

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070161

YU Jian, SUN Jiadi, JI Jian, et al. Application of Blockchain Technology in Food Traceability System[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(15): 377–382. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070161

· 专题综述 ·

区块链技术在食品溯源体系中的应用

于 坚, 孙嘉笛, 纪 剑*, 孙秀兰*
(江南大学, 江苏无锡 214100)

摘 要: 区块链技术是近年来在计算机技术的基础之上, 可以在各行各业广泛使用的一种账本技术。由于区块链具有高效性、连续性、不可更改性等良好的特点, 受到了相关人士的推崇。如今, 随着世界各国的食品产业的发展, 食品安全的问题受到人们的注意。主要的问题在于食品原料来源较为广泛, 管理人员缺少对食品原料的信息的掌握, 而生产者则拥有较多的原料信息。这种信息拥有程度的不一致, 增加了在食品生产完成后对食品原料、生产产品溯源的难度。此外, 大量食品生产信息的存储问题也困扰着食品行业。本文主要探究了各种常见食品、药食两用食品行业利用区块链进行溯源体系建设的方法, 并探索区块链技术在食品溯源体系建设方面更深层的促进作用, 希望能够对区块链技术未来在食品安全方面产生的应用提供相应的指导意义。

关键词: 区块链技术, 食品供应链, 食品溯源体系, 物联网技术, 食品安全

中图分类号: S966.12

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)15-0377-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070161

Application of Blockchain Technology in Food Traceability System

YU Jian, SUN Jiadi, JI Jian*, SUN Xiulan*

(Jiangnan University, Wuxi 214100, China)

Abstract: Blockchain technology is a distributed ledger technology widely used in all walks of life in recent years. Due to its high efficiency, continuity, immutability and other good characteristics, blockchain is highly praised by relevant people. Nowadays, with the development of food production technology, people pay more and more attention to food safety. The main problem is that the sources of food raw materials are more extensive, the managers lack the information of food raw materials, and the employees have more information of raw materials. This kind of information asymmetry increases the difficulty of traceability of food raw materials after the completion of food production. In addition, the storage of large quantities of information also bothers the managers of the food industry. This paper mainly explores the methods of building traceability system by using blockchain in various food and drug industries, and explores other promoting roles of blockchain technology in food safety, hoping to provide some guidance for the future application of blockchain technology in food safety.

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

近年来, 食品安全事故、安全问题频繁发生, 其中较为著名的例如: “僵尸肉事件”、“饿了么黑作坊”、“2016 年宁波进口饼干大肠杆菌超标”等事件。这些食品安全事故使得消费者的生命健康安全受到重大威胁, 也使得公众对食品质量的要求不断提高。因此保证食品的安全, 对国民生命健康、社会和

谐发展具有非常重大的意义^[1]。

在区块链技术的应用方面, 郑晓茹^[2]认为区块链技术可以满足食品安全监管可追溯体系构建的需求。区块链具有一定的开放性、需要对信息批量维护、信息不可被修改和减少集中化。区块链技术可以利用其特殊的存储方式、加密性的计算方法等较

收稿日期: 2020-07-14

基金项目: 江南大学自主科研计划。

作者简介: 于坚 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全与毒理, E-mail: jiangsuyzyj@163.com。

* 通信作者: 纪剑 (1988-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品安全与代谢毒理, E-mail: jijian@jiangnan.edu.cn。

孙秀兰 (1976-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全与检测评价, E-mail: sxlzzz@jiangnan.edu.cn。

为有效地解决传统的食品溯源系统的数据集中化与容易被修改等不足之处。

并且,区块链技术创造性地利用一种共同参与或者会承认的机制将食品供应链中参与的人员共同加入到对食品产业的溯源体系之中。消费者与食品生产加工企业也逐渐转变为新型的一种不仅仅是传统的购买和贩卖的传统商业关系,更是战略合作伙伴关系^[2]。

