

基于区块链技术的食品安全溯源体系应用与研究进展

徐 睿, 孙 霞, 郭业民, 程淑婷, 周中瑞, 赵继成*

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255000)

摘 要: 我国是农业大国, 食品安全问题一直以来都是人民群众和政府重点关注的问题。由于近几年食品安全问题事件频发, 不仅造成了严重的信任危机, 而且对人们的身体健康也造成了极大的威胁。在传统的溯源体系中, 信息仍然存在不准确、不透明、不安全等问题, 而区块链具有防止篡改、全过程可追溯、去中心化分布式存储等特点。将区块链技术与溯源技术相结合可以更好地解决传统溯源体系中的问题, 能够实现真正意义上的溯源, 切实保障供应链上全体成员以及广大人民群众的利益。本文介绍了区块链技术, 梳理总结近些年基于区块链的食品安全溯源体系的研究与应用, 有效地说明了构建基于区块链溯源体系时的着眼点, 以期区块链溯源体系的推广提供参考。

关键词: 区块链; 食品安全溯源; 分布式存储

Application and research progress of food safety traceability system based on blockchain technology

XU Rui, SUN Xia, GUO Ye-Min, CHENG Shu-Ting, ZHOU Zhong-Rui, ZHAO Ji-Cheng*

(School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China)

ABSTRACT: China is a large agricultural country, and food safety has always been a major concern of the people and the government. Due to the frequent occurrence of food safety issues in recent years, it has not only caused a serious crisis of confidence, but also posed a great threat to people's health. In a traditional traceability system, information still has some problems, such as inaccuracy, opacity, insecurity and so on. The blockchain has the characteristics of preventing tampering, tracing the whole process, and decentralizing distributed storage. The combination of blockchain technology and traceability technology can greatly solve the problems in the traditional traceability system, it can also achieve true traceability and effectively protect the rights and interests of all members of the supply chain and the people. This paper introduced the blockchain technology, summarized the research and application of food safety traceability system based on blockchain in recent years and effectively illustrate the focus of building the traceability system based on blockchain, so as to provide reference for the promotion of the traceability system of blockchain.

KEY WORDS: blockchain; food safety traceability; distributed storage

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目(2018CXGC0214)

Fund: Supported by the Special Project of Independent Innovation of Shandong Province (2018CXGC0214)

*通讯作者: 赵继成, 硕士, 实验师, 主要研究方向为食品安全溯源。E-mail: zhaojicheng@sdut.edu.cn

*Corresponding author: ZHAO Ji-Cheng, Master, Experimenter, School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255000, China. E-mail: zhaojicheng@sdut.edu.cn

1 引 言

中国饮食文化历史悠久, 饮食在我国人民群众生活中占有重要地位。但如此重要的文化却不断遭受着食品安全问题的冲击, “苏丹红一号”事件、“地沟油”事件、“瘦肉精”事件、“毒奶粉”事件等一系列食品安全事故一次又一次破坏社会信用, 损害社会公德, 残害人民健康, 使国家建设发展诚信社会面临重大挑战^[1]。针对这类事件我国于 2009 年颁布了《中华人民共和国食品安全法》, 对保护人民群众的利益, 维护社会公信力起到了重要作用。《中国食品安全发展报告(2018)》也指出 2017 年“逐步向好”, 但现阶段食品安全风险隐患依然突出, 食品安全问题呈现持久性、复杂性、隐蔽性等特点^[2], 因此农产品从生产到餐桌的每一个环节都不能忽视。党的十八大以来, 以习近平同志为核心的党中央高度重视并多次指出要保障人民群众“舌尖上的安全”^[3-5], 中央一号文件近几年来也多次强调加强溯源体系建设。当前食品安全溯源主要依赖于权威政府中心数据库^[6], 但其问题很明显。如 1) 供应链情况不透明; 2) 数据存储不透明; 3) 第三方信任度低; 4) 资源共享难度大。而区块链技术天然的具有去中心化、去信任、透明可信、安全可靠特性^[7], 为解决这些难题提供了新的思路 and 方案。鉴于此, 本文介绍了区块链技术, 梳理总

结近些年基于区块链的食品安全溯源体系的研究与应用, 有效地说明了构建基于区块链溯源体系时的着眼点, 以期 为区块链溯源体系的推广提供参考。

2 食品安全溯源

食品溯源尚无统一的定义, 目前国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)和国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)给出的定义具有较高认可度, 其中国际食品法典委员会认为食品溯源是指对食品生产、加工分销环节中, 追踪食品转运情况的能力, 国际标准化组织认为是对食品来源、应用及其所在处进行回溯和追踪的能力^[8]。中国物品编码中心给出的定义为追溯单元的来源、用途和位置的相关信息进行记录和追溯的能力^[9], 安全溯源最终应实现产品来源可查、去向可追、责任可究^[10]。

