网. 实地探访阿里数字农业首个产地仓:阿里数字农业的新基建[EB/OL]. (2020-12-22)[2026-01-20]. https://baijiahao.baidu.com/s id=1686742106209730802&wfr=spider&for=pc.
[38] 文雁兵, 周艳, 汪寿阳. 农业如何借“数智”提“新质”从传统走向现代 ——基于青莲食品全产业链数字化平台的案例研究[J]. 管理世界, 2025, 41(7): 133-149.
WEN Y B, ZHOU Y, WANG S Y. How can agriculture leverage "digital intelligence" to improve "new quality" and transition from traditional to modern a case study based on the digital platfrom of the whole industrial chain of qinglian foods[J]. Journal of Management World, 2025, 41(7): 133-149.
[39] 王得志, 王延鑫, 汪小昱, 等. 农业机器人中的管理与采摘技术: 现状、挑战与未来发展[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2025, 6(2): 1-23.
WANG D Z, WANG Y X, WANG X C, et al. Management and harvesting technologies in agricultural robotics: Current status, challenges and future developments[J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2025, 6(2): 1-23.
[40] 米晋宏, 陈雨晨, 张聪志, 等. 数智技术创新推进现代化产业体系转型升级研究[J]. 上海经济研究, 2025(7): 81-92.
MI J H, CHEN Y C, ZHANG C Z, et al. Research on digital intelligence technology innovation to promote the transformation and upgrading of modern industrial system[J]. Shanghai Journal of Economics, 2025(7): 81-92.
[41] 殷轶豪, 唐莉. 数智技术赋能农业新质生产力: 价值意蕴、现实挑战与实践方略[J]. 中共南京市委党校学报, 2025(3): 45-52.
YIN Y H, TANG L. Digital intelligence technology enabling new quality productive forces in agriculture: Value implications, practical challenges, and practical strategies[J]. Journal of Party School of Nanjing Municipal Committee of CPC, 2025(3): 45-52.
[42] 王玉彩. 智慧农业技术在农业经济中的应用与影响[J]. 山西农经, 2025(16): 171-173.
[43] 姜昕. 数智赋能农业转型背景下国际贸易新模式创新与高质量发展路径探析[J]. 农业技术与装备, 2025(10): 81-83.
JIANG X. Analysis of the innovation of new international trade models and the path for high-quality development under the background of digital intelligence empowering agricultural transformation[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2025(10): 81-83.
[44] 胡瑞法, 刘万嘉文. 科技革命、颠覆性技术与智慧农业[J]. 智慧农业(中英文), 2022, 4(4): 138-143.
HU R F, LIU W. Technological revolution, disruptive technology and smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2022, 4(4): 138-143.
[45] 杨大蓉. 中国智慧农业产业发展策略[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(4): 1-2.
[46] 张鹭. 智慧农业产业链供应链现代化的时空特征及影响因素研究[J]. 中州学刊, 2025(9): 45-53.
ZHANG Z. Research on the spatio-temporal characteristics and influencing factors of the modernization of the industrial chain and supply chain in smart agriculture[J]. Academic Journal of Zhongzhou, 2025(9): 45-53.
[47] 江苏大学中国农业装备产业发展研究院. 张宗毅:2023年全国丘陵山区农业机械化及农机装备产业概况[EB/OL]. (2025-05-12)[2026-01-20]. https://aeid.ujs.edu.cn/info/1006/4032.htm
[48] 曹冰雪, 李鸿飞, 赵春江, 等. 智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展路径[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(4): 116-127.
CAO B X, LI H F, ZHAO C J, et al. The path of smart agricultural technology innovation leading development of agricultural new quality productivity[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(4): 116-127.

