

区块链技术何以赋能农业协同创新发展： 功能特征、增效机理与管理机制*

生吉萍 莫际仙 于滨铜 王志刚

摘要：本文在介绍区块链发展进程和功能特点的基础上，通过构建生产组织、加工商和经销商三部门模型，剖析区块链提升供应链创新福利水平和供应链绩效的增效机理，进一步阐释区块链赋能农业协同创新发展的管理机制，最后基于种植、养殖、加工等产业的4个典型案例进行了具体分析。研究表明：区块链的使用可以实现农业产业化发展过程中各组织的可信、协作和互联，促进多主体供应链的协调和管理，并完善相应的金融支持体系；引入区块链技术后，供应链可以提高数据质量，并通过降低企业预测误差，降低能耗、物耗与维护费用，减少人力资本需求等，提升供应链绩效和供应链创新福利水平；基于区块链多技术的融合创新，通过产业横向整合、纵向整合和空间整合，提升农业生产效率、改善产品市场表现、提升农业市场效率、优化农业空间布局，从而促进农业协同创新发展；4则案例引入区块链技术后，结构分工更加清晰明确，农产品流通方式更加顺畅完备，追溯、监管更加智能化和现代化，各主体绩效和福利水平均得到了提高。总之，区块链应用优化了农业产业化路径和产业链交易方式，通过加快“供应链+区块链”“区块链+区域化”生产交易方式建设，推进产业链同类主体间的横向整合和上下游主体间的纵向整合，促进生产者降本增收和农产品提质增效。

关键词：区块链 农业发展 协同创新 技术赋能 案例分析

中图分类号：F325.12 **文献标识码：**A

一、引言

近年来，中国农业产业化蓬勃发展，在促进农民增收致富、农业提质增效和全面脱贫攻坚等方面做出了重要贡献。但是，由于农产品要素市场和产品市场之间的信息不对称、双边际效应等因素的存在，农业产业化发展仍然存在诸多现实瓶颈。目前中国农业产业化服务链条不完备，产业融合程度较低，带动能力较弱（王志刚、于滨铜，2019）；龙头企业资金短缺，贷款落实难度大（周月书等，2019）；

*本文研究系国家社会科学基金重大项目“食品安全社会共治与跨界合作机制研究”（编号：20&ZD116）和国家自然科学基金面上项目“食品安全城乡差距效应的测度、形成机理及其对消费行为的影响机制研究”（编号：71773136）的阶段性研究成果。本文通讯作者：王志刚。

契约不完整，定价不完善，农产品市场流通不畅（何宇鹏、武舜臣，2019）。特别是在全面推进乡村振兴战略的背景下，农产品国际竞争日益激烈，增加了农业发展的不确定因素。因此，实现农业稳定增长、农民持续增收，需要不断推进科技、人才、政策和组织等农业协同创新发展（赵庆等，2020）。

与此同时，以区块链为代表的新兴信息技术为农业协同创新发展提供了新的契机。2019年5月以来，国家十分重视区块链的普及发展和加速建设，并提出相应的顶层设计，加大推进政策支持。2019年5月，国务院印发的《数字乡村发展战略纲要》提出，推进农业数字化转型，打造科技农业、智慧农业、品牌农业^①。2019年10月，习近平指出，把区块链作为核心技术自主创新的重要突破口，加快推动区块链技术和产业创新发展^②。在此基础上，2020年1月，农业农村部印发《数字农业农村发展规划（2019-2025年）》，旨在加快推进农业农村生产经营精准化、管理服务智能化、乡村治理数字化^③；同年4月，国家发展和改革委员会首次明确将区块链纳入新基建范围，北京、深圳、安徽等多地政府相继出台了区块链发展行动规划。2021年3月，十四五规划和2035年远景目标纲要将区块链定位为新兴数字产业^④。以区块链为首的数字化驱动农业农村“换道超车”的时代正在到来。

区块链是一种由多种技术集成创新而成的分布式网络数据管理技术，其利用密码学技术和分布式共识协议保证网络传输与访问安全，实现数据多方维护、交叉验证、全网一致、不易篡改。区块链技术的出现极大提升了农业信息化水平，推动了数字经济和农村经济的深度融合^⑤。将其运用到食品安全的社会共治体系中，可以提高食品安全信息的透明度（付豪等，2019）；运用到农业运营管理中，可以加快构建数字农业创新商业模式，有利于促进中国现代农业从机械化、电气化到数字化、智能化的跨越（阮俊虎等，2020）。但是，已有文献并未充分考虑区块链技术在农业产业化发展领域的应用场景与功能特征以及区块链技术如何影响农业协同创新发展的管理机制，更未能深入区块链技术的引入对农产品供应链治理模式与福利效应的影响。

本文首先基于区块链功能特征，分析区块链技术在农业协同创新发展中的作用特点；其次，结合微观经济理论，构建生产组织、加工商和经销商三部门模型，将区块链技术引入农产品生产、流通过程，探讨如何改造农业流通体系，分析其具体的增效机理；再次，根据区块链对供应链的协同、管理以及金融赋能支持，分析区块链促进农业生产效率、农业市场效率提升和农业空间布局的优化过程，探索区块链赋能农业协同创新发展的管理机制；最后，对比分析种植、养殖和加工等4个不同产业的案例，探讨区块链助力农业协同创新发展的具体方式、效果和优势。

本文的边际贡献在于：一是基于区块链应用场景和功能特征，理论论证并进一步结合案例分析区块链技术对农产品供应链治理的经济效益，进而剖析区块链技术引入后农业产业的增效机理和福利效

^①参见 http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm。

^②参见 https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/ztzl/xhyshj/ldjh/202003/t20200302_1222079.html。

^③参见 http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tz/202001/t20200120_6336316.htm。

^④参见 http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm。

^⑤参见 <https://www.henan.gov.cn/2020/04-16/1318713.html>。

应，为乡村产业政策制定提供理论启示；二是厘清区块链技术引入如何促进农业协同创新发展的管理赋能机制，构建管理机制模型，从农业产业横向整合、纵向整合和空间整合三个角度分析其具体的赋能机制；三是结合来自种植业、养殖业、加工业的区块链技术应用前沿典型案例，进一步探讨实践中区块链技术引入之后的现实挑战与发展路径选择，阐述区块链技术如何实现生产者降本增收和农产品提质增效的经济机理。

二、文献回顾

（一）农业协同创新发展

创新是指在探索和创造经济活动（例如生产、运营和管理）中生产要素重新组合的过程（Fritsch, 2017）。农业创新则是指重组现有生产要素并引入新的生产要素以优化资源配置、提高农业整体生产率和农产品附加值的经济创新过程。现有文献对于农业创新的研究主要从制度创新、组织创新、科技创新和要素创新等角度开展了针对性的研究与论述（黄季焜, 2020; 朱鹏华、刘学侠, 2019; Zeng et al., 2019）。在当前中国农业现代化快速发展的新时期，需要依靠科技创新加快推进农业现代化，依靠人才创新为农业发展奠定牢固的基础，依靠政策创新来保障农业发展的良好环境，依靠组织创新构建新型农业经营体系（姜长云, 2015）。

据此，新时期中国农业创新可以分为科技创新、人才创新、政策创新和组织创新四类。首先，在科技创新方面，一是生物技术（张晓娟等, 2019）、精准农业技术（孙杰等, 2019）、农业环境污染控制和处理技术（王农等, 2020）等农场生产过程中采用的新技术、新设备推动了科技创新；二是电子商务、微信营销、直播带货等信息技术推动了科技创新。其次，在人才创新方面，在充分发挥好现有人才作用的基础之上，招揽专业人才，统筹专业设置和人才大类培养，前瞻布局数据科学与大数据技术等新兴专业，建设创新型人才队伍^①。再次，在政策创新方面，加强资源配置调节，不同产品产业和区域采取差别性调配政策，站在国际视角上进行政策创新，提升调控政策与管理体制的时效性和综合性（张红宇等, 2009）。最后，在组织创新方面，加强农业纵向一体化、横向一体化经营组织创新（王志刚、于滨铜, 2019），并加强正式或非正式制度创新，约束组织成员行为，减少机会主义行为，节约交易费用，提高组织治理效率。

（二）区块链技术及其特点

区块链是一种由集体共同参与维护、任一节点都有最新完整数据库的拷贝、节点间交易公开透明、传输访问使用不对称加密算法的技术，对等网络（P2P）、密码学算法和共识算法等决定其具有去中心化、分布式记账、开放透明、防篡改、匿名、自治、可编程、可追溯和智能合约等特性（Extance, 2017）。区块链按访问和管理权限分为公有链、私有链（联盟链）和侧链三种类型，它们去中心化程度各不相同。与此同时，区块链具有如下三大功能：所有节点拥有并可管理链上全部数据，使得交易在分布式共识系统中发生并被验证（邵奇峰等, 2018）；整个网络上的节点通过UTXO系统及签名算法来验证新

^①参见 https://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2019-05/21/nw.D110000gmrb_20190521_5-14.htm。

交易，由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据，实现数据处理、价值转移、资产管理等一系列智能合约功能，具有自动化和强制性；非对称加密算法、数字签名和散列函数等加密机制保证了区块链中数据块的完整性，确保交易的不可否认性（Dai et al., 2019），链上的每笔交易均附上历史时间戳，被高效、可核实和永久地记录（Chapron, 2017）。基于此，区块链工作原理可归结为分布式数据库、点对点传输、匿名与透明度、记录不可更改、计算逻辑五个方面。

