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*

阮俊虎　刘晨欢　孙自来　霍学喜

(西北农林科技大学经济管理学院,杨凌,712100)

摘　要:农产品供应链数字化转型对数字经济时代下加快建设农业强国具有重要意义。本文以供应链管理理论、技术嵌入理论、交易成本理论和数据要素理论为基础,系统解构数字技术赋能"生产—渠道—物流"全链条的重塑机制,明晰农产品供应链数字化转型的理论内涵与目标特征;基于"宏观政策环境—中观产业生态—微观主体行为"分析框架,阐释农产品供应链数字化转型的现实基础与内在逻辑;进而提出数字技术深度嵌入、电商综合服务平台搭建、供应链渠道资源整合与物流服务网络布局等实施路径,为破解生产转型"难"、渠道融合"痛"和物流信息"断"等农产品供应链数字化转型关键问题提供理论支撑与实践指导。最后,本文对智慧农业、渠道融合及智慧物流模式进行未来展望。研究发现,农产品供应链数字化转型是加快建设农业强国的战略驱动、"数据—算力—算法"变革的技术驱动、新型农业经营主体的内生驱动以及终端消费需求变化的市场驱动等共同作用的结果;数字技术赋能农产品供应链能够增强供应链韧性、优化产业结构、激发企业创新动力以及促进农户增收。

关键词:农产品供应链;数字化转型;智慧农业;渠道融合;智慧物流

一、问题提出

推进农产品供应链数字化转型是加快建设农业强国的重要途径。2021 年 5 月,农业农村部发布《关于加快农业全产业链培育发展的指导意见》强调"要健全绿色智能农产品供应链①",为农产品供应链数字化转型提供重要思路及方向指引。2022 年 1 月,国务院印发《"十四五"数字经济发展规划》明确要"提升农业生产、加工、销售、物流等各环节数字化水平②",农产品供应链数字化转型是其题中之义。积极的政策支持正在推动云计算、物联网、大数据等数字技术加速向农产品生产、销售、物流领域延伸和渗透,实现传统农产品供应链向绿色智能农产品供应链转型。

目前,数字农业的基础条件愈发成熟。截至 2024 年,全国加装北斗终端的农机数量已超过 200 万台,植保无人机总量近 20 万架且年作业面积突破 21 亿亩次,5G 网络基本覆盖乡镇及以上区域和有条件的行政村,农业生产信息化率达到 26.5%③。

农产品全渠道模式初见成效,2022 年全国农

* 项目来源:国家社会科学基金重大项目"我国农产品供应链数字化转型的发展战略与实施路径研究"(编号:23&ZD123),陕西省社会科学基金项目"农服平台下陕西省苹果植保无人机服务定价、调度与提升策略研究"(编号:2022R020)。文责自负。霍学喜为本文通讯作者

① 农业农村部. 关于加快农业全产业链培育发展的指导意见, https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-06/02/content_5614905.htm

② 国务院. 关于印发"十四五"数字经济发展规划的通知,https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5671108.htm

③ 农业农村部. 智慧农业赋能春耕春管,http://www.scs.moa.gov.cn/xxhtj/202403/t20240329_6452754.htm

产品网络零售额达 5313.8 亿元,拼多多创新“农地云拼”模式直链农户超 1600 万户且用户群体达 9 亿多人,农产品社区团购模式的市场规模达到 2000 亿左右,抖音、快手、淘宝等直播电商交易额达 34000 多亿元①。农村物流建设持续推进,截至 2022 年底,全国已累计建成 990 个县级寄递配送中心,95%的行政村实现快递服务覆盖,农产品物流总额高达 5.3 万亿元,物流费率降至 14.4%,新增农产品冷库库容 1080 万吨②。现实经验表明,中国积极推进农产品数字化生产、线上渠道创新与农村物流网络建设,已为农产品供应链数字化转型创造了有利条件。

然而,小农经营模式与数字农业技术应用错配、线上线下渠道冲突与标准割裂、物流端到端可视化缺失与损耗,使得数字化转型效果在农产品供应链层面大打折扣。数字技术的高投入、难操作与小农户分散化经营间存在鸿沟,农业生产信息化集中于规模经营主体,小农户技术渗透率远不足 20%③;线上线下渠道间价格体系失衡和服务标准割裂,尽管电商渠道凭借低价优势曾主导增长,但伴随着市场成熟与消费升级,低价策略的边际效应显著递减,渠道分化明显,2024 年电商增速降至 7.2%,而线下渠道依托会员制商超和折扣店等业态创新实现转型发展,2025 年初,山姆会员店日均营业额突破 500 万元,胖东来 13 家门店线下销售额超 1.3 亿元④;物流多环节信息断层加剧农产品品质劣变与损耗,2023 年,果蔬流通腐损率高达 20%~30%,产地冷链流通率仅为 24%⑤。可见,中国农产品供应链面临小农技术适配弱、渠道利益协同难、物流信息贯通差的三重结构性瓶颈,掣肘绿色智能转型效能。

在网络经济和物联网时代,农产品供应链数字化转型将带来传统农产品供应链的解构与重构(谭砚文等,2023)。一方面,数字化技术应用会极大提升农产品供应链节点间的信息流、资金流和物流的流动效率;另一方面,平台化重构会将农产品供应链上下游节点由传统合作关系通过互联网平台转变为竞争合作关系。同时,小规模生产为主的农产品供应链上具有大量、分散、异质的农业经营主体,因此数字技术对其解构与重构的过程将不同于大规模生产为主的农产品供应链。

综上,立足大国小农基本国情,三重核心命题亟须回答:在生产环节如何驱动小规模主体应用数字技术,构建先进适用的智慧农业生产模式;在营销环节如何推进全渠道融合发展,培育智能营销新生态;在物流环节如何贯通端到端数字化链路,形成绿色高效的智慧物流体系。即数字技术如何赋能农产品供应链,系统性破解“生产—渠道—物流”协同困境,成为建设绿色智能农产品供应链亟须解答的现实命题。

二、文献回顾

数字技术赋能生产、渠道与物流等环节促进农产品供应链数字化变革已成为理论与实践共识,已有文献从农产品供应链数字化转型的内涵特征、驱动因素、实施路径与模式等方面展开探讨。

一是聚焦农产品供应链数字化转型的内涵研究。农产品供应链涵盖从“田间到餐桌”的全过程(张喜才,2024),数字技术将颠覆传统供应链的链条结构,不同区域、功能的企业及个体组成供应网,形成数智化的供应链系统(陈剑等,2021)。已有学者将“农产品供应链数字化转型”界定为:数字技术赋能传统供应链,推动实现流程可视、响应灵活与运作智能,进而形成全过程链接、全链条管理、全客群接触、强运作效率、高消费体验、低运营成本的供应链网络及生态系统(赵晓飞等,2022)。

二是聚焦农产品供应链数字化转型的驱动因素研究。学者们从不同视角进行阐释:从价值创造

① 中国食品(农产品)安全电商研究院. 2023 年中国农产品电商发展报告,https://13115299.s21i.faiusr.com/61/1/ABUIABA9GAAgpfzPoQYowenb6AE.pdf

② 商务部网站. 县域商业三年行动计划(2023—2025 年),https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content_6898207.htm

③ 中国政府网. 国家信息化发展报告(2023),https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202409/P020240908376506774369.pdf

④ 电商头条. 零售格局逆转? 线上疲软,线下复苏,消费新趋势正在重塑市场,https://xueqiu.com/7128218159/323447847

⑤ 农业农村部. 中国农产品产地冷链物流发展报告(2024),https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202412/content_6990454.htm

视角来看,农产品供应链数字化转型驱动可分为市场和技术双轮驱动(刘迪等,2021)。从现实视角来看,供应链数字化转型是国家战略引导、人才主体支撑、数据要素赋能和新型基建支持协同驱动的结果(李健,2023)。从创新生态系统理论视角来看,国家创新、产业创新、企业创新和消费者需求变化成为农业数字化转型的关键驱动因素(易加斌等,2021)。

三是聚焦农产品供应链数字化转型的实施路径与模式研究。关于农产品供应链数字化转型的实施路径,已有学者从数字技术架构、经营主体培育、农村数字基建与产业链协同优化展开探讨。区块链等技术在农业场景应用中存在诸多问题,需不断完善数字技术架构(谢艳乐等,2024);小农户主导的供应链组织化程度较低,导致技术渗透困难,需培育新型农业经营主体,实施"链主引领"转型路径(陈卫洪等,2022);冷链物流等数字基建覆盖不足,需通过"政府—市场"双轮驱动扩大基建投入(温涛等,2020)。产业链优化方面,学者则强调以数字化打通生产、加工与流通等环节,形成农业生产规模化、流程标准化、产品品牌化及三产融合化四重升级路径(汪旭晖等,2025)。

