

余鲲鹏, 李伟, 雷鑫. 食品供应链领域企业区块链技术采纳行为整合模型构建研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(21): 61–70. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120216

YU Kunpeng, LI Wei, LEI Xin. Research on the Construction of an Unified Model of Enterprise Blockchain Technology Adoption Behavior in the Food Supply Chain Field[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(21): 61–70. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120216

· 研究与探讨 ·

食品供应链领域企业区块链技术采纳行为 整合模型构建研究

余鲲鹏¹, 李 伟^{2,*}, 雷 鑫¹

(1.泉州师范学院商学院/创新发展研究中心, 福建泉州 362000;

2.深圳国策信息服务有限公司, 广东深圳 518000)

摘 要:企业采用率低、缺乏行业级大规模应用是当今食品供应链领域区块链技术应用面临的突出问题, 整合现有碎片化的研究, 提供一个更具系统性的企业区块链技术采纳行为模型, 既能为学界深入探究和理解企业区块链技术采纳行为提供理论支持, 也能为企业推进区块链项目实施决策提供参考。本文通过回顾和梳理国内外相关研究, 集成行为推理理论、技术-组织-环境框架、创新扩散及社会资本等理论的核心观点, 构建了食品供应链领域企业区块链技术采纳行为的整合模型, 理论化、规范化阐述了影响企业区块链技术采纳意向的前置因素。模型显示, 企业基于技术特征、组织特征、环境特征 3 维度下 23 项推动型与限制型因素的推理判断, 形成技术采纳意向, 驱动技术采纳行为。据此, 企业应以强化推动型因素影响和防范限制型因素影响为重点, 更有效地推进区块链技术的采纳与实施。

关键词:食品供应链, 区块链, 创新采纳行为, 整合模型

中图分类号: TS201

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)21-0061-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120216



本文网刊:

Research on the Construction of an Unified Model of Enterprise Blockchain Technology Adoption Behavior in the Food Supply Chain Field

YU Kunpeng¹, LI Wei^{2,*}, LEI Xin¹

(1.Business School, Innovation Development Research Center, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China;

2.Shenzhen National Policy Information Service Co., Ltd., Shenzhen 518000, China)

Abstract: The low adoption rate and lack of industry-level large-scale applications are prominent problems facing the application of blockchain technology in the food supply chain field today. By integrating existing fragmented research, this paper provides a more systematic model of enterprise blockchain technology adoption behavior, which can not only provide theoretical support for academia to explore and understand enterprise blockchain technology adoption behavior, but also provide references for enterprises to promote blockchain project implementation decisions. By reviewing and combing relevant studies both domestic and overseas, integrating the core viewpoints of behavior reasoning theory, technology-organization-environment framework, innovation diffusion, and social capital, this paper constructs an unified model of enterprise blockchain technology adoption behavior in food supply chain field, and theoretically and normatively explains the antecedent factors that affect enterprise blockchain technology adoption intention. The model shows that enterprises

收稿日期: 2022-12-29

基金项目: 教育部社科青年基金项目 (17YJC630204)。

作者简介: 余鲲鹏 (1978-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品供应链管理、区块链, E-mail: levinroo@126.com。

* 通信作者: 李伟 (1981-), 男, 博士, 高级经济师, 研究方向: 创新管理, E-mail: leewei@sznpis.com。

form technology adoption intention by reasoning and judging 23 push and constraint factors under three dimensions of technological characteristics, organizational characteristics, and environmental characteristics, which drive technology adoption behavior. Therefore, enterprises should focus on strengthening the impact of push factors and preventing the impact of constraint factors to promote the adoption and implementation of blockchain technology more effectively.

Key words: food supply chain; blockchain; innovation adoption behavior; unified model

区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式,其作为一项技术和方法论创新,对整个经济及社会发展产生重大影响,受到学界、业界及政府部门的关注。伴随着全球数字化发展不断深入,区块链技术已连同物联网、大数据、人工智能等技术一起,成为推进各行业数字化转型的核心要素^[1]。区块链具备公开透明、智能化、安全加密和去中介化等显著特征^[2],其在食品供应链领域的应用,将显著增强食品信息可追溯性与数据透明度,提高供应链决策效率及管理水平,有助于构筑更安全、高效、韧性、可持续的食品供应链体系^[3]。

尽管区块链赋能食品供应链数字化转型的潜力为业界所共识,但很多企业仍对食品供应链中区块链应用持保留或排斥态度^[4],因此当前企业区块链技术采用及技术集成应用仍十分有限,缺乏行业级大规模实施案例^[5-6]。为了促进区块链技术在食品供应链领域的扩散与传播、实现更大的规模效应和汇聚效应,有必要深化对区块链技术的理解、探究企业区块链技术采纳行为规律,进而从源头上调整或改变企业的技术采纳行为^[1,7]。当前,国内外学者运用行为推理理论(Behavioral Reasoning Theory, BRT)、技术-组织-环境框架(Technology, Organization and Environment, TOE)、创新扩散(Diffusion of Innovation, DOI)、社会资本(Social Capital, SC)等理论,或集成上述理论,针对供应链中企业区块链技术采纳行为展开分析,在区块链技术采纳行为的多维影响因素议题方面形成了较丰富的研究成果^[4,8-9],但由于创新采纳行为的复杂性以及各理论模型的局限性,并未有分析框架可以覆盖所有或大部分的影响因素;同时,由于食品供应链领域处于区块链应用实践探索的前沿,该领域中企业区块链技术采纳行为相关研究刚刚起步,导致对企业区块链技术项目实施实践的指导性不足^[8]。有鉴于此,本文回顾了区块链技术及其在食品供应链领域的应用进展,汇总了近年来创新采纳行为研究理论及其对区块链采纳行为分析的研究成果,分析了各研究理论的优缺点及关联性,并结合食品供应链领域区块链技术应用的具体情境,构建了食品供应链领域企业区块链技术采纳行为的整合模型,重点考察了区块链技术采纳意向的前置因素,以反映食品供应链领域企业区块链技术采纳行为更完整的规律,为相关企业深化区块链技术认知以及区块链项目实施决策提供参考。

1 食品供应链领域企业区块链技术采纳行为研究现状

1.1 区块链技术及其在食品供应链领域中的应用

区块链本质上是一种以密码学方式保证数据不可篡改、不可伪造的分布式账本,共识机制、智能合约和 Token 机制是其技术体系的核心,分布式存储与通信、网络治理是其技术体系的必要组件^[10]。区块链技术发展至今大致经历 4 个阶段^[11-12]: 区块链 1.0, 聚焦加密数字货币; 区块链 2.0, 聚焦隐私安全、智能合约以及数字资产; 区块链 3.0, 聚焦区块链平台生态及各种分布式应用; 区块链 4.0, 聚焦“区块链+”技术融合赋能。