1 食品供应链安全问题现状

1.1 食品安全信息不对称

目前,在食品行业方面出现的安全问题不断增加。究其原因,是食品行业存在食品安全信息不够全面所导致的。问题的主要体现方面是在:食品的原料产地、食品的生产加工企业、食品安全监管企业和消费者等,所能够获得的信息数量并不相等。

食品监管部门对于这些信息的追查力度极为有限,其原因是食品安全信息的不对称,而造成信息不对称的源头在于食品生产企业控制食品生产信息的公开展示与查验。只有当食品原料生产商、食品生产加工商、食品销售商以及食品安全监督单位和消费者所拥有的信息量较为对称时,与食品安全相关的信息才能够做到完全公开^[3]。

由于大量信息被食品的供应商与中间的经销商所掌握,并且存在供应商与经销商将大量可以造假的信息进行隐瞒,不对外界公布。因此,食品供应商不对社会公众进行相应的食品信息公布是造成食品安全信息拥有量不同的重要因素。食品供应商所拥有的食品安全信息是指涵盖食品安全所有属性的相关信息,也就是说可能会涉及质量、卫生、营养等安全因素的来源,以及包含目前和未来的食品加工信息^[3]。

从过去对食品安全信息追溯的落实过程看,食品安全信息是由食品生产经营企业标识的食品上的标签信息、食品进货检查记录、出厂检查记录、食品安全自检报告、责任分类档案等相关信息^[4]。如果食品供应商不选择对食品监督行业进行信息的公示,那么对于食品的生产质量,食品安全监督行业将无法对这些重要信息进行溯源与追查。

1.2 原料信息填写不准确

食品安全信息不完整除了食品供应商的隐瞒之外,还与食品原料地所提供的食品原料信息不够准确有关。“食品安全”一般来说会涉及质量安全、卫生安全和营养安全三方面。其中质量安全更加侧重于保证食品本身的使用价值;卫生安全则注重食品从生产到销售的过程;营养安全简单来说则是强调满足特殊群体对食品营养的需求,保证国民的均衡膳食,防止因营养不良或不均衡而出现各种疾病及特定人群出现对过敏性营养成分的应激性反应^[4]。

原料是食品最重要的部分。食品的原料是否安全直接影响着食品本身的安全。当食品的原料信息出现不准确的情况时,对于食品安全事故的追究难度

将非常的大,会将食品安全的追溯引入错误的道路。以粮食作物为例,使用的有机肥料种类填写常常不够准确,许多粮食作物在进行有机肥料的使用后,不对使用的肥料种类名称进行标注,造成粮食安全信息的不完善。此外,若对辅助粮食的化肥农药反馈不准确,则会造成食品中的农药残留超标,对消费者的生命安全造成巨大的威胁,并且食品监督行业追查也将面临很大的困难。目前原料信息不准确这主要原因有^[5]: 1. 各食品生产企业自身实力不同,无法做到对各种信息的掌握; 2. 食品生产企业为减少成本,采用的原料信息不能如实、及时的填报,或采用虚假的信息; 3. 食品监管部门缺少对食品信息填报的严格的审核。

1.3 生产销售信息被篡改

在食品供应链中,食品生产销售企业也扮演着十分重要的角色。但同时,食品生产企业从食品原料产地采购、食品销售企业从食品生产商处进行的采购时间也是影响食品安全的重要一环^[5]。记录正确的食品原料、食品成品的时间相当的重要。若时间遭遇篡改,则会影响食品的货架期。消费者在毫不知情的情况下很有可能购买到超出保质期的低劣食品产品,从而造成对消费者身体健康的损害^[6]。目前少量的不法商家希望减少食品生产成本,提高盈利,从而采购或销售非正常生产时间的原料与成品,并私自篡改采购或销售的时间,造成生产质量的下降与食品安全的隐患。因此,如何正确地记录采购时间,并防止不良生产企业的私自篡改,对于食品行业的健康发展极为重要。

