

农产品供应链数字化转型的理论逻辑与实践进路

赵晓飞 李明 谭砚文

摘要:农产品供应链数字化转型是畅通我国城乡经济循环、增进农民福祉、促进消费升级的重要手段,旨在通过数字技术的引入和应用以及供应链系统的持续创新和能力重构,推动传统供应链向数字供应链转变它是供应链系统不断进行自我调整以适应外部环境变化的过程,这一过程的核心是围绕提升供应链效率和改善农户、企业和消费者福利而产生作用,其目标是打造以“联农、带农、节本、增效”和“安全、绿色、智能、生态”为特征的农产品数字化供应链生态系统。推进农产品供应链数字化转型,一方面,需要从网络环节、参与主体、转型要素、资源/能力基础等层面对供应链进行深度变革与重构;另一方面,必须综合考虑转型的现实困境、目标定位、体制机制约束等因素,设计转型的实施路径和相关机制,通过技术、市场、制度的有效联动,将数字技术潜能转化为供应链创新发展动能。

关键词:农产品供应链;数字化转型;数字化供应链生态系统

中图分类号: F323.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0751(2025)06-0042-10

一、问题的提出

农产品供应链数字化转型是传统农产品供应链优化升级的重要方向,对畅通我国城乡经济循环、增进农民福祉、促进消费升级具有重要意义。近年来,我国农产品供应链数字化建设加速推进,但由于技术与农业场景适配性不足、全链路数据共享不畅等因素制约,供应链数字化转型仍面临不少难题,再加上数字化转型的成本分担机制、技术融合体系以及小农户融入机制尚不完善,影响了数字化转型可持续进行。有效推进农产品供应链数字化转型,构筑数实融合、透明可视、供需衔接、韧性强劲的农产品供应链,充分满足国内外农产品消费市场需求,不断改善农户、企业和消费者福利,已成为农产品供应链

高质量发展的核心任务之一。

然而,学界对该领域的研究还相当缺乏,在理论层面,既有研究多聚焦于数字化转型的概念界定^[1-2]、模式分类^[3-4]、演进形态^[5-6]等方面,尚缺乏对农产品供应链数字化转型理论逻辑的系统性研究,不能深刻把握转型的外部动力、过程机理和影响结果,明晰转型的价值逻辑、目标逻辑和行为逻辑,亟待从理论上进行深化和完善。在实践层面,现有研究进行的路径设计^[7-9]多停留于技术应用层面的线性延伸,尚未建立有效破解数据孤岛困境、场景适配难题的针对性解决方案,在如何推进全链路数字化链接和全环节数字化场景实践方面仍需深入研究。此外,农产品供应链数字化转型离不开政策支持,需要以政府为主导推进体制机制创新,但目前学界在这方面的研究尚不充分,致使政策工具与市

收稿日期:2025-02-10

基金项目:国家社会科学基金重大项目“保障我国粮食和重要农产品稳定安全供给的路径与政策研究”(23&ZD121);国家社会科学基金一般项目“全渠道模式下农产品供应链整合及其效应研究”(18BGL107);2024年湖北思想库学术创新项目“中国农产品供应链数字化转型的发展战略与实施路径研究”(HBSXK2024111)。

作者简介:赵晓飞,男,中南民族大学管理学院教授(湖北武汉 430074)。李明,男,通讯作者,武汉工商学院管理学院教授(湖北武汉 430065)。谭砚文,男,华南农业大学经济管理学院教授(广东广州 510642)。

场主体需求出现结构性错配。

鉴于此,本文在解析农产品供应链数字化转型内涵特征的基础上,构建转型的理论逻辑框架,探讨转型的驱动因素、过程机理和影响结果,分析转型的发展现状和现实困境,提出转型的实践进路与相关机制,以期为农业企业有效推进供应链数字化转型提供实践指导,为政府政策制定提供决策参考。

二、农产品供应链数字化转型的内涵特征

农产品供应链数字化转型是指供应链核心企业运用新一代信息技术推动自身数字化升级并赋能上下游合作伙伴,从而构建起“从田头到餐桌”全流程数据驱动的供应链网络和生态系统的过程。它具有如下特征:

(一) 从有限目标向多元目标转变

农产品供应链是一个覆盖生鲜易腐品、大宗农产品等多品类,贯穿生产、加工、仓储、运输、销售等多环节,涉及农户、合作社、批发商、零售商等多主体的复杂网络系统。与制造业供应链不同,它所涉及的范围更广,更具社会性,这种特殊性决定了数字化转型需突破传统单一效率目标,构建兼具经济价值与社会效益的多维目标体系。一方面,它要针对产品易腐、信息孤岛、产销失衡等传统供应链固有痛点,通过数字技术的引入,打通全链路数据闭环,完善全链路产销匹配机制,形成联农、带农、节本、增效的供应链网络,解决农产品上行难题。另一方面,它要适应消费者对产品安全性和服务便捷性的需求,通过技术赋能推动供应链向安全、绿色、智能、生态的方向延伸,形成多目标协同的价值网络,实现经济效益、生态效益与社会效益的有机统一。

(二) 从松散连接向泛在连接转变

传统农产品供应链注重交付网络构建,在此情形下,供应链是链状结构,效率和灵活度较低。而数字技术的应用能够推动传统链状供应链“聚链成网”,形成“技术+管理”“平台+网络”“数据+算法”的数字化供应链^[10],逐步将成员之间的松散连接转变成以智能终端系统、基础网络平台和数字技术矩阵为手段,以供应链内外协同、数据共享、透明可视特征的泛在连接^[11]。一方面,泛在连接突破了传统农产品供应链的时空限制,在技术层能实现全环节实时数据交互,在业务层能打通跨主体操作壁垒,大幅提升农产品流通效率。另一方面,泛在连