当前传统食品供应链面临如下难题^[4,13]: 首先,从农田到餐桌的过程涉及大量人员、组织及流程,面临问责及溯源难题,且任一主体管理和操作不当,都会导致食品安全风险发生。其次,利益相关者众多且高度分散,各环节决策具有高度不确定性,优化提升供应链系统整体绩效极具挑战。再次,农资投入、加工制造及运输流通等各环节均面临绿色低碳转型的迫切需求,对科技赋能食品业可持续发展提出更高要求。最后,食品供给深受病虫害、气候变化和高交易成本影响,特别是全球疫情下食品供应链屡受冲击,如何确保供应链稳定与韧性成为行业面临的共同问题。区块链技术具有数据加密、分布式存储、去中介化、数据自治等方面的显著优势,可以通过重塑更安全高效的供应链体系来推动各行业的变革^[2]。区块链技术在食品供应链领域的初步应用,已被证实能够实现供应链可追溯性、增强供应链伙伴信任度、提升存储数据安全性、提高食品安全应急处置效率,将有效解决上述食品供应链难题提供重要技术支撑^[14]。

1.2 创新采纳行为研究理论及其对区块链技术采纳的分析

探究组织个体创新采纳行为规律,是行业创新过程研究的起点。近年来,关于创新信息技术的组织采纳行为研究,集中于创新采纳行为的多维影响因素的探讨,主要运用了 BRT、TOE、DOI、SC 等基础理论。BRT 理论以行为推理视角探究组织创新采纳行为决策过程,强调推理是组织信念及价值观、采纳动机、采纳意向、采纳行为之间的重要连接^[15],其中,推理被定义为组织用来解释其预期行为发生与否的主观认知因素,通常包含推动和限制行为发生的原因两类因素^[16]。TOE 框架认为组织创新采纳受技术、组

织和环境 3 维度因素影响,其中,技术因素指该项创新的自身及相关支持技术的技术特征,组织因素指组织规模、组织战略、组织关系等,环境因素指产业结构、竞争者行动及政策法规等^[13,17-18]。DOI 理论将组织创新采纳视为创新技术随时间在社会系统成员间的传播与扩散,认为组织特征、社会体系及创新特征影响创新技术的扩散过程^[19-21]。SC 理论认为社会资本是创新信息技术赋能提升交易伙伴间信任程度与合作效率的先决条件,其所包含的结构资本、关系资本和认知资本 3 维度均会对组织创新信息技术采纳决策产生影响^[22-23]。

近几年,国内外学者依托上述创新采纳理论,针对供应链领域企业区块链技术应用行为开展研究。有学者运用 BRT 模型,探讨了区块链技术应用行为的前因,明确了采纳意图在技术采纳中的预测作用^[1,7],但忽视了区块链技术应用行为的独特属性以及技术采纳行为的特定行业属性。有学者运用 TOE 框架,检验了区块链技术应用行为的潜在收益,探讨了技术采纳的决定因素^[1,13],但鲜有考虑组织个体层面行为发生过程^[8]。少数学者使用 DOI 理论,探讨组织准备状态、技术相对优势、技术接受度等推动因素对技术采纳的影响^[24],但忽视了组织技术采纳行为的复杂决策过程,以及限制因素的影响。个别学者运用 SC 理论,分析区块链技术应用行为对供应链伙伴关系、供应链绩效以及组织竞争力的促进作用^[23],形成了对其他主流研究的有益补充,但存在研究角度单一、影响因素考虑有限的问题。近期已有少数研究开始尝试运用整合模型方法,如 BRT 与 TOE 整合^[4]、BRT 与 DOI 整合^[8]等,针对食品供应链领域企业区块链技术应用行为进行分析,但并未有整合模型可以覆盖所有或大部分的影响因素,且尚未将 SC 理论观点融入其中,使得当前食品供应链领域企业区块链技术应用行为研究尚处于碎片化状态。

2 食品供应链领域企业区块链技术应用行为整合模型

前文回顾了创新采纳研究中 BRT、TOE、DOI、SC 等 4 种理论,它们是不同的学者基于不同的视角提出的,彼此相互关联,如 TOE 框架中“技术、组织和环境”3 维度的评估与感知结果是 BRT 理论中“推理”形成的基础;DOI 理论中“组织特征”“社会体系”“技术特征”因素与 TOE 模型中“组织”“环境”“技术”维度相呼应;SC 理论中“社会资本”是组织核心资源之一,有助于供应链伙伴信任和信息交互,是 TOE 框架中“组织”维度和 DOI 理论中“组织特征”的重要组成部分。此外,上述 4 种理论自诞生以来,在解释组织接受和使用信息技术的行为机理中表现出良好的解释力和预测力,且存在内在相互补充的概念联系,因此整合后的模型比单独某一理论模型的解释力更强,有利于深化对食品供应链领域企业区块链技术应用行为的整体认识。综上,本文集成 BRT、TOE、DOI 及 SC 等理论的核心观点,结合区块链技术应用行为的前置因素分析,构建食品供应链领域企业区块链技术应用行为的整合模型(见图 1)。

首先,根据 BRT 理论,企业关于区块链技术应用行为的推理,影响技术采纳意向,进而影响技术采纳行为。推理是组织对推动和限制预期采纳行为发生原因的思考,帮助组织正确研判环境、厘清自身资源,进而塑造组织采纳与否的认知和判断。采纳意向是影响采纳行为的动机因素,反映组织愿意尝试某种行为并为之付出努力的程度,是采纳行为发生的动能。

其次,根据 TOE 框架,企业对技术特征、组织特征和环境特征等前置因素的推理判断,正向或负向影响企业区块链技术应用意向。其中,技术特征指区块链技术应用创新收益及挑战属性;组织特征指企业组织自身及外部关系优劣属性;环境特征指企业外部市场、产业及政策环境属性。

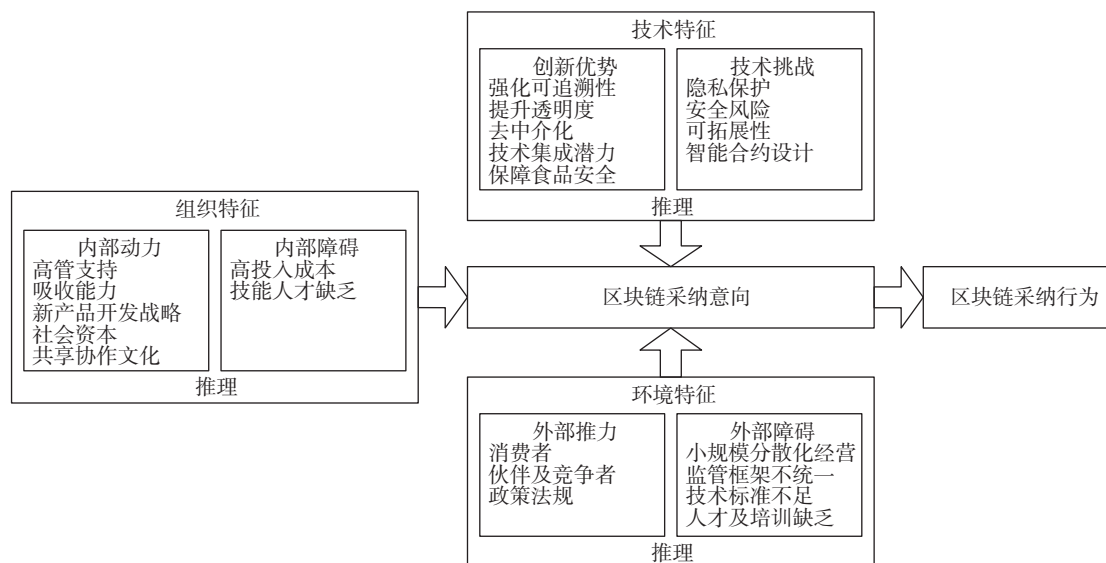


图 1 食品供应链领域企业区块链技术应用行为整合模型

Fig.1 Unified model of enterprise blockchain technology adoption behavior in the food supply chain field

