

李旭东,杨千河,姚竟发,等. 基于区块链的农产品溯源技术研究综述[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):16-24.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.003

基于区块链的农产品溯源技术研究综述

李旭东¹, 杨千河², 姚竟发³, 贺吉¹, 范晓飞¹

(1. 河北农业大学机电工程学院,河北保定 071000; 2. 张家口学院,河北张家口 075000;

3. 河北农业大学学生处,河北保定 071000)

摘要:随着国内农产品安全事故的频发,消费者对农产品质量和供应链的信任逐渐下降。溯源作为一个能够连接产品流通各环节、对产品进行不定向追踪管理的生产控制系统,对保障产品的质量安全具有重要意义。在传统的溯源体系中,信息存在不准确、不透明、不安全等问题;区块链凭借去中心化、透明公开、不可篡改、分布式存储等特点,为农产品溯源体系的构建提供技术支持。将区块链技术与溯源技术相结合可以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。在区块链理论分析的基础上,通过研究农产品溯源机制,详细阐述了区块链技术的概念与主要特征,梳理总结近些年国内外基于区块链的溯源体系的研究与应用,确定了基于区块链技术解决农产品可追溯性问题的方案,总结了基于区块链的农产品溯源系统的架构设计框架和适用性应用分析流程,阐述了基于区块链的农产品追溯系统实施的优势与挑战,分析了将区块链技术应用与农产品溯源体系时的重要环节,以期对区块链农产品溯源体系的研究和建立提供参考。

关键词:区块链技术;农产品溯源;溯源系统;分布式存储

中图分类号:TP311;F326.6

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)06-0016-08

我国是农业大国,但多年来的监管不力和违法行为使得我国农业发展受到重重阻碍,这类事故一次次损害社会信用,损害人民健康,使我国农业发展建设面临重大挑战^[1]。因此,建立基于区块链技术的农产品溯源体系的需求日益强烈。目前我国农产品溯源主要依赖于国家的中心数据库^[2],主要存在以下问题:(1)供应链数据不透明;(2)各级数据存储情况不透明;(3)社会公信程度低;(4)数据分散,无法系统整合,共享难度大。而区块链技术的去中心化、开放性、自治性、匿名性、信息不可篡改、信息可溯源等特点,为这些问题提供了全新的思路与解决方案^[3]。本文详细介绍了区块链技术,总结了近年来基于区块链技术的溯源系统研究与应用进展。

1 农产品溯源

1.1 传统农产品溯源

农产品溯源系统是指追踪农产品(包括食品、生产资料等)进入市场各个阶段(从生产到流通的全过程)的系统,涉及到农产品产地、加工、运输、批发及销售等多个环节,有助于质量控制和在必要时召回产品。采用农产品可追溯系统可以实现产品源头到加工流通过程的追溯,保证终端用户购买到放心产品,防止假冒伪劣农产品进入市场^[4]。

在整个农产品供应链中,各级参与方可分为生产者、加工者、运输者、地区销售和零售者。目前,主流农产品溯源系统主要是内部溯源和外部溯源相结合的双层溯源(图1)。这种传统的溯源方式目前暴露了多种问题,比如:(1)信息容易被篡改、丢失,地区性农产品信息共享难度大,数据传递效率低,第一级农产品(农作物)溯源难度大;(2)系统复杂,监管方信息重叠或矛盾,监管压力大;(3)各级用户难以信任数据的真实性^[5]。

1.2 农产品溯源体系起源

最早的农产品溯源体系起源于20世纪70年代的欧洲,当时欧洲暴发严重的疯牛病,欧洲各国开始追溯牛羊肉等畜牧类农产品的来源^[6]。1997年

收稿日期:2021-06-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:32072572);河北省高层次人才资助项目(编号:E2019100006);河北省重点研发计划(编号:20327403D);河北农业大学引进人才科研专项(编号:YJ201847)。
作者简介:李旭东(1996—),男,河北沧州人,硕士研究生,主要研究方向为智慧农业。E-mail:394087866@qq.com。

通信作者:范晓飞,博士,教授,主要研究方向为农业人工智能。

E-mail:fanxiaofei@hebau.edu.cn。

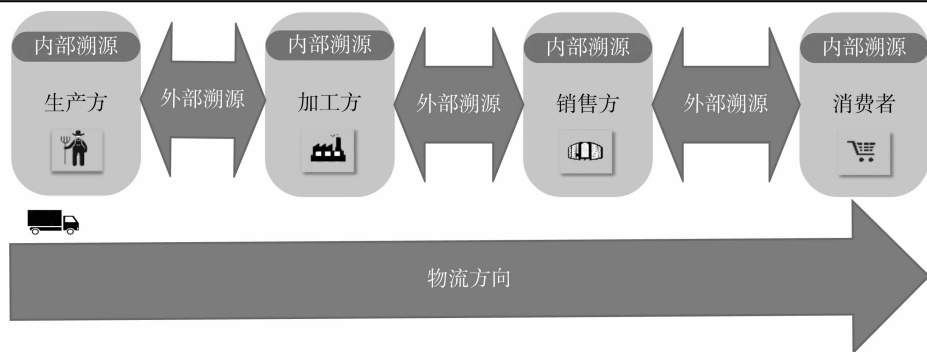


图1 传统农产品溯源方式

再次遭受疯牛病后,欧盟对牛和牛肉以及牛肉制品建立起一个可追溯体系,该体系通过对牛耳进行标签,发行动物护照,保障消费者通过追溯系统可以追踪到该牛从饲养到屠宰再到加工销售的全流程信息。目前,欧盟已建立起畜禽动物及其肉制品、转基因产品和饲料的溯源系统^[7-8]。

