

数字经济视角下农产品供应链数字化转型研究

郑欣雪

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年11月12日; 录用日期: 2025年11月25日; 发布日期: 2025年12月22日

摘要

数字经济时代, 农产品供应链数字化转型成为加快农业强国建设、保障粮食安全与促进乡村振兴的核心路径。本文以供应链管理理论、技术嵌入理论及TOED(技术-组织-环境-数据)扩展框架为理论基础, 系统性地探讨了农产品供应链数字化转型所涉及的理论内涵、现实条件以及当前面临的多重挑战。研究进一步从技术赋能、组织协同、市场驱动与制度保障四个维度, 构建了一套全面推动该领域转型的路径体系。研究发现: 农产品供应链数字化转型是战略驱动、技术驱动、内生驱动与市场驱动的多元合力结果, 当前已形成数字基础设施逐步完善、产业应用初见成效的良好格局, 但仍面临生产端技术适配不足、渠道端协同不畅、物流端信息断层与制度端保障缺失的四重瓶颈。通过强化数字技术深度嵌入、构建多元主体协同网络、完善全链条服务体系与健全制度保障机制, 可有效破解转型难题, 推动农产品供应链向绿色智能、高效协同的数字生态系统演进。

关键词

数字经济, 农产品供应链, 数字化转型, TOED理论, 转型路径

Research on the Digital Transformation of Agricultural Products Supply Chain from the Perspective of Digital Economy

Xinxue Zheng

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: November 12, 2025; accepted: November 25, 2025; published: December 22, 2025

Abstract

In the era of the digital economy, the digital transformation of agricultural supply chains has become a core pathway for accelerating the development of an agricultural powerhouse, safeguarding food

security, and promoting rural revitalisation. This paper systematically explores the theoretical implications, practical conditions, and multiple challenges confronting the digital transformation of agricultural supply chains, grounded in supply chain management theory, technology embedding theory, and the TOED (Technology-Organisation-Environment-Data) extended framework. The research further constructs a comprehensive pathway system to advance transformation in this domain, addressing four dimensions: technological empowerment, organisational synergy, market-driven forces, and institutional safeguards. Findings indicate that the digital transformation of agricultural supply chains results from the convergence of strategic, technological, endogenous, and market-driven forces. While a favourable landscape has emerged with gradually improving digital infrastructure and nascent industrial applications, four key bottlenecks persist: inadequate technological adaptation at the production end, suboptimal coordination at the distribution end, information gaps in logistics, and insufficient institutional safeguards. By deepening the integration of digital technologies, establishing collaborative networks among diverse stakeholders, refining end-to-end service systems, and strengthening institutional safeguards, these transformation challenges can be effectively addressed. This will propel agricultural supply chains towards evolving into green, intelligent, efficient, and collaborative digital ecosystems.

Keywords

Digital Economy, Agricultural Product Supply Chain, Digital Transformation, TOED Theory, Transformation Pathways

Copyright © 2025 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. 引言

1.1. 研究背景

随着数字技术与实体经济的深度融合，数字经济已发展成为重塑农业产业形态、激活乡村内生动能的核心驱动力。在此背景下，作为连接农业生产与终端消费的关键枢纽，农产品供应链的数字化转型不仅关乎产业本身效率提升，更直接影响到农民的收入增长与全民的食品安全保障。推动农产品供应链的数字化发展，已被提升至国家战略高度，成为优先布局的关键方向，2022 年国务院印发《“十四五”数字经济发展规划》，明确提出“提升农业生产、加工、销售、物流等各环节数字化水平”；2024 年发布的《数字乡村发展工作要点》对下一阶段工作提出了明确要求，其中将涉农数据资源的整合共享与农村数字基础设施的全面升级，列为两大需要着力推进的关键环节。在政策引导与技术革新双重驱动下，我国农产品供应链数字化转型取得阶段性成效：截至 2024 年，全国农业生产信息化率已提升至 26.5%，农产品网络零售额突破 5300 亿元，快递服务更已覆盖全国 95% 的行政村，充分展现了数字乡村建设的显著成效[1]。