2 区块链技术

2.1 区块链技术概念

区块链是一种常用的分布式账本类型的技术,具有记录能力强、食品信息获取后即时上传等技术特点。通过区块链技术,可以实现网络信息一体化,使供应链上各企业地位平等,推动信息在供应链中高效、流畅的传递,并可以促进生产信息公开,减少信息的中心化带来的信任问题。同时区块链使供应链上信息交互数字化存储,通过智能合约技术实现数据的核查、校验,使用数字签名和加密等相关技术,使数据的传输更加安全高效,保障信息安全可信^[6]。

目前食品行业区块链运用最为广泛的方面,是食品生产中的溯源体系。各国的政府、相关企业甚至构建了自己的供应链信息监管体系。如果通过将溯源体系纳入法律体系,构建统一的追踪溯源标识码,利用电子标签技术、射频识别信息、二维码制定、物联网利用等对供应链上信息进行追踪^[6]。

2.2 区块链技术分类

2.2.1 公有区块链 公有区块链(Public Blockchains)针对于系统中所有实体类型的用户开放,可由任意信息点加入。公有区块链是目前已知的发展

较早的区块链技术,也是目前来说应用范围最广的技术。比特币是区块链的应用之一。比特币作为公有链的一个完美应用,充分体现了公有链的完全去中心化特点,同时任何节点的实体用户可以进行交易和读取信息,也可以参与链上交易的确认与共识。公有链主要具有以下特点^[6]:a.公有链开发者不能干涉用户,实体用户在公有链中的权益可以得到保障;b.数据公开、透明,用户可查看链上账户的交易或者信息交换活动;c.匿名性,保障链上用户的身份隐私。

2.2.2 私有区块链 私有区块链(Private Blockchains)是指一种仅使用区块链的总账功能对个人、私有集体等对象的信息传递进行记录的技术。个人或私有集体将独自享有对该区块链的写入权限,与其他的分布式存储方案区别较小。

私有区块链技术可以方便于各个部门进行审核统计,不可以更改记录和集中化管理的特点,符合对隐私数据的审核特点等对数据安全的要求,正在越来越多地被用于对网络数据的保护之中^[7]。当前多元化的网络数据隐私保护方法存在数据加密难度高和效果较差的问题,需要不断研究与优化对网络数据隐私保护方式^[7]。

2.2.3 联盟(联合)区块链 所谓的联盟区块链(Consortium Blockchains)是一种与公有区块链形式类似,只针对于某一大型联合集体或特定组织开放(医院、政府机关等)的技术。此类区块链一般用于某一特定的行业的整体性信息传递与储存。可以确保用户身份隐匿。通过划分基础域和互联域实现中心化身份认证和去中心化交易^[8]。对身份认证,根据基于 Merkle 树的双因素认证方案,实现各节点身份与消息的去耦^[8]。

2.3 区块链技术的可行性分析

区块链技术以其高效、流畅的信息传递而备受食品行业的关注与青睐。针对食品信息不对称的问题,区块链技术可以将不同种类的信息进行分类整合。从食品的原料开始对食品的情况进行记录,并且由于区块链技术本身的不可更改性,该记录不可以被更改,可以减少食品信息被人为篡改的情况^[8]。在食品生产完成后,食品监管部门与消费者可通过扫描食品二维码或者食品信息的查询平台从而对食品的生产、销售、物流等信息进行查询。

此外,利用区块链技术来构建食品溯源体系还将涉及信任度高低的相关问题。由于区块链中对数据的产生、交易、流转、计算、分析、应用等中间过程全程留痕,因此数据质量具有前所未有的强信任力,导致数据的分析效果、挖掘质量等都有保证^[9]。

同时,由于如今计算机技术的不断进步,使得信息传递逐渐变为“线上模式”^[9]。区块链技术是依托于计算机技术而存在的,利用计算机技术可以为区块链设计大型的数据库以及线上访问平台。还可以通过开发相关的应用软件(APP)来方便与消费者和食