日本从2001年开始推动“食品可追溯制度”,大部分超市都安装了产品溯源终端,基本实现了食品领域零售业务的可追溯。2003年日本开始对牛肉制品实施追溯;2005年日本农业协作组织(简称农协)要求,必须对通过农协上市流通的农产品实现可追溯^[9-10];2008年日本宣布拟建立大米的可追溯体系^[11]。

21世纪初,美国开始从国家战略的层面建设溯源系统,建立了美国全国动物识别系统(NAIS)。澳大利亚也构建了国家牲畜认证系统(NLIS),通过RFID技术对每一头牛颁发唯一的“身份证”,实现养殖的全流程数据采集。印度使用GrapeNet建立溯源平台,保证出口葡萄的安全和品质。

中国在农产品溯源上起步较晚,但也一直在进步。2004年,原农业部率先在北京、河北开始溯源系统试点,实施“进京蔬菜产品质量追溯制度试点项目”^[12]。2008年,国家主动提出要建立健全农产品标识,建立并实施农产品安全的追溯体系。此外,国家蔬菜质量安全追溯体系等追溯制度也在建设与试点。2017年,国家农产品质量安全追溯管理信息平台正式上线,首先在四川、广东、山东等地展开试点^[13]。

2 区块链与农产品溯源

2.1 区块链概念

区块链这一概念起源于比特币。2008年,一位自称“中本聪”的用户发表了《比特币:一种点对点

的电子现金系统》一文,提出了比特币的构想。随着比特币的运行,区块链作为比特币最底层的技术逐渐进入大众视野。区块链技术是一种区别于传统网络架构的全新模式,区块链独有的去中心化模式能避免中心化网络带来的缺点,构建可信任的自主运行网络模式^[14-15]。

从类型上看,区块链可分为公有区块链、联合(行业)区块链和私有区块链。公有区块链(public block chains)是指世界上任何用户或团体都可以发送交易,且交易可以获得该区块链的确认,任何人都可以参与到其中的共识过程^[16]。联合(行业)区块链(consortium block chains)是指某个团体内部指定多个节点作为记账节点,每个区块的生成由所有的预设节点共同决定,其他节点可以参加交易,但没有记账权限,任何人都可以通过该区块链进行查询^[17]。私有区块链(private block chains)是指仅使用区块链的记账技术进行记账,可以是一个企业、公司,也可以是个人,拥有该私有区块链的写入权限^[18]。

区块链还具有去中心化、开放性、独立性、安全性、匿名性等特征。(1)去中心化。区块链不依赖第三管理方和硬件,没有中心服务器,通过分布式的计算和存储,每个节点实现数据的自我验证、传输和管理^[19]。(2)开放性。区块链技术是开源的,除了交易的私人信息被保密,区块链内的数据对每个人开放,每个人都可以通过公开接口进入区块链进行查询和开发^[19]。(3)安全性。只要不被人掌握全部节点的51%,就无法被随便篡改数据,这使得区块链避免了人为恶意篡改^[19]。(4)匿名性。任何节点的身份信息都不需要公开和验证,数据传递可以匿名发送^[20]。(5)可追溯性。将信息上传区块链中的各个区块,每个区块都有前一区块的哈希值,只有识别了正确的哈希区块才能上链(图2),

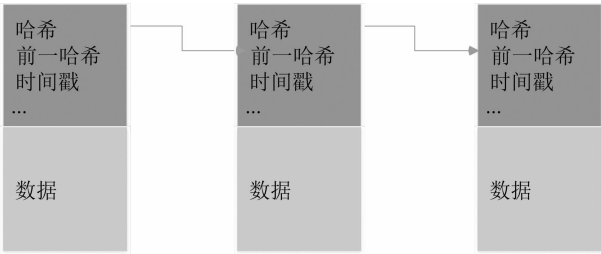


图2 区块链原理图

这就保证了信息的可追溯。

表 1 区块链溯源技术与传统溯源的区别

区别	传统方式	区块链技术
前端	利用各种传感器、信息采集终端等设备完成数据的采集工作	与传统方式区别不大
后端	根据商家制作的防伪码进行溯源,容易被仿制	区块链为溯源业务提供了新工具,可以通过 RFID 芯片或二维码、条形码等查询信息
信息篡改	中心化的存储模式,数据易被有权限方篡改	数字化的方式录入,减少人工参与,保护数据不被篡改
安全性	中心化的存储模式,数据易受攻击	去中心化的存储模式,任何一个节点被破坏都不会影响整个系统的正常运转
透明度	只有结果,不展示过程,数据不够透明真实	数据从录入、修改到最终确定,全程都会被自动记录,保障数据的高度透明和真实
自治性	高度依赖中心机构,自治性差	采用基于共识机制创造的算法,去除人为因素的干扰,高度自治