最后,根据 BRT、DOI、SC 理论,结合食品供应链领域区块链技术应用的具体情境分析,归纳提炼出企业推理 3 维度下 23 项推动型和限制型因素。其中,技术特征维度的推动型因素包括强化可追溯性、提升透明度、去中介化、技术集成潜力、保障食品安全等创新优势(对应 DOI 理论观点),限制型因素包括隐私保护、安全风险、可拓展性、智能合约设计等技术挑战;组织特征维度的推动型因素包括高管支持、吸收能力、新产品开发战略、社会资本、共享协作文化等组织内部动力(对应 DOI 和 SC 理论观点),限制型因素包括高投入成本、技能人才缺乏等组织内部障碍;环境特征维度的推动型因素包括源自消费者、伙伴及竞争者、政策法规的外部推力(对应 DOI 理论观点),限制型因素包括小规模分散化经营、监管框架不统一、技术标准不足、人才及培训缺乏等外部障碍。

3 食品供应链领域企业区块链技术采纳意向的前置因素

根据 BRT 理论可知,组织行为意向是组织行为的关键驱动因素。食品供应链领域企业区块链技术采纳意向可以视为企业准备实施区块链技术项目行为的主观动机的表征,企业区块链技术采纳意向越强,则实施采纳行为的可能性越大。TOE 框架具有普遍适用性,可为本研究揭示企业区块链技术采纳意向的前因提供系统的理论视角。因此,基于技术、组织和环境这 3 类因素厘清食品供应链领域企业区块链技术采纳意向的前置因素,有助于更全面地理解企业区块链技术采纳行为。

3.1 技术特征维度

在本研究的框架中,整合 DOI 理论和 BRT 理论观点,食品供应链领域企业对区块链技术应用相关的创新优势及技术挑战因素的推理判断,将正向或负向影响企业区块链技术采纳意向。

3.1.1 创新优势因素 a. 强化可追溯性。食品供应链可追溯性指对食品从种植、加工、运输到消费各个环节及相关实体中的信息记录回溯能力^[25]。当前食品供应链高度复杂且全球化发展,可追溯性难以有效执行^[14]。基于物联网集中式数据集之上的溯源系统,可能导致供应链中严重的数据碎片和信息不对称,不仅易出现单点故障、数据操纵或篡改等安全问题,而且溯源过程复杂且费时^[14]。区块链技术能够实时和永久记录存储数据,保证供应链各方在任何给定时间访问真实信息^[26]。因此,企业借助区块链技术,可以更准确高效地实时追踪食品轨迹^[27]。例如京东、阿里、沃尔玛等企业都在积极部署基于区块链的食品溯源项目^[28],其中,沃尔玛的区块链试点项目将芒果和猪肉的溯源时间,从传统方法的 6.5 d 缩短到几秒钟^[29-30]。

b. 提升透明度。食品供应链透明度指将沿食品供应链移动的有关产品信息持续披露,并确保能够被

所有利益相关者即时查看和获取^[12,14]。由于传统食品供应链缺乏透明度,一旦发生食品质量和安全事故,溯源及处置应对反应迟缓,如欧美地区频发食源性致病菌安全事故,就因处置不力而对行业及民众造成严重伤害^[31]。区块链技术采纳实时分布式数据共享,使利益相关者能够识别产品质量、位置、交易和程序相关信息,使供应链更为透明化^[32],不仅有助于落实问责制、提升供应链绩效,而且有助于企业传达其可持续发展理念、赢得消费者长期信任^[33]。当前,以数据共享、提升供应链透明度为目标的区块链应用已在加工肉类、乳制品、大豆以及清真食品等产品线上出现^[34-36]。

c. 去中介化。区块链技术通过其共识机制、智能合约和 Token 机制,形成无需集中授权、去中心化的分布式账本数据库,进而实现了供应链的去中介化、交易成本降低^[26]。借助区块链技术,企业可以绕开食品供应链中某些环节的中间商,降低最终所销售产品的成本,提升供应链参与者回报以及消费者福利^[7,26];企业也可以通过智能合约执行形成结构化的智能交易解决方案^[37],最大化地减少人工干预,降低供应链交易成本^[32,38],提升供应链绩效。如沃尔玛等大型商超利用区块链技术去除供应链中间商环节来降低食品成本、保障食品安全^[30];AgriDigital、AgUnity、AgriChain 等初创企业基于区块链技术创建的粮食及食品交易平台均致力于食品供应链的去中介化^[39]。

d. 技术集成潜力。区块链和物联网、人工智能、大数据等前沿信息技术的集成创新,是食品供应链领域区块链加快落地应用的必然要求^[40]。区块链作为跨业态跨技术融合枢纽的地位正逐步加强^[41],物联网系统中广泛采用的传感器解锁生成和获取各类数据信息的能力,区块链技术的分布式数据存储应用模式可提高数据可信性和安全性以及流转效率,而人工智能、大数据技术则增强物联网及区块链系统的信息存储、运算和处理能力,上述技术集成将为供应链带来更大的创新优势^[42]。当前关于区块链与其他技术集成的研究刚刚起步,且主要集中于区块链与物联网的集成方向^[40]。二者集成有助于实现智能身份验证、数据访问控制及披露,为源于物联网的数据要素流转和价值挖掘提供可信保障^[43],进而提升食品安全保障和客户服务能力^[44-45]。如京东、阿里、沃尔玛、IBM、甲骨文等企业已推出区块链物联网集成解决方案,以强化食品溯源、提高食品安全和新鲜度^[28]。

e. 保障食品安全。近年来,食品欺诈重大案件及食源性疾病疫情层出不穷。食品欺诈多是采用低等级或禁用的食品或配料替代高等级食品或配料^[38,46],以降低成本提高利润,会导致消费者信任危机,甚至危及民众健康。肉类、海鲜、粮油、奶制品等均是食品欺诈的常发领域。食源性疾病是全球最突出的公共卫生问题之一,食品供应链每个环节都有可能存在罹患食源性疾病的风险。区块链可以强化

