我国农产品供应链数智化转型的历史演进、现实挑战与推进路径

赵晓飞[1]，李萧云[1]，谭砚文[2]

（1. 中南民族大学 管理学院，湖北 武汉 430074；2. 华南农业大学 经济管理学院，广东 广州 510642）

摘　要： 农产品供应链数智化转型是供应链数字化发展的高级形态，其本质是通过数据要素与智能算法深度赋能，将传统农产品供应链升级为具备自感知、自决策、自优化能力的自适应系统，构建起兼顾效率、安全、韧性与公平的数智供应链生态。我国农产品供应链数智化转型遵循从信息化应用到核心环节数字化改造，再到全链路数字化，最终向智能生态跃迁的演进路径，呈现出技术深度渗透、组织协作升级、价值重构扩展和政策支持强化的演进特征。其演进规律表现为工具理性向价值理性的升华、碎片化应用向系统化集成的转变、“技术－组织－制度”的动态互构以及规模化与普惠化的协调平衡。当前，我国农产品供应链数智化转型仍面临数据权属模糊、数据资产不足、技术－场景适配性失衡、主体能力断层、政策协同滞后等多重约束。推进农产品供应链数智化转型，一方面，需构建区块链数据资产确权体系，创建农业垂直技术适配架构，打造数据协同与智能驱动的供应链模式，建设数智化农产品市场；另一方面，必须健全跨部门跨区域协同治理机制，破解跨部门政策割裂和区域制度壁垒。

关键词： 农产品供应链；数智化转型；历史制度主义；演进过程；演进特征

中图分类号： F326.6　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1672－0202(2026)04－0040－16

一、引言

当前，以物联网、人工智能、区块链为代表的现代数智技术正驱动农产品供应链向数智化深度转型。2025 年 3 月，商务部等 8 部门联合印发的《加快数智供应链发展专项行动计划》，明确将农业供应链列为五大重点领域之首，要求加快农业各领域各环节数智化转型。与此同时，党的二十届四中全会提出的“坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，坚持智能化、绿色化、融合化方向”，也为这一转型提供了明确的政策指引。

农产品供应链具有自然约束性强、主体分散且链条冗长、质量安全与溯源要求严格等显著特征，其数智化转型覆盖生产、加工、仓储、流通等多个环节，并受技术与政策环境影响。在转型过程中，既面临数据碎片化、主体数字能力不足等共性问题，又存在数据流动不畅、全链追溯效能偏弱、小农户融入困难等特殊约束，同时还受季节波动性、产品易腐等因素影响。这些内在特征与外部约束共同决定了农产品供应链数智化转型必须更加注重技术适配性、主体可及性与系统协同性的整体提升，以确保数智化变革在农业场景中顺利落地并实现普惠效益。

学术界对农产品供应链数智化转型的研究已形成多维度成果。从概念内涵来看，学者们普遍

收稿日期： 2025－09－15　　**DOI：** 10.7671/j.issn.1672－0202.2026.04.004

基金项目： 教育部人文社会科学研究规划基金（25YJA630125）；湖北思想库学术创新项目（HBSXK2024111）；国家社会科学基金重大项目（23&ZD121）

作者简介： 赵晓飞（1977—），男，河南许昌人，中南民族大学管理学院教授，主要研究方向为农产品供应链数字化转型。E-mail：zxf.666@yeah.net

认为,数智化转型是新兴数智技术嵌入供应链全流程的系统性变革,旨在通过数据集成与智能协同实现效率提升、损耗降低和质量安全保障[1-2]。在实践路径层面,现有研究主要聚焦智慧种植、智能分拣、冷链监控与质量追溯等典型场景,论证了数智技术在优化作业流程、健全质量追溯体系、催生农业新质生产力以及推动农业供应链向服务化与生态化演进中的重要作用[3-6],并进一步提出智慧农业生产模式、渠道融合的智能营销模式,以及绿色高效的智慧物流模式等转型方向[7]。在转型阶段划分方面,国际学界普遍采用"农业 4.0"或"供应链 4.0"的分析框架,将农食供应链数智化转型描述为从"信息可见"到"流程在线",再到"全链协同",最终迈向"智能生态"的演进过程[8]。在驱动机制方面,国家政策支持、消费需求变化、市场竞争压力、数字技术发展,以及链主企业的可持续发展诉求、断链风险与价值链重构等因素共同构成主要驱动力[9-11]。在治理结构与主体互动层面,研究视角逐渐由"技术采纳"转向"平台治理",重点关注数字平台如何借助算法规则重塑组织边界与权力结构[12]。与此同时,区块链等新兴技术的研究则致力于探索以去中心化账本与智能合约重构信任机制,促进多方主体实现价值共创与收益共享[13-15]。

总体来看,现有研究从多维度论证了农产品供应链数智化转型的现实价值,但仍存在进一步拓展空间。其一,在历史演进研究方面,尽管已有成果依据"农业 4.0"等分析框架进行了有益探索,但对中国制度变迁背景下政策导向、技术迭代、组织协同与要素配置之间的耦合关系关注不足,尚未充分揭示我国农产品供应链数智化转型的阶段特征、演进规律及其内在逻辑。其二,在推进路径研究方面,现有成果侧重于单一技术或局部环节的线性延伸,缺乏对制度安排、组织形态与技术体系协同演进的系统考量。面对数据权属界定不清、数据资产化进程滞后、跨主体协同机制缺失等结构性瓶颈,现有研究仍较少结合演进规律提出系统性解决方案。

鉴于此,本文在界定农产品供应链数智化转型内涵特征的基础上,以历史制度主义为总体分析视角,从演进过程、演进特征与演进规律 3 个层面,系统梳理我国农产品供应链数智化转型的历史脉络,剖析其在数据、技术、主体能力与制度协同等方面面临的现实挑战,进而提出具有可操作性的推进路径。本文研究有助于突破既有研究偏重技术应用和场景描述的局限,深化对"技术 - 组织 - 制度 - 价值"互动机制的理解,并为完善数据治理体系、优化技术适配路径、提升主体参与能力和构建协同治理机制提供决策参考。

二、农产品供应链数智化转型的内涵与特征

数智化是数字化发展至人工智能阶段的更高级形态。与数字化主要实现"信息可见、效率提升"不同,数智化更加强调"理解数据、预测趋势与自主决策"[16]。供应链数智化转型是指将人工智能、大数据分析、机器学习等前沿技术系统融入供应链各环节,构建数智化供应链生态系统与管理体系的过程[17-18]。与工业供应链相比,农产品供应链具有信息孤岛严重、经验主导决策、线性链条结构以及韧性水平偏低等突出特征。这些结构性约束决定了其数智化转型不能简单等同于"业务上云"或"技术升级",而必须在尊重行业特性的基础上,对要素配置与运行机制进行系统性重构。

基于此,本文将农产品供应链数智化转型定义为:在信息壁垒突出、决策依赖经验、链条结构单一、效率与韧性失衡等现实约束下,综合运用物联网、人工智能、区块链等数智技术,对"从田头到餐桌"全链条的物理要素、行为主体与业务流程进行深度感知、实时互联、智能解析与自主决策的系统性变革过程。其核心目标在于有效缓解农产品供应链固有的"时空矛盾"与"品质不确定"问题,全面提升供应链的运行效率、质量安全、农民收益与系统韧性。本质上,这一转型是通过数据要素与智能算法的深度赋能,将传统农产品供应链重塑为具备自感知、自决策、自优化功能的自适应系统,最终构建起兼顾效率、安全、韧性与公平的数智供应链生态。它具有以下典型特征:

第一,转型由多重驱动力与多重约束交织影响。政策层面,数字中国、乡村振兴与数智供应链等顶层设计提供了制度牵引。技术层面,物联网、区块链、人工智能及农业专用装备的不断进步奠定了工具基础。需求层面,消费升级、品质与绿色诉求形成市场倒逼。与此同时,数据权属模糊、数据资产化程度低、技术与场景适配不足、主体能力断层及政策协同滞后等结构性障碍并存,使转型过程呈现出"推进—受阻—再调整"的复杂性与曲折性特征。

第二,转型过程存在临界点效应与反馈机制。当数智技术覆盖达到一定阈值、数据实现连续采集、节点间形成稳定协同网络,并在政策层面建立制度保障时,规模效应、网络外部性与制度刚性将叠加形成正向反馈,推动供应链向网络化生态跃迁。反之,若技术悬浮、组织协同缺失或制度供给滞后,转型易陷入效果难持续的负向锁定。

第三,转型在价值取向上追求效率与公平的统一。农产品供应链数智化不仅是"业务数据化、流程在线化、决策智能化"的技术演进路径,更体现为价值导向从效率优化,逐步转向兼顾食品安全、小农生计、绿色发展与区域均衡的理性重构。这一过程超越了单纯的技术赋能,彰显出对包容性发展的深层追求,致力于实现效率与公平的有机统一。

三、我国农产品供应链数智化转型的演进过程、特征与规律

(一)演进过程

本文将农产品供应链数智化转型置于中国特定的制度变迁脉络中加以考察,基于历史制度主义的分析视角,揭示其在独特政策环境与市场结构下的演进逻辑。

中国的制度变迁过程呈现出显著的渐进式转型特征。一方面,在保持政策连续性的同时,通过"试点—总结—推广"的创新扩散机制稳步推进改革;另一方面,在中央顶层设计与地方创新实践的互动中,形成制度演进路径。历史制度主义强调,制度在历史演进中具有持续性、约束性与阶段性变革特征,制度的形成与发展深受特定历史时期权力结构、观念的影响,制度一旦形成便会通过自我强化机制构成路径依赖(Path Dependence),使后续决策不可避免地受到先前制度安排的影响[19]。同时,制度演进并非完全线性,在外部环境发生显著变化或技术出现重大突破时,往往会形成关键节点(Critical Junctures),为制度的渐进调整提供窗口[20]。这一理论视角为理解中国农产品供应链数智化转型提供了适切的分析框架,解释了转型为何呈现渐进式而非颠覆性的演进路径。因为任何技术应用和组织变革都受到既有制度结构(如城乡二元结构)的约束和塑造,其转型过程必然是一个在路径依赖中寻求突破,并通过关键节点(如重要政策文件的出台)推动制度渐进调整的动态过程。

基于上述理论框架,本文将我国农产品供应链数智化转型划分为从信息化应用起步,到核心环节数字化改造,再到全链路数字化贯通,最终向智能生态体系迈进的四阶段演进过程(图1)。这一演进过程深刻体现了在中国特色制度环境下,技术渗透深度、组织协同程度与制度适配水平相互塑造的动态过程。每一阶段的转型重点与推进方式,既反映出当时制度条件对技术路径的筛选,也体现出技术创新对制度变革的倒逼。与此同时,在技术与制度的双重驱动下,供应链组织形态也整体呈现从线性链式结构,向网络组织和生态共同体逐步演变的趋势。但受区域发展不均衡、主体数字能力差异及制度环境等因素影响,这一"线性—网络—生态"的组织演进路径,在不同地区和不同品类的农产品供应链中常表现出差异化、非均衡的实践形态。

此外,需要强调的是,上述四阶段演进框架并非脱离行业实际的抽象划分,而是围绕农产品供应链核心矛盾所进行的渐进式回应与制度化沉淀过程。每一阶段的技术突破与组织创新,均源自对行业深层问题的持续探索与动态应对,体现了数智化转型在农业领域的现实逻辑与实践脉络。

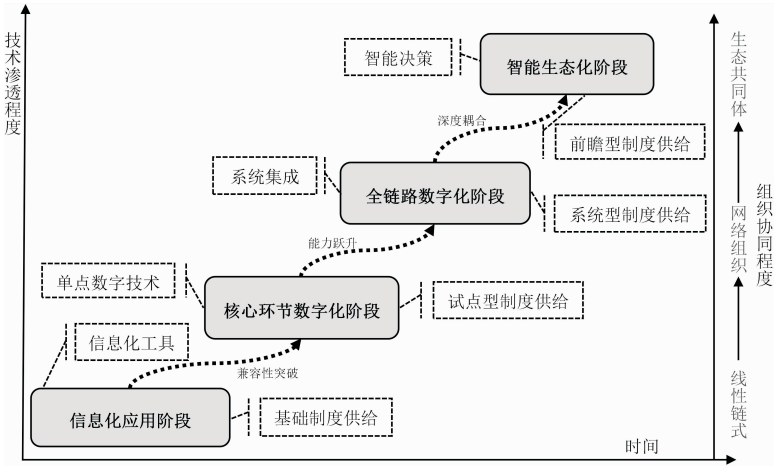


图 1　我国农产品供应链数智化转型演进过程

1. 第一阶段:信息化应用阶段

该阶段是我国农产品供应链数智化的萌芽期,主要以基础信息工具和早期互联网电商平台的应用为标志①,旨在缓解传统农产品供应链中的信息不对称和交易效率低下问题。

在技术应用层面,信息化主要集中于流通与交易环节的线上化,表现为农产品信息发布、在线支付及简易物流跟踪等功能的实现。同时,部分大型农业企业开始引入条形码、EDI、ERP、WMS 等基础信息系统,实现关键业务的电子化记录与信息查询[21]。以“农村淘宝”为代表的电商项目推动了农产品线上销售的规模化起步,但改造多局限于流通末端,对生产端及供应链整体协同机制的触动甚微,信息孤岛现象普遍存在。

在组织结构层面,供应链结构仍呈现以大型加工企业、批发市场为核心的线性模式,信息流呈自上而下的单向传递。中小农户多处于被动接入地位,跨主体数据共享机制薄弱,协同主要依赖传统线下合约。

在政府推动层面,政府主要扮演“基础设施与试点提供者”的角色,通过电商进农村综合示范(2014 年)、农业电商行动计划(2015 年)等政策,推动信息基础设施向农村延伸,并支持县、乡、村三级电商服务体系建设,为农产品上行提供了初步支撑。

总体而言,该阶段依托信息化工具,初步缓解了农产品因易腐性与季节性导致的市场信息约束,但对冷链保鲜、品质标准化及小农户组织化等深层结构性问题的触及仍较为有限,尚未实现供应链的系统性协同与价值重构。

2. 第二阶段:核心环节数字化阶段

在消费升级与政策引导的双重推动下,农产品供应链数智化转型进入以“关键环节数字化”为特征的加速发展阶段。相较于第一阶段聚焦交易端的“触网”,本阶段重心转向生产与物流等高损耗、易腐风险突出的关键环节,借助物联网等技术实现过程监测与精准调控,并通过政策试点推动技术规模化应用。

