

- 荷兰《文摘与引文数据库》Scopus
- 瑞典开放存取期刊目录DOAJ
- 日本科学技术振兴机构数据库JST
- 中国科技核心期刊CSTPCD
- RCCSE中国核心学术期刊
- 中国生物医学文献服务系统Sino Med收录期刊
- 美国《化学文摘》CA
- 英国《食品科技文摘》FSTA
- 世界期刊影响力指数（WJCI）报告
- 北大核心期刊
- 中国农林核心期刊A

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

赵巧润，曹宇璇，曹怡凡，徐笑，程抒劼，陈贵堂，曹崇江，袁彪

Application and Research Progress of Internet+Blockchain Technology in Food Safety Traceability System

ZHAO Qiaorun, CAO Yuxuan, CAO Yifan, XU Xiao, CHENG Shujie, CHEN Guitang, CAO Chongjiang, and YUAN Biao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022050328>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

区块链技术在食品溯源体系中的应用

Application of Blockchain Technology in Food Traceability System

食品工业科技. 2021, 42(15): 377-382 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070161>

基于信息技术融合的云服务平台在食品安全领域的应用研究进展

Advances in application of cloud service platform in the field of food security based on information technology fusion

食品工业科技. 2017(11): 385-390 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.11.066>

荧光标记免疫层析技术在食品安全检测中的应用研究进展

Progress of application of immunochromatographic technology labeled with fluorescence element in food safety detection

食品工业科技. 2018, 39(2): 314-319 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.02.058>

胶体金免疫层析试纸条技术及其在食品安全检测中的应用研究进展

Research Progress of Colloidal Gold Immunochromatographic Test Strip Technology and Its Application in Food Safety Testing

食品工业科技. 2019, 40(13): 358-364 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.13.060>

噬菌体展示技术在食品安全分析中的应用

Application of phage display technology in food safety

食品工业科技. 2017(14): 342-346 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.14.067>

环介导等温扩增技术在食品安全检测领域的应用研究进展

Application research progress on loop-mediated isothermal amplification in food safety detection

食品工业科技. 2018, 39(10): 330-334 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.10.061>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050328

ZHAO Qiaorun, CAO Yuxuan, CAO Yifan, et al. Application and Research Progress of Internet+Blockchain Technology in Food Safety Traceability System[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 24–32. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050328

· 未来食品 ·

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

赵巧润¹,曹宇璇¹,曹怡凡¹,徐笑^{2,*},程抒劼¹,陈贵堂¹,曹崇江¹,袁彪^{1,*}

(1.中国药科大学工学院食品质量与安全系,国家中药材加工技术研发专业中心,江苏南京 210098;
2.绍兴文理学院生命科学学院,浙江绍兴 312000)

摘要:我国是人口大国,食品安全关乎民生大计,近年来屡屡出现的食品安全问题值得大家思考,如何让消费者吃得更安心更是亟需解决的问题。建立食品安全溯源体系是应对食品安全问题极为有效的措施,解决信息领域的安全问题,能够降低危害发生风险,给消费者真实可感的安全感。然而,现有食品安全溯源系统中仍存在部分不足,包括由信息不对称导致的逆向选择、资源浪费和信任危机等,而区块链技术正好能够解决其中的大部分问题。随着信息化的发展和数字新基建的完善,伴随着互联网时代的到来,大数据信息的价值正被逐步挖掘,区块链技术与食品安全溯源技术的结合是“互联网+”的重要成果,食品安全溯源技术的把控和发展将跨过新的台阶。

关键词:食品安全,溯源体系,区块链,互联网技术,物联网

中图分类号:TS201.6

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)06-0024-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050328

本文网刊: 

Application and Research Progress of Internet+Blockchain Technology in Food Safety Traceability System

ZHAO Qiaorun¹, CAO Yuxuan¹, CAO Yifan¹, XU Xiao^{2,*}, CHENG Shujie¹, CHEN Guitang¹,
CAO Chongjiang¹, YUAN Biao^{1,*}

(1. Department of Food Quality and Safety, Institute of Technology, China Pharmaceutical University, National Chinese Medicinal Materials Processing Technology Research and Development Center, Nanjing 210098, China;
2. School of Life Science, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: China has a large population and food safety is important to people's livelihood. The recurring food safety problems in recent years are worth thinking about. It is an urgent problem to address food safety issues. The establishment of food safety traceability system is an extremely effective measure to deal with food safety problems. It can solve the security problems in the information field, reduce the risk of harm and give consumers a real sense of security. However, there are still some deficiencies in the existing food safety traceability system, including adverse selection, resource waste and trust crisis caused by information asymmetry, and blockchain technology can just solve most of these problems. With the development of information technology and the improvement of digital infrastructure, the value of data information is being gradually mined. The combination of blockchain technology and food safety traceability is the important achievement of "Internet+", and the control and development of food safety traceability technology would stride over a new level.

Key words: food safety; traceability system; block chain; internet technology; internet of things

收稿日期: 2022-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(31901699);浙江省自然科学基金项目(Q21C200021);中央高校基本科研业务费专项资金(2632021ZD01);大学生创新创业训练计划项目(202210316343)。

作者简介: 赵巧润(1997-),女,硕士研究生,研究方向:食品营养与安全,E-mail: 3320081997@stu.cpu.edu.cn。

*通信作者: 徐笑(1991-),女,博士,讲师,研究方向:食品营养与健康,E-mail: xiaolexu@126.com。

袁彪(1990-),男,博士,副教授,研究方向:食品营养与安全,E-mail: yuanbiao@cpu.edu.cn;yuanbiao_01@163.com。

随着我国社会的不断发展,人们生活水平逐渐提高,大家开始思考如何吃得放心、吃得安全、吃得健康。实际上,任何有关食品安全的问题,诸如质量安全和假冒伪劣,都可以通过讨论溯源系统来解决^[1]。从全球角度出发,随着人们收入的增加、生活理念的改变,食品的消费量逐年上涨。消费者对食品的营养价值、安全性和高品质等需求也在不断增加,加之全球化的发展,食品供应链正变得越发复杂^[2]。未来农业和未来食品必须回答有关食品安全、环境保护和盈利能力的问题,从以数量为导向的生产转向以质量、安全、可持续性和功能为导向。随着企业和全球市场变得高效,食品领域行业的竞争也正从“企业之间”转向价值链,需要为食品提供附加价值^[3]。