2.2 区块链溯源体系的研究进展

2.2.1 将区块链技术与物联网技术相结合 物联网技术经过多年的发展已经相当成熟,物联网技术与区块链溯源体系相结合会使溯源技术更加智能化和便捷化,同时物联网技术也会让信息变得更加可靠,所以物联网技术与区块链溯源技术相结合,是溯源技术的发展趋势。George 等结合物联网技术和区块链技术,对猪的养殖、加工、零售实现了溯源,利用各种传感器对猪的生长、屠宰、加工信息进行采集,最后将数据上传区块链完成溯源^[25]。Ali 等提出了联盟链和智能合约与物联网溯源服务相结合的数据服务中心^[26]。Bordel 等利用 RFID 电子标签技术和区块链技术相结合,设计了一个食品安全溯源系统^[27]。李明佳等将区块链技术应用到传统溯源系统中的数据库和通信层上,设计了让传统溯源系统中的数据更好接入区块链的方法^[28]。史亮等通过利用区块链分布式存储和节点资源共享的特点,实现了溯源环节的正逆双向追踪^[29]。Stamatellis 等利用区块链分布式分类账本和身份匿名特性设计了电子病历,有效保证了信息的真实和患者的隐私^[30]。祝锡永等利用危害分析和关键控制点体系(HACCP)对服装生产的每一个步骤进行

区块链因为自身的特点,相比于传统溯源方式有很大优势(表 1)。与传统溯源方式相比较,以区块链技术为基础的溯源方式在前端的数据采集工作与传统方式区别不大,区别大的地方在于后端。区块链技术能提供新的溯源工具,方便消费者对农产品安全信息的查询。加上区块链具有去中心化的特点,各节点都可以通过链上实时共享数据,同时所有节点也必须履行共同维护数据可靠性的义务^[21-24]。

危害分析,最后利用区块链技术实现对危害原因的溯源^[31]。

2.2.2 改进智能合约来建立溯源体系 区块链技术中的智能合约也对溯源体系有很大的作用,Casino 等利用智能合约和 HACCP 相结合设计了一个酸奶生产加工销售全流程的溯源系统^[32]。Mohamed 等开发了一种智能合约模型,用于物联网信息追溯,这对于农产品溯源设计有很大启发^[33]。葛艳等利用 HACCP 规范提取数据结构,为上层溯源业务层提供支撑,最后调用智能合约接收数据,将数据打包成区块实现牡蛎质量监测^[34]。

2.2.3 改进区块链技术的服务性以提升溯源系统的便捷 区块链溯源体系的发展与推广首先要提高区块链技术的服务性,Yin 等提出了一种基于区块链技术的协作训练模型,该方法使用区块链的去中心化会计技术来解决不同参与者之间的信任问题^[35]。王红梅等采用 BCS(blockchain service)分布式账本云平台,让溯源系统变得更加可靠^[36]。仵冀颖等针对完全去中心化的公有链在执行智能合约的及时性和响应速度上无法满足实时业务查询的需求,且私有链及现有的分布式结构和云平台架构对参与方多的情况下并不适用,设计了一种以政府

监管机构为核心的联盟链,让溯源系统更加方便快捷^[37]。

2.2.4 加强区块链技术的安全监管保障数据的真实性 区块链溯源体系对于保证人们的利益有重要意义,须提高区块链技术的安全性,加强对企业私有链的监管以及相关企业和人员的法律意识。周正强等提出了基于联盟链的医疗数据安全共享的方案,用联盟链储存元数据,将智能合约和密文加密技术结合,设计了数据共享的安全协议^[38]。Zheng 等针对近年出现的大数据安全问题,提出了一种基于区块链的去中心化数据交易系统,对于区块链溯源系统中的数据安全有重要启示^[39]。于合龙等基于 Hyperledger Fabric 平台设计实现了水稻全供应链信息溯源系统,在供应链溯源隐私数据上传区块链网络前,利用密码分组链接模式(cipher block chaining,CBC)对其进行对称加密,采用椭圆曲线算法(elliptic curve cryptography,ECC)对密钥加密后写入区块链网络中,区块链网络中存储隐私数据加密后的密文,授权节点利用私钥查看区块链上溯源隐私数据,实现在区块链网络中共享隐私数据^[40]。

2.3 区块链溯源体系的应用进展

在区块链溯源体系应用上,有很多国外企业已经尝试着将区块链溯源体系应用于商业。2016 年 6 月,沃尔玛开始使用区块链溯源体系在美国芒果市场测试运行。由于 2018 年沃尔玛发生严重的食品安全事故,传统溯源方式无法彻底解决问题,2019 年沃尔玛百货有限公司(简称“沃尔玛”)的所有超市开始使用区块链溯源体系。沃尔玛还与国际商业机器公司(简称“IBM”)联合成立了食品信托系统(food trust)^[41]用来追踪芒果和猪肉产品,它建立在 Hyperledger Fabric 平台上,所有数据都存储在区块链账本上,从生产者到消费者的整个供应链都可以访问。如果没有食品信托系统,识别芒果来源的过程可能需要跟踪 7 d,而有了食品信托系统后则只需要约 2.2 s。芬兰将区块链溯源体系首次运用到集装箱运输工程中。Provenance 是一家推广基于区块链的鱼类产品追溯系统的公司,通过公司提出的申请,每一种鱼类产品都有独特的标签,这个标签的内容包括鱼类产品的包装、运输和储存条件等信息。