[49] 卫培刚, 曹姗姗, 刘继芳, 等. 具身智能农业机器人: 关键技术、应用分析、挑战与展望[J]. 智慧农业(中英文), 2025, 7(4): 141-158.
WEI P G, CAO S S, LIU J F, et al. Embodied intelligent agricultural robots: Key technologies, application analysis, challenges and prospects[J]. Smart Agriculture, 2025, 7(4): 141-158.
[50] 李道亮. 我国农业机器人技术与发展趋势[J]. 人民论坛, 2024(24): 70-74.
[51] 王建冬, 于施洋, 黄倩倩. 数据要素基础理论与制度体系总体设计探究[J]. 电子政务, 2022(2): 2-11.
[52] 王福, 桑一凡, 刘俊华, 等. 场景互联赋能农业产业链商业模式创新机制[J]. 科研管理, 2025, 46(3): 181-192.
WANG F, SANG Y F, LIU J H, et al. The scenario-interconnection-empowered innovation mechanism of business models in agricultural industry chain[J]. Science Research Management, 2025, 46(3): 181-192.
[53] 易法敏, 古飞婷. 本地平台商业模式创新、制度逻辑转换与农业数字化转型[J]. 中国农村观察, 2023(5): 2-23.
YI F M, GU F T. Local platforms' business model innovation, institutional logic change and agricultural digital transformation[J]. China Rural Survey, 2023(5): 2-23.
[54] 刘亚军, 冯泽宇. 鱼与熊掌如何兼得: 农产品电商上行的包容性商业模式构建策略仿真研究[J]. 湘潭大学学报(哲学社会科学版), 2023, 47(6): 38-45.
LIU Y J, FENG Z Y. How to have the best of both worlds: A simulation study on the construction strategy of inclusive business model for the upward e-commerce of agricultural products[J]. Journal of Xiangtan University (Philosophy and Social Sciences), 2023, 47(6): 38-45.
[55] 陆岷峰. 金融数智化赋能实体经济: 个性特征、运行机理与应对策略[J]. 兰州学刊, 2023(12): 35-47.
[56] 李仪. "互联网+"背景下的农业商业模式创新: 基于农业全产业链闭合平台的视角[J]. 学习与探索, 2016(9): 101-106.
[57] 董南雁, 张俊瑞, 郭慧婷. 面向数智时代的会计范式探索与高端人才培养[J]. 会计研究, 2023(1): 179-189.
DONG N Y, ZHANG J R, GUO H T. Accounting paradigm exploration and top talent cultivation in the era of big data and artificial intelligence[J]. Accounting Research, 2023(1): 179-189.
[58] 张志学, 华中生, 谢小云. 数智时代人机协同的研究现状与未来方向[J]. 管理工程学报, 2024, 38(1): 1-13.
ZHANG Z X, HUA Z S, XIE X Y. Research status and future directions of human-computer collaboration in the era of digital intelligence[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2024, 38(1): 1-13.
[59] 余东华. "十四五"期间我国未来产业的培育与发展研究[J]. 天津社会科学, 2020(3): 12-22.
YU D H. The cultivation and development of China's future industries during the 14th five-year-plan[J]. Tianjin Social Sciences, 2020(3): 12-22.
[60] 王亮, 杨悦妍, 李丹阳. 农业强国背景下乡村产业振兴路径研究[J]. 农业展望, 2025, 21(6): 49-59.
WANG L, YANG Y Y, LI D Y. Path of rural industry revitalization under the background of agricultural power[J]. Agricultural Outlook, 2025, 21(6): 49-59.
[61] 陈波, 余君妤, 张志朋. 农业新质生产力: 内涵、多维指标构建及区域差异分析[J]. 农村经济, 2025(4): 32-41.
CHEN B, YU J Y, ZHANG Z P. New quality agricultural productivity: Connotation, multidimensional indicator construction and regional differences[J]. Rural Economy, 2025(4): 32-41.
[62] 孙乔婧, 刘武根. 中国农业全产业链智能化发展水平: 时空演变、地区差异与影响因素[J]. 科学管理研究, 2025, 43(3): 122-131.
SUN Q J, LIU W G. The level of intelligent development of the entire agricultural industry chain in China: Spatiotemporal evolution, regional differences, and influencing factors[J]. Scientific Management Research, 2025, 43(3): 122-131.
[63] 李恺娴, 钟昌标. 中国式现代化视域下数智技术助推云南高质量发展的内在机理与实践路径研究[J]. 学术探索, 2025(12): 128-135.
LI K X, ZHONG C B. Mechanisms and paths of digital intelligence driving high-quality development in Yunnan from the perspective of Chinese modernization[J]. Academic Exploration, 2025(12): 128-135.
[64] 李灯华, 许世卫. 农业农村新型基础设施建设现状研究及展望[J]. 中国科技论坛, 2022(2): 170-177.
LI D H, XU S W. Current situation and prospect on the construction of new agricultural infrastructure[J]. Forum on Science and Technology in China, 2022(2): 170-177.