当前，我国农产品供应链的数字化转型仍面临核心挑战。其根源在于“大国小农”国情下产业链条所固有的主体分散、环节冗长与场景复杂等特征，进而衍生出技术适配性不足、数据共享壁垒和利益协同机制缺失等多重困境[2]。小农户数字技术渗透率不足 20%，果蔬流通腐损率高达 20%~30%，线上线下渠道标准割裂导致电商增速持续放缓[1]。在此背景下，系统性地剖析农产品供应链数字化转型的理论逻辑，精准识别其现实困境，并据此探索一条符合我国农业实际的转型路径，不仅具有重要的理论价值，更对推动实践发展具有深远的指导意义。

1.2. 文献综述

农产品供应链的数字化转型已引发学界广泛关注，现有研究从不同维度对其进行了深入剖析。在内涵界定方面，赵晓飞等(2022)将其定义为数字技术赋能传统供应链，实现流程可视、响应灵活与运作智能的生态重构过程[3]；阮俊虎等(2025)进一步指出，其核心是通过“数据-算力-算法”变革，重构“生产-渠道-物流”全链条协同机制[1]。在驱动因素研究中，学者们形成了多元视角：易加斌等(2021)基于创新生态系统理论指出，转型的核心驱动力在于国家创新、产业创新与消费需求的变化[1]；赵晓飞等(2025)通过实证分析发现，断链风险、数字技术发展与政策支持是影响转型的关键因素，其中断链风险的驱动作用最为显著[4]。在转型路径方面，现有研究聚焦技术应用、组织创新与制度保障三个层面：温涛等(2020)强调通过“政府-市场”双轮驱动扩大农村数字基建投入[1]；汪旭晖等(2025)提出以数字化推动农业生产规模化、流程标准化与三产融合化[1]；杨维霞(2024)基于TOED框架，提出应从技术赋能生产端、构建链主企业协同网络、强化环境支持与搭建农业大数据体系四个维度推进转型[5]。

总体来看，现有研究已积累丰富成果，但仍存在不足：一是缺乏对“大国小农”背景下转型特殊性的系统性分析，对小农户与数字技术的适配问题关注不够；二是多聚焦单一环节或单一因素，对“生产-渠道-物流-制度”多维度协同转型的研究不足；三是案例研究与实证分析结合不够紧密，转型路径的实操性有待提升。本文基于现有研究缺口，结合最新政策与数据，构建多维度转型路径体系，为实践提供参考。

2. 农产品供应链数字化转型的理论基础与内涵

2.1. 理论基础

供应链管理理论：供应链管理理论强调通过整合供应链各环节资源，优化信息流、物流、资金流运作，实现供应链整体效率最大化。数字技术的引入打破了传统供应链的线性结构，推动形成“供应网”模式——通过实时数据共享与协同决策，降低供需错配风险，提升供应链韧性。该理论为分析农产品供应链“生产-渠道-物流”全链条协同转型提供了基础框架。

技术嵌入理论：该理论由Volkoff等(2007)提出，强调技术与组织的双向互构关系，为解析数字化转型中技术应用、制度安排与结构变革的复杂互动提供框架[1]。在农产品供应链中，数字技术并非简单的工具嵌入，而是通过重构生产流程、协作模式与利益分配机制，推动供应链从线性结构向网状生态系统演进。

TOED扩展框架：杨维霞(2024)在TOE(技术-组织-环境)理论基础上，引入数据维度构建TOED框架，将技术基础设施、组织协同能力、外部环境支持与数据资源治理作为转型的四大核心要素[5]。该框架全面覆盖了数字化转型的关键影响因素，为系统性分析转型路径提供了有效工具。