接通过部署嵌入式智能系统,生产加工环节的数据可实时同步至电商平台溯源界面,消费者订单需求可直接触发生产基地的采收指令。这种从松散连接到泛在连接的转型,本质上重塑了农产品流通的底层逻辑,将物理世界的离散节点转化为数字空间的连续价值流,在提升全链路运行效率的同时,更催生出基于实时数据的新型商业模式与协同机制。

(三) 从模糊感知向精准预测转变

传统农产品供应链生产端与消费端的信息壁垒导致产销错配率高,而数字化转型通过部署智能终端传感网络和多源数据融合分析平台,能够构建起“全域感知—智能预测—动态调整”的决策闭环。特别是应用 AI 技术对消费者地理位置、购买场景、偏好特征等进行深度挖掘,能够大幅提高供应链预测能力。这种预测能力的进化不仅体现在前端市场洞察,更关键的是构建了逆向供应链机制——当智能算法监测到某区域订单量异常波动时,可在短时间内触发跨区域库存调配指令,同步向农产品生产基地反馈采收调整建议,大幅降低农产品滞销风险。

(四) 从流程固定向敏捷柔性转变

农产品的易腐性、消费需求多变性特征要求农产品供应链能够快速、灵活地响应消费需求变化。然而,传统农产品供应链的运作流程是以生产为中心的,供应链响应需求变化的能力较弱。而供应链数字化转型通过利用新一代信息技术对外部环境进行扫描,汇集整个供应链的数据信息,清晰地勾勒出供需全景图,能够驱动供应链从流程固定到敏捷柔性转变。它主要通过两种方式实现:一是建立以生产端质量溯源数据流、流通端时空轨迹数据流、消费端需求预测数据流为基础的农产品交易网络,并在此基础上完成整个供应链从流程固定向敏捷柔性转型。二是构建数字化供应链智能塔台,运用深度学习算法动态优化生产排程、物流调配,进而促进供应链从流程固定向敏捷柔性转型。这种转型不仅能使农产品从采收到终端的上架周期大幅压缩,更能催生出模块化柔性生产体系,最终构建起具有高度灵活性的敏捷供应链网络。

(五) 从核心企业主导向生态系统价值共创转变

传统农产品供应链主要围绕核心企业创造价值和分配价值,尽管这种利益分配模式提高了供应链整体运行效率,但不可避免会导致成员间利益分配不合理问题,尤其是会忽视农户、消费者的利益,突出表现为农民提供优质农产品,却分配最低的收益

比例;消费者付出高昂的价格,却买不到安全、生态、绿色的农产品。数字技术的深度渗透打破了这种失衡结构。数字化转型背景下,为实现价值共创,核心企业必须将以往的松散关系甚至对抗关系变成互生、共生、再生的利益共同体,通过实施行为一致性规则、联合价值创造规则和共同进化规则,构建“联农、带农、节本、增效”和“安全、绿色、智能、生态”的数字化供应链生态系统。这种生态系统的构建不仅可以借助数字平台进行全流程数字化运作,改进资源配置方式和重塑供应链系统中各方生产关系,共同创造更大的市场价值,还可以通过增强农户和消费者信息获取能力,提高他们的决策自主权和议价能力,进而增加其收益份额,改善其福利^[12]。

三、农产品供应链数字化转型的理论逻辑框架

农产品供应链数字化转型的根本目的在于通过数字技术的引入和应用以及供应链系统的持续创新和能力重构,推动供应链全链路数字化链接和全环节数字化转型,破解农产品上行难题,促进产销精准匹配,不断改善农户、企业和消费者福利。农产品供应链数字化转型的理论构建必须考虑农产品供应链特殊性与数字化转型要求之间的匹配关系,将供应

链所处的外部环境、转型关键因素及其影响纳入同一分析框架,廓清转型的外部动力、过程机理和影响结果,明确转型的目标逻辑、行为逻辑和价值逻辑。

基于此,本文以促进农产品供应链成员福利改善为标准,以打造农产品数字化供应链生态系统为目标,借鉴战略管理领域的“资源—能力—行为—绩效”框架和供应链分析的“组织—流程—要素”模型^[13],从“网络环节、参与主体、转型要素、资源/能力基础”层面提炼转型的关键因素和实现轨迹,构建农产品供应链数字化转型的理论逻辑框架(见图1)。该理论框架以“技术—组织—环境(TOE)”理论为基础,TOE理论主要关注技术、组织、环境因素对组织技术采纳的影响。其中,技术因素反映技术特性(如兼容性、可扩展性、相对优势)对组织采纳新技术的影响;组织因素强调组织内部特征(如组织规模、组织结构、资源禀赋)能否适配新技术采纳;环境因素强调组织所处的外部环境(如市场环境、政策环境、人才环境)对技术采纳的激励或约束作用^[14]。TOE理论为理解农产品数字化转型提供了结构化视角,即技术是工具,组织是载体,环境是保障。农产品供应链数字化转型可视为TOE框架下技术赋能、组织适配与环境支撑的共振过程,这一过程的核心是围绕提升供应链效率和改善供应链成员福利而产生作用。

