

· 区块链与供应链 ·

区块链技术赋能食品供应链溯源 综述分析



□王敏学¹ 李 波¹ 温书凝¹ 吴 爽^{1,2} 邢如霄¹ 宋佳欢¹

[1. 天津大学 天津 300072; 2. 海南大学 海口 570228]

【摘 要】 【目的/意义】 食品供应链溯源过程中面临信息难以共享和互通、流程和标准不规范等诸多问题, 区块链基于其本身技术特性为食品供应链溯源问题提供技术应用保障。**【设计/方法】** 选用 Web of Science 和 CNKI 为文献选择样本, 应用 Citespace6.1R6 软件分析区块链技术在食品供应链中的研究热点和发展趋势, 并分别从解决传统溯源缺陷、溯源流程设计和绩效评估三个维度进行现有文献成果评述。**【结论/发现】** 区块链技术应用于食品供应链的相关研究尚处于发展阶段, 且集中在理论框架构建与案例探讨视角, 缺乏对具体案例的实证检验和理论分析。

【关键词】 食品供应链; 溯源; 区块链技术; 文献计量; 知识图谱

[中图分类号] TP399

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2023)-3002

Reviewing Analysis on Traceability in Food Supply Chain Empowered by Blockchain Technology

WANG Min-xue¹ LI Bo¹ WEN Shu-ning¹ WU Shuang^{1,2} XING Ru-xiao¹ SONG Jia-huan¹

(1. Tianjin University Tianjin 300072 China; 2. Hainan University Haikou 570228 China)

Abstract [Purpose/Significance] During traceability in food supply chains, there exist lots of problems like the difficulty to share and exchange information with each other, non-standardization of the process and standards. Blockchain can provide the technical application guarantee for traceability in food supply chains based on its technology properties. [Design/Methodology] The samples for reference are selected in Web of Science and CNKI. The software of Citespace6.1R6, the hot issues and development trends in food supply chains using blockchain technology. Further, the current reviews of the references are given from three dimensions about solving the defects of traditional traceability, the design of tracing process and performance evaluations by application of blockchain technology. [Conclusions/Findings] The relative researches on this field are at the initial stage of development, and all papers are paid more attentions to the establishment of theory frame and case explorations. There are few results about the empirical tests to the specific cases and the deep analysis of theory.

Key words food supply chains; traceability; blockchain technology; bibliometric analysis; knowledge graph

[收稿日期] 2022-11-03

[基金项目] 国家社会科学基金重大项目 (21&ZD102); 天津市教委社会科学重大项目 (2019JWZD34)。

[作者简介] 王敏学 (1995-) 女, 天津大学管理与经济学部博士研究生; 温书凝 (1997-) 女, 天津大学管理与经济学部硕士研究生; 吴爽 (1979-) 女, 天津大学管理与经济学部博士生, 海南大学管理学院讲师; 邢如霄 (1999-) 女, 天津大学管理与经济学部博士研究生; 宋佳欢 (2000-) 女, 天津大学管理与经济学部硕士研究生。

[通信作者] 李波 (1967-) 女, 博士, 天津大学管理与经济学部教授、博士生导师。E-mail: libo0410@tju.edu.cn.

引言

早在20世纪80年代,为了调查疯牛病起因,欧洲相关专家提出食品溯源的概念^[1-2]。之后欧洲开始食品追溯体系建设之路,2000年《食品安全白皮书》和2002年《食品基本法》颁布,奠定食品溯源制度的法律基础^[3-5]。为了减少食品安全事故的发生,我国倡导逐步建立食品追溯体系法律法规,并颁布了相关法规和指南。我国食品安全质量追溯体系建设开始于2002年,2021年通过《中华人民共和国农产品质量安全法(修订草案)》,提出建立食用农产品质量安全追溯制度,为从田间到餐桌的全程供应链追溯提供法律保障^①。

保障食品供应链中产品安全性、食品损耗性等尤为重要,但由于食品供应链涉及的利益方多、环节复杂,一方面难以实现集中供应链管理,另一方面供应链中产生的信息繁杂,传统信息管理难以全覆盖,易造成信息不对称,使得供应链成员之间难以互信。因此,尽管各国政府建立了食品的追溯体系和完善的法律法规,但食品供应链上欺诈、掺假、污染等问题仍不断出现^[6-8]。2011年,沃尔玛(中国重庆店)被爆出“绿色猪肉事件”,6万公斤普通猪肉被贴上“绿色食品”认证标签,假猪肉引发中国民众强烈不满^②。2013年欧洲爆发“马肉事件”,来自波兰和罗马尼亚的马肉被贴上牛肉标签,加工成汉堡等食品在欧洲各国的超市销售。这些掺假肉中还被检测出止痛药成分,更加剧了公众的担忧^[9]。据统计,每年由于食品污染造成的死亡人数接近42万,而食品欺诈、掺假成本难以估计,每年超过400亿美元^[10]。

区块链技术具有去中心化、不可篡改、可追溯等特点,将区块链技术应用于食品供应链追溯问题为政府和企业提供了新思路。如IBM公司与清华大学合作,为沃尔玛集团提供区块链技术架构,实现对中国地区猪肉生产到销售供应链的全流程追踪。2017年5月31日,沃尔玛在中国发布自2016年10月开始的食品安全和可追溯性协议测试结果,表明被追溯食品来源可以在2.2秒内完成,而过去使用非区块链技术需要多周时间^③。阿里巴巴与澳大利亚邮政、Blackmores及普华永道合作,探索利用区块链打击食品欺诈问题。通过建立“食品信任框架”帮助改善全球供应链的完整性和可追溯性^[11]。京东Y事业部为科尔沁牛肉开发区块链系统软件,科尔沁负责源头信息采集和写入的真实性,京东负责商

品仓储物流配送信息的真实性^④。而BeefLedger平台开发一个整合区块链技术与智能合约付款机制的牛肉来源平台,并对其进行商业化。消费者和所有供应链参与者均可从牛肉供应链的信息透明化与简化流程中获益^⑤。

除了以上有关区块链技术在食品供应链中的实际应用,很多学者近年来也非常关注这一领域的理论和实证及案例探索,并取得一系列研究成果。为了了解这一部分的研究现状,本文梳理从2016年至今的中外关于食品供应链溯源中应用区块链技术的相关文献,采用文献计量法对其中研究状况进行统计性描述。并通过对热点词的聚类分析,提炼主要研究领域并进行详细评述,包括基于区块链技术对食品供应链追溯问题、区块链技术应用对供应链绩效影响。最后凝练阐述当前研究面临的挑战与研究方向,并总结全文工作。

一、文献计量分析

对区块链技术在食品供应链溯源应用中的相关国内外文献进行综述分析,包括文献数量、地区分布、作者与核心期刊状况等各方面,为后续研究评述做好准备工作。

(一)数据来源与发文趋势分析

为保障研究样本的权威性和有效性,本文选取国际著名数据库Web of Science(WoS),国内知名数据库CNKI数据库中被收录文献作为研究样本来源,采用Citespace6.1R6实现知识图谱分析。

首先,针对国外文献选取WoS核心集,设置检索主题为blockchain AND supply chain,文章类型为Review OR Article,语言为English,设置时间区间为2010~2022年,共检索到文献1974篇。进一步,缩小文献检索范围为食品或农产品供应链领域,设置检索主题为food OR agriculture,发现2010~2015年文章很少。故重新调整时间区间设置为2016~2022年,共检索到文献428篇,去重后得到428篇。采用CiteSpace6.1R6对上述428篇有效文献进行时间分割为1年的关键词共现分析,从而可获得每年发表文献中的关键词出现频数排行,保留出现频率最高的关键词作为该年热点词,由此获得图1(a)所示的WoS核心集中历年发文数量与热点词。观察图1(a)发现在食品或农业相关领域,基于区块链技术的应用文献研究处于不断增长的趋势,且从2017~2020年文献数量逐年递增,展示出区块链技术在食