2.2. 内涵与核心特征

农产品供应链的数字化转型，是指通过引入物联网、区块链及人工智能等前沿数字技术，对传统“生产-渠道-物流”供应链全链条进行的一场系统性重塑，通过实体系统与数字系统的双向互构，实现供应链运作流程的深度再造与协同优化。其核心特征体现在三个方面：(1) 双系统驱动：数字系统通过数字孪生建模、大数据预判与智能合约规制驱动实体系统优化，实体系统则通过实时数据反馈与经验沉淀提升数字系统的精准性[1]。例如，智能虫害预警模型触发无人机精准施药，而冷链运输中的温湿度数据则持续优化腐损预测算法。(2) 全链条贯通：涵盖生产数字化、渠道数字化与物流数字化三个层面，生产端实现精准种植与资源优化配置，渠道端构建全渠道融合模式，物流端实现全程可视化监控与路径优化。三者相互联动，形成“数据驱动生产、生产对接渠道、渠道联动物流”的闭环体系。(3) 多目标协同：在技术维度实现可视化、敏捷化、智能化与绿色化协同；在组织维度实现架构透明化、主体能力匹配化、

渠道融合化与绿色可持续化。最终达成提升供应链韧性、优化产业结构、促进企业创新与农户增收的多重目标。

3. 农产品供应链数字化转型的现实基础与困境

3.1. 现实基础

政策支持体系日趋完善：从《“十四五”数字经济发展规划》到《数字乡村发展工作要点》，国家层面形成了“战略引导-财政激励-标准规范”的政策支持体系，地方政府也纷纷出台配套措施，如萧县发布《“数字萧县”建设总体规划(2023~2025年)》，推进农业数字化转型[6]；数字基础设施逐步夯实：截至2024年，全国加装北斗终端的农机数量超200万台，5G网络基本覆盖乡镇及以上区域和有条件的行政村，算力总规模达268EFLOPS，位居全球第二位。萧县等县域已建成7个物联网示范点，绿色低碳数字农业示范园投入生产[6]；产业应用成效正加速显现：2022年全国农产品网络零售额达5313.8亿元，标志着线上市场日趋成熟；拼多多“农地云拼”模式直链农户超1600万户，展现出技术赋能生产的巨大潜力；而抖音、快手等直播电商交易额突破3.4万亿元的宏观背景，则为农产品电商提供了广阔的生态支撑。农村物流建设持续推进，累计建成990个县级寄递配送中心，农产品物流总额达5.3万亿元；各类农业经营主体的数字化转型意愿正显著增强。截至2024年10月，全国纳入名录管理的家庭农场已近400万个，农民专业合作社达214万家，农业社会化服务组织超过109万个，它们共同构成了数字化转型的中坚力量，并日益成为推动这一进程的关键行动者。与此同时，消费者对食品安全与透明溯源日益增长的需求，也从市场端形成了强大的升级驱动力。

3.2. 现实困境

农产品供应链数字化转型面临的难题并非孤立存在，而是在我国“大国小农”的基本国情下，由技术适配度不足、主体协作能力弱、制度支撑缺位以及全链条利益分配不均共同导致的系统性问题。这些问题相互影响、相互放大，形成了多重制约交织的局面。

生产端：技术适配与扩散难题突出。小农户占农业经营主体的98%以上，但平均耕地面积不足10亩，低于智能农机规模化应用的经济阈值。北斗导航辅助驾驶系统在中小农机中的渗透率不足5%，农村60岁以上人口占比超20%，数字工具接受度低。同时，数据要素流通机制不畅，小农户因数据产权未确权，难以分享数据二次开发附加值。深层原因在于：一是数字技能和技术门槛的双重限制，农村60岁以上人口占比超过20%，中老年农户对数字工具的接受和操作能力有限，而适合小农户使用的低成本、简易型数字技术又供应不足；二是数据权益缺失引发的连锁反应，小农户虽然是农业数据的直接产生者，但由于数据所有权没有明确界定，也没有清晰的收益分配规则，他们无法从数据的二次开发中获得好处，进一步削弱了参与数字化转型的积极性；三是技术推广体系的不足，农业社会化服务组织对小农户的技术支持不够，没能形成“提供技术-培训技能-获得收益”的良性循环，这也是北斗导航等技术在中小农机上的使用率不足5%的重要原因。