云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术可以实现信息高效率传递。在现有的信息通信技术的基础上，区块链打造一个可信的基础网络措施，通过区块链式数据结构来验证与存储数据，采用分布式节点共识算法来生成和更新数据，利用密码学方式保证数据传输和访问的安全，解决多方合作、互信问题，达到提高效率和降低成本的目的（Farrugia et al., 2020）。目前，区块链技术已应用在金融业、农业、医疗、保险、物流、交通等多个产业之中（Abramova and Bohme, 2016）。在农业方面，区块链技术主要应用于农产品认证和追溯、产业链中的契约制度、供应链间通信和运营等方面（Ahmed and Broek, 2017）。总之，区块链通过去中心化、共识共享以及智能合约机制等完成价值传递，在农业领域催生了新的治理机制、组织形式和商业模式。

（三）区块链技术与农业创新发展

区块链是理论与多种技术的融合创新，其中一种或几种技术的融合应用便可形成区块链网络组织中的某种制度供给。针对区块链嵌入农业的研究主要涉及两个方面。首先，区块链技术加密算法、数据真实、信息共享等功能特点，可以有效改善传统农业中产品溯源难、交易成本高、上下游所签订的契约缺乏约束力、系统风险大等问题。有学者基于区块链的功能特征，设计了从农田到餐桌的大米全产业链质量全息数据库和安全管理溯源系统（陶启等，2018）。将区块链技术链接到供应链上，可以针对性地解决食品信息溯源中面临的问题，设计相应的食品信息溯源方案（肖程琳等，2018）。进一步地，印度尼西亚捕鱼业通过区块链技术实现产品可追溯，使消费者追踪到海产品的来源（Kshetri, 2018）；沃尔玛也运用区块链技术对其猪肉和芒果供应链进行食品溯源，实现其供应链管理中对于成本、质量、速度和风险的控制（Kamath, 2018）。

其次，区块链技术改造农业产业组织体系，可以促进农业产业化发展，为解决“三农”问题提供新机遇。例如，唐金成、李笑晨（2020）结合区块链技术构建智慧农险体系，设计了保险各个业务环节嵌合保险科技进行全流程优化和全流程智慧化的处理方案，解决了传统农险体系可能带来的产品错误信息问题。又如，在贵州省贵阳市正式上线的首个区块链精准扶贫项目，通过区块链平台记录贫困残障人员身份信息、帮贫助残服务信息和资金流向信息等，保证了系统数据的精准、安全以及扶贫资金的安全可控，防止弄虚作假、徇私舞弊等问题发生（杨明、郑晨光，2020）。由此可见，区块链引入传统的供应链可以提升农产品的透明度，降低公众信息搜集成本并帮助建立消费者对商品的信任，打破企业或政府对相关信息的垄断，实现监管信息的共享与开放，提高整个产业链信息透明度和即时反应能力。

（四）文献评述

综上所述，现有文献主要从概念、理论和应用场景等角度对区块链与农业产业化发展的关系进行

了分析，并奠定了一定的研究基础。但是，现有研究仍然存在如下不足：一是未能充分阐述区块链在农业产业经营和协同创新发展应用场景下的功能特点；二是区块链应用对提升农产品供应链的增效机理的阐述不够深入，缺乏经济学理论剖解；三是未能厘清对区块链赋能农业协同创新发展的管理机制；四是现有文献更多是定性的理论分析，缺少具体详实的案例补充说明。

三、功能特征

（一）系统分层架构，安全匿名去中心

目前，各国的做法是将信息和通信技术（ICT）应用于农业。最著名的是联合国粮食及农业组织（FAO）推动的“电子农业”倡议（E-Agriculture），类似的还有印度发起的“ESagu”、尼日利亚发起的“E-KOKARI”、孟加拉国发起的“E-Krishok”等。这些项目的共同特点是，依靠信息和通信技术使农业专家能够向受教育程度较低的农民提供农业信息和商业指导，让农民更科学、更可持续地利用现有资源。但这些项目累积的数据量非常庞大，会导致信息集中化问题（陈加友，2021）。例如，以太坊平台的区块链去中心化应用可以抵消信息通信技术带来的集中化问题，平台中各组织可以基于去中心化的强弱选择公有链、联盟链和私有链等不同类型链条，避免集中存储方案固有的黑客攻击、设备故障等因素所造成的数据损坏、数据恢复等问题（韩宁等，2021）。总之，区块链以链聚链、按需建域和分层治理的跨链体系架构可以融合上述异构的底层技术平台，打破上层行业应用边界，实现链间互联、互认、互信和互访等交互服务，推动链间纵横拓展、信息价值的跨链流通以及跨行业应用生态的深度融合，为价值互联网的发展提供基础架构。

（二）经营风险可控，共识认证防篡改

区块链提供了将复杂的、非常规数据标准化的方法，使评估信贷风险可以采用新的数据形式，从而改变了融资双方的信息结构，为中小企业融资困境提供了解决的新路径（宋华等，2021）。区块链能够避开银行或其他金融中介的监管，允许各方使用点对点系统直接相互转移资金，从而缓解股票市场的高频交易、卖空等问题（Nakamoto，2009）。区块链可以全程跟踪和管理交易，参与贸易的网络成员或节点可实时将信用证发放、货物装运、交易付款等事件记录上链，并向各网络节点广播复制，无需中介提供担保就可以规避买卖双方在履约、按时交货、按期付款和产品质量等方面的风险。区块链的分类账本还可以保证记录不被重复、篡改或造假，可确保各类相关信息的全面、公开和透明，无论消费者、供应商、贸易企业还是政府监管机构，都可以通过授权的区块链渠道跟踪货物信息，从而大大提升了参与贸易的各方之间的信任度（魏松杰，2021）。基于区块链的信任机制，可实现组织结构灵活组建，如银行可以跟踪所有公开透明的交易，不需要借助任何中介进行对账。这意味着交易不再需要托管行和代理行构成的网络，可以直接在区块链上完成结算。用户的资产可以直接托管在自己的钱包里，大幅降低了风控意识薄弱用户资产损失的风险。

（三）监管方式多样，透明高效可追溯

区块链去中心化或弱中心化的容错力与抗攻击力较强，使监管数据库不完全依赖于某一机构，数据的开放透明、流通共享扩大了监管主体，自治的监管对象、理性选择的消费者都会成为政府监管的

合作者，从而防止监管主体与监管对象产生合谋行为，减少寻租性腐败。监管信息的共享与开放可以降低公众信息搜集成本，打破企业或政府对相关信息的垄断，缓解信息不对称问题（赵振，2015）。此外，通过区块链传输的监管业务信息高度安全可靠，并能基于网络共识建立一个纯粹的、跨界的“利益无关”信任网络验证机制，避免政府社会性监管中相关平台数据造假和虚假宣传，最大限度地排除人为业务干扰，实现可信智能化执行，消除业务中间的冗余环节，最终形成扁平化、开放化、平等化的社会形态（赵丙镇，2021）。区块链多中心化联盟节点将不同的产品流通参与主体的信息数字化后，存储于区块链中，监管主体可以在区块链中查到每一个参与者的信息，保证信息真实透明。将原材料流通、产品生产过程以及商品流通和营销过程进行整合并写入区块链，利用其防篡改特性，可实现一物一码全流程正品追溯，形成跨境安全链（Ron and Shamir，2013）。链上信息能做到政府背书和实时监管，这一特点也便于数据的查询与追溯，弥补传统溯源的信息缺失、推卸责任、钻空子等缺陷，不仅有利于从源头上解决问题，还有助于监管过程中的责任认定。基于全网同步信息，通过“链上交互”联合开展监控分析和预警应对，使监管“跑”在风险前面，降低事故损失。

（四）组织互信共享，多方协作去边界

区块链技术将通过新的生产要素——数据，从原料供应、种植、养殖、加工、流通、质检、溯源、销售、消费、金融、品牌等环节全面赋能农业协同创新，跳出某些部门因掌握数据而拥有更多资源从而可能导致利益化破坏经济发展环境的局限，使数据库由全网节点共同维护（Nakamoto，2009）。任何部门都能接入区块链网络成为数据节点，每个节点会将有效的数据信息广播到相邻节点，相邻节点再广播到它们的相邻节点，以此类推，最终实现所有节点信息数据同步。掌管市场活动的主体不再仅有政府、产业组织和其他相关机构，还会增添农户、消费者等，打破了信息局部化、碎片化和间断化的数据管理状态。在企业层面，区块链技术的引入提高了企业面向管理者、员工、用户、外部监管者及其他利益相关者的信息透明度，暴露“注水”“虚假”数据，降低管理者决策行为的非理性程度，进而提高企业营销效率、改进生产流程、降低运营成本、优化管理决策。总之，区块链技术使得农业产业各部门信息公开、实时共享和安全透明，重构竞争模式，重组产业组织系统，推动实体经济与虚拟经济的跨界融合，赋能产业链条升级，最终完成产业升级转型和产业融合的过程（Iansiti and Lakhani，2017）。

