

区块链赋能食品供需网创新追溯模式

何静 胡鑫月

(上海海洋大学 经济管理学院, 上海 201306)

摘要 为探索当前多主体参与以及多供应链合作的全过程网络化食品追溯的实施路径,从多功能开放型食品供需网的角度开展食品质量追溯研究,提出了区块链赋能食品供需网的创新追溯模式。在探讨区块链与食品供需网的网络结构协同和系统功能协同机制基础上,构建了区块链赋能食品供需网的追溯模式总体框架,并以加工食品为例阐述了模式的具体运作。研究表明,区块链技术的赋能为食品供需网追溯提供了强有力的技术支持和实现手段的支撑,并且该模式更加符合当前食品复杂网络追溯的现状,极大程度上解决了目前食品追溯存在的集中化控制,信息不完整、可信度低等问题,深化多主体、多供应链合作意识,为食品追溯发展提供模式借鉴。

关键词 食品质量追溯模式; 区块链技术; 食品供需网

中图分类号 TP399;TS201.6

文章编号 1007-4333(2021)09-0257-09

文献标志码 A

Innovative traceability model of the food supply and demand network enabled by blockchain

HE Jing, HU Xinyue

(College of Economics and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract In order to explore the implementation path of the current whole-process networked food traceability with multi-agent participation and multi-supply chain cooperation, research on food quality traceability from the perspective of multi-functional open food supply and demand network are carried out, and an innovative traceability model of the food supply and demand network enabled by blockchain is put forward. Based on the discussion of the network structure collaboration and system function collaboration mechanism between blockchain and food supply and demand network, this study constructs an overall framework of the traceability model of food supply and demand network enabled by blockchain, and takes processed food as an example to illustrate the specific operation of the model. The results show that blockchain provide strong technical support and implementation support for the implementation of the food supply and demand network traceability system. The mode constructed in this study is more in line with the current situation of food complex network traceability, which greatly solves the problems of centralized control, incomplete information and low credibility of food traceability, deepens the awareness of multi-agent and multi supply chain cooperation, and provides a model reference for the development of food traceability.

Keywords food quality traceability model; blockchain technology; food supply and demand network;

建设高水平的食品追溯体系可以有效地对食品安全问题进行事前防范和事后溯源跟踪。我国已经积极开展食品可追溯体系建设工作,取得了一定的成效,但仍存在一些问题:1)现有追溯系统通常是针对较窄范围内的特定农产品进行溯源,如猪肉、蔬

菜、水产品等,而大量的食品是由各种初级农产品经过加工、组合形成的,会涉及到多个产业、多个地区,目前还无法得到这些加工食品和半加工食品的完整追溯信息;2)实践中,更多是在垂直一体化企业内部或有限环节供应链内实施追溯,缺少供应链全程追

收稿日期: 2020-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(71871144)

第一作者: 何静,副教授,主要从事食品供需网、食品安全追溯研究, E-mail:jhe@shou.edu.cn

溯,更缺少供应链与供应链之间的跨链追溯;3)中心化模式的追溯系统,追溯信息的真实性和可靠性常常被质疑,成为很多企业和消费者参与追溯意愿不强的重要原因,从而影响了追溯系统的可持续实施。

食品供需网作为一种组织体系,就是通过形成网络化结构,打通供应链之间的通道,形成供应链之间多元化的联系,解决供应链的“孤岛”问题。食品供需网的网络化组织结构也同时增加了追溯的难度和复杂性,亟需更完善的信息技术进行支撑。区块链技术所具有的分布式存储架构、“瀑布效应”等优势,能够很好地赋能食品供需网,创新追溯模式,以解决目前食品追溯中存在的诸多问题。

对于食品追溯模式已经有很多学者展开了研究,但主要集中在供应链内部的追溯。朱燕妮等^[1]利用 Hash 函数针对黑茶生产和销售环节构造了双向追溯模式,提出建立向上进行防伪溯源,向下进行数据统计分析。杨信廷等^[2]提出以供应链为横轴,以信息的感知、传输、处理为纵轴的质量安全追溯模式,在此基础上构建了农产品及食品全供应链追溯系统。李世盛等^[3]构建了追溯管理与质量管理结合,追溯管理与生产管理结合的追溯模式,提出了以 WCF 框架来构建 SOA 体系结构的北京金星鸭业生产追溯管理系统的设计方案。但是食品质量演变具有多主体、多阶段、不确定的复杂系统特征^[4],很多追溯模式较多局限于单条食品供应链或者供应链局部环节的追溯,有的只包含食品生产加工企业以及物流等信息,无法涵盖到所有的相关参与者,会出现追溯信息不完整、可信度低、易断链等问题^[5]。