关于农产品供应链数字化转型的模式,已有学者从生产、渠道与物流等方面展开探讨。生产工具转变、生产信息流动和生产主体互联,是农产品生产数字化转型推动技术深度应用及各主体紧密联结小农户的主要模式(苏玉同等,2024)。"去中心化"的电商直售模式(汪阳洁等,2022)以及全渠道数字化融合模式(马九杰等,2025)等,能够推动线上线下渠道闭环管理,有效推动农产品渠道数字化转型。而智慧物流模式的实现,关键在于完善数据处理中心、整合供需端资源、健全政府审查机制等(李佳,2019),进而实现供应链一体化、供给需求无差别对接。

已有文献对数字技术支撑农产品供应链转型的研究成果较为丰富,但仍存在探讨空间:一是农产品供应链数字化转型的系统性理论体系亟待构建。当前研究多聚焦于技术单点赋能,缺乏对数字技术重塑供应链结构与运行范式的系统性解构;二是现有研究对制约转型的多层次、多维度障碍及转型基础的剖析不足,缺乏政策设计的靶向依据;三是对小规模生产为主的农产品供应链数字化转型的实施路径探索尚不全面。以大规模生产为主的农产品供应链数字化转型的实施路径不同于小规模生产为主的农产品供应链数字化转型的实施路径。中国农产品供应链数字化转型,本质是制度逻辑、产业逻辑、企业逻辑与农户逻辑等在经济体系中的复杂互构过程,亟须重新构建本土化理论框架,阐释多层次约束条件,进而探索适配性实施路径。

本文的贡献在于重新审视了农产品供应链数字化转型的内涵特征,构建数字技术促进"生产—渠道—物流"系统发展支撑建设绿色智能农产品供应链的理论框架,以农产品生产数字化的先进适用、渠道数字化的融合发展和物流数字化的绿色高效为导向,深入研究数字技术支撑建设绿色智能农产品供应链的实践路径与创新模式,旨在为中国农产品供应链数字化转型提供理论、道路和模式参考,亦为世界其他小农生产国农产品供应链数字化转型提供中国智慧。

三、农产品供应链数字化转型的理论内涵与内在逻辑

以数字孪生和技术嵌入理论为基础,明晰农产品供应链数字化转型的理论内涵,厘清农产品供应链数字化转型的内在逻辑,对探索农产品供应链数字化转型的实施路径具有十分重要的意义。

(一)理论内涵

1. 农产品供应链数字化转型的理论基础。2007 年,奥尔加·沃尔科夫等学者突破"技术决定论"单一视角,提出技术嵌入理论,通过揭示技术与组织的双向互构关系,为数字化转型中技术、制度与结构的复杂互动提供理论分析框架(Volkoff 等,2007)。美国学者迈克尔·格里夫斯提出的数字孪生理论强调通过数字技术对物理实体进行全生命周期动态建模,进而形成虚实双向映射、实时交互与协同优化的技术范式(Grieves,2015)。技术嵌入与数字孪生理论结合,可构建"技术—组织—效能"的全链条分析框架,为破解数字化转型中的技术应用滞后与数据孤岛等困境提供理论指引。

2. 农产品供应链数字化转型的概念内涵。以技术嵌入和数字孪生理论为基础,本文将农产品供应链数字化转型的概念界定为运用数字孪生范式重构传统供应链形态,通过物联网、区块链与人工智能等技术集群对生产、渠道及物流节点进行全链条数字化映射,依托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。

农产品供应链数字化转型以数字系统与实体系统的双向价值流为基本特征,涵盖生产、渠道与物流三域数字化,能够突破传统供应链线性路径依赖,依托全域数据链贯通业务全周期,形成动态响应市场需求的弹性价值网络。最终,在技术嵌入层实现可视、敏捷、智能与绿色协同,在组织变革层构建流程透明、先进适用、融合发展与绿色智能的供应链生态体系。

3. 农产品供应链数字化转型的核心内容。农产品供应链数字化包括生产数字化、渠道数字化与物流数字化 3 个层面。其中,生产数字化是起点,数字赋能农业生产实现市场需求精准预测与生产资源高效配置;渠道数字化是必要环节,数字赋能推动渠道主体间互联互通与紧密合作;物流数字化是终点,数字赋能实现精准监控物流节点并优化运输路径。核心内容如图 1 所示。

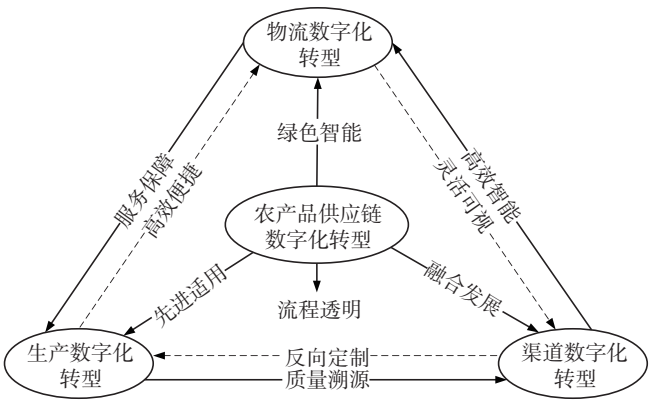


图 1 农产品供应链数字化转型的核心内容

农产品生产数字化转型也称“农业生产模式的数字化变革”,包括生产方式和生产经营主体的数字化(谢康等,2021)。一方面,供应链资源链接云平台,通过将生产及服务流程代码化,建立供应链数字孪生体,助推核心企业形成全景认知;另一方面,部署于农田的传感器系统依托通信网络,实现农业生产环境的智能感知、动态预警、数据驱动决策与自主控制。

农产品渠道数字化转型指农业主体从单渠道、多渠道等离散渠道向全渠道融合模式的演进。全渠道模式整合实体零售终端、电子商务平台及社交媒介等多个触点,使消费者可灵活选择下单与履约方式。其具有流通链条短、渠道成本低、信息传递快、消费者参与度高等优势,要求企业基于数字平台高效匹配供需,并建立消费者、中间商与生产商的直接互动反馈机制,实现供给导向型渠道向需求导向型渠道的系统性转变。

农产品物流数字化转型是对运输、仓储、配送等流程的数字化重构,核心是响应机制、权力结构与成本范式的变革。终端消费数据依托数字平台直连生产端,打破中间批发商的信息垄断格局,提高物流响应速度,进而降低物流传输成本。

4. 农产品供应链数字化转型的基本特征。生产者、物流端与消费终端等实体系统与气候模型、供需算法等数字系统借助“数据流+智能算法”实时交互,构成农产品供应链数字化转型的基本特征。

“数字系统驱动实体系统”通过数字孪生建模、大数据预判与智能合约规制三大机制实现。一是模拟供应链或农田状态生成优化指令,例如,人工智能虫害预警模型识别作物异常区域,触发无人机精准施药。二是基于消费数据训练预测算法反向调控生产配置,例如指导种植户调整品种结构。三是区块链自动执行标准化合约,例如,达标农产

品溢价收购倒逼施肥规范。

“实体系统反馈优化数字系统”指通过实时数据反馈、经验知识沉淀等优化数字系统的模型精度与适应性。一方面,依托实体系统的真实状态修正数字模型的偏差,例如,冷链运输中车载传感器实时上传的实际温湿度数据对生鲜农产品腐损预测算法的动态优化。另一方面,农业生产者的种植经验转化为数字系统的规则库,例如将传统“看天施肥”经验编码为模型的天气响应系数。

5. 农产品供应链数字化转型的核心目标。技术嵌入维度,构建“四化”协同体系。其中,可视化强调依托传感器网络与区块链存证建立“田间—餐桌”全流程数字映射,实现状态追踪;敏捷化强调动态种植规划、库存自适应调节及渠道弹性配置;智能化强调智能信息预测、智能物流调度与智能库存管理等;绿色化则强调通过区块链溯源与大数据平台穿透信息壁垒,驱动全链透明化运营与成本集约。

组织变革维度,聚焦架构、权责、协作与制度转型,旨在实现组织架构透明化、主体能力匹配化、渠道融合发展化和绿色可持续化。组织架构透明化强调压缩管理层级,构建全链路监控、全流程可视及全过程共享机制(张树山等,2023);主体能力匹配化指建立“新型主体—小农户”的数字技能传导机制,依托轻量化数字工具促进农户包容性参与;渠道融合发展化强调线渠道间重构利益分配规则,形成全渠道服务联盟与消费者共治网络;绿色可持续化强调将绿色高效指标纳入组织考核,通过数字技术应用绑定降耗责任与绩效激励。