对于如何保障食品安全这个关乎国家安全,社会稳定的重大问题,我国采取的解决措施逐渐从治理型向预防型措施转变^[4],其中食品安全溯源系统和体系的构建和建立最为引人注目。食品安全溯源系统主要解决信息领域的安全问题,降低危害发生风险,给消费者真实可感的安全感。不过,现有食品安全溯源系统中仍存在部分不足,由信息不对称导致的逆向选择、资源浪费和信任危机需要重视^[5]。虽然现代化进程一直在推进,但食品领域由于供应链长、生产环节多、食材来源复杂、人员流动大,诸多不利因素造成了社会对食品安全信心的匮乏。互联网+区块链技术是互联网时代的新技术,它具有去中心化和可防篡改等特点,整个过程可实现匿名的机器自治和程序审核,应用在食品安全溯源体系中,能够有针对性地解决信任危机,缓解资源浪费^[6]。本文收集整理了近年来国内外有关基于互联网+区块链技术的食品安全溯源研究和报道,梳理了相关的概念和基本原理,汇总了已经落地的实际案例和发表的研究模型,分析了这类系统目前的主要优势、劣势和发展阻力,概述了区块链在食品安全追溯领域的应用,以及存在的问题和挑战,为后续完善食品溯源体系和保障食品安全提供重要的参考信息,并对未来的食品安全发展提出了建议和展望,以期为未来的互联网+区块链技术在食品领域的广泛应用提供参考。

1 现代食品安全溯源体系

食品安全溯源体系是指在食品产供销的各个环节(包括种植养殖、生产、流通以及销售与餐饮服务等)中,食品质量安全及其相关信息能够被顺向追踪(生产源头—消费终端)或者逆向回溯(消费终端—生产源头),从而使食品的整个生产经营活动始终处于有效监控之中。该体系能够理清职责,明晰管理主体和被管理主体各自的责任,并能有效处置不符合安全标准的食品,从而保证食品质量安全^[7]。在产品需要考虑范围内,包括来源、应用及所在处,进行回溯或追踪。整个体系的建立在改善供应链管理、提高留住现有客户的能力、解决产品差异化、辅助产品质量改进、减少客户投诉、方便售后服务等方面有诸多益

处^[8]。

现代食品安全溯源体系建立在整个食品生产和食品供应链中,参与主体包括料供应、生产、加工、制造、分销经销以及购买环节的消费者^[9]。而整个体系即是在参与主体中建立,对可追溯主体进行追踪和回溯,即追踪从农田到餐桌所涉及到所有相关食物、饲料及其他具有可食用性的动物或物质及其特性的信息记录与应用系统^[10]。这些信息记录可有效辅助食品安全监管,增强消费者的信赖,为食品安全提供保障。

1.1 工作重点和运行

解决食品安全问题和质量问题的有效途径是提高食品安全溯源的透明度、安全性、耐久性和完整性^[11]。现代食品安全溯源体系的主要目的是为了实现食品供应链的过程可感知,源头可追溯,风险可预警。依照“向前一步,向后一步”的原则,食品安全溯源系统的工作重点集中在三个方面:追踪食品领域各个环节(种植养殖、生产流通、销售、餐饮服务等);进行顺向追踪或逆向追踪;监控整个生产经营活动^[12]。在全球货物流动日益增加的时代,食品安全和质量保证变得越来越困难,以次充好、挂羊头卖狗肉等消费者最关心的食品真实性也难以保证,因此需要一个行之有效的食品溯源系统^[13]。

目前主要的运行方式以记录信息流,保障信息流的连续性为基础。体系的运行是否有效主要看是否有标准统一的编码标识,食品关键信息的采集、存储、交换是否顺利,能否保证信息不可伪造,不可篡改。因此需要格外关注体系的用户身份验证记录,储存量和传输体系^[14]。

1.2 体系目前存在的问题

碍于我国的基本国情,食品安全溯源体系的应用进展十分缓慢。现有食品安全溯源系统建立的时间并不长,相比于发达的西方国家存在一定的差距。目前食品安全溯源系统待解决的问题有很多:诸如信息采集过于依赖个人操作,信息搜集困难且不全面;整个供应链体系信息标准化不统一,难以流动;溯源系统的核心数据库,储存空间有限,易受攻击,易被篡改。基于这些问题,体系无法发挥信息的潜在价值^[15]。

食品安全治理过程中,食材的种植养殖、加工处理、储存运输、分销售卖、检查监管中都存在着信息不对称的问题。由于市场不规范、监管不健全,溯源信息容易造假。在全国范围内推行食品溯源体系建设并非易事,面临追溯成本过高,且追溯链条不统一,不同企业或地区需要重新组合等问题。这些问题导致食品安全溯源流于形式和浮于表面。各主体之间的利益因素和不同场景下的信息结构差异,技术条件约束,治理成本过高等问题都是食品安全溯源面临的困境^[16]。其中有三大问题亟需解决:首先是监管理念的更新,传统理念的限制性思维难以形成对食品产业链的动态监管。其次要建成覆盖全产业链、覆盖全

国的食品安全溯源体系,该领域的理论研究和技术应用都亟需改造升级。最后一点,物联网、信息采集技术、数据库、云储存的出现,实现了以现代食品质量检测、物联网、传感器远程监控系统为基础的低成本追溯系统。但因生产销售的整个流程中涉及的主体过多,影响体系的不确定因素过于繁琐,实时监控资源消耗大等原因,整个系统依旧存在体系管理难度大、效率低、数据存储安全性低等重大挑战^[17]。

2 物联网

食品安全溯源系统是以物联网(The Internet of Things)及其相关技术为基础存在的,物联网通过将互联网与各种有线式、无线网络连接起来,实现信息的实时传递,为食品的质量监控和可追溯性提供有价值的信息。但信息安全问题也是它的难点之一,其安全威胁主要来源于其应用层、网络层、感知层^[18]。

物联网涉及到数以亿计的设备,其标签可以被嵌入任何物品,而用户可能毫无察觉,有被使用射频识别技术跟踪和窥探隐私的风险。物品的详细信息易受流量分析,泄露企业数据,本地服务器与远程物品信息服务器之间传输需要保护。在物联网中,信息从发送到被接受,接受方会反馈消息认证码,这个认证码被穷举和数据监听等伪装,就会造成严重的信息泄露。不仅如此,物联网系统处理流式数据,一旦被攻击,所有信息都会被窃取。建立数据库+云储存可以改善这一状况,但在使用时需要反复传输,中央云服务器的负荷极大,数据安全性没有保证。基于上述问题,对物联网设备进行赋码管理,规范终端的数据采集,限制权限访问,采取防火墙技术等。可采用多模式验证手段,人脸和指纹识别双重认证,辅以接受认证消息,三重防护,通过智能模型进行异常数据监测等措施^[19]。