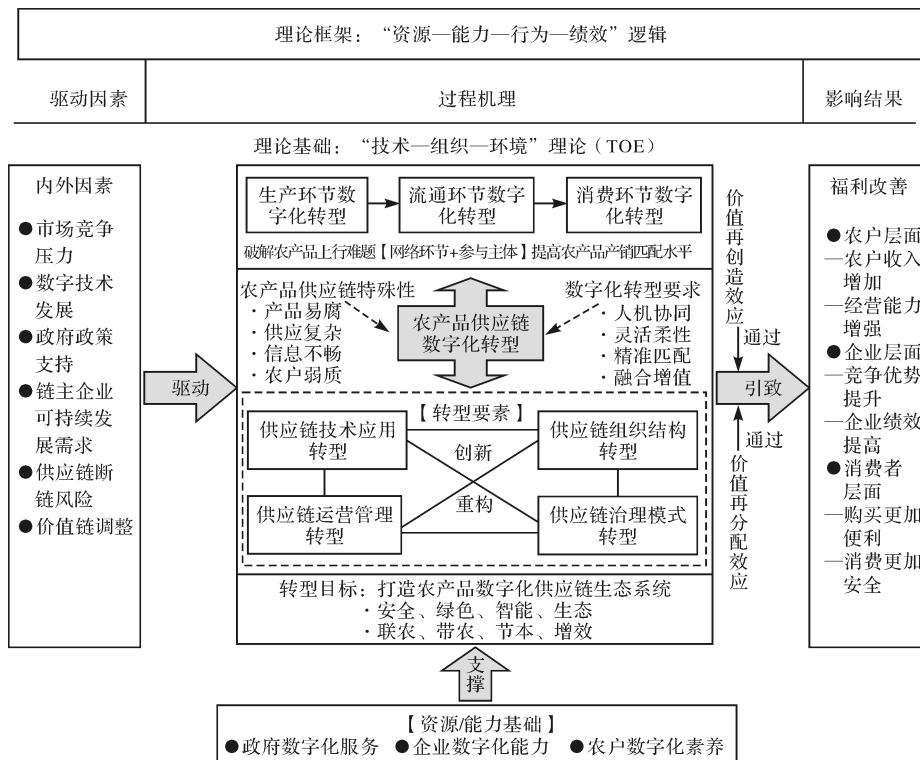


图1 农产品供应链数字化转型的理论逻辑框架

(一) 农产品供应链数字化转型的驱动因素

1. 外部因素

(1) 市场竞争压力。首先,市场竞争要求供应链能够对市场变化作出快速反应,而农业企业通过数字化技术整合生产端与消费端数据流,建立全链路智能感知系统,能够实现从传统供给驱动模式向需求牵引模式的转换,显著提升供应链的响应能力。其次,市场竞争要求降低运营成本,而农业企业通过供应链数字化转型引入 AI 物流优化算法,能够有效降低物流成本等关键环节支出,从而优化整体运营成本。最后,市场竞争要求提高供应链的运行效率,而农业企业通过构建数字化平台能够重构“生产—流通—消费”全链路流程,形成数据闭环生态,从而提升供应链各节点运行效率。总之,竞争压力作为一种外部驱动力,能够倒逼农业企业将数字化技术内化为供应链核心能力,在持续的技术迭代中不断推动供应链数字化升级。

(2) 数字技术发展。从技术嵌入维度看,数字技术构建了覆盖农产品全链路的智能体架构,优化了供应链各环节流程。在生产环节,物联网传感器与遥感技术能够实现农田环境的实时监测与精准灌溉,有效提高生产效率。在流通环节,智能物流系统依托 5G 通信能够动态规划运输路线,降低物流成本。在消费环节,基于消费者行为数据的预测模型能够实现“以销定产”,缓解供需错配。从价值重构维度看,通过数据要素的跨环节流动,传统农产品供应链中离散的交易环节被重构为数据驱动的价值闭环,这不仅有助于优化供应链协作机制,提升农产品流通效率,更形成了基于数据的价值预判能力。总之,数字技术发展通过全链条技术渗透与数据驱动重塑了供应链运行逻辑,推动着农产品供应链向数字化方向跃迁。

(3) 政府政策支持。首先,政府通过加强数字基建、培育数字人才、建立数字平台、完善数字服务等,能够为农产品供应链数字化转型提供必需的硬件条件。其次,政府通过建立财政补贴和奖励机制,能够有效缓解农业主体数字化转型的资金约束。最后,政府通过构建技术扩散的制度通道、完善创新激励的治理框架,能够有效化解数字化转型中的市场失灵风险。总之,政策支持通过公共资源杠杆撬动市场力量,并以制度创新消除技术扩散壁垒,推动着农产品供应链数字化转型。

2. 内部因素

(1) 链主企业可持续发展需求。链主企业在环

境、经济、社会方面的可持续发展需求,会通过制度压力传导、技术适配性升级和供应链生态重构,驱动农产品供应链数字化转型。首先,环境合规要求会迫使链主企业采用绿色农业技术降低资源消耗,有效突破传统粗放模式的高耗能困境。其次,供应链成本优化需求会倒逼链主企业应用数字技术实现精益化成本管控,运用 AI 算法优化物流路径,形成“降本—增效—可持续”的良性循环。最后,链主企业为回应消费者对食品安全的诉求和农户增收需求,会通过搭建区块链溯源平台和应用数字技术重构供应链生态,推动全链路透明化与价值分配公平性改革,不断改善消费者和农户的福利水平,而福利的改善反过来又进一步吸引他们积极参与和支持数字化转型。总之,这三重机制在技术赋能与市场激励的协同下,会形成“压力—响应—迭代”的持续转型动力,推动农产品供应链向数字化方向发展。

(2) 供应链断链风险。断链风险是指在供应链运行中,因自然灾害、物流中断或信息流断裂等因素,引发供应链整体停滞或效率显著下降的风险^[15]。这种风险在农产品供应链中尤为突出,因为农产品的生产和供应受气候条件、地理环境、疾病疫情等多种不可控因素的影响,断链风险的发生频率通常较其他类型的供应链要高。断链风险会通过“风险冲击—能力缺口—数字补强”的动态循环,倒逼农产品供应链数字化转型。首先,断链风险的频发性暴露了传统农产品供应链的结构性缺陷,如信息孤岛导致的响应迟滞、线性结构形成的全链条脆弱等,这会迫使农业企业构建数字化风险预警系统,以填补传统风险应对的能力缺口。其次,断链引发的供应链失稳现象会迫使农业企业借助数字平台整合分布式仓储网络,利用数字赋能提升供应链韧性,从而构筑起抵御断链风险的数字化防御基座。最后,断链导致的额外成本(如应急采购溢价)也会促使农业企业引入供应链可视系统以降低断链损失。总之,断链风险这一倒逼机制会通过风险冲击和损失感知激发供应链主体技术采纳意愿,推动农产品供应链数字化转型。