(二)内在逻辑

农产品供应链数字化转型过程涉及宏观制度、中观产业、微观企业和农户等多重维度,对增强供应链韧性、优化产业结构、促进企业创新和农户增收具有重要意义,具体如图2所示。

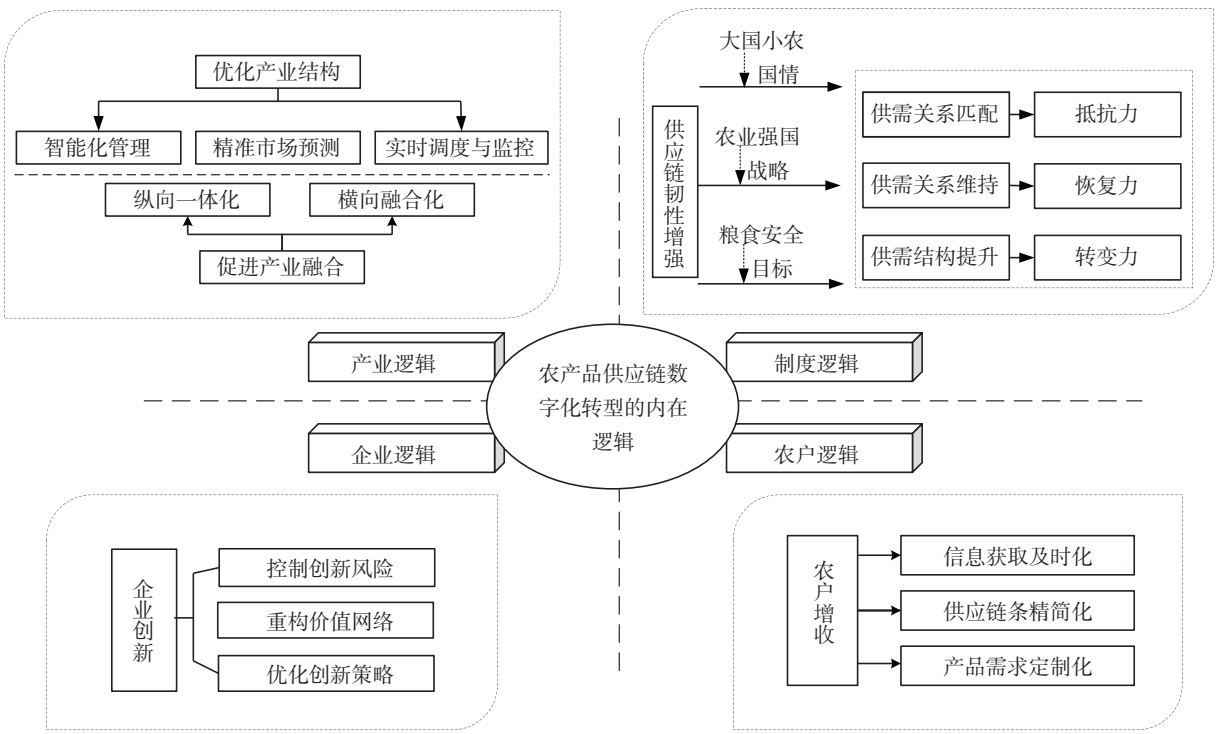


图2 农产品供应链数字化转型的内在逻辑

1. 宏观制度逻辑:数字技术赋能农产品供应链增强韧性,保障国家农产品供应安全。农产品供应链面对市场潜在风险和不确定性冲击后的抵抗力和恢复力被称为“韧性”(洪银兴等,2025)。数字技术赋能传统农产品供应链,从供需关系匹配、供需关系维持和供应链结构提升等层面增强供应链韧性(陶锋等,2023),保障农产品供应的稳定性和可持续性。

供需关系匹配层面,企业越能便捷地匹配合适的供应商,供应链抵抗冲击和调整应变的能力也越强。数字技术赋能农产品供应链,实现农产品供需主体精准对接和便捷匹配,分散可能的供应链中断风险,增强供应链的抗风险能力。供需关系维持层面,企业与供应商建立的关系越稳定持久,面对外部冲击时越能具备更强的协同调度能力。数字技术依托数据透明化与智能合约治理重构农产品供应链信任基础,维护供需关系稳定。农产品供应链依托数字技术可以构建一个不可篡改、公开透明的数据记录系统,确保农产品信息的真实性与可追溯性,实现对农产品质量安全的全程监控和预警。供应链结构升级层面,供应链主体间的关联效应能够激发创新活力,推动供应链结构向更高层级跃升。数字技术赋能农产品供应链使各环节主体紧密联结形成创新网络。主体间不再仅是简单的交易关系,更涉及战略协同、风险共担等深层次合作关系,通过持续创新以优化供应链结构。

在数字技术重构农产品供应链韧性的逻辑下,陕西省眉县猕猴桃产业通过供需匹配数字化、关系维持可信化与结构升级协同化的三重路径,形成了供应链韧性提升的典型实践①。一是技术赋能供需匹配。猕猴桃产业借由区块链平台“西猕链”,霜冻等灾害期间基于客户履约评分自动匹配货源,保障核心渠道稳定输出。二是重构信任机制。智能手环实时采集疏果、套袋等操作数据并上链,消费者扫码验证产地及生产数据驱动质量溢价。三是催生协同创新生态。眉县建立全国首个猕猴桃“云仓”系统,根据渠道销售峰值数据动态调配区域库存;产业与高校共建“猕猴桃数字研究院”,将实验室育种数据与田间传感器数据融合,缩短新品种研发周期,成就“翠香”等耐储明星品种。

2. 中观产业逻辑:数字技术赋能农产品供应链优化产业结构,促进农业产业融合发展。在优化产业结构方面,数字技术赋能农产品供应链生产、销售与物流环节,实现信息共享与科学引导,从而有效推动农业产业升级与发展。生产环节通过农情监测系统实时监测农田环境、作物生长、病虫害等信息,精准预测不同区域的种植优势和作物产量,帮助生产主体科学规划种植结构,实现作物种植的合理布局。销售环节依托电商平台和多元化的社交渠道推动农产品快速实现产销对接,为农产品生产和销售提供精准的市场预测与决策支持,进而引导生产主体调整种植结构。物流环节运用智慧物流系统,实现对农产品运输、仓储、配送等环节的实时监控和优化调度,有效降低农产品流通成本,推动产业结构的优化升级。

在促进产业融合方面,数字技术能够有效地打破传统农业的边界,在纵向上,将农业生产、加工、运输与销售等各个环节紧密连接,促使农业从单一种养向全链条延伸,形成一个高效协同的整体,实现资源的优化配置和高效利用。在横向上,农业与科技、文化、教育与旅游等融合发展,推动生产、加工、储存与销售一条龙,食宿、旅游、采购与娱乐一体化发展,催生“智慧生态农场”“智慧乡村旅游”“智慧农场管理”等新模式(韩旭东等,2023)。

在数字技术驱动农业产业结构优化与多产业深度融合的逻辑下,杨凌智慧农业示范园以产业链纵向融合与多产业横向耦合的双重路径,打造智慧农业创新发展的标杆样本②。一方面,园区部署物联网环境控制系统、无土栽培技术与水肥一体化系统等,实现反季节和全年设施蔬菜生产;研发自动化番茄采摘车配备智能识别系统以精准分拣果实,实现加工品控升级;搭建产业互联平台,开展合作社“订单育苗”,实现秧苗产销无缝衔接。另一方面,园区与西北农林科技大学共建数字农业实验室,开展农业技术培训,培养兼具农艺知识与数据技能的新型职业农民,创新产教融合模式;开放参观智能温室,游客通过 VR 设备体验“从种子到餐桌”的数字化种植过程,园区年接待研学团队突破 2 万人次,形成“农业+科普+旅游”的新业态。

3. 微观企业逻辑:数字技术通过赋能农产品供应链,以创新风险管控、价值网络重构和创新策略优化为路径,驱动企业创新与经营绩效提升。在控制企业创新风险方面,数字技术会增强农业企业的机遇敏感度与市场需求洞察力,企业创新的搜索

① 案例资料来源于眉县猕猴桃产业园网站、陕西果业中心网站等,由作者整理

② 案例资料来源于作者团队 2024 年 4 月 9 日在“杨凌智慧农业示范园”的实地调研、杨凌示范区管委会官网等,由作者整理

与试错成本得以降低,进而有效控制创新风险。例如,企业通过实时数据分析快速洞察市场趋势与消费者需求,运用虚拟仿真降低试错成本,借助预测模型精准调控农业生产,结合竞品动态监测实现创新策略敏捷调整,系统性降低创新风险。在重构企业价值网络方面,数字技术赋能供应链,实现数据要素整合以重构价值网络,主要表现为产品创新、流程创新与商业模式创新。例如,企业依托消费者行为大数据分析构建需求驱动的敏捷研发体系,实现当日生产当日达的精准供应,有效控制农产品损耗率;借助物联网传感器与区块链技术构建数字化品控体系,实现产品溢价;开发智能调度算法与车联网技术,实现物流全程降本增效;推广农业无人机植保服务,实现传统植保模式的优化升级。

在激发多元化创新策略方面,数字化进程加速信息高效流动,为供应链企业之间的平稳合作关系带来挑战,也对企业响应消费者多元化、个性化需求的时效和范围提出更高要求;企业为了持续维护客户关系,需要紧密配合消费者的产品与服务创新需求,采取更为灵活的创新策略满足消费者需求。

4. 微观农户逻辑:数字技术赋能农产品供应链促进农户增收,实现共同富裕。传统农业经营模式较为分散与独立,农业产供销环节不能高效衔接,导致农产品市场供需不匹配,存在较大的价格波动等市场风险。数字技术赋能农产品供应链,能够优化和重构供应链,实现信息共享和系统协同。数字化的农产品供应链将分散经营的农户与龙头企业、农民专业合作社等新型农业经营主体紧密连接,借助规模企业的资金、技术、信息等优势和价值共享机制,使得农户可以及时准确地了解市场需求和价格信息,动态调整生产与销售决策,突破农产品供需结构不匹配困境,稳定农产品市场供应、降低农产品价格风险,提高农户收入。