品监管部门对食品安全信息进行查验^[10]。

3 区块链与食品供应链溯源体系建设

3.1 粮食产品溯源体系

为了更好地让区块链技术适应于粮食产品溯源体系的建设,谢江涛^[3]设计了一款建立在区块链技术上的粮食产品供应链追溯系统。该系统在原有的基础上对粮食产品供应链的追溯方案进行了适当的优化,并且在追溯方案优化后的系统上引入了传统数据库概念,从而对粮食产品流通进行追溯^[10]。设计这款系统可实现对粮食产品供应的追溯、溯源信息查阅、对粮食产品生产单位进行登记、对粮食产品收货单位进行登记、相关参与者的注册与登录,以及他们的身份认证等功能^[11]。

从传统的粮食产品溯源系统来看,数据的集中存储所带来的开发方式、溯源流程可能会出现目标的追溯结果真实性不断降低、溯源系统本身的灵活性被弱化等问题^[11]。为此,王志铎等^[10]提出一种基于区块链的粮食产品可信溯源解决方案。这项设计应用环节对应账本的智能溯源机制,保证设计可以较好地适应现实中未知的生产状况;此外,把“超级账本技术”作为区块链的应用手段,分布逐层地加密存储过程中的关键数据,保证追溯结果的真实性达到较高的水平。最后分析该产业链的各阶段产品各自的对应关系后,进一步确定溯源对象所具有的粒度大小和数据内容的文件格式,完成了柔性溯源。

但是,如果想要将利用区块链技术在粮食产品溯源体系中发挥更大的作用,依旧需要一些新的方法。根据孙俊等^[11]的研究,追溯系统中需要建立相应的中央数据库。粮食产品从生产、加工、销售等各个环节中采集到的必要数据需要上传至中央数据库并与其进行数据交换,中央数据库可以对数据进行集中式梳理。但是,由于数据众多,验证过程繁杂,系统中的数据如有错误也无法及时有效的检测出来^[12]。因此,生产、加工、销售等与粮食产品相关的各个主体可以作为不同的区域级,分别拥有各自的数据库,并自行对数据库进行管理^[12]。

3.2 药食两用食品溯源体系

在医药行业中,存在许多药食同源类别的中草药,这些药食两用的中草药也多应用于食品行业,在生产它们的相关产品时有可能会产生一定的安全问题。为了避免这类事件的发生,许多人开始考虑在药食两用食品的生产供应链中也采用溯源体系^[13]。

目前来说,药食两用食品的溯源系统存在着诸多问题,例如:数据复杂、存储空间少,以及出现虚假的生产信息等等。这些问题,正不断损害着药食两用食品的生产供应市场的健康发展。为了应对目前药食两用的食品的防伪溯源系统中存在的漏洞,禹忠等^[12]提出了一种基于区块链的药食两用食品类别的防伪溯源系统。这种系统同样是在超级账本(Hyperledger)的 Fabric 区块链技术平台上进行开发,系

统环境配置有医药厂、经销商、医院 3 种组织,应用了 Go 语言的开发代码,采用 Node.js 等程序来进行客户端程序的编辑,并结合代码中的该类食品溯源功能的“查询”请求,通过证书认证的用户账号可以实现药品信息在网页的查询,且查询响应时间的平均延迟为 22 ms。

此外,在药食两用食品传统的溯源系统方面,也存在一些十分重要的问题。传统的药食两用食品溯源系统较为普遍采用的是集中化的数据库(如 MySQL、Oracle 等),这种存储方式在数据安全性和真实性等方面很大程度由数据的拥有者与开发者决定(图 1)。不管是源头加工的企业,还是中间的物流、销售商,甚至是政府的职能部门拥有和保存溯源链的核心数据,只要是流通上的利益相关者,当出现数据不利于某一方的数据时,很有可能出现数据伪造的情况。因此,传统的溯源系统不管是系统流程、体系框架、隐私安全方面都很难得到消费者的信任^[13]。为其中解决存在的不足,谢春辉等^[13]设计了一种基于区块链技术的药食同源的食品质量安全溯源系统。采用区块链技术进行构建的中药材溯源系统不仅能对中药材从种子育苗、种植、加工、流通到交易 5 大环节的监管记录,还可以实现药食同源类食品从源头到消费者购买的全程监督。保证了药食同源类食品的生产、质量的安全,促进药食同源类食品产业的健康发展。此系统不仅解决了传统的药食同源类食品溯源系统存在的信息过度集中,数据的真实性较差和保密程度较低等问题,还具有信息管理性强并且无法被轻易修改等过人之处^[13]。