在技术应用层面,生产端以物联网设备的规模化应用为主要特征。通过部署传感器对土壤墒情、气象条件及作物生长状况进行实时监测,实现生产过程的精准管理[22]。例如,湖南常德家家红

① 2010 年,以阿里巴巴、京东等为代表的早期互联网电商平台开始将业务体系向农产品领域拓展,标志着农产品供应链信息化应用进入规模化探索阶段。

柑橘基地通过水肥一体化智能灌溉系统,根据传感数据自动调控灌溉,在提升资源利用效率的同时,将分散农户纳入标准化生产体系,有效缓解了品质不稳定与易腐损等问题[23]。

在流通环节,数字化产地仓与智能冷链监测成为关键支撑。产地仓引入光电分选等技术,实现糖酸度与外观等指标的在线检测与自动分级,提升产品一致性。冷链环节通过温湿度传感与实时预警,降低腐损率,缓解"保鲜周期短、品质衰减快"等结构性约束。

在数据赋能方面,农业大数据平台开始整合气象、土壤与市场等多源信息,为种植决策与产销衔接提供支持。区块链技术在大闸蟹等高价值品类中开展溯源试点,通过"一品一码"增强消费端信任[24]。但总体来看,此类技术应用仍以局部场景与示范项目为主,尚未实现跨环节的系统集成。

在政策推动层面,国家相继出台《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》(2017 年)、《关于实施"互联网 +"农产品出村进城工程的指导意见》(2019 年)以及《数字农业农村发展规划(2019—2025 年)》,从供应链创新、流通体系建设与数据要素配置等方面提供制度支撑,推动农产品供应链数字化向纵深发展。

总体而言,本阶段实现了由"交易触网"向"关键环节数字化"的转变,显著提升了生产与流通效率,但技术扩散仍主要集中于资源禀赋较好的主体,全链条协同与系统性重构尚未形成。

3. 第三阶段:全链路数字化阶段

随着 5G、人工智能与区块链等技术的成熟,以及数字农业政策的持续推进,农产品供应链由"关键环节数字化"迈入以平台为枢纽的全链路数字化阶段,治理重心由局部优化转向系统整合与协同运行。

在技术与平台层面,农业产业互联网平台成为本阶段的核心载体。以优合集团"优顶特"全球农业产业互联网平台为例,其围绕跨境肉类等高风险、长周期品类,整合订单、采购、加工、冷链运输、通关及交付等全流程,实现了端到端的全程可视化与智能调度[25]。平台通过打通贸易商、冷库、港口与终端客户之间的信息壁垒,缓解了"在途不可视"的协同难题,并依托区块链构建可信监管体系,实现了仓单与质押信息在银行、仓储与企业间的共享,显著提升了供应链运行效率。

在数据与智能决策层面,区块链与人工智能逐步由单点应用走向跨环节集成,呈现出由"全链上链"向"全链智能"的演进趋势。以数商云农业 S2B2B 平台为例[26],其整合产地库存、在途物流与终端销售等多源数据,运用机器学习模型进行需求预测,并结合仓配网络实现动态调度,有效缓解了信息不对称与季节性波动叠加带来的高损耗与价格波动问题。同时,中小农户与商户通过接入平台标准接口与结算体系,逐步融入了数据驱动的供应链网络。

在组织与治理机制层面,主体间协同方式发生转变,数据要素开始成为关键纽带。广西来宾探索"数据换服务"机制,通过政府引导与企业参与,将数据采集与服务供给相结合,在一定程度上缓解了农户数据共享意愿不足的问题,推动其由被动参与者向数据生产者转变[27]。

在政策推动层面,制度供给进一步强化跨部门协同与标准引领。商务部与农业农村部推动扫码准入机制,通过专属二维码关联生产全过程数据,打通生产与市场之间的信息断点。《全国智慧农业行动计划(2024—2028 年)》进一步提出推进全产业链数字化,强化上下游标准衔接,为全链路协同提供制度保障。

总体来看,本阶段初步形成以平台为核心、数据为纽带的全链路协同体系,在应对季节性波动与区域供需失衡方面成效显著,但在推动全链路智能决策与构建价值共享生态方面存在明显短板。

4. 第四阶段:智能生态化阶段

在数字孪生、元宇宙、边缘计算等前沿技术驱动下,农产品供应链正迈入智能生态化发展的新阶段。该阶段旨在构建具备自动响应、智能决策与价值共享能力的供应链生态系统,推动其向自组织、自适应与自优化的智慧形态演进。

在技术融合层面,数字孪生通过对作物生长环境与生产过程的动态模拟,为种植策略优化提供支持。元宇宙技术借助 VR/AR 构建沉浸式消费场景,使消费者可“进入”虚拟农场追溯作物生长全程,强化基于透明的品质信任机制。边缘计算则通过算力下沉与本地处理,提升供应链数据响应的实时性。

在组织协作层面,供应链结构演化为分布式生态网络。农户、合作社、消费者、服务商与金融机构等在去中心化平台上开展算法驱动的资源协同与产品交换,形成“需求即时响应 - 资源动态配置”的自组织产业共同体,重构了多方主体间的协作模式。

在数据与决策层面,数据要素价值进一步显化,平台功能由交易撮合向数据服务与决策支持延伸。基于多源数据整合与模型分析,供应链在需求预测、库存调度与风险预警等方面的智能化水平持续提升,推动管理方式由经验驱动向数据驱动转变。

在政策引导层面,制度供给更加注重前瞻布局。2025 年 3 月商务部等多部门联合印发的《加快数智供应链发展专项行动计划》,明确提出探索数据确权机制,发展农产品供应链服务商,建设数智化农产品市场,展现出国家层面在战略预见与顶层设计上的前瞻性。

本阶段的核心价值,不仅体现为供应链智能水平的提升,更在于供应链系统能够围绕产业薄弱环节构建起抵御外部冲击的韧性生态。然而,这一进程在实践中仍面临多重制约,包括数据权属模糊、数据资产积累不足、技术与场景适配失衡、主体数字能力断层以及政策协同滞后等问题。

(二)演进特征

本文基于社会技术系统理论,构建“技术 - 组织 - 价值 - 政策”四维分析框架,以揭示农产品供应链数智化转型的演进特征。社会技术系统理论强调,技术子系统、组织/社会子系统、制度子系统与价值输出子系统之间存在着相互依存、动态耦合的关系,即技术革新驱动组织变革,组织变革诱发制度调整,而制度适配又反过来支撑技术深化与价值实现[28]。在这一理论基础上,本文构建的四维分析框架具体表现为:技术维度体现为感知、预测与自适应能力的持续渗透与集成,组织维度反映生产关系与协作模式的重构,价值维度呈现分配机制在制度与技术双重约束下的深刻调整,政策维度则指向制度供给的演进方向与治理效能。四者通过“技术渗透—组织升级—制度适配—价值跃迁”的动态循环,推动农产品供应链由局部优化向整体重构演进。

四维变量的选取既源于社会技术系统理论对系统性变迁关键要素的识别,也与农产品供应链的行业特性高度契合。具体而言,技术维度上,农产品的易腐性与季节性要求供应链具备更强的环境感知与需求预测能力。组织维度上,小农分散经营与多级流通并存,使平台化与网络化协同成为突破效率瓶颈的关键路径。价值维度上,传统“中间商主导、小农户弱势”的分配格局,正面临数据要素介入所带来的再配置趋势。政策维度上,农业领域高度的政策嵌入性及粮食安全约束,持续塑造着数智化转型的路径与节奏。需说明的是,本框架旨在聚焦对数智化转型具有结构性影响的关键维度,而非对所有影响因素的穷尽枚举,其解释边界在于系统揭示演进的主线逻辑与内在机制。