在整个食品供应链中可将参与方分为: 生产方、加工方、运输方、转售或零售方以及负责质检的监管部门, 目前溯源体系主要呈现为双层次溯源, 内部和外部溯源(如图 1)。而这种传统的溯源方式面临着很多困境, 如: 1)信息容易丢失、区域性食品信息传递效率低以及初级农产品溯源难^[11]; 2)供应复杂、监管机构需求之间重叠与矛盾、信息化系统缺失或薄弱^[12]; 3)用户难以信任溯源数据拥有者。

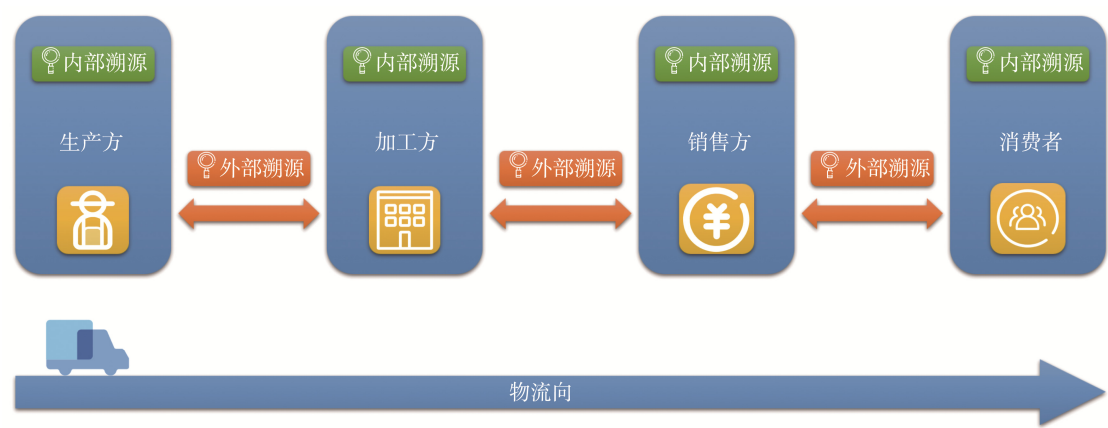


图 1 内外溯源流程
Fig1 Internal and external traceability process

从食品溯源发展角度来看, 食品溯源经历了三大重要变革^[13]。第一大重要变革从 1997 年欧洲爆发疯牛病开始, 欧盟意识到食品安全溯源的重要性, 率先对溯源体系进行研究, 开始创建溯源数据库, 将所有与牛肉供应链相关的信息记录在案, 以防出现无法回溯问题, 并在 2002 年提出食品可溯源性的概念。进入 21 世纪之后, 日本以健全的法律法规为基础, 成立食品品质监控机构, 同年以日本农协牵头推出用于保障农产品品质以及消费者农业从业者

权益的“全农放心系统”。第二大变革是射频识别技术(radio frequency identification, RFID)、近场通信(near field communication, NFC)和二维码(quick response code, QR)识别技术的应用与发展。通过 RFID 读取设备可读取嵌在物品标签内射频贴的数据, 在溯源系统中被广泛应用, 可将国际物品编码组织(globe standard 1, GS1)编码、生产日期等重要信息写入其中。21 世纪初美国将安全溯源上升至国家战略, 两年后由农业部和密苏里州农业厅推出全国动物

识别系统(National Animal Identification System, NAIS), 用于实现对动物疫情的追踪; 同样作为畜牧业大国的澳大利亚也以国家级别的力量构建国家牲畜认证系统(National Livestock Identification Scheme, NLIS), 通过 RFID 技术和电子追踪系统, 给每一头牛打上唯一的“身份证”, 实现对饲养全方位的数据采集, 数据追溯可直至出生; 而印度则用 GrapeNet 建设了溯源平台确保出口葡萄的安全性和品质度。第三是区块链在溯源系统中的应用, 通过分布式账本、非对称加密算法、时间戳、共识机制等技术, 建立完整的溯源体系, 推动传统溯源体系的变革。

虽然食品安全溯源体系在中国起步比较晚, 但也在不断进步。2004 年北京农业局率先启动“进京蔬菜质量追溯试点项目”, 其他省市也相继开展; 仅山东省就从 2009 年开始, 在 55 个农产品质量安全示范县试点推进溯源平台建设, 搭建 600 余个追溯点。