品或农业领域应用的巨大潜力。通过分析每年发表文献中频数最高的热点词, 获得其主题词, 如

2018年的“食品安全”、2019年的“可追溯”等成为研究热点。

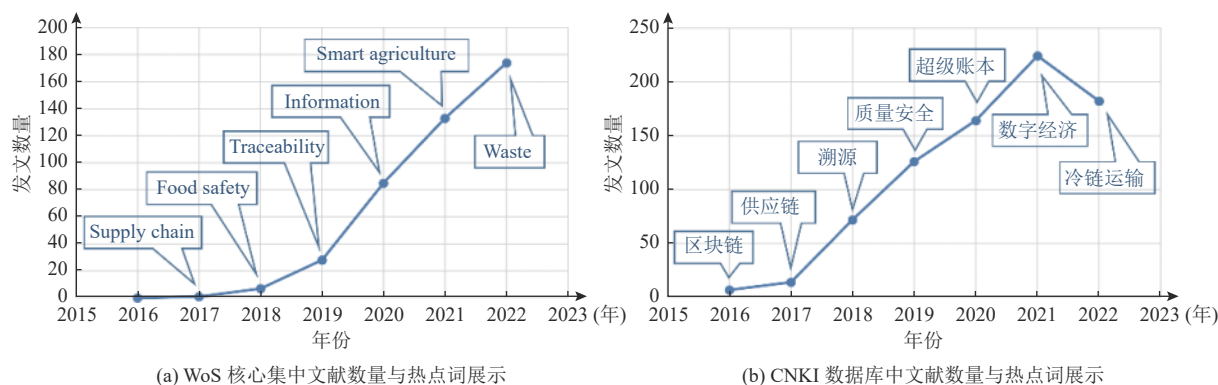


图1 2016年~2022年区块链技术应用用于食品或农业领域的文献数量与热点词

此外, 针对国内文献, 选取《中国学术期刊全文数据库》(简称CNKI)作为研究综述的数据来源。借鉴WoS核心集中的检索结果, 这里以“区块链和食品+农产品”为检索词, 时间设定为2016~2022年, 文章类型不限, 共获得文献861篇, 剔除报纸、会议等与重复文献后, 最终获得有效文献789篇。同理, 采用CiteSpace6.1R6对上述789篇有效文献进行时间分割为1年的关键词共现分析, 可获得CNKI数据库历年发文数量与热点词, 如图1(b)所示。可以看出, 相比于图1(a), 前期国内该领域发表的相关文献也是增长趋势且增速较快, 如从2017年开始在食品或农业领域涉及区块链技术应用的文献从不足20篇持续递增至2021年的220多篇。2022年国内该领域相关文献发表放缓, 发表量相对于2021年有所降低。此外, 国际与国内每年的热点词也不尽相同, 如在2022年国际文献关注浪费, 而

我国文献更聚焦冷链运输; 尽管如此, 2018~2019年无论是国内还是国际的关注热点均有食品安全, 说明在食品安全领域国内外学者都关注如何应用区块链技术解决此问题。

同时, 通过知识图谱对WoS核心集筛选出的文献作者来源进行分析, 选择节点类型为Country, 其他选项默认, 得到地区合作网络图谱, 其中核心程度大于等于0.1的国家结果如图2所示。可知核心程度排名前3位的国家分别是英国、印度和中国。而发文量最大的是中国, 文献数量超过100篇。核心程度是对文献核心程度的度量, 核心程度越大意味着文献被公认的程度越高, 超过0.1即被认为是重要文献。中国的核心程度超过0.1, 是具有较强核心影响力的国家。

通过对国内外高产作者与高产机构的分析, 可以深入了解这一领域的核心研究力量。运用Citespace选择author and institution节点, 其他选项默认, 可

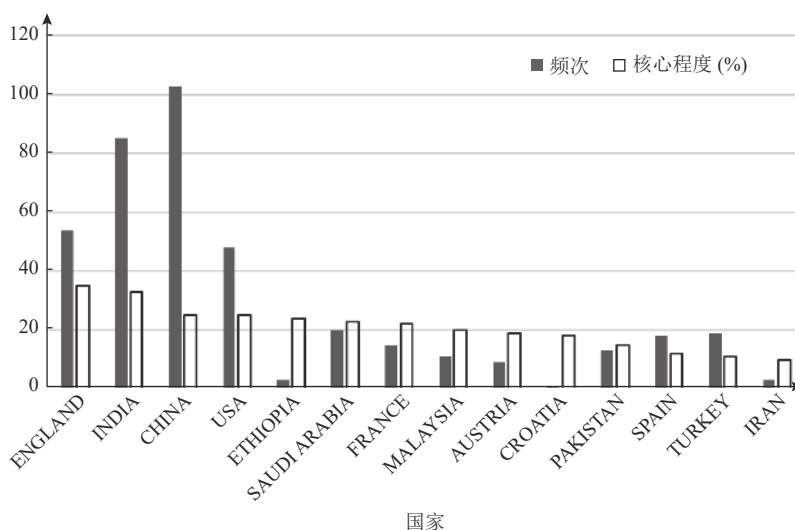


图2 国家发文频次(篇数)/核心程度(%)统计分析

以获得国内外研究主体分析结果图如图3所示。如图3（a）3（b）所示，国内外开展食品或农业领域区块链应用研究的活跃学者发文数量较为均等，在4~6篇左右。观察图3（c）可知国际高产机构大部分也来自中国，这也从侧面印证我国对区块链技术

在食品或农业领域应用的重视程度。图3（c）也展示了国内高产研究机构及发文数量，可以看出农业相关的高等院校以及科研机构占比较大，未来推进产学研深度合作是促进区块链技术在食品与农业应用实践的重要路径。