目前,对于跨供应链系统追溯的研究探索不多。曾超凡^[6]分析了我国现有供应链追溯模式有链式、交叉式、中央数据库式、指针式等,提出了中央数据库式和指针式相结合的粮食混合追溯模式。董玉德等^[7]在危害分析和关键控制点(HACCP)管理体系的指导下,设计了面向服务的多层分布式农产品追溯模式。这些交叉式、分布式的模式虽然涉及供应链之间的关联,但没有展开论述。何静^[8]提出食品产业各个主体之间要打破只局限于企业内部可追溯或部分环节可追溯的现状以及“链内合作,链外竞争”的模式,通过紧密的协作来满足最终产品的高质量交付。食品供需网是具有结构网络性、功能多样性、开放充分性、动态稳定性的组织结构模式,探索利用供需网的组织形式构建网络化的食品追溯体系^[8],为跨链交互追溯提供了契机。

另外,在区块链技术不断升级的基础上,食品可追溯模式的升级也成为必然。钱建平等^[9]阐述了追溯系统从 1.0 到 3.0 的发展历程,分析了追溯系统的智能化提升趋势,将云计算、人工智能、大数据以及区块链技术引入追溯过程,提高了质量安全预警能力和可信度。目前阻碍食品质量安全追溯的最大障碍之一就是信任问题,区块链技术被认为可以建立信息透明和安全的信任机制,从而实现可追溯性管理过程中价值信息的交换^[10]。京东、阿里、腾讯、华为等为代表的企业均以供应链为平台展开了区块链布局,沃尔玛联合清华大学和 IBM 将超级账本区块链系统应用于食品供应链管理探究其应用。Tian^[11]将区块链技术结合物联网、RFID 技术设计了关于食品供应链可追溯系统。曾小青等^[12]建立了物联网加区块链的食品安全追溯系统架构,采用联盟链模式和超级账本区块链开发平台提高了食品供应链效率和透明度。Kamath^[13]以沃尔玛的猪肉和芒果区块链试点项目为例,分析区块链技术在食品可追溯方面的应用,并指出区块链技术应用于食品供应链存在的挑战与机遇。但关于区块链应用于食品追溯的研究依旧是针对单一供应链,围绕核心企业展开的,没能充分发挥区块链技术去中心化的优势。

因此本研究将以区块链和供需网追溯系统为研究对象,把区块链技术嵌入食品供需网中,发挥区块链的技术优势和食品供需网的组织结构优势,打造创新的可追溯模式。在研究区块链与食品供需网的网络结构协同和系统功能协同机制基础上,构建区块链赋能食品供需网的追溯模式总体框架,并阐述追溯机制的具体运作。力求通过创新模式的构建解决当前食品追溯中存在的局限性,以期为食品追溯系统进一步高效、可持续地发展提供借鉴。

1 区块链与食品供需网概述

1.1 区块链

区块链技术是一种基于密码学方法将数据区块按照产生的时间顺序以链条的形式连接起来的数据结构^[14],形成了一个去中心化的分布式账本,不依赖第三方或核心机构,由所有节点共同拥有和监督。

区块链综合了密码学、分布式存储、共识机制、智能合约等技术,改变了数据管理方式,其特点主要有:1)去中心化:通过分布式核算和存储,各个节点实现了信息自我验证、传递和管理,没有中心管制;

2)不可篡改性:只有区块链中的所有节点对所记录的数据达成共识后,数据才会被记录,采用密码学原理对数据进行签名,保证数据不可伪造;3)开放透明性:除了交易各方的私有信息被加密外,区块链的数据对所有人开放,每一笔交易都会通过广播的方式让所有节点可见,任何人都可以通过公开的接口查询区块链数据;4)可追溯性:时间戳存储了网络中所执行的所有交易历史,可为每一笔数据提供检索和查找功能,而且区块由前一个区块的哈希值相连,可一直追溯到第一个区块;5)去信任化:区块链节点通过算法建立了信用体系,在该体系内可以实现自由灵活的价值传输活动,而无需其他信用机构提供信用担保。

1.2 食品供需网

食品供需网(Food supply and demand network, FSDN)是以全球资源获取、全球生产加工、全球销售和保障食品安全、健康、营养为目标,相关组织、机构之间由于多种“供需流”的交互作用而形成的一种多功能开放式的供需动态网络模式^[8],目前企业实践中的跨链协作、跨界合作的趋势也正是供需网理

念的体现。FSDN 的结构如图 1 所示,主要具有以下特征:1)结构网络性,FSDN 有着复杂的网络层次结构,节点的构成也呈现多样化,不仅包含企业和职能组织节点,如食品养殖企业、食品加工制造企业、分销商、零售商、金融机构、科研院所等,还包含供应链节点以及由企业和供应链组合而成的动态合作子网。该结构中不存在核心企业,保证了各方地位的平等性,形成去中心化的多边关系。2)功能多样性,在 FSDN 中,节点之间的交互突破了传统以产品为中心的物流、资金流、信息流,强调多供需流的交互,如金融、知识、技术、人才、企业文化等等,以满足不同节点间的供需合作要求。3)开放充分性,FSDN 转变传统供应链“链内合作,链际竞争”的关系,形成跨组织、跨链合作的利益共同体,以实现全面合作共赢。4)动态稳定性,FSDN 的网络结构克服了传统供应链线性串联链状结构的不足,由于“多边网络关系”的存在,不会因为某一个环节出现问题而导致整条供应链的断链或解体,而是可以很快进行动态重构,保持了整个网络组织结构的韧性和稳定性。

