

基于区块链的乳制品供应链溯源研究

申炳豪^{*}，阿布都热合曼·卡的尔，陈 茜

新疆财经大学信息管理学院，新疆乌鲁木齐 8300012

摘 要：区块链技术具有数据信息公开、透明、防篡改、可追溯、共享等特征，与乳制品供应链的溯源需求存在多重耦合。为追溯乳制品供应链各环节的信息，保障乳制品的质量安全，借鉴区块链在食品质量安全中的成功实践，构建出基于联盟区块链的乳制品供应链溯源体系框架，并对其运行模式和优化重点进行分析，为乳制品行业、消费者和政府监管部门营造一个公开透明、安全可靠的可追溯性环境。

关键词：乳制品供应链；区块链；溯源

0 引言

乳制品供应链是以乳制品为对象，围绕核心企业实现对物流、信息流、资金流等环节的控制，主要包括奶牛养殖、原奶供应、乳制品生产加工、包装储存、运输配送、销售及消费等环节。乳制品对存储条件、运输时间、运输条件、保质期、卫生保障条件等有着极高的要求^[1]。“三聚氰胺奶粉”、老酸奶“工业明胶”等乳制品安全事件曾一度彻底摧毁了消费者对乳制品的信心，也引起国家和政府对乳制品质量安全的高度重视，此类问题的发生很大程度上是乳制品供应链管理控制不严格造成的，如温控不合理、添加剂超标、农兽药残留、冷链运输率低等。乳制品供应链可追溯系统能够标识乳制品

来源，提供从牧场到餐桌全过程的详细信息，一旦有乳制品安全事件发生，通过乳制品供应链可追溯系统可以快速准确地定位到相应的问题环节，明确责任主体，及时处理问题，遏制事件蔓延势头，是目前处理乳制品质量安全问题的有效方法之一^[2]。

区块链作为一种创新型价值网络，可以实现供应链节点信息的自动更新，保证信息的完全一致和公开透明，降低管理成本，有效地削弱供应链的“牛鞭效应”，利于供应链的防伪溯源。鉴于此，一些学者将区块链与食品供应链结合起来，通过区块链技术建立食品供应链成员间的信任，提高供应链信息的安全性、可靠性和可追溯性，进而保证食品质量安全。如Feng基于危害分析和关键环节控制点（HACCP）、区块链和物联网技术构建了一个农产品供应链可追溯系统的概念框架，并分析农产品

基金项目：新疆维吾尔自治区高校科研计划自然科学重点项目“多渠道供应链价格与服务博弈的混沌动力学研究”（XJEDU20191023）

作者简介：阿布都热合曼·卡的尔（1975-），男，新疆乌鲁木齐人，博士，教授，研究方向为供应链管理和区块链应用；

陈 茜（1995-），女，重庆人，硕士，研究方向为供应链管理与区块链应用；

通信作者：申炳豪（1995-），男，河南新乡人，硕士，研究方向为供应链管理与区块链应用。

从产前、产中、产后过程中所涉及的供应商、生产商、加工商、分销商及末端消费者等环节信息的可追溯^[3]；陶启等基于区块链技术构建“从农田到餐桌”的大米全产业链质量安全信息数据库，并设计了大米质量安全的溯源系统，实现大米全产业链的风险评估和管控^[4]；王可可等提出一种基于联盟区块链的农产品质量安全追溯体系，提高农产品追溯系统的运行效率和安全^[5]；赵磊等从信息生态视角分析用户需求，提出风险补偿方案作为追溯平台商业化运行的核心能力，进行信息链再造，构建一种新型的基于区块链技术的生鲜食品移动追溯平台^[6]；刘同娟等基于区块链的链式结构和分布式共识算法设计了乳制品的溯源方案^[7]。

鉴于此，本文探究区块链在乳制品供应链可追溯性中的应用，分析区块链对乳制品供应链可追溯系统及运作模式改进创新的驱动和意义，构建乳制品供应链可追溯系统框架，并对其运行模式和优化重点进行分析。