3.3 鲜冷食品溯源体系

随着超市、购物中心在不断地兴起,在超市中销售的鲜冷食品安全也逐渐引起了人们的关注。主要的关注点在于包装肉类、海鲜、蔬菜等,这类食品不适宜长期储藏,并且对供应链得要求较高。如何保证超市食品的食品货架期变得尤为重要,因此,一些大型超市例如沃尔玛^[14],率先开始建立超市鲜冷食品溯源体系。在 2019 年 6 月 25 日,沃尔玛联合中国连锁经营协会在北京举办了 2019 全国关于食品溯源

体系建设的研讨会,启动了沃尔玛在中国地区区块链的平台,从而进行监督。目前已有 23 种不同商品完成了相关测试并进入平台^[14]。另外,预计将于 2019 年的下半年,沃尔玛的平台还将上线包括包装肉类、果蔬、海鲜产品在内的,超过 100 种的不同商品,进而帮助沃尔玛实现对全部商品溯源战略。商店顾客可以通过扫描包装的二维码,进一步了解商品供应源头的地理位置、物流时间、产品报告等必要的信息^[14]。

对于区块链技术在鲜冷食品方面的应用,洪丹丹^[15]对此问题进行了深入探讨。冷藏的技术虽然可以提高食品的保质期,但是对冷藏技术的运用方式,相关厂商却很难掌握。区块链技术则可以将冷藏保存中的各个时间点所具备的冷藏信息都能表达完整,生产商就可以对于食品销售实行更加高效的管理^[15]。

4 区块链与食品掺假

根据国际食品法典委员会(CAC)提及对“食品溯源”的定义方式^[15]:针对食品生产加工的环节中,可以追溯食品产业的运转状况,对食品原料的来源、应用及其所在的地理位置,可以进行追溯的能力。溯源系统的建立主要是为了针对查询方对某一件食品产品的原料、生产、销售以及物流的查找^[16]。在建立了这样的溯源系统后,消费者甚至可以精确到每一种产品的单个原料的产地的查询,解决了消费者、企业、原料生产部门、监管部门的信息,同时可以极大地避免虚假信息的混入^[16]。目前,影响食品安全的主要方面除了食品安全信息以外,不法商家与食品生产企业的食品掺假问题也时刻威胁着食品行业的安全。利用区块链技术可以对食品的掺假现象形成一定的遏制。

出现食品掺假现象的主要原因是食品生产商与食品的销售商为了减少成本,选择隐瞒或篡改部分信息,以用于使用不合格的食品原料或选择销售已经超出了保质期的食品。目前,食品监管部门缺少对此类指标的建立,存在信息的“灰色地带”^[17]。区块链技术由于其拥有信息的不可更改的特点可以有效地防止这类事件的发生。利用区块链技术可以相应地开发一些食品真伪鉴别的应用软件来记录食品原料的来源与生产日期以及上架日期等信息。消费者与食