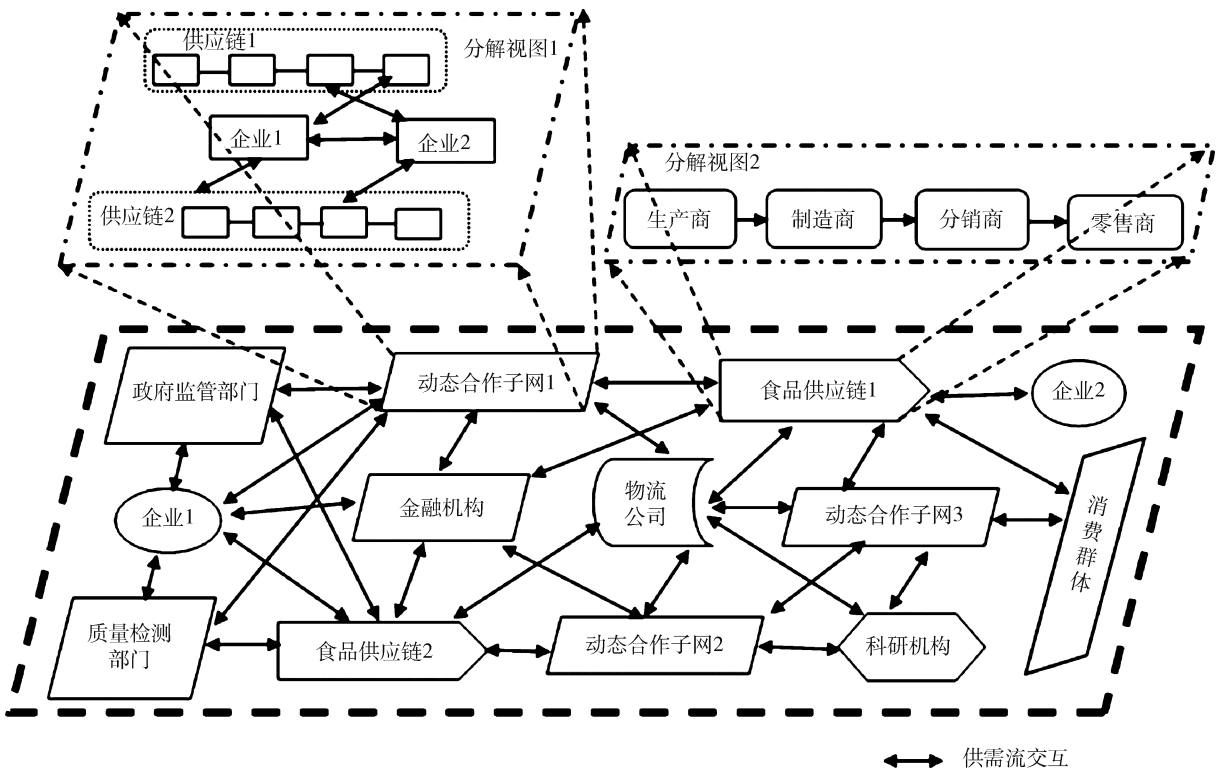


图 1 食品供需网结构图

Fig. 1 Structure diagram of food supply and demand network

2 区块链赋能食品供需网追溯模式的构建

一个有效的食品质量追溯模式要具备3个最基本的特点:①包含全部参与主体和相关主体以及食品生产流通全过程,做到充分开放;②各主体之间追溯信息采集、存储与交换便捷,打破信息孤岛;③保证信息不可伪造不可篡改,维护网络稳定。而区块链与食品供需网在网络结构和系统功能上的协同则为追溯系统的完善和优化创造了条件。

2.1 区块链赋能食品供需网的协同分析

2.1.1 网络结构的协同

区块链与食品供需网分别代表了技术网络和组

织网络,两者在网络属性和结构上具备耦合性(如图2),能够实现食品追溯多主体协同。区块链采用分布式存储,具有去中心化的网络特点,供需网中的节点通过供需关系建立动态合作供需网络且各参与节点地位的平等同样体现了去中心化的特点。区块链技术网络保障了供需网络中供需流的信息不可篡改,食品供需网络也为区块链技术网络部署提供了实施平台,并且区块链可以借助食品供需网跨地区、跨行业、跨链的开放性特点实现跨链应用。区块链与食品供需网在网络结构上的协同改善了传统供应链围绕核心企业集中化控制的现状,使得食品追溯全过程的数据更新维护由参与主体共同完成,确保了追溯信息的完整可靠。