1. 技术维度

技术演进路径表现为从“信息化工具→单点数字技术→集成应用→智能生态”的持续跃迁,其本质是数字技术由辅助工具逐步升级为重塑供应链运行基础的核心要素,推动供应链由局部优化走向系统智能。在信息化阶段,以电商平台与基础信息系统为代表,实现交易数据线上化处理,在一定程度上缓解了信息不对称问题。在核心环节数字化阶段,物联网技术将土壤墒情、作物生长与冷链环境等自然变量转化为结构化数据流,使决策逐步由经验驱动转向数据驱动。进入全链路数字化阶段,区块链与人工智能实现深度融合,前者构建跨主体可信溯源机制,后者在种植决策、库存优化与路径调度中发挥关键支撑作用,推动供应链运行由局部协同走向系统联动。在智能生

态阶段，数字孪生与边缘计算等技术进一步应用于气候异常与市场波动等复杂情景的模拟与响应，使供应链逐步具备更强的实时感知、动态适应与优化能力。

2. 组织维度

组织形态演进呈现“松散连接→平台化网络协同→生态共同体”的变迁趋势，本质上是数智技术深度嵌入所引发的生产关系重构。在早期链式结构中，多级中间商凭借信息与渠道优势占据主导，小农户处于依附地位。随着产业互联网平台兴起，农户、合作社、物流企业及服务机构通过标准化接口与数据中台实现流程对接与信息协同，逐步形成以平台为枢纽的网络化协作结构。在更高级阶段，区块链与智能合约推动部分场景向算法驱动的生态共同体演进，产能预约、质量验证与收益分配等环节依据预设规则自动执行，形成以多主体共治为特征的生态共同体。

3. 价值分配维度

价值分配结构经历了“中间商主导→平台抽成→数据分红→生态共享”的阶段性演变，反映出供应链中权力结构与剩余索取权的深刻调整。在信息化阶段，多级中间商掌控议价权，农户与消费者处于价值链末端。在核心环节数字化阶段，平台企业凭借流量与数据控制权，通过手续费等获取增量收益，部分替代传统中间商，形成新中心化格局。在全链路数字化阶段，农户的农事数据、环境记录逐步资产化，“溯源溢价”与“品牌溢价”推动数据分红机制形成，平台角色从抽成者向价值转化服务者转变。至智能生态阶段，随着数据确权、智能合约和算法治理等制度安排不断完善，数据贡献、能力贡献与风险承担逐步嵌入价值分配规则，形成以贡献为导向的收益共享机制，价值逻辑由平台主导转向生态共享，即“谁贡献数据与能力，谁分享增值收益”。

4. 政策支持维度

政策演进遵循“基础保障→技术催化→系统重构→生态治理”的逻辑变迁，反映政策供给由基础性制度支持向前瞻性制度引领的转型。信息化阶段，政策以“补短板”为主，重点完善信息基础设施与冷链物流建设，弥合物理与数字鸿沟。核心环节数字化阶段，政策工具转向设备补贴、示范园区与税收优惠，推动适配农业场景的数字化技术应用扩散。全链路数字化阶段，政策重心转向系统性制度供给，通过数据标准制定、政务数据共享与质量追溯体系建设，强化跨主体协同的制度约束。智能生态阶段，政策聚焦数据确权、数据交易与数据安全等前瞻性制度设计，政府角色由项目供给者转向规则塑造者与风险治理者，引导数智化转型在效率与公平之间实现动态平衡。我国农产品供应链数智化转型演进特征如表1所示。

表1 我国农产品供应链数智化转型演进特征

特征维度	信息化应用阶段	核心环节数字化阶段	全链路数字化阶段	智能生态化阶段
技术维度	电商平台、ERP、EDI等基础信息系统实现交易线上化，缓解信息不对称	物联网、智能冷链、农业大数据等应用于生产与流通关键环节，实现精准监测与过程控制	区块链、人工智能、产业互联网平台深度融合，实现全链路数据贯通与智能协同	数字孪生、边缘计算、元宇宙等融合应用，供应链具备实时感知、自主决策与持续优化能力
组织维度	供应链仍呈线性链式结构，小农户被动参与，协同主要依赖传统合同关系	生产、物流等关键环节数字化，形成围绕核心企业的局部协同	平台连接农户、合作社、物流、金融等主体，形成网络化协同体系	多主体在平台规则下实现算法协同，形成开放共享、自组织、自适应的供应链生态
价值维度	信息成本下降，交易效率有所提升，但价值增值有限，中间商仍占主导	生产效率与流通效率提升，平台开始获取数据与流量增值收益	数据资产价值逐步显现，形成溯源溢价、品牌溢价等新型价值创造方式	数据、算法与生态协同共同创造价值，实现按数据贡献和能力贡献共享收益，供应链韧性持续增强

续表

特征维度	信息化应用阶段	核心环节数字化阶段	全链路数字化阶段	智能生态化阶段
政策维度	电子商务进农村综合示范、农业电商行动计划等政策推动农村信息基础设施建设	数字农业农村发展规划等政策推动关键环节数字化	全国智慧农业行动计划等政策强化全产业链数字化和标准体系建设	数智供应链发展专项行动计划等政策推动数据确权、供应链服务体系和数智市场建设,制度供给由支持应用转向生态治理
阶段特征概括	技术渗透有限、组织协同松散、价值提升初显、制度基础构建	关键环节数字化、局部协同形成、效率价值提升、政策试点扩散	全链路协同运行、数据价值释放、制度体系完善	智能生态演进、价值共享增强、制度治理前瞻化

(三)演进规律

整体而言,农产品供应链的数智化转型是一场涉及技术应用、组织模式、价值逻辑与治理结构的供应链深度变革。其演进过程并非遵循线性均衡路径,而是在技术突破、政策引导与市场需求的共同作用下,呈现出从局部试点到整体重构的发展规律。这一规律具体体现为:在演进方向上,由工具理性向价值理性升华;在技术路径上,从碎片化应用走向系统化集成;在驱动机制上,依赖于技术、组织与制度的动态互构;在价值理念上,追求规模化与普惠化的动态平衡。

1. 从工具理性走向价值理性

马克斯·韦伯的“理性二分法”将人类行动逻辑分为工具理性和价值理性,工具理性关注手段与目标的效率匹配,价值理性强调行为本身的终极价值,追求伦理意义[29]。农产品供应链数智化转型遵循从工具理性向价值理性升华的内在规律,这一规律具体表现为:转型初期,技术应用以效率提升为核心目标,如电商平台降低信息不对称、物联网设备优化水肥投入,其逻辑聚焦于经济效能的工具性实现。随着转型深化,价值理性日益凸显,技术应用的重心扩展至食品安全保障、小农赋能等更具伦理内涵的目标。例如,区块链溯源不仅提升了流程效率,更构建了透明可信的食品安全机制;AI 种植系统在提高产量的同时,也通过降低技术门槛助力小农融入数字生态,体现了发展机会的平等。