在此基础上，本文构建区块链技术在农业协同创新发展中的功能特征和分类应用模型，如图1所示。首先，基于分布式账本、哈希算法、P2P网络等区块链基础层技术，将农产品产业链、供应链数据进行全新管理，形成去中心、防篡改、去边界、可追溯等信息管理特征；其次，进一步促进农产品供应链与产业链的知识共享、多方协作、智能合约和安全透明，从而实现自动执行、精准追责和高效管理，扩大了监管主体，降低了监管成本，建立了完全信任机制；最后，在信息技术和功能特征的基础上，各领域主体依据去中心化的强弱选择公有链、联盟链和私有链三种类型，共同建立一个防篡改、可追溯、公开透明和隐私性强的数据记录链，解决缺少信任通路的“拜占庭将军问题”和双重支付问题，提高了信息的真实性，从而进一步降低了金融服务门槛、信贷风险和企业交易成本，化解了供应链上下游之间的信任风险，从而促进农业产业链协同创新发展。

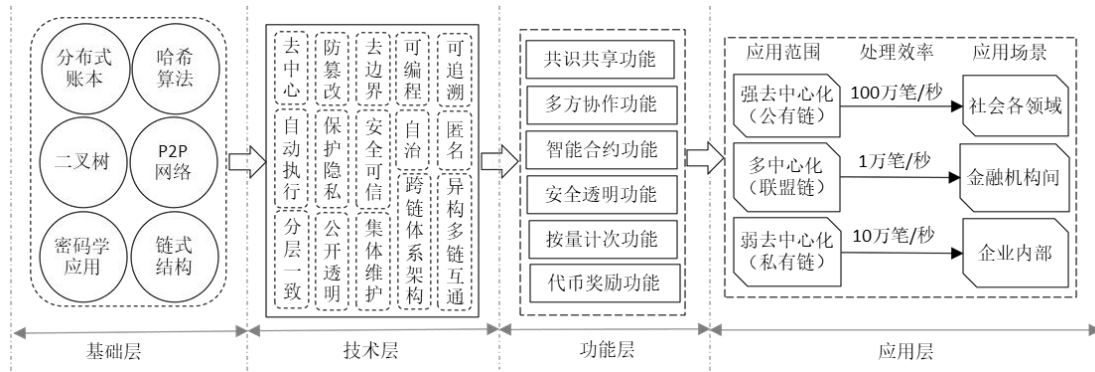


图1 区块链功能特征和分类应用

综上，公有链、联盟链和私有链等应用于社会各领域，使现实中更多资源可采取数字化的形式，破解信息通信技术应用的迟滞和成本困境，实现异构多链互通的跨链体系架构，进而促进农业产业能级和效率的提高。

四、增效机理

为了模拟农产品产业链中数据质量差的问题，本文构建生产组织、加工商和经销商三部门模型，进一步探析区块链技术应用在农产品供应链中的降本增效作用。假设一个农产品供应链在一个时期内销售特定产品，其产品市场需求是高度不确定的，且服从正态分布。农产品经销商 (r) 从加工商 (m) 处订购产品，成本为 c_r 。加工商从生产组织 (s) 订购原料，生产组织的生产成本为 c_s ，并以单价 p_s 向市场销售。加工商将以单位成本 c_m 加工农产品，以批发单价 p_m 将其提供给经销商，经销商以零售单价 p_r 向市场销售，并以净残值 v_r 将剩余产品进行收集和清算。

基于此，本文假设： $p_r > c_r \geq p_m > c_m \geq p_s > c_s > v_r$ ，农产品数量 q 由经销商决定，加工商以订做的方式做出反应并生产。本文在分析中假设消费者需求 x 遵循均值为 μ 和方差为 σ 的正态分布。如果数据质量较差，相应需求不确定，经销商则基于质量差的数据进行预测，需求方差 σ 将变大^①。因此，引入区块链技术后的需求分布则变成具有均值 μ 和标准差 σ^b 的正态分布，且 $\sigma^b < \sigma$ 。此外，引入区块链技术会产生一定的费用，本文假设引入区块链技术的设置成本为常数 G ，单位运营成本为常数 b 。于是，经销商的利润函数是一个标准的报贩问题^②，可以表示为：

^①本文使用需求波动性即需求标准差来捕捉数据质量问题，因为在农产品市场中，需求预测的准确性依赖于数据的质量，如果数据质量更好，预测将更为准确，需求波动性将更小。在供应链管理中，常见的做法是通过对市场信息进行分析处理以减少需求波动，改善初始需求预测（参见 Choi et al., 2018）。然而，如果市场信息即数据的质量较差，即使更新预测，需求波动性也不会大幅降低。

^②报贩问题 (newsvendor problem) 是指，决策者面临着对某产品的随机需求，而该产品在一个周期结束时就会过时，这样决策者必须决定该产品的库存数量，以便最大限度地实现预期销售利润。如果订货太多，期末就会积压库存；如果订货太少，销售就会损失。该问题的最优解是在库存不足和库存积压的预期成本之间取得平衡，选择预期利润最大化的订

$$\pi_r(q) = p_r \min(x, q) - (c_r + b)q + v_r \max(q - x, 0) - G \quad (1)$$

根据Schweitzer and Cachon (2000)的方法取其期望值, 得到经销商的期望利润函数为:

$$\Pi_r^B(q) = (p_r - v_r) \left[\mu - \sigma^B \Theta\left(\frac{q - \mu}{\sigma^B}\right) \right] - (p_r - c_r - b)q - G \quad (2)$$

(2)式中, $\Theta(\bullet)$ 为标准正态分布的右线性损失函数, $F(\bullet)$ 为标准正态累积分布函数。加工商按照经销商的订货量进行生产, 由此, 加工商的利润函数为: $\pi_m(q) = (p_m - c_m)q$, 其期望利润函数则为:

$$\Pi_m^B(q) = (p_m - c_m)q \quad (3)$$

生产组织也是根据订单模式运行, 其利润函数为: $\pi_s(q) = (p_s - c_s)q$, 其期望利润函数为:

$$\Pi_s^B(q) = (p_s - c_s)q \quad (4)$$

从(2)式可以看出, $\Pi_r^B(q)$ 是凹函数。于是对(2)式求解标准一阶条件, 得到最优订货量为: $q_r^{B*} = \mu + \sigma^B F^{-1}(s_r^B)$ 。其中, $s_r^B = (p_r - c_r - b) / (p_r - v_r)$, 表示当农产品经销商确定了库存订购量后可能达到的库存服务水平。于是, 在 q_r^{B*} 下农产品生产组织、加工商、经销商的最优期望利润分别为:

$$\Pi_s^B(q_r^{B*}) = (p_s - c_s) \left[\mu + \sigma^B F^{-1}(s_r^B) \right] \quad (5)$$

$$\Pi_m^B(q_r^{B*}) = (p_m - c_m) \left[\mu + \sigma^B F^{-1}(s_r^B) \right] \quad (6)$$

$$\Pi_r^B(q_r^{B*}) = \mu(c_r - v_r + b) - \sigma^B \left\{ (p_r - v_r) \Theta \left[F^{-1}(s_r^B) \right] - (p_r - c_r - b) F^{-1}(s_r^B) \right\} - G \quad (7)$$

将(5)、(6)和(7)式相加, 得到供应链在最优订货量 q_r^{B*} 时的预期利润, 表示为:

$$\Pi_{SC}^B(q_r^{B*}) = \mu A - \sigma^B B - G \quad (8)$$

(8)式中: $A = p_m + p_s + c_r - c_m - c_s - v_r + b$, $B = (p_r - v_r) \Theta \left[F^{-1}(s_r^B) \right] - (p_r - c_r - b) F^{-1}(s_r^B)$ 。

为了界定供应链创新的福利水平, 本文借鉴Choi and Luo (2019)的研究, 使用库存服务水平作为消费者福利指标, 将消费者福利 s_r^B 和库存积压的产品带来的损失成本 $V^B(q_r^{B*})$ 引入。其中, 在常规

单量。具体可以参考 Schweitzer and Cachon (2000)。

销售季节结束时，预期的产品剩余量 $V^B(\bullet)$ 对供应链创新福利产生负面影响。于是，供应链创新的福利函数定义为：

$$SW_{SC}^B(q_r^{B*}) = \Pi_{SC}^B(q_r^{B*}) - \Omega V^B(q_r^{B*}) + \eta s_r^B \quad (9)$$

(9) 式中： $V^B(\bullet)$ 是多元递增函数， $V^B(q_r^{B*}) = \sigma^B K(s_r^B)$ ，且 $K(s_r^B) = \Theta[F^{-1}(s_r^B)] + F^{-1}(s_r^B)$ 。将供应链利润的权重设置为1，消费者福利和损失成本的指标权重分别设置为正常数 Ω 和 η 。其中， Ω 为单位剩余农产品成本的权重， η 为单位库存服务水平的权重，SC为价值链。因此，根据上述分析，本文得出引入区块链技术有如下优势。

一是抑制数据质量差所导致的供应链创新福利负效应。由于 $\partial SW_{SC}^B(q_r^{B*}) / \partial \sigma^B < 0$ ，所以 $SW_{SC}^B(q_r^{B*})$ 是关于 σ^B 的减函数。在农产品生产过程中，需求波动 σ 是由数据质量所驱动的， σ 越大则数据质量越差，表明供应链创新福利随着需求波动增加呈下降趋势，从而导致供应链创新福利水平越低。对于供应链创新福利来说，如果数据质量较好或需求波动（即 σ^B ）足够小，即与产品剩余相关的加权损失成本足够小时，区块链引入有助于抑制数据质量差对于供应链创新福利水平所产生的负面影响。