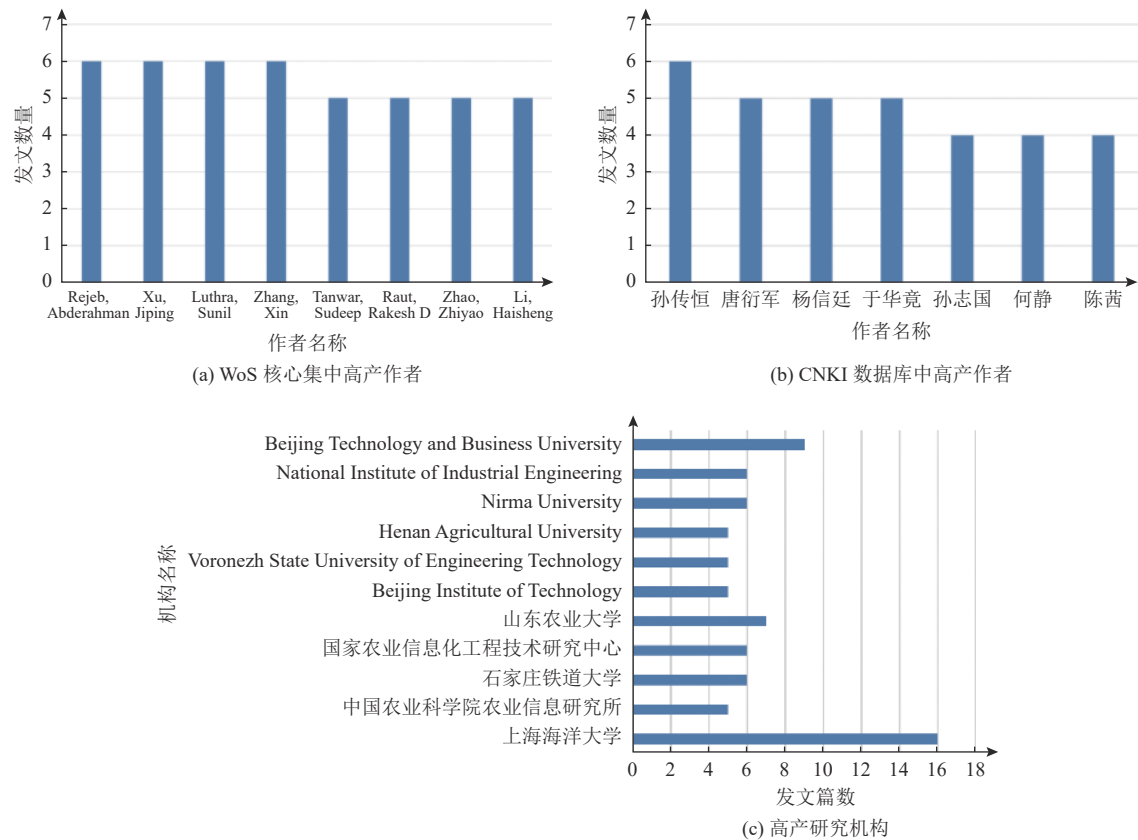


图 3 WoS核心集和CNKI数据库中研究主体分析

（二）国外文献共被引分析与热点词分析

通过软件输出热点词分析结果发现，主要方向划分为两大类：一是涉及技术、物联网、人工智能、智能合约、分布式账本等技术类的热点词，表明区块链技术应用常常与其他智能技术应用关联度很高；二是涉及供应链、食品供应链、溯源、食品安全等，这些与农产品追溯中的供应链上下游关系、产品质量、食品安全等研究息息相关。进一步

剔除本领域中的常识性用词，如“blockchain、food、agriculture”等，表1汇集给出这两大类研究中关注的重要热点词和频数。

因国内外相关研究与众多学科交叉融合比较多，对国内外热点词根据其出现频次开展研究。从表1看出，除了区块链自身技术特点及与其他技术融合视角外，大多文献更多是关注运用区块链技术对信息透明化、可追溯、供应链管理、食品安全等

表 1 WoS核心集和CNKI数据库中相关热点词分析

热点词分类		热点词与频数
技术视角	国际	internet of thing/iot物联网（59次）,smart contract智能合约（53次）,big data大数据（39次）,artificial intelligence人工智能（17次）,distributed ledger technology分布式账本技术（17次）
	国内	智能合约（63次），物联网（56次），去中心化（40次），共识机制（22次），联盟链（16次），大数据（15次），超级账本（13次）
行业应用	国际	（food）supply chain食品供应链（224次）,management管理（124次），（food）traceability溯源（106次），（food）safety食品安全（66次），framework框架（66次），security安全性（22次），logistics物流（21次）
	国内	（食品）溯源/追溯（系统、体系）（159次），（食品、质量）安全（102次），（食品、农产品）供应链（49次），冷链（物流、运输）（25次），乡村振兴（15次），沃尔玛（12次）

注：因国内外相关研究拓展丰富且内容发散，热点词按照出现频数计算。（食品、质量）安全的频数按照“食品安全”+“质量安全”+“安全”计算，其他同理计算。

应用的研究视角。如除了食品供应链（224次）外，溯源（106次）、食品安全（66次）等一直是传统食品溯源的痛点，频数远远高于其他热点词。而物联网技术（59次）等智慧技术与区块链融合应用成为改善溯源绩效的主要手段，文献研究也占据很重要的比例。追溯框架设计（66次）与物流（21次）等也是区块链应用于食品或农业时被考虑的关键词。

对比国际国内热点词可以发现，在技术视角区块链自身的机制设计如智能合约、去中心化等成为国内外共同研究热点，而大数据、物联网等智慧技术的融合应用也受到关注。但在行业应用上，国内研究与国际热点的一个明显差异在于我国乡村振兴（15次）战略的提出，在政策层面上大大推动区块链技术在食品或农业领域的应用。此外，（食品）溯源/追溯（系统、体系）（159次），（食品、质量）安全（102次），（食品、农产品）供应链（49次）等成为国内外共同的热词，且沃尔玛（11次）作为应用区块链开展食品安全追溯的典型行业应用案例被不断提及。

通过以上对食品或农业领域有关区块链技术应用成果进行文献计量分析，发现其中文献核心度较高或被引频次较高的文献大多集中在食品供应链

中且主要关注信息透明化、溯源与食品安全方面。由此，下面将主要关注在食品供应链研究范畴内且对已经取得的研究工作展开评述。

二、区块链技术下食品供应链溯源文献评述分析

总结以上食品供应链中涉及的所有文献，通过聚类得出三方面的研究主题：一是讨论如何应用区块链技术解决食品溯源问题；二是基于区块链技术进行食品供应链溯源与监督体系设计；三是区块链技术应用与食品供应链的绩效分析。下面分别进行详述。

（一）引入区块链技术解决食品质量溯源问题

食品供应链中因为质量安全性，对其溯源问题一直受到学者的关注。但传统溯源技术不能保证及时发现并反馈问题，其原因主要是传统技术的局限性。因此，很多文献讨论如何引入区块链技术，借助区块链的性质如去中心化、不可篡改等解决食品供应链溯源问题。分析这些文献，图4给出其中引入区块链技术应用三个出发点，分别是产品自身特点、供应链结构、供应链成员间信任关系。图4总结了这些文献讨论中涉及食品溯源存在问题、应用区块链技术的应对策略等，下面详细阐述。

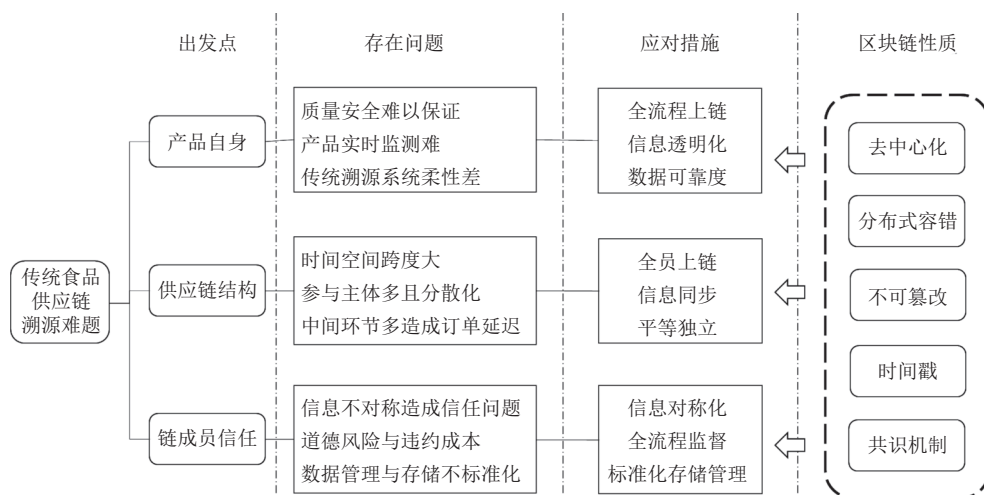


图4 区块链技术解决传统溯源的不足

1. 关注食品本身

食品安全包括食品质量与安全与从源头到消费终端的供应链食品流程安全，故从食品本身特性出发的文献划分成两大部分。首先是食品本身安全管理问题，如是否被掺假、是否符合食品制作规范或要求等。有学者探索如何采用区块链技术来构建食品本身质量安全的溯源系统，如Dabbene等指出随着

食品安全日益严格要求及食品本身（如转基因与非转基因、有机或绿色等）要求不断提高，需发展效率越来越高的食品质量安全追溯系统^[12]。而曾小青等讨论引入区块链系统，如何从源头解决食品安全问题，并提高食品安全性与食品质量透明度^[13]。张利等构建区块链技术下的农产品溯源体系，提高产品本身质量的可靠性和可验证性^[14]。