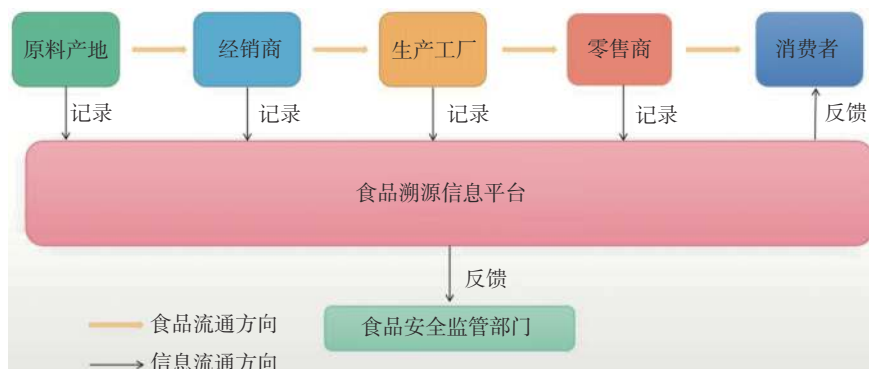


图 1 食品溯源概念图

Fig.1 Concept map of food traceability

品监管单位可扫描所印有的条形码, 获得该食品所具有的食品生产、物流与销售的信息^[18]。

为保证供应过程中的信息来源可靠以及信息可靠与拥有对等, 许继平等^[18]提出使用区块链技术, 研究并提出的适用于粮油食品供应链的双模数据存储机制和管理供应链信息的智能合约, 保证信息存储和传输安全可靠^[18]。在此类技术的基础上, 基于 Hyperledger Fabric 设计了一款用于粮油食品全供应链信息安全管理原型系统, 能够实现粮油食品全供应链信息全采集、全查询、全监控、全追溯的目标, 为粮油质量安全保障提供了一种新的解决思路和参考^[19]。

“京东区块链防伪追溯开放平台”已经接入多家品牌企业的生产车间。以牛肉为例, 通过查询追溯编码可以查阅消费者所购买的牛肉, 可以查询到牛的来源、品种、喂养的饲料、产地检疫证的号码等信息^[19]。可以预见的是, 流通领域的批发企业为了实现自身产品的品质保障, 可以将不断反向要求生产企业实现信息的可追溯性。像这种采用了区块链的平台不需要单纯依靠政府的监督, 可以直接接受广大消费者检验^[20]。

最后可以利用物联网进行数据验证, 在农产品最终被民众购买后^[20-21], 消费者可以通过现已开发的农产品上的 RFID 芯片, 查询该产品的生产地、采摘时间、农药肥料的使用情况、物流运输等具体情况, 而且可以通过区块链最后的交易地址信息, 进行核对查验。通过比对获得信息的文件数字签名与区块链上的签名和时间记录等是否一致, 进而确定该产品的信息是否被修改^[21-22]。

5 区块链与食品信息安全监管

食品行业的信息鱼龙混杂, 如何做好对食品信息的合理管理也是应用区块链技术中较为重要的一个问题。首先是对信息的存储问题, 需要食品监管部门首先对食品生产类别与生产加工程度进行细致的划分与归类, 并对生产方式相同或相似的供应链可采用统一的指标, 对于各个安全控制点也需要制定精确的数据标准^[22]。

同时可以开发一种区块链的使用平台, 对于目前所生产的食品资料进行录入, 并在信息传递时相关食品可采用一种信息流的传递路线。一方面可以确保任一有安全隐患的被指定目标强制退出市场, 便于对有害食品实行“召回制度”。这样使用的目的是为了消费者的权益, 同时也对企业的违法行为进行防范, 防止企业有故意隐瞒的风险, 监督企业采取必要的措施, 将存在一定缺陷的产品对民众造成的损害降到最低^[22-23]。

此外, 目前信息的传递需要使用代码, 但是各级生产单位所使用的信息代码鱼龙混杂, 从而导致代码的读取出现极大的困难。当代码读取出现困难时, 信息传递就会出现阻隔, 导致大量的信息滞留在少数人手中, 从而导致消费者以及质量检查人员无法获取正确和及时的信息。因此, 需要一类统一的代码对信息

