

食品供应链基于区块链的溯源体系 研究评述与展望

Research review and development prospects of food supply chain traceability system based on blockchain

丁锦城 吴清烈

DING Jin-cheng WU Qing-lie

(东南大学经济管理学院, 江苏 南京 210096)

(School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

摘要: 文章在 Web of Science 网站上通过主题词搜索筛选出相关文献, 运用 CiteSpace 软件绘制了相关文献的关键词共现知识图谱, 并进行了整体分析; 发现物联网与区块链技术的结合已成为食品供应链溯源体系发展的主流趋势; 阐述了基于区块链的食品供应链溯源体系目前的优势以及未来的挑战。

关键词: 食品供应链; 区块链; 溯源体系

Abstract: In this paper, the relevant documents were screened out by subject word search on the Web of Science website, and the keyword co-occurrence knowledge map of the relevant documents was drawn using CiteSpace software to analyze these documents as a whole. Then the author studies the current development status of the traceability system of the food supply chain under blockchain technology, and finds that the combination of the internet of things and blockchain technology is becoming the mainstream trend in the development of the traceability system of the food supply chain. Finally, the future development trend of the traceability system of the food supply chain under blockchain technology is looked forward, including current advantages and future challenges.

Keywords: food supply chain; blockchain; traceability system

近年来, 全球食品安全问题频发, 可追溯性已被视为保障食品质量和安全的重要工具, 但现有的食品供应链溯源体系无法保证溯源结果的可靠性。此外, 在现今的食品供应链网络中, 实现追溯的过程既耗时又复杂。

区块链技术的横空出世为食品供应链溯源体系的升

级完善提供了全新的发展思路。区块链于 2008 年首次出现在中本聪(Satoshi Nakamoto)发表的《比特币: 一种点对点的电子现金系统》^[1]中。区块链架构和设计的固有属性使其具有去中心化、不可篡改、可追溯等特点。

现如今, 食品供应链的溯源体系已成为区块链技术的重要应用方向, 区块链技术的应用能够提高溯源体系的追溯效率和保证溯源结果的真实性。

1 相关研究论文分布与关键词知识图谱

于 2020 年 10 月 20 日在 Web of Science 网站中选择数据库 Web of Science 核心合集, 点击基本检索, 以“blockchain”和“traceability”为主题进行搜索, 经过筛选和去重, 共筛选出 387 篇相关文献, 按时间分布如图 1 所示。

从图 1 可以看出, 从 2016 年开始, 逐渐有学者对区块链技术在食品供应链溯源体系中的应用进行研究; 从 2018 年开始, 相关研究论文呈爆发式增长; 2019 年达到 168 篇, 增长势头延续至今。2020 年, 截至 10 月 20 日已有 143 篇相关论文相继发表。

如图 2 所示, 中国在基于区块链的食品供应链溯源体系的研究中处于领先地位, 累计发表 133 篇相关论文。

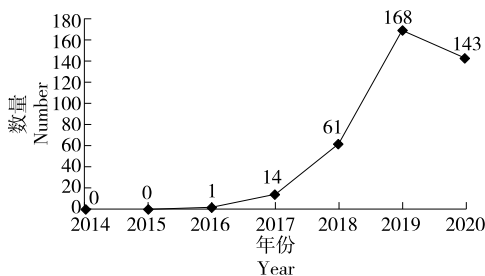


图 1 发文章分布图

Figure 1 Numbers of papers published over the years

作者简介: 丁锦城, 男, 东南大学在读硕士研究生。

通信作者: 吴清烈(1966—), 男, 东南大学副教授, 博士。

E-mail: wql@seu.edu.cn

收稿日期: 2020-08-14

欧美发达国家紧随其后,美国累计发表 63 篇,意大利发表 28 篇,西班牙发表 27 篇,英国发表 24 篇。值得关注的是,亚洲国家对区块链的关注度也不低,其中印度累计发表 25 篇,韩国发表 17 篇。

运用 CiteSpace 绘制了这些论文的关键词共现知识图谱,如图 3 所示。除了一开始搜索的两个主题词“blockchain”和“traceability”以及区块链的自身特点和原理相关之外,“Internet of Things”和“safety”两个关键词引人注目,很显然区块链与物联网技术之间的联动已经成为了完善食品供应链溯源体系的重要手段。同时,食品的安全问题也一直是驱动溯源体系不断发展的源动力。