二是提高供应链的整体利润水平。由于 $\partial \Pi_{SC}^B(q_r^{B*}) / \partial \sigma^B < 0$ ，所以 $\Pi_{SC}^B(q_r^{B*})$ 是关于 σ^B 的减函数。这表明，需求波动 σ 较大时会损害供应链的利润，表现为需求波动性增加，数据质量较差，对供应链利润的边际负面影响明显。因此，引入区块链技术后，即 $\sigma^B < \sigma$ 时， σ^B 带来了较小的波动，企业可以更快速、更准确地预测到消费者的实际需求，这对供应链利润产生正面影响。同时，引入区块链技术还可以减少预期产品剩余量，降低供应链成本。总之，当使用区块链的需求波动足够小或实施区块链技术的固定成本低于某个阈值时，供应链利润将随着区块链的实施而提高，进而促进供应链向更颗粒化、更简短、更网格化的结构转变。

三是提高经销商利润水平。借鉴王志刚(2009)的研究，假设在农产品市场中，经营一种农产品 X ，如图2所示： AC_0 为经销商交易产品 X 的平均生产运输成本曲线； AC_1 为经销商为减少 X 的需求波动 σ 花费的平均信息成本曲线； AC_2 为引入区块链技术后的生产经营成本曲线； MC 是由 AC_2 所派生的边际成本曲线； MR 是由需求曲线派生出的边际收益曲线。本文将供应链中所有的经销商看作一个整体，分析区块链引入前后的整体收益情况。

引入区块链技术前，由于信息不对称等因素，交易价格由市场需求曲线 D 和供给曲线 S 相交的均衡点 E 决定，完全竞争市场中的经销商和消费者都是市场价格的接受者，均衡数量和均衡价格分别为 Q_0 和 P_0 。为简化起见，假设在 EQ_0 上截取 TQ_0 ，使得 $TQ_0 = EE_0$ ，此时， TH 即为经销商从每单位农产品 X 上获得的利润， TH 乘以交易数量 OQ_0 ，即可得到区块链引入前经销商收益水平的总利润，即图中面积 $S_{P_0THQ_0}$ 。

引入区块链技术后，信息公开透明共享，经销商经营边际收益等于边际成本时的产品数量 B ，商品质量得到保证且实现经销商利润最大化。且农产品市场由“柠檬市场”变化为信息近似完全对称的

市场，因而低质农产品的生产数量得到一定控制；同时，市场对优质农产品存在较大需求。由此，假设低质农产品生产的削减数量远低于优质农产品的供给数量，即 $OQ_1 > Q_1Q_0$ ；且区块链信息可追溯机制进一步改善了农产品的质量识别，使得优质农产品能够获得较高的市场溢价，即价格与成本之间的差价相对高于传统市场模式下的差价，即存在： $P_3P_4 > P_6P_8$ 。此时， Q_1 和 P_4 为均衡交易量和均衡价格，面积 $S_{P_4FCP_3}$ 即为区块链引入后经销商整体的收益水平。

最后，比较面积 $S_{P_6THR_8}$ 和 $S_{P_4FCP_3}$ 的大小。由上文分析可知，前者小于面积后者。由此可以认为，供应链引入区块链技术后可以提高经销商的整体利润水平。综上，当区块链设置成本较小（即 $G < S_{P_6THR_8}$ ）且有较低需求波动（即 $\sigma^B < \sigma$ ）时，引入区块链技术将有助于提高经销商的整体收益水平。

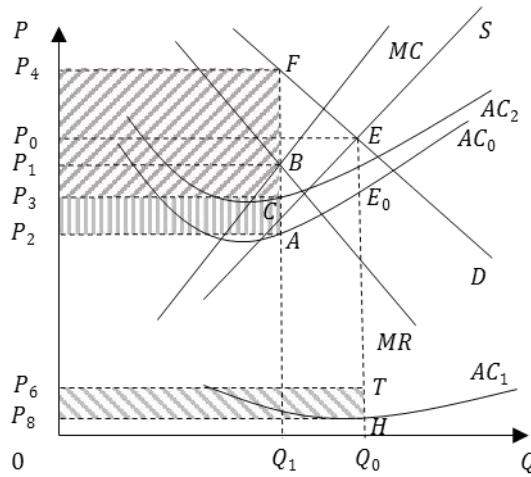


图2 增效机理分析

五、管理机制

区块链技术具有信息透明安全、数据真实防篡改、信息与凭证可追溯、智能合约等特征，与农产品产业链发展需求存在多重耦合，有助于解决农产品流通、产业链管理及区域化发展中的痛点问题。

（一）打破信息不对称壁垒，提高产业管理效率

传统企业在需求预测、订货批量、库存决策等方面常存在博弈行为，环境因素扰动造成信息误差现象，容易因逆向选择问题而发生劣质资源整合，“牛鞭效应”严重（魏翼飞等，2019）。引入区块链技术后，企业可以依托传感器、移动智能终端及应用软件，实现信息的即时收集与分析，使企业间信息实时数据化并通过网状化形式进行传播。区块链技术的引入使原材料及中间产品的实时状态可控，消除信息延迟从而抑制信息传递的方差变异，提高交易稳定性。供应链各相关组织可利用流向自己的需求面信息，独立并同步地挖掘新价值，且能够独立地依据消费者需求信息而与其他企业进行合作；引领型企业能实时地在各活动中与所有相关者进行整体性协调；农户或供应链上游个体可以依托准确的信息来调整农产品的生产和销售（Chen et al., 2020）。具体而言，区块链技术帮助引领型企业连接

各类供应商，基于互联网形成企业间知识流互换和知识联结体系，“端对端”共享式的信息集成极大地强化了网络效应，企业在虚拟空间聚集进而积累信息、扩散知识，发挥知识聚合和溢出效应。区块链技术减少信息不对称而抑制机会主义，引领型企业基于该技术与大量供应商发生互动，由信息聚集而产生更大范围的学习行为并引入多样化知识，知识的长期积累成为了由“连接”形成的“彭罗斯租金”（赵振，2015）。这种超大规模组织间的协作所带来多样化知识的组合本身就能产生新知识，并触发报酬递增，进而提高供应链绩效与供应链创新福利水平。

（二）推动产业横向整合，提升农业生产效率

基于区块链技术去中心化、去边界化、打破信息孤岛等特点，构建种养农户、合作社、龙头企业、研发机构等各类农业产业横向主体“去中心化”信息沟通平台，促进这些横向主体间的高效沟通、职责整合和精细化分工，实现横向主体生产最优和扁平化管理，进而提升农业生产效率与资源配置效率。具体而言，区块链协作机制的加入优化了原有的博弈机制，缩短了农业产业组织内部信息传递周期，提高同类主体间生产的灵活性和可控性，降低传统重复、无效或低效的交易频率及其可能造成的交易成本和风险损失，保证系统向帕累托最优方向演化（Wong et al., 2019）。区块链的共识共享机制完善了农业产业链组织框架的搭建，有助于建立有效的市场竞争秩序，使垄断与竞争达到均衡状态，破解了“马歇尔冲突”困境，有效地发挥规模经济的作用。此外，安全透明机制和共识机制保障数据在农业产业横向链条中的标准化存储和传递，有利于供应链上下游向合作方向演化。这种横向整合可降低横向主体间的关联风险并提升主体间的可协调性，各主体将更多地依靠关系整合来配置资源，把原本基于市场价格机制的资源配置转变为主体间内部市场的资源配置。主体间通过背靠背竞争，促使分工高度模块化，促进互补性资产的流动性和多样化显著提升（孙忠富等，2019）。此外，共识共享机制、多方协作机制、安全透明机制的引入有利于减少管理层级、提升管理效率，从而促进产业主体组织化、管理规范化发展，带动横向产业整体利益的提升。

（三）推进产业纵向整合，提高农业市场效率

基于区块链技术可伸缩、可扩展、开放透明等特点，更高的技术禀赋将打破科层制管理的沟通壁垒，加快行业组织权力下放进程。这使得同一产业链上下游主体均在同一个平台工作，无论自上而下的目标还是自下而上的能动，各主体都能在第一时间知道发起者的态度或指示。政府的技术标准贯穿于整个产业生态系统，从而在产业上下游主体间确定交易秩序。同时，上下游主体的能动作用越强，下游主体越容易对参与者进行协调甚至控制，体现科层制命令特征（张建标等，2021）。具体而言，在农业纵向产业链中，信任机制、声誉机制将社会资本、信任、声誉等要素在区块链环境下形成数据形态的真实量化，构成参与主体的数据资产和信用积分，实现无衰减传递和公平公正交易，解决了传统农业产业链的非正式制度随着农业产业链的延伸和主体中成员规模的扩大而出现效用降低的现状，并改善了产业链中契约不完整、产权不清晰、交易成本难量化等问题，提高了产业链中各主体的市场效率，保证农业产业组织资产在区块链网络中确权且交易数据真实、可靠（何蒲等，2017）。区块链的智能合约机制降低了农业产业组织间的契约执行成本，形成了有效的监督和惩罚机制，有利于减少组织间的机会主义收益，减少人为操作风险和违约风险，保障了农户等弱势群体与组织契约的互惠与信任，