进一步,更多学者关注供应链各环节中食品安全,即食品的新鲜度、易腐性与变质性、损耗性等,实现供应链上食品安全的全流程管理。如Balaji和Arshinder调查发现在印度等新兴市场从农场到消费端易腐新鲜食品供应链损耗很高,食品安全追溯很重要^[15]。孙俊等以鱼肉制品为例研究基于联盟区块链的农产品供应链追溯系统模型,证明区块链可有效提高系统鲁棒性、数据可信度和可靠性^[16]。王志铎等针对传统农产品溯源系统追溯结果可信度低和灵活性差等问题,提出一种基于区块链的农产品供应链柔性可信溯源解决方案^[17]。刘金鹏等引入区块链系统解决食品接触用塑料包装在整个供应链流通中信息不全面、不及时、易篡改、追溯数据真实性和完整性无法保证等问题^[18]。

以上文献分别从食品本身质量和食品流程全过程出发,探索采用区块链技术应用于食品质量安全追溯的问题。然而,这些文献仅仅是停留在引入区块链技术应用,并讨论如何解决传统食品安全溯源问题和存在优势等层面上。

2. 关注供应链结构

随着近年来消费者对食品真实性、营养性、安全性的需求不断提高,全球化、城市化和农业产业化等一系列发展使得农业食品供应链网络更加复杂化^[19],而需求和供应也不再局限于一个国家或地区,供应链复杂程度提高加大食品溯源的难度^[20]。因为食品供应链中环节较多,参与主体复杂且分散,实现集中供应链管理很困难。而传统食品溯源方法是通过将垂直供应链成员进行连接,保证一定程度上信息透明化实现的^[10]。事实上,目前很多食品都具有复杂的多步垂直与水平集成供应链网络系统,若在这种垂直与水平混合的复杂供应链上流通食品(如来自多个农场的牛奶),传统追溯方法很容易失效。即使整个链的可追溯性是可能的,也需要大量的时间,造成成本很高^[21]。

采用区块链技术去中心化特性可以减少冗余环节,保证链上个体是平等的,实时更新特点可减少分散带来的延迟效应,整合复杂而脆弱的食品供应链结构。如钱建平等提出引入区块链技术,改善食品供应链时空跨度大、参与主体众多且分散与运作困难等问题,以对数据采集增加约束机制^[22]。Casado等构建区块链+多代理系统模式的农产品供应链模型,解决供应链流通中由于订单分散情况造成订单延迟,且运用区块链技术保证数据安全^[23]。Galvez等也指出采用区块链技术,不仅可减少中间商,降低成本,提高信息传递速度和覆盖范围,还

可为消费者提供更大的透明度和可追溯性^[24]。

以上文献均考虑了食品供应链的结构特征及其为保证食品安全进行可追溯存在的问题,指出引入区块链技术是一个解决途径,尤其是在保证数据安全性方面,区块链技术引入的作用显得更为突出。

3. 关注供应链成员信任

食品供应链成员间的信任问题一直是传统溯源问题的窘境之一,有学者探索引入区块链技术解决此问题的可能性。如Chen等提出链上成员缺乏信任的根本原因在于参与主体小而分散,造成资源整合与产品流通困难。故传统的信息追溯与记录不能完全覆盖供应链整体网络且容易发生篡改和丢失,而区块链的去中心化技术可以有效解决此问题^[25]。Aung和Chang从消费者参与追溯视角研究,认为企业需要更快的反应时间来处理食品安全问题,链上企业间通过良好的追溯性最大限度地减少不安全或劣质产品的生产和分销问题^[26]。

进一步,汪普庆等认为食品安全与链上成员间信任问题的根源在于信息不对称导致的逆向选择和道德风险,具备公开、透明、共享和安全等特性的区块链技术可较好解决此问题^[27]。王艳萍也提出农产品的质量很大程度是由于信息不对称,而引入区块链技术的可追溯系统是解决的一个途径^[28]。尚杰等关注生态农产品供应链运行中出现的各种违约行为,证明区块链技术应用可增加生态农产品供应链内部交易且提高主体违约成本^[29]。同时,李明佳等针对传统食品溯源系统信息采集不标准、数据存储不安全、中心系统易受攻击和企业间信息交换过程隐私不能保障等问题,指出区块链的分布式容错、不可篡改与隐私保护特点可以有效解决成员们面临的食品安全问题^[30]。Feng等结合区块链与物联网技术,构建监管人员和从业人员共同参与的农产品供应链溯源体系^[31]。

综上,应用区块链技术解决食品供应链溯源问题的研究总结如表2所示,学者们主要从三个关注点进行研究,侧重不同问题从食品安全与供应链流程安全、供应链结构复杂性、链上成员信任度等方面出发,探索应用区块链技术如何解决传统食品供应链中的食品安全问题。

(二) 区块链技术下食品供应链溯源系统设计

上一节主要讨论区块链技术应用食品供应链解决溯源问题的可行性,而本部分文献更关注如何搭建一个基于区块链技术支持的食品供应链溯源体系框架^[33]。整理此部分文献成果,将其分成了食品溯源体系设计与食品监管体系设计两部分。

表 2 应用区块链技术解决食品供应链溯源问题研究成果

关注点	出发点	应用区块链技术追溯典型文献
食品本身	食品本身质量安全，如掺假、符合规范等	Dabbene等（2012） ^[12] ，曾小青等（2018） ^[13] 等
	食品供应链流程安全：如产品新鲜度、腐烂与变质性、损耗性等	Balaji等（2016） ^[15] ，孙俊等（2018） ^[16] ，王志铨等（2020） ^[17] ，刘金鹏等（2020） ^[18]
供应链结构	食品供应链呈现复杂化、网络化结构	传统食品溯源方法成本很高：Wognum（2011） ^[21] ，Bloemhof等（2017） ^[20] ，George等（2019） ^[19] ，Pearson等（2019） ^[10]
	供应链系统存在垂直整合与水平整合结构	区块链的去中心化技术改善食品供应链网络复杂性：钱建平（2020） ^[22] ，Casado等（2018） ^[23] ，Galvez等（2018） ^[24]
成员间信任关系	供应链各方信任度低	构建供应链的信任关系：Chen等（2017） ^[25] ，Aung和Chang（2014） ^[26] ，崔占峰（2021） ^[32]
	链上信息不对称严重	溯源信息透明化：汪普庆等（2019） ^[27] ，王艳萍（2018） ^[28] ，尚杰等（2020） ^[29]
	链上数据采集与存储不标准化	构建标准化农产品供应链溯源体系：李明佳等（2019） ^[30] ，Feng等（2020） ^[31]

首先，在食品溯源体系设计方面，国内外主要文献的研究状况如表3所示。可以看出国外很多学者从区块链技术的特点出发深入探索食品供应链的溯源体系和平台系统设计，如Aung和Chang^[26]，

Lin等^[34]，Pearson等^[10]及其Feng等^[31]。在国内，更多学者是从食品全过程，即从源头生产到终端客户全过程上的追溯，如产品质量的追溯^[35]、物流过程的追溯^[36-38]、信息流的追溯^[39-41]等进行研究，见表3所示。