(3) 价值链调整。价值链调整是指企业对内部价值链和外部价值链的重新规划、整合或优化过程。数字化背景下,价值链调整会通过数字技术的深度渗透,重构供应链资源配置逻辑与价值创造机制,驱动供应链数字化转型。首先,价值链调整涉及资源重新配置,这为数字技术的应用提供了良好契机,农业企业为了占据价值链高端,会通过集约化部署数

字技术(如IoT、AI)替代传统分散式农业生产要素配置模式,会利用大数据风控模型将资金定向投放至价值链高附加值环节。其次,价值链调整往往伴随着市场导向的变化,特别是消费端健康需求升级会推动农业企业利用区块链技术打造全链路溯源体系,倒逼供应链向“透明可视”的方向调整。最后,价值链调整会带来新的商业模式(如F2C、O2P、S2B2C),这些新商业模式能够借助数字化工具打通“生产—消费”断点,消除产销链路断层,将价值链各环节的隐性价值显性化,驱动数字化转型成为提升全链竞争力的核心手段。

(二)农产品供应链数字化转型的过程机理

1.网络环节层面

网络环节层面数字化转型强调通过数字技术的引入,推动供应链全链路数字化链接和全环节数字化转型,解决农产品上行难题,促进产销精准匹配。它包括生产、流通、消费三个环节的数字化转型。

生产环节数字化转型是指利用现代信息技术手段,对传统农产品生产方式进行改造,以提高生产效率和产品质量。生产环节数字化转型的关键是利用物联网、大数据、卫星遥感等先进技术建立集数据采集、传输、存储、处理为一体的农业生产智能决策系统,实时感知和掌控种养状况,将传统的粗放式农业生产模式转化为现代的精准化农业生产模式。

流通环节数字化转型强调以数字化、智能化手段打破农产品流通中的时空障碍,使农户、企业和经销商之间建立起以数字化平台为依托的数字化链接,促进供需精准匹配。流通环节数字化转型的关键是建立模块化供需对接型供应链。模块化供需对接型供应链是一种以模块化平台为依托,以数据共享为基础,形成的少环节、多功能供应链网络^[16]。与传统供应链模式相比,模块化供需对接型供应链具有以下优势:首先,模块化设计降低了供应链的整体复杂度,提高了运作效率和响应速度。其次,模块间的高效对接和数据共享,可以优化资源配置,降低农产品供应链运营成本。最后,每个模块(如生产模块、加工模块、物流模块)专注于特定功能,有利于提升供应链的透明度和质量安全控制水平。

消费环节数字化转型强调依托消费端海量数据,及时有效抓取消费者的需求信息和产品反馈,打造线上线下协同的消费场景,满足消费者个性化、多样化的农产品需求。消费环节数字化转型的关键是建立需求精准导向型供应链。需求精准导向型供应链是指企业利用大数据技术收集消费端数据,形成

消费者云图,并以此为依据进行供需管理的新型供应链模式。与传统农产品供应链模式相比,需求精准导向型供应链更多的是通过反向的信息流,实现精确且快速的农产品供给。建立需求精准导向型供应链要求农业企业改变以往以产能驱动为中心的供应链运营模式,构建以需求驱动为中心的供应链运营模式。

2.参与主体层面

参与主体数字化转型的关键是培育数字化转型头部企业、发展模块化农产品供应商、壮大网农群体、推进小农数字化转型。首先,要培育联农带农能力强、信息化水平高和资源整合能力强的数字化转型头部企业担当农产品供应链链主,并通过其建立共创共享、共荣共生的泛数字化供应链生态圈。其次,要发展虚拟型农产品供应商、集成型农产品物流提供商、平台型农产品采购代理商、数字化流通配套服务商,推动供应链参与主体向模块化转型。再次,要通过政策支持、技术培训,推进网农群体(如农产品直播销售员、地方农民网红)的发展,助力农产品上行。最后,要推进小农数字化转型,实践上可先在小农中推行变革强度较低的数字工具(如基于移动终端的病虫害识别App、气象预警短信服务等),当小农产生一定的适应性后再推行变革强度较高的数字技术(如智能灌溉系统、土壤传感器等),以渐进式策略化解技术应用壁垒^[17]。

3.转型要素层面

转型要素包括供应链技术应用转型、运营管理转型、组织结构转型和治理模式转型^[2]。技术应用转型强调将数字农业技术、智能农业技术嵌入到农产品供应链,实现供应链的数智化运作。运营管理转型强调利用数字技术,推动农产品供应链生产体系模块化、业务流程自动化、营销方式精准化。组织结构转型强调利用数字技术改造供应链组织形态和功能,推动供应链组织结构网络化、扁平化、透明化。治理模式转型强调通过算法治理,推动供应链治理向数治化转变。

4.资源/能力基础层面

资源/能力基础是农产品供应链数字化转型的支撑条件,它包括政府数字化服务供给、企业数字化能力和农户数字化素养。政府数字化服务供给既涵盖数字基础设施、数字平台、数据资源等硬件供给,也涵盖制度规则、技术标准、法律法规等软件供给。推进农产品供应链数字化转型,需要政府围绕农业数字基础设施建设、数字化平台建设、涉农数据库建

设和法律法规建设,提升数字化服务供给能力和水平。企业数字化能力是指企业利用数字技术对各种业务、流程和管理进行数字化改造,并创造价值的的能力。推动农产品供应链数字化转型,需要农业企业围绕数字化能力的结构维度,逐步提升数字化分析能力、应用能力和治理能力,为供应链数字化转型提供内生动力。农户数字化素养是指农户利用数字技术进行互动交流和创造价值的能力。当前,应把农户数字信息沟通、数字内容创建、数字安全、数字问题解决等作为数字化素养培育的重要方面^[18]。