供应链可追溯性、提升供应链透明度,防止掺假造假食品进入流通^[33,47],并且能够加速溯源审查和危机处理,帮助预防和控制食源性疾病的流行^[48]。

3.1.2 技术挑战因素 a. 隐私保护。虽然区块链技术可防范数据伪造和篡改,但所有交易数据公开、透明地全量存储在全网每个节点上,却带来数据隐私问题^[6,29]。隐私保护一直是分布式数据系统领域的重大难题^[14],随着区块链的应用领域扩大,诸多传统数据隐私保护方案在区块链应用中的不适用性和源于区块链技术自身系统结构所导致的数据隐私泄露问题已经逐步暴露出来^[49]。具体到食品供应链领域,企业间竞争激烈,企业普遍存在区块链数据透明度特征危及企业商业秘密的担忧,因此有实力的食品企业在区块链部署决策时犹豫不决^[50],或者更倾向于选择部署私有链和许可链,而非公共链^[14,27]。此外,供应链末端的消费者群体中也普遍存在隐私入侵的担忧,如认为应用区块链的食品追溯系统会追踪至其家中设备,进而侵犯其隐私^[18]。

b. 安全风险。区块链融合了加密算法、点对点网络、共识机制、智能合约等信息技术,各项技术整体发展尚未完全成熟,使得区块链在算法、协议和应用等方面仍存在多种安全威胁^[51]。区块链系统主要采用公钥算法和哈希算法,只是目前相对安全,未来仍有被破解的可能^[52]。智能合约虚拟机运行在区块链的各个节点上,接受并部署来自节点的智能合约代码,若虚拟机存在漏洞或相关限制机制不完善,很可能运行来自攻击者的恶意的智能合约^[53-54]。多方协作的食品供应链场景下,由于数据分级分类体系尚未成熟,如何确定共享数据的范围、确保共享数据的权责仍是难点,引发企业对区块链技术的排斥^[18,27]。此外,区块链是只可追加信息的系统,其链上储存的数据无法被替换、删除、篡改,极易造成敏感、非法信息的写入滥用,而且与区块链集成的区块链应用中,物联网设备采集到损坏数据、错误信息存储于区块链中,也会带来数据层安全风险问题^[44]。

c. 可拓展性。食品供应链领域区块链应用,对基础设施底层链的处理能力提出了更高要求,但区块链系统始终面临着可拓展性不足的瓶颈,最突出的表现是交易吞吐量不足导致性能效率低下^[8,55]。传统数据库通过横向扩展增加节点数,以线性的提高系统吞吐量、并发访问量和存储容量,而区块链平台随着节点数的增加,其系统整体性能反而下降、系统延迟问题十分突出^[5,30]。食品供应链参与者众多,产生数据量巨大^[34,56]。私有链与公共链相比具有更高吞吐量,如许可链 Hyperledger 可实现每秒 3500 笔交易,远超公共链以太坊每秒 30 笔交易^[48],但仍不足以处理食品供应链活动通常生成的数据量^[46]。在与物联网集成应用情况下,可拓展性的挑战将更为突出^[53-54]。为了实现动态的可扩展性,以太坊采用分片解决方案,Hyperledger 采用多通道解决方案,但这些方案仍

在不断探索中,还需要时间及案例的验证^[18]。

d. 智能合约设计。智能合约是用程序语言编写的商业合约,在预定条件满足时,能够自动强制的执行合同条款,实现“代码即法律”目标^[57]。区块链的去中介化使得智能合约在没有中介第三方的情况下,可同时运行在全网所有节点,任何机构和个人都无法将其强行停止。而且,区块链本质上是不可变的,基于区块链的智能合约在部署后不可逆转^[8],开发人员需要在创建阶段解决代码可读性、函数问题,部署阶段解决合约正确性、动态控制流问题^[58]。同时,智能合约技术尚处早期发展阶段,特别是面临稳定性和安全性问题^[59]。因此,为复杂的食品供应链业务逻辑设计安全高效的智能合约仍是一个巨大挑战,通过智能合约有效覆盖供应链主要活动任重而道远^[2,32]。

3.2 组织特征维度

在本研究的框架中,整合 DOI 理论、SC 理论和 BRT 理论观点,食品供应链领域企业对其自身资源相关的内部动力及内部障碍因素的推理判断,将正向或负向影响企业区块链技术采纳意向。

3.2.1 内部动力因素 a. 高管支持。高管是企业的核心和灵魂,高管个人的创新意识和风险偏好会对企业的经营决策产生重大影响,因此高管对采用创新技术的支持与提倡对企业创新技术采纳与实施至关重要^[45],这在信息技术与系统采纳研究中已被证实^[60]。高管掌控着企业各类资源配置、技术集成以及流程再造的方向,如果缺乏其指导和支持,将不可能实现区块链技术的采纳与实施。高管关注和认知到区块链的优势及收益潜力,针对区块链项目调配所需资源,不仅能够加速项目应用进程^[5],而且可以通过激励制度设计引导组织快速接受和倾注更多投入。特别是企业采用集权式组织结构时,高管会有更大权力来决定组织创新科技采纳,在决策过程中会直接干预或较少遵照正式程序^[61]。

b. 吸收能力。吸收能力指企业识别外部信息价值并吸收和应用自身业务的能力,具体包括知识获取、知识吸纳、知识转化和知识利用等 4 种能力^[62],代表了企业持续地建立、调适、重组其内外部各种知识来达到竞争优势的一种动态能力。企业的当前知识基础以及学习努力程度决定了企业吸收能力的高低,进而增强企业对新技术反应的灵敏度和准确性^[17],因此具备数字项目经验、注重新兴数字技术学习运用的企业凭借其先验知识积累、内外部开放交流学习,更能正确评判区块链技术在供应链管理中的应用价值,也更易于扩展已有的知识基础,并创造有助于新技术采纳与实施的组织资源配置有利环境^[9]。

c. 新产品开发战略。新产品开发战略核心内容是激发顾客新需求,以高质新品引导消费潮流。重视新产品开发的企业往往更乐于采纳各种创新技术,追求产品技术水平和最终用途的新颖性,保持技术上的

持续优势和市场竞争中的领先地位^[4]。例如企业应市场需求变化,推出以绿色有机为卖点的新产品,就需要以区块链溯源平台为基础,将生产基地、原料、运输、流通等全流程信息,写入区块,上链存证,为消费者所能查证;企业若要改善食品安全质量危机的应对处理机制及效率,也需要借助区块链技术进行问题环节快速定位进而分离出污染食品,以高效快速应对、赢得消费者的信任^[38]。当然,投资回报是新产品开发中是否采纳区块链技术的重要判断标准^[60],通常高价格商品采纳区块链技术更为现实^[31]。

d. 社会资本。社会资本是企业通过社会网络关系获取资源的一种价值资本,是企业的核心资源^[23]。社会资本可划分为结构资本、关系资本和认知资本 3 维度,结构资本包括网络联系和网络构型,关系资本包括企业间信任、互惠和义务,认知资本包括企业间共有愿景、目标、价值观念等^[63]。随着企业在供应链网络结构中的地位提升,其对网络中信息和知识的掌控能力也随之增强,这使得它们更能胜任信息“中间人(*tertius iungens*)”的经纪角色,并更加倾向于采用区块链解决方案^[23,37]。关系资本有助于减少供应链决策中的不确定性,并强化成员目标设置互通性,可促进彼此更开放的信息共享,与区块链技术实施的可追溯性、透明度目标相一致^[2,22,30]。认知资本强化供应链成员的共有身份认可,有利于建立所有伙伴都必须接受和遵守的组织间共识协议^[30],增强整个供应链层面采纳区块链的可能性。