3 区块链技术

3.1 基本原理

区块链技术源于一种基于密码学的数字货币比特币,是一种去中心化的电子记账技术,信息在分布式节点中共享。应用区块链技术的记账系统,每记录一笔交易都要广播给所有人,此时每个人的账本都是公开的^[20]。用密码学的方法将特定数量的账单打包起来形成区块,再按照时间顺序链接这些不同的区块,所形成的就是包含一大堆账单信息的区块链。区块链网络中所有节点都在系统中参与维护,用拜占庭算法作为模型可以得出结论,加上智能合约,区块链作为一种可以实现机器自治的技术,无需信任的新型数据架构^[21]。且区块链的实际应用情况相对复杂,需要在应用过程中不断优化。区块链技术的基础可以大致概括为四个方面。

3.1.1 链式数据结构(去中心化分布式存储) P2P(点对点)网络传输的应用,让每个节点既能接受信息也能产生信息,每一笔交易都用时间戳标记,构成去中心化网络,又称作对等式网络。每个节点既是客户

端,又是服务器,其信任源于数学方法,而非中心机构,各点平等且有对完整数据库信息的记录,无需管制。交易的点对点传输需要验证 ID,而后广播到整个网络,每个节点都可以拥有完整的分布式账本,减少对中心的依赖,防止因中心结构的受恶意攻击或损坏而导致整个系统瘫痪^[22]。

3.1.2 非对称加密 非对称加密技术主要应用在数据加密和数字签名。数据加密指利用时间戳为每笔交易生成一个相对应的 ID,通常通过一定算法生成哈希值来标识自身的唯一性。数字签名指交易信息的传播需要数字签名进行身份认证和身份认可,最常用的方法是椭圆曲线数字签名。这种密码学中诞生的非对称加密技术为参与者提供对应的公钥和私钥,公钥由私钥通过算法得出,处于公开的状态,而需要保密的私钥无法用公钥反推出来,因此只有拥有私钥的使用者才能修改和认证数据,保证了匿名性质,大大提升了数据传输的安全性。每笔交易的集合需要所有有效用户的共同认证来形成对应的区块,非对称加密技术则保证了用户的隐私和认证的可靠^[23]。

3.1.3 共识机制 由于实际应用可能不涉及比特币这样的金融货币做激励,相互不信任的参与者之间需要建立协议,使分散的数据保持一致性。这直接影响区块链系统的隐私安全和可靠性,当节点过多时,各个节点在一段时间内所获取到的事物发生的先后不可能完全一致,因此需要共识机制。共识机制依赖于自身算法的机理性,不受人为因素的影响,这也是解决不信任环境下各个节点达成一致的必要条件^[24]。

3.1.4 智能合约 智能合约是以数字形式定义的承诺概念,指通过自动担保程序实现信息的自动释放和转移。智能合约是一种放在区块链上运行的特定的合约程序,同时也是一种可编程的合约,将过去的纸质和电子合约转化为代码存在于区块链中,用相应算法生成唯一区块链地址来标记,实现交易处理自动化。智能合约储存在区块链中,基本无法篡改,实现了区块链的自我管理,进一步强化互信机制,甚至可能具有法律效能^[25]。

3.2 区块链的理论架构模型

单个区块由默克尔树根存放该区块唯一的哈希值,随机数记录解密该区块的相关数学题的答案,将内存包含进区块里^[26]。默克尔树则是数据内容存储的主要形式,将树根值保存到区块的头部,通过一定算法形成对应的哈希值,被加入当前区块的父区块哈希属性中,形成区块链。区块中的时间戳赋予了交易时间维度,形成了对应的交易顺序,让时序数据走向了实现,这是数据可追溯性的来源之一。牵一发而动全身,区块链的时间属性可以保证数据的原始性和不可篡改性^[27]。

4 基于区块链的食品溯源系统

食品安全的信息不对称和监管难题一直是困扰

我国食品安全现状的大山, 互联网时代的到来为信息传递带来了新的变革, 利用互联网技术建设食品安全溯源体系, 保障食品安全信息, 实现智慧监管, 将区块链与农业溯源系统结合, 是我国粮食产业发展由量变到质变的关键^[28]。

4.1 适用于区块链技术的食品溯源体系编码

将区块链技术与精准农业、大数据、传感器和物联网等连接, 应用电子标签, 如射频识别技术、条形码或 2D 网格代码和事件记录, 把产品物流与信息流联系起来, 将事件记录在整个食品供应链的区块链中, 构成食品溯源系统^[29]。溯源系统的首要问题是打破“信息孤岛”, 在整个食品供应链体系中建立有效且可靠的联系, 而溯源体系编码的不标准是产生“信息孤岛”问题的主要原因^[30]。

现在国际广泛采用的编码标准是 GS1(Globe standard 1), 此系统的标识标准体系和信息交换标准体系能够使被其标识的产品在全世界都能够被扫描和识读。GS1 体系采用条码和射频识别技术标签为信息载体, 是目前国际上广泛采用的产品追溯标准体系, 具有采集速度快、可靠性高、灵活实用成本低等优点, 在供应链管理中应用广泛, 是实现供应链管理现代化的关键技术之一^[31]。将 GS1 标准编码与食品溯源体系相结合, 打破“信息孤岛”, 在供应链中建立可靠联系。

另一个问题则是食品生产加工过程中数据信息的来源问题, 解决这个问题需要对应的信息标识技术。以往的信息主要由条码传递, 以条码的形式呈现计算机可以阅读的数据, 是一种综合性的技术^[32]。条码的制作成本低、技术要求低、采集速度快、可靠性高, 自发明以来就被广泛地传播应用, 是当前建立溯源系统的主流选择, 但存在一些缺陷, 例如只能读取、易伪造、扫描间距短、湿度和温度的变化等环境因素会对条形码造成损害等^[33]。于是出现了更先进的标识手段: 射频识别技术电子标签。

射频识别技术是一种用频射信号作为原理的非接触式识别技术, 是电子信息标识技术的新物理载体, 体积小且与食品兼容。它将产品信息转化为数据的形式, 实现采集、输入、保存, 避免人为因素可能产生的错误, 自动化、高效率、可以实时交换数据。但它也存在一系列的问题, 例如价格更为昂贵; 安全方面由于靠无线电传播, 它的存储和传输环节容易被攻击操纵和泄露隐私等相关信息; 无线传输相对更为脆弱, 一旦被干扰, 将对系统的正常服务产生巨大影响等^[34]。