2017 年众安技术服务有限公司使用区块链溯源体系与养鸡相结合^[42],从鸡苗出生开始都戴上唯

一的标签,利用传感器技术,实时监控鸡每天的活动,并检测鸡舍的空气和水土指标,直到鸡送到屠宰场,每一步的信息都被上传区块链保存。2017 年 12 月我国第 1 个食品安全区块链联盟成立^[43]。2017 年阿里巴巴(中国)网络技术有限公司旗下的蚂蚁金服推出区块链溯源应用^[44]。华为技术有限公司推出了“农业沃土云平台”,打造了包括从种子、种植、农产品加工、食用风味多环节区块链溯源体系。

3 将区块链技术应用用于农产品溯源

3.1 基于区块链的可追溯性运营框架

目前主流的区块链溯源框架如图 3 所示。作为一种分布式和去中心化的技术,区块链是由加密哈希链接的一组带有时间戳的块。它已经成为分散的公众共识,与数字分布式数据库协调交易活动^[45-47]。基于区块链的可追溯性,提出了追踪农产品信息的需求^[48],有助于更有效地追溯业务中的物料和信息流。因此,区块链将提高信息的安全性和透明度,并通过 IoT 设备为农产品的信息获取和持久性做出可持续的可追溯管理^[49-50]。

3.2 区块链技术与物联网技术相结合的农产品可追溯系统

本文总结了将区块链技术与物联网技术相结合的农产品可追溯系统。在每个可追溯业务流程中通过物联网技术将数据记录并上传区块,利用区块链信息的高透明度、去中心化、无法篡改^[51-53]等特性完成溯源(图 4)。

3.2.1 生产阶段 生产阶段就是农场所实施的生产活动,农民使用种子来种植农作物,并将种子的质量信息(出苗率、真实性、活力、一致性等)在区块中记录,以便追溯种子的来源。农作物成熟时,农民将本季度农作物的产量和质量情况上传,可追溯性信息可包括耕种背景环境(如土壤、水、温度和湿度质量)、耕种人员、日期、时间、农药品种的来源和应用、灌溉、施肥等^[54]。

3.2.2 加工阶段 此阶段涉及将一个主要产品全部或部分转化为一个或多个其他次级产品。随后进入包装阶段,可追溯性信息包括加工条件,如加工设备、时间、批次转换、包装信息、消毒方法、操作员和最终产品标签信息等。在该阶段中,每个包装可以通过 RFID 记录包含生产日期和使用的原材料列表等信息,并生成唯一编码^[55-59]。