1 区块链技术概述

1.1 区块链技术简介

区块链源于比特币，区块链概念包括交易、区块和链三个部分。它是利用计算机程序记录所有网络节点交易信息的分布式账本，将交易信息储存在基于密码学方法生成的数据块上，后一区块继承了前一区块的哈希值，各区块通过时间戳将交易按产生的时间有序链接形成链条结构，从而形成区块链^[8]。网络节点交易数据的储存和记录都是分布式的，所有网络节点都可通过对等网络（P2P）、密码学等算法参与链上数据的管理和维护，是一种去中心、防篡改、可追溯、信息透明的创新型数据架构。区块链系统主要包括数据层、网络层、共识层、激励层、合约层和应用层^[9]。其中，数据层是系统架构的基础，封装了各网络节点的数据区块、链式结构、哈希算法、时间戳和相关的加密技术等内容，是对交易信息的储存和隐私性保护；网络层

是系统架构的核心，封装了区块链系统的分布式组网机制、数据传输机制和验证机制等要素；共识层封装各网络节点的共识机制，包括工作量证明机制（PoW）、权益证明机制（PoS）、拜占庭容错算法（BFT）和实用拜占庭容错算法（PBFT）等共识算法；激励层封装了整个网络的发行机制和分配机制；合约层是系统架构的业务处理层，封装了网络节点的合约脚本代码、算法和智能合约；应用层是系统架构的业务扩展层，封装了区块链的应用场景和案例。

1.2 联盟链特性分析

联盟链又称为许可链，是一个部分去中心化的区块链系统，一般由多个业务相关机构共同创建和管理。联盟链除了具有区块链的基本特征外，还具有身份验证、策略服务和智能合约服务等特性。身份验证主要管理联盟链的相关权限，识别和明确系统节点的身份信息，并有限度地分配操作权限；策略服务主要是通过系统节点的加入与退出、身份注册与认证、隐私保护等策略驱动方式，实现对业务访问权限的控制和管理，以保证联盟链的数据信息的安全可靠和分布式共享；智能合约服务一般采用容器技术或虚拟机技术搭建安全的运营环境，系统节点根据实际业务需求编译相应协议内容，并自动执行业务数据的算法规则。联盟链是企业应用的重点，是区块链在未来应用中的主力军，典型的联盟链平台有Hyperledger Fabric、TrustSQL、BigchainDB等。

2 基于区块链的乳品供应链溯源驱动分析

2.1 政府政策驱动

区块链作为一种新兴技术，受到政府部门的广泛关注。2017年6月，中国人民银行发布《中国金融业务信息技术“十三五”发展规划》的通知，积极开展区块链技术在金融领域的应用研究；2019年10

月25日，习近平在中央政治局第十八次集体学习时强调，要把区块链作为核心技术自主创新重要突破口，加快推动区块链技术和产业创新发展。在政府政策的积极引导下，京东、阿里、华为、腾讯等企业加快区块链布局，全国上下掀起了一股“区块链+”热潮。因此，政府部门对区块链的政策支持是发展区块链乳制品供应链溯源的重要驱动。

2.2 消费者需求驱动

随着生活水平的提高，消费者越来越追求绿色健康的消费方式。乳制品作为“白色血液”，其营养成分是其他营养品所不能替代的，消费者在购买乳制品时，除了考虑乳制品品牌外，更加关注乳制品的质量安全。尽管区块链具有一些技术缺陷，但凭借其去中心化、防篡改、可追溯等优势，可以让消费者充分了解乳制品的相关信息，如企业品牌、产品类型、产品成分、贮存条件等，购买能够满足自身需求的乳制品。因此，消费者健康消费需求是发展基于区块链的乳制品供应链可追溯性的主要驱动力。

2.3 乳品行业内部驱动

2008年，三鹿集团“三聚氰胺奶粉”事件曾经一度彻底摧毁了消费者对国产乳制品的消费信心，乳制品质量安全受到社会的广泛关注。乳品企业为了重塑企业形象，不断丰富乳制品种类，提高乳制品质量。但是，由于乳制品供应链环节复杂，节点信息不对称，追溯效果差，乳制品依然存在较大的质量安全隐患。区块链凭借点对点网络和分布式分散系统，可有效提高整个乳制品供应链信息的透明度，提升乳制品质量安全管理效率，减少传统供应链中存在的信息滞后、结构中心化、难追溯等问题，促进乳制品产业结构优化升级，进而提高企业竞争力和可持续性。