e. 共享协作文化。只有食品供应链中各利益相关者之间可以自由共享信息时,区块链技术采纳与实施才可能实现效益最大化^[4]。食品供应链中区块链技术应用的基本意义在于确保可追溯性、透明度和问责制^[1],其核心商业价值在于群体智慧,因此各利益相关者间的信息共享和协作是影响企业技术采纳以及采纳后供应链绩效提升的关键影响因素^[12,64]。具备信息共享协作文化的企业不仅注重引入外部信息的创新能力,而且注重整个供应链伙伴的绩效共同提升而非仅顾全企业一己之利,更易在伙伴间建立认同与信任,其对区块链的信息协同创新优势认知更为透彻,更倾向于以区块链技术保障企业间及时畅通的信息交流,推动供应链各个环节间的无缝集成和信息整合^[18]。

3.2.2 内部障碍因素 a. 高投入成本。食品供应链领域区块链技术应用尚处于发展初期,未形成规模化的行业级应用,实施成本高昂,技术投资回报、竞争优势和运营绩效方面的潜在收益难以准确估计,因此多数食品企业仍持观望态度^[6,18]。首先,食品供应链中区块链技术部署首先要求企业投入大量硬件设备(如 RFID、生物传感器)并持续维护,需要投入大量资金^[44,56]。其次,区块链软件部署也需要企业投入大量时间和资源^[7],甚至需要聘请专门技术专家进行指导^[31],而且具备良好可用性的区块链软件十分稀缺,

需要进行本地化、用户化的二次开发,产生新的研发成本^[18]。对中小食品企业而言,难以验证技术的投资回报,且高投入成本更可能危及其生存,故对区块链技术采纳分外谨慎^[6,29]。当前食品供应链的探索先驱主要为如沃尔玛、IBM、京东、阿里、中粮等行业领先企业,其实力足以支撑持续的高研发投入以换取远期创新回报^[2,65]。

b. 技能人才缺乏。缺乏区块链技术的知识和技能是企业采纳区块链项目前必须正视的问题。区块链技术的部署与实施是一个复杂而漫长的过程,需要企业具备一定水平的设备基础、知识基础和技术人才支撑^[7,48]。传统食品供应链中,中小农户及中小企业占供应链网络主体的绝大部分,可能并没有足够的技术认知和专业技能来保障区块链实施^[6,31,66]。VAN^[5]针对食品企业管理人员的调查发现,企业实施区块链项目的主要障碍不在于技术理解,而在于难以获得合适的专业技术人才来启动项目。

3.3 环境特征维度

在本研究的框架中,整合 DOI 理论和 BRT 理论观点,食品供应链领域企业对其外部市场、产业及政策环境相关的外部推力及外部障碍因素的推理判断,将正向或负向影响企业区块链技术采纳意向。

3.3.1 外部推力因素 a. 源自消费者的推力。近 20 年来,全球一系列重大食品安全事件频频爆发(如我国三聚氰胺毒奶粉事件、欧盟马肉丑闻、伊拉克麦粒汞中毒事件、美国沙门氏菌和大肠杆菌疫情等),使得食品质量和安全问题成为消费者的关注和讨论热点^[3,50],同时也成为一个上升到国家公共安全高度的话题。日常生活中,假冒伪劣食品、虚假食品标识等问题普遍存在^[29,46],加剧了消费者对食品安全的担忧,特别是去年由于自媒体恶意炒作而引爆网络的“海克斯科技”“科技与狠活”事件,再次引发全民的食品安全焦虑。如何吃得安全、吃得放心成为当下民众最普遍、最急迫的诉求。因此,企业将借助食品供应链管理中区块链技术的应用,向消费者传递正确的食品安全信息和理念,以满足消费者食品安全诉求、强化消费者信任^[3]。

b. 源自伙伴及竞争者的推力。首先,合作伙伴的意愿和影响力可以加快行业区块链采纳进程^[9]。区块链赋能食品供应链的潜力会随着用户数量增长而倍增^[44],因此先驱采纳者往往借助其行业地位迫使供应链其他实体采纳该技术^[2,65],例如沃尔玛在区块链试点成功之后,强制要求其供应链中的农民和供应商采纳区块链技术^[31,48]。行业先驱采纳者通常会提供区块链技术实施的资金、技术、培训、维护相关支持,帮助后期采纳者降低技术采纳成本和风险,推动实现行业更广泛的应用^[67]。其次,行业竞争者的区块链技术采纳形成的竞争压力,间接激发企业应用区块链的需求。例如,紧随沃尔玛,家乐福推出区块链食品溯源平台项目,来追踪肉禽蛋、蔬菜等产品线^[48],

永辉超市、京东也上线了区块链食品安全溯源系统,为生鲜食品流转的各环节进行存证。当然,也有不少企业受到炒作热潮或者担心落伍等因素影响,而非因其真实需求而从众采纳区块链技术^[5,65]。

c. 源自政策法规的推力。政策法规支持被视为创新技术扩散与传播的重要影响因素^[20]。首先,政府可以通过政策导向正面影响市场预期^[17],如通过完善必要基础设施、新技术开发与应用补贴等扶持政策,将在一定程度上减轻早期采纳者的转换成本,缓解早期技术创新扩散缓慢问题。区块链技术一经提出,国内外政府均通过政策工具来持续引导和促进其应用发展^[64]。我国及大部分地方政府的“十四五”规划均将区块链作为新基建、数字经济发展组成部分,在资金、技术、产业层面推出一系列支持举措。其次,世界各主要经济体对其区块链技术的监管态度基本经历了从宽松到谨慎的转变,敏锐地为其制定严谨的监管法规、标准及指南,确保区块链技术及应用能够安全、快速发展。最后,食品供应链一直是各国政府严格监管领域,迫切需要区块链技术赋能。如美国强制要求企业必须建立产品可追溯制度,加拿大强制要求所有的牛使用条形码及耳标来标识初始牛群,澳大利亚强制要求所有牲畜必须打上可追踪信息的标识符号,日本法律要求肉牛业实施强制性的零售点到农场的追溯系统,欧盟要求各成员国对家畜和肉制品开发实施强制性可追溯制度^[8],英美当前强制要求渔业公司披露供应链中的奴役和人口贩卖活动等^[68]。在日益严格的食品安全法规压力之下,运用区块链技术优化供应链管理已经成为食品企业运营的现实选择。