5. 内外作用机理

农产品供应链数字化转型是由内外因素共同作用的结果。外部因素体现为技术革新、市场竞争、政策支持推动供应链数字化转型,内部因素体现为链主企业可持续发展需求、供应链断链风险、价值链调整倒逼供应链通过数字化更好地适应外部环境变化。就网络环节、参与主体、转型要素、资源/能力基础而言,其内在关系体现为:转型要素是核心,网络环节和参与主体是关键,资源/能力基础是保障。网络环节的转型需要以供应链技术应用转型、运营管理转型、组织结构转型和治理模式转型为核心,推进全链路数字化链接,解决农产品上行难题。参与主体的转型需要以技术应用转型为手段,重构主体间的协同机制,为供应链数字化运作提供服务。而资源/能力基础则强调通过提升政府数字化服务供给、企业数字化能力和农户数字化素养为数字化转型提供资源和能力支撑。

总之,农产品供应链数字化转型是供应链系统不断进行自我调整以适应外部环境变化的过程,这一过程的核心是围绕提升供应链效率和改善农户、企业和消费者福利而产生作用,其目标是打造以“联农、带农、节本、增效”和“安全、绿色、智能、生态”为目标的农产品数字化供应链生态系统。这种生态系统能够通过整合、链接、响应以及价值再创造和再分配机制协调参与者的价值共创行为,重塑供应链中各方生产关系,不断改善农户、企业和消费者福利。

(三) 农产品供应链数字化转型的影响结果

1. 改善农户福利

供应链数字化转型对农户福利的改善体现为收入增长与能力升级的双重红利。在收入层面,数字化技术打破了传统产销信息壁垒,使农产品能够更广泛地进入市场,从而提高农户收入。同时,大数据驱动的“以销定产”模式可以精准预测市场需求,避

免滞销损耗,稳定农户收入来源。在能力层面,数字化工具的使用能够推动农户的生产决策更加科学化,使其从传统劳力转变为技术型服务提供者,从而大大提升农户的生产经营能力。此外,通过技术普惠能够提升农户在供应链中的议价能力,实现农户从“被动参与者”到“主动受益者”的转变。

2. 改善企业福利

供应链数字化转型对农业企业福利的改善体现为竞争优势提升和企业绩效提高的双重增益。一方面,农业企业通过供应链数字化转型能够优化业务流程、创新商业模式(如反向定制)、提升客户黏性、增强品牌附加值,从而赢得超越竞争对手的竞争优势。另一方面,农业企业通过供应链数字化转型可以将线上线下渠道资源和端到端的数据进行实时共享,提升销售渠道的多元化和智能化水平,降低供应链运营成本和物流成本,进而提高企业绩效。

3. 改善消费者福利

供应链数字化转型对消费者福利的改善体现为购买便利和消费安全的双重升级。在便利性层面,数字化技术将传统农产品供应链的线性响应模式升级为网状动态响应模式,增强了供应链对消费需求的响应速度,使得消费者购买更加便利。在安全性层面,区块链溯源与AI质检技术提供了全链条透明化保障,使得农产品的质量追溯变得更加容易,消费更加安全。

四、农产品供应链数字化转型的发展现状与现实困境

当前,我国农产品供应链数字化转型正处于从“技术导入期”向“价值重构期”过渡的关键阶段。由于数字化转型的技术逻辑与农业产业特性的适配性不足、数据共享的激励相容机制缺位以及制度供给的路径依赖与转型动态需求存在响应性迟滞,农产品供应链数字化转型仍面临诸多现实困境。

(一) 农产品供应链数字化转型的发展现状

1. 技术应用不断深化

当前,新一代信息技术已在农产品供应链中得到快速应用。农业物联网终端、水肥一体化智能系统覆盖面积逐年扩大,“星(遥感卫星)—空(无人机)—地(传感器)”立体感知网络逐渐形成,智能物流管理平台模式、区块链赋能的溯源认证模式、需求驱动的敏捷供应链模式快速发展,数字孪生、边缘计算等前沿技术开始在示范基地落地验证。技术应用

呈现“硬科技攻关(如农业专用传感器研发)与系统集成(如供应链智能决策平台)”双轮驱动格局,推动着农产品供应链从局部数字化向全链智能化加速跃迁。

2. 生态化平台逐步成型

供应链数字化转型催生出公益性平台(如全国供销合作社农产品销售平台、全国农产品产销对接平台)与市场化平台(如美菜网、盒马鲜生)互补的多元数字平台新生态。公益性平台采用“基础服务普惠+增值服务分层”的运行机制,实现了基础设施的普惠化使用。市场化平台以“用户价值创造+生态网络增值”为核心逻辑,实现了供需精准匹配和交易效率提升。

3. 社会共识网络逐步构建

农户从传统生产要素使用者转型为数据要素生产者,数据成为新农资的理念在农民群体广泛普及。企业从技术应用者升级为数字生态构建者,头部企业通过构建数字供应链生态圈推动全链路能力集成,中小主体通过接入第三方 SaaS 平台实现轻量化转型。消费者则从被动接受者转变为价值共创参与者,他们通过云认养、VR 认养、助农支付码等模式深度介入生产,并依托线上线下渠道购买,对数字溯源农产品支付溢价的接受度持续提高。总之,农户、企业、消费者等多方主体已形成共识,认识到将数字技术应用到供应链领域来创新农产品经营模式的重要性^[19]。

4. 政策支持体系日趋完善

国家层面已将农产品供应链数字化纳入乡村振兴与数字中国战略核心议程。2017年10月,国务院办公厅发布《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》,首次把供应链数字化转型提升到国家战略层面。随后国家相关部委先后出台了《关于开展供应链创新与应用试点的通知》《关于进一步做好供应链创新与应用试点工作的通知》《关于进一步加强农产品供应链体系建设的通知》《关于大力发展智慧农业的指导意见》等政策文件。这些政策围绕供应链创新与应用、供应链数字化改造、智慧供应链建设等方面进行部署,通过强化顶层设计、设立设备购置补贴、深化示范应用、完善标准体系等,逐步形成了“战略引导—财政激励—标准规范”的政策支持体系。