同时,传统农产品的销售往往受限于地域、渠道单一等限制,中间商的层层加码也使得农产品容易出现滞销、价格昂贵等问题。数字技术赋能供应链大幅拓宽农产品的销售渠道,使得农户可以通过电商平台、社交媒体与网络直播等线上渠道将农产品直接销售给终端消费者,缩减了中间环节,降低了销售成本,农户也可以更加灵活地应对市场变化,把握销售时机,从而增加收入。

在数字技术重构农产品产销对接模式、破解小农户分散经营与市场对接难题的实践中,西安农链互联网科技有限公司开发的“点点帮农”小程序,通过提供“滴滴打车式”农技专家匹配功能,整合农技服务与市场资源,搭建起小农户对接大市场的精准通道。截至 2024 年,已覆盖约 5.2 万农场主、5900 余名帮农专家和 4500 余家农产品采购商①。一方面,该小程序集“新农人”“土专家”“田秀才”于一体,科学指导农户调整种植结构,降低生产经营风险。另一方面,该小程序高效对接信息、技术、产品与市场,帮助农户拓宽农产品销售渠道,实现产销两旺。

此外,数字技术赋能农产品供应链能够激发更强的“长尾效应”,丰富多样的农产品进入大众市场满足消费者的个性化需求。此时,农户可以借由大数据、人工智能对农产品进行品牌建设和品质分级,满足不同消费者需求,提高农产品附加值和售价,增加农户收入。

四、农产品供应链数字化转型的现实障碍与基础

农产品供应链数字化转型在生产、渠道与物流层面,面临小农技术适配弱、渠道利益协同难与物流信息贯通差等诸多现实障碍。厘清农产品供应链数字化转型的现实障碍,是探索多元实施路径的必要前提。

(一)现实障碍

1. 农产品生产数字化转型的“难点”问题。数字经济时代,农业生产模式逐渐向数智化、网络化转型(姜长云,2022)。然而,由于中国农产品生产体系中长期存在先进农业技术渗透不足、小农普适性不够、数据要素流动不畅等“难点”问题,导致中国难以全面建成并广泛推广先进适用的智慧农业生产模式。

一是数字农业技术渗透性不足。农村地区经

① 案例资料来源于陕西省西咸新区开发建设管理委员会网站,由作者整理

营地块分散、劳动力流失、标准规范缺失等问题普遍存在,导致技术适配成本高昂,技术适用性较弱。小农户平均耕地面积不足 10 亩,远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%,推广成本远超普通农户承受能力。农村 60 岁以上人口占比超 20%①,对数字工具接受度低,推广先进农业技术存在挑战。

二是数字农业技术的小农普适性较弱。小农户数量占所有农业经营主体的 98%以上,是中国农业生产的核心主体,耕地面积达到总耕地面积的 70%②。尽管全国土地流转规模呈现显著扩大趋势,截至 2023 年,土地流转率已达 36%,但仍有近三分之二的土地由承包农户自行耕种③。从事农业生产的人员中,具备高级数字素养与技能的不足 35%④。可见,小农户受教育程度普遍较低导致其缺乏与先进数字技术适配的操作技能与理论知识,难以适应数字化生产模式,数字技术在小农户中推广与应用面临阻碍(刘进等,2023)。

三是数据要素流通机制不畅通。农产品供应链数据分散在不同部门、不同主体间,共享率相对不足。小农户因数据产权未确权,仅能获得销售分成,未能分享数据二次开发产生的附加值。

2. 农产品渠道数字化转型的“痛点”问题。农产品渠道数字化能够拓宽企业市场份额,满足顾客便捷化与个性化需求,便于实现渠道一体化管理。然而,由于中国农产品渠道体系存在线上线下衔接不足、流通链条冗长、联农带农机制薄弱、技术支撑体系不足等制约渠道数字化转型的问题,导致农产品供需难以精准匹配,消费者对部分渠道的信任感不足,数据孤岛效应显著,进而推高农产品全链交易成本,掣肘农产品全渠道融合发展进程。

3. 农产品物流数字化转型的“断点”问题。农产品物流数字化能够精准整合农产品供需信息,实现物流资源的智能优化配置,提高物流管理的效率,减少农产品的运输损耗。然而,由于中国农产品市场需求体量大、产品属性特殊、地域分散广、涉及主体多等特点,导致目前农产品物流系统中存在“断点”,尚未形成集成互联、全链贯通的绿色高效农产品供应链物流系统。

多样化的农产品市场需求对物流效率和物流能力提出要求。中国物流系统存在运输能力受限、冷链与智能设备不足等问题,2023 年中国农产品产地综合低温处理率为 32.0%,智能仓储渗透率不足 15%⑤。部分农村地区的交通条件相对落后,道路狭窄、崎岖不平,大型货车难以进入,导致农产品物流过程容易出现损耗、延误及变质,增加物流损耗和运输成本(黎红梅等,2021)。同时,物流系统涉及农户、合作社、批发商、零售商等多主体协作,主体间存在信息不对称,供需信息无法及时准确地传递,导致物流企业难以根据市场需求制定合理的运输计划,物流成本较高。

(二)现实基础

农产品供应链数字化转型是国家战略导向、技术创新驱动、主体内生驱动和市场需求驱动等多方面因素共同作用的结果。

1. 国家建设农业强国与保障粮食安全的战略导向。党的二十大擘画了全面建成社会主义现代化强国的宏伟蓝图,将建设农业强国摆上全面建成社会主义现代化强国的重要位置。习近平总书记强调“保障粮食和重要农产品稳定安全供给始终是建设农业强国的头等大事”⑥。中国高度重视粮食和重要农产品稳产保供问题,截至 2024 年底,全国已累计建成 10 亿亩高标准农田⑦,粮食播种面

① 国家统计局. 人口总量降幅收窄 人口素质持续提升,https://www.stats.gov.cn/sj/sjjd/202501/t20250117_1958337.html

② 经济日报. 全国 98%以上农业经营主体仍是小农户,https://www.gov.cn/xinwen/2019-03/02/content_5369853.htm

③ 中国政府网. 国务院政策例行吹风会,https://www.gov.cn/xinwen/2024zccfh/18/index.htm

④ 中国政府网. 全民数字素养与技能发展水平调查报告(2024),https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202410/content_6983266.htm

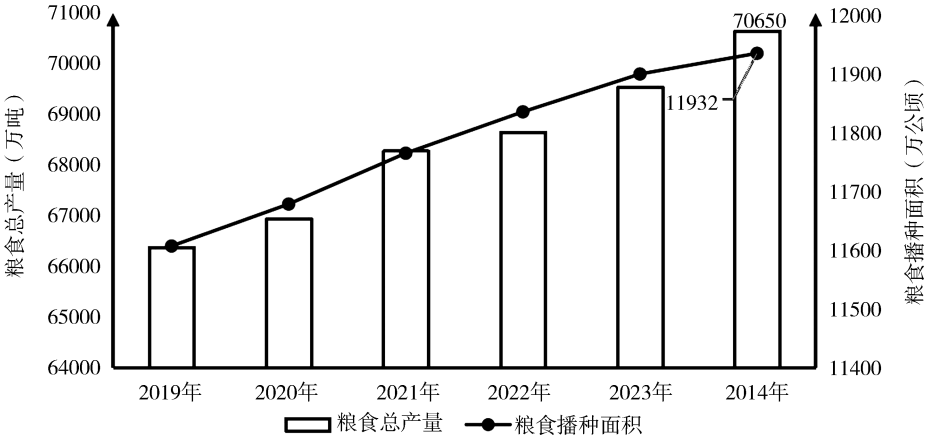
⑤ 农业农村部. 中国农产品产地冷链物流发展报告(2024),http://www.scs.moa.gov.cn/sclt/202412/t20241202_6467347.htm

⑥ 中国共产党新闻网. 把粮食安全作为建设农业强国的头等大事,http://theory.people.com.cn/n1/2023/0418/c40531-32667001.html

⑦ 中央人民政府. 建设高产稳产的现代化良田夯实粮食安全根基—解读《逐步把永久基本农田建成高标准农田实施方案》,https://www.gov.cn/zhengce/202503/content_7016442.htm