2. 从碎片化应用走向系统化集成

技术采纳生命周期理论表明,新兴技术在产业中的渗透往往遵循从局部试点到全面推广的渐进路径[30]。复杂适应系统理论则进一步指出,这种渗透的深层动力源于系统内主体的适应性学习与互动,即主体通过持续的信息交换与协作,推动技术应用从分散走向聚合,最终实现系统演进升级[31]。在农产品供应链数智化转型中,这一演进规律尤为明显。转型初期,RFID、环境传感、大数据预测等技术多以单点形式嵌入不同环节,由于接口标准不统一,系统之间难以联通,技术效应局限于局部场景。随着集成程度提升,API 接口逐步标准化,数据中台与云平台加快建设,生产管理、物流追踪与销售分析等系统实现了贯通,逐步形成了“数据共享 - 流程耦合 - 主体联动”的一体化架构。由此,物理世界的运营活动与虚拟空间的算法模型实现了双向映射,推动供应链从局部优化迈向整体赋能。

3. 强调技术、组织、制度的动态互构

结构化理论指出,制度结构(制度框架与组织形态)与行动实践(包括技术应用实践)之间存在“二重性”关系,即结构既约束行动又赋能行动,行动则既依赖结构又重塑结构[32]。在农产品供应链语境中,这一关系具体表现为技术、组织与制度三者的动态互构。

从互构机制来看,主要存在 3 类典型路径。其一为技术驱动型互构,表现为新技术推动组织

重组，进而倒逼制度回应。在转型初期，物联网、区块链等新技术率先落地，推动合作社、平台等组织形态为适应效率提升而重组。随着实践深入，数据权属与质量追溯等问题倒逼政策回应，形成“技术试点—组织重组—制度回应”的闭环。其二为制度牵引型互构，表现为通过政策预设引导组织调整和技术定向发展。在转型中后期，政策通过设定数据标准、推动质量追溯等方式，主动引导技术研发方向与组织形态向平台化、生态化演进，形成“制度预设—组织调整—技术定向”的推进路径。其三为反馈调适型互构，表现为以基层实践推动技术与制度的持续优化。农户通过具体实践，对既有技术与制度安排进行反馈，其反馈信息推动平台规则与政府政策持续优化，形成自下而上的调适动力。

从时序演进来看，互构的主导逻辑呈现阶段性演变特征。早期呈现“技术先行、组织适配、制度滞后回应”的特征，中后期则转向“制度设定边界、组织探索路径、技术定向落地”的牵引模式，制度角色从被动响应转向主动塑造。

从参与主体来看，互构过程呈现多元主体协同特征。政府通过顶层设计设定制度框架，平台企业将制度要求编码为可执行规则，龙头企业和合作社将规则嵌入生产网络，农户则通过使用行为，对技术和制度安排形成持续反馈。

结合四阶段演进过程可见，互构重心随转型深化而不断转移：从信息化阶段的工具导入与组织适应，到核心环节数字化阶段的节点整合，再到全链路数字化阶段的平台协同与标准约束，最终在智能生态阶段聚焦于数据治理与算法共治，体现了互构机制随系统复杂度提升而持续深化的内在规律。

4. *在规模化与普惠化之间寻求动态平衡*

包容性发展理论强调，经济发展需兼顾效率与公平，核心在于通过制度与技术创新消除弱势群体的参与壁垒[33]。在农产品供应链数智化转型中，这一要求具体体现为规模化与普惠化之间的动态平衡。转型初期，受成本与技术门槛约束，数字技术优先嵌入资金与组织能力较强的规模主体，以实现快速扩散与路径验证。随着技术成熟度提升与应用场景拓展，技术可及性逐步增强，小农户与中小主体开始进入数智化体系，数字参与边界不断外延，缓解了初期的数字排斥。进一步地，伴随参与主体的扩展与数据资源的持续积累，网络效应逐步显现，反过来强化规模效率与系统协同能力，由此形成了“规模扩展—普惠嵌入—协同提升”的动态演进规律，体现出效率与公平之间的内生性平衡机制。

四、我国农产品供应链数智化转型的现实挑战

尽管我国农产品供应链数智化转型总体上已呈现出从信息化应用向智能生态迈进的趋势，但支撑这一进程的“技术－组织－制度”体系并未实现同频协同升级，由此在当前阶段集中表现为一系列突出的现实约束，具体体现在以下5个方面。

（一）数据权属模糊

在以分散小农、环节复杂为特征的农产品供应链中，数据权属模糊问题尤为突出，已成为制约数智化转型的首要瓶颈。

首先，所有权主体不清。核心企业常以设备投入主张数据控制权，平台企业则以数据处理能力主张管理权，而作为数据源头的农户，既缺乏法律依据也欠缺技术能力主张自身权益[34]。其结果是农户因担忧无法分红而不愿共享农事数据，经销商为保护利润而封锁销售信息，数据被各环节割裂，智能决策失去基础。

其次，使用权与流转规则缺失。农产品数据具有生物衍生性和强时空关联性，本应在产、加、

销、消之间顺畅流转,但现实中缺乏统一的授权机制与安全共享框架[35]。一方面,上下游数据协议不一致,使加工企业难以依据消费反馈调整工艺;另一方面,监管机制缺位,加剧了各方对隐私与商业秘密泄露的担忧,形成“宁可不用,也不敢共享”的数据孤岛[36]。

最后,收益分配机制缺位。数据具有可复制、非排他等属性,其价值边界与贡献主体本就难以界定。在缺乏贡献计量与分配规则的情况下,平台与技术方常凭借算法与接口优势,独享多方数据汇聚形成的增值收益,而小农户因数据产权未被确认,基本被排除在分配体系之外,严重削弱其参与数智化、持续提供高质量数据的内生动力。

(二)数据资产不足

当前,我国农业大数据要素化进程尚处于探索阶段。由于数据产权界定、流通交易与收益分配等基础制度仍不完善,农产品供应链中的数据报表普遍存在“数字”繁多而可采集、可利用的“数据”有限的现象[37]。数据来源分散且连续性弱,导致数据难以形成高价值资产,制约了农产品供应链数智化转型。

首先,生产端数据“资源化”程度低。受限于小农户数字素养与设备维护能力,农事记录多停留于纸质、口头等非结构化形式,传感器数据也常因故障或断点导致时序断裂,难以形成可用于溯源、定价或金融评估的稳定数据包。这不仅削弱了农户的市场议价能力,也降低了全链决策的准确性与可信度。

其次,流通端数据“资产化”路径不畅。冷链温控、仓储状态、在途轨迹等关键数据,因接口标准不一、权属不清,难以通过有效清洗与融合形成可交易、可评估的标准化数据资产。农产品加工企业无法据此灵活调整工艺与产能,仓储物流亦难以实现精准调度,导致损耗率与制度性交易成本居高不下。

最后,消费端数据“价值化”链条断裂。消费者偏好、价格敏感度等高价值数据多由平台掌控,受隐私合规等限制难以上传至中上游,造成产需脱节[38]。更严重的是,当消费端数据无法通过溯源机制反哺生产时,农户难以实现“优质优价”,其通过数字化提升产品差异化的努力亦难以被市场识别,最终抑制全链协同效能和农户增收。

(三)技术 - 场景适配失衡

农产品供应链数智化转型过程中,技术供给与农业现实场景之间普遍存在适配性失衡的问题。这一现象主要源于农业场景的特殊性与工业技术标准化之间的深层矛盾。

首先,在生产端,农业生物特性与工业技术刚性存在冲突。农产品生长受自然环境强烈影响,表现出显著的地域差异和时序变化特征,而基于工业标准化逻辑的数智技术,在传感器精度、算法通用性及系统稳定性等方面,尚难以有效适配农业这种高度复杂和不确定的生产环境[39]。这种适配失效不仅削弱了农户对智能技术的信任,还会引发其向传统生产模式的回流,从而阻碍数智化技术在生产端的深入推广与应用。