2 基于区块链的食品供应链溯源体系研究现状

2.1 溯源方案研究

现如今已经有很多学者提出了基于区块链的实现食品供应链溯源的解决方案。Bettin-Diaz 等^[2]提出了一种将区块链技术集成到食品行业供应链中的方法,能够实现供应链全过程的可追溯性。客户能够获取产品来源的相关信息,从而作出明智的购买决定。Salah 等^[3]提出了

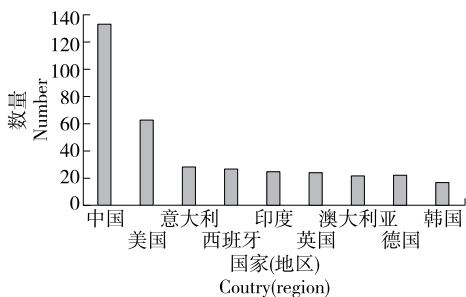


图 2 论文作者所属国家(地区)分布图

Figure 2 The countries(regions) where the authors belong



图 3 关键词共现知识图谱

Figure 3 Knowledge graph of keywords co-occurrence

一种利用以太坊区块链和智能合约有效地进行商业交易,并在整个农业供应链中进行大豆追溯的方案。该方案无需中间机构,能够提供交易记录,提高了追溯效率,保护了信息安全。Wu 等^[4]将区块链技术引入了供应链数据管理中,讨论了在可拓展性、吞吐量、访问控制和数据检索方面的 4 个关键技术挑战,并进行了一个基于区块链的食品可追溯系统的案例研究。dos Santos 等^[5]通过研究配方食品的可追溯性需求,并着重于成分认证,提出了全链可追溯的解决方案,同时能够保证不披露来自配方食品的商业敏感数据。Bumblauskas 等^[6]研究了一个在鸡蛋分配中部署区块链的案例。该案例进一步推动了如何利用区块链技术以更准确、透明地在供应链中转移货物的研究。Feng 等^[7]回顾了区块链技术的特性和功能,确定了基于区块链技术的解决食品可追溯性问题的方案,并通过设计系统框架和绘制分析流程图帮助研究人员在未来实际开发基于区块链技术的食品溯源系统。赵磊等^[8]从信息生态视角分析用户需求,提出追溯参与主体的风险补偿方案,作为追溯平台商业化运行的核心能力,进行信息链流程再造。

针对区块链应用到食品供应链的溯源方案研究主要集中在 3 个方面。首先是供应链全过程的可追溯性研究,保障消费者对全过程的知情权,从而作出购买决定。其次是如何保证区块链在溯源体系中应用的透明性和准确性。最后是如何克服数据处理和体系容量的技术问题,实现高效的追溯效率和安全的整合。这些解决方案能够有效解决传统食品供应链中存在的痛点,在实现可追溯性的同时保证了供应链中的信息安全与追溯效率,为未来的实际应用提供了思路。

2.2 基于区块链的食品供应链溯源模型设计

Malik 等^[9]提出了一个基于区块链的框架来追溯供应链中产品的来源。该框架由包括政府、监管机构在内的关键食品供应链实体进行管理,可以实现供应链中产品的溯源。Johng 等^[10]构建了一个利用区块链技术来增强业务流程重组过程中可信赖性的框架,该框架是解决业务流程重组过程中利益相关者之间的信任问题的一种有效方式。Bechtsis 等^[11]在 Hyperledger Fabric 框架下通过一个演示应用程序来研究两阶段的集装箱食品供应链。研究结果表明,一方面,区块链技术已经进入成熟阶段;另一方面,在食品供应链中应用区块链技术可以验证关键参数,增强食品的可追溯性,具有显著的价值。Casino 等^[12]开发了一种基于区块链技术和智能合约的食品供应链可追溯性的分布式功能模型。George 等^[13]提出了使用区块链和食品质量数据索引的餐厅食品质量可追溯性原型。该原型从食品供应链的各个利益相关者处获取数据,将数据进行分析整合后应用食品质量指数(FQI)算法生成 FQI 值。根据特定参数,FQI 值有助于确