3.3.2 外部障碍因素 a. 小规模分散化经营。虽然通常由大型企业启动食品区块链项目,但需要供应链上各利益相关者的积极参与,才能发挥区块链技术的行业变革潜力^[44,65]。当前,食品供应链是由生产商、物流商、批发商、零售商和消费者等主体共同组成的多方分销结构网络体系,其中地理上极为分散的广大农户及中小微型企业占主体^[31,46,66],缺乏区块链技术采纳及实施所需的财务能力、技术专长和其他有利条件^[4,12]。同时,高度分散化碎的分布也带来了多个参与方之间有限的信任度,这使各个参与方难以自愿加入到区块链这个信息共享链上^[64]。因此,许多食品区块链项目在经过试点可行验证后,在食品供应链层面规模化应用往往面临着巨大挑战^[5]。

b. 监管框架不统一。在食品供应链中,参与者可能来自世界不同地域,受到不同法律及规范的制约^[50,68]。尽管全球各国政府对区块链行业发展基本采纳包容审慎监管方式,但在一些关键细节上仍存在着巨大差距,例如针对智能合约,在美国合同法中予以认可,而在其他国家却不被认可^[32,44];针对加密货币,少数国家承认其合法地位,而多数国家进行禁令或法律限制^[52,54]。基于区块链的供应链交易一旦发生争议,不一致的区块链监管框架会使争议解决变得

更为复杂和困难^[36]。因此,国家间须共同合作,协商制定跨边界、跨文化的监管规则,使区块链全球治理体系具有一致性和普遍性,推动区块链应用在更广阔的地域范围获得合法性^[69]。近几年,国际行业自律组织纷纷成立区块链专门机构,如欧盟区块链观察站和论坛、世界银行区块链实验室、国际货币基金组织金融科技高级顾问小组等专门组织,加强对区块链技术及监管方法的研究,已对各国监管政策制定已经产生了实质性影响,但建立跨国认可的协同监管框架依然道路漫长。

c. 技术标准不足。对处于发展初期阶段的区块链技术,要让区块链在食品供应链场景中规模化落地,需要规范数字代码,对区块链本身的架构、数据、安全等方面制定相应行业标准^[70]。国内外各大机构都在积极推进区块链标准制定,但着重点不同,如美国更关注基础共性的标准,德国更偏向工程化标准及工业区块链细分领域,日本更关注基于区块链的服务和应用实践标准,我国则偏重于区块链基础设施方面。具体到食品区块链领域,标准建设处于起步阶段,当前标准多关注于溯源平台应用等局部问题,而忽视解决区块链碎片问题。由于先驱企业在不同政策法规环境下,出于竞争需要,而采用不同解决方案,且可追溯信息类型和数据格式、加密算法、共识机制不尽相同^[47],使得链上生态的规模效应和汇聚效应得不到发挥。一个企业可能需要同时采用多个区块链系统,将导致成本提高和管理混乱,自然对区块链技术产生排斥^[18,34]。未来专链专用、多链共存的趋势,决定了发展食品行业共识的区块链互操作标准至关重要,但这也是行业公认的焦点难点^[8]。

d. 人才及培训缺乏。区块链技术人才缺乏是食品企业实施区块链技术所面临的共同问题^[43]。首先,区块链技术的知识体系尤其复杂,涉及很多跨学科、跨领域的前沿技术,行业内工程师在短期内也很难掌握,同时区块链人才培养周期长、高校培养体系不完善,导致“区块链+产业”复合型人才严重匮乏、供不应求。其次,食品供应链成员多属于传统的种植、加工、运输、贸易等领域,数字化进程原本就比工业迟缓,普遍面临区块链技术认知有限、技能培训不足的问题^[6,18]。特别是在食品行业的源头种植环节,针对农户的职业技能培训仍然是一个挑战。尽管先驱采纳企业努力简化区块链技术知识,为农户提供技术援助支持,但毕竟力量有限。同时,农业部门干部自身信息技术知识有限,在教农民如何数字化转型方面还存在困难。

4 结论与展望

4.1 结论

本研究集成 BRT、TOE、DOI 及 SC 等理论的核心观点,结合食品供应链领域区块链技术应用的具体情境分析,构建了食品供应链领域企业区块链技术采纳行为的整合模型,对企业区块链技术采纳意向的

前置因素进行了全面系统的梳理。BRT 理论关注创新采纳的组织行为发生过程及推理作用, TOE 框架提供创新采纳行为影响因素的技术、组织和环境 3 维度分析视角, DOI 关注创新扩散与传播发生的技术、组织及社会体系条件, SC 则聚焦社会资本对合作网络绩效的影响机制。首先, 整合模型集成了 BRT、TOE 两个成熟理论的核心观点, 即企业针对区块链技术采纳的决策议题, 可基于技术特征、组织特征、环境特征 3 维度, 进行各维度下推动型因素与限制型因素的推理判断, 进而形成区块链技术采纳意向, 驱动区块链技术采纳行为。其次, 整合模型中各维度的推动型因素集成了 DOI 理论的核心思想, 涵盖了创新优势、内部动力、外部推力, 并将 SC 因素纳入内部动力考量。最后, 基于 BRT 关于反向推理的视角, 综合考虑了技术挑战、内部障碍、外部障碍等内外部限制型因素影响, 弥补了 TOE、DOI 关于限制型因素考虑不足问题。

4.2 管理启示

对于食品供应链相关企业而言, 本研究有助于深化其对食品供应链领域区块链应用发展规律的认知, 为其进行区块链技术采纳与实施的科学决策提供方法论支持。基于研究结论, 本文建议企业在区块链技术采纳与实施中应重点关注以下方面: a. 评估区块链技术的创新属性, 技术应用融入企业业务运作。就企业经营管理而言, 区块链技术采纳是一项重大决定, 必须充分满足业务运作需求。因此, 在区块链技术采纳前势必要考虑与评估区块链技术的创新属性, 先找出适合导入区块链技术的业务流程, 明确所要达到的技术创新目标, 再评估适合导入的区块链技术, 并提高技术风险防范意识, 确保其技术实施的可行性。b. 取得管理支持, 强化企业内外部资源运用能力。企业欲执行一个新项目, 高管支持不可或缺, 可保障实施过程更强而有力。企业采纳区块链技术前, 必须要树立创新的思维, 强化自身的创新技术吸收与开发能力, 区块链技术实施方能顺利的落地执行。此外, 企业应审慎运用内外部资源, 以支持区块链技术的实施, 若内部没有足够的资金及人才资源保障, 外部缺乏强有力的社会资本资源、信息共享协作文化, 则一切想法与规划也将不复存在, 因此企业应强化内外部资源运用能力, 为项目落地执行提供有力保障。c. 关注政策与竞争环境, 寻求外部支持协助。不论是竞争压力的驱使、政府政策的实施, 亦或是合作伙伴、技术标准机构的协助, 外部环境因素往往是激发企业转型发展的契机。在高度竞争的市场中, 企业必须关注市场趋势与预期竞争者活动以适应不断变化的市场, 在食品安全意识高涨的趋势下, 企业必须思考引进区块链技术以取得市场优势。对食品行业及信息技术主管部门而言, 主管部门可通过推进行业技术攻关、推动农户农企联盟抱团发展、完善区块链监管机制与技术、优先发展区块链互操作标准、加大区