有利于各组织相互促进、共同发展，进一步提升农业产业组织化程度和提高农业市场效率。

（四）促进产业空间整合，激励农业创新发展

区块链技术将农业遥感数据、农业网络数据和农业市场数据等信息上链，分布式计算集群使信息来源自动生成和组合，生成层次更高、价值更大的综合信息。在此基础上，各产业链链主企业依托数据而成为中间协调的角色，分析各地区自然资源、生态环境、政策导向、社会经济等农业基础条件，为其他各类主体提供整合思路和关系适配，协助其分析和优化供应方案，并通过关键环节的控制实现分散采购、离散生产和各种“流”的无缝连接，发挥规模经济与集聚经济的降本功能（李阳、于滨铜，2020）。这可以使得原本分散的制造能力相聚合，从而整合区域产业资源，合理配置农业生产力，充分利用区域资源禀赋优势、发挥规模经济与集聚经济的降本增效功能。同时，区块链技术使链主企业技术标准的辐射性更强，而具有极强的外部性，链主企业容易吸引新主体的参与，使链主企业能通过组合资源而跨越经验曲线和实现规模经济。开放的技术标准在按量计费、代币奖励等机制的推动下将成为网络运行的界面规则，链主企业则依此对各参与者进行协调从而实现产业链的控制。此外，这些具有强力领导地位的链主企业还会培育和壮大农村的新产业、新业态，并谨慎地选择产业参与者，以控制产业生态系统的有序发展和防止机会主义、逆向选择等问题的发生。链主企业通过行业合作和产业学习的领导机制，从战略角度规划各地区农业发展的空间布局，实现价值创造和成本节约，提高农业质量效益和农业产业化水平，推动当地农业产业竞争力提升，促进农业产业协同创新与融合发展（于滨铜等，2021）。

（五）区块链赋能管理机制评述

综上所述，本文以区块链技术促进农业产业发展横向整合、纵向整合和空间整合为立足点，构建区块链赋能农业协同创新发展的管理机制，如图3所示。

首先，农业产业横向整合通过创造生产绩效改善价值创造效应，促进农业协同创新发展。同行业内经营主体依托区块链去中心化、打破信息孤岛、信息开放透明等功能优势，缩短了农业产业组织传递周期，提高同类主体间生产协作的灵活性和可控性，降低传统重复、无效或低效的交易频率及其可能造成的交易成本和风险损失。在此基础上，基于区块链的农业产业横向整合促进了分工高度专业化、模块化，进一步提升了农业生产效率与资源配置效率。

其次，农业产业纵向整合通过创造市场效率改善价值创造效应，促进农业协同创新发展。产业链经营主体基于区块链匿名性、自治性、可追溯和自动执行等功能特征，进一步在产业链上下游之间建立信任机制、声誉机制、智能合约机制，破解了产业链中契约不完整、产权不清晰、交易风险高等问题，进一步提升了农业产业组织化程度，提高了农产品市场经营效率。

最后，农业产业空间整合通过创造空间绩效改善价值创造效应，促进农业产业创新发展。基于分布式记账、分层架构等功能以及按量计费、代币奖励等机制，链主企业对各产业参与者进行有效协调和有序管理，防止机会主义、逆向选择等问题的发生，从而推动当地农业产业有序发展，提高区域产业的整体竞争力。同时，将区块链技术引入区域内的供应链管理，可以打破区域内供应链信息传递的“牛鞭效应”，改善信息延迟和数据质量问题，实现信息实时共享、聚合扩散，发挥知识的聚合效应和

溢出效应，提升区域内供应链各主体的整体福利水平。

由此，基于区块链的“区块链+区域化”管理机制促进了农业产业发展的区域化整合。在此基础上，横向整合、纵向整合和空间整合相互嵌入、相互促进，进一步提高农业产业发展的协同效应和创新效应。

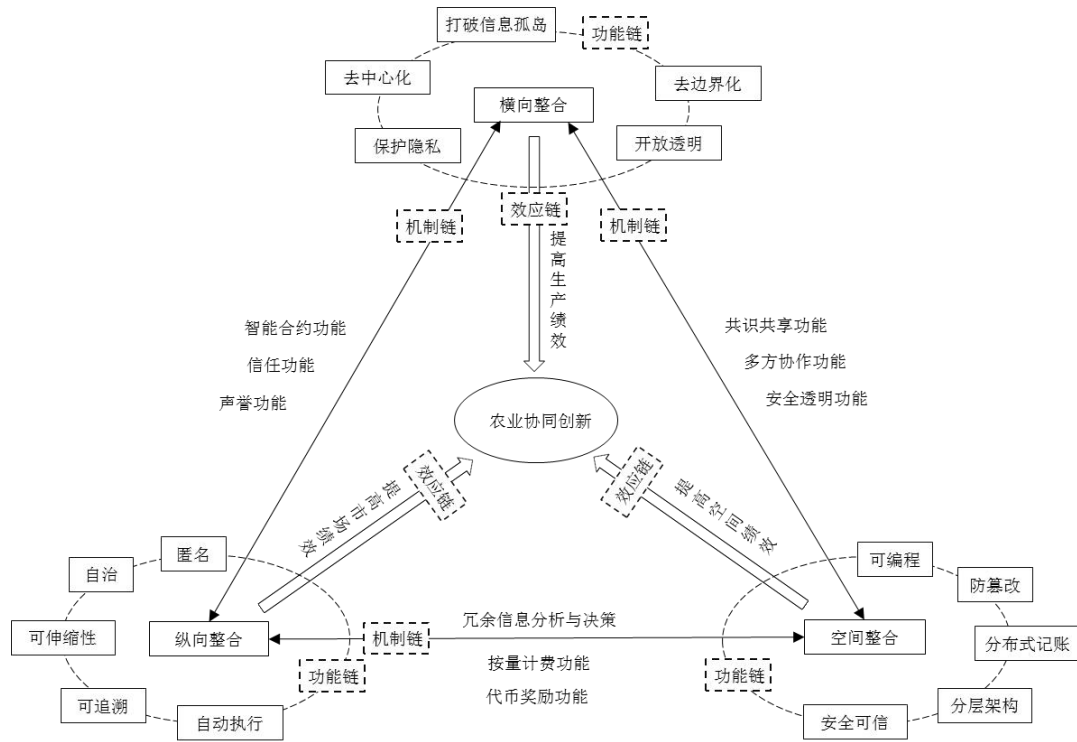


图3 区块链赋能农业协同创新发展的管理机制

六、案例分析

为验证上述理论分析，考察区块链技术应用在现实农业协同创新发展中的功能特征和赋能机制，本文选取4个涵盖种植业、养殖业和加工业的典型案例分析，剖析区块链技术引入前后对农业协同创新发展与绩效的影响。

(一) 区块链引入前：常规化管理阶段

1. 案例基本概况。(1) 粮食公司案例：黑龙江北大荒农业股份有限公司。该公司地处全球三大黑土区之一的自然保护区内，下属9个分公司，104个农牧场，经营土地总面积543.9万公顷，现有资产总额超过500亿元，全口径年销售收入达268亿元，农场职工家庭人均纯收入达5.6万元。该公司建起了中国耕地规模最大、机械化程度最高的国有农场群，是全国最大的商品粮生产基地。公司经营管理体制运行良好，金融支持体系稳固，劳动用工体系规范，采取“大农场统筹小农场”的发展支持体系。

(2) 茶油企业案例：兴国红土地生态农业开发有限公司。该公司位于江西省兴国县，是深圳市长征源生物科技有限公司的下属子公司之一，总资产3.3亿元，国家发明专利与实用新型专利技术45项，

主要经营山茶油的生产和销售，并已初步建立起相对完善的营销网络。该公司依托江西省兴国县丰富的茶油资源，走“公司+合作社+基地+农户+文旅”的产业化经营模式，是集油茶种植、深加工及销售于一体的大型企业。公司现拥有流转山茶林基地面积1万亩左右，总带动周边经营主体山茶林基地经营面积达10万亩。

(3) 茶叶行业案例：云南普洱茶行业。普洱茶行业采取生产商和经销商两级供应链运营模式，主要由分布在云南省11个地州600多个乡镇的大、小茶厂和经销商构成。

(4) 家禽合作社案例：华源禽业专业合作社。该合作社地处江苏省靖江市生祠镇新生村，2007年刚成立时主要养殖蛋鸡，规模近5万只，每日产蛋量可达5000斤。合作社采取“农户+合作社”的产业化经营模式，由农户负责家禽生产，合作社统一组织收购和对接市场销售。2011年，该合作社被评为市级“五好”农民专业合作社，基地内养殖蛋鸡增加至三万余只，辐射带动周边100多户农户。养殖过程中，合作社负责统一购买鸡苗、饲料，统一收购，带动合作社成员户均增收4500元左右，比未参加合作社的农户增收20%以上。

上述4则案例均是粮食、茶油、茶叶以及养殖业信息化建设相对先进的发展案例。在引入区块链技术之前，4个案例所在地的区域经济一体化基本形成，地理条件相对优越，产业集群规模较大，企业集中。同时，市场规模较大，经营产品丰富，在国内外均有较高的影响力。公路、铁路、机场等“硬件”基础设施建设以及信息、网络等“软件”的互联、互通不断完善。