渠道端：协同不足与标准割裂并存。线上线下渠道价格体系失衡、服务标准割裂，电商渠道低价策略边际效应递减，2024年电商增速降至7.2%。供应链缺乏核心企业引领，各主体信息化水平差异大，信息共享困难，导致供需匹配失衡，农产品滞销与贱卖贵买现象时有发生。萧县虽建立电子商务公共服务中心，但信息共享与数据分析功能不完善，难以支撑全链条协同[6]。主要原因包括：一是核心企业培育不足，没有足够实力的企业能整合生产、流通、消费全环节，导致各主体的信息化建设各自为政，缺乏信息共享的动力；二是协作管理机制的缺失，传统的合作协议无法适应数据要素“边际成本趋近于零”的特点，各主体陷入“怕泄露数据-不愿共享-供需对接不准”的恶性循环，即便像萧县这样的县域建

立了电子商务公共服务中心，也因为没有合理的利益联结机制，难以实现全链条协作；三是标准体系的割裂，线上线下在产品分级、物流配送、售后服务等方面的标准不一样，阻碍了渠道融合，进一步加剧了产销对接的低效[7]。

物流端：基础设施与信息贯通不足。2023年我国农产品产地综合低温处理率仅32.0%，智能仓储渗透率不足15%，果蔬流通腐损率高达20%~30%。部分农村地区交通条件落后，大型货车难以进入，增加物流损耗与成本。物流环节多主体协作中信息不对称，供需信息传递不及时，导致运输计划不合理，物流效率低下。一是农村物流的公益属性和市场属性失衡，部分偏远地区交通条件差，大型货车难以进入，但由于缺乏政府引导的多元化投入机制，社会资本不愿参与这种高投入、低回报的物流设施建设；二是信息协作面临技术和制度双重障碍，物流环节涉及农户、合作社、物流企业等多个主体，由于数据标准不统一、系统接口不兼容，供需信息传递不及时，运输计划难以优化；三是物流与产销环节的脱节，物流数字化没有和生产端的采收计划、渠道端的订单需求有效结合，形成“生产-物流-销售”的信息断层，进一步增加了物流损耗和效率损失。

制度端：保障机制与标准体系缺失。数字化转型成本分担机制尚未形成，农业投资回报周期长、风险高，中小主体转型资金压力大[6]。数据标准不统一、接口兼容性不足导致“数据孤岛”现象严重，政策层面数据权属界定模糊进一步加剧共享困境。小农户融入机制不完善，数字排斥问题突出，难以分享转型红利。一是成本分担机制空白导致中小主体“转型难”，农业投资回收周期长、风险高，但政府补贴多集中在基础设施建设，针对中小经营主体的专项支持少，导致他们面临较大的资金压力；二是数据管理规则模糊加剧“数据不互通”，政策层面没有明确数据所有权，交易流程也不规范，企业担心泄露商业秘密而不愿共享数据，进一步阻碍了生产、渠道、物流环节的信息畅通；三是小农户融入机制不完善导致“数字排斥”，现有的数字化工具和服务多针对规模化经营主体，缺乏适合小农户的简易方案，加上数字技能培训体系不健全，小农户难以参与转型，最终形成“强者越强、弱者越弱”的两极分化。

4. 数字经济视角下农产品供应链数字化转型路径

4.1. 技术赋能：通过“提升设施适配性-推动技术场景落地-完善数据治理”三重路径，破解技术普及难题

完善农村数字基础设施网络。重点突破农村网络覆盖盲区与传输瓶颈，扩大5G基站与物联网终端部署，实现农业生产经营主体全面覆盖。加大对偏远地区数字基建投入，推进“农业农村大数据公共平台基座”建设，实现各级平台互联互通。借鉴萧县经验，建设县域数字农业示范园，推广低成本、易操作的智能传感设备与移动应用。

推动数字技术场景化应用。在生产端，部署农田传感器系统，实现农业生产环境智能感知、动态预警与数据驱动决策，推广无人机植保、水肥一体化等精准农业技术。在流通端，构建区块链溯源平台，实现农产品“田间-餐桌”全流程数字映射。在物流端，开发全链路数字管理平台，集成仓储环境监测、运输路径优化与车辆调度功能，推广自动化温控系统与智能分拣设备。