定食物是否适合食用。该原型除了加强食品的可追溯性外,还有助于为人类食用的食品进行质量分级。Zhang 等^[14]提出了一种基于区块链技术的粮食供应链系统架构,并设计了一种结合链式存储的多模式存储机制。与传统系统相比,该系统具有数据安全可靠、信息互联互通、危险品信息实时共享、全程跟踪可靠等特点。王晶等^[15]构建了一个基于联盟链的食品安全信用系统模型,该模型由食品生产商、加工商、分销商、经营者、消费者、政府、媒体、银行和征信机构共同来维护日常追溯数据、交易数据、征信数据等信用信息数据。朱建明等^[16]在分析了区块链的特点、局限性以及其链式结构散列原理的基础上,提出了基于区块链的 B2B+B2C 供应链各交易主体交易结构简图及动态多中心协同认证模型。

这些框架模型由供应链中的所有参与者共同组成,除了能够加强食品供应链的可追溯性外,还能够解决业务流程重组过程中参与者之间的信任问题,并且能够保证食品的质量,有助于为某些特定食品进行质量分级。还有部分学者^[17]针对特定的食品设计了特定的模型。如针对粮食供应链设计了结合链式存储的多模式存储机制,这些设计结合了一类产品的特点,为同类产品的溯源模型构建打下了基础。这些设想对于未来溯源系统中的功能模型设计都具有重要意义和参考价值。

2.3 基于区块链的食品供应链溯源系统设计

很多学者已经设计了基于区块链技术的食品供应链溯源系统。Suzuki 等^[18]开发了基于区块链的食品供应链管理系统。该系统能够实现对于产品历史记录的追溯,无需管理即可实现高度可靠的数据管理。Arsyad 等^[19]提出了一个基于区块链的不可生产供应链追溯系统。该系统将通常的区块链概念扩展为双因素区块链,两个区块链之间通过数字水印相连,一条链负责储存具体数据,另一条链负责储存嵌入的数字水印。该算法所使用的水印算法保证了每个阶段的信息都是经过认证的,并且能检测到任何数据发生变化或被篡改的情况。

Wang 等^[20]设计了一个基于区块链技术的食品可追溯性系统,该系统通过使用智能合约将所有产品转移的历史永久记录在分布式账本中,并形成可以追溯到产品来源的链条。此外,该系统通过一种事件响应机制来验证交易双方的身份,从而可以确保交易的有效性。所有事件均以日志形式永久存储,作为处理纠纷和跟踪责任实体的基础。Baralla 等^[21]设计了一个基于区块链技术的溯源平台,以确保食品数据的储藏起源。拟议的系统通过区块链的分布式和不可篡改特性,确保了供应链的透明性,以期通过促进智能食品旅游业来推动当地发展。Borrero^[22]提出了一种基于区块链技术的农业食品供应链可追溯系统,以解决对农产品供应链的信任危机。区块链技术在农产品可追溯性中的应用不仅扩展了区块链

技术的应用范围,而且有助于链中参与者之间建立信任,探索了区块链应用于农产品供应链的可能性。Chan 等^[23]构建了一个基于区块链技术的透明可追溯的马来西亚农业食品供应链管理系统。Prashar 等^[24]提出了一种基于区块链的农业供应链可追溯系统,该系统引入了包括 5 个主要参与者的私有区块链。系统完全依赖于使用智能合约来监视和管理所有参与者之间的供应链网络中的通信和交易。系统涵盖了农业供应链中项目的数据收集和信息管理过程,提供了对农业食品质量和安全的监控、可视化和问责机制,并且可以扩展到所有食品部门。金凯^[25]搭建了包括数据接入层、数据核心层、应用表示层的三层溯源系统架构,通过数据接入层的 App 扫描二维码获取食品信息,通过传感器获取环境信息;在数据核心层采用区块链和数据库存储溯源数据,基于智能合约完成存储和查询操作功能;在应用表示层以 DApp 的形式进行人机交互操作,实现食品信息的可信溯源查询。