2.经营举措与发展瓶颈。4个案例均高度重视农业可持续发展。首先，黑龙江北大荒农业股份有限公司有计划、有目标、有标准地降低化肥和农药的施用量，改变生产资料投入品结构，高效利用农业废弃物，逐步改良土壤、提升农产品品质。其次，江西兴国红土地生态农业开发有限公司结合地方特色制定具体规划，统一协调，严格落实具体措施、规范生产技术，建立山茶油产加销链条，积极培育壮大农产品加工与物流、休闲观光旅游、创意农业等新产业新业态，实施品牌培育与市场开拓工程，促进农业产业内部由单一生产向产前和产后拓展。再次，云南众多普洱茶企业在长期探索下已建立起相对成熟的行业规范、管理体制和经营机制，并建成一批稳定可靠的大型茶叶生产加工基地，基础设施和公共服务进一步健全，农场社区服务功能持续完善。最后，江苏靖江市华源禽业专业合作社紧紧迎合市场对农产品的绿色需求，转变农牧业发展思路，积极推进农牧业转型升级，发展大健康产业和高效农业，并辐射带动周边偏远山区农民进行生态养殖。区块链引入之前，4个案例的基础设施建设、农业产业化经营水平、农业综合生产能力、农产品质量安全、农产品商品率等都取得一定发展并不断提高。

但是，上述案例中，农产品的生产经营者、管理者（代理人、委托人）、消费者、政府监管等均存在质量安全方面的信息不对称，造成信息优势方（生产者、经营者）的道德风险行为，也导致信息劣势方（消费者）的逆向选择行为。而政府对农产品质量安全难以实施完全监管，市场的逆向选择行为和生产者的道德风险行为一直阻碍着高质量农产品市场的进一步发育。各地不同的农产品市场准入制度也在一定程度上阻滞高质量农产品的异地认证，致使企业发展艰难，种植户受损严重，消费者信任下降，进一步导致了产业发展脱节等一系列问题的不断显现。

例如，云南普洱茶企业依托云南生态资源优势，全力发展茶产业，大多企业已发展成为涵盖茶叶种植、生产、科研和销售为一体的综合性茶业企业。但是，产业上下游信息不对称以及溯源信息缺乏，使得普洱茶投入品供给、茶叶基地、茶农采摘鲜叶质量、环境防疫体系、茶叶加工生产以及销售环节等存在安全隐患，产品争议以及消费者投诉现象时有发生。与此同时，信息不对称问题使得高质量农产品市场扩张也步履维艰。例如，江苏靖江市的华源禽业专业合作社组织社员农户采取严格的标准化、规范化和生态化的养殖方式，但其在市场中所获得的产品溢价并不高，其所占据的市场份额较小，以至于其任何行为都无法影响到市场，更没有能力说服消费者相信其产品的内在质量。在长期缺乏激励约束机制的情况下，生产者可能会追求利润最大化，尽量降低生产成本而使得农产品质量不达标。另外，管理者的寻租行为也可能导致农产品质量安全漏洞。

（二）区块链引入后：信息化管理阶段

1. 区块链在现实中的应用场景与功能特征。2017年以来，伴随信息技术的不断发展，区块链技术的引入为建立追溯系统、健全管理机制带来极大的便利，为农业协同创新发展带来新的契机。上述案例中，农业产业经营主体在政府财政资金的引导和支持下，自发进行项目研究，开展了区块链技术应用农业协同创新发展项目。

首先，2017年4月，黑龙江北大荒农业股份有限公司与江苏中南建设集团合资成立善粮味道农场，采用区块链技术打造“平台+基地+农户”模式。其次，2018年4月，纪元控股集团投资长征源生物科技有限公司“油链”2000万元，共同打造全球首个“区块链技术+山茶油溯源”产销平台（简称“山茶油产销平台”）。其中，由利安达会计师事务所提供记账区块链服务，长征源公司则以江西兴国十万亩油茶基地为中心，开设品牌防伪溯源、场景应用、区块链打造、供应链创新、智慧行销等项目建设。再次，2018年6月，靖江市华源禽业专业合作社、众安科技、靖江市生祠镇政府以及连陌科技联合成立了全国首个区块链养鸡扶贫基地（简称“步步鸡农场”）。其中，由众安科技、连陌科技提供区块链技术，华源禽业合作社建立数字化肉禽养殖基地，再由杭州沃朴公司提供物联网智能设备和防伪技术。最后，2019年12月，云南易见纹语科技公司利用“人工智能+区块链”技术打造普洱茶行业可信可追溯体系（简称“茶纹链”）。茶纹链一方面建立了产品质量追溯体系，另一方面为产业金融提供了风控能力。

引入区块链技术后，4个案例利用智能合约功能使得种植户、加工商、经销商、消费者等的数据都同步记账，保证数据实时、真实且防止篡改，为各利益相关方提供完整透明的信息，利用相互之间的利益不相容机制来制约部分主体利益趋同下的一致行动导致整体利益受损的风险，健全公平交易的多元监督机制。具体而言，按照智能合约生产达标的农户在获得原产品买卖收益的同时，将按比例获得更高的零售返利，一旦农户作弊则拒绝收其农产品。这样不仅从源头上杜绝农户作弊的行为，而且避免某一环节经营主体利益趋同下的集体行动给其他部门带来风险，解决采购商与农户的合作关系不稳定、产业链竞争力弱等问题。同时，区块链技术的嵌入保证了农产品生产、加工、流通和消费等流程的全透明，使信任在消费者与农户、企业间无衰减传递，使生产良好地匹配需求，有助于解决农产品供需不平衡问题。这最终使得市场不确定性可控，各产业链主体合作关系更加稳定，从而促进农业协同创新发展。

2. 区块链管理供应链中的信息机理与降本增效。上述案例在引入供应链技术后，供应链管理模式和交易机制均发生了重要的完善与变革，极大地增加了农产品经营各环节之间的信息对称程度，带来了供应链整体经营的降本增效。首先，善粮味道农场将1296万亩黑土地实行数字化管理，共拆解1639个业务节点，覆盖1477个地块，每地块有17个数字化属性。农户负责产品种植和田间管理，农场提供种植标准和技术指导，并将数据上链和交叉检验，确保种植端透明，杜绝农户作弊行为，强化管理体制。生产达标的农户在获得原粮买卖收益的同时，将按比例获得更高的零售返利。该农场带动了3万多农户、40余万工人，提高了农产品生产效率。其次，区块链的山茶油产销平台成立了专业油茶技术指导团队，进而激励数字人才下乡投资与服务，使得农村劳动力结构优化；企业间通过平台共享信息加强合作，提升供应链管理水平。2019年，该平台帮扶江西油茶系列产品销售数千万元，持续带动当地农民创业创收。再次，步步鸡农场为农户提供鸡只生产方案和标准指导，将鸡只脚环采集的数据实时同步上链并通过区块链进行流转，打破鸡只供应链信息壁垒。2020年，该农场销量达2000万只，平均售价238元/只，单价约100元/斤，为当地农户增收2000万元。最后，茶纹链的“区块链+AI”普洱茶溯源防伪系统，实现了普洱茶全生命周期信息管理。2020年底，该平台引入大中小型茶企70家，可溯源普洱茶数量140万饼，推动云南11个地州600多个乡镇上万家茶厂企业疫后复工复产，带动涉茶人口接近1100万。

基于此，生产主体将农产品生产、流通、分选加工、销售过程采集的数据实施实时同步上链，所有信息都通过区块链进行流转，并通过共识算法保证信息不可篡改。生产过程的所有数据全部上传到分布式账本存储，形成不可篡改的账本内容。针对每种农产品的特性，形成相对应的防伪标志。例如，步步鸡农场的鸡只在送到消费者手上之前如果脚环上的防伪标识被撕毁，数据就立即无效；对于普洱茶压制过程中产生的随机纹理，消费者通过人工智能图像采集和产品信息查询匹配，最终可以得到茶饼的唯一编码、数字证书等信息。这不仅实现了防伪溯源，而且不需要增加额外信息费用，降低了溯源成本，解决了传统追溯体系所存在的单一公司个体行为导致公信力弱等问题，确保了平台上的商品均是被区块链标记了时间戳、地理戳、品质戳的“放心农产品”。消费者可以通过产品防伪溯源APP查询农产品的所有记录，从而实现数据信息的可信、互联和共享，而且数据信息全程可溯、清晰留痕、安全一致、不易篡改。区块链的使用还可以建立消费者信任，增强产品服务能力和用户粘性，进而促进了农业产业服务升级，提高了农产品供应链的整体经营能力，实现了供应链的降本增效。

3. 区块链赋能农业协同创新发展的现实机制。首先，善粮味道农场结合区块链打造“平台+基地+农户”模式，实行农业数字化管理。农场利用大数据进行产前精准预测、产中实时管理和产后高效销售。农场基于区块链成立的善粮金融平台，全程跟踪和管理交易，避开银行或其他金融中介，允许各方使用点对点系统直接相互转移资金，为农户提供小额贷款、支付结算、农业保险等新金融服务。其次，山茶油产销平台将茶果生产、流通与营销过程进行整合并写入区块链，利用其防篡改的特性实现全流程正品追溯，弥补传统溯源的信息缺失、推卸责任和“钻空子”等缺陷，并联合“链上交互”开展监控分析和预警应对，激发产业纵深发展。再次，步步鸡农场与养殖农户签订智能合约，并使用区块链复杂的、非常规数据标准化的方法，将鸡只的年龄、养殖基地、计步信息、周围环境的空气污染

指数、饮用水的质量、屠宰时间等所有信息都记录在脚环上，实现整个生产链的防伪溯源。最后，茶纹链系统包含茶纹云、纹录仪、纹之语小程序、茶企助手四个部分，将普洱茶茶饼独特的纹路特征记录为数字身份证并上链，二码合一确保茶饼实物与数字信息唯一对应，而且不需要增加额外成本。