构建农业大数据体系。建立统一的数据要素流通平台，整合涉农部门信息系统，实现数据跨地域、跨系统流通。规范数据交易流程，明确数据权属与收益分配规则，保障小农户数据权益[8]。同时，数据安全是实现这一切的关键支撑，必须通过健全分级分类管理，并推进安全多方计算与联邦学习等隐私保护技术的落地应用来予以加强。

4.2. 组织协同：通过“核心主体带动-利益绑定-能力传递”路径，破解主体协作难题

培育新型农业经营主体。应着力确立家庭农场、农民专业合作社及农业社会化服务组织在供应链中

的核心“链主”地位，进而系统推广“服务主体 + 新型经营主体 + 小农户”这一高效协同的组织形式，以优化资源配置并提升整体效能。支持链主企业搭建智能化服务系统，为农户提供在线咨询、智能诊断与远程监控服务。如西安农链互联网科技有限公司“点点帮农”小程序，整合农技专家与市场资源，覆盖 5.2 万农场主与 4500 余家采购商。

促进供应链主体协同协作。推动加工企业、物流企业、电商平台与农户建立长期合作关系，核心是构建超越传统协议的利益共同体——解决“协作收益分配不均”的核心矛盾，激发各主体共享信息、主动协作的意愿。推动加工企业、物流企业、电商平台与农户建立长期合作关系，通过公平交易、合理利益分配与第三方监管保障合作稳定。构建物流、营销与数据资源共享平台，实现供应链各环节信息实时共享与协同决策。借鉴眉县猕猴桃产业经验，通过区块链平台“西猕链”实现供需自动匹配，建立“云仓”系统动态调配库存。

推动小农户包容性参与。核心是构建“技术适配小农户 - 培训提升技能 - 融入转型场景”的三重支撑，让小农户能“低成本参与、可持续受益”。开发适配小农户的轻量化数字工具，如基于移动终端的病虫害识别 App、气象预警短信服务等。建立“新型主体 - 小农户”数字技能传导机制，开展针对性培训，提升小农户数字素养。通过土地流转、生产托管等方式，推动小农户融入规模化、数字化生产体系。

4.3. 市场驱动：通过“整合线上线下渠道 - 提升品牌价值 - 强化金融支持”路径，破解全链条效率难题

推进渠道融合发展。搭建农产品电商综合服务平台，建设区域性直播电商中心，构建“培训孵化 + 内容生产 + 物流履约”三位一体服务体系。在末端环节，建议对乡镇电商服务站点进行全面的数字化改造，积极拓展“网订店取”、“生鲜直送”等便民服务。另一方面，应着力整合线上线下渠道资源，其最终目标在于构建一条从“原产地”经“物流集散地”直达“消费者”的智能超短链，从而有效减少冗余的中间环节。

强化品牌建设与质量管控。依托区域特色农产品，打造品牌矩阵，通过农产品展销会、直播带货等方式提升品牌知名度。建立全程可追溯的质量标准体系，运用物联网、区块链技术追踪生产、加工与流通全过程。在重点集散中心配置快检设备，建立异常商品物流拦截机制，保障农产品质量安全。

创新供应链金融服务。构建“银行 + 核心供应链企业 + 购销体系”金融平台，为供应链主体提供便捷高效的金融服务。基于供应链交易数据与信用评价，为小农户与中小主体提供专项贷款与授信支持[9]。通过财政贴息、税收优惠等方式，降低主体融资成本。

4.4. 制度保障：通过“政策相互配合 - 制定制度规范 - 防控转型风险”路径，破解制度性障碍

完善政策支持体系。在战略层面，应尽快制定专项规划，为农产品供应链数字化转型确立清晰的目标、重点任务与实施路径，形成“顶层设计 - 地方落实 - 主体响应”的政策传导机制[10]。与此配套，资金保障是关键支撑，需加大财政投入力度，设立专项资金以支持数字基建、技术研发与人才培训等核心环节。实施数字新基建投资税收抵免、供应链数字技改专项贷款贴息等政策工具组合[6]。