3 区块链与食品安全溯源

3.1 区块链概念

1991 年, Haber 等^[14]发表一篇名为《如何为数字文档添加时间戳》的文章, 旨在为数字文档添加时间戳使其无法被复制和修改, 这篇文章也成为了区块链技术的萌芽; 随后又经过一系列的发展^[15-17]直到 2009 年, 一化名为“中本聪(Nakamoto S)”的用户发表一篇名为《比特币: 一种点对点的数字现金系统》(Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system)^[18]的文章, 提出比特币的构想(图 2)。随着比特币的运行, 作为比特币最底层的技术区块链逐渐进入人们

的视野, 以比特币为主的数字货币长期以来都是金融行业争论的焦点, 习近平总书记在中央政治局第十八次集体学习时强调要加快推动区块链技术和产业创新发展, 区块链技术是一种颠覆传统网路架构的新模式, 区块链自有的去中心化网络模式可有效避免中心化网络的中心服务器故障所带来的问题, 并且具有构建可信任网络, 自动运行业务的两大特征^[19]。

区块链暂无统一的定义, 但基本理念一致。中国信息通信研究院认为区块链是一种由多方共同维护, 使用密码学保证传输和访问安全, 能够实现数据一致存储、难以篡改、防止抵赖的记账技术^[20]。杨保华等^[21]认为区块链是基于密码学的可实现信任化的信息存储和处理的架构和技术, 其本质为分布式账本^[22,23]或去中心化的数据库^[24]。一个区块由头与体组成, 区块头存储散列(Hash), 前一 Hash 和时间戳等部分, 区块体则存储数据, 区块头中保存的 Hash 和前一个 Hash 相互链接, 形成有序的链状结构被称为区块链^[25](图 3)。

当一个区块中数据发生改变, 则 Hash 值随之改变, 计算机将根据前后的 Hash 值计算出原来的数据来保证数据的不可篡改, 同样庞大的节点数目也保证同时更改每一个节点的数据是基本不可能的; 在区块链形成过程中, 节点通过“挖矿”来获取数据的打包权, 数据被打包之后会广播到所有节点, 节点通过共识机制判定该区块是否合法, 若合法则上链。以上可以看出区块链对食品安全溯源体系的构建具有天然的优势, 因此张利等^[26]通过参照传统区块链层级结构, 利用比特币架构设计了农产品溯源体系。