基于此，区块链赋能农业协同创新发展的现实管理机制大致包含两个方面。一是基于供应链的农产品流通方面，农业产业交易中的社会资本、信任、声誉在区块链价值网络上形成可量化、可传递、可变现的数据形态体系。数据形态的专用性资产在区块链网络上自由流动、价值传递等特点突破了原有农业专用性资产在地域上和交易上的局限性，生产要素的流通效率大幅提高、流动成本大幅降低；加上现有的物联网设备远程实时监控，共同改造流通加工链中的每一个风险环节，消费者可实时跟踪每件商品的动态，参与主体被套牢的风险也大幅降低。二是在农业产业监管治理和诚信构建方面，区块链技术的应用将人的信任变为机器的信任，增加制度供给，实现去中心化，解决信息不对称、农产品可追溯性差等问题。这改变了融资双方的信息结构，为中小企业融资困境提供新路径，重塑股票市场，允许各方使用点对点系统直接相互转移资金，从而缓解股票市场的高频交易、卖空等问题。在此基础上，加快农业数字化发展，重组产业组织系统，升级产业链条，从而进一步促进农业企业的横向整合、纵向融合以及农业发展的区域协同，最终促进农业协同创新发展。

4. 案例比较分析。本文进一步对上述代表性案例进行区块链引入后的组织形态、功能特征、增效机理和赋能机制的比较分析。首先，在组织形态方面，区块链的引入改变了各主体的组织方式，可以在农业产业链中不同类型新型农业经营主体的生产交易管理、农产品溯源、金融保险、市场组织等不同环节以及相关部门的认证监管中发挥作用。其次，在功能特征方面，各经营主体基于跨链体系架构实现了链间交互服务，推动了链间纵横拓展、信息价值跨链流通和跨行业应用深度融合，非常规数据标准化提高了融资双方的信息互认互访，联合“链上交互”的监控分析和预警应对降低了监管风险和事故损失，使得金融风险可控、主体间互信共享、监管便捷高效，从而推动实体经济与虚拟经济的跨界融合。再次，在增效机理方面，农业产业链中交易的社会资本、信任、声誉在区块链价值网络上形成可量化、可传递、可变现的数据形态信用体系，并在企业、农户与消费者间无衰减传递，提高了链上主体的数据质量，使得需求主导生产，市场不确定性可控，进而提高了要素流通效率，提升了农业市场运营效率。最后，在赋能机制方面，去中心化、打破信息孤岛等功能提升了横向主体间生产的灵活性和可控性，促使分工高度模块化，提升了农业生产效率与资源配置效率；信任、声誉和智能合约机制破解了产业链纵向整合中契约不完整、产权不清晰、交易成本难量化等问题，提升了农业产业组织化程度，提高了农业市场效率；链主企业基于大数据优化区域资源配置，发挥了规模经济与集聚经济的降本增效功能，使得产业链各个环节更好地节约交易成本，提升了农业产业链整体的管理效率。

综上分析，实行“区块链+”战略，将经营行为数据化，可拓展应用于农业生产、农资农技服务、农产品加工流通、市场营销渠道、金融保险服务以及消费者食品溯源等环节，以实现农业各组织的可信、协作和互联，大幅降低信息流通成本，降低能耗、物耗与维护费用，通过技术赋能实现降本增效。具体而言，引入区块链技术有如下三个方面的优势。一是农民通过区块链与销售商拟定智能合约的方式，能够立即获得全额或部分的付款，免受违约或者市场压力等风险，减少交易成本和逆向选择风险，

节约各个环节的交易成本，实现农民降本增收。二是企业、合作社等新型农业经营主体通过农业全产业链实时在线的可信数据，凭借更高质量的数据做出决策，降低预测误差，优化资源配置，实现一物一码全流程追溯，链上信息能做到政府背书、实时监管和预警应对，进而提高供应链绩效和供应链创新福利。新的数据形式改变了融资双方的信息结构，降低了中小企业融资评估信贷风险。三是链主企业依托数据而成为中间协调的角色，整合区域产业资源，合理配置农业生产力，吸引新主体参与，从战略角度规划企业发展模式，实现价值创造和成本节约，提高农业质量效益和农业产业化水平。

七、结论与政策启示

（一）结论

本文梳理了区块链技术在农业协同创新发展领域应用的功能特征，构建了农产品供应链信息化报贩模型，剖析了区块链赋能农业协同创新发展的增效机理与管理机制，最后结合来自种植业、养殖业和加工业的4个典型案例进行了具体的分析。本文得出如下主要结论。

首先，区块链引入完善了农业产业链合作、信息与金融机制，极大推动了农业产业化发展。链上交易可溯源和防篡改等特性使人、企业和物之间因“连接”而相互信任，形成摩擦减少、成本降低的组织形态和商业模式。非对称加密等功能对金融、融资租赁和二手交易服务进行保护和升级，增强了产品服务能力、用户粘性和生态粘性。“区块链+区域化”的生产交易方式推动了农业产业化发展。

其次，区块链技术完善了农产品流通的数据质量和价值传递，有效提升了农业供应链的多边福利。引入区块链技术能提高生产过程的柔性智能化水平，降低企业市场的预测误差，消除由于可追溯性差造成的产品错误信息等问题，提高整个产业链的信息透明度和及时反应能力，帮助建立起消费者的信任。供应链管理随着数据质量提高而得到改善，促进供应链组织各生产环节效率的提高，上下游主体可以使用更高质量的数据来做决策。

再次，区块链技术推进了农业产业横向整合、纵向整合和空间整合，促进了农产品生产的降本增效并提高其市场表现。嵌入了区块链后，各组织可以充分分析内部环节的各类数据，有助于提高组织内部的生产效率。多主体供应链的确权、协调和管理，具有组织内部的生产效率高、交易成本低等多方面的优势，进而提高农业市场效率。根据综合信息整合区域产业资源，促进规模经济与集聚经济的降本增效，优化农业产业区域布局。

最后，4个案例引入区块链技术后，变革了其分工结构和流通方式，提高了各主体绩效和福利水平。引入区块链技术后，案例企业实现了设计、生产、加工、流通等数据互联，内部结构分工更加清晰明确，农产品流通方式更加顺畅完备，追溯、监管更加智能化和现代化，进而稳定了主体或农户的销售收益，提高了主体绩效和农户福利，从而实现整个产业增值和推动农业协同创新发展。

（二）政策启示

基于上述结论，本文提出以下四点政策启示。

第一，加快构建农业多主体合作联动机制，推动“供应链+区块链”建设。政府应借助区块链、物联网、人工智能等数字技术，联合各界的新型农业经营主体、农业服务专家智库和新型农业社会化

服务机构等，构建紧密和稳定的“信息共享、优势互补、风险共担”新型组织联盟，提高新型农业经营主体与区块链数字平台的整体效能和合作积极性，培育农业多主体合作联动的良性发展机制，推动“供应链+区块链”的新产业链建设。

第二，积极发挥数字治理效能，改善中低技能劳动者福利水平。从微观方面看，以个人为主体的中低技能劳动者应该积极提高自身区块链技术认知水平，参加各类区块链课程学习或通过“干中学”的渠道提高自身能力与素养。从宏观方面看，政府应积极引导区块链数字资本创造就业机会，落实低技能劳动者社会保障政策的实施，提高弱势劳动者收入水平。

第三，加强数字化相关知识普及，培育现代高素质农民群体和农业农村数字人才。健全相应的数字化使用、评价、激励和信息反馈制度，在各地开展线下相关的知识普及，将远程教育和职业教育相结合。鼓励职业农民农闲时期通过互联网进行经验分享和交流学习，提升相关人员的金融素养及其金融风险防范意识。提高涉农从业人员对数字经济和产业融合的认知和应用水平，利用互联网、手机APP等信息技术手段加快培育新型农业生产经营主体和产业化联合体。培养造就一批善用互联网、懂金融经济、懂技术、善经营、德才兼备的现代高素质农民群体和农业农村数字人才。

第四，激励多部门跨界联合，建立健全财政金融社会资本支持体系。政府应组织金融机构、保险、信贷、担保等投资方，引导社会资本投入，以市场需求为导向推动要素跨界配置和奖励机制有机融合，稳步推进“政银保担企”融资和风险补偿机制，发挥金融的社会责任，建立风险资金池，让更多经营主体获得农业协同创新发展的增值效益。

参考文献

- 1.陈加友，2021：《基于区块链技术的去中心化自治组织：核心属性、理论解析与应用前景》，《改革》第3期。
- 2.付豪、赵翠萍、程传兴，2019：《区块链嵌入、约束打破与农业产业链治理》，《农业经济问题》第12期。
- 3.韩宁、李希萌、张倩颖、王国辉、施智平、关永，2021：《以太坊中间语言的可执行语义》，《软件学报》第6期。
- 4.何蒲、于戈、张岩峰、鲍玉斌，2017：《区块链技术与应用前瞻综述》，《计算机科学》第4期。
- 5.何宇鹏、武舜臣，2019：《连接就是赋能：小农户与现代农业衔接的实践与思考》，《中国农村经济》第6期。
- 6.黄季焜，2020：《乡村振兴：农村转型，结构转型和政府职能》，《农业经济问题》第1期。
- 7.姜长云，2015：《创新驱动视野的农业发展方式转变》，《改革》第12期。
- 8.李阳、于滨铜，2020：《“区块链+农村金融”何以赋能精准扶贫与乡村振兴：功能、机制与效应》，《社会科学》第7期。
- 9.阮俊虎、刘天军、冯晓春、乔志伟、霍学喜、朱玉春、胡祥培，2020：《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》第8期。
- 10.邵奇峰、金澈清、张召、钱卫宁、周傲英，2018：《区块链技术：架构及进展》，《计算机学报》第5期。
- 11.宋华、杨雨东、陶铮，2021：《区块链在企业融资中的应用：文献综述与知识框架》，《南开管理评论》，<http://www.doi.org/10.27175/d.cnki.gjxcu.2021.000307>。
- 12.孙杰、周力、应瑞瑶，2019：《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》，《中国农村经