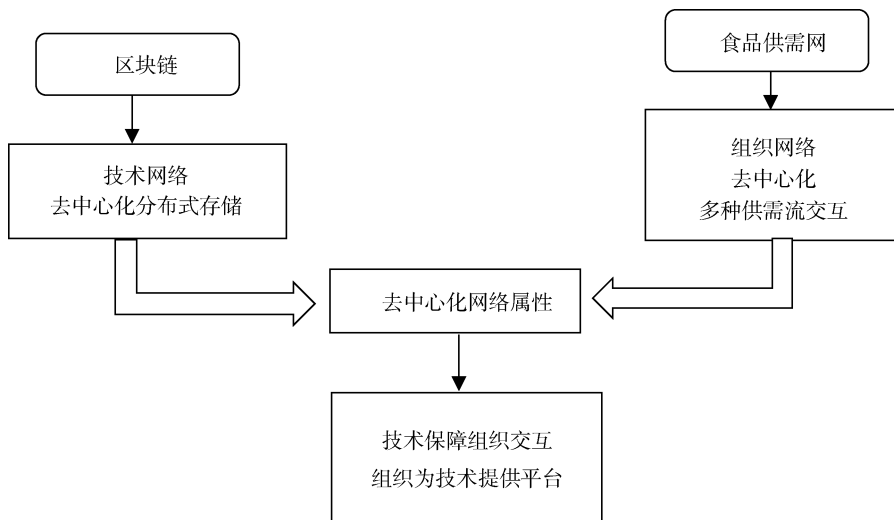


图2 区块链与食品供需网的网络结构协同

Fig. 2 Network structure synergy between blockchain and food supply and demand network

2.1.2 系统功能的协同

区块链技术嵌入食品供需网中能够实现彼此功能的互补促进,二者在系统功能方面的协同充分发挥各自的优势,体现了 $1+1>2$ 的功能效应(如图3)。一方面,食品供需网借助区块链技术突破链与链的信息壁垒,实现集成化和信息智能化,另一方面,区块链在食品供需网环境中实现多应用场景融合,充分发挥实时记账,信息共享的作用。二者的功能协同能够实现复杂网络环境下跨地区、跨行业、跨链合作,数据隐私保护与信息真实共享协调,交易合规可追溯,流程处理效率提升,达成共识构建行业互信环境等。

1)非对称加密技术与多主体参与协同。充分开放性和结构网络性使得食品供需网中包含了不同类

型和不同层级的参与主体,利用区块链非对称加密技术,根据节点职能为各参与节点授权并分配不同的密钥权限,只有通过授权的节点才能加入对应供需子网形成的联盟链中,实现数字签名以及信息加密传输功能,可以解决数据隐私和数据共享价值间长期存在的矛盾,消除相关方在数据共享中的后顾之忧。并且依附于食品供需网平台的区块链技术可以汇集各供需联盟链的数据实现跨地区、跨行业、跨链等多场景应用的交互合作。

2)智能合约与多供需流交互协同。食品供需网在传统供应链模式下物流、信息流、资金流的基础上,纳入了技术流,人才流,管理流,企业文化流等供需流,利用区块链智能合约技术将各主体间的供需关系加以界定,实现了供应与需求的高效匹配,有效

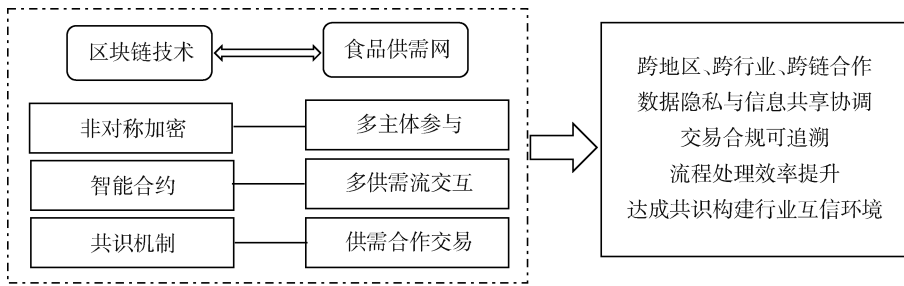


图 3 区块链与食品供需网的系统功能协同

Fig. 3 System function synergy between blockchain and food supply and demand network

整合企业资源,拓展合作范围。并且智能合约无需第三方机构认证,自动触发执行合约代码,进一步提升企业间交互自动化程度和便捷度,降低沟通合作成本,赋能食品供需网企业协同效率提升。

3)共识机制与供需合作交易协同。共识机制是区块链能够实现去中心化状态下,各节点达成一致共识的关键技术。区块链的共识机制与食品供需网中供需主体之间的复杂交易协同,极大程度上解决交易信息不对称的问题。所有交易信息的实时上链都将经过全网广播,各主体协同验证,只有达成一致共识的信息才会进行上链存储,这也实现了相关数据在所有参与节点处均有相同备份,因此共识机制能构建食品供需网追溯的信任环境,避免机会主义的恶意干扰,促进主体间充分合作。