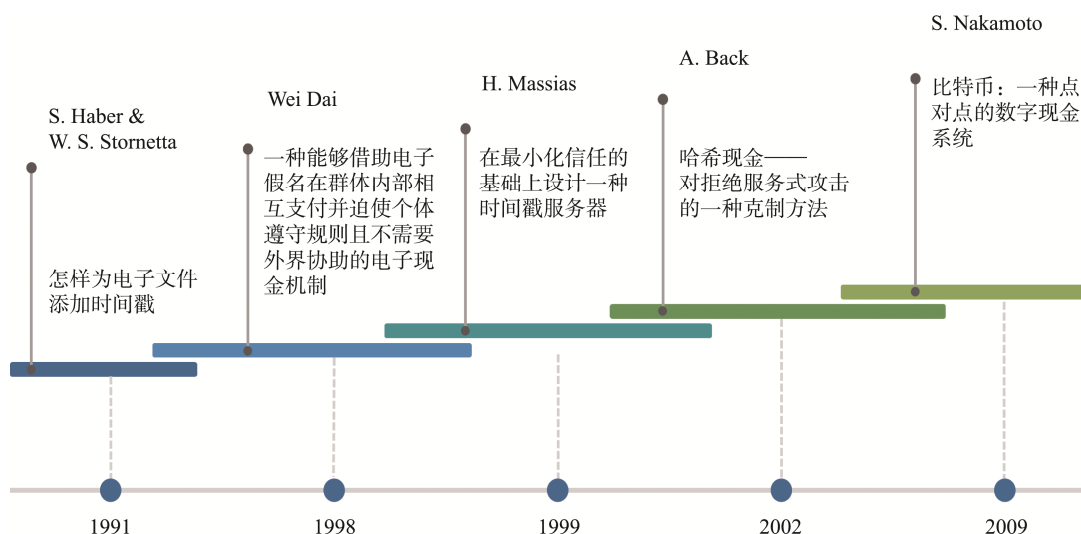


图 2 区块链技术发展大事记

Fig.2 Major events of blockchain technology development

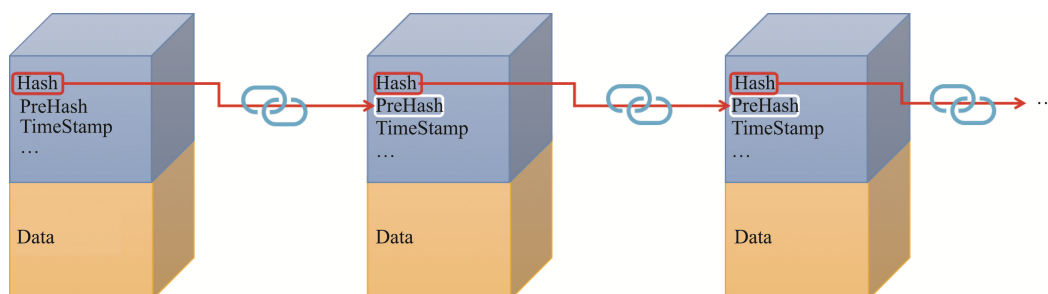


图 3 区块链的组成

Fig.3 Composition of the blockchain

3.2 区块链溯源体系的应用进展

在区块链用于溯源系统的应用上,国外发展势头迅猛,很多国外企业已经将区块链溯源系统用于商用,在农业流通环节引入区块链确保信息的透明。2016年,芬兰与IBM合作首次将区块链技术用于集装箱运输追溯中;同年6月,沃尔玛与IBM合作开始试点区块链+供应链食品可追溯^[27],在美国以芒果市场作为测试。不幸的是2018年沃尔玛供应链发生了严重的“大肠杆菌污染事件”,由于区块链溯源技术没有投入使用,传统追溯技术落后无法准确定位污染源,导致大量合格品被丢弃损失严重。对此,2019年9月沃尔玛旗下的超市全部使用区块链技术。同样也是在美国,嘉吉公司看中了区块链可重铸信任的特点,与火鸡供应链合作推出了火鸡链;与火鸡链类似,著名的红酒链平台Wine Chain致力于用区块链来确保了红酒的价格信息透明,帮助消费者进行防伪鉴别,如今红酒链已经进入了中国市场。

2017年众安保险旗下的众安科技联手连陌科技推出利用区块链的溯源项目——“步步鸡”,从鸡苗开始,每只鸡都被戴上编有唯一编码的鸡牌,并利用物联网技术,实时采集他们每天活动范围,检测周围空气水土环境,一直到屠宰,所有信息都上传区块链保存;京东随后也推出了“跑步鸡”业务并采用区块链溯源技术;同年12月中国首个安全食品区块链溯源联盟成立,旨在确保品牌企业数据隐私的同时,帮助其整合线上线下食品安全追溯和质量管理渠道^[28];阿里布局的“ET农业大脑”也是区块链技术与物联网技术的结合,2017年其旗下蚂蚁金服推出产品溯源防伪区块链应用^[29]。2018年8月阿里巴巴与五常市政府、展开全面合作,其中五常大米将引入蚂蚁金服区块链溯源技术。2020年重庆餐饮行业实现区块链精准技术落地应用^[30];作为通讯行业巨头华为推出的“农业沃土云平台”以农业区块链作为该平台重要组成部分,打通了从种子、农业生产、农业投入品、稻米加工、通、食味等多环节,构建起从种子到餐桌的端到端的农产品溯源体系;唯链团队打造的VeChain致力于通过区块链技术打造一站式管理服务^[31],通过基于区块链的NFC防伪芯片结合向用户提供的手机

应用程序,将物联网技术与区块链技术结合,提供了一个开放透明的供应链平台。

3.3 区块链溯源系统技术研究进展

如何将区块链更好的应用在溯源系统,更好的服务于社会生产,很多专家学者对此作出了巨大贡献,构建基于区块链的溯源体系应重点促进区块链与物联网溯源体系结合、提升区块链溯源体系的服务性、增强溯源监管与产业链管理、解决海量数据高效存储的问题。

近年物联网技术的飞速发展使溯源产业链更加智能化、自动化,元数据也更加可靠、真实,物联网的发展极大推动了传统溯源体系的发展,因此物联网+区块链溯源技术也成为发展的必然趋势。对此Ali等^[32]提出并设计了基于联盟链和智能合约的云端大规模物联网溯源服务中心;Bordel^[33]等利用区块链和RFID射频技术,提出了一种新的国际食品贸易追踪系统,实现了对食品的采集、签名和存储等信息的分布式解决方案;在已有物联网溯源系统的基础上,李明佳等^[34]从溯源体系顶层架构出发,将区块链引入在数据库层与通讯层,设计了区块链更为合适接入方案;史亮等^[35]通过对传统溯源体系中各环节信息分析,利用分布式存储和节点信息共享,实现了农产品正逆双向追溯。