其次,在流通端,环境动态性与技术系统稳定性存在偏差。农产品流通过程易受极端天气、交通中断等突发因素影响,而现有的物流智能调度算法与温控系统多依赖静态模型构建,缺乏应对实时扰动的弹性与自适应能力。其结果是,农户因运输途中较高的损耗率而承受经济损失,消费者则因溯源信息中断而对产品质量产生信任危机。

(四)主体能力断层

农产品供应链的数智化转型是一项依赖多主体协同的系统工程,然而当前各环节主体在数字认知、技术操作与系统整合等方面存在显著能力断层。

首先,农户数字素养不足导致源头数据质量低下。受限于物联网等智能设备操作复杂①与数据标准不清,农户普遍难以有效采集和上报生产数据,造成数据碎片化、时序断裂等问题[40]。这不仅影响全链决策基础,更使其从"数据贡献者"沦为"技术边缘者",削弱了转型的普惠性。

其次,中间主体系统集成能力薄弱阻碍流程协同。加工企业、中小物流商等往往"重硬件、轻适配",其部署的管理系统与上下游接口不兼容,数据流转依赖大量人工转换与重复录入。由此形成的数据孤岛不仅推高协同成本,更阻断了从生产到消费的关键反馈机制。

最后,核心企业生态垄断加剧能力分化。部分核心企业凭借技术优势推行"技术锁定策略",主导标准并控制数据接口,构建封闭生态。农户等弱势主体既缺乏自主创新资源,又因技术依附难以实现能力成长,导致数智化转型异化为"中心化技术输出",背离普惠共享的转型初衷。

(五)政策协同滞后

农产品供应链数智化转型作为一项跨部门、跨区域的系统工程,当前在政策协同方面仍存在明显滞后。各部门政策制定多受限于职能边界,缺乏系统整合与有效联动机制,导致标准不一、执行衔接不畅,难以形成推动全域转型的政策合力。

首先,跨部门协同不足制约政策整合效能。农业、商务、交通、科技等部门在推进数智化过程中,多聚焦于各自职能范围内的局部环节,尚未形成常态化的协同机制。政策目标与实施路径缺乏统筹,企业在对接不同部门时面临标准不一、流程繁杂等问题,显著增加制度性交易成本,削弱政策实施效果。

其次,跨区域政策差异阻碍全国性市场构建。由于各地区在补贴力度、数据安全规范、质量认证标准以及数字平台建设规则等方面存在显著差异,农产品在跨区域流通过程中往往需要同时适应多重政策体系和监管要求。这种制度环境的不一致不仅增加了市场主体的制度适应成本,也削弱了数据、技术和资本等要素跨区域流动的效率,阻碍了全国性数智化农产品市场的形成。

五、我国农产品供应链数智化转型的推进路径

针对当前我国农产品供应链数智化转型面临的现实挑战,数智化转型的推进路径需坚持系统治理思路,立足"数据确权-技术适配-模式创新-制度保障"这一主线协同发力,最终形成技术赋能、效率跃升与包容性发展相统一的农产品数智供应链体系。

(一)构建区块链数据资产确权体系

推进农产品供应链数智化转型需建立区块链数据资产确权体系,这不仅有助于厘清田间生产、冷链温控、质量检测等数据的权属边界,也能为分散小农提升议价能力和收益地位提供制度基础。

首先,建立全链路数据身份标识系统。利用区块链不可篡改特性,为农事记录、物流信息等异构数据赋予唯一数字指纹,明确所有权归属。通过预设贡献度模型的智能合约,依据各方在数据采集、清洗等环节的实际投入自动分配收益,有效解决产权虚置问题。

其次,开发隐私保护与协同计算框架。采用联邦学习实现跨环节数据协同建模,原始数据保留在本地,仅交换加密的模型参数。结合同态加密与零知识证明技术,确保计算过程机密性与处理行为合规性,在保护隐私的同时将非结构化数据转化为可量化、可质押的链上信用资产。

最后,构建跨链协同的资产流通平台。以中继链或行业联盟链为基础,打通电商链、物流链、

①《中国数字乡村发展报告(2022)》显示,2022年农村地区智能设备使用率为58%,其中"操作复杂性"构成主要应用障碍。

金融链等多条业务链路，形成统一的数据资产登记与兑换平台，将种植环境数据、工艺参数等沉淀为可拆分、可交易的数字凭证（如数字仓单、NFT 通证），农户可据此用于质押融资或抵扣物流费用，企业也可通过数据资产兑换优先采购权，由此促进数据要素高效流转。

（二）创建农业垂直技术适配架构

推进农产品供应链数智化，需立足农业生物属性强、不确定性高、主体分散等特征，构建以场景为核心的垂直技术适配架构，推动通用技术向农业专用技术有效转化。

首先，以场景为导向精准识别垂直需求。围绕生产、加工、流通、销售等环节开展系统调研，聚焦“降低易腐损耗、提升质量稳定、促进小农接入”等核心痛点，形成覆盖全链路的场景化需求谱系，避免技术与场景脱节。

其次，面向关键环节开发专用技术工具集。生产端重点研发融合多源数据的作物生长模型与高鲁棒性环境感知算法，支撑复杂自然条件下的精准决策。加工端围绕农产品理化特性优化智能分级与保鲜控制技术，提升标准化水平与产品附加值。流通端强化冷链温控精细调节与智能调度系统，降低多节点流转中的品质风险。销售端则提供轻量化溯源展示与消费者友好型品质说明工具，实现技术价值通俗传递。

最后，构建小农友好的技术接入体系。针对小农户数字鸿沟与数字排斥问题，系统推行“治理赋能与技术适配”的普惠推进路径。在治理赋能上，探索构建以合作社为主体的“数据合作社”机制，通过将分散农户组织化为统一的数据管理与服务对接主体，增强其在数据权益协商与数字服务获取中的集体议价能力，确保数字红利惠及广大农户。在技术适配上，着力推广“小程序 + AI 语音”等低门槛应用，开发集成方言识别与语音交互功能的轻量化工具，降低小农户数字参与壁垒。

（三）打造数据协同与智能驱动的供应链运行模式

推进农产品供应链数智化转型，需打造数据要素贯通、算法规则协调、智能驱动决策的供应链运行模式，以破解农产品供应链数据割裂和主体能力断层困境（图 2）。

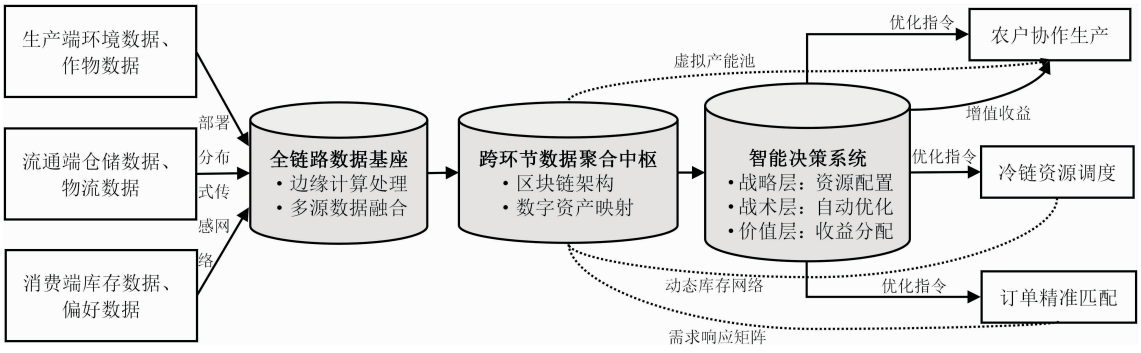


图 2　数据协同与智能驱动的供应链运行模式

首先，构建全链路一体化数据基座。通过分布式传感网络实时采集生产环境、物流轨迹、库存状态与消费偏好等多源数据，依托边缘计算实现清洗对齐与特征提取，形成覆盖“产 – 运 – 销”全环节的数据资源池，为智能协同奠定坚实基础。