2.2 区块链赋能食品供需网追溯模式的总体框架

通过对区块链与食品供需网协同机制的分析可见,区块链赋能食品供需网追溯为解决传统追溯存在的问题提供了一个新的思路,打破了分段追溯管理存在的信息壁垒,增加了全产业链追溯管理的精度和深度。追溯主体的拓展和技术的深入既保证了系统功能的完整性可靠性又降低了追溯复杂性。在前述分析的基础上,构建区块链赋能食品供需网追溯模式的总体框架,如图 4 所示。

2.2.1 食品追溯参与主体

由于食品供需网的多主体多供需流交互的特点,溯源需求不仅在食品供应链内部环节,还存在食品供应链与食品供应链之间,供应链与相关组织机构之间,因此本研究将食品追溯参与主体分为四类:一是提供食品信息的全流程参与者,主要包括食品供应商、食品制造商、食品分销商、食品零售商以及物流企业;二是对食品流通进行监管的监管机构,包括政府、社会监管部门、检测部门等;三是消费者;四

是为食品追溯提供支持服务的机构,包括金融机构、科研单位、合作高校等等,所有参与主体既是食品追溯信息的提供者也是使用者和监管者。

2.2.2 追溯模式框架设计

区块链赋能食品供需网食品追溯模式总体框架是以区块链技术架构为核心,以供需网的组织架构为基础,体现食品追踪和溯源过程的体系结构,由供需网业务层、区块链追溯层以及查询应用层构成,如图 4 所示。

供需网业务层主要用于上链数据的采集,各参与主体提供各方面信息,对食品追溯进行控制和支持。食品生产流通环节中食品供应商、加工制造商,分销商、零售商采用信息采集设备记录食品“从农田到餐桌”的每一个环节信息,实现了种植养殖信息、生产加工信息、中间分销信息、零售信息、物流运输信息等全过程记录;并且记录了食品供应链之间的跨链交易,保证了食品源头查询过程不断链。另外,在该层中政府、社会监管部门、金融机构、科研机构和合作高校对食品追溯起到监管以及信息服务的作用,例如政府、社会监管部门将食品流通标准等信息上链,以智能合约的形式约束食品追溯中的流通行为;金融机构能够将企业信誉评估等级或金融资讯信息上链,为企业提供资质认证;科研机构 and 高校可以将最新技术和人才信息上链,为食品追溯各环节或系统提供服务。供需网业务层的多功能信息采集上链,完善了食品追溯体系多渠道信息传输交互功能。

区块链追溯层依托区块链核心技术对供需网业务层上链的信息进行分布式存储和传输,是保证食品追溯信息真实可靠的关键部分。将供需网业务层打包的信息存储在区块中,每一个区块都存储了上一个区块的哈希值,加盖时间戳排序形成链式数据