4.2 适用于区块链技术的食品溯源体系架构

要想将区块链技术这样一个“纯线上”技术融合到食品安全这个实体产业领域, 必须进行必要的调整和辅助包括物理架构、参与主体、信息流走向^[35]。

4.2.1 基本物理架构

目前平台主要有比特币系统、以太坊、超级账本三个, 其中以太坊更为成熟, 超

级账本更为灵活, 是目前最主要的平台^[36]。数据库层的数据储存服务器由原来的中心服务器转为分布式存储数据库, 关系到区块链的三种不同形式。公有链不设置额外权限, 完全去中心化, 所有节点全部公开, 便于审核且高度透明, 但执行共识机制的时间长且能耗大。采用联盟链或私有链的形式, 虽然放弃了一部分去中心化, 但只有合法用户能够访问被授权的制定节点, 可提升区块链的扩展性, 提高执行效率。应用层主要用于嵌入应用程序或协议, 用于人机交互入口。可以用软件和应用接口等形式连接访问用户、供应链参与者、政府监管部门、标准化组织^[37]。吸取区块链精华部分融入到食品溯源体系, 可以使平台运转更高效精密。

4.2.2 参与主体 各个主体参与食品安全溯源体系的基本方式为: 注册——提交信息档案——获得私钥、公钥——进行身份认定登录和访问、传输数据。系统中所有主体包括: 提供唯一身份账号的注册机构; 定义、修订标准的标准化组织; 输入信息的原材料供应、生产、加工制造、分销、零售等; 购买商品, 访问产品溯源信息的消费者; 开发、维护软件的可信任单位^[38]。

4.2.3 信息流走向 全链信息流: 第一步产品标识, 食品信息录入以条码技术和射频识别为主, 通过扫描识别系统 ID, 将数据自动以电子文档的形式输入系统中。标识之后, 智能合约开放权限、私钥链接网络、软件界面输入数据、过程审核、内外溯源数据一同打包录入。参与者之间达成协议, 签署各自的数字签名, 交易被核心层节点公证并全网广播加链流向下一节点。其中需要注意的是: 每打包一个节点, 都需要是对应生产部门经过身份认证后, 被授权输入信息。完成任务之后, 打包成有时间戳的数据区块, 至此, 信息流向下一层进行。时间戳、不对称加密共同保证数据的可靠性、防篡改。每次录入的数据需要包涵信息: 带有责任方签名的时间戳; 认证机构信息; 控制防伪权限的规则代码; 指定位置信息、溯源关键线索、消费者最关注信息^[39]。食品产业从原料到成品的信息被快速而准确地记录, 任意环节抽查也能做到精准定位。

4.3 联盟链

应用于食品安全溯源系统的区块链技术, 在细节方面根据实际需求往往会做出共同的选择, 其中最典型的两个是联盟链和 PBFT 算法。公有链的区块链完全的去中心化, 在实际应用中存在许多不足之处。例如, 一旦节点数超过一定限制, 就会存在较高的网络延迟; 区块链实际是一种有限的资源, 不能直接处理和存储由传感器采集的大量数据, 对物联网数据的存储压力大, 需要消耗大量的资源和算力^[40]。

联盟链是现有食品安全溯源体系设计中最常用的方法, 即部分去中心化的区块链结构, 可以引入其他共识算法或技术, 例如可以将各个节点分组分级,

让一个主节点领导整个共识过程处于一个视图中, 将所有节点分为三种不同的角色, 各自实现不同的功能, 可以有效提高区块链的运行效率。这种区块链双链结构与区块链一起形成双链存储, 在食品溯源过程中可以有效精简节点数、安全可靠、可容纳数据量大、提升整体效率, 具有高性能、可编程、隐私保护等的优点^[41]。

4.4 适用于区块链技术的食品溯源体系优势体现

溯源链各阶段的数据可靠, 使食品保质期更准确, 从而显著减少经济损失和食品浪费。切实履行溯源体系提高造假成本、提供危机预警、问题商品溯源等来维护食品安全的责任。权威机构和政府机构以联盟链的形式介入, 从系统中心转移到边缘, 作为第三方信任中介, 去中心化层级化, 极大降低监管成本, 提升监管运行效率, 保障体系安全运转, 提高食品安全溯源体系公信力^[42]。降低企业参与监督管理的成本, 提高企业对食品安全管理的积极性。且区块链所采取的分布式储存使信息分流, 降低了系统运行所需带宽, 有效避免了资源浪费。保障体系的正常运行是联盟链中主链副链的各个参与主体的共同责任, 不依赖数字货币, 且风险小。

由于机械化程度高, 采用机器采集标准化的数据和程序判定, 避免了企业人工作业时参与人员选择性屏蔽对自己不利的信息, 篡改食品信息。共同维护, 所有人参与, 供应链内部制定规则制度, 供应链外部提供安全设备和系统安全规则, 使得食品从种植到商品化的过程确保全程真实有效, 便于追踪。在最长链原则等算法基础下, 区块链有很强的容错和抗网络变换特性, 这些无法篡改的信息在整个溯源体系中的存在, 侧面也增强了对产品质量的预测、评估能力, 使消费者更加放心^[43]。

区块链和食品溯源系统的结合还可以避免生产者、消费者信息的过度暴露, 降低维权风险。访问信息时使用的公钥无法反推出对应私钥, 可防止用户个人信息的被盗用。节约信息数据存储成本并提高其运行效率, 更有效的信息流通将加强企业之间的信息交换, 提升彼此可信度, 简化沟通, 提升供应链整体生产效率, 维护供需平衡。更进一步, 有助于拓宽企业融资路径, 解决中小型食品企业的融资难问题, 由此促进现代农业的可持续发展^[44]。

5 区块链技术在食品领域的案例

5.1 牵头食品领域企业

如表 1 所示, 区块链 3.0 时代的到来, 迅速在零售、电商、快消品等领域掀起了热潮, 带动了大型企业一系列的技术改革和定向试点。

2018 年 5 月, 我国首个区块链技术互动平台: “物流+区块链技术应用联盟”在京东物流牵头下成立^[45]。2020~2022 年, 随着平台进一步发展, 京东利用自建的物流平台输送医疗物资, 在供应链每个环节构建节点, 每条信息都有时间戳及数字签名作为保