区块链溯源体系应用的推广首先应有较好的服务性,提升系统的服务性可有效减少企业接入成本,增强数据安全。在提高区块链溯源系统可服务性方面,王红梅等^[36]所设计的农产品溯源系统采用BCS分布式账本云平台,提高了溯源系统服务的可靠性;仵冀颖等^[23]所设计的溯源系统则引入微服务架构,提炼共性服务,快速响应多方需求,解决传统应用构架强耦合问题。

溯源监管对保障人民群众的利益和食品安全具有重要意义,提高产业链监管能力、提升溯源产业链管理可有效减少食品安全问题的发生,增加各产业链责任心,增强各企业的法律意识。在此方面,沈政启^[37]构建大数据分析、食品溯源管理,区块链分布记账三大系统,形成覆盖全产业链的高效溯源管理平台;刘国翔等^[38]通过对区块链技术特征研究,提出了基于区块链的食品安全监管系统技术路

线,极大提高了电子政务的创新。

只有对溯源信息结构和流转过程进行切合生产实际研究,才能使区块链更好的融入产业链,解决溯源过程中数据断层,流转低效等问题。Behnke^[39]等指出供应链由不同利益团体形成信息孤岛,使用区块链之前应改变现有的供应链系统,利用组织措施来满足边界条件,促进信息交换;陶启等^[40]通过对大米产业链以及系统的总体分析和建模,根据食品质量标准编写智能合约对产品质量进行管控,对非法信息流进行阻断,预先避免质量安全事件发生;赵磊等^[41]从信息生态视角分析追溯平台的多主体用户需求,进行功能设计和信息链流程再造,并结合区块链原理给出一种理论框架模型。

在区块链溯源系统中随着产品量的增加,区块链区块数目也不断增加。每个节点在新区块生成的同时需要广播存储副本,这导致数据量越来越多,工作效率也越来越低,这成为制约区块链发展的一大问题^[42]。传统溯源产业链各环节底层同样拥有着庞大数据,所有数据都存入区块链不切实际,要实现数据安全存储与资源节约常见的方法为“区块链+其他数据库”和“双链并行”两种形式。沈政启^[43]给出了“云数据库+区块链”的“在链+脱链”模式,并将其 Hash 值存储到区块链,通过 Hash 比对保证数据真实性,但作为数据中心化的云存储依然存在信任危机和安全性问题;Tian^[44]建立了一个基于区块链的物联网农产品溯源系统,利用 BigchainDB 解决了庞大的数据问题。在针对效率问题上,张嘉伟^[45]通过消息队列异步写入上链,并行写入建设多个区块链平台,区分全节点和轻量级节点,给出了区块写入性能解决方案。在“双链并行”的模式中 Huang 等^[46]提出了区块链与 EPC 的食品安全可追溯方案,该方案“双链并行”引入了基于区块链技术的 IPFS 来缓解来自于物联网层级的庞大数据;IPFS(星际文件系统)是一种 P2P 的分布式文件系统^[47],也是区块链技术的一种实现方法^[48],更适用于大文件的分布式存储。除食品安全溯源体系之外,针对于医疗安全的张利华等^[49]设计的 EMRSBC 双联盟链的方案解决了文件共享和存储问题;严梦等^[50]通过 IPFS 技术设计了电子健康档案分布式存储方案;这些研究成果都对食品安全溯源大文件存储有着重要的指导意义。

4 结 论

区块链作为一种分布式账本,具有低成本、效率高、数据透明和安全可靠等特点,解决了溯源过程中信息不对称、信用缺失和数据共享难度大等问题。

基于区块链的食品安全溯源体系仍然有一些需要解决的问题,如:区块链能保证整条链上数据真实性合法性,但区块上链时的数据有被篡改的可能,如何保证上链数据的真实性会一直是研究重点;区块链只能在数据层面保证

数据不被篡改,真实可靠,但是在物理层面依托二维码作为用户溯源入口存在较大的伪造风险,因此如何有效的防伪也是一重要课题。

抛开区块链的技术不谈,单纯从搜索引擎搜索关键字“食品溯源”得到 1390 万条信息,而搜索“食品安全”却有 9040 万条相关信息之多,很显然食品安全是个备受关注的话题。而能为食品安全最好背书的食品溯源却没有真正的走进千家万户,市面上带有溯源标签的产品也寥寥无几,其中带有溯源标签的产品价格较高,此外溯源系统部署成本高、数据不统一、供应链各方孤军奋战等一直阻碍着溯源体系的推广。区块链的应用从溯源体系的技术层面来看是一个大变革,但区块链溯源体系大多在理论或者试点阶段。从社会角度来看,若想区块链溯源体系走进千家万户还需从经济、政策、企业等多方共同努力。