济》第12期。

13.孙忠富、李永利、郑飞翔、杜克明、马浚诚、张德龙, 2019:《区块链在智慧农业中的应用展望》,《大数据》第2期。

14.唐金成、李笑晨, 2020:《保险科技驱动我国智慧农险体系构建研究》,《西南金融》第7期。

15.陶启、崔晓晖、赵思明、杨威、李伟、张宾佳、喻润, 2018:《基于区块链技术的食品质量安全管理系统及在大米溯源中的应用研究》,《中国粮油学报》第12期。

16.王农、刘宝存、孙约兵, 2020:《我国农业生态环境领域突出问题与未来科技创新的思考》,《农业资源与环境学报》第1期。

17.王志刚、于滨铜, 2019:《农业产业化联合体概念内涵、组织边界与增效机制:安徽案例举证》,《中国农村经济》第2期。

18.王志刚, 2009:《农产品批发市场交易方式的选择:理论与实践》,北京:中国农业科学技术出版社。

19.魏松杰、李莎莎、王佳贺, 2021:《基于身份密码系统和区块链的跨域认证协议》,《计算机学报》第5期。

20.魏翼飞、李晓东、Richard Yu, 2019:《区块链原理、架构与应用》,北京:清华大学出版社。

21.肖程琳、李姝萱、胡敏思、任腾, 2018:《区块链技术在食品信息溯源中的应用研究》,《物流工程与管理》第8期。

22.杨明、郑晨光, 2020:《区块链在精准扶贫脱贫中应用研究》,《云南民族大学学报(哲学社会科学版)》第2期,
<http://www.doi.org/10.13727/j.cnki.53-1191/c.20200313.019>。

23.于滨铜、王志刚、朱佳、侯云潇, 2021:《援助结构、领导力与产业扶贫绩效》,《中国工业经济》第6期。

24.张红宇、杨春华、张海阳、李伟毅、杨洁梅, 2009:《当前农业和农村经济形势分析与农业政策的创新》,《管理世界》第11期。

25.张建标、张兆乾、徐万山、吴娜, 2021:《一种基于区块链的域间访问控制模型》,《软件学报》第5期。

26.张晓娟、周莉、桂建芳, 2019:《遗传育种生物技术创新与水产养殖绿色发展》,《中国科学:生命科学》第11期。

27.赵丙镇、陈智雨、闫龙川、王栋、玄佳兴、蒋慧超, 2021:《基于区块链架构的电力业务交易数据隐私保护》,《电力系统自动化》第17期。

28.赵庆、余梅、肖小虹, 2020:《中国农业创新发展模式研究综述》,《科研管理》第3期。

29.赵振, 2015:《“互联网+”跨界经营:创造性破坏视角》,《中国工业经济》第10期。

30.周月书、王雨露、彭媛媛, 2019:《农业产业链组织、信贷交易成本与规模农户信贷可得性》,《中国农村经济》第4期。

31.朱鹏华、刘学侠, 2019:《乡村振兴背景下的农民合作组织发展:现实价值与策略选择》,《改革》第10期。

32.Abramova, S., and R. Bohme, 2016, “Perceived Benefit and Risk as Multidimensional Determinants of Bitcoin Use: A Quantitative Exploratory Study”, https://informationsecurity.uibk.ac.at/pdfs/Abramova2016_Bitcoin_ICIS.pdf.

33.Ahmed, B., and N. Broek, 2017, “Food Supply: Blockchain Could Boost Food Security”, *Nature*, 550(7674): 43-43, <https://sci-hub.yncjkj.com/10.1038/550043e>.

34.Chapron, G., 2017, “The Environment Needs Cryptogovernance”, *Nature*, 545(05): 403-405.

- 35.Chen, Y., Y. Li, and C. Li, 2020, “Electronic agriculture, Blockchain and Digital Agricultural Democratization: Origin, Theory and Application”, *Journal of Cleaner Production*, (268): 71-122.
- 36.Choi, T. M., and S. Luo, 2019, “Data Quality Challenges for Sustainable Fashion Supply Chain Operations in Emerging Markets: Roles of Blockchain, Government Sponsors and Environment Taxes”, *Transportation Research*, 131(11): 139-152.
- 37.Choi, T. M., W. K. Yeung, T. C. E. Cheng, and X.Yue, 2018, “Optimal Scheduling, Coordination, and the Value of RFID Technology in Garment Manufacturing Supply Chains”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 65(01): 72-84.
- 38.Dai, N. H., Z. B. Zheng, and Y. Zhang, 2019, “Blockchain for Internet of Things: A Survey”, *IEEE Internet of Things Journal*, 6(05): 8076-8094.
- 39.Extance, A., 2017, “Technology Blockchain Moves to Science”, *Nature*, 552(7685): 301-302.
- 40.Farrugia, S., J. Ellul, and G. Azzopardi, 2020, “Detection of Illicit Accounts over the Ethereum Blockchain”, *Expert Systems with Applications*, 113318(150): 387-393.
- 41.Fritsch, M., 2017, “The Theory of Economic Development—An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle”, *Regional Studies*, 51(4): 654-655.
- 42.Iansiti, M., and K. R. Lakhani, 2017, “The Truth About Blockchain”, *Harvard Business Review*, 95(01): 118-127.
- 43.Kamath, R., 2018, “Food Traceability on Blockchain: Walmart’s Pork and Mango Pilots with IBM”, *The Journal of The British Blockchain Association*, 1(01): 1-12.
- 44.Kshetri, N., 2018, “Blockchain’s Roles in Meeting Key Supply Chain Management Objectives”, *International Journal of Information Management*, 39(04): 80-89.
- 45.Nakamoto, S., 2009, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- 46.Ron, D., and A. Shamir, 2013, “Quantitative Analysis of the Full Bitcoin Transaction Graph”, *International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, https://doi.org/10.1007/978-3-642-39884-1_2.
- 47.Schweitzer, M. E., and G. P. Cachon, 2000, “Decision Bias in the Newsvendor Problem with a Known Demand Distribution: Experimental Evidence”, *Management Science*, 46(3): 404-420.
- 48.Wong, D. R., S. Bhattacharya, and A. J. Butte, 2019, “Prototype of Running Clinical Trials in an Untrustworthy Environment Using Blockchain”, *Nature Communications*, 10, 917, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08874-y>.
- 49.Zeng, Y., H. Guo, Y. Yao, and L. Huang, 2019, “The Formation of Agricultural E-commerce Clusters: A Case from China”, *Growth and Change*, 50(4):1356-1374.

(作者单位：中国人民大学农业与农村发展学院)

(责任编辑：黄 易)

Blockchain Technology Enabling Agricultural Collaborative Innovation and Development: Functional Characteristics, Synergistic Mechanism and Management Mechanism

SHENG Jiping MO Jixian YU Bintong WANG Zhigang

Abstract: On the basis of introducing the development and functional characteristics of blockchain technology, this article analyzes the synergistic mechanism of blockchain technology in improving agricultural welfare level by constructing a three-sector model of production organization, processor and distributor, and further explains the management mechanism of blockchain technology enabling agricultural collaborative innovation and development. Then, the study examines in detail four typical cases from the planting industry, the aquaculture industry and the processing industry. The results show that the use of blockchain technology can realize the credible cooperation and interconnection of various organizations in the process of agricultural industrialization, promote the determination, coordination and management of multi-agent supply chain and trade chain, as well as improve the corresponding financial support system. After the introduction of blockchain technology, the supply chain can enhance the data quality, and improve the supply chain performance and social welfare level by reducing enterprise prediction errors, reducing energy consumption, material consumption and maintenance costs, and reducing the demand for human capital. Based on the integration and innovation of multi-technology in blockchain technology, agricultural production efficiency, product market performance, agricultural market efficiency, and agricultural spatial layout can be improved through horizontal integration, vertical integration and spatial integration of industry. That can promote the development of agricultural collaborative innovation. The analysis of the four cases after the introduction of blockchain technology shows that the circulation mode of agricultural products has become much smoother, the traceability and supervision have become more intelligent and modern, and the performance of each subject and the welfare of farmers have been improved. Above all, the application of blockchain technology optimizes the path of agricultural industrialization and the transaction mode of industrial chain, promotes the horizontal integration among similar entities in the industrial chain and the vertical integration between upstream and downstream entities by the construction of transaction method of “supply chain + blockchain” and “blockchain + regionalization”. It enables producers to reduce costs and increase income and improve the quality and efficiency of agricultural products.

Keywords: Blockchain; Agricultural Development; Collaborative Innovation; Technological Empowerment; Case Study