Digital-Intelligent Technologies Empowering High-Quality Agricultural Development: Current Status, Challenges, and Pathways

HE Leilei[1,3], JIANG Shuji[1], YANG Jun[2*]

(1. *School of International Trade and Economics*, *University of International Business and Economics*, *Beijing* 100029, *China*; 2. *Digital Economy Laboratory*, *University of International Business and Economics*, *Beijing* 100029, *China*; 3. *Yunnan Key Laboratory of Cross-border Digital Economy*, *Yunnan* 650214, *China*)

Abstract: [Significance] As an integration of digital and intelligent technologies, digital-intelligent technology serves as the core engine for agricultural goals. In the current era of digitalization and intelligence, rapid technological iteration and the expansion of application scenarios reinforce each other. Therefore, leveraging digital-intelligent technology to empower agriculture is a strategic necessity to align with the digital age trends and fully realize the new connotations of smart agriculture. Specifically, driven by data as a new

production factor, digital-intelligent technology is profoundly optimizing the entire agricultural production and management process. The main objective of this study is to systematically analyze the underlying operational logic of how digital-intelligent technology enables high-quality agricultural development, comprehensively review its current application progress, objectively identify the main challenges, and actively explore practical pathways for advancement. **[Progress]** Based on the theory of transforming traditional agriculture and the theory of agricultural technology diffusion, this paper analyzes the underlying logic of how digital-intelligent technologies empower high-quality agricultural development. Building upon this foundation, it systematically reviews the practical applications of digital-intelligent technologies in production processes, factor allocation, management services, and supply chain systems, and reveals a clear staged evolutionary feature across domains. As described below: (1) Production processes: Evolution from single-point efficiency gains to closed-loop, whole-process intelligent decision-making. (2) Factor allocation: Shift from reliance on traditional physical resources to deep value mining of data. (3) Management services: Transition from fragmented tool applications to integrated, platform-based services. (4) Supply chain systems: Evolution from a linear chain structure to a collaborative and resilient network ecosystem. Despite this progress, it still faces challenges such as core technology bottlenecks, fragmented industrial ecosystems, data governance and security issues, difficulties in technology promotion and adoption, a weak talent support system, and uneven regional development. These challenges stem not only from the limitations of the technological development stage but also from structural contradictions such as a weak industrial foundation, complex application scenarios, and inadequate systemic coordination. Together, these factors block the large-scale adoption and full value realization of digital-intelligent technology in agriculture. **[Conclusions and Prospects]** To promote high-quality agriculture development empowered by digital-intelligent technology, it is necessary to adhere to systematic thinking and implement a multi-path coordinated strategy. The key focuses for future work are as follows: (1) Focus on the independent R&D of key core technologies and carry out adaptive innovation for specific agricultural scenarios. (2) Accelerate the construction of a standardized, open, and interconnected technology and industrial ecosystem. (3) Establish and improve a data governance system covering data ownership definition, circulation and transaction, and security protection. (4) Explore sustainable business models and precise and effective policy support mechanisms. (5) Strengthen the cultivation of a multi - tiered digital agriculture talent pool involving R&D, application, and promotion. (6) Implement regionally differentiated and coordinated development strategies according to local conditions. Through multi-stakeholder collaboration among governments, industries, research institutions and market entities, as well as integrated policy support, digital-intelligent technology will be promoted to transform from "potted landscape" style isolated demonstrations to "open landscape" style large-scale popularization and deep integration. This will inject a stronger and more sustainable digital-intelligent driving force into Chinese-style agricultural modernization and high-quality agricultural development.

Key words: digital-intelligent technology; smart agriculture; agricultural transformation; high-quality agricultural development; new quality productive forces; digital technology; intelligent technology

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (72404007)

First author: HE Leilei, E-mail: hll_stones@126.com
***Corresponding author:** YANG Jun, E-mail: yangjunUIBE@163.com