积达 11932 万公顷,粮食总产量首次突破 1.4 万亿斤①,肉类、果蔬等农产品基本实现有效供给。

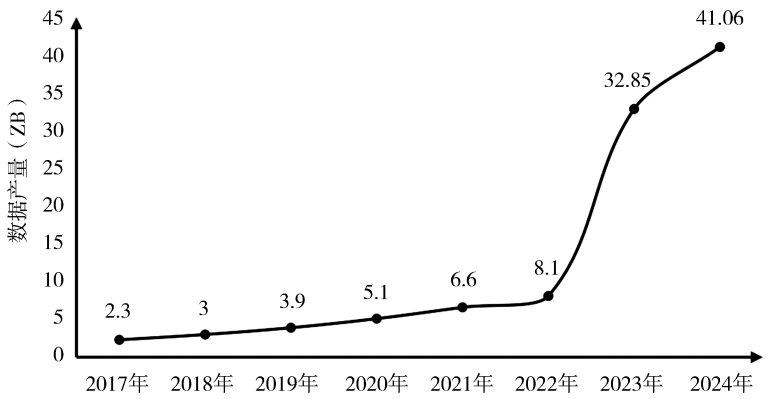
在建设农业强国并保障粮食安全的战略导向下,面对世界百年未有之大变局加速演进带来的挑战(王一鸣,2020),特别是全球粮食供应链的断链风险,以及国内农产品供应链存在的数字化运营水平较低、整合能力较弱等现实瓶颈(魏后凯等,2022),加快农产品供应链数字化进程已成为一项紧迫的战略任务。中国亟须通过供应链数字化推动农产品全链条数字化升级,构建更高效、富有韧性的生产与流通体系,从而服务国家战略需求,全方位夯实国家粮食安全根基。



数据来源:国民经济和社会发展统计公报(2019—2024 年)

图 3　全国粮食总产量与播种面积变化

2. 以“数据+算力+算法”为核心的供应链技术支撑体系发展迅速,为数字化转型注入强劲动能。“数据”作为数字技术支撑体系的基础资源(Kamble 等,2020),是实现农产品全流程可追溯与透明化的关键。中国愈来愈重视农业大数据中心建设,一是打造“农业农村大数据公共平台基座”,实现了各级大数据平台互联互通;二是打造“全农码”,为涉农资源、主体、产品赋予数字身份,实现了农村地、人、财等全面关联。2017—2024 年,中国数据产量以年均 50.94%的复合增长率爆发式增长,数据要素加速向农业领域渗透,支撑农产品供应链数字化转型。

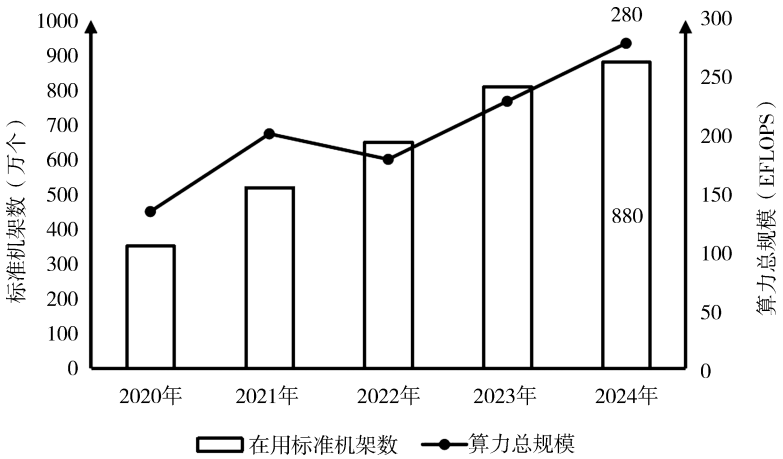


数据来源:全国数据资源调查报告(2017—2024 年)

图 4　全国数据产量变化情况

① 国家统计局. 关于 2024 年粮食产量数据的公告,https://www.stats.gov.cn/zwfwck/sjfb/202412/t20241213_1957744.html

“算力”是数字技术支撑体系的重要底座。中国积极推进算力体系建设。截至 2024 年 9 月,提供算力服务的在用标准机架数超 880 万个,算力总规模达 268EFLOPS(每秒百亿亿次浮点运算,以 FP32 单精度计算),位居全球第二位①。中国算力体系的“硬支撑”与农业场景的“软适配”,正重塑从“靠天吃饭”到“知数而耕”的新生态,为农产品供应链数字化转型筑牢坚固基石。



数据来源:中国算力发展指数白皮书(2020—2024 年)

图 5 全国在用标准机架数及算力规模情况②

“算法”是挖掘数据价值的核心引擎。目前,中国已在作物病虫害监测与预测、作物生长监测与产量预测、自动化农业作业、市场趋势预测等方面探索应用农业算法模型(赵春江,2021),为农产品供应链管理提供了实时、智能决策支持。

3. 农业经营主体创新是数字化转型的内生动力源泉。家庭农场、农民专业合作社、农业社会化服务组织等新型农业经营主体不断创新模式,辐射带动小农户,促进农业规模经营稳步发展,推动新品种、新技术、新装备加快应用,已成为农业数字化转型进程的中坚力量和重要动力源泉(陈晓华,2025)。

一方面,新型农业经营主体拥有较大的经营规模和较强的资金实力,具有规模化生产、集约化经营优势,能够更好发挥联农带农效应,带动小农户参与数字化转型(匡远配等,2024)。当前,中国新型农业经营主体发展势头平稳,截至 2024 年 10 月底,纳入名录管理的家庭农场近 400 万个,依法登记的农民专业合作社 214 万家②。

农业社会化服务持续扩面提质,截至 2024 年,超过 109.4 万个组织开展农业社会化服务,年服务面积超过 21.4 亿亩次,服务小农户达 9400 多万户③,服务范围从产中向产前、产后各环节延伸。

另一方面,数字化引领农业的效率革命与市场变革,农业生产方式逐渐向更高程度的集约化、规模化转型。农业经营主体亟须主动融入数字化转型进程,深度应用数字工具赋能生产经营全链条,以实现高效管理、精准决策和智能控制,有效降本增效、提升产品品质与市场响应速度,进而创造可持续的竞争优势。

4. 终端消费需求变化倒逼供应链数字化转型。大数据时代,居民的消费水平、消费模式与消费层次发生明显改变,零售渠道、消费增长点的变革与创新正在倒逼农业生产者进行数字化转型升级。居民收入持续攀升,消费支出稳定增长。2024 年,全国居民人均可支配收入与消费支出分别为

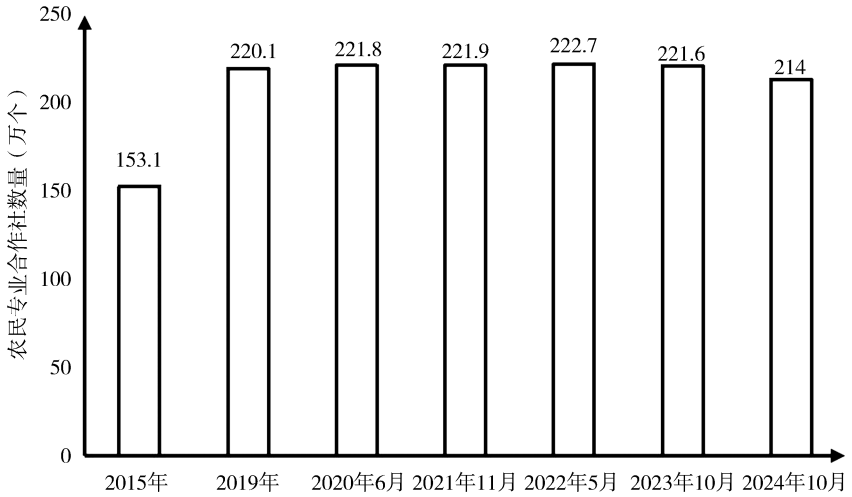
① 工业和信息化部.“点、链、网、面”体系化推进算力网络工作 持续提升算网综合供给能力,https://www.miit.gov.cn/xwfb/xwfbh/qtxwfbh/art/2025/art_a117e00686bc41c5be387e82ff13d0f3.html

② ② 农业农村部.农业经营体系不断完善,https://www.moa.gov.cn/ztzl/2024fzcj/202412/t20241225_6468532.htm

③ 农业农村部.农业经营体系不断完善,https://www.moa.gov.cn/ztzl/2024fzcj/202412/t20241225_6468532.htm

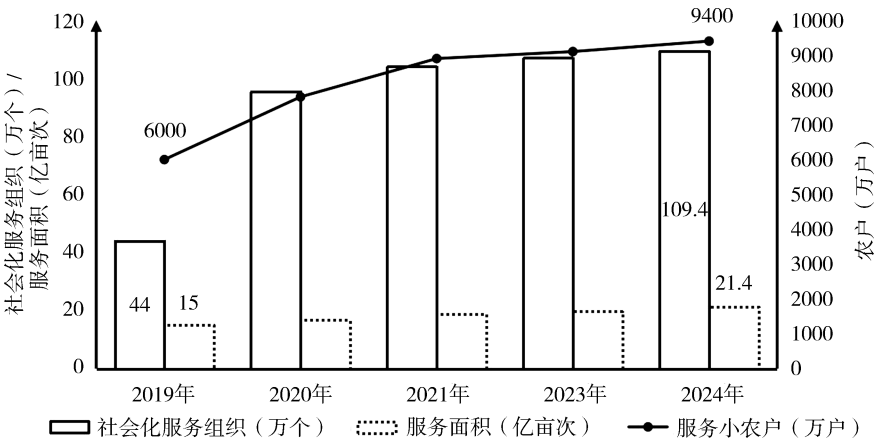
41314 元、28227 元,实际增长率均达到 5.1%①。

定制消费、循环消费与智能消费等多元化消费模式层出不穷,消费者越来越倾向于“一键式购买”的平台消费模式,以获得采购、付款、取货与售后服务等各项便利。消费层次由传统的“功能型消费”向“体验型消费”转变,消费者更加注重食品安全问题,希望农产品生产、流通过程均能全程追溯,消费者需求变化倒逼供给端品控和追溯体系的构建(尹瑶等,2024)。消费渠道更加多元化,多多买菜、京东生鲜、美团优选等电商平台和社区便利店逐渐成为仅次于线下门市的“菜篮子”。消费增长点已由数量型向品质型消费转变,由单一的消费向场景型消费转变。因此,农业企业亟须通过需求创造、业务设计、价值共创与供应链重构等不同模式更好地服务于消费者需求,推进农产品线上线下销售渠道的融合发展,着力提升供应链自主可控能力和数字化组织协同能力,实现农企获益、农户增收。