表 1 牵头企业实例

Table 1 Examples of leading enterprises

企业	内容及成果
京东	防伪追溯及物流追踪
阿里巴巴	数字港口
家乐福	Auvergne 鸡
My Story TM	意大利葡萄酒
飞利信	食品防伪溯源
沃尔玛	区块链溯源平台

障, 消费者可以扫描二维码进行产品的时间追溯, 提升对产品的信任^[46]。同年五月, 招商局港口集团携手阿里巴巴和蚂蚁集团, 共同促进港口产业发展, 打造全球开放的基于区块链的数字港口开放协作网络^[47]。

2018 年, 家乐福宣布了其在法国试点的 Auvergne 鸡项目, 为欧洲首例。与国内“区块链鸡”类似, 作为家乐福 2022 年改革计划中的重要里程碑, Auvergne 鸡广受消费者的欢迎, 进一步推动了家乐福其他产品如鸡蛋、牛奶、橙子等生产线与区块链技术的结合^[48]。同年 DNV GL 公司(专业质量认证和风险管理公司)联合唯链(VeChain)共同推出了针对食品饮料行业开发的区块链应用技术——My Story TM, 该技术首次应用于意大利的葡萄酒行业的制造商, 并在不断拓展中。通过酒瓶上对应的二维码标签, 消费者可以查看手中葡萄酒由最初的葡萄到上架的全过程, 把产品的质量、真伪、产地、成分、用水和能耗等关键信息向消费者逐一阐述, 还能加入不同品牌产品背后的故事, 展现其独特内涵, 而这些信息都是通过区块链技术从供应链各个环节供应商中收集到的^[49]。

2020 年, 飞利信子公司东蓝数码将区块链技术与防伪溯源相结合, 推出基于区块链的食品防伪溯源平台, 覆盖食品企业生产、仓储、流通销售等方面, 全方面实现数据采集、查询与可视化展示^[50]。同年沃尔玛中国正式启动区块链溯源平台, 覆盖鲜肉、海鲜、蔬菜以及自有品牌^[51]。顾客可扫描商品提供的二维码了解商品供应源头、物流、检测报告等信息, 使消费者更加安心。食品溯源信息数字化满足了消费者对食品安全更高的要求, 利用数字化提高运行效率, 过程更加透明化, 为顾客提供更有品质的服务。

5.2 技术支持

如表 2 所示, 基于区块链技术的食品安全溯源系统并非完全由对应企业主导, 联合区块链技术平台、挖掘业内专家、紧跟当前技术前沿往往是最好的选择。

IBM(国际商业机器公司)是目前区块链领域技术应用的核心公司, 它推出了一个应用于食品供应链的区块链工具 IBM Food Trust, 通过食品系统数据的许可, 永久共享记录, 连接着食品从农田到餐桌每一个环节的信息, 大大提升了产品的可见性和可问责性。IBM Food Trust 的用户通过查询对应

表 2 区块链技术支持实例

Table 2 Examples of blockchain technical support

企业	内容及成果
IBM	IBM Food Trust
Provenance	传感器或射频识别技术生成的标签
Filament	感应器检测记录农作物的健康指数
成都埃克森尔科技	食物优
BITSE	Vechain 唯链

的食品标识符号即可快速获取需要的信息、权限明确的信息共享视图、控制数据访问状况、规避恶意攻击等。沃尔玛作为 IBM Food Trust 的首个也是最大用户, 它所合作的所有企业都必须加入该网络, 强力推动了 IBM Food Trust 的应用拓展。同时, IBM 也与世界航运巨头马士基达成了合作关系, 将航运记录纳入区块链系统, 在帮助节省食品海运业务成本的同时促进更多的企业融合, 提高现代化食品贸易效率^[52]。

英国软件公司 Provenance 探索了传感器或射频识别技术生成的标签记录食材的方法, 结合区块链+物联网, 保证了食材的新鲜性和安全性^[53]。无线电感应器生产商 Filament 也正尝试利用感应器检测记录农作物的健康指数, 区块链保存信息, 物联网连接整个供应链的其他设备。

食物优是成都埃克森尔科技有限公司主打专注于农业供应链区块链技术的产品, 签约合作有超过 230 家 CSA(社区支持农业)中小型农场。作为一家走出国门的软件, 它不仅提供基于区块链技术的验证溯源服务, 还提供农业大数据分析、精准营销等业务。另一家国内区块链初创公司 BITSE 推出的 Vechain(唯链)也在积极寻求商业合作, 尤其在物流领域的实时监控方面, Vechain 已经能够支持百万级别的商品 ID 运作^[54]。

5.3 应用模型设计

如表 3 所示, 自区块链走入人们的视线以来, 研究者对其在食品安全各个领域的应用做了诸多分析设计。

5.3.1 畜禽肉类 我国生鲜需求量大, 产业链规模宏伟, 有必要对生鲜产品进行溯源^[55]。张晓雅^[56]通过调研杭州市猪肉流通追溯实况, 研究了肉类安全追溯

表 3 应用模型设计
Table 3 Application model design

类别	内容
畜禽肉类	山东得利斯食品公司生鲜猪肉溯源
	猪肉供应链溯源
	基于区块链的养鱼场平台
	全球海洋保护和渔业供应链管理
食品原料类	农作物产品溯源
	大米大豆供应链溯源
	特级初榨橄榄油供应链溯源
	黄金种子育种云平台

系统的关键技术, 从标准体系、信息获取、技术结合三个方面提出了自己的模型架构。代纪磊^[57]则站在山东得利斯食品公司生鲜猪肉质量追溯体系的角度, 跟踪分析了实际案例的流程。整个业务流程以 Petri 网建模, 结合质量追溯的关键信息点来排查该公司追溯体系中存在的问题, 以区块链与物联网的耦合来完成体系构建。以工业工程的角度分析得利斯公司生鲜猪肉业务线的流程, 把握每个环节的关键质量控制点。同样, Kamath^[58]基于 mango 区块链系统, 设计构建了一个结合条码技术的猪肉供应链追溯系统, 该系统的最大优点是允许任何可信用户在猪肉价值链的任何点都可以验证产品的可追溯性和真实性^[59]。