许多国家都非常重视食品供应链的溯源问题,也正在投入大量资源研究基于区块链的供应链溯源方案。目前对于食品供应链溯源系统的关注点聚焦于信息的存储时效、供应链的透明性、智能合约的应用等方面。拟议的溯源系统除了能够实现对于产品历史记录的追溯外,还能够提高供应链参与者之间的信任,并实现了对于食品质量和安全的监控。如今,区块链技术在 PC 端和移动端的追溯系统中都有所应用,未来研究可以着眼于建立多平台适用下的供应链追溯系统。

根据以上对各位学者的研究的分析可以看出,国内外学者对于食品供应链的溯源方案、溯源模型以及溯源系统的研究都取得了很大的进展,也都提出了自己的想法,笔者从关键词、目前业界关注的技术重点以及未来发展需要关注的难点 3 个角度对各位学者的研究进行了归纳总结,见表 1。

2.4 食品供应链溯源中区块链与物联网的结合

在物联网的中心化网络里,许多信息的加密方式较为简单,在传输过程中易被破解,从而导致个人隐私产生泄漏。而区块链运用的非对称加密技术,能够防止信息丢失和篡改,安全性更强。区块链技术能够实现信息的安全存储和防篡改防攻击,让物联网网络更加安全可靠。因而,很多学者将区块链与物联网技术结合起来,应用于食品供应链的溯源系统中。

Tian^[26]提出了一个基于物联网和区块链的实时食品追踪食品供应链溯源系统,并将其应用于一个示例场景,演示了该系统如何在危害分析与关键控制点(hazard analysis and critical control points, HACCP)的食品供应链中发挥作用。该文通过引入 BigchainDB 的新概念填补了分散式信息系统的空白,避免了使用集中式系统的风险,为供应链中的所有成员提供开放、透明、中立、安全、可靠

表 1 关于溯源方案、模型、系统的研究重点梳理

Table 1 A summary of research focus on traceability schemes, models and systems

项目	关键词	技术重点	难点
溯源方案	全链可追溯、信息安全、透明性、准确性	可拓展性、吞吐量、访问控制、数据检索	数据处理、体系容量、信息安全、追溯效率
溯源模型	食品供应链实体、信任度、质量分级	食品质量指数算法、多模式存储、动态协同认证	数据真实性、多主体参与、不同类食品特征不同
溯源系统	监管、可视化、问责机制	分布式账本、双因素区块链、水印算法、私有区块链	存储时效、供应链的透明性、智能合约的应用、多平台适用

的信息平台。Kim 等^[27]开发了一个“从农场到餐桌”的全流程食品供应链可追溯性应用程序,该应用程序集成了以太坊平台和可交换 GS1 (Globe standard 1) 条码的物联网设备。该应用程序创建了供应链中所有利益相关者访问的分布式账本。Tsang 等^[28]提出了一种基于区块链和物联网技术的食品可追溯性系统,该系统将区块链、物联网技术和模糊逻辑的新部署整合到易腐食品的可追溯保质期管理系统中。系统中的区块链的数据流根据可追踪资源单元的级别与物联网技术的部署保持一致,根据可靠、准确的数据进行货架期调整,利用模糊逻辑进行质量衰减评价,建立起安全可靠的食品供应链平台。Arena 等^[29]设计了一个基于区块链的应用程序 BRUSCHETTA,用于特级初榨橄榄油供应链的可追溯性和认证。BRUSCHETTA 通过跟踪其整个供应链来实施该产品的认证,能使最终客户访问产品的防篡改历史记录,包括耕种、收获、生产、包装、保存和运输过程。BRUSCHETTA 利用物联网技术来连接用于特级初榨橄榄油质量控制的传感器,并使其在区块链上运行。Lin 等^[30]开发了一个基于区块链技术和 EPCIS 的食品安全追溯系统。该系统通过链上和链下数据的协同管理减少了单节点存储的数据量,能够有效缓解当前物联网与区块链技术下的数据爆炸问题。

Mondal 等^[31]提出了一种受区块链启发的物联网架构,该架构使用基于对象证明的身份验证协议,以及类似于数字货币的工作量证明协议,并通过在物理层集成基于射频识别技术 (radio frequency identification, RFID) 的传感器以及在网络层集成区块链来实现完整的体系结构。RFID 提供了产品和传感器数据的唯一标识。架构通过一个 RFID 耦合传感器进行实时传感器数据的采集,能够实现实时质量监控。刘宗妹^[32]构建了“区块链+RFID”两位一体的协同共享模式,采用联盟链构建食品溯源系统,打通食品流通渠道,快速定位食品安全事件责任方。