2.4 其他产业示范驱动

区块链的技术优势受到供应链管理领域的广泛

关注，区块链技术与传统企业相结合，可推动其在采购、生产加工、运输、销售、服务等方面的转型升级。将区块链应用在物流产业供应链体系中，可以极大地提高数据信息的流动性和安全性、提升运作效率、降低成本、拓展利润空间^[10]；将区块链应用在供应链金融领域中，可突破“信息孤岛”的传导机制，有效解决信息不对称和信用传递问题，提高监管和降低金融风险^[11]；将区块链应用在水稻^[12]、粮油^[13、14]、水产品^[15]、生鲜食品^[6]等产业中，可提高产业价值链，实现从供应链源头到消费末端全过程数据信息的监管和可追溯，提高整个供应链信息的透明度，保证食品的质量安全，提高消费者的消费信心，进而实现企业的可持续发展。因此，“区块链+物流”“区块链+金融”“区块链+农业”等不仅为“区块链+乳业”提供了运作基础，也为其实施提供了示范。

2.5 区块链溯源优势驱动

区块链是一种分布式数据库，具有智能合约、分布式账本、加密等核心技术，具有可追溯、防篡改、去中心化等特性，与乳制品供应链的追溯需求存在多重耦合，可有效解决传统乳制品供应链溯源系统中存在的安全性低、信息泄露、信息不对称及信任度差等问题。同时，基于联盟区块链的乳制品溯源系统中的各个网络节点参与交易验证，共同维护账本数据信息，为参与主体及消费者提供更强的信任支撑。点对点分布式网络可有效避免节点信息被恶意篡改、泄露等问题，打破“信息孤岛”的现象，节约数据储存成本，提高运行效率。此外，区块链的共识机制和智能合约技术避免了人为因素的干扰，提高了乳制品供应链交易信息的透明度，利于供应链信息的防伪溯源。

3 基于区块链的乳品供应链溯源体系框架

基于区块链的乳制品供应链可追溯体系框架主

要包括数据层、技术层、管理层和应用层，如图1所示。其中，数据层是乳制品供应链追溯体系的基础，技术层是实现乳制品溯源的核心，管理层是乳制品溯源体系发挥效用的保障，应用层是消费者访问乳制品溯源系统的入口。具体而言，数据层主要借助物联网等信息技术收集奶牛（羊）养殖、原奶生产、乳制品加工、包装、运输、销售等环节的数据信息并将其传送到技术层；技术层为数据层提供技术支撑，利用区块链的智能合约技术、共识机制和哈希算法等核心技术，对乳制品供应链各节点的数据信息进行验证处理；管理层按照国家规定的食



图 1 乳制品供应链追溯体系框架

品质量安全标准以及相关法律法规对乳制品的质量信息进行检测和审核，之后，安全可靠的乳制品信息将会通过应用层向消费者开放，消费者可在企业、政府等相关网站进行乳制品信息的查询与追溯。

4 基于区块链的乳制品供应链溯源系统运作流程

乳制品供应链主要涉及奶牛（羊）养殖、原奶生产、乳制品加工、包装、干线运输、储存、配送、销售等全过程。以乳品企业为核心，通过链接上游原奶生产和下游乳制品销售等环节，实现对整个乳制品产业链商流、物流、信息流和资金流的管理控制。然而，乳制品溯源码的伪造以及生产标志的滥用，严重损害了消费者的利益。为解决乳制品供应链中的防伪溯源问题，构建出基于区块链的乳制品供应链溯源系统，记录各节点的事件信息，实现乳制品供应链节点信息的共享和实时跟踪（图2）。