总之,区块链技术的兴起为食品安全溯源体系的研究提供了创新点,奠定了新体系的理论基础。“区块链+”的新模式也不断的冲击着传统中心化溯源体系。未来,区块链技术将作为食品安全溯源信息的保存方式被广泛推广。随着物联网技术的发展,更多的设备将接入互联网并结合 5G 技术使各环节底层更能详细、更快速的收集和上传正确的数据,对此云边协同物联网部署方案将会被广泛应用,借助边缘运算设备的大量接入分担了区块链节点的运算与记账压力,使得系统运行效率更高、数据冗余增加、安全性大大提升。

参考文献

- [1] 袁小农. 我国食品安全的信用与执法机制研究[J]. 食品安全导刊, 2016, (12): 32-33.
Yuan XN. Research on credit and law enforcement mechanism of food safety in China [J]. China Food Saf Magaz, 2016, (12): 32-33.
- [2] 人民网. 《中国食品安全发展报告(2018)》在京发布[N/OL]. [2018-12-25].
<http://society.people.com.cn/n1/2018/1225/c1008-30487284.html>.
People's Daily Online. China food safety development report (2018) released in Beijing [N/OL]. [2018-12-25]. <http://society.people.com.cn/n1/2018/1225/c1008-30487284.html>.
- [3] 人民网. 保障人民健康安全, 习近平总书记这样说[N/OL]. [2018-08-18].
http://www.xinhuanet.com/politics/2018-08/18/c_1123290549.htm.
People's Daily Online. To protect people's health and safety, general secretary Xi Jinping said so [N/OL]. [2018-08-18]. http://www.xinhuanet.com/politics/2018-08/18/c_1123290549.htm.
- [4] 习近平. 在十八届中央政治局第二十三次集体学习时的讲话[R]. 北京: 中央政治局, 2015.
Xi JP. Speech at the 23rd collective study of the Political Bureau of the 18th CPC Central Committee [R]. Beijing: The Political Bureau of the Central Committee, 2015.
- [5] 习近平. 在中央财经领导小组第十四次会议上的讲话[R]. 北京: 中央财经领导小组, 2016.