曾小青等^[33]建立了物联网加区块链的食品安全追溯系统架构,设计了食品追溯流程,并采用联盟链模式和超级账本区块链开发平台,实现了一个食品安全追溯原型

系统。肖新清^[34]构建了冷链物流的压缩感知数据采集方法、温度品质耦合建模方法以及可追溯建模方法,并以 QR 溯源条码为载体,有效集成并展示了冷链物流品质感知过程的关键质量安全信息,形成了冷链物流品质感知的物联网溯源模式。

物联网可以通过各种信息传感器、射频识别技术、全球定位系统等各种装置与技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程,实现物与物、物与人的泛在连接,实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。在物联网领域的这些技术中,射频识别技术相较于其他识别技术,在准确率、感应距离、信息量等方面具有非常明显的优势。其透明、全面、准确的特性非常契合食品溯源体系的需求,结合区块链的非对称加密技术,可以有效克服物联网信息储存的不安全性。

整体来说,区块链与物联网技术的结合是目前发展的主流,两项技术的结合有效推动了食品供应链溯源体系的发展与完善。除此之外,物联网技术与区块链的结合能够实现可靠的数据采集,保证了信息源的可信度。解决了信息在初始采集阶段的痛点。

3 基于区块链的食品供应链溯源体系展望

3.1 主要优势

3.1.1 信息安全 由于共识机制,信息存储在基于区块链的溯源系统中更加可靠,这增强了交易数据的完整性和安全性。溯源系统能够更加准确、便捷、安全地帮助政府跟踪、监督和审核食品供应链,帮助制造商记录真实交易、保护信息安全,帮助消费者追踪食品源头。

3.1.2 提高效率 区块链自身具有的不可篡改性能够有效提高食品供应链的加工和流通效率。当其连接到物联网设备时,能够提高系统交易效率。此外,区块链的引入能够减少大量中介机构,使得公共资源能够获得更加有效的利用。

3.1.3 减少浪费和降低经济损失 使用基于区块链的可追溯性系统可以获得可追溯性链中每个阶段的可靠数据,有助于更准确地确定食品的货架寿命,从而减少食物

浪费,降低经济损失。

3.2 面临挑战

3.2.1 原始信息的可信度 在依靠 RFID 标签或条形码等传感器来扫描、传递食物跟踪数据时,数据收集传感器已连接到区块链网络。此时虽然区块链技术能够使得数据保持不变,但其本身也没有验证机制来证明原始数据是否正确。如果有人篡改传感器,则会导致数据失真。

3.2.2 区块链技术的成本无法预测 区块链作为一项新兴技术,在实施时总成本无法预测。当前高度成熟的供应链系统已经运作了很长时间,成本的凭空增加会增加供应链中的参与者的负担。消费者是否愿意支付增加的成本也值得商榷。

3.2.3 数据公开的问题 基于区块链的溯源系统应该公开什么样的数据也值得考虑。尤其是在公有链中,所有数据默认公开透明,如果盲目将供应链中所有的有关信息上链,很可能造成信息泄露。譬如,如果制造商将他们的配方作为商业机密,他们将不得不决定是否披露这些配方,如今在这方面没有明确的政策说明。

3.2.4 政府要求和相关法律法规 截至目前,尚无关于食品供应链中采用区块链的公认标准,也没有相关的政府要求以及法律法规的制定,区块链技术在食品供应链中的发展前景仍然是不明朗的。在这种情况下,区块链的服务提供商应当团结协作,致力于推动相关政策和规则的制定以及少数试点项目的顺利实施。

3.3 突破方向

虽然基于区块链的食品供应链溯源体系发展势头良好,但如今绝大多数研究都仍然在理论设计阶段,区块链技术在食品供应链溯源体系中的应用仍然有很长的一段路要走。未来可以从以下几个方向突破。