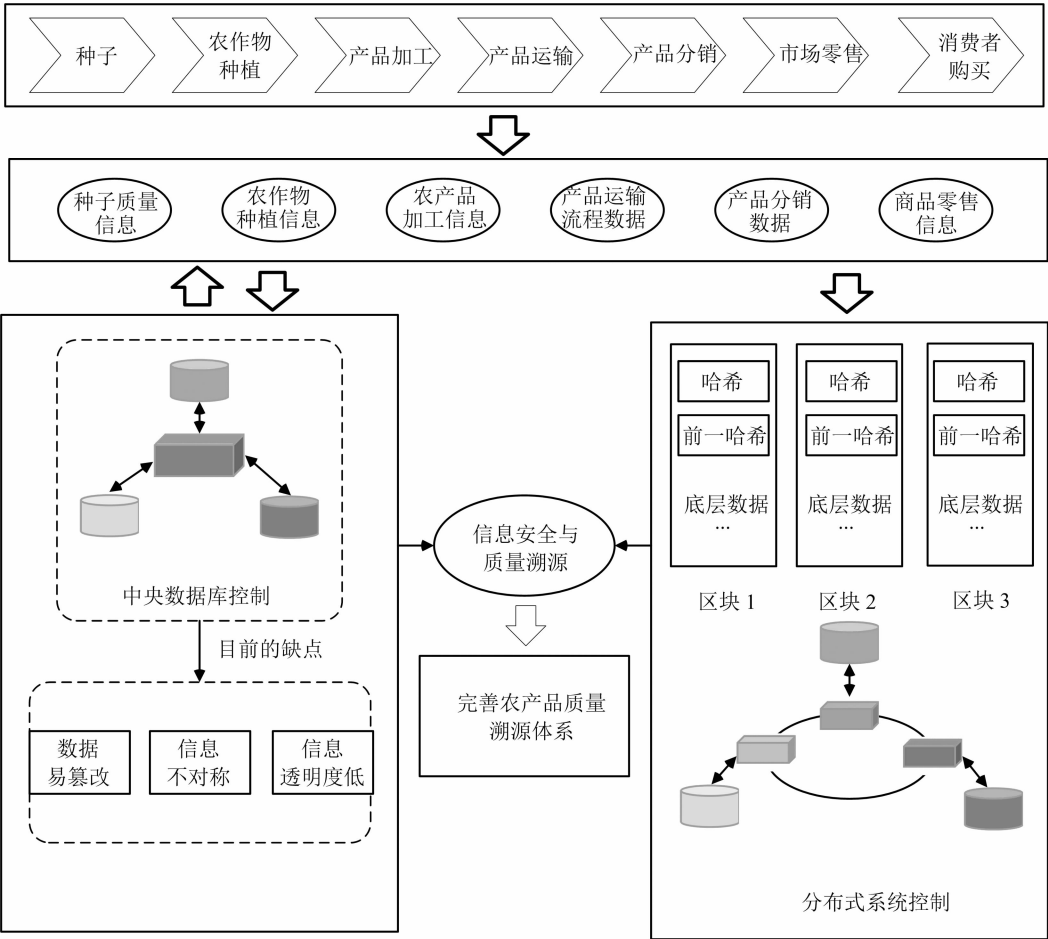


图3 基于区块链的农产品溯源系统

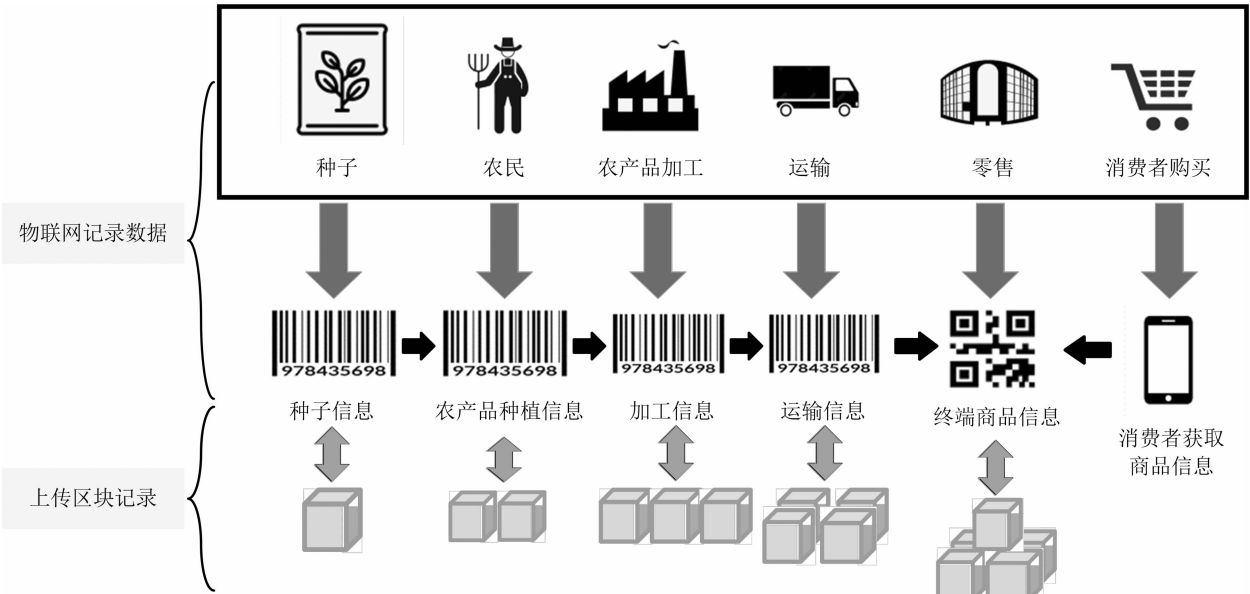


图4 区块链技术和物联网技术结合的农产品溯源

3.2.3 运输阶段 经过上一阶段的加工包装阶段，农产品就到了运输阶段，使用物联网传感器设备可

以获得物流和冷藏相关的可追溯信息。在冷藏容器区域中部署环境传感器和 GPS 传感器，可以监视

和收集要存储在区块链系统中的物流和冷藏环境信息,可追溯信息在这一阶段内包括运输的方式、车辆信息、发货时间与到货时间,都将在区块中记录^[60]。

3.2.4 消费阶段 消费者是整个区块链的最终用户,消费者在购买产品前可以查询到本产品的信息,如质量标准、原产国、生产方法等^[61-62]。

4 基于区块链的农产品追溯系统的优势与挑战

4.1 优势

区块链对农业产品可追溯性的研究和实践具有深远的影响。与物联网设备结合时,它可以克服信息安全性和透明度方面存在的问题。

4.1.1 信息安全 由于共识机制,信息存储在基于区块链的可追溯性系统中更加可靠,增强了数据的完整性和安全性^[63-64]。此外,它提供了高度不变性和信息完整性,并且当连接到物联网(IoT)设备时,

它能够提高交易效率。

4.1.2 技术优势 信息通过加密操作存储在多个分类帐数据库中,很难被攻击。共识机制确保当所有参与者在可追溯过程中达成共识时,信息不会被篡改^[65-67]。

4.1.3 确保供应链安全协作 跨组织业务流程的互操作性与集成用分布式服务来执行任务。区块链可以增强供应链合作伙伴之间的信任和协作,可以在整个可追溯链中追踪无篡改的历史信息^[66,68-69]。

4.1.4 减少产品浪费和经济损失 由于区块链技术可以追溯产品在每个阶段的详细信息,从而使各环节都能得到产品的信息,避免了产品因为信息不对称而造成的浪费^[70-72]。

4.2 应对的挑战

区块链技术应用用于农产品溯源可以彻底改变现有的溯源状况,但是依旧面临着多种挑战。表 2 列出了当前仍需解决的问题。

表 2 目前区块链溯源面临的挑战

领域	面临的挑战	问题描述
技术领域	智能合约存在的漏洞	由于区块链的信息不可篡改性,当智能合约出现问题时,修改将会非常麻烦 ^[73]
	与物联网技术的结合	物联网技术作为前端采集环节,数据容易造假,上传后难以更改 ^[74]
	数据安全问题	区块链技术 51% 的运算机制并不是绝对安全 ^[75]
基础设施领域	基础设施不健全	大部分环节缺乏有效的数据采集和上传机制,缺乏简便可靠的公有链或联盟链服务设施 ^[76-77]
实施领域	互操作性差	业务流程中的各环节互动性差,各环节间的回溯程度低 ^[78]
	缺乏标准化和灵活性	需要开发一套简便灵活的标准体系 ^[79]
社会监管领域	缺乏成熟的法律体系	目前区块链没有一套匹配的法律体系来约束 ^[70]
	监管问题	要确保监管机构能够保障各方的利益与隐私 ^[80]
系统性能领域	节点交互	区块链节点需要频繁和大量的数据交互,目前物联网技术无法满足 ^[81]
	耗能问题	完善的区块链系统耗费的计算机和电能资源巨大 ^[53,82]
	存储数据	可持续的追溯系统需要存储海量的数据