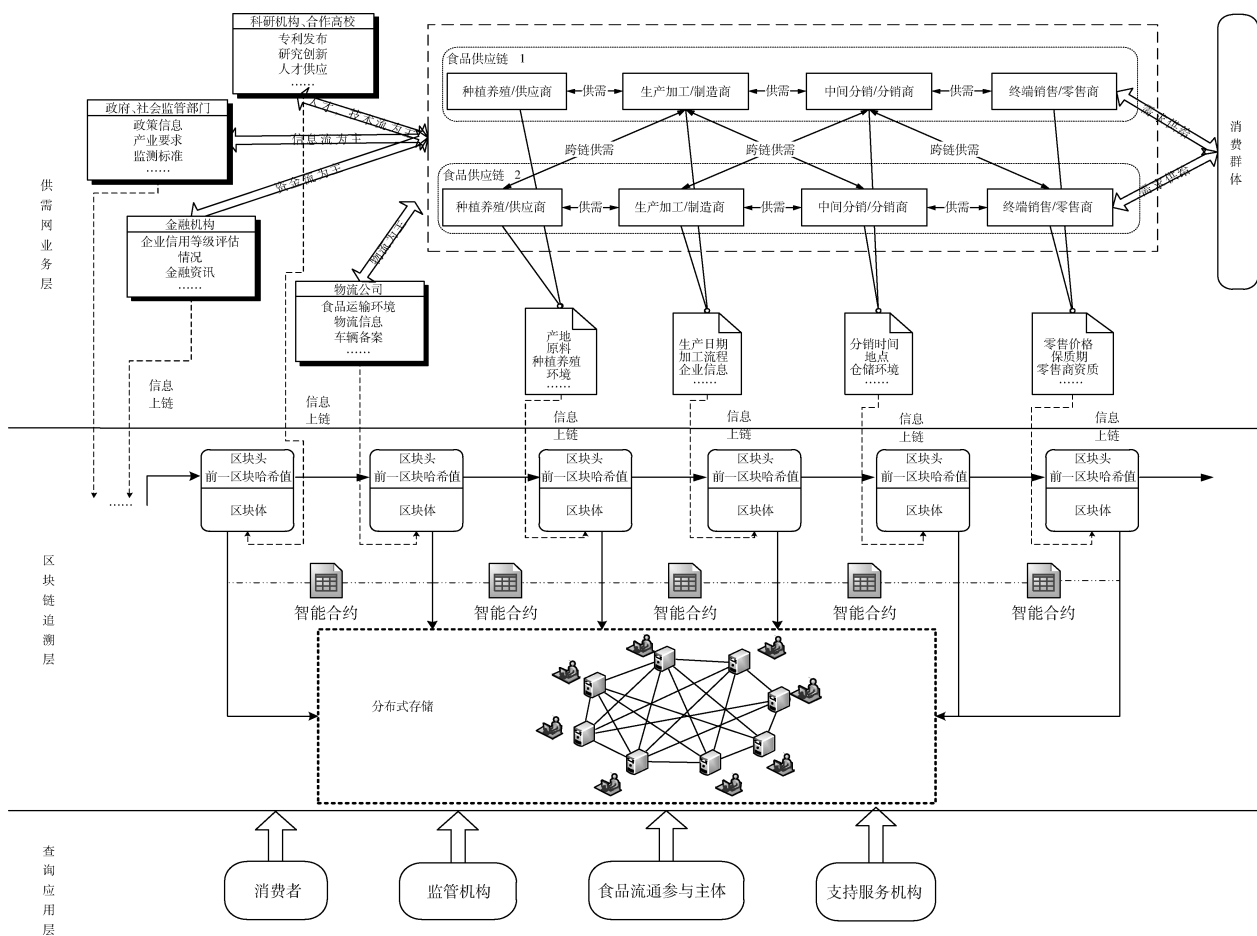


图4 区块链赋能食品供需网追溯模式的总体框架

Fig. 4 Overall framework of the food supply and demand network traceability model enabled by blockchain

结构。在任意节点生成区块后,将全网广播至其他节点加以验证,只有50%以上的节点达成共识后,区块才能被添加上链,这保证了每个节点都有完整追溯信息数据备份,使得数据不可篡改,无效数据不会被恶意传播。并且利用区块链非对称加密技术为各节点分配公钥和私钥,可进行身份验证使得每条数据都可以被相应用户添加和更新,或传递到下游用户,构建节点间的信任。另外,区块链的智能合约技术封装各种合约代码,在食品信息上链时自动执行预设的条款,有效提高追溯监管能力,避免源头造假。区块链追溯层为整个追溯模式提供了追溯信息透明完整可靠安全的保障。

查询应用层主要为食品供需网所有参与主体,即提供食品信息的全流程节点企业、食品生产流通的监管机构、消费者、为食品追溯提供支持服务的机构,提供食品生产流通信息查询以及食品质量安全追溯服务,可见该追溯模式下,食品质量安全追溯监

管由所有参与主体共同维护和更新,能够及时发现和解决食品供应生产流通中的问题,实现精准溯源快速解决,保障食品质量安全。

3 区块链赋能食品供需网追溯模式的运作

现实中很多加工食品是由多种初级农产品和食品添加原料构成的,其生产流通过程会涉及多条食品供应链的交互,基于区块链技术的食品供需网追溯模式能够打破传统追溯针对单一食品供应链的局限性,做到全产业链网的追溯,实现食品追溯信息完整可靠。以下将以加工食品为例分析该追溯模式的运作,如图5所示。

加工食品在加工制造过程中涉及到多种食品或农产品原材料的供给,每种食品或农产品的供给除经过各自供应链的生产流通过外,最终送达到加工食品制造商。在原材料供给环节中,各供应链中的供应商、制造商、销售商通过区块链平台进行身份认