数据来源:农业农村部

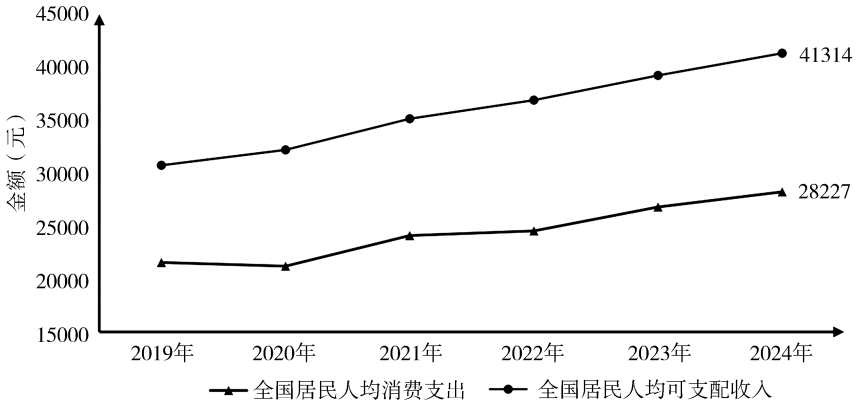
图 6　全国依法登记农民专业合作社数量变化



数据来源:农业农村部

图 7　全国农业社会化服务组织情况

① 国家统计局 . 2024 年居民收入和消费支出情况,https://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202501/t20250117_1958325.html



数据来源:国民经济和社会发展统计公报(2019—2024 年)

图 8 全国居民消费收入与消费支出变化

五、中国推进农产品供应链数字化转型的实施路径

立足生产、渠道与物流三个维度,以农产品供应链数字化转型的现实障碍为基础,以先进适用、融合发展和绿色高效为导向,本文从农业社会化服务组织培育、电商综合服务平台搭建、物流服务网络布局升级等多个层面,提出数字化转型的实施路径,最终为全面构建绿色智能的农产品供应链体系提供思路与方向。具体如图 9 所示。

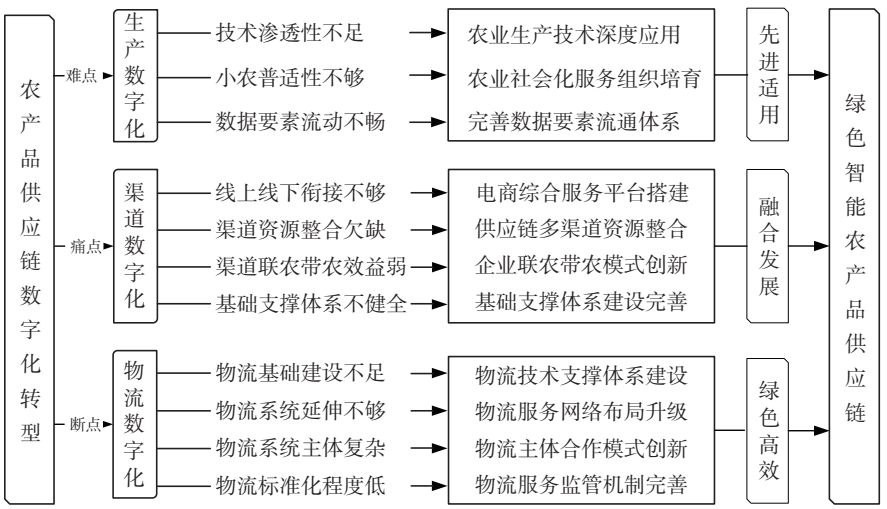


图 9 中国农产品供应链数字化转型的实施路径

(一)农产品生产数字化转型的实施路径

以先进适用为导向,从农业生产方式数字化改造、农业社会化服务组织培育和数据要素流动机制健全三方面攻克转型“难点”,形成数字技术深度应用、小农主体普适、数据流动机制健全的智慧农业模式。

1. 数字技术深度嵌入传统农业,实现生产方式数字化改造。农业生产数字化需要完善网络基础和智能设备支持。一方面,重点突破农村网络基础设施的覆盖盲区与传输瓶颈,依托 5G 基站建设与物联网终端部署形成全域感知网络,以实现农业生产经营主体全面覆盖;另一方面,支持企业研发适合田间场景的智能传感设备和移动应用,补齐数字农业的硬件短板。同时,重点发展三大数字化应用:通过遥感监测建立耕地使用监管系统,搭建覆盖全产业链的农产品溯源平台,以及将数字技术深

度应用于生物育种、精准种植等关键领域,例如,利用人工智能优化作物基因筛选、借助物联网实现农田环境智能调控等,推动传统农业向智慧农业转型。

2. 农业社会化服务组织引领小农户,助推农业生产主体数字化。通过社会化服务组织联结小农户,开展技术与装备推广及培训,优化要素投入结构和质量,提高农民组织化程度,推动农业向专业化、标准化、集约化转型(郭晓鸣等,2023)。具体措施包括:以资金支持、技术指导和专业服务为纽带,带动农业企业、农民专业合作社、村集体和农户形成合作网络,共同参与生产经营;创新服务模式和组织形式,因地制宜发展单环节、多环节、全程生产托管等服务模式,推广"服务主体+新型经营主体+农户"等组织形式,健全收益分配和风险共担机制;建立多类型农业综合服务平台,提供农资供应、技术集成、农机作业等农业生产经营综合解决方案;服务组织与高等院校、科研院所合作开展关键技术和装备研发,实现服务与科技有效融合;强化服务价格与质量监管,建立纠纷调解渠道,全面保障农户权益。

3. 完善数据要素流通机制,推动农业生产力结构变革。传统的家庭农场分散经营模式存在数据采集边际成本高和数据资源交易壁垒等问题。在数字经济与现代农业深度融合背景下,数据要素的高效流通成为重塑农业生产力结构的关键维度。建构适配农业场景的数据要素流通体系,本质上是通过制度创新与技术赋能重构农业生产函数,实现价值创造。具体措施包括:建立统一的数据要素流通平台,整合涉农部门的信息系统,实现数据资源跨地域、跨系统流通;完善数据要素流通机制,依托政府主导与市场运作,规范数据交易流程;强化数据安全保障,健全数据分级分类管理机制并加强数据安全技术支撑。

(二)农产品渠道数字化转型的实施路径

以融合发展为目标,从电商综合服务平台搭建、供应链多渠道资源整合、企业联农带农模式创新、基础支撑体系建设等方面,有针对性地解决中国农产品渠道数字化转型的"痛点"问题,加速实现农产品全渠道融合发展。

1. 搭建农产品电商综合服务平台,实现线上线下有效衔接。鼓励农产品经营者自建或嵌入电商节点网络,拓宽国内外销售渠道,提高农产品经济效益;建设区域性农产品直播电商中心,打造省级农产品直播电商示范基地,构建"培训孵化+内容生产+物流履约"三位一体服务体系;对具备条件的商业网点进行数字化改造,拓宽消费场景,开展"网订店取""生鲜直送"等服务,丰富居民消费体验;鼓励将已有乡镇电商服务站点升级为供应链中转仓、直播电商场所、前置仓等,充分盘活现有设施设备,助力地方特色农产品上行。

2. 整合农产品供应链渠道资源,实现供应链价值增值。鼓励供应链核心企业与上下游企业及农户在组织重构、资源共享等方面达成合作协议,以整合供应链渠道资源,实现供应链价值增值。一方面,以农产品加工企业为核心,聚集供应链各主体资源,有效提高供应链效率。例如,核心企业与农户、农民专业合作社或生产基地等上游主体建立长期合作关系,通过公平的交易行为、合理的利益分配机制、密切的信息沟通、技术支持和培训、签订长期合作协议以及引入第三方监管等措施保障合作关系的稳定和长期发展。同时,核心企业与分销商、生鲜超市等下游主体合作,及时了解客户需求,反向指导上游企业的采购、生产、加工、仓储等活动,更加精准地为客户提供产品或服务。另一方面,供应链主体间构建物流资源、营销资源和数据资源共享平台,提高供应链响应能力。诸如,建立综合信息服务平台,优化采购、仓储、运输与配送等物流过程,实现数据流转与分析过程的透明化,帮助供应链各主体共享核心技术、运营经验与客户关系等营销资源,提升供应链整体收益。