其次，建立跨环节协同的数据聚合中枢。基于区块链与智能合约，将种植计划、仓储周转、终端需求等异构数据映射为标准化、可度量的数据单元，构建分布式数据枢纽与供应链控制塔。该中枢可同步支撑生产端的虚拟产能池与协作排产、流通端的动态库存与冷链资源优化，以及消费

端的需求响应矩阵,实现全链过程可视、状态可调与效率可优化。

最后,形成智能驱动的三级闭环决策体系。运用联邦学习等技术在保障数据隐私前提下融合多方数据,构建战略层、战术层与价值层三级决策体系。战略层聚焦资源布局与结构优化,战术层基于预测模型生成品种结构与运力调度方案,并由智能合约自动触发执行指令,价值层则依托数据股权规则实现增值收益的自动结算与分配。

需要强调的是,该模式并非技术的简单堆叠,而是通过数据治理、算法建模与平台运营的系统性融合,使供应链在高度不确定环境中具备敏捷响应、高效协同与价值共创的能力,最终将智能决策转化为质量信任与农民增收的实际成效。

(四)建设数智化农产品市场

推进农产品供应链数智化转型,需以"多边智能交易平台"和"需求穿透机制"为双核驱动,建设数智化农产品市场,将数字能力转化为提升交易效率、降低流通成本与促进农民增收的实际成效。

首先,打造多边智能交易平台,提升全链撮合效率。面向生产、加工、流通、销售全链条,分层构建农事与质量数据共享平台、智能分销与订单协同平台、全渠道一体化营销平台。平台需采用模块化设计,预留标准化接口,兼容现有仓储、冷链与电商系统,形成覆盖县域、区域及跨区域的数字化交易枢纽,并有效降低小农与中小商户的参与门槛。在此基础上,针对县域冷链资源分散、利用率低的瓶颈,可重点部署"县域冷链云舱"调度平台,依托数字孪生技术实现县域内各类冷链资源的动态聚合,并融合智能算路、动态定价与在线预约功能,推动冷链资源的灵活调度与高效共享。

其次,构建需求穿透引擎,实现产销精准匹配。依托联邦学习、隐私计算等技术,在充分保障数据安全与隐私的前提下,跨区域、跨场景聚合消费行为与价格数据,构建高精度需求预测模型,形成农产品消费热力图,并实时反馈至产地的政府、合作社与龙头企业,为种植规划、产能布局与跨区调运提供决策支持,从源头缓解"生产端盲目、消费端波动"的结构性矛盾。同时,为进一步破解县域物流成本高、配送集约化程度低的难题,可基于上述需求洞察能力推广"集单联采"模式,即通过大数据预测县域细分消费需求,在消费端形成规模化"预售集单",再反向引导合作社与小农开展"联采统运",以需求聚合推动物流集并,有效摊薄单位配送成本,形成以销定产、以量降本的良性循环。

最后,建强骨干网、城际网与社区末梢网三级融合的数智供应链网络。骨干网整合区域冷链枢纽与干线物流,提升跨区调度能力;城际网依托动态库存协同与前置仓布局,支撑城市群高频补货与应急调剂;社区末梢网依托智能自提柜、社区微仓等设施,实现"最后一公里"精准配送。同时,为补强县域内部物流节点分散、共配能力不足的短板,可在三级网络框架下重点建设"县域数智共配中心",整合邮政、供销社、电商服务站等现有节点资源,在县城与中心乡镇布局共同配送枢纽,引入自动化分拣与路径规划系统,实现进出县域农产品与农资的统一集散、分拨与配送,有效减少重复运输与资源闲置,降低县域物流总成本。

(五)健全跨部门跨区域协同治理机制

推进农产品供应链数智化转型,需健全跨部门跨区域协同治理机制,以破解跨部门政策割裂、区域制度壁垒等系统性障碍。

首先,健全跨部门统筹机制。设立数智化转型协调机构,整合农业、商务、科技等部门职能,统一技术接口标准、数据报送规则和补贴发放流程,将生产端设备补贴、流通设施数字化改造、消费端溯源认证等工具打包设计、联动实施,提升公共政策整体效能。

其次,推进跨区域制度协同。建立区域性政策协调平台,推动数据安全认证、质量追溯标识等

核心标准互认,构建“一地认证、全国通行”的农产品数字通行证体系。探索“数据飞地”机制,运用联邦学习等技术实现“数据可用不可见”,破除地方保护与数据壁垒。同步设立跨区域流通补偿基金,对因执行统一标准而产生额外合规成本的主体与地区予以合理补偿,引导地方政府从“竞争性补贴”转向“协同性治理”,共同培育统一开放、数智赋能的全国性农产品大市场。

六、结语

农产品供应链数智化转型,并非传统供应链数字化建设的简单延伸,而是数据要素、智能技术与供应链组织体系深度融合所引发的一场系统性变革。我国农产品供应链数智化转型呈现出明显的阶段演进特征与内在发展规律,其演进不仅体现为数字技术应用范围的持续扩展,更表现为技术体系、组织结构与治理机制的协同重构。从信息化应用到全链路数字化,再到智能生态的构建,数智化转型本质上是农产品供应链中价值创造逻辑、组织协同逻辑与治理逻辑持续演化的过程。在这一过程中,效率提升固然是重要目标,但更深层次的价值在于增强供应链韧性、保障质量安全以及促进小农户包容性发展。

面向未来,农产品供应链数智化转型将进一步从技术驱动走向数据驱动,从流程优化迈向生态重构,从效率导向转向效率、安全、韧性与公平价值的协同实现。特别是在人工智能、区块链、大模型及数据要素市场化配置加速发展的背景下,数智供应链将逐步成为连接小农户与大市场、衔接农产品生产与消费的重要载体。如何在提升供应链智能化水平的同时,统筹推进数据共享、利益共享与发展共享,促进小农户有效融入数智供应链网络,实现效率提升与包容发展的有机统一,将成为农产品供应链数智化转型持续深化的重要方向。

参考文献:

[1]浦徐进,陈柏含,李秀峰. 农产品供应链数智化转型研究的历史演变和未来展望[J]. 中国管理科学,2025(4):235 – 250.

[2]Mwangakala H A, Mongi H, Ishengoma F, et al. Emerging digital technologies potential in promoting equitable agricultural supply chain: a scoping review[J]. Technological Forecasting and Social Change,2024,208:123630.

[3]范贝贝,李瑾,冯献 等. 农产品智慧供应链体系高质量发展研究[J]. 中国工程科学,2023(4):92 – 100.

[4]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(3):1 – 16.