(二) 农产品供应链数字化转型的现实困境

1. 技术应用局限

一方面,技术覆盖不足。目前,数字技术的应用

主要局限于农产品供应链下游环节,尚未实现全链条的数字化覆盖。尽管部分大型农业企业已经开始将传感器、物联网等技术应用于上游规模化种养基地,实时监控农作物的生长环境和牲畜的养殖状况,但整体而言,生产端大量中小农户的参与度仍较低,多依赖“企业+农户”模式间接享受数字化服务,自主应用能力不足,存在“头部领先,尾部滞后”的技术分层现象。另一方面,技术融合不深。农产品生产具有高度依赖自然环境的特点,而现有数字技术多基于工业场景设计,数字技术的标准化与农业场景复杂性存在功能性冲突,特别是小农经济的经验依赖性与数字技术的标准性要求形成认知鸿沟。传统耕作模式形成的路径锁定效应阻碍了标准化数字操作范式的渗透,而政府主导的技术扩散机制因忽视地块碎片化与生产异质性,导致智能设备功能复杂度与务农主体技术吸纳能力间产生断层,使得供应链数字化转型陷入“技术悬浮”困境。

2. 全链路数据割裂

一方面,“数据孤岛”现象严重。农产品供应链数据具有多维异构特征,生产端的生物体征数据、流通端的物流轨迹数据、消费端的偏好数据等形成复杂的数据拓扑结构。这些多源异构数据由于数据标准不统一、数据接口兼容性不足容易导致“数据孤岛”效应,使得数据要素难以实现跨环节整合。同时,政策层面的数据权属界定模糊也进一步加剧了数据共享困境。农产品溯源数据涉及商业秘密与隐私保护,但现行制度设计缺乏统一的权责分配框架,导致主体间数据共享意愿低下。例如,加工企业担心开放生产数据会损害自身利益,农户则忧虑数据滥用会削弱议价能力,这种“防御性数据策略”使得全链路数据池难以构建。另一方面,数字平台缺乏整合。农产品供应链数据共享依赖于数字平台。目前,虽有地方政府主导的平台,但局限于本地数据整合,缺乏跨区域的联通机制。生产、流通、销售等环节数据分散于政府部门的独立系统中,缺乏跨部门数据融合机制。这种区域化、碎片化的数字平台难以支撑全链条数据贯通,形成了“数据割据”局面。

3. 数字化协同不足

首先,利益分配不均衡。数字化改造引发的生产要素重置导致“要素禀赋—收益获取”的对应关系发生异化。农民作为生物资产(如农作物、牲畜)的原始持有者,其数据要素(如种植记录、环境参数)在数字化平台上被解构为可衡量、可交易的数字资产,却因数据确权制度缺失而无法获得合理的

要素报酬。这种失衡的利益分配打击了农民参与数字化协同的积极性,阻碍了数字赋能供应链协同发展。其次,协同治理机制不健全。数字化协同要求构建基于数据要素的新型治理架构,但现有治理机制存在双重脱节。一是数据共享的激励相容机制缺位,传统契约关系难以适配数据要素的边际成本趋零特性,主体间博弈陷入囚徒困境。二是数据标准的制度性摩擦加剧协同成本,农业生产者采用的感性经验数据与加工企业需要的结构化数据存在语义鸿沟,这种认知框架的差异导致数字化协同程度不高。最后,供应链多层次结构的约束。传统农户—经纪人—批发商—零售商的多层级供应链结构衍生出信息衰减效应,它不仅通过节点递增引发信息熵增与协同延迟,而且使得农业物理系统难以映射为可计算、可解析的数字孪生体,增加了数字化协同难度。

4. 体制机制不健全

首先,成本分担机制尚未形成。数字化转型需要持续的资金投入,但农业的弱质性特征使得农业投资回报周期长、风险高。这就需要设计科学合理的成本分担机制,协调各参与主体的利益,引导数字技术设施、数据资源的有效供给。然而,目前我国尚未构建起农产品供应链数字化转型的成本分担机制,亟待制定成本分担方案,科学确定各参与主体的成本分担标准及核定方法,以更好地推动数字化转型。其次,长效机制尚未建立。由于缺乏长效投资机制,我国尚未建立起成本可负担、收益可持续、能力可迭代的农产品供应链数字化转型长效机制。现有补贴政策多聚焦于农机购置或基础设施建设,针对数字化转型的专项支持较少,税收优惠、金融创新、人才培养等长效配套措施尚未形成体系。最后,小农户融入数字化转型的机制不完善。由于技能偏向型的技术进步会进一步提升以头部企业为核心的农产品供应链集中度,这会导致数字要素配置呈现“头部企业集聚—小农户边缘化”的极化趋势。因此,数字化转型中,小农户常常面临数字排斥问题,造成小农户很难享受到数字化转型带来的红利,亟待完善小农户融入数字化转型的机制。

五、农产品供应链数字化转型的实践进路

推进农产品供应链数字化转型必须立足我国农业发展阶段,综合考虑转型的现实困境、目标定位、

体制机制约束等多种因素,在明晰理论逻辑基础上,设计转型的实施路径和相关机制,通过技术、市场、制度的有效联动,将数字技术潜能转化为供应链创新发展动能。

(一) 建立全链路数字化链接的转型路径

全链路数字化链接的转型路径强调以农产品供应链核心企业为主导、以农户和消费者为中心、以数据为驱动、以数字化平台和全渠道平台为支撑,围绕供应链中的“农、工、商、服务”等内容,对农产品供应链全业务流程和组织架构进行优化,解决农产品上行难题,促进产销精准匹配,不断改善农户、企业和消费者福利。