在乳制品溯源联盟链中，从奶牛（羊）的养殖环节开始，其养殖环境（包括温度、湿度、饲料等）、防疫措施等信息会通过溯源码或电子标签等

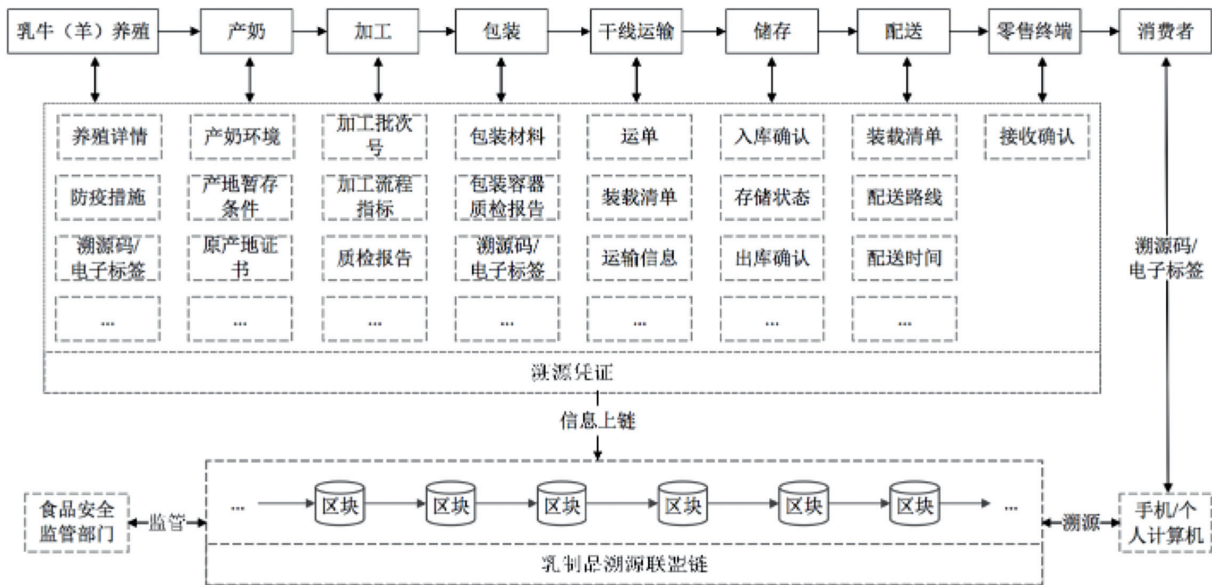


图 2 基于联盟链的乳制品供应链溯源系统

技术进行电子存档，之后的产奶、加工、包装、运输、储存、配送、销售等节点也会将相关信息打包存储，这些信息会储存在云数据库中作为溯源凭证，提取各节点关键追溯信息上传至区块链中形成数据区块，并以时间戳形式排列，防止数据篡改。此外，乳制品供应链各节点凭借全球定位系统（GPS）、物联网（IoT）以及智能传感技术等技术，将养殖、运输、储存、配送等环节状态信息以图像形式上链，并与溯源码、电子标签、耳标等身份标识相对应，进行信息的动态跟踪，便于乳制品精准召回。

乳制品供应链的参与主体可以实时查看区块链中的数据信息，通过数字签名技术提供机密性服务，防止企业敏感信息的泄露，保护各参与主体的利益。消费者在零售商或网络购物平台购买乳制品后，可以通过手机应用程序或个人计算机终端，凭借溯源码或电子标签追溯查询乳制品的养殖环境、质检信息、包装材料、添加剂成分、运输过程等，从而做出理性的消费决策。食品安全监管部门拥有最高访问权，利用私钥接入乳制品溯源联盟链，通过快速抽检体系自动或主动监控各节点的关键可追溯信息，一旦发生乳制品质量安全事件，相关部门可以第一时间追溯并查办相关违法企业。此外，监管部门也有权利确保各参与主体上传的关键可追溯信息是合法的且经过验证的。