[5]宋华. 建立数智化、生态化、知识化的供应链助推产业链高质量发展[J]. 中国经济评论,2022(5):32 – 37.

[6]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(7):133 – 149.

[7]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.

[8]Lezoche M, Hernandez J E, Díaz M M A,et al. Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture[J]. Computers in Industry,2020,117:103187.

[9]李健. 数字经济助力农业产业链供应链现代化:理论机制与创新路径[J]. 经济体制改革,2023(3):80 – 88.

[10]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(3):24 – 37.

[11]易加斌,李霄,杨小平,等. 创新生态系统理论视角下的农业数字化转型:驱动因素、战略框架与实施路径[J]. 农业经济问题,2021(7):101 – 116.

[12]Klerkx L, Rose D. Dealing with the game-changing technologies of agriculture 4.0: how do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? [J]. Global Food Security,2020,24:100347.

[13]Mbadlisa G, Jokonya O. Factors affecting the adoption of blockchain technologies in the food supply chain[J]. Fron-

tiers in Sustainable Food Systems, 2024,8:1497599.
[14]Ellahi R M, Wood L C, Bekhit A E-D A. Blockchain-driven food supply chains: a systematic review for unexplored opportunities[J]. Applied Sciences,2024(19):8944.
[15]谭砚文,李丛希,宋清. 区块链技术在农产品供应链中的应用——理论机理、发展实践与政策启示[J]. 农业经济问题,2023(1):76-87.
[16]王秉. 何为数智:数智概念的多重含义研究[J]. 情报杂志,2023(7):71-76.
[17]宋华. 从数字化迈向数智化:供应链的转型路径与能力构建[J]. 中国流通经济,2025(9):27-35.
[18]陈剑,刘运辉. 数智化使能运营管理变革:从供应链到供应链生态系统[J]. 管理世界,2021(11):227-240.
[19]Pan W, Hosli M O, Lantmeeters M. Historical institutionalism and policy coordination: origins of the European semester[J]. Evolutionary and Institutional Economics Review,2023(1):141-167.
[20]Mukherji R, Zarhani S H. Policy paradigms and path dependence: the endogenous roots of institutional displacement and drift in India[J]. Global Public Policy and Governance,2021(1):78-97.
[21]肖志炜,杨建州,许晓湖. 农产品供应链信息服务平台的框架设计及应用[J]. 物流科技,2016(11):97-99.
[22]孙九林,李灯华,许世卫,等. 农业大数据与信息化基础设施发展战略研究[J]. 中国工程科学,2021(4):10-18.
[23]李杰,丁慧,李亚明. 家家红:柑橘甜 产业兴[EB/OL]. [2025-11-14]. https://www.hunantoday.cn/news/xhn/202511/30900144.html?
[24]王佳慧. 区块链技术推动农业产业链优化的路径研究——以江苏省兴化市大闸蟹产业为例[J]. 中国林业经济,2023(4):71-74.
[25]刘叶琳. "人工智能+产业互联网"赋能农产品贸易全链条数字化发展[N]. 国际商报,2025-01-08(3).
[26]从"靠天吃饭"到"知天而作":数商云 S2B2B 平台如何打通智慧农业数据链,赋能合作社?[EB/OL]. [2026-01-13]. https://www.sohu.com/a/975504636_100041230.
[27]何丰伦. 智慧农业精准突破亟待持续发力[N]. 经济参考报,2025-06-09(8).
[28]Pasmore W A. Designing effective organizations: the sociotechnical systems perspective[M]. New York: John Wiley & Sons,Inc, 1988.
[29]Kalberg S. Max weber's types of rationality:cornerstones for the analysis of rationalization processes in history[J]. American Journal of Sociology,1980(5):1145-1179.
[30]Rogers E M. Diffusion of Innovations[M]. 5th. New York: Free Press,2003.
[31]Holland J H. Studying complex adaptive systems[J]. Journal of Systems Ence & Complexity, 2006(1):1-8.
[32]Giddens A. New rules of sociological method[M]. 2nd. Palo Alto, CA: Stanford University Press,1993.
[33]Ekasari S, Judijanto L. Inclusive development models: strategies to reduce income gaps and support sustainable economic growth[J]. International Journal of Financial Economics, 2025(5):305-314.
[34]孙姗. 基于数字农业的农业企业数据确权模式[J]. 农业工程,2024(5):38-47.
[35]Patil S, Aklade N, Uikey A A. Revolutionizing vegetable value chains: a comprehensive review of digital technologies and their impact on agricultural transformation[J]. Current Journal of Applied Science and Technology,2023(47):54-65.
[36]孙姗,周利明,朱建刚. 合规框架下农业数据确权实施路径[J]. 农业工程,2025(2):33-43.
[37]孙彤,黄桂恒. 大数据驱动的农业产业互联网[J]. 农业大数据学报,2023(1):18-20.
[38]侯泽敏,綦勇. 网络平台共享消费者数据的策略选择及福利分析——基于数据双重价值的视角[J]. 财经研究,2022(1):78-92.
[39]黄朝椿. 数字技术赋能乡村振兴:内在逻辑、现实困境与突破路径[J]. 改革,2024(7):55-64.
[40]徐元明,孟静,赵锦春. 农业物联网:实施"互联网+现代农业"的技术支撑——基于江苏省农业物联网示范应用的调查[J]. 现代经济探讨,2016(5):49-53.

The Historical Evolution, Current Challenges and Implementation Pathways of Digital-Intelligence Transformation of Agri-Food Supply Chains in China

ZHAO Xiao-fei[1], LI Xiao-yun[1], TAN Yan-wen[2]

(1. *School of Management*, *South-Central Minzu University*, *Wuhan* 430074, *China*;
2. *College of Economics and Management*, *South China Agricultural University*, *Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: The digital-intelligence transformation of agri-food supply chains represents the advanced form of supply chain digitalization. Its essence lies in upgrading the traditional agri-food supply chain into an adaptive system with self-perception, self-decision-making and self-optimization capabilities through deep empowerment of data elements and intelligent algorithms, so as to build a digital-intelligence supply chain ecosystem that balances efficiency, security, resilience and equity. In China, this transformation follows an evolutionary path: starting from informatization applications, progressing to digital transformation of core links, advancing to full-chain digitalization, and ultimately transitioning toward an intelligent ecosystem. Its evolutionary characteristics are reflected in in-depth technology penetration, upgraded organizational collaboration, expanded value reconstruction and strengthened policy support. The evolutionary laws are manifested as the sublimation of instrumental rationality to value rationality, the transformation from fragmented application to systematic integration, the dynamic co-construction of technology-organization-institution, and the coordinated balance between scale expansion and inclusive development. Currently, China′s digital-intelligence transformation of agri-food supply chains faces multiple constraints, including ambiguous data ownership, insufficient data assets, mismatched technology-scenario adaptability, capacity gaps among supply chain participants, and lagging policy coordination. To advance this transformation, it is essential to establish a blockchain-based data asset confirmation and ownership system, build an agriculture-oriented vertical technology adaptation architecture, foster a supply chain model driven by data collaboration and intelligence, and construct digital-intelligent agricultural product markets. Meanwhile, it is crucial to improve cross-departmental and cross-regional collaborative governance mechanisms to break fragmented policies and inter-regional institutional barriers.

Key Words: agri-food supply chains; digital-intelligence transformation; historical institutionalism; evolutionary process; evolutionary characteristics

【责任编辑:毛殷】