近年, Hang 等^[60]提出了一种基于区块链的养鱼场数据库平台。该系统使用智能合约, 自动执行养鱼场的不同工序, 减少出错或操作的风险, 将传统的养鱼场系统与超级账本 Fabric 区块链集成在一起。未来将继续细化模型, 对云服务测试以运行 Fabric 网络; 测试不同的身份验证策略来保护遗留养鱼场系统与 REST 服务器之间的数据传输; 扩展传统养鱼场系统, 以连接不同的养鱼场设备, 额外支持不同的物联网协议等。Peter^[61]探讨了如何利用区块链技术来改善全球海洋保护和渔业供应链管理, 为健康的海洋以及更透明的鱼类供应链提供新的资源和筹资形式。在此过程中, 综合考虑了为各种利益相关者建立信任和公平的技术和政治挑战, 提出海洋保护和全球海鲜生产网络存在信任问题, 促进渔业利益相关者之间更大程度的平等, 发挥好慈善募捐人士、国家政府、生产商、消费者、零售商等不同主体人员各自的责任与力量^[62]。

5.3.2 食品原料类 食品原料是产品追溯的源头, 对源头的把控是质量监管的管控重中之重。Galvez 等^[63]设计了一种基于区块链技术的农作物产品溯源系统, 由射频识别技术和物联网其他设备, 跟踪环境和质量信息, 用智能合约记录农产品所有的生产信息, 包括种子购买、种植、生长到被消费的全过程。射频识别技术记录种子质量、生产条件、施肥和农药情况、生长数据、冷藏环境、销售信息等在内的溯源信息, 消费者通过扫描产品包装上的条码来检索^[64]。Davcev 等^[65]也基于 cloud/fog 系统提出了整体使用基于区块链的 ICT 技术对提高农产品质量有积极作用, 例如可以监控土地状况, 提高蔬菜的附加价值, 有助于实现透明和安全的农业食品价值链, 该研究列举了一种基于 cloud/fog 物联网平台的葡萄供应链溯源系统。

在实际生产生活中, 利用区块链技术追溯管控食品已经被广泛应用。Kumar 等^[66]展示了一个基于区块链技术的大米供应链溯源模型, 用于记录大米和大豆在整个供应链中涉及到的所有必要信息, 监控运输过程中可能发生的质量和安全问题进而规避风险^[67]。Arena 等^[68]设计了一个基于区块链技术的特级初榨橄榄油供应链溯源和认证 IoT 的应用程序

BRUSCHETTA, 考虑到该系统并不总是适用于所有实际场景, 所以需要对应用程序提出一种动态的自我调整机制。Zhang 等^[69] 利用改进的区块链技术, 在育种信息管理系统-黄金种子育种云平台中实现了高效、安全存储高通量作物育种数据的体系结构。该系统可以确保育种数据的高效和安全存储, 快速便捷地确认育种维度的作物种植位置和繁殖过程数据^[70]。目前该平台已经成功地应用在湖南隆平高科技种业有限公司等许多中国养殖企业和科研机构^[71]。

6 结语

虽然区块链是一项毋庸置疑的突破性技术, 但由于在食品安全追溯领域的开发和应用还存在大量的研究空白, 因此人们对于如何使用区块链技术来提高食品链的安全追溯性能了解相对有限。食品安全追溯领域内在实际操作、系统基础设施、兼容性、标准化问题等方面存在的一系列优势与挑战, 还需要区块链和互联网+技术在政策支持、参与者的协作和信任以及技术集成方面的突破。虽然当下的区块链技术还不够成熟, 存在诸多问题, 但区块链技术将能够提高信息的安全性和透明度, 并将随着物联网基础设施和设备的不断发展壮大, 进而在食品安全溯源领域继续高效且可持续地提供信息和问题解决方案。

参考文献

- [1] RENO G, HARI H, PAPRI R, et al. Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 240: 118021.
- [2] MOHAN D, KUMAR N, UPRETI K. 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.
- [3] 陈飞, 叶春明, 陈涛. 基于区块链的食品溯源系统设计[J]. *计算机工程与应用*, 2021, 57(4): 60–69. [CHEN F, YE C M, CHEN T. Design of food traceability system based on block chain[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2021, 57(4): 60–69.]
- [4] GAUTAM K, RITHVIK K B, VIGNESH K, et al. A literature review on consortium blockchain consistency to improve traceability in food supply chain system[J]. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 2022, 11(3): 62–67.
- [5] LU Y, LI P, XU H. A food anti-counterfeiting traceability system based on blockchain and internet of things[J]. *Procedia Computer Science*, 2022, 199: 629–636.
- [6] 王宝堂, 楼百均. 基于区块链技术的农产品溯源体系建设[J]. *浙江万里学院学报*, 2021, 34(1): 33–38. [WANG B T, LOU B J. Construction of agricultural products traceability system based on block chain technology[J]. *Journal of Zhejiang Wanli University*, 2021, 34(1): 33–38.]
- [7] HUA W Q, CHEN Y, QADRDAN M, et al. Applications of blockchain and artificial intelligence technologies for enabling prosumers in smart grids: A review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 161(1): 112308.
- [8] 余东来. 区块链技术在食品可追溯领域的应用研究[J]. *食品安全导刊*, 2022(4): 167–170. [YU D L. Research on the application of blockchain technology in food traceability[J]. *China Food Safety Magazine*, 2022(4): 167–170.]
- [9] 徐睿, 孙霞, 郭业民, 程淑婷, 周中瑞, 赵继成. 基于区块链技术的食品安全溯源体系应用与研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(20): 7610–7616. [XU R, SUN X, GUO YM et al. Application and research progress of food safety traceability system based on blockchain technology[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(20): 7610–7616.]
- [10] 赵德余, 唐博. 上海食品安全信息追溯体系建设现状、问题及对策[J]. *科学发展*, 2020(9): 84–89. [ZHAO D Y, TANG B. Shanghai food safety information traceability system construction status, problems and countermeasures[J]. *Scientific Development*, 2020(9): 84–89.]
- [11] 李燕羽, 常青, 苑江浩, 等. 区块链技术在粮食质量追溯体系中应用探讨[J]. *粮油食品科技*, 2020, 28(6): 118–123. [LI Y Y, CHANG Q, YUAN J H, et al. Application of block chain technology in grain quality traceability system[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2020, 28(6): 118–123.]
- [12] 于坚, 孙嘉笛, 纪剑, 等. 区块链技术在食品溯源体系中的应用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(15): 377–382. [YU J, SUN J D, JI J, et al. Application of block chain technology in food traceability system[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(15): 377–382.]
- [13] 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 J Z. Exploration of green organic food traceability system based on blockchain technology[J]. *Rural Practical Technology*, 2019(8): 58–59.]
- [14] 魏银珍, 邓仲华, 关玉蓉, 等. 一种基于区块链与智能合约的科学数据安全溯源方法[J]. *现代情报*, 2021, 41(1): 32–38. [WEI Y Z, DENG Z H, GUAN Y R, et al. A scientific data security traceability method based on block chain and smart contract[J]. *Journal of Modern Information*, 2021, 41(1): 32–38.]
- [15] 刘亮, 张玉菡. 基于区块链技术的供应链溯源模式创新[J]. *科技与经济*, 2020, 33(5): 46–50. [LIU L, ZHANG Y H. Innovation of supply chain traceability mode based on block chain technology[J]. *Science & Technology and Economy*, 2020, 33(5): 46–50.]
- [16] 汪江涓, 周爱莲, 梁晓贺, 等. 区块链技术在农产品溯源领域的应用研究[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(36): 158–164. [WANG H J, ZHOU A L, LIANG X H, et al. Research on the application of block chain technology in the field of agricultural products traceability[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(36): 158–164.]
- [17] 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. [ZENG X Q, PENG Y, WANG Q. Research on food safety traceability system based on internet of things plus blockchain[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(9): 100–105.]
- [18] 顾海宁, 申晓钰. 食品供应链视角下食品安全追溯体系概述[J]. *广东化工*, 2020, 47(24): 70–71. [GU H N, SHEN X Y. Overview of food safety traceability system from the perspective of food supply chain[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2020, 47(24): 70–71.]