表 3 基于区块链技术的食品供应链溯源体系设计研究成果

文献	研究主题
Aung和Chang（2014） ^[26]	界定追溯与追溯目标、给出食品供应链中追溯的驱动因素、分析食品安全与质量相关的追溯需求、构建食品追溯系统的概念框架；
Lin等(2019) ^[34]	基于区块链和EPC信息方服务，设计一个食品安全可追溯系统并给出原型系统框架；
Pearson等（2019） ^[10]	阐述食品安全可追溯重要性，设计通过区块链分布式账本技术（Distributed Ledger Technology, DLT）的食品供应链，展示从生产者到最终用户数据流的系统架构；
Feng等（2020） ^[31]	回顾区块链的技术特性并设计基于区块链技术的食品追溯系统架构设计与适用性应用流程图；
陶启等（2018） ^[35]	通过区块链技术，构建从农田到餐桌的大米全产业链质量安全溯源系统；
殷文杰等（2022） ^[36]	设计基于区块链技术的野生农产品信息溯源体系；
洪坤明等（2019） ^[37]	以水产养殖品为研究对象构建基于区块链的追溯系统；
刘如意等（2020） ^[38]	基于智能合约等技术，对跨境农产品的交易、物流、溯源、融资联盟链进行了构建；
任守刚等（2020） ^[39]	分析农作物全产业链中从农资购买到粮食销售整个信息流程，设计区块链下的农作物全链条信息溯源平台；
董云峰等（2020） ^[40]	应用区块链技术设计粮油食品供应链可信追溯系统，并结合具体应用场景和案例验证方案的有效性和可行性；
许继平等（2020） ^[41]	基于超级账本结构设计粮油食品全供应链信息安全管理原型系统框架及具体实现过程，并通过具体案例进行验证。

进一步，在应用区块链技术设计监管体系方

面，也有一些学者进行了探索，见表4所示。

表 4 基于区块链技术的食品供应链监管体系设计研究成果

文献	研究主题
Galvez等（2018） ^[24]	协助政府建立区块链技术下跨行业或跨部门的专业体系，对食品供应链监管提供应用建议；
Mao等（2018） ^[42]	为加强食品供应链监督管理有效性，构建基于区块链技术的评价体系，协助监管机构收集更可靠和真实的信息；
Leng等（2018） ^[43]	建立基于双链架构的农业供应链公共区块链系统，以提高公共服务平台的可信度和系统的整体效率；
Hao等（2020） ^[44]	以水产品为例构建区块链技术和可视化结合的食品安全风险评估模型，并制定风险区域监管管理战略；
霍红和詹帅（2019） ^[45]	确定农产品质量监管过程中的监管主体及对象，形成区块链嵌入下的农产品质量安全全过程监管体系；
李天明等（2019） ^[46]	提炼区块链技术特征,设计区块链与物联网相融合的食品信息溯源监管系统。

尽管区块链技术的透明性和可溯源特征帮助食品供应链缓解其追溯流程的困难，但由于缺乏明确的标准与规范，使得企业在发展完善过程中缺乏改进方向。目前国内外相关学者都在积极探索区块链驱动下食品供应链监管体系的构建问题并提出相应思路和建议。依据表4总结发现，国外学者如Galvez等^[24]，Mao等^[42]，Leng等^[43]，Hao等^[44]侧重于研究建立互联互通的政府监管系统，以提升监管效率。而国内研究从确定农产品供应链监管对象^[45]，设计区块链与物联网融合的食品监管系统^[46]等视角进行研究。

由以上文献综述可知，针对传统食品供应链中产品溯源存在的问题，很多学者探讨采用区块链技术进行溯源框架系统的设计来改善目前现状，并取得很好成果^[47]。事实上，基于区块链技术的公开平等、不可篡改、流程透明等特性，溯源体系设计有效解决食品属性特殊带来的供应链管理问题，而监管体系设计对供应链结构组织复杂、成员信任存疑的矛盾进行协调，可以从整体架构上实现运用区块链技术对食品供应链的流程优化。

（三）区块链技术下赋能供应链绩效的影响分析
本节将继续对区块链技术作用于供应链产生的

绩效效果进行讨论，分析食品溯源特征对供应链绩效的影响。由于有关区块链技术在食品供应链绩效研究讨论文献较少，这里将研究范畴扩展到基于区块链技术的供应链绩效，而不仅仅局限在食品供应链领域内。虽然这类文献并非针对食品供应链领域进行研究，但其研究方法和结论对食品供应链同样具有指导作用。

考虑区块链技术赋能供应链绩效的影响作用，

会发现一些文献从产品溯源特征视角出发，通过构建新的供应链模型进行研究，其中探索视角之一是改善信息不对称带来的成员间欺骗造假行为，本文将这种绩效影响定义为区块链技术赋能信息披露的绩效影响；另一个是区块链技术支持下产品溯源对供应链某些具体绩效的决策影响，如成本、质量、效益、可靠性、风险性与灵活性等，区块链技术赋能供应链绩效的成果见表5所示。

表 5 区块链技术赋能供应链绩效的研究成果

出发点	主要研究成果
	针对食品安全或农产品质量安全问题，多个学者从不同角度出发验证区块链技术应用对产品供应链信息溯源和信息披露存在积极效应，如Hao等（2020） ^[44] ，张利与童舟（2019） ^[14] ，霍红与詹帅（2019） ^[45] ，赵俊丽与冉文学（2020） ^[48] ，丁锦城，吴清烈（2021） ^[49] 。
区块链技术赋能信息披露的作用及对供应链绩效影响	从其他供应链视角出发讨论区块链技术经信息披露对绩效影响问题，如Choi等（2019）从航空物流 ^[50] 、Benjaafar等（2020）从绿色采购 ^[51] 、闫妍和张锦（2018）从3PL参与的交易成本 ^[52] 、Xu等（2021）从零售平台 ^[53] 等考虑区块链引入后信息披露对绩效改善作用。Pun等（2021）从奢侈品牌仿冒角度 ^[54] 引入区块链技术，发现消费者信任对供应链有效运行起到关键作用；而盛守一 ^[55] （2021）构建供应链信息资源共享模型，提出区块链引入对减少信息不对称有很大作用。
产品溯源赋能供应链绩效（如成本、效益、质量等）	在食品供应链中，Kshetri等（2018） ^[56] 和Kamilaris等（2019） ^[33] 分析区块链技术如何影响供应链溯源中关键绩效目标（如成本、质量、速度等）和遇到的挑战 ^[57] ；而Georg等（2019）从餐馆食品质量数据 ^[19] 、He等（2021）从生鲜产品 ^[58] 、Paul等（2021）从茶叶 ^[59] 、Yang等（2021）从疫情下平台运营食品 ^[60] 等供应链溯源视角，对供应链收益绩效进行决策分析，发现区块链引入具有突出益处。 探索区块链技术引入对其他供应链绩效的影响作用，如Choi等考虑区块链技术如何提升供应链绩效的成果 ^[51,61-65] ，分别从钻石认证、时尚品数据质量与融资策略、航空物流等方面进行研究；而李健等（2020）以中小企业仓单质押业务为研究对象，发现区块链技术对初始库存高、利润率高企业更有利 ^[66] 。

从表5发现，采用区块链技术进行食品或农产品供应链的溯源应用，很多文献都提出信息披露和信息对称化对引入区块链技术的积极绩效效应^[14,44-45,48-49]，这是显然的。然而，上述文献更多探索食品供应链中如何基于区块链技术进行溯源，而对信息披露的决策影响讨论并不深入。还有一些学者讨论在其他行业，如绿色产品质量跟踪^[50-51]、物流成本降低^[52]、平台信息披露^[53]、奢侈品牌仿冒抵制^[54]等方面也探索了区块链引入后对供应链绩效的正向影响。

进一步，有很多学者从产品溯源角度对供应链绩效，如成本、效益、质量等进行影响研究，见表5所示。具体在食品供应链中，有从全局视角对区块链技术引入后食品供应链的各类绩效与可能的挑战进行探索^[33,56]，还有从某一具体食品供应链出发的分析与应用研究^[57-60]。类似地，也有一些学者讨论其他供应链中区块链溯源引入对绩效的效应^[50,61-66]，所有研究表明该效应都具有显著的正向积极作用。

由此，这里将区块链技术应用对供应链绩效影响归纳为特殊影响（信息披露效应）与一般影响（提升绩效效应）。前者是对区块链技术克服信息不对称带来的成员欺诈行为相关绩效效应的概念界定，后者依据传统供应链管理中成本或效益绩效概念定义。研究均表明：在一定合适条件下区块链技术能够解决传统产品溯源的不足，且基于区块链技术应用可对产品信息披露与企业绩效产生正面积极