5 基于区块链的乳制品供应链溯源系统优化重点

为了进一步提高乳制品追溯的效率，保证乳制品的质量安全，实现从“牧场到餐桌”各供应节点信息的可追溯性，基于区块链的乳制品供应链溯源体系的优化重点主要有三个方面。

5.1 质量控制体系优化

乳制品质量是影响消费者行为决策的主要因素之一，基于区块链的乳制品供应链溯源系统在提高

乳制品供应链信息透明度和可追溯性的同时，更重要的是要提高乳品的质量安全水平，因此，乳制品质量控制体系的优化是构建基于区块链的乳制品供应链溯源系统的前提。HACCP是目前国际上公认的食品质量安全控制的佳和首选模式，依据HACCP质量管理体系，对乳制品供应链各环节进行危害分析，找出关键控制点，并制定相应的HACCP计划表，以加大对乳制品质量的监管（表1）。

5.2 数据管理模式

由于乳制品供应链环节多且复杂，从奶牛养殖到乳制品销售需要记录、上传的基础数据多源异构，如果这些数据都储存在区块链上，会加重区块链系统的负荷量，导致追溯效率低、成本高等问题。因此，在乳制品供应链信息可追溯过程中采用“链上链下”数据协同管理的存储模式（图3）。“该管理模式的主要特征是乳制品供应链各节点运用信息技术采集奶牛养殖、原奶生产、乳制品加工、储存、运输和销售等环节的基础数据，并将这些数据上传至云数据库中，通过云数据库中的追溯信息提取模块等获取关键可追溯信息并上传到区块链系统上，区块链利用智能合约的逻辑层和数据层对上传的乳制品信息进行验证处理，确保乳

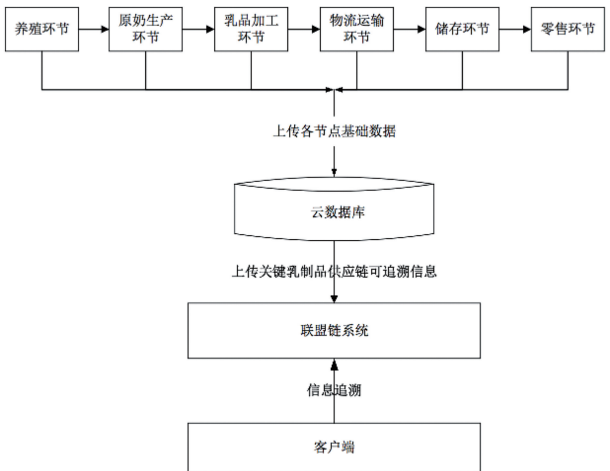


图3 数据管理模式框架

表 1 乳制品 HACCP 计划表

控制环节	显著危害	关键控制点	对象	方法	频率	人员	措施
养殖	生物性 物理性危害	饲料质量	牧草饲料 农药抗生素残留	视察检验	随时	饲养员 管理员	奶农培训、 饲料采购记录、检查 饲料质量
疫病治疗	生物性危害	防疫措施	病牛	病牛隔离 检查	每天	兽医、 饲养员	防疫记录、病牛隔离 检查
产奶	生物性危害	产奶环境	菌落数量、温度、 时间	平板 计数、 测温仪	每批次	奶农	抽检原料奶表明的菌 落数量、拒收问题奶、 记录冷却时间和温度
加工流程	生物性 物理性危害	加工流程指标	分离机转速、温 度、压力、 杂质度	检测仪、 测温仪、 分析仪	每批次	操作员 质检员	随机抽检产品进行质 量检测
验收	生物性 物理性危害	产品保质期、包 装材料	产品日期合格、 包装材料符合 规定	检查	每次 订购	分销商	进货审查抽检
产品储存	生物性危害	温度控制在 2~5℃	存储温度	测温仪	每天	仓管员	库房温度监控记录
核查	生物性危害	各项指标符合 规定	包装、产品 保质期等	检查	每天	卖场管理员	定期抽查剔除过期 产品

制品信息的安全可靠。

5.3 协同运作模式优化

基于区块链的乳制品供应链可追溯性目标的实现在一定程度上取决于各参与主体高效的协同运作模式。政府或行业协会应出资搭建基于联盟链的乳制品供应链溯源平台，系统平台整合各类乳品企业及相关经销商；各类乳品企业应积极注册加入溯源系统平台，参与者要实时传输和共享乳制品供应链各节点的事件信息，同时设置激励机制，提高参与主体维护溯源系统的积极性。