建立成本分担与长效机制。构建“政府 + 核心企业 + 平台公司 + 农户”的成本分担模式，核心是按照“受益共享、风险共担”的原则，明确各方的成本分担比例——政府提供财政补贴和政策支持，降低公共性投入的成本；核心企业和平台公司承担技术研发、平台建设、技术培训的成本，通过规模化效应摊薄投入；农户适当承担个性化设备的购置和使用成本，同时通过收益分红获得补偿。在此基础上，建立“成本能承担、收益可持续、能力能提升”的长效机制：一方面，把数字化转型纳入乡村振兴考核体

系,强化地方政府的投入责任;另一方面,鼓励社会资本参与农村数字基础设施建设,通过市场化机制拓宽投入渠道,形成“政府引导、市场主导、多元参与”的投入格局,保障转型的可持续性。

健全标准与监管体系。推动转型,规范须先行。首要的是建立覆盖全产业链的数字化标准框架,明确各类数据接口与各方权责,为互联互通奠定基础;同时,必须完善与之配套的法律法规,从制度层面为数据安全与隐私保护提供坚实保障。最后还需建立“预知+追踪”的风险决策系统,覆盖技术应用、数据安全、法规合规等多维度风险。

5. 结论与展望

5.1. 研究结论

农产品供应链数字化转型是数字经济时代农业高质量发展的必然趋势,是战略驱动、技术驱动、内生驱动与市场驱动共同作用的结果。当前我国农产品供应链数字化转型已具备政策、技术、产业与主体基础,但仍面临生产端技术适配不足、渠道端协同不畅、物流端信息断层与制度端保障缺失的四重困境。推动农产品供应链数字化转型,需以技术赋能为基础,构建多元主体协同网络;以市场需求为导向,优化全链条服务体系;以制度创新为保障,健全转型支撑机制,形成“技术-组织-市场-制度”四位一体的转型路径。

5.2. 未来展望

未来农产品供应链数字化转型将向三个方向演进:一是智慧农业模式规模化推广,形成先进传感与实用部署并重、模型前沿与落地可行兼顾的技术应用体系;二是渠道融合向深度化、场景化发展,通过平台整合、体验式消费与个性化定制,打造无缝衔接的购物体验;三是智慧物流模式绿色化、高效化升级,实现智能仓储、智能调度与多元配送的有机结合。

未来研究可进一步聚焦特定区域或特色农产品供应链,开展微观层面的实证分析,深入探讨数字化转型的经济效应与影响机制;同时可关注人工智能、量子计算等新兴技术在农产品供应链中的应用,为转型提供更前沿的技术支撑。

参考文献

- [1] 阮俊虎,刘晨欢,孙自来,等.中国农产品供应链数字化转型:内涵特征、理论逻辑与实施路径[J].农业经济问题,2025(8): 113-129.
- [2] 赵晓飞,李明,谭砚文.农产品供应链数字化转型的理论逻辑与实践进路[J].中州学刊,2025(6): 42-51.
- [3] 尹苏,梁瑾,徐金海.数字经济视角下农产品供应链转型发展研究[J].物流科技,2024,47(21): 123-125.
- [4] 赵晓飞,马鑫.农产品供应链数字化转型的动力机制及组态路径研究[J].北京工商大学学报(社会科学版),2025,40(3): 24-37.
- [5] 杨维霞.农产品供应链数字化转型:理论框架、现实逻辑与突破路径[J].甘肃农业,2024(10): 1-7.
- [6] 高方方,赵晴晴.数字经济下萧县农产品供应链数字化转型探究[J].现代农业科技,2025(6): 180-182.
- [7] 刘戴娆.数字经济背景下农产品供应链模式优化策略[J].农村经济与科技,2025,36(6): 203-206.
- [8] 张丹.数字化时代下农产品供应链模式的转型探讨[J].中国科技投资,2025(5): 7-9.
- [9] 王珏文.创新型金融产品助力农产品供应链发展的有效路径分析[J].全国流通经济,2025(10): 101-104.
- [10] 李国英.农业全产业链数字化转型的底层逻辑及推进策略[J].区域经济评论,2022(5): 86-93.