效果，包括但不限于促进流程信息透明化与减少造假欺诈行为，实现成本、质量与收益等管理绩效指标的提升。

三、区块链技术下食品供应链溯源问题的挑战与发展趋势

通过以上对食品供应链溯源问题的文献分析可以发现，对于目前食品供应链的突出问题，如产品可追溯性低、信息不对称与信息欺诈、供应链管理不善等，引入区块链技术被认为是一种有效改善的途径，并得到很多验证与试点测试分析，获得正面的积极的反馈^[67]。然而，不可否认是区块链技术引入食品供应链仍处于起步阶段，但要广泛应用还面临诸多挑战，亟需进一步探索。

（一）存在的挑战

区块链作为一种去中心化、不可篡改、可追溯、多方共同维护的分布式数据库^[68]，其具体实施过程要求应用场景中存在多方利益关联、多方互不信任且需要改善信任达成共识、涉及加密和数据安全等条件。食品供应链由于其涉及的利益方多、环节复杂且易受外部环境影响等特点，恰好契合上述实施条件，但在具体实施过程中，区块链技术能否充分发挥效用仍需考虑其他多方因素的影响，如图5所示。

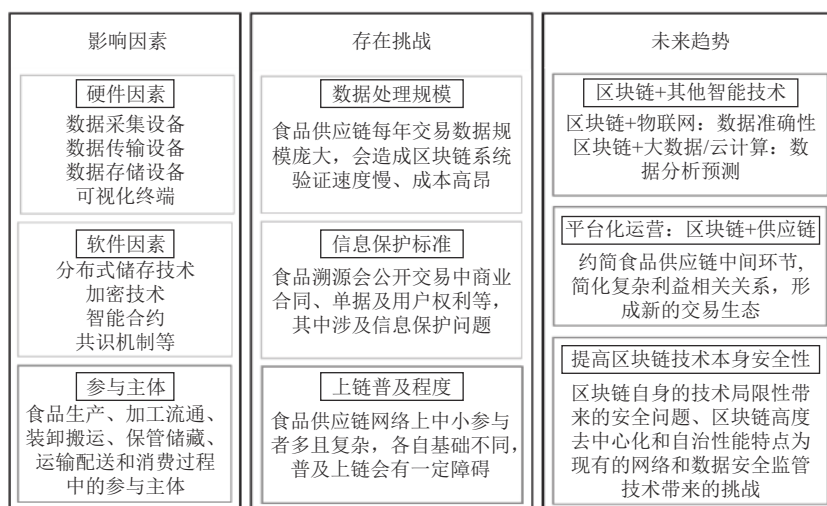


图5 食品供应链溯源问题中引入区块链技术

影响食品供应链引入区块链技术的因素可划分为三方面:硬件因素、软件因素、参与主体。首先,区块链技术进行食品质量溯源主要凭借数据在传输过程中的不可篡改性,但如果初始数据录入就存在错误^[69],则会对区块链中其他参与者产生信息误导,另由于区块链的不可篡改性,后续为纠正数据误差带来的资源耗费巨大^[70],因此,引入区块链所需的如数据采集、数据传输等硬件设备必不可少。其次,区块链技术采用方或第三方的技术成熟度。技术成熟度高低决定了区块链技术的数据处理能力及信息安全问题,其影响区块链技术引入在食品供应链中能发挥的效用大小。最后,食品供应链追溯过程涉及利益相关者多且性质复杂,在食品供应链中引入区块链需保证关键节点的主体成为区块链的参与方。

结合食品供应链溯源特点及区块链技术应用基础,图5中给出目前在食品供应链中应用区块链技术存在的挑战,主要包括三方面:一是数据处理规模问题;二是上链后信息保护问题;三是供应链成员上区块链的普及程度问题。

1. 引入区块链食品供应链中数据处理规模问题

由于食品供应链的交易主体众多,造成食品供应链网络庞大,一次交易就存在大量用户,从而产生大量数据。根据Pearson等的假设,全球食品供应链上数据规模每年可达到约千万亿字节^[10]。在区块链的数据存储中,区块链上每一块都会拷贝每一次的交易记录,即每个块携带所有交易的完整历史记录。随着交易数量增长,数据量越来越大,区块链系统验证速度将会变得越慢,成本高昂。

可伸缩性是区块链上其本质固有的技术问题。

可伸缩性是一种对软件系统计算处理能力的设计指标,高可伸缩性代表一种弹性,即在系统扩展成长过程中,软件能够保证旺盛的生命力,通过很少的改动甚至只是硬件设备的添置,就能实现整个系统处理能力的线性增长,从而实现高吞吐量和低延迟高性能。因此,如何提升区块链的可伸缩性和可扩展性,同时保持高度的安全性和分散性,是解决食品供应链中交易数据规模庞大问题的未来技术解决方案。

2. 区块链技术应用中的信息保护问题

由于区块链是一个开放的数据库,利用区块链技术实现食品供应链的产品溯源,将会公开交易中的商业合同、单据及用户财务数据等,这些涉及信息保护问题。这里的信息保护涉及两方面:技术层面与法律法规层面。从技术视角,学者们正在积极探索如何进行上链信息保护问题研究,但还处于需要进一步完善阶段。而从法律法规视角,一些国家或机构已经出台针对区块链发展的相关支持。如我国出版《区块链白皮书》,并启动与区块链相关的项目^[24]。2018年9月,在2018区块链·新经济第四届区块链全球峰会上,ISO/TC307主席Craig Dunn发表题为《区块链分布式账本技术:国际标准的案例与推进路径》演讲,表明有近50个国家(包括中国)参与在区块链标准制定的过程中^[10]。但截至目前,食品供应链领域仍没有严格的区块链相关政策与法规。因此,上链信息保护中的技术与法律法规相关研究仍需持续研究。

3. 食品供应链上利益相关者上链普及程度问题

在食品供应链中,因为追溯过程涉及的利益相关者多且性质复杂,区块链技术应用上链普及程度会遇到很多困难。事实上,在区块链技术下,需要

从食品供应链的源头原材料供应商直至供应链多层次的涉及利益相关者都参与上链,同时最终用户的所有权要求与检查产品的历史记录也需接入区块链中,即让所有利益相关者参与上链才能真正实现区块链技术下的溯源过程。然而,由于食品供应链上大多属于中小企业者,它们认识水平和基础设施千差万别,普及上链不易实现。尤其对于中小企业和发展中国家而言,区块链技术的应用实施和相关基础设施费用会是其发展的主要障碍^[10,33]。因此,如何协调食品供应链中所有利益相关者全员参与区块链,是制约利用区块链技术实现食品供应链追溯的关键问题。现有文献大多对该问题的讨论表现为浅尝辄止,缺乏深入分析和基于实践问题情景的指导可行性建议。

(二) 未来发展趋势

针对以上区块链技术在食品供应链中的应用挑战,下面分别从以区块链技术为主体多种数字化手段结合的创新运营场景、基于区块链技术的食品供应链平台运营模式、区块链技术本身的技术安全性提升三方面来展望未来的发展趋势。

1. 区块链技术与其他智能技术融合的创新数字化转型策略

在我国目前各行各业数字化转型浪潮下,食品供应链上为保证溯源的数据准确性,需和其他智能技术,如物联网,首先获取链上可靠的数据来源能够接入网络,保证数据在链上各个环节的真实性和可靠性。然后基于区块链的去中心化、不可篡改特性来形成食品供应链的信任体系^[71]。进一步,区块链技术与诸如云计算、大数据等智慧技术相互融合,对食品供应链数据进行分析与预测,能完善链上数据量过度增加的情形,并提高链上信息的对称性,克服食品供应链中的信息不透明、信息监控困难等现象。