5 结论与展望

区块链技术能够保证链上数据的不可篡改和可追溯性,因此在产品从生产到流通的全过程中可实现完整信息的记录,为监管部门提供产品全面数据信息,使其可以更高效地完成产品质量检验及数据互联互通。

我国溯源体系起步较晚,农产品溯源没有真正走进人们的生活,市面上带有溯源标签的产品还很少,带有溯源标签的产品价格普遍较高。除此之外,溯源体系运营成本高、数据共享难、供应链各自保密等因素都阻碍着溯源体系的建立。目前以区块链技术为基础的溯源体系大多还处在理论验证和试验试点阶段,“区块链 + 溯源”要真正走进人们

的生活,还需从市场经济、国家政策、企业创新等多方面努力。

基于区块链技术的农产品溯源体系仍存在一些待解决的问题,如区块链技术能保证链上数据的真实性,但是前端采集的物理层面被篡改的风险依然很高,因此如何有效地进行数据防伪是一个重要课题。

未来的研究可以从多个角度调整和评估基于区块链的可追溯操作框架、设计架构、分析流程图。应特别注意基于区块链的农产品可追溯系统的硬件部署、存储能力、交易速度和整体性能。

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.
- [2]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.
- [3]谢辉,王健. 区块链技术及其应用研究[J]. 信息安全,2016(9):192-195.
- [4]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[EB/OL]. (2016-01-12)[2020-11-12]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-01/12/content_10584.htm.
- [5]王健佐. 基于区块链技术应用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.
- [6]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]. 中国市场监管研究,2019(7):14-16.
- [7]刘秀萍,赵明. 农产品质量安全追溯管理制度的理论与实践[J]. 中国蔬菜,2010(7):1-3.
- [8]李炜. 发达国家食品可追溯系统建设及其对我国的启示[J]. 中国防伪报道,2012(9):26-29.
- [9]童兰,胡求光. 中外农产品质量安全可追溯体系比较[J]. 经营与管理,2012(11):95-98.
- [10]张梅. 欧盟、美国和日本农产品物流追溯体系分析与比较[J]. 世界农业,2014(4):136-141.
- [11]李英,张越杰,聂英. 日本大米可追溯系统建立对中国的启示[J]. 世界农业,2017(11):40-46.
- [12]陈杰,杨俊,吴军辉,等. 农产品安全追溯系统发展现状与趋势[J]. 农学报,2018,8(9):89-94.
- [13]孟德才. 扫码追溯成习惯还有多少路要走?[J]. 农产品市场周刊,2018(13):24-25.
- [14]Paulavičius R, Grigaitis S, Igumenov A, et al. A decade of blockchain: Review of the current status, challenges, and future directions[J]. Informatica,2019,30(4):729-748.
- [15]Yli-Huoma J, Ko D, Choi S, et al. Where is current research on blockchain technology? — A systematic review[J]. PLoS One, 2016,11(10):e0163477.
- [16]Sai A R, Buckley J, Fitzgerald B, et al. Taxonomy of centralization in public blockchain systems: A systematic literature review[J]. Information Processing & Management,2021,58(4):102584.
- [17]袁勇,王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报,2016,42(4):481-494.
- [18]姚忠将,葛敬国. 关于区块链原理及应用的综述[J]. 科研信息化技术与应用,2017,8(2):3-17.
- [19]曾诗钦,霍如,黄韬,等. 区块链技术研究综述:原理、进展与应用[J]. 通信学报,2020,41(1):134-151.
- [20]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.
- [21]夏清,窦文生,郭凯文,等. 区块链共识协议综述[J]. 软件学报,2021,32(2):277-299.
- [22]范吉立,李晓华,聂铁铮,等. 区块链系统中智能合约技术综述[J]. 计算机科学,2019,46(11):1-10.
- [23]张立钧. 未来区块链应用更多向智能合约发展[J]. 金卡工程,2016(8):20-21.
- [24]Gao K, Liu Y, Xu H, et al. Design and implementation of food supply chain traceability system based on Hyperledger Fabric[J]. International Journal of Computational Science and Engineering, 2020,23(2):185.
- [25]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,2019,240:118021.
- [26]Ali S, Wang G J, Bhuiyan M Z A, et al. Secure data provenance in cloud-centric Internet of Things via blockchain smart contracts[C]//2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovation. Guangzhou,2018:991-998.
- [27]Bordel B, Lebigot P, Alcarria R, et al. Digital food product traceability: using blockchain in the international commerce[C]//Digital Science,2019.
- [28]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.
- [29]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.
- [30]Stamatellis C, Papadopoulos P, Pitropakis N, et al. A privacy-preserving healthcare framework using hyperledger fabric[J]. Sensors,2020,20(22):6587.
- [31]祝锡永,李蒙,茹铨坚. 基于区块链的服装供应链信息追溯研究[J]. 物流工程与管理,2021,43(3):87-91.
- [32]Casino F, Kanakaris V, Dasaklis T K, et al. Blockchain-based food supply chain traceability: A case study in the dairy sector[J]. International Journal of Production Research,2021,59(19):5758-5770.
- [33]Mohamed A, Chantal T, Mohamed O, et al. IoT data qualification for a logistic chain traceability smart contract[J]. Sensors,2021,21(6):2239.
- [34]葛艳,黄朝良,陈明,等. 基于区块链的 HACCP 质量溯源模型与系统实现[J]. 农业机械学报,2021,52(6):369-375.
- [35]Yin L H, Feng J Y, Lin S X, et al. A blockchain-based collaborative training method for multi-party data sharing[J]. Computer Communications,2021(173):70-78.
- [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.
- [37]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.
- [38]周正强,陈玉玲,李涛,等. 基于联盟链的医疗数据安全共享方案[J]. 应用科学学报,2021,39(1):123-134.
- [39]Zheng S L, Pan L X, Hu D H, et al. A blockchain-based trading platform for big data[C]//Inforcom 2020 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops,2020.
- [40]于合龙,陈邦越,徐大明,等. 基于区块链的水稻供应链溯源信息保护模型研究[J]. 农业机械学报,2020,51(8):328-335.
- [42]王菲,吕可. 浅析区块链和农业物联网在养殖业中的应用:以众安科技“步步鸡”为例[J]. 农村经济与科技,2020,31(1):71-72,360.
- [43]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.
- [44] 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)[2020-11-12]. http://www.sohu.com/a/206558583_114877. LeiFengNetwork.
- [45] Singh G S, Singh S. A review on the use of blockchain for the internet of things[J]. *International Journal of Computers Ciences and Engineering*, 2019, 7(7):332-358.
- [46] Bozic N, Pujolle G, Secci S. A tutorial on blockchain and applications to secure network control - Planes[C]//2016 3rd Smart Cloud Networks & Systems. Dubai, 2016:1-8.