块链人才培养投入力度等方面, 营造有利于区块链创新技术采纳与扩散的优良环境与行业生态, 最大化发挥区块链赋能食品供应链数字化转型的潜力。

4.3 局限及展望

本研究也存在一些局限性。a. 本研究仅为在探索性理论分析, 未来应针对所提议理论框架开展实证检验。b. 区块链技术采纳意向的前置因素挖掘, 源于有限文献资料, 未来可借助系统文献综述以及调研访谈方法, 拓展因素挖掘的广度。c. 本研究聚焦于食品供应链领域, 将所提理论框架推广至其他领域可能受限, 应结合行业特点进行因素的调整。

参考文献

- [1] QUEIROZ M M, WAMBA F S, DE BOURMONT M, et al. Blockchain adoption in operations and supply chain management: Empirical evidence from an emerging economy[J]. *International Journal of Production Research*, 2021, 59(20): 6087–6103.
- [2] COLE R, STEVENSON M, AITKEN J. Blockchain technology: Implications for operations and supply chain management[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2019, 24(4): 469–483.
- [3] NAGARAJ S. Role of consumer health consciousness, food safety and attitude on organic food purchase in emerging market: A serial mediation model[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2021, 59: 102423.
- [4] OGUNTEGBE K F, DI PAOLA N, VONA R. Behavioural antecedents to blockchain implementation in agrifood supply chain management: A thematic analysis[J]. *Technology in Society*, 2022, 68: 101927.
- [5] VAN H R. Exploring blockchain implementation in the supply chain: Learning from pioneers and RFID research[J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2019, 39(6/7/8): 829–859.
- [6] ZHAO G Q, LIU S F, LOPEZ C, et al. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions[J]. *Computers in Industry*, 2019, 109: 83–99.
- [7] WONG L W, TAN G W H, LEE V H, et al. Unearthing the determinants of blockchain adoption in supply chain management[J]. *International Journal of Production Research*, 2020, 58(7): 2100–2123.
- [8] VU N, GHADGE A, BOURLAKIS M. Blockchain adoption in food supply chains: A review and implementation framework[J]. *Production Planning & Control*, 2021.
- [9] NATH S D, KHAYER A, MAJUMDER J, et al. Factors affecting blockchain adoption in apparel supply chains: Does sustainability-oriented supplier development play a moderating role?[J]. *Industrial Management & Data Systems*, 2022, 122(5): 1183–1214.
- [10] GOURISETTI S N G, MYLREA M, PATANGIA H. Evaluation and demonstration of blockchain applicability framework[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2020, 67(4): 1142–1156.
- [11] ANGELIS J, DA SILVA E R. Blockchain adoption: A value driver perspective[J]. *Business Horizons*, 2019, 62(3): 307–314.
- [12] RIJANTO A. Business financing and blockchain technology adoption in agroindustry[J]. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 2021, 12(2): 215–235.
- [13] MUNIR M A, HABIB M S, HUSSAIN A, et al. Blockchain

adoption for sustainable supply chain management: Economic, environmental, and social perspectives[J]. *Frontiers in Energy Research*, 2022, 10: 899632.

[14] SRIVASTAVA A, DASHORA K. Application of blockchain technology for agrifood supply chain management: A systematic literature review on benefits and challenges[J]. *Benchmarking: An International Journal*, 2022, 29(10): 3426–3442.

[15] WESTABY J D, PROBST T M, LEE B C. Leadership decision-making: A behavioral reasoning theory analysis[J]. *The Leadership Quarterly*, 2010, 21(3): 481–495.

[16] 庄晓萍, 袁昌兵, 魏秋江, 等. 行为推理理论: 理解行为成因的新视角[J]. *心理学进展*, 2014, 4(3): 447–456. [ZHUANG X P, YUAN C B, WEI Q J, et al. Behavioral reasoning theory: A new perspective of understanding the causes of behavior[J]. *Advances in Psychology*, 2014, 4(3): 447–456.]

[17] KHAYER A, JAHAN N, HOSSAIN M N, et al. The adoption of cloud computing in small and medium enterprises: A developing country perspective[J]. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, 2020, 51(1): 64–91.

[18] KHAN S, KAUSHIK M K, KUMAR R, et al. Investigating the barriers of blockchain technology integrated food supply chain: A BWM approach[J]. *Benchmarking: An International Journal*, 2023, 30(3): 713–735.

[19] ROGERS E M. *Diffusion of innovations*[M]. New York: Simon and Schuster, 2010.

[20] OLIVEIRA T, THOMAS M, ESPADANAL M. Assessing the determinants of cloud computing adoption: An analysis of the manufacturing and services sectors[J]. *Information and Management*, 2014, 51: 497–510.

[21] ALI O, SHRESTHA A, OSMANAJ V, et al. Cloud computing technology adoption: an evaluation of key factors in local governments[J]. *Information Technology and People*, 2020, 34(2): 666–703.

[22] TREIBLMAIER H. The impact of the blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2018, 23(6): 545–559.

[23] GALATI F. Blockchain adoption in supply networks: A social capital perspective[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2022, 27(7): 17–32.

[24] AGI M A N, JHA A K. Blockchain technology in the supply chain: an integrated theoretical perspective of organizational adoption[J]. *International Journal of Production Economics*, 2022, 247: 108458.

[25] QIAN J P, RUIZ-GARCIA L, FAN B L, et al. Food traceability system from governmental, corporate and consumer perspectives in the European union and China: A comparative review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 99: 402–412.

[26] CHEN S, LIU X C, YAN J Q, et al. Processes, benefits, and challenges for adoption of blockchain technologies in food supply chains: A thematic analysis[J]. *Information Systems and E-Business Management*, 2021, 19(3): 909–935.

[27] KUMAR N, UPRETI K, MOHAN D. Blockchain adoption for provenance and traceability in the retail food supply chain: A consumer perspective[J]. *International Journal of E-Business Research*, 2022, 18(2): 1–17.

[28] 赵巧润, 曹宇璇, 曹怡凡, 等. 互联网+区块链技术在食品安全溯源体系中的应用及研究进展[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(6): 24–32. [ZHAO Q R, CAO Y X, CAO Y F, et al. Review of the de-

velopment of food safety traceability system based on internet plus block chain technology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(6): 24–32.]

[29] KAMILARIS A, FONTS A, PRENAFETA-BOLDU F. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains[J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2019, 91: 640–652.

[30] WANG Y L, SINGGIH M, WANG J Y, et al. Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains?[J]. *International Journal of Production Economics*, 2019, 211: 221–236.

[31] KSHETRI N. Blockchain and the economics of food safety[J]. *IT Professional*, 2019, 21(3): 63–66.

[32] KUMAR A, LIU R, SHAN Z. Is blockchain a silver bullet for supply chain management? Technical challenges and research opportunities[J]. *Decision Sciences*, 2020, 51(1): 8–37.

[33] CALDARELLI G, ROSSIGNOLI C, ZARDINI A. Overcoming the blockchain oracle problem in the traceability of non-fungible products[J]. *Sustainability*, 2020, 12(6): 2391.