(1) 推动食品供应链溯源体系中区块链与各项新技术的融合。区块链与物联网的结合能够实现可靠的数据采集,物联网设备能够实时记录关键信息,保证了信息源的可信度,解决了信息在初始采集阶段的痛点。再利用区块链的不可篡改性进行储存,形成食品供应链所需的信任闭环。区块链与人工智能的结合能够为食品供应链溯源体系进一步提供安全保障。人工智能能够实现漏洞挖掘和修复的自动化,并利用全系列的设备支持和多样化的应用场景,保障了区块链技术的安全部署。区块链技术与大数据技术融合,能够遏制数据过度集中的现象,提高食品供应链上企业的透明度,消灭信息孤岛。

(2) 利用区块链技术重塑食品供应链监管机构。区块链可以促使相关机构以供应链中的企业作为节点来建立一套新的监管体系,能让监管机构更为系统全面地对食品安全加以监控。可以预见,未来各国政府将出台区块链在食品供应链中应用的相关法律法规,推动监管部门的建设升级,保障食品安全,提高国民幸福度。

(3) 基于区块链建立国际食品安全溯源体系。食品安全是全世界共同面临的严峻问题,安全问题的出现不单单只在国家内部发生,也可能出现在国家与国家之间。区块链的出现不仅仅能够在技术层面帮助解决食品供应链溯源问题,同时也是一个推动建立全新的国家之间食品进出口溯源体系的契机。各国之间应该联合制定与食品相关的追溯以及召回体系,以便快速鉴别、调查和控制食品安全事件,为保障世界人民的人身安全努力。

参考文献

- [1] NAKAMOTO S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system[EB/OL]. (2008-10-31) [2020-11-04]. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [2] BETTIN-DIAZ R, ROJAS A E, MEJIA-MONCAYO C. Methodological Approach to the definition of a blockchain system for the food industry supply chain traceability[C]//GERVASI O, MURGANTE B, MISRA S, et al. Computational science and its applications (ICCSA 2018) PT II. Melbourne: ICCSA, 2018: 19-33.
- [3] SALAH K, NIZAMUDDIN N, JAYARAMAN R, et al. Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain[J]. IEEE Access, 2019, 7: 73 295-73 305.
- [4] WU Han-qing, CAO Jian-nong, YANG Yan-ni. Data management in supply chain using blockchain: Challenges and a case study[C/OL]// JOHANN Marquez. 28th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN). (2019-09-26) [2020-11-04]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8846964>.
- [5] DOS SANTOS R B, TORRISI N M, PANTONI R P, et al. IGR token-raw material and ingredient certification of recipe based foods using smart contracts[J]. Informatics-Basel, 2019, DOI: 10.3390/informatics6010011.
- [6] BUMBLAUSKAS D, MANN A, DUGAN B, et al. A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? [J]. International Journal of Information Management, 2020, DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.09.004.
- [7] FENG Huan-huan, WANG Xiang, DUAN Yan-qing, et al. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121031.
- [8] 赵磊, 毕新华, 赵安妮. 基于区块链的生鲜食品移动追溯平台框架重构[J]. 食品科学, 2019(9): 1-11.
- [9] MALIK S, KANHERE S S, JURDAK R. ProductChain: Scalable blockchain framework to support provenance in supply chains [C/OL]// DIMITER R Avresky. 17th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA). (2018-11-29) [2020-11-04]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8548322>.