第一,优化供应链流程。核心企业要对农产品供应链管理流程进行全面梳理,打造数字化、智能化业务流程。例如,在农产品生产环节,可通过使用如UWB(超宽带)模块等高科技设备、FaaS(农业即服务)和建立数字合作社等途径,辅助农户进行模块化、准时化生产。在农产品物流环节,可借助数字化平台和农产品智能交易网络,实现农产品数字化流通和“商仓流”一体化运营。在农产品消费环节,可利用全渠道中台,实现对消费者个性化、定制化需求的预测性发货。

第二,优化供应链组织架构。核心企业要充分利用新一代信息技术,以“技术+管理、数据+算法、平台+网络”的方式优化供应链组织架构,打造模块化、扁平化、透明化供应链组织,以“新组织+新技术”赋能机制推动供应链一体化运作,提高供应链的响应速度。

第三,加强供应链生态圈的协同合作。核心企业要根据供应链数字化所处阶段,以“创新驱动、互融共生、联农带农”为价值取向,逐步建立供应链数字化生态圈,推动供应链可持续发展。特别是,链主企业要发挥“链长制+生态圈+品牌”机制的作用,将农户、数字化服务商、农产品经销商等各类主体纳入供应链,建立协同创新机制,共同推进原有生态的革新。

第四,完善利益分配与联结机制。核心企业要建立基于数据要素贡献度的动态评估模型,将智能设备投入、数字技术学习成本及全链增值效能纳入量化体系,形成基于数字资产的利益分配机制。同时,核心企业要从长远角度出发,强化利益联结机制建设。核心企业应通过供应链金融工具为农户等成员提供信用担保,并在成员遭遇风险时主动让渡部分收益以维持供应链稳定。

第五,探索建立农产品智慧供应链。智慧供应链是指利用数智技术赋能供应链各个环节,在供应链主体之间建立的以智能化、网络化、协同化、自动化、绿色化为特征,以提高供应链的可见性、灵活性、韧性和效率为目标的智能农产品供应链系统^[20]。建立农产品智慧供应链包含两个层次的内涵:第一层次是在供应链中推进数智技术的嫁接与应用,以人工智能的组织方式、流程整合和要素协同,打造人机协作的运营模式;第二层次是推进供应链管理思维的数智化变革,按照数字生态、商业生态和环境生态观,推动形成“数据驱动、智能决策、透明可视、韧性强劲”的智能农产品供应链网络。

(二)建立全环节数字化场景实践的转型路径

全环节数字化场景实践的转型路径强调运用数字化技术构建农产品供应链各环节具体应用场景(如农资监管、智慧养殖、智能配送、社区团购等)并进行实践操作,以实现供应链的全环节数字化转型。这一转型不仅涉及技术的适配性开发,还包括风险识别和决策支持的全面提升。

第一,构建“制度设计+场景应用”的数字化转型技术融合体系。数字化转型技术融合体系是企业将多种数字化技术整合并融入业务运营各个环节和各应用场景的一种架构和机制。推进农产品供应链数字化转型,需要由政府主导建立“制度设计+场景应用”的技术融合体系。一方面,政府需牵头制定覆盖生产、流通、销售、监管全环节的数字化标准框架和政策规范,明确数据接口标准和权责边界,破解农产品供应链技术标准不统一的难题。另一方面,农业企业要以实际场景需求为导向,设计技术耦合性强的解决方案,形成各场景贯通的数字技术融合体系,解决技术异构导致的“数据孤岛”问题。

第二,推动技术与场景融合。推动技术与场景融合的关键在于以农业企业为主体,围绕供应链痛点进行数字技术的适配性开发与场景化落地,通过构建“技术嵌入场景—场景反哺技术”的互动机制和搭建跨环节数字平台,形成多业态融合、多场景服务的数字生态,最终实现技术赋能场景、场景驱动创新的良性循环。

第三,建立“预知+追踪”的转型风险决策系统。“预知+追踪”的供应链转型风险决策系统是一种创新的供应链管理工具,旨在有效识别、评估和应对供应链转型中的各种风险。该系统基于大型分布式架构、大数据分析 with 云计算技术,通过整合供应链各个环节数据,实现对转型全过程的实时监控,从而准确

预测转型风险,并及时采取应对措施。推动农产品供应链全环节数字化转型需要设计覆盖技术应用风险、组织变革风险、数据安全风险、数据治理风险、法规合规风险的全视域数字化转型风险决策系统,科学评估生产环节、流通环节和消费环节三个层面的转型风险,追踪转型风险的集聚特征,构建转型风险事前预知及其动态追踪机制,保证转型稳健前行。

(三)健全农产品供应链数字化转型的体制机制

提升农产品供应链数字化转型效果,需要以政府为主导健全数字化转型的体制机制,强化技术链与政策链整体构建,从而推进供应链数字化转型可持续进行。

第一,建立“政府+链主企业+平台企业+农户”的数字化转型成本分担机制。政府要强化资金支持力度,尽快出台降低数字化转型成本的保障政策,全面激发数字化转型活力。链主企业和平台企业要与农户建立契约式成本分担模式,企业为农户提供农业技术培训、数字化农业设备租赁等服务,农户承担一部分费用。同时,链主企业与平台企业也要建立基于战略联盟的成本分担机制,在区块链溯源、智慧物流等关键技术攻关方面,双方共同投资,并根据各自的市场份额分担成本。

第二,建立农产品供应链数字化转型长效机制。由政府主导加快建立成本可负担、收益可持续、能力可迭代的农产品供应链数字化转型长效机制,对保证转型的有效进行至关重要。这不仅需要政府推动财政、金融、人才等政策协调耦合,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、新型职业农民数字技能培训等政策工具组合,还需要政府构建政策实施的短期、中期和长期效果评价机制,找到现有支持政策的弱点、难点和漏点,在此基础上构建长效机制。特别是要从加强标准体系建设、加强人才队伍建设、打造数字化平台、建立健全数据确权制度等方面,强化长效机制建设。