- [47] Kakavand H, Sevres N, Chilton B. The blockchain revolution: An analysis of regulation and technology related to distributed ledger technologies[J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2016, 10(2):78-100.
- [48] Aiello G, Enea M, Muriana C. The expected value of the traceability information[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 244(1):176-186.
- [49] Cai H, Xu L, Xu B, et al. IoT - based configurable information service platform for product lifecycle management[J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, 10(2):1558-1567.
- [50] Caro M P, Ali M S, Vecchio M, et al. Blockchain - based traceability in Agri - Food supply chain management; a practical implementation[C]//2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany. Tuscany, 2018:1-4.
- [51] Wang S, Ouyang L, Yuan Y, et al. Blockchain - enabled smart contracts: architecture, applications, and future trends[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2019, 49(11):2266-2277.
- [52] 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.
- [53] Dorri A, Kanhere S S, Jurdak R, et al. Blockchain for IoT security and privacy; The case study of a smart home[C]//IEEE Percom Workshop on Security Privacy and Trust in the Internet of Thing, 2017.
- [54] Bastas A, Liyanage K. Sustainable supply chain quality management; A systematic review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 181:726-744.
- [55] Imeri A, Khadraoui D. The security and traceability of shared information in the process of transportation of dangerous goods[C]//2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security. Paris, 2018:1-5.
- [56] Bechini A, Cimino M, F Marcelloni, et al. Patterns and technologies for enabling supply chain traceability through collaborative - business[J]. *Information and Software Technology*, 2008, 50(4):342-359.
- [57] Kang Y S, Lee Y H. Development of generic RFID traceability services[J]. *Computers in Industry*, 2013, 64(5):609-623.
- [58] Feng H, Chen J, Zhou W, et al. Modeling and evaluation on WSN - enabled and knowledge - based HACCP quality control for frozen shellfish cold chain[J]. *Food Control*, 2019, 98:348-358.
- [59] Thakur M, Donnelly K A M. Modeling traceability information in soybean value chains[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 99(1):98-105.
- [60] Kshetri N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives[J]. *International Journal of Information Management*, 2018, 39:80-89.
- [61] Chang S, Chen Y, Lu M. Supply chain re - engineering using blockchain technology: A case of smart contract based tracking process[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 144:1-11.
- [62] Hong J, Zhang Y, Ding M. Sustainable supply chain management practices, supply chain dynamic capabilities, and enterprise performance[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172:3508-3519.
- [63] Puthal D, Malik N, Mohanty S P, et al. The blockchain as a decentralized security framework future directions[J]. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 2018, 7(2):18-21.
- [64] Conoscenti M, Vetrò A, de Martin J C. Blockchain for the internet of things: A systematic literature review[C]//2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications. Agadir, 2016:1-6.
- [65] Watanabe H, Fujimura S, Nakadaira A, et al. Blockchain contract: A complete consensus using blockchain[C]//2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, 2015.
- [66] Liang G, Weller S, Luo F, et al. Distributed blockchain - based data protection framework for modern power systems against cyber attacks[J]. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2019, 10(3):3162-3173.
- [67] Helo P, Hao Y. Blockchains in operations and supply chains: a model and reference implementation[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 136:242-251.
- [68] Cartier L E, Ali S H, Krzemnicki M S. Blockchain, chain of custody and trace elements; an overview of tracking and traceability opportunities in the gem industry[J]. *The Journal of Gemmology*, 2018, 36(3):212-227.
- [69] 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.
- [70] Risius M, Spohrer K. A blockchain research framework[J]. *Business Information Systems Engineering*, 2017, 59(6):385-409.
- [71] Mohanta B K, Panda S S, Jena D. An overview of smart contract and use cases in blockchain technology[C]//2018 International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, 2018.
- [72] Korpela K, Hallikas J, Dahlberg T. Digital supply chain transformation toward blockchain integration[C]//Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, 2017.
- [73] Alharby M, van Moorsel A. Blockchain - based smart contracts: A systematic mapping study[C]. 4th International Conference on Computer Science & Information Technology, 2017:125-140.