- [10] JOHNG H, KIM D, HILL T, et al. Using blockchain to enhance the trustworthiness of business processes: A goal-oriented approach[M]// Proceedings of the IEEE International Conference on Services Computing SCC. Los Alamitos: IEEE Computer Soc, 2018: 249-252.
- [11] BECHTIS D, TSOLAKIS N, BIZAKIS A, et al. A blockchain framework for containerized food supply chains[C]// KISS A A, ZONDERVAN E, LAKERVELD R, et al. 29th European symposium on computer aided process engineering PT B. Eindhoven: ESCAPE, 2019: 1 369-1 374.
- [12] CASINO F, KANAKARIS V, DASAKLIS T K, et al. Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology[J]. Ifac Papersonline, 2019, 52(13): 2 728-2 733.
- [13] GEORGE R V, HARSH H O, RAY P, et al. Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118021.
- [14] ZHANG Xin, SUN Peng-cheng, XU Ji-ping, et al. Blockchain-based safety management system for the grain supply chain[J]. IEEE Access, 2020, 8: 36 398-36 410.
- [15] 王晶, 曾水英, 郭建伟, 等. 区块链技术在食品安全信用体系建设中的应用[J]. 无线互联科技, 2019, 16(21): 137-140.
- [16] 朱建明, 付永贵. 基于区块链的供应链动态多中心协同认证模型[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(1): 27-33.
- [17] 范贤丽, 范春晓, 吴岳辛. 基于区块链和 IPFS 技术实现粮食供应链隐私信息保护[J]. 应用科学学报, 2019, 37(2): 179-190.
- [18] SUZUKI J, KONO M, FUJII T, et al. Food supply chain management system for product history using blockchain[C]// CHATZIGIANNAKIS I, TOBE Y, NOVAIS P, et al. Intelligent Environments 2018. Rome: IE, 2018: 186-195.
- [19] ARSYAD A A, DADKHAH S, KOPPEN M. Two-factor blockchain for traceability cacao supply chain [C]// XHAF A F, BAROLLI L, GREGUS M. Advances in intelligent networking and collaboratives systems. Bratislava: INCoS, 2019: 332-339.
- [20] WANG Shang-ping, LI Dong-yi, ZHANG Ya-ling, et al. Smart contract-based product traceability system in the supply chain scenario[J]. IEEE Access, 2019, 7: 115 122-115 133.
- [21] BARALLA G, IBBA S, MARCHESI M, et al. A blockchain based system to ensure transparency and reliability in food supply chain[C]// MENCAGLI G, HERAS D B. EURO-PAR 2018: Parallel Processing Workshops. Gottingen: Euro-Par, 2019: 379-391.
- [22] BORRERO J D. Agri-food supply chain traceability for fruit and vegetable cooperatives using blockchain technology[J]. CIRIEC-Espana Revista de Economia Publica Social y Cooperativa, 2019, 95: 71-94.
- [23] CHAN K Y, ABDULLAH J, KHAN A S. A framework for traceable and transparent supply chain management for agri-food sector in malaysia using blockchain technology[J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2019, 10(11): 149-156.
- [24] PRASHAR D, JHA N, JHA S, et al. Blockchain-Based Traceability and Visibility for Agricultural Products: A Decentralized Way of Ensuring Food Safety in India[J]. Sustainability, 2020, DOI: 10.3390/su12083497.
- [25] 金凯. 基于区块链的食品供应链溯源系统设计与实现[D]. 北京: 北京工业大学, 2019: 19-20.
- [26] TIAN Feng. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & internet of things[C/OL]// BAI Chun-guang. 14th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM). (2017-07-31) [2020-11-04]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7996119>.
- [27] KIM M, HILTON B, BURKS Z, et al. Integrating blockchain, smart contract-tokens, and IoT to design a food traceability solution[C]// CHAKRABARTI S, SAHA H N. 2018 IEEE 9th annual information technology, electronics and mobile communication conference. Vancouver: IEMCON, 2018: 335-340.
- [28] TSANG Y P, CHOY K L, WU C H, et al. Blockchain-driven IoT for food traceability with an integrated consensus mechanism[J]. IEEE Access, 2019, 7: 129 000-129 017.
- [29] ARENA A, BIANCHINI A, PERAZZO P, et al. BRUSCHETTA: An IoT blockchain-based framework for certifying extra virgin olive oil supply chain[C/OL]// DARIO Bruneo. 5th IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP). (2019-08-01) [2020-11-04]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8784020>.
- [30] LIN Qin-jun, WANG Huai-zhen, PEI Xiao-fu, et al. Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS[J]. IEEE Access, 2019, 7: 20 698-20 707.
- [31] MONDAL S, WIJEWARDENA K P, KARUPPUSWAMI S, et al. Blockchain inspired RFID-based information architecture for food supply chain[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(3): 5 803-5 813.
- [32] 刘宗妹. “区块链+射频识别技术”赋能食品溯源平台研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 102-107.
- [33] 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.
- [34] 肖新清. 面向冷链物流品质感知的物联网数据采集与建模方法[D]. 北京: 中国农业大学, 2017: 101-102.