- [19] CREYDT M, FISCHER M. Blockchain and more-algorithm driven food traceability[J]. *Food Control*, 2019, 105: 45–51.
- [20] 左敏, 何思宇, 张青川, 等. 基于区块链的食品溯源技术研究[J]. *农业大数据学报*, 2020, 2(3): 52–60. [ZUO M, HE S Y, ZHANG Q C, et al. Research on food traceability technology based on block chain[J]. *Journal of Agricultural Big Data*, 2020, 2(3): 52–60.]
- [21] 高琪娟, 杨春节, 武咸春, 等. 基于区块链的茶叶质量安全溯源系统研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2021, 48(2): 299–303.
- [22] GAO Q J, YANG C J, WU X C, et al. Research on tea quality and safety traceability system based on block chain[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2021, 48(2): 299–303.]
- [23] MINHAJ K, KHALED S. IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2018, 82: 395–411.
- [24] ARSHDEEP B, VIJAY M. Blockchain platform for industrial internet of things[J]. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2016, 9(10): 533–546.
- [25] 张学旺, 冯家琦, 殷梓杰, 等. 基于区块链的数据溯源可信查询方法[J]. *应用科学学报*, 2021, 39(1): 42–54. [ZHANG X W, FENG J Q, YIN Z J, et al. Reliable query method of data traceability based on block chain[J]. *Journal of Applied Science*, 2021, 39(1): 42–54.]
- [26] 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.
- [27] MERLINDA A, VALENTIN R, DAVID F, et al. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 100: 143–174.
- [28] ANDREAS K, AGUST F, FRANCESCA P. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 91: 650–652.
- [29] 朱光辉, 赵衍维. 区块链技术在物流领域的应用与发展[J]. *苏州科技大学学报(工程技术版)*, 2020, 33(S1): 34–35. [ZHU G H, ZHAO Y W. Blockchain technology in the field of logistics application and development[J]. *Journal of Suzhou University of Science and Technology (Engineering Technology Edition)*, 2020, 33(S1): 34–35.]
- [30] 孙传恒, 于华竟, 徐大明, 等. 农产品供应链区块链追溯技术研究进展与展望[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(1): 1–13. [SUN C H, YU H J, XU D M, et al. Research progress and prospect of agricultural supply chain blockchain traceability technology[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(1): 1–13.]
- [31] ØLNES S, UBACHT J, JANSSEN M. Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing[J]. *Government Information Quarterly*, 2017, 34(3): 355–364.
- [32] XU X, LU Q, LIU Y, et al. Designing blockchain-based applications a case study for imported product traceability[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2019, 92: 399–406.
- [33] 周文欣. 基于区块链技术的农产品溯源系统面临的问题及对策[J]. *南方农机*, 2021, 52(24): 108–110. [ZHOU W X. Problems and countermeasures of agricultural products traceability system based on blockchain technology[J]. *Southern Agricultural Machinery*, 2021, 52(24): 108–110.]
- [34] 王伟, 赵海军, 王紫娟, 等. 区块链在我国出口食品溯源的应用探索研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(20): 8234–8241. [WANG W, ZHAO H J, WANG Z J, et al. Research on the application of blockchain in traceability of exported food in my country[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, 12(20): 8234–8241.]
- [35] 周彦. 基于区块链的农产品供应链模式研究[J]. *科技与创新*, 2020(24): 26–28. [ZHOU Y. Research on the supply chain mode of agricultural products based on blockchain[J]. *Science and Technology & Innovation*, 2020(24): 26–28.]
- [36] 刘佳琦, 游新冬, 吕学强, 等. 区块链技术在食品溯源行业研究[J]. *食品工业*, 2021, 42(11): 273–277. [LIU J Q, YOU X D, LV X Q, et al. Research on blockchain technology in food traceability industry[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(11): 273–277.]
- [37] 赵维. 基于区块链技术的农业食品安全追溯体系研究[J]. *技术经济与管理研究*, 2019(1): 16–20. [ZHAO W. Research on agricultural food safety traceability system based on blockchain technology[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2019(1): 16–20.]
- [38] 杜志浩. 食品安全治理中的信息不对称问题研究[D]. 南昌: 江西中医药大学, 2019. [DU Z H. Research on information asymmetry in food safety governance[D]. Nanchang: Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, 2019.]
- [39] KSHETRI N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives[J]. *International Journal of Information Management*, 2018, 39(4): 80–89.
- [40] 黎传熙, 洪姿廷, 黄琬薇. 基于区块链技术下的食品供应安全研究[J]. *全国流通经济*, 2020(24): 27–29. [LI C X, XI Z T, HUANG W W. Research on food supply safety based on blockchain technology[J]. *China Circulation Economy*, 2020(24): 27–29.]
- [41] ZHANG A. 如何建立与完善产品可追溯体系?[J]. *食品安全导刊*, 2020(28): 40–42. [ZHANG A. How to establish and improve the product traceability system?[J]. *China Food Safety Magazine*, 2020(28): 40–42.]
- [42] 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 M J, WANG D, ZENG X S, et al. Design of food safety traceability system based on blockchain[J]. *Food Science*, 2019, 40(3): 279–285.]
- [43] THELMA B, LEONARDO R, BEATRIZ P. Blockchina technology for the management of food sciences researches[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 102: 261–270.
- [44] FRANK Y. A new era of food transparency powered by blockchain[J]. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 2018, 12(1–2): 46–56.
- [45] 杨佳怡, 张攻. 浅谈时势变化下京东的战略变革[J]. *中外企业家*, 2020(18): 108–109. [YANG J Y, ZHANG W. Talking