进行加密可以有助于食品监管部门与消费者对食品安全信息进行查验^[24]。目前, 有一种全球通用的代码体系可以适用于此类情况。根据慕静^[19]的研究, 可以采用中国物品编码中心(Article Numbering Center of China)ANCC 系统来作为统一的代码体系(图 2)。中国物品编码中心(Article Numbering Center of China)ANCC 系统是一种全球统一的标准化编码体系, 国际上称为 EAN.UCC 系统, 是对流通领域中所有的产品与服务, 包括贸易项目、物流单元、供应链中的各个节点, 并为企业等提供独有的标志, 所以用来实施信息的跟踪较为合理^[23, 25]。

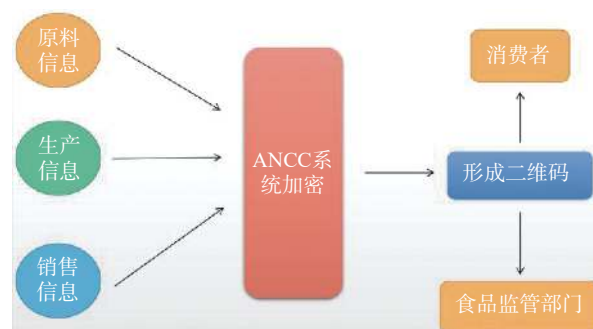


图 2 ANCC 系统使用概念图

Fig.2 Concept map of ANCC system

6 未来展望

区块链技术让食品行业的发展达到了新高度, 全新的技术与全新的理念促进了食品行业的新的的发展。在未来的食品行业发展中, 当线上技术不断地完善, 对于食品信息的追踪将更加精确^[25-26]。

但是, 区块链技术在食品领域的应用尚不够成熟, 需要改进的问题仍然存在^[27-29]。区块链所具有的复杂程度较高, 是可能涉及密码学、计算机技术、人工智能技术等多种跨越多个领域的学科的集成体^[1, 30-31]。我国在短期内也很难迅速地配备相应的区块链人才骨干。我国食品市场十分庞大且丰富, 进一步更好地开发利用, 把区块链和食品进行有效的结合, 才是区块链真正的价值所在^[32-34]。

随着区块链技术的迅猛进步, 它可以不断地与其他新型信息技术交汇^[35-37]。这项便捷的技术将为世界各国的食品经济市场带来质变。因此, 利用好线下已经掌握的数据进行精确地生产评估, 利用好对大数据的整理合并, 顺应市场的客观规律, 解决不平衡发展的迫切问题, 最终可以实现供求的平衡, 同时需要尽可能满足消费者的购买需求^[38-40]。利用区块链技术打造新型的食品产业经济, 规划好食品生态体系, 才能增加对社会财富积累^[41], 从而提高综合国力。

参考文献

- [1] Longo F, Nicoletti L, Padovano A. Estimating the impact of blockchain adoption in the food processing industry and supply chain[J]. International Journal of Food Engineering, 2020, 16(5-6).
- [2] 郑晓茹. 食品安全监管可追溯体系构建[J]. 价值工程,