杨青青,赵永强,刘灿玉,等. 大蒜 *AsPEX7* 基因的克隆与非生物胁迫响应分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):24-31.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.06.004

大蒜 *AsPEX7* 基因的克隆与非生物胁迫响应分析

杨青青,赵永强,刘灿玉,葛 洁,陆信娟,张碧薇,杨 峰,樊继德

(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所,江苏徐州 221121)

摘要:为了解大蒜 *PEX7* 基因及其编码的蛋白质结构特性,分析该基因对不同非生物胁迫的响应情况,从大蒜品种徐紫 1 号的叶片 RNA 中克隆获得 *AsPEX7* 基因。序列分析结果表明,*AsPEX7* 基因含有 1 个长度为 951 bp 的开放阅读框(ORF),编码 316 个氨基酸,其相对分子质量为 35.57 ku,理论等电点为 5.55,为亲水性蛋白。氨基酸组成中脂肪族氨基酸的比例最高,其次为碱性氨基酸,酸性氨基酸和芳香族氨基酸最低。*AsPEX7* 蛋白含有 25 个磷酸化位点,无信号肽和跨膜结构,二级结构由 α -螺旋、延伸主链和随机卷曲组成,比例分别为 5.06%、40.19% 和 47.15%。实时荧光定量 PCR(RT-qPCR)结果显示,在高温(38℃)、低温(4℃)、干旱(质量体积分数为 20% 的 PEG 6000)和高盐(200 mmol/L NaCl)4 种非生物胁迫处理条件下,*AsPEX7* 基因的相对表达水平总体升高,表明该基因可能在抵抗非生物胁迫中发挥重要作用。本研究结果为深入解析 *PEX7* 基因调控大蒜生长发育及非生物胁迫的分子机制提供了理论参考基础。

关键词:大蒜;*AsPEX7* 基因;基因克隆;非生物胁迫;表达分析

中图分类号: S633.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)06-0024-08

大蒜(*Allium sativum* L.)属于百合科葱属,喜好冷凉,是多年生宿根作物,其鳞茎、叶片均可作为食用蔬菜,在世界各地普遍种植^[1]。在大蒜引种和栽

培过程中,非生物胁迫是影响其生长发育以及降低其产量和品质的不利环境因子^[2-3]。过氧化物酶体是在真核细胞中普遍存在且具有多种功能的单核细胞器,在保护植物细胞和增强植物对高盐耐受性方面起着重要作用^[4-5]。过氧化物酶体合成相关蛋白(peroxisome generate protein)是参与过氧化物酶体生物发生的一类蛋白质,这类蛋白总称为 Peroxin,其编码基因为 *PEX*^[6]。*PEX* 基因是参与过氧化物酶体形成与增殖的基因,同时也是调控过氧化物酶体代谢活动的重要基因^[7]。近年来,越来越多的研究证明,*PEX* 基因也可以调节植物对非生物胁迫的反应^[8]。

收稿日期:2021-06-16

基金项目:江苏省农业科学院探索性颠覆性创新计划[编号:XZ(21)1229];国家特色蔬菜产业技术体系项目(编号:CARS-24-A-07);江苏现代农业产业技术体系建设专项(编号:JATS[2020]043)。
作者简介:杨青青(1994—),女,河南洛阳人,硕士,研究实习员,主要从事大蒜分子生物学研究。E-mail:2521918664@qq.com。
通信作者:樊继德,硕士,副研究员,主要从事大蒜育种与栽培研究。E-mail:fanjide@163.com。

[74] Tian F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology [C]//13th International Conference on Service System and Service Management, 2016.

[75] Khan M A, Salah K. IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 82: 395-411.

[76] Zheng P, Zheng Z, Luo X, et al. A detailed and real-time performance monitoring frame work for blockchain systems [J]. International Conference on Software Engineering, 2018(40): 134-143.

[77] Zheng Z, Xie S. Blockchain challenges and opportunities: A survey [J]. International Journal of Web and grid Services, 2018, 14(4): 352-375.

[78] Kumar N M, Mallick P K. Blockchain technology for security issues and challenges in IoT [J]. Procedia Computer Science, 2018, 132:

1815-1823.

[79] Andoni M, Robu V, Flynn D, 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.

[80] 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.

[81] Lin Y P, Petway J, Anthony J, et al. Blockchain: The evolutionary next step for ICT E-agriculture [J]. Environments, 2017, 4(3): 50.

[82] Reyna A, Martín C, Chen J, et al. On blockchain and its integration with IoT: Challenges and opportunities [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 88: 173-190.