3. 发挥农业龙头企业引领作用,延伸农产品供应链。农业龙头企业发挥资源、技术优势及市场影响力,引领农户参与数字化转型,有效延伸农产品供应链。具体措施包括:农业企业搭建智能化服务系统,为农户提供数字化支持,例如在线咨询、智能诊断、远程监控等,帮助农户更好地生产经营,提高农户的生产效率和产品质量,降低农户的生产成本和经营风险。同时,积极创新"企业+基地+农户""企业+合作社+农户"等合作模式,实行统一供种、统一技术、统一收购、统一服务等一体化的生产经营模式,联合农户开展数字化农业生产经营,促

进资源共享和优势互补。涉农企业自身需要增加数字化基建投入,建设智慧农业示范基地,引进智能分选设备、自动化包装线等设施,建立覆盖生产加工全流程的品控数据库。农业企业通过拓展直播电商、社区团购等新渠道,开发农产品定制预售平台,通过消费数据分析反向指导种植计划。农业企业通过与供应商、物流企业、电商平台等上下游企业合作,探索共享云仓、联合配送等模式,构建敏捷高效的供应链体系。

4. 完善基础支撑体系建设,保障线上线下渠道融合发展。在重点产区布局智能冷链物流中心,配置自动化分拣线和移动式预冷设备;整合种植端传感器数据、物流端定位信息及消费端扫码溯源记录,实现从田间到商超的实时温控追踪;搭建动态供需匹配系统,通过电商平台预售数据指导采收计划;在社区零售终端铺设智能生鲜柜,支持线上预约取货和扫码即购,结合消费者动态分析优化补货频次;培育复合型运营团队,重点培养既懂农业物联网操作又熟悉电商运营的人才。企业可设立数字化导师制度,由技术骨干驻场指导合作社操作电商系统,同时与职业院校共建实训基地,开展直播带货、数据分析等实践培训,为农产品渠道数字化转型筑牢人才基石。

(三)农产品物流数字化转型的实施路径

以绿色高效为导向,从夯实物流系统技术支撑、完善物流网络布局、强化农产品质量安全管理、创新物流系统主体合作模式等方面,解决中国农产品供应链渠道数字化转型的“断点”问题,进而形成基于数字化集成平台的农产品智慧物流模式。

1. 夯实物流系统技术支撑体系,提升物流配送能力。开发农产品全链路数字管理平台,集成仓储环境监测、运输路径优化、车辆调度指挥等功能模块。仓储环节部署自动化温控系统,实现农产品入库、出库与库存等环节的自动化管理与温度、湿度及氧气含量等环境参数的实时监测,延长生鲜产品保鲜周期;运输环节应用动态路径算法,结合实时路况与货物特性,智能匹配运输路线及运输工具,以提高运输效率和降低运输成本;持续研发推广无人机、无人仓、无人车等智能物流设备,解决“最后一公里”配送难题,丰富智慧物流运营场景。

2. 聚焦农产品物流服务网络布局,提升物流网络覆盖面。一方面,完善产地物流网络布局。鼓励各类农业生产经营主体和物流企业加强合作,提高“最先一公里”物流服务能力,满足源头基点网络储运需求;构建产地移动物流设施运营网络,缩短农产品进入物流环节的时间;引导专业物流企业适应农产品产地多点布局和小批量、多批次运输需求特点,开展从源头基点到物流集配中心、国家骨干物流基地的干支衔接型运输组织,构建稳定、高效、低成本运行的农产品出村进城物流网络。另一方面,完善销地物流网络布局。积极推进销地物流集配中心建设,集成整合流通加工、区域分拨、城市配送等功能;推动农产品批发市场物流设施改造升级,提高物流服务能力;加大城市物流前置仓等设施建设力度,鼓励移动冷库、智能自提柜等在末端配送领域广泛应用。

3. 完善物流服务监管机制,强化农产品质量安全管理。部署区块链溯源平台,整合生产基地环境传感数据、加工线视频监控影像及物流环节温控记录,帮助消费者随时监管作物生长周期内的施肥用药明细;在重点集散中心配置分子光谱快检设备,辅助实现农残、重金属等多项指标筛查,异常商品自动触发物流拦截机制;建立技术赋能的监管新模式,在种植园区布设物联网监测站采集土壤重金属数据,加工企业安装人工智能视觉分选机剔除瑕疵品,物流企业运用芯片追踪周转筐流转路径。同步开展“技术+标准”培训,指导农业生产经营主体使用红外光谱仪等数字工具自检农产品含水率等参数,确保加工参数符合标准。

4. 推动农产品物流主体构建技术驱动的协作生态。鼓励加工企业联合种植户组建冷链共享联盟,在重点产区布局模块化移动冷库,通过智能温控系统实现错峰使用;家庭农场、农民专业合作社等新型经营主体积极参与农产品产地冷藏保鲜设施的建设,通过入股、租赁、合作等方式,盘活闲置资产,提高农产品物流资源的整体利用效率;打造农产品产地仓储保鲜冷链物流储运信息综合服务平台,推动枢纽内企业、供应链上下游企业信息共享,实现产地冷链设施、车辆、农产品货物位置及状态等信息的实时查询;鼓励采购商与农户签订长期合同,在线约定农产品的收购价格、质量标准等,采收时通过智能品控设备自动分级定价,从而稳定农

户的生产预期,降低农户的市场经营风险。

六、中国农产品供应链数字化转型的未来展望

中国农产品供应链在生产、渠道与物流等核心环节已形成区域性数字创新范式,智慧农业、渠道融合及智慧物流等模式初步形成,但仍处于局部试点示范阶段,尚未实现系统性整合与规模化应用。未来的发展方向在于系统性构建先进适用的智慧农业生产模式、渠道融合的智能营销模式以及绿色高效的智慧物流模式,进而推动农产品供应链数字化从“区域性标杆”向“全国性系统覆盖”的转型跃升,最终实现数字化发展效能对广大新型农业经营主体及小农户的普惠性赋能。数字化农产品供应链模式,如图 10 所示。

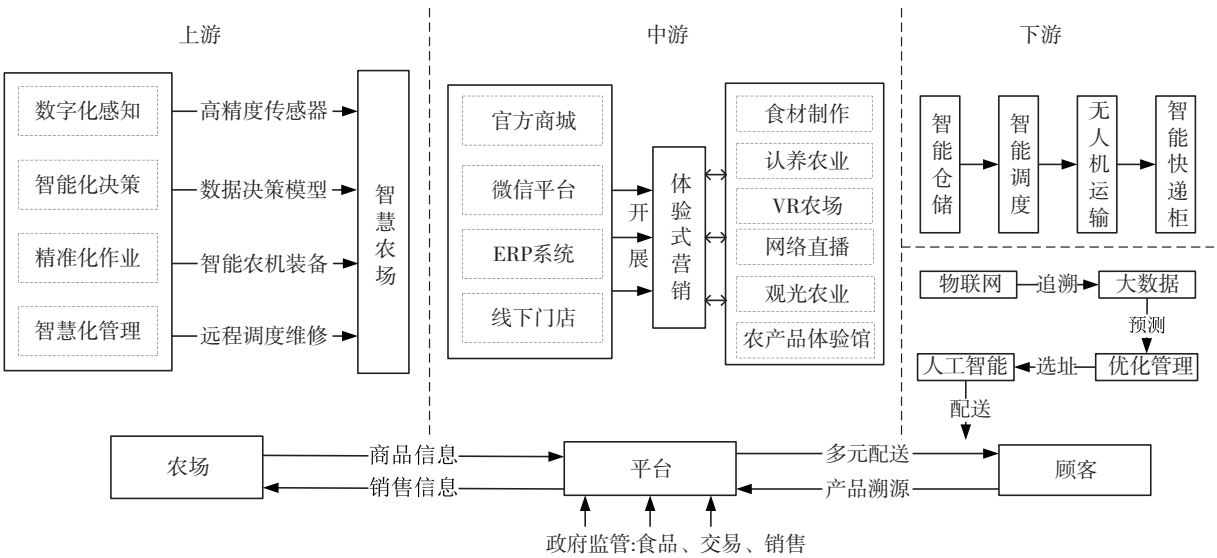


图 10　数字化农产品供应链模式

(一)先进适用的智慧农业模式

未来智慧农业的规模化发展,关键是先进适用的模式体系。其核心在于深度融合物联网、区块链等先进数字技术,实现农业生产的数字化感知、智能化决策、精准化作业与智慧化管理(阮俊虎等,2020),同时确保技术方案紧密贴合中国不同地域、不同规模农业生产的实际需求与经济可行性。