- Xi JP. Speech at the 14th meeting of the central leading group on finance and economics [R]. Beijing: Central Financial and Economic Leading Group, 2016.
- [6] 孙明. 基于物联网的食品溯源系统设计与实现[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015.
- Sun M. Design and Implementation of food traceability system based on internet of things [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [7] 谢辉, 王健. 区块链技术及其应用研究[J]. 信息网络安全, 2016, (9): 192-195.
- Xie H, Wang J. Study on block chain technology and its applications [J]. Netinfo Sec, 2016, (9): 192-195.
- [8] 周灼能, 蔡银笔, 黄梅兰, 等. 质量追溯系统在乌龙茶产品中的应用[J]. 中国茶叶, 2014, 36(7): 4-6.
- Zhou ZN, Cai YB, Huang ML, *et al.* Application of quality traceability system in Oolong tea products [J]. China Tea, 2014, 36(7): 4-6.
- [9] GS1 生鲜果蔬追溯实施指南[Z]. 2019.
- GS1 implementation guide for traceability of fresh fruits and vegetables [Z]. 2019.
- [10] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进重要产品追溯体系建设的意见[N/OL]. [2016-1-12]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-01/12/content_10584.htm.
- General Office of the State Council. Opinions of the general office of the State Council on accelerating the construction of traceability system for important products [N/OL]. [2016-1-12]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-01/12/content_10584.htm.
- [11] 王健佐. 基于区块链技术应用于绿色有机食品溯源系统的探索[J]. 农村实用技术, 2019, (8): 58-59.
- Wang JZ. Application of blockchain technology in green organic food traceability system [J]. Appl Technol Rural Area, 2019, (8): 58-59.
- [12] 肖静, 罗宏伟. 浅谈区块链技术在食品信息追溯工作中的植入[J]. 中国工商管理研究, 2019, (7): 14-16.
- Xiao J, Luo HW. Study on the implanting of blockchain technology in food information traceability [J]. China Admin Ind Commer, 2019, (7): 14-16.
- [13] 贾建华. 区块链技术与食品安全追溯[J]. 中国自动识别技术, 2018, (73): 58-62.
- Jia JH. Blockchain technology and food safety traceability [J]. China Auto-ID, 2018, (73): 58-62.
- [14] Haber S, Stornetta WS. How to time-stamp a digital document [J]. Adv Cryptol, 1991, 3(2): 99-111.
- [15] Dai W. B-money [EB/OL]. [1998-08-23]. <http://www.weidai.com/bmoney.txt>.
- [16] Massias H, Avila XS, Quisquater JJ. Design of a secure timestamping service with minimal trust requirements [R]. Benelux, 20th Symposium on Information Theory, 1999.
- [17] Back A. Hashcash-A denial of service counter-measure [EB/OL]. [2002-02-04]. <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf>.
- [18] Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system [EB/OL]. [2009-05-28]. <http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [19] 黄征, 李祥学, 来学嘉, 等. 区块链技术及应用[J]. 信息安全研究, 2017, 3(3): 237-245.
- Huang Z, Li XX, Lai XJ, *et al.* Blockchain technology and its applications [J]. J Inf Sec Res, 2017, 3(3): 237-245.
- [20] 中国信息通信研究院. 可信区块链推进计划. 区块链白皮书[EB/OL]. [2019-11-08]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201911/P020191108365460712077.pdf>.
- China Institute of Information and Communication. Trusted blockchain promotion plan. Blockchain white paper [EB/OL]. [2019-11-08]. <http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/201911/P020191108365460712077.pdf>.
- [21] 杨保华, 陈昌. 区块链原理、设计与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- Yang BH, Chen C. Principle, design and application of blockchain [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2017.
- [22] 邵奇峰, 金澈清, 张召, 等. 区块链技术: 架构及进展[J]. 计算机学报, 2018, 41(5): 969-988.
- Shao QF, Jin CQ, Zhang Z, *et al.* Blockchain: Architecture and progress [J]. Chin J Comput, 2018, 41(5): 969-988.
- [23] 作冀颖, 杜聪, 马志远, 等. 应用于食品追溯体系的区块链架构设计[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(12): 46-50, 86.
- Wu JY, Du C, Ma ZY, *et al.* Blockchain architecture design for food traceability system [J]. Comput Appl Software, 2019, 36(12): 46-50, 86.
- [24] 张亮, 刘百祥, 张如意, 等. 区块链技术综述[J]. 计算机工程, 2019, 45(5): 1-12.
- Zhang L, Liu BX, Zhang RY, *et al.* Overview of blockchain technology [J]. Comput Eng, 2019, 45(5): 1-12.
- [25] Swan M. Blockchain: Blueprint for a new economy [M]. US: O'Reilly Media, 2015.
- [26] 张利, 童舟. 基于区块链技术的农产品溯源体系研究[J]. 信息通信, 2019, 47(13): 245-249.
- Zhang L, Tong Z. Research on agricultural products traceability system based on blockchain technology [J]. Inform Commun, 2019, 47(13): 245-249.
- [27] 中国连锁经营协会. 区块链+供应链! 沃尔玛试点食品可追溯[EB/OL]. [2017-10-18]. http://www.sohu.com/a/198873844_170950.
- China Chain Operation Association. Blockchain+supply chain! Walmart pilot food traceability [EB/OL]. [2017-10-18]. http://www.sohu.com/a/198873844_170950.
- [28] 紫琳. 中国首个安全食品区块链溯源联盟成立[J]. 中国食品, 2018, (1): 173.
- Zi L. China's first safe food blockchain traceability alliance established [J]. China Food, 2018, (1): 173.
- [29] 雷锋网. 蚂蚁金服推出第三个区块链应用: 产品溯源防伪, 目前涵盖奶粉和名酒[EB/OL]. [2017-11-25]. http://www.sohu.com/a/206558583_114877.
- Lei Feng Network. Ant financial launched the third blockchain application: product traceability and anti-counterfeiting, which currently covers milk powder and famous wine [EB/OL]. [2017-11-25]. http://www.sohu.com/a/206558583_114877.
- [30] 新浪财经头条. 重庆首个餐饮+区块链上线: 食材从哪来可精准溯源? [EB/OL]. [2020-1-21]. <https://t.cj.sina.com.cn/articles/view/6192937794/17120bb42020016fmb?from=tech>.
- Sina financial headlines. Chongqing's first catering + blockchain online: Where do ingredients come from? [EB/OL]. [2020-1-21]. <https://t.cj.sina.com.cn/articles/view/6192937794/17120bb42020016fmb?from=tech>.