2. 食品供应链与区块链“双链融合”的平台运营模式

有学者通过案例讨论了区块链技术赋能创新的商业模式,认为区块链技术能构建供应链上不同合作伙伴利益各方的平等交易生态关系^[72],并通过针对供应链上的信息对称化、可追溯化构建成员间的信任机制,同时指出平台化运营是一个创新发展的方向^[73]。为了应对食品供应链中涉及的利益相关者多且性质复杂、交易数据量大的挑战,已经有研究指出应对策略是压缩供应链链长,如采取从农庄到消费者的直销模式,把大量中间环节进行约简,把复杂的利益相关者关系进行简化,而平台化运营就

是这样一种模式^[74]。尤其是目前环境下,更多食品企业选择在零售平台上进行销售。因此,构建食品供应链与区块链“双链融合”的平台化运营模式是具有潜力的创新发展方向。

3. 提高区块链技术以应对当前信息安全挑战

尽管区块链技术的去中心化、不可篡改、可追溯等特点使得将其应用于食品供应链能够很好地解决食品质量溯源这一难题,但当下互联网技术发展迅速,在此过程中由区块链技术招致的信息安全问题不容忽视。区块链技术的信息安全问题主要涉及两个方面^[75]:一是区块链自身的技术局限性带来的安全问题,例如针对算法、协议、实现、应用以及系统等层面的破坏、更改和泄露等外部安全威胁;二是区块链高度去中心化和自治性能特点为现有的网络和数据安全监管技术带来的挑战。虽二者皆可通过采用一些外部手段(例如与其他智能技术结合等方式)进行改善,但提高区块链技术、解决区块链技术本身局限性才是应对当前信息安全挑战的根本之道。

四、总结

本文回顾2016~2022年与区块链技术应用相关的食品供应链领域的研究成果,分析表明区块链技术给食品供应链溯源带来积极作用。很多文献通过案例验证或建立体系框架研究,发现通过区块链技术能够使食品供应链信息透明度提高,且产品质量信息真实性对称化。因此,区块链技术应用能通过提高食品供应链成员间信息共享程度与信任水平,增加供应链管理与可追溯系统的效率,从而提升供应链绩效。

从文献数量与年度分布看,区块链技术应用与食品供应链的研究动力来源于区块链应用的技术创新与各国政策的推动作用。从文献研究发现近年来区块链技术应用与食品供应链可以总结为理论研究不断更新、实证研究井喷式发展。现有部分文献探索基于区块链技术应用食品供应链概念体系设计理论,而另一部分专注于实证研究方面,考虑区块链技术在食品供应链中的现实应用场景。然而,通过文献综述也发现区块链技术在食品供应链上的应用理论还不成熟,投入区块链技术还存在成本等方面的困境,所以基于实际数据的实证研究数量较少。而理论与实践应用间也存在技术壁垒,因此区块链技术创新在理论研究方面也还需要很长一段路去探索。

由于食品供应链与区块链技术应用融合的研究领域较新, 本文的文献综述分析存在一些局限性, 如由于Citespace软件不能对CNKI数据库进行共被引文献分析, 本文缺少国内文献的核心度相关研究。进一步, 本文的未来研究需要关注在区块链技术的实际应用方面, 以提供更多的实证数据和案例分析。此外, 食品供应链中会涉及不同品类的食品, 如新鲜食品、冷冻食品、加工食品等, 它们各自特点不同, 对应供应链也有其特殊性。本文没有考虑这类具体特性的供应链情形, 未来研究可以更精细化进行溯源, 以更好满足不同食品特性供应链的质量安全问题。

注释

- ① 《中华人民共和国农产品质量安全法(修订草案)》, <http://news.10jqka.com.cn/20210901/c632373700.shtml>.
- ② 沃尔玛假冒“绿色猪肉”事件, http://blog.sina.com.cn/s/blog_43f26cc70100y40b.html.
- ③ 沃尔玛与IBM公布区块链供应链合作项目成果追溯食品时间缩短至2.2秒, <https://www.jinse.com/news/blockchain/27808.html>.
- ④ 京东区块链技术, 赋能“中国好生鲜”, https://www.sohu.com/a/157161722_116326.
- ⑤ 澳大利亚公司BeefLedger 将在中国启动牛肉溯源平台, <http://www.mycailing.com.cn/news/2020/01/07/385071.html>.

参考文献

- [1] CHEN K, WANG X, SONG H. Food safety regulatory systems in Europe and China: a study of how co-regulation can improve regulatory effectiveness[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2015, 14(11): 2203-2217.
- [2] 罗坤, 汪东华, 郑重, 等. 浅析国内外食品安全溯源监管体系[J]. *中国标准化*, 2017(10): 106-110.
- [3] JENSEN K K, SANDOE P. Food safety and ethics: the interplay between science and values[J]. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 2002, 15: 245-253.
- [4] PARDO R, MIDDEN C, MILLER J D. Attitudes toward biotechnology in the European Union[J]. *Journal of biotechnology*, 2002, 98(1): 9-24.
- [5] UGLAND T, VEGGELAND F. Experiments in food safety policy integration in the European Union[J]. *Journal of Common Market Studies*, 2006, 44(3): 607-624.
- [6] KSHETRI N. 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives[J]. *International Journal of Information Management*, 2018, 39: 80-89.
- [7] ROGERSON M, PARRY G C. Blockchain: case studies in food supply chain visibility[J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2020, 25(5): 601-614.
- [8] KÖHLER S, PIZZOL M. Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 269: 122193.
- [9] BRICE J, DONALDSON A, MIDGLEY J. Strategic ignorance and crises of trust: un-anticipating futures and governing food supply chains in the shadow of Horsegate[J]. *Economy and Society*, 2020, 49(4): 619-641.
- [10] 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.
- [11] BEHNKE K, JANSSEN M F W H A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology[J]. *International Journal of Information Management*, 2020, 52: 101969.
- [12] DABBENEF GAY P, TORTIAC. Traceability issues in food supply chain management: a review[J]. *Biosystems Engineering*, 2014, 120(1): 65-80.
- [13] 曾小青, 彭越, 王琪. 物联网加区块链的食品安全追溯系统研究[J]. *食品与机械*, 2018, 34(9): 100-105.
- [14] 张利, 童舟. 基于区块链技术的农产品溯源体系研究[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(13): 245-249.
- [15] BALAJI M, ARSHINDER K. Modeling the causes of food wastage in Indian perishable food supply chain[J]. *Resources Conservation & Recycling*, 2016, 114: 153-167.
- [16] 孙俊, 何小东, 陈建华. 基于区块链的农产品追溯系统架构研究[J]. *河南农业科学*, 2018, 47(10): 149-153.
- [17] 王志铨, 柳平增, 宋成宝, 等. 基于区块链的农产品柔性可信溯源系统研究[J]. *计算机工程*, 2020, 46(12): 313-320.
- [18] 刘金鹏, 赵红, 刘新星, 等. 区块链在食品接触用塑料包装溯源系统的应用[J]. *包装工程*, 2020, 41(17): 165-170.
- [19] GEORGE R V, HARSH H O, RAY P. Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 240: 118021.
- [20] BLOEMHOF J M, SOYSAL M. Sustainable food supply chain design[J]. *Sustainable Supply Chains: A Research-based Textbook on Operations and Strategy*, 2017: 395-412.
- [21] WOGNUM P M N, BREMMERS H, TRIENEKENS J H, et al. Systems for sustainability and transparency of food supply chains—current status and challenges[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2011, 25(1): 65-76.
- [22] 钱建平, 吴文斌, 杨鹏. 新一代信息技术对农产品追溯系统智能化影响的综述[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(5): 182-191.
- [23] CASADO-VARA R, PRIETO J, PRIETA F, et al. How blockchain improves the supply chain: case study alimentary supply chain[J]. *Procedia Computer Science*, 2018,

134: 393-398.

[24] 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.