- about the strategic reform of Jingdong under the changing times[J]. Chinese & Foreign Entrepreneurs, 2020(18): 108–109.]
- [46] 孙莹, 路雪. 京东区块链应用对营运资金管理绩效的影响[J]. 财务与会计, 2021(21): 12–16. [SUN Y, LU X. The impact of JD's blockchain application on working capital management performance[J]. Finance & Accounting, 2021(21): 12–16.]
- [47] 招商局携手阿里蚂蚁打造全球首个区块链港口[J]. 中国远洋海运, 2020(6): 23. [China merchants and Ali ant to build the world's first blockchain port[J]. China Ocean Shipping, 2020(6): 23.]
- [48] 陈腾. 浅谈区块链防伪溯源[J]. 互联网经济, 2018(12): 26–31. [CHEN T. Talking about blockchain anti-counterfeiting traceability[J]. Internet Economy, 2018(12): 26–31.]
- [49] 汪普庆, 翟翔, 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. [WANG P Q, ZHAI X, XIONG H, et al. Research on the application of blockchain technology in food safety management[J]. Journal of Agro-technical Economics, 2019(9): 82–90.]
- [50] 孙雄杰. 区块链上市公司技术效率测量与影响因素研究[D]. 上海: 东华大学, 2020. [SUN X J. Research on technical efficiency measurement and influencing factors of blockchain listed companies[D]. Shanghai: Donghua University, 2020.]
- [51] 张聪. 沃尔玛中国启动区块链可追溯平台, 创新保障食品安全[J]. 食品安全导刊, 2019(19): 15. [ZHANG C. Walmart China launches blockchain traceability platform to innovate to ensure food safety[J]. China Food Safety Magazine, 2019(19): 15.]
- [52] 黄娇蒙. 「区块链+供应链管理」开启透明化时代[J]. 金卡工程, 2017(5): 55–58. [HUANG J M. 「Blockchain+Supply Chain Management」 opens the era of transparency[J]. Cards World, 2017(5): 55–58.]
- [53] 赵阔, 邢永恒. 区块链技术驱动下的物联网安全研究综述[J]. 信息网络安全, 2017(5): 1–6. [ZHAO K, XING Y H. A review of IoT security research driven by blockchain technology[J]. Netinfo Security, 2017(5): 1–6.]
- [54] 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. [VeChain has launched the world's first NFC anti-counterfeiting chip based on blockchain technology[J]. Cards World, 2016(5): 40–41.]
- [55] 王建华, 王美. 基于溯源系统应用的生鲜供应链决策研究[J]. 物流科技, 2021, 44(10): 1–7. [WANG J H, WANG M. Research on decision making of fresh supply chain based on traceability system[J]. Logistics Technology, 2021, 44(10): 1–7.]
- [56] 张晓雅. 肉类食品安全流通追溯系统关键技术研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2018. [ZHANG X Y. Research on key technologies of meat food safety circulation traceability system[D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2018.]
- [57] 代纪磊. 基于区块链与物联网耦合的 DLS 公司生鲜猪肉质量追溯体系研究[D]. 济南: 山东大学, 2019. [DAI J L. Research on the quality traceability system of fresh pork of DLS company based on the coupling of blockchain and internet of things[D]. Jinan: Shandong University, 2019.]
- [58] KAMATH R. Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM[J]. The Journal of British Blockchain Association, 2018, 1(1): 1–12.
- [59] 李慧. 区块链技术的勃兴与“新零售”服务转型发展研究[J]. 商业经济研究, 2020(19): 167–170. [LI H. Research on the rise of blockchain technology and the transformation and development of "New Retail" services[J]. Journal of Commercial Economics, 2020(19): 167–170.]
- [60] HANG L, ISRAR U, KIM D. A secure fish farm platform based on blockchain for agriculture data integrity[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 170: 105251.
- [61] PETER H. Building trust and equity in marine conservation and fisheries supply chain management with blockchain[J]. Marine Policy, 2020, 115: 103873.
- [62] INÉS S, ÓSCAR G. An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario[J]. Ad Hoc Networks, 2020, 98: 102047.
- [63] GALVEZ J, MEJUTO J, SIMAL J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2018, 107: 222–232.
- [64] 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, 41(9): 30–36. [DONG Y F, ZHANG X, XU J P, et al. Reliable traceability model of whole grain, oil and food supply chain based on block chain[J]. Food Science, 2020, 41(9): 30–36.]
- [65] DAVCEV D, KOCAREV L, CARBONE A, et al. Blockchain-based distributed cloud/fog platform for IoT supply chain management[C]// Kuala Lumpur: The Eighth International Conference on Advances in Computing, Electronics and Electrical Technology-CEET, 2018: 51–58.
- [66] KUMAR M V, IYENGAR N CH S N. A framework for blockchain technology in rice supply chain management[J]. Advanced Science and Technology Letters, 2017(146): 125–130.
- [67] SALAH K, NIZAMUDDIN N, JAYARAMAN R, et al. Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain[J]. IEEE Access, 2019, 7: 73295–73305.
- [68] ARENA A, BIANCHINI A, PERAZZO P, et al. BR-USCHETTA: An IoT Blockchain-based framework for certifying extra virgin olive oil supply chain[J]. IEEE Access, 2019: 173–179.
- [69] ZHANG Y, CHEN L, MAURIZIO B, et al. Blockchain: An emerging novel technology to upgrade the current fresh fruit supply chain[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 124: 1–12.
- [70] ZHANG Q, HAN Y. A storage architecture for high-throughput crop breeding data based on improved blockchain technology[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020(1): 105395.
- [71] 田雅轩, 张熹, 由玉伟, 等. 基于物联网的食品安全社会共治体系数据架构设计[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(1): 159–166. [TIAN Y X, ZHANG X, YOU Y W, et al. Data architecture design of social co-governance system for food safety based on internet of things[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(1): 159–166.]