第三,完善小农户融入供应链数字化转型的机制。一方面,农业企业要构建包容性数字化转型机制,实施具有社会责任感的数字创新,研发一批适合小农户碎片化经营特征的轻量化数字工具包(如农服App、AI病虫害识别终端),促进小农户技术采纳和应用。另一方面,政府部门要借助数字乡村建设这一契机,大力发展农产品供应链数字化平台,培育一批优质数字化解决方案服务商,并通过优化小农户与数字化平台和服务商的对接帮扶机制、利益联

结机制,促进小农户深度融入数字化转型过程,分享更多供应链增值收益。

第四,处理好政府与市场的关系。有为政府引导方向,有效市场配置资源,处理好二者关系,是推进农产品供应链数字化转型的关键要点。政府要以制度供给的精准性与有效性为主旨,通过政策引导、法规制定、服务保障来强化对数字化转型的支持;市场应依托价格信号与竞争机制,通过需求驱动、创新引领和效率提升来激发数字化转型的内生动力,最终形成政府和市场协同耦合的转型治理框架。

参考文献

- [1] KITTIPANYA-NGAM P, TAN K H. A framework for food supply chain digitalization: lessons from Thailand[J]. *Production Planning & Control*, 2020(2-3):158-172.
- [2] 赵晓飞,鲁楠,李明.农产品供应链数字化转型:理论框架与实现路径[J]. *云南社会科学*, 2022(6):59-67.
- [3] 洪涛,李瑞,洪勇.数字农产品“拉式供应链”模式研究[J]. *农业大数据学报*, 2020(3):21-30.
- [4] ANNOSI M C, BRUNETTA F, BIMBO F. Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices[J]. *Industrial Marketing Management*, 2021(93):208-220.
- [5] 刘迪,孙剑,王攀.生鲜农产品供应链模式数字化演进形态与机理:以永辉超市为例[J]. *农村经济*, 2021(7):25-33.
- [6] 王昕天,荆林波,张斌.电商如何驱动农业产业链数字化:理论阐释与实践演进[J]. *中国软科学*, 2024(3):47-56.
- [7] 邓汝春,刘世明,郭孔快.农产品供应链数字化平台的关键技术及其应用[J]. *物流技术与应用*, 2023(11):142-146.
- [8] REJEB A, REJEB K, ABDOLLAHI A, et al. Digitalization in food supply chains: A bibliometric review and key-route main path analysis[J]. *Sustainability*, 2022(1):1-29.
- [9] 刘洁杏,张秀珍.数字乡村背景下农产品供应链数字化方案构建研究:以广西武鸣沃柑产业为例[J]. *物流科技*, 2025(6):95-98.
- [10] 王静.数字化供应链转型升级模式及全链路优化机制研究[J]. *经济学家*, 2022(9):59-68.
- [11] BHARADWAJ A, SAWY O A E, PAVLOU P A, et al. Digital business strategy: toward a next generation of insights[J]. *Mis Quarterly*, 2013(2):471-482.
- [12] 马述忠,贺敬,郭继文.数字农业的福利效应:基于价值再创造与再分配视角的解构[J]. *农业经济问题*, 2022(5):10-26.
- [13] LAMBERT D M, COOPER M C. Issues in supply chain management[J]. *Industrial Marketing Management*, 2000(1):65-83.
- [14] TORNATZKY L G, FLEISCHER M. The processes of technological innovation[M]. Boston: Lexington Books, 1990:67.
- [15] ALI I, GOVINDAN K. Extenuating operational risks through digital transformation of agri-food supply chains[J]. *Production Planning & Control*, 2023(12):1165-1177.
- [16] 闫星宇.零售制造商的模块化供应链网络[J]. *中国工业经济*, 2011(11):139-147.
- [17] 袁宇阳.“大国小农”视角下农业数字化转型的现实挑战及推进策略[J]. *现代经济探讨*, 2024(7):124-132.
- [18] 陶章,史采薇,尹岩.农民数字素养和数字基础设施对农产品供应链数字化的影响:基于数字治理的调节效应[J]. *南宁师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2023(1):104-113.
- [19] 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.
- [20] 宋华.人工智能数智供应链的理论探索与展望[J]. *中国流通经济*, 2024(1):44-54.

Theoretical Logic and Practical Paths of Digital Transformation of the Agricultural Product Supply Chain

Zhao Xiaofei Li Ming Tan Yanwen

Abstract: The digital transformation of agricultural product supply chain is an important means to facilitate the circulation of urban and rural economy, enhance the well-being of farmers, and promote consumption upgrading in China. It aims to promote the transformation of traditional supply chain to digital supply chain through the introduction and application of digital technology, as well as the continuous innovation and capacity reconstruction of the supply chain system. It is a process in which the supply chain system continuously self-adjusts to adapt to changes in the external environment. The core of this process is to enhance supply chain efficiency and improve the welfare of farmers, enterprises, and consumers. Its goal is to create a digital supply chain ecosystem for agricultural products characterized by “connecting and driving farmers, reducing costs and increasing efficiency,” and “safety, greenness, intelligence, and ecology.” To advance the digital transformation of agricultural product supply chains, on the one hand, it is necessary to deeply reform and reconstruct the supply chain from the aspects of network links, participating entities, transformation elements, and resource and capability bases. On the other hand, factors such as practical dilemmas in transformation, target positioning, and institutional constraints must be comprehensively considered to design implementation paths and relevant mechanisms for transformation. Through the effective linkage of technology, market, and institutions, the potential of digital technologies should be transformed into kinetic energy for the innovative development of supply chains.

Key words: agricultural product supply chain; digital transformation; digital supply chain ecosystem

责任编辑: 澍 文