[25] CHEN S, SHI R, REN Z, et al. A blockchain-based supply chain quality management framework[C]. [s.l.]:The Fourteenth IEEE International Conference on e-Business Engineering. 2017, 11: 172-176.

[26] AUNG M M, CHANG Y S. Traceability in a food supply chain: safety and quality perspectives[J]. *Food Control*, 2014, 39: 172-184.

[27] 汪普庆, 瞿翔, 熊航, 等. 区块链技术在食品安全管理中的应用研究[J]. *农业技术经济*, 2019(9): 82-90.

[28] 王艳萍. 农产品供应链中质量安全风险控制机制探析[J]. *社会科学*, 2018(6): 52-61.

[29] 尚杰, 吉雪强. 区块链应用下生态农产品供应链优化[J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2020, 19(4): 67-75.

[30] 李明佳, 汪登, 曾小珊, 等. 基于区块链的食品安全溯源体系设计[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 279-285.

[31] FENG H, WANG X, DUAN Y, et al. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: a review of development methods, benefits and challenges[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 260: 121031.

[32] 崔占峰, 徐冠清, 王瑾珑. 信任重建: 有机农业追溯-信任体系的区块链嵌入探索[J]. *科技管理研究*, 2021, 41(16): 130-137.

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

[34] LIN Q, WANG H, PEI X, et al. Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 20698-20707.

[35] 陶启, 崔晓晖, 赵思明, 等. 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[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(12): 110-118.

[36] 殷文杰, 都牧, 贾凯文, 等. 基于区块链的野生农产品溯源系统[J]. *电子科技大学学报(社科版)*, 2022, 24(5): 88-98.

[37] 洪坤明, 刘新亮, 高圣乔. 基于联盟区块链的水产养殖品质量追溯系统的设计与实现[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(35): 79-86.

[38] 刘如意, 李金保, 李旭东. 区块链在农产品流通中的应用模式与实施[J]. *中国流通经济*, 2020, 34(3): 43-54.

[39] 任守纲, 何自明, 周正己, 等. 基于CSBFT区块链的农作物全产业链信息溯源平台设计[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(3): 279-286.

[40] 董云峰, 张新, 许继平, 等. 基于区块链的粮油食品全供应链可信追溯模型[J]. *食品科学*, 2020, 622(9): 39-45.

[41] 许继平, 孙鹏程, 张新, 等. 基于区块链的粮油食品全供应链信息安全管理原型系统[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(2): 341-349.

[42] MAO D, WANG F, HAO Z, et al. Credit evaluation system based on blockchain for multiple stakeholders in the food supply chain[J]. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 2018, 15(8): 1627.

[43] LENG K, BI Y, JING L, et al. Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on blockchain technology[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 86(9): 641-649.

[44] HAO Z, MAO D, ZHANG B. A novel visual analysis method of food safety risk traceability based on blockchain[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(7): 2300.

[45] 霍红, 詹帅. 集成供应链视角下农产品质量安全全过程监管体系构建[J]. *中国科技论坛*, 2019(8): 105-113.

[46] 李天明, 严翔, 张增年, 等. 区块链+物联网在农产品溯源中的应用研究[J]. *计算机工程与应用*, 2021, 57(23): 50-60.

[47] AZZI R, KILANY R, SOKHN M. The power of a blockchain-based supply chain[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 135(9): 582-592.

[48] 赵俊丽, 冉文学. 基于区块链技术的农产品供应链信息追溯研究[J]. *物流工程与管理*, 2020, 42(8): 94-99.

[49] 丁锦城, 吴清烈. 食品供应链基于区块链的溯源体系研究评述与展望[J]. *食品与机械*, 2021, 37(2): 72-77.

[50] CHOI T M, WEN X, SUN X, et al. The mean-variance approach for global supply chain risk analysis with air logistics in the blockchain technology era[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 127(5): 178-191.

[51] BENJAAFAR S, CHEN X, TANERI N, et al. A permissioned blockchain business model for green sourcing[J]. *Social Science Research Network*, 2018: 1-33.

[52] 闫妍, 张锦. 基于区块链技术的供应链主体风险规避研究[J]. *工业工程与管理*, 2018, 23(6): 33-42.

[53] XU Q, HE Y. Optimal information disclosure strategies for a retail platform in the blockchain technology era[J]. *International Journal of Production Research*, 2021: 1-12.

[54] PUN H, SWAMINATHAN J M, HOU P. Blockchain adoption for combating deceptive counterfeits[J]. *Production and Operations Management*, 2021, 30(4): 864-882.

[55] 盛守一. 基于区块链技术的供应链信息资源共享模型构建研究[J]. *情报科学*, 2021, 39(7): 162-168.

[56] KSHETRI N. Blockchain and electronic healthcare records[J]. *Computer*, 2018, 51(12): 59-63.

[57] STRANIERI S, RICCARDI F, MEUWISSEN M, et al. Exploring the impact of blockchain on the performance of agrifood supply chains[J]. *Food Control*, 2021, 1199: 107495.

- [58] HE Y, CHEN L, XU Q. Optimal pricing decisions for a global fresh product supply chain in the blockchain technology era[J/OL]. [2021-09-21]. International Journal of Logistics-Research and Applications. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1981275>.
- [59] PAUL T, MONDAL S, ISLAM N, et al. The impact of blockchain technology on the tea supply chain and its sustainable performance[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021: 1-18.
- [60] YANG, L, ZHANG J, SHI X. Can blockchain help food supply chains with platform operations during the COVID-19 outbreak?[J]. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2021, 49: 101093.
- [61] CHOI T M. Blockchain-technology-supported platforms for diamond authentication and certification in luxury supply chains[J]. *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 2019, 128(8): 17-29.
- [62] CHOI T M, FENG L, LI R. Information disclosure structure in supply chains with rental service platforms in the blockchain technology era[J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 221(3): 1-14.
- [63] CHOI T M, LUO S. Data quality challenges for sustainable fashion supply chain operations in emerging markets: roles of blockchain, government sponsors and environment taxes[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 131(10): 139-152.
- [64] CHOI T M. Supply chain financing using blockchain: impacts on supply chains selling fashionable products[J]. *Annals of Operations Research*, 2020(1): 1-23.
- [65] CHOI T M. Creating all-win by blockchain technology in supply chains: impacts of agents' risk attitudes towards cryptocurrency[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2020, 11: 2580-2595.
- [66] 李健, 朱士超, 李永武. 基于综合集成方法论的区块链驱动下供应链金融决策研究[J]. *管理评论*, 2020, 32(7): 302-314.
- [67] FRANK Y. A new era of food transparency powered by blockchain[J]. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 2018, 12(1-2): 46-56.
- [68] 唐玄昭, 余阳, 吴荆璞, 等. 基于区块链的业务流程互操作服务框架[J]. *计算机集成制造系统*, 2021, 27(9): 2508-2516.
- [69] 刘佳琦, 游新冬, 吕学强, 等. 区块链技术在食品溯源行业的研究[J]. *食品工业*, 2021, 42(11): 273-277.
- [70] 王利朋, 关志, 李青山, 等. 区块链数据安全服务综述[J]. *软件学报*, 2023, 34(1): 1-32.
- [71] 夏琦, 高建彬, 夏虎, 等. 区块链数据主权技术与应用[J]. *电子科技大学学报(社科版)*, 2020, 22(1): 5-11.
- [72] 朱晓武. 区块链技术驱动的商业模式创新: DIPNET案例研究[J]. *管理评论*, 2019, 31(7): 65-74.
- [73] 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+212+202-203.
- [74] THOMAS L D W, AUTIO E, GANN D M. Architectural leverage: putting platforms in context[J]. *The Academy of Management Perspectives*, 2014, 28(2): 198-219.
- [75] 刘海鸥, 何旭涛, 李凯, 等. 区块链数据溯源机制研究综述[J]. *情报杂志*, 2022, 41(7): 100-106+40.

编辑 何婧