[34] PEARSON S, MAY D, LEONTIDIS G, et al. Are distributed ledger technologies the panacea for food traceability?[J]. *Global Food Security*, 2019, 20: 145–149.

[35] HEW J J, WONG L W, TAN G W H, et al. The blockchain-based halal traceability systems: a hype or reality?[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2020, 25(6): 863–879.

[36] DEGHANI M, POPOVA A, GHEITANCHI S. Factors impacting digital transformations of the food industry by adoption of blockchain technology[J]. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 2022, 37(9): 1818–1834.

[37] SCHMIDT C G, WAGNER S M. Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective[J]. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 2019, 25(4): 100552.

[38] CREYDT M, FISCHER M. Blockchain and more-algorithm driven food traceability[J]. *Food Control*, 2019, 105: 45–51.

[39] STARTUS. 8 blockchain startups disrupting the agricultural industry [EB/OL]. 2019[2022-12-22]. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/8-blockchain-startups-disrupting-the-agricultural-industry>

[40] KIRTI N, RAKESH R, ANA B L D S J, et al. Integrated technologies toward sustainable agriculture supply chains: Missing links[J/OL]. *Journal of Enterprise Information Management*, 2021, <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2020-0381>.

[41] 中国信息通信研究院. 区块链白皮书[EB/OL]. 北京: 中国信息通信研究院, 2021[2021-12-22]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202112/P020211224394830046624.pdf> [China Academy of Information and Communications Technology. Blockchain white paper[EB/OL]. Beijing: China Academy of Information and Communications Technology, 2021[2021-12-22]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202112/P020211224394830046624.pdf>.]

[42] SIEGFRIED N, ROSENTHAL T, BENLIAN A. Blockchain and the industrial internet of things fit analysis[J]. *Journal of Enterprise Information Management*, 2022, 35(6): 1454–1476.

[43] ALSUWAIDAN L, ALMEGREN N. Validating the adoption of heterogeneous internet of things with blockchain[J]. *Future Internet*, 2020, 12(6): 107.

[44] CHEN F, XIAO Z, CUI L Z, et al. Blockchain for Internet of things applications: A review and open issues[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2020, 172: 102839.

[45] KUMAR S, RAUT R D, AGRAWAL N, et al. Integrated blockchain and internet of things in the food supply chain: Adoption barriers[J]. *Technovation*, 2022, 118: 102589.

- [46] HANG L, ULLAH I, KIM D H. A secure fish farm platform based on blockchain for agriculture data integrity[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, 170: 105251.
- [47] GALVEZ J F, MEJUTO J C, SIMAL-GANDARA J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis[J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2018, 107: 222–232.
- [48] CHANG Y L, IAKOVOU E, SHI W. Blockchain in global supply chains and cross border trade: A critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities[J]. *International Journal of Production Research*, 2020, 5(7): 2082–2099.
- [49] 王晨旭, 程加成, 桑新欣, 等. 区块链数据隐私保护: 研究现状与展望[J]. *计算机研究与发展*, 2021, 58(10): 2099–2119. [WANG C X, CHENG J C, SANG X X, et al. Data privacy-preserving for blockchain: State of the art and trends[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2021, 58(10): 2099–2119.]
- [50] SANDER F, SEMEIJN J, MAHR D. The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency[J]. *British Food Journal*, 2018, 120(9): 2066–2079.
- [51] 洪学海, 汪洋, 廖方宇. 区块链安全监管技术研究综述[J]. *中国科学基金*, 2020, 34(1): 18–24. [HONG X H, WANG Y, LIAO F Y. Review on technology research of blockchain security supervision[J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2020, 34(1): 18–24.]
- [52] SINGH S, SHARMA P K, YOON B, et al. Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 63: 102364.
- [53] SOUSA P R, RESENDE J S, MARTINS R, et al. The case for blockchain in IoT identity management[J]. *Journal of Enterprise Information Management*, 2022, 35(6): 1477–1505.
- [54] ZAHOOR S, MIR R N. Resource management in pervasive internet of things: A survey[J]. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2021, 33(8): 921–935.
- [55] 潘晨, 刘志强, 刘振, 等. 区块链可扩展性研究: 问题与方法[J]. *计算机研究与发展*, 2018, 55(10): 2099–2110. [PAN C, LIU Z Q, LIU Z, et al. Research on scalability of blockchain technology: Problems and methods[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2018, 55(10): 2099–2110.]
- [56] ZHANG X, SUN P C, XU J P, et al. Blockchain-based safety management system for the grain supply chain[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 36398–36410.
- [57] TAO Q, CUI X H, HUANG X F, et al. Food safety supervision system based on hierarchical multi domain blockchain network[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 51817–51826.
- [58] ZHENG Z B, XIE S, DAI H N, et al. An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2020, 105: 475–491.
- [59] 范吉立, 李晓华, 聂铁铮, 等. 区块链系统中智能合约技术综述[J]. *计算机科学*, 2019, 46(11): 1–10. [FAN J L, LI X H, NIE T Z, et al. Survey on smart contract based on blockchain system[J]. *Computer Science*, 2019, 46(11): 1–10.]
- [60] SABERI S, KOUHIZADEH M, SARKIS J, et al. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management[J]. *International Journal of Production Research*, 2018, 57(7): 2117–2135.
- [61] PRASAD B, JUNNI P. A contingency model of CEO characteristics and firm innovativeness: The moderating role of organizational size[J]. *Management Decision*, 2017, 55(1): 156–177.
- [62] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35: 128–152.
- [63] INKPEN A C, TSANG E W. Social capital, networks, and knowledge transfer[J]. *Academy of Management Review*, 2005, 30(1): 146–165.
- [64] 李勇建, 陈婷. 区块链赋能供应链: 挑战、实施路径与展望[J]. *南开管理评论*, 2021, 24(5): 192–201. [LI Y J, CHEN T. Blockchain empowers supply chain: Challenge, implementation path and prospect[J]. *Nankai Business Review*, 2021, 24(5): 192–201.]
- [65] WANG Y, HAN J H, BEYNON-DAVIES P. Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2019, 24(1): 62–84.
- [66] LENG K J, BI Y, JING L B, et al. Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on blockchain technology[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 86: 641–649.
- [67] WAMBA S F, QUEIROZ M M. Blockchain in the operations and supply chain management: Benefits, challenges and future research opportunities[J]. *International Journal of Information Management*, 2020, 52: 102064.
- [68] HOWSON P. Building trust and equity in marine conservation and fisheries supply chain management with blockchain[J]. *Marine Policy*, 2020, 115: 103873.
- [69] 陈伟光, 袁静. 区块链技术融入全球经济治理: 范式革新与监管挑战[J]. *天津社会科学*, 2020(6): 91–99. [CHEN W G, YUAN J. Integrating blockchain technology into global economic governance: Paradigm change and regulatory challenges[J]. *Tianjin Social Sciences*, 2020(6): 91–99.]
- [70] YEUNG K. Regulation by blockchain: The emerging battle for supremacy between the code of law and code as law[J]. *Modern Law Review*, 2019, 82(2): 207–239.