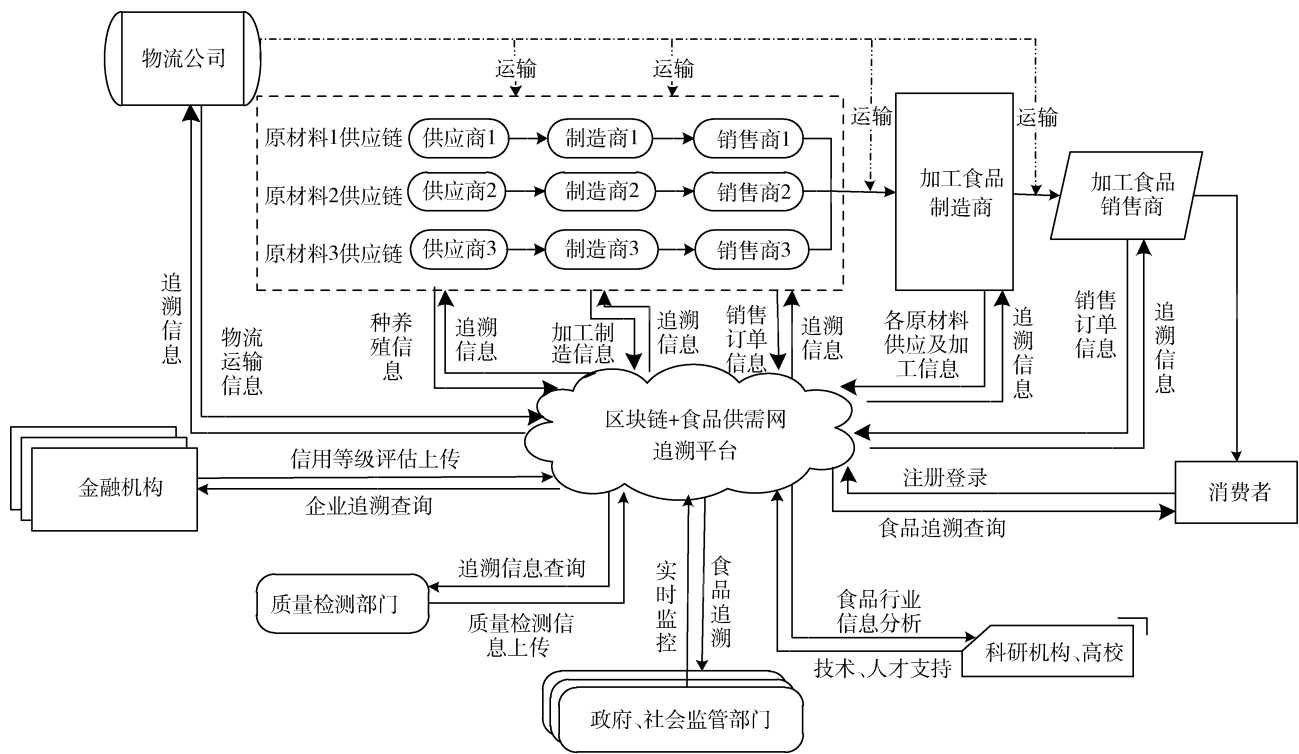


图 5 区块链赋能食品供需网追溯模式的运作

Fig. 5 The operation of the food supply and demand network traceability mode enabled by blockchain

证,以节点形式加入食品供需网区块链追溯,通过GPS、温湿度传感器、无线射频识别、溯源码等物联网技术的部署,分别将种养殖信息、加工制造信息、销售订单信息进行信息建档上传至区块链中。同样,区块链中的合作企业可通过追溯平台密钥系统进行身份验证,信息核实,共享追溯信息。

加工制造商将采购来的食品或农产品进行对应组合、加工制造形成最终的产成品。在此过程中,制造商将对各原材料进货信息进行整合记录,并将加工食品类型、产品批次、加工流程、用料信息、出厂记录等等信息都存储于区块链中,经由区块链全网广播,参与主体达成共识后,更新加工食品信息档,接着加工食品制造商将最终产成品传递到下一销售商,如超市、餐厅、酒店等等场所。另外,加工制造商也可以通过区块链分布式存储获取有关追溯信息的更新。

加工食品销售商进行收货检验,反馈到货信息,并将该环节的仓储信息、转运信息、食品收发货信息、食品价格、保质期等进行上链,当食品销售出去后要能及时更新仓储状态,将销售订单信息上传至区块链中,更新对应的食品信息档。

物流公司利用全球定位跟踪系统,运输物联网设施、仓储管理系统详细记录食品运输过程中的出入库信息、运输方式、车辆信息、运输轨迹、运输环境、承运人等信息,将每个环节之间的物流信息根据时间戳上链至区块链中,所有主体均能清楚知道食品运输的全过程。

政府、社会监管部门以及质量检测部门以节点的形式加入区块链,实现了线上线下同监管,能够动态监测食品质量和流向,查验数据完整性,监督企业履行社会责任。通过编写智能合约和脚本代码将食品相关标准数字化,如果发生食品安全事件或追溯信息有问题时,就会自动寻找出现问题的节点触发合约进行预警,快速响应追踪查找问题来源。

最终,消费者、食品生产流通企业、监管部门、相关机构均可通过密钥分配的不同查询权限,查询食品追溯相关信息。在该追溯模式下,消费者能够看到食品相关的主要信息,不仅能够查询加工食品的生产制造流通全过程,而且能够跨链查询加工食品涉及到的原材料的各自供应链信息,保证了食品追溯信息的完整性,加以区块链技术保障信息不可篡改,很大程度上提高消费者信任,当对信息存疑时,

可向监管部门反馈咨询;各食品生产流通企业能够通过区块链去中心化的分布式存储本身具有的横向追溯功能,向上溯源向下追踪,了解上下游企业信息以及食品状态信息;监管部门可以实时查询各环节企业信息及各环节操作的具体信息,做到实时动态监控;除此之外,食品供需网追溯模式还包含了为食品追溯提供支持服务的相关机构,加强了追溯系统功能,例如金融机构加入供需网追溯区块链中能够获取食品企业交易的真实数据,对企业进行信用评估,将信用评估结果上链能够提高企业的资质认证,同时也降低了金融机构信息不对称的风险,有利于解决中小企业融资难的问题。科研机构和高校通过获取食品行业信息,分析当前现状及问题,能够提供理论指导和技术支持。