- 2020, 39(2): 244-245.
- [3] 谢江涛. 基于区块链的农产品供应链追溯系统[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.
- [4] 曹尹露. 我国食品安全信息追溯制度的完善[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2017.
- [5] 刘克武, 张勇侠. 我国食品安全隐患与对策[J]. *食品科学*, 2003(8): 171-173.
- [6] 魏彬, 刘晓锋, 苟航. 基于公有链的分布式链上能源交易模式探究[J]. *长春师范大学学报*, 2020, 39(2): 41-47.
- [7] 李明飞. 基于私有区块链的多源网络数据隐私保护仿真[J]. *计算机仿真*, 2019, 36(8): 266-270.
- [8] 鲁晔. 一种基于联盟链的物联网匿名交易方案[J]. *计算机应用研究*, 2021, 38(1): 23-27.
- [9] 仵冀颖, 杜聪, 马志远. 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.
- [10] 王志铨, 柳平增, 宋成宝. 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.
- [11] 孙俊. 基于区块链的农产品追溯系统研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [12] 禹忠, 郭畅, 谢永斌. 基于区块链的医药防伪溯源系统研究[J]. *计算机工程与应用*, 2020, 56(3): 35-41.
- [13] 谢春辉, 熊蔚维, 李国妹. 基于区块链技术的中药材质量安全溯源系统设计[J]. *云南民族大学学报(自然科学版)*, 2020, 29(1): 84-90.
- [14] 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.
- [15] 洪丹丹. 食品安全管理对国民健康的影响及其对策——基于区块链技术的应用视角[J]. *北方水稻*, 2019, 49(4): 61-64.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 许继平, 孙鹏程, 张新. 基于区块链的粮油食品全供应链信息安全管理系统[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(2): 341-349.
- [19] 慕静. 基于CAS理论的食品安全供应链的协调决策问题研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(4): 44-47.
- [20] 刘臻. 浅谈食品追溯体系及信息化应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2008.
- [21] Wang Q, Zhao H, Wang Q. Enabling secure wireless multimedia resource pricing using consortium blockchains[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2020: 110.
- [22] Gug K Y, Eunju W. Consumer acceptance of a quick response (QR) code for the food traceability system: Application of an extended technology acceptance model (TAM)[J]. *Food Research International (Ottawa, Ont)*, 2016: 85.
- [23] Selena A, Ten B N. Food supply: Blockchain could boost food security[J]. *Nature*, 2017, 550(7674).
- [24] Feng H H, Wang X, Duan Y Q. Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020: 260.
- [25] 张雨欣, 丁俊浩, 邢苗条. 基于“区块链”技术的新型农业产业结构发展探讨[J]. *合作经济与科技*, 2020(8): 26-27.
- [26] 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.
- [27] Liu H, Crespo R G, Martinez O S. Enhancing privacy and data security across healthcare applications using blockchain and distributed ledger concepts[J]. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 2020, 8(3): 1-17.
- [28] 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*, 2020, 9(11).
- [29] Corallo A, Latino M E, Menegoli M. The awareness assessment of the Italian agri-food industry regarding food traceability systems[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 101: 28-37.
- [30] Baralla G, Pinna A, Tonelli R. Ensuring transparency and traceability of food local products: A blockchain application to a smart tourism region[J]. *Concurrency and Computation-Practice & Experience*. 2020, 11(4).
- [31] Demestichas K, Peppes N, Alexakis T. Blockchain in agriculture traceability systems: A review[J]. *Applied Sciences-Basel*, 2020, 10(12): 4113.
- [32] 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: 52.
- [33] Seyedsayamdost E, Vanderwal P. From good governance to governance for good: Blockchain for social impact[J]. *Journal of International Development*. 2020, 32(4).
- [34] 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.
- [35] Prashar D, Jha N, Jha S. Blockchain-based traceability and visibility for agricultural products: A decentralized way of ensuring food safety in India[J]. *Sustainability*, 2020, 12(8): 3497.
- [36] Ghode D, Yadav V, Jain R. Adoption of blockchain in supply chain: An analysis of influencing factors[J]. *Journal of Enterprise Information Management*, 2020, 33(3): 437-456.
- [37] Schahczenski J, Schahczenski C. Blockchain and the resurrection of consumer sovereignty in a sustainable food economy[J]. *Journal of Agriculture Food Systems and Community Development*, 2020, 9(3): 79-84.
- [38] Duan J, Zhang C, Gong Y. A content-analysis based literature review in blockchain adoption within food supply chain[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(5): 17.
- [39] Baranyi J. Big data and food science[J]. *Acta Alimentaria*, 2020, 49(1): 1-3.
- [40] Chen S, Liu X C, Yan J Q. Processes, benefits, and challenges for adoption of blockchain technologies in food supply chains: A thematic analysis[J]. *Information Systems and E-Business Management*. 2020, 75: 112-113.
- [41] Machado T B, Ricciardi L, Oliveira M. Blockchain technology for the management of food sciences researches[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 102: 261-270.