一是先进传感与实用部署并重,农户依托先进的微机电系统、仿生及生物传感器等高精度感知设备,及时获取农情数据;传感器选型更加适应田间复杂环境,成本可控且数据采集方案符合农户实际管理能力。二是模型前沿与落地可行兼顾,农户利用先进的数据决策模型,将精准农业决策与智能计算方法深度关联;基于数据库、因果关系和时间序列,对农业生产状态进行评判和预测,为农事操作提供智能化建议;同时,决策模型能够深度结合农艺知识与地方经验,输入数据易于获取且质量可靠,输出数据直观易懂、操作指导性强,无较高技术门槛。三是智能装备与场景适配协同,以农作物“耕、种、管、收”为核心任务,应用先进的智能化作业装备,在北方旱作、南方水田和丘陵山区等不同区域,形成差异化的解决方案。四是平台强大与操作便捷统一,未来的智慧农业管理平台逐渐成熟,覆盖农机远程智能调度、作业过程实时监控、装备故障预警诊断和远程维修指导支持等,生产组织效率和装备保障能力大幅提高;同时,管理平台面向广大农户群体,设计更加简单便捷、直观清晰且运维成本合理。

(二)渠道融合的智能营销模式

渠道融合发展的关键是打破渠道壁垒,以数据为驱动、以消费者为中心、以渠道协同发展为目标,有机整合实体门店、电商平台、轻量化服务入口等

多元渠道,为消费者提供无缝衔接的购物和服务体验。未来中国农产品渠道融合将以平台整合、体验式消费、个性化定制、跨界合作为重点方向,依托场景化、沉浸式的购物环境吸引消费者;在营销中增加“体验”元素,并根据消费者的需求和偏好提供定制化的产品和服务;通过跨界合作拓展服务领域,发展乡村文旅、VR 实景农场、认养农业等为客户提供多元化的服务,满足消费者的多元化需求。

(三)绿色高效的智慧物流模式

未来的农产品物流坚持绿色高效的核心理念,是集智能仓储、智能调度、无人机运输、高效配送于一体的智慧物流模式。大数据与人工智能深度结合,使得市场需求、用户行为精准预测成为可能,将大幅减少库存积压和无效运输,降低仓储能耗与运输排放;新能源驱动的无人机、无人车及智能运输装备广泛应用于物流领域,呈现灵活高效的多元配送网络及运输环节近零排放;分布式网络结构取代传统高能耗、高排放的集中化运作方式,缩短配送半径,降低系统整体能耗;云服务、智能柜等技术赋能极大提升末端服务的敏捷性与响应能力,降低人均配送排放。在绿色智能理念下,未来将逐步实践物流过程高度智能化、物流资源高效共享化、物流系统深度绿色化和综合效益全面升级的智慧物流模式。

参 考 文 献

1. Grieves M. Digital Twin:Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication,2015
2. Kamble,S. S. ,A. Gunasekaran,S. A. Gawankar. Achieving Sustainable Performance in a Data-driven Agriculture Supply Chain:A Review for Research and Applications. International Journal of Production Economics,2020(219):179~194
3. Volkoff,O. ,D. M. Strong,M. B. Elmes. Technological Embeddedness and Organizational Change. Organization Science,2007(18):832~848
4. Wolfert,S. ,L. Ge,C. Verdouw,Bogaardt,M. J. Big Data in Smart Farming-A Review. Agricultural Systems,2017(153):69~80
5. 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. 管理世界,2021(11):227~240+14
6. 陈卫洪,王 莹. 数字化赋能新型农业经营体系构建研究——“智农通”的实践与启示. 农业经济问题,2022(9):86~99
7. 陈晓华. 完善农业经营体制机制的几点思考. 农业经济问题,2025(1):4~6
8. 郭晓鸣,温国强. 农业社会化服务的发展逻辑、现实阻滞与优化路径. 中国农村经济,2023(7):21~35
9. 韩旭东,刘 闯,刘合光. 农业全链条数字化助推乡村产业转型的理论逻辑与实践路径. 改革,2023(3):121~132
10. 洪银兴,王坤沂. 新质生产力视角下产业链供应链韧性和安全性研究. 经济研究,2025(6):4~14
11. 姜长云. 发展数字经济引领带动农业转型和农村产业融合. 经济纵横,2022(8):41~49
12. 匡远配,彭 云,李姗姗. 新时代中国农业农村现代化的多重逻辑、基本特征及实现路径. 中国农村经济,2024(12):2~22
13. 黎红梅,周 冲. 全国推进乡村振兴背景下农村高效物流体系构建分析. 理论探讨,2021(3):139~144
14. 李 佳. 基于大数据云计算的智慧物流模式重构. 中国流通经济,2019(2):20~29
15. 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. 经济体制改革,2023(3):80~88
16. 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. 农村经济,2021(7):25~33
17. 刘 进,贾杰斐,许 庆. 农机购置补贴如何影响小农户农机社会化服务获得——基于全国农村固定观察点数据的分析. 中国农村经济,2023(2):85~108
18. 马九杰,陈俊良,赵永华. 直播电商价值链中数字守门人与农产品质量安全把守机制研究. 管理世界,2025(4):175~198
19. 阮俊虎,刘天军,冯晓春,乔志伟,霍学喜,朱玉春和胡祥培. 数字农业运营管理:关键问题、理论方法与示范工程. 管理世界,2020(8):222~233
20. 苏玉同,宋洪远. 传统农业生产模式何以实现数字化转型? ——来自国家现代农业产业园的水稻种植案例研究. 现代经济探讨,2024(3):122~132
21. 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. 农业经济问题,2023(1):76~87
22. 陶 锋,王欣然,徐 扬,朱 盼. 数字化转型、产业链供应链韧性与企业生产率. 中国工业经济,2023(5):118~136
23. 汪旭晖,段怡杰. 大农业观下的现代乡村产业体系建设:战略意蕴、实践路径与制度安排. 经济学家,2025(4):110~119
24. 汪阳洁,黄浩通,强宏杰,黄季焜. 交易成本、销售渠道选择与农产品电子商务发展. 经济研究,2022(8):116~136
25. 王一鸣. 百年大变局、高质量发展与构建新发展格局. 管理世界,2020(12):1~13
26. 魏后凯,崔 凯. 建设农业强国的中国道路:基本逻辑、进程研判与战略支撑. 中国农村经济,2022(1):2~23
27. 温 涛,陈一明. 数字经济与农业农村经济融合发展:实践模式、现实障碍与突破路径. 农业经济问题,2020(7):118~129

28. 谢　康,吴　瑶,肖静华. 生产方式数字化转型与适应性创新——数字经济的创新逻辑. 北京交通大学学报(社会科学版),2021(1):1~10
29. 谢艳乐,毛世平. 数字技术如何驱动农业全产业链融合发展——来自西瓜特色产业的经验证据. 中国农村经济,2024(10):64~83
30. 易加斌,李　霄,杨小平,焦晋鹏. 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. 农业经济问题,2021(7):101~116
31. 尹　瑶,叶敬忠. 新零售驱动消费革命的实现逻辑——基于盒马鲜生平台的数字化实践. 农业经济问题,2024(6):45~57
32. 张树山,谷　城,张佩雯,董旭达. 智慧物流赋能供应链韧性提升:理论与经验证据. 中国软科学,2023(11):54~65
33. 张喜才. 中国农产品供应链演变机理、发展困境及应对策略. 经济学家,2024(5):118~128
34. 赵春江. 智慧农业的发展现状与未来展望. 华南农业大学学报,2021(6):1~7
35. 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. 云南社会科学,2022(6):59~67

Digital Transformation of China's Agricultural Supply Chain: Connotative Characteristics, Theoretical Logic and Implementation Paths

RUAN Junhu, LIU Chenhuan, SUN Zilai, HUO Xuexi

Abstract: The digital transformation of agricultural supply chain is of great significance in accelerating the development of a strong agricultural sector in the digital economy era. Based on supply chain management theory, technology embedding theory, transaction cost theory, and data element theory, this paper systematically deconstructs the remodeling mechanism of the "production—channel—logistics" model empowered by digital technology. It clarifies the theoretical connotations and target characteristics of the digital transformation of agricultural supply chain. Using the analytical framework of "macro policy environment — meso-industrial ecology — micro subject behavior," we explain the practical foundation and internal logic of the digital transformation of agricultural supply chain. The paper then proposes implementation paths for digital technology embedding, e-commerce integrated service platform construction, supply chain channel resource integration, and logistics service network layout. The paper provides theoretical support and practical guidance for solving key problems in the digital transformation of agricultural supply chain, such as "difficult" production transformation, "painful" channel integration, and "broken" logistics information. Finally, it presents a future outlook on smart agriculture, omni-channel integration, and the smart logistics model. Core viewpoints are as follows. Driving factors for the digital transformation of agricultural supply chain include strategic efforts to build a strong agricultural country, technological advances in "data—calculation—algorithm" changes, endogenous efforts by new agricultural management bodies, and market forces driven by changes in consumer demand. A digital technology-enabled agricultural supply chain can enhance supply chain resilience, optimize industrial structure, stimulate enterprise innovation, and promote farmer income.

Keywords: Agricultural supply chain; Digital transformation; Smart agriculture; Channel integration; Smart logistics

责任编辑:李　芸