4 总结与展望

随着经济全球化的发展和全面合作共赢理念的深化,食品产业链的构成变得日趋复杂,不仅仅是食品供应链内部,食品供应链与食品供应链之间也存在越来越多的跨链合作需求。运用传统供应链的思维对食品安全信息进行追溯已经难以解决现实中的食品安全问题,正如前文所述,需要考虑整个供需网络,建立基于食品供需网的追溯系统,运用供需网的理念解决当前追溯系统存在的信息不完整、易断链、可信用度低等问题。区块链去中心化、不可篡改的特性则为食品供需网追溯系统的实施提供强有力的技术支持和实现手段的支撑。

本研究将区块链技术嵌入食品供需网中,构建了区块链赋能食品供需网追溯的创新模式。该追溯模式推动了食品追溯从组织网络化向数字智能网络化升级演进,为未来食品追溯系统的理论研究和实践发展提供了新的思路。但是本研究目前还停留在定性分析的层面,后续的研究可以从技术实现,业务追溯等展开研究,也可以从定量的角度进一步探讨该模式下各方参与追溯的激励机制和利益分配问题,从而为食品可追溯系统良性、可持续地实施提供更具可操作性的方案。

参考文献 References

[1] 朱燕妮,雷坚,龙陈锋. 基于双向追溯模式的黑茶防伪溯源系统的构建[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2014, 40(5): 552-555

Zhu Y N, Lei J, Long C F. A dark tea anti-counterfeiting traceability system build based on bidirectional model[J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2014, 40(5): 552-555 (in Chinese)

[2] 杨信廷,钱建平,孙传恒,吉增涛. 农产品及食品质量安全追溯系统关键技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 212-222

Yang X T, Qian J P, Sun C H, Ji Z T. Key Technologies for establishment agricultural products and food quality safety traceability systems[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(11): 212-222 (in Chinese)

[3] 李世盛,李锋,付祥. 基于企业视角的农产品质量追溯新模式研究:以“北京鸭”为例[J]. 农产品质量与安全, 2015(1): 65-68

Li S S, Li F, Fu X. Research on the new model of agricultural product quality traceability based on the perspective of enterprise: Taking “Beijing Duck” as an example[J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2015(1): 65-68 (in Chinese)

[4] 王海燕,陈欣,于荣. 质量链协同视角下的食品安全控制与治理研究[J]. 管理评论, 2016, 28(11): 228-234

Wang H Y, Chen X, Yu R. Research on food safety control and governance from the perspective of quality chain collaboration[J]. *Management Review*, 2016, 28(11): 228-234 (in Chinese)

[5] 陈玥婧,周爱莲,谢能付,梁晓贺,汪汇涓,李小雨,史毓心. 基于区块链和物联网的农产品质量安全追溯系统[J]. 农业大数据学报, 2020, 2(3): 61-67

Chen Y J, Zhou A L, Xie N F, Liang X H, Wang H J, Li X Y, Shi Y X. Agricultural product quality and safety traceability system based on blockchain and internet of things [J]. *Journal of Agricultural Big Data*, 2020, 2(3): 61-67 (in Chinese)

[6] 曾超凡. 基于物联网的粮食质量安全追溯平台研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016

Zeng C F. Research of traceability platform of grain quality safety based on things of internet[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016 (in Chinese)

[7] 董玉德,丁保勇,张国伟,金国良,赵锡澄. 基于农产品供应链的质量安全可追溯系统[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 280-285

Dong Y D, Ding B Y, Zhang G W, Jin G L, Zhao X C. Quality and safety traceability system based on agricultural product supply chain[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(1): 280-285 (in Chinese)

- Chinese)
- [8] 何静, 马青. 基于食品供需网的可追溯体系构建研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19): 22-25
- He J, Ma Q. Research on traceability system construction based on food supply and demand network[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(19): 22-25 (in Chinese)
- [9] 钱建平, 吴文斌, 杨鹏. 新一代信息技术对农产品追溯系统智能化影响的综述[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 182-191
- Qian J P, Wu W B, Yang P. Review of the influence of new generation information technology on the intellectualization of agricultural products traceability system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(5): 182-191 (in Chinese)
- [10] 张国英. 基于区块链的数据溯源技术的研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2019
- Zhang G Y. Research on data provenance technology based on blockchain[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2019 (in Chinese)
- [11] 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. Los Alamitos: IEEE, 2017: 1-6. DOI: 10.1109/ICSSSM.2017.7996119
- [12] 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 and block chain [J]. *Food and Machinery*, 2018, 34(9): 100-105 (in Chinese)
- [13] Kamath R. Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM[J]. *The Journal of The British Blockchain Association*, 2018, 1(1): 1-12
- [14] 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
- Yuan Y, Wang F Y. Blockchain: The state of the art and future trends[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2016, 42(4): 481-494 (in Chinese)

责任编辑: 王岩