- om.cn/articles/view/6192937794/17120bb42020016fmb?from=tech.
- [31] 佚名. VeChain 发布全球首款基于区块链技术的 NFC 防伪芯片[J]. 金卡工程, 2016, (5): 40–41.
- Anonymous. Vechain releases the world's first NFC anti counterfeiting chip based on blockchain technology [J]. Cards World, 2016, (5): 40–41.
- [32] Ali S, Wang G, Bhuiyan MZA, *et al.* Secure data provenance in cloud-centric internet of things via blockchain smart contracts [C]// IEEE Smartworld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People & Smart City Innovation. IEEE, 2018.
- [33] Bordel B, Lebigot P, Alcarria R, *et al.* Digital food product traceability: Using blockchain in the international commerce [M]. Digital Science, 2019.
- [34] 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.
- Li MJ, Wang D, Zeng XS, *et al.* Food safety tracing technology based on block chain [J]. Food Sci, 2019, 40(3): 279–285.
- [35] 史亮, 张复宏, 刘文军. 基于区块链的果蔬农产品追溯体系研究[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(15): 166–169.
- Shi L, Zhang FH, Liu WJ. Research on traceability system of fruits and vegetables agricultural products based on blockchain [J]. Rural Econ Sci, 2019, 30(15): 166–169.
- [36] 王红梅, 於跃成. 基于区块链的食品安全溯源技术研究[J]. 电子设计工程, 2019, 27(13): 16–20, 25.
- Wang HM, Yu YC. Study of food safety traceability technology based on blockchain [J]. Int Electr Elem, 2019, 27(13): 16–20, 25.
- [37] 沈政启. 基于区块链技术的食品安全追溯平台[J]. 信息通信, 2019, (1): 49–50.
- Shen ZQ. Traceability of food safety platform based on blockchain [J]. Inform Commun, 2019, (1): 49–50.
- [38] 刘国翔, 董凯宁. 基于区块链技术的信息安全监管-以食品信息安全监管为例[J]. 中国科技资源导刊, 2019, 51(3): 91–95.
- Liu GX, Dong KN. Information safety supervision based on blockchain technology by an example of food information safety supervision [J]. China Sci Technol Resour Rev, 2019, 51(3): 91–95.
- [39] Behnke K, Marijn J. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology [J]. Int J Inform Manag, 2020, (52): 101969.
- [40] 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及在大米溯源中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(12): 102–110.
- Tao Q, Cui XH, Zhao SM, *et al.* Food quality and safety management system based on blockchain technology and its application in rice traceability [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2018, 33(12): 102–110.
- [41] 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建构[J]. 食品科学, 2020, 41(3): 314–321.
- Zhao L, Bi XH, Zhao AN. Frame reconstruction of mobile traceability information system for fresh foods based on blockchain [J]. Food Sci, 2020, 41(3): 314–321.
- [42] Yue X, Wang HJ, Jin DE, *et al.* Healthcare data gateways: Found healthcare intelligence on blockchain with novel privacy risk control [J]. J Med Syst, 2016, 40(10): 218.
- [43] 沈政启. 基于区块链的食品溯源系统的存储设计[J]. 通讯世界, 2019, 26(2): 304–305.
- Shen ZQ. Storage design of food traceability system based on blockchain [J]. Telecom World, 2019, 26(2): 304–305.
- [44] Tian F. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things [C]// 2017 International Conference on Service Systems and Service Management. IEEE, 2017.
- [45] 张嘉伟. 基于区块链的食品追溯信息的存储技术[J]. 电子技术与软件工程, 2019, (2): 160.
- Zhang JW. Storage technology of food traceability information based on blockchain [J]. Electron Technol Software Eng, 2019, (2): 160.
- [46] Huang H, Zhou X, Liu J. Food supply chain traceability scheme based on blockchain and EPC technology [J]. Lecture Notes Comput Sci, 2019, (12): 32–42.
- [47] Benet J. IPFS-Content addressed, versioned, P2P file system (Draft 3) [EB/OL]. [2014-07-14].
- <https://github.com/ipfs/ipfs/blob/master/papers/ipfs-cap2pfs/ipfs-p2p-file-system.pdf>.
- [48] 王吉. IPFS 矿机真的是互联网的第三次革命吗[J]. 计算机与网络, 2018, 44(6): 26–27.
- Wang J. Is IPFS mining machine really the third revolution of Internet? [J]. Comput Network, 2018, 44(6): 26–27.
- [49] 张利华, 蓝凡, 姜攀攀, 等. 基于双区块链的医疗记录安全存储与共享方案[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(9): 1581–1587.
- Zhang LH, Lan F, Jiang PP, *et al.* A secure medical record storage and sharing scheme based on dual-blockchain [J]. Comput Eng Sci, 2019, 41(9): 1581–1587.
- [50] 严梦, 袁玉堂, 刘智勇. 基于区块链技术电子健康档案分布式存储方案的探讨[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2019, 16(5): 623–627.
- Yan M, Yuan YT, Liu ZY. Discussion on distributed storage scheme of electronic health record based on blockchain technology [J]. Chin J Health Inform Manag, 2019, 16(5): 623–627.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介



徐 睿, 硕士研究生, 主要研究方向为农业信息化食品安全溯源。

E-mail: xurui0424@sina.com



赵继成, 硕士, 实验师, 主要研究方向为食品安全溯源。

E-mail: zhaojicheng@sdu.edu.cn