6 小结

基于区块链信息公开透明、防篡改、可追溯的技术特征，分别从政府政策、消费者需求、产业内部改善、其他产业示范以及区块链溯源优势五个方面分析发展乳制品供应链溯源体系的原因，构建出基于区块链的乳制品供应链溯源体系框架，分析了乳制品供应链溯源系统的运行流程，并重点优化了

乳制品溯源系统中的质量监控体系、数据管理模式和协同运作模式，进而保障乳制品的质量安全，实现乳制品从“牧场到餐桌”供应全过程数据信息的可追溯性。

但是，区块链作为一种新兴技术，在实际应用中依然存在着缺乏统一标准、能耗高、交易延迟、隐私安全等一系列问题。因此，为了更好地发挥区块链技术在乳制品供应链防伪溯源中的作用，一方面需要优秀学者、企业、相关机构和政府部门等一系列创新理论、优惠政策、社会经济制度等的协作与扶持；另一方面需要乳制品生产者、消费者、监管者等供应链相关主体的积极参与。此外，在乳制品溯源过程中，必须与物联网、无线遥感、云计算、人工智能等技术深度结合，提高运行效率，确保乳品供应链数据信息的安全可靠，促进乳制品行业的可持续发展。c

参考文献

[1] 王婷婷, 王晓政. 乳制品供应链质量安全运营管理[J]. 中国乳品工业, 2019, 47 (12) : 33-36.
[2] 乔光华. 我国乳业安全可追溯体系的构建研究[J]. 中国流通经

济, 2009, 23 (4) : 33-36.

[3] Feng T. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things[C]. International Conference on Service Systems and Service Management. 2017, 14: 1-6.

[4] 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系统及在大米溯源中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33 (12) : 102-110.

[5] 王可可, 陈志德, 徐健. 基于联盟区块链的农产品质量安全高效追溯体系[J]. 计算机应用, 2019, 39 (8) : 2438-2443.

[6] 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重构[J]. 食品科学, 2020, 41 (3) : 314-329.

[7] 刘同娟, 冯孟莎. 基于区块链的乳制品溯源方案研究[J]. 信息与电脑, 2019 (15) : 135-137.

[8] Swan M. Blockchain: blueprint for a new economy[M]. US: O' Reilly Media, Inc., 2015.

[9] Kehinde A. Digital blockchain networks appear to be following Metcalfe' s Law[J]. Electronic Commerce Research and Applications, 2017, 24: 23-29.

[10] Guido P, Stefano M, Mariangela R. Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases[J]. IEEE Access, 2018, 6 (1) : 62018-62028.

[11] 郭艳, 王立荣, 韩燕. 金融市场中的区块链技术: 场景应用与价值展望[J]. 技术经济, 2017, 36 (7) : 110-116.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 许继平, 孙鹏程, 张新, 等. 基于区块链的粮油食品全供应链信息安全管理原型系统[J]. 农业机械学报, 2020, 51 (2) : 341-349.

[15] 魏立斐, 朱嘉英, 衡旭日, 等. 基于区块链技术和HACCP管理的智能化水产品质量安全溯源系统的设计与实现[J]. 渔业现代化, 2020, 47 (4) : 89-96.

Research on the Traceability of Dairy Supply Chain Based on Blockchain

SHEN Binghao, ABUDUREHEMAN · Kadeer, CHEN Xi

School of Information Management, Xinjiang University of Finance and Economics,
Urumqi Xinjiang 830012

Abstract:Blockchain technology has the characteristics of openness,transparency,tamper-proof,traceability,and sharing of data and information,it has multiple couplings with the traceability requirements of the dairy supply chain. In order to trace the information of each link of the dairy supply chain and ensure the quality and safety of dairy products,this paper learned from the successful practice of blockchain in food quality and safety,and constructed a dairy supply chain traceability system framework based on the alliance blockchain.It also analyzes its operating mode and optimization priorities to create an open, transparent,safe and reliable traceability environment for the dairy industry,consumers and government regulatory agencies.

Key words:dairy supply chain;blockchain;traceability