

· 区块链与供应链 ·

基于区块链的野生农产品溯源系统



□殷文杰 都 牧 贾凯文 胡祥培

[大连理工大学 大连 116024]

[摘 要] **【目的/意义】** 针对高附加值野生农产品溯源难题, 以实现此类野生农产品源头可追溯、全程可追踪为目标, 利用区块链、物联网等新兴信息技术, 构建一种适用于野生农产品供应链溯源需求的区块链系统架构。 **【设计/方法】** 设计一种成员信息权限动态管理方法、“双轨”的数据存储机制以及可追溯性智能合约, 开发一个前后端分离的原型软件系统并开展应用研究。 **【结论/发现】** 为高附加值野生农产品供应链溯源提供新的解决方案, 提升农产品供应链信息的透明度并实现了溯源信息的不可篡改性, 提高消费者对高附加值野生农产品的信任程度并降低产品造假的风险。

[关键词] 溯源系统; 区块链; 野生农产品; 信任

[中图分类号] C931.6

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2022)-1005

A Blockchain-based Traceability System for Wild Agricultural Products

YIN Wen-jie DU Mu JIA Kai-wen HU Xiang-pei

(Dalian University of Technology Dalian 116024 China)

Abstract [Purpose/Significance] Achieving full traceability of wild agricultural products supply chain is of great challenge as they are grown widely and cannot be traced. To address this challenge, in this paper, we build a blockchain-based traceability system that leverages the information technologies such as blockchain and the Internet of Things. [Design/Methodology] Specifically, we propose a dynamic management method for member information authority to adapt to business activities in the agricultural products supply chain. We also design a “dual-track” data storage mechanism to cope with demand of the tamper proof and decentralized storage of multi-source and massive traceability data. We build traceability smart contracts supporting forward and backward traceability to locate the source information in the supply chain with large amount of mixing and splitting processes. Finally, we develop a front and back-end separated prototype software system for real-world application. [Conclusions/Findings] This study can provide a new solution to realize the traceability of the supply chain of high-value-added wild agricultural products by reducing the risk of product counterfeiting. It can help improve consumers’ trust in high-value-added wild agricultural products by making the supply chain information more transparent.

Key words traceability system; blockchain; wild agricultural products; trust

引言

构建可信、可追溯的农产品上行供应链, 杜绝

销售中频繁发生的以次充好、产地造假等食品质量安全事件, 对于提高城市消费者信任、扩大销售市场意义重大。特别是对于我国广袤的偏远边疆地区

[收稿日期] 2022-05-11

[基金项目] 国家重点研发计划项目 (NO.2019YFD1101103)。

[作者简介] 殷文杰 (1998-) 男, 大连理工大学经济管理学院硕士研究生; 都牧 (1988-) 女, 博士, 大连理工大学经济管理学院副教授; 贾凯文 (1999-) 男, 大连理工大学经济管理学院硕士研究生。

[通信作者] 胡祥培 (1962-) 男, 博士, 大连理工大学经济管理学院教授、博士生导师. E-mail: drhxp@dlut.edu.cn.

而言,高附加值野生农产品(例如,松茸、灵芝、冬虫夏草等,以下简称为野生农产品)种类丰富,是当地农户的重要经济来源,一旦出现质量安全事件将会影响当地所有从事相关产业农户的收入。因此,基于区块链、物联网等新兴信息技术,建立适用于野生农产品供应链的溯源系统,对于助农富农、振兴乡村乃至戍边固防至关重要,是党和国家高度重视的“三农”问题之一。

区块链技术具有去中心化、透明性、可追溯等特征,物联网技术则可以实现数据的实时化、自动化采集,将它们应用到构建农产品质量安全追溯系统中^[1],可以有效克服传统中心化的溯源系统的数据易丢失或篡改^[2-3]、数据无法实时共享^[4-5]、上链数据真实性无法保证^[6]的难题,已经成功应用于稻谷^[7]、大豆^[8]、水果^[9]等人工种植环境下的农产品的质量安全溯源中。然而,由于野生农产品生长、生产和溯源具有独特特点,因此在设计和实现基于区块链的野生农产品溯源系统中,仍面临着以下挑战:

(1) 野生农产品因其生长具有周期长且分布区域事先未知,无法通过物联网采集生长数据^[10],因此如何采集源头信息形成溯源链成为挑战之一。

(2) 野生农产品供应链具有参与方多且动态变化,村民采集后需要经采购、零售、运输等多个环节最后到达消费者,且每个环节都有多个可选的企业,因此如何根据订单的参与方动态地构建信息流与物流共享和追溯链成为挑战之二。

(3) 野生农产品的溯源数据具有规模大、类型多的特点,无法全部存储在链上,因此如何设计适用于多模态大数据存储的区块链数据架构成为挑战之三。

(4) 野生农产品的规格和产量随机性高,需经多次混合和拆分形成统一规格的标准化包装的产品,如何设计分布式记账记录批次与批次之间的对应关系实现链上数据的溯源成为挑战之四。

针对上述挑战,本文以西藏林芝朱拉松茸合作社^[11]的野生松茸供应链为例,基于联盟链架构,设计并实现了一个基于区块链的野生农产品溯源系统。主要研究内容包括:(1)在对现有野生农产品溯源需求分析的基础上,设计了溯源系统架构;

(2)设计了一种基于通道结构的溯源系统成员信息权限动态管理方法,实现动态变化的供应链参与方之间的数据共享;(3)设计了一种“双轨”的数据存储机制来实现供应链中多源异构溯源数据的存储;(4)设计了一种满足多批次间数据链可追

溯的智能合约,实现野生农产品的信息追溯。

基于上述研究内容,本文结合野生农产品的自身特点,设计了一套切实可行的追溯方案,产生的价值和意义如下:(1)对供应链全流程数据的监控与查询,大大提升消费者对此类农产品的信任程度;(2)基于区块链与物联网技术的溯源和防伪手段,大大提高市场上不良企业的造假难度;(3)将区块链技术应用到野生农产品,拓展了区块链技术在农产品品质追溯方面的应用范围。

一、相关的研究工作综述

农产品的可追溯性是现代农业的重要组成部分,农产品的质量和安全问题不仅会给产品的市场价值和声誉造成影响,更会对公众健康产生威胁。欧盟第178/2002号法规将可追溯性定义为在生产、加工和分销的所有阶段追踪产品或产品原材料的能力^[12]。Bosona等认为食品可追溯性是指可以在供应链的所有阶段获取、存储和传输有关食品、饲料、食品生产的充分信息,以便在需要的任何时候检查产品的安全 and 质量是否得到保障^[13]。农产品溯源的相关研究大致可以分为两类:一类是传统的农产品溯源系统、方法和技术;一类是以分布式账本为基础的农产品溯源系统的开发与应用。

(一) 传统的农产品溯源系统、方法和技术

农产品溯源技术主要是用来对整个农产品供应链中溯源对象的生产过程进行唯一标识^[14],常用的农产品溯源技术大致可以分为两类:包装溯源技术、生物化学溯源技术。包装溯源技术主要是在农产品的包装上附加农产品的各类生产信息,是一类基础的溯源技术,主要包括条形码和RFID标签两类。条形码由于消费者需要设备扫描,以及整个溯源过程中需要大量的人工干预,因此在农产品溯源系统中的使用并不普遍。RFID标签由于其具有操作简单、部署方便、可以携带多种信息、能够及时更新等优点,成为农产品溯源系统实现的主要手段^[15-16]。但高昂的部署成本使得一些中小企业难以负担。生物化学方法则是通过同位素标记或是DNA检测等手段,提升农产品溯源的速度和精确度,这类技术的优势在于,相比于包装溯源方法,标记不会受到外来因素的破坏,而且自动化和标准化的程度较高^[17-19]。但这类技术的部署同样需要高昂的成本。

农产品溯源系统的实现主要是利用上述农产品溯源技术,将溯源信息采集、存储和传输的过程与

信息系统结合起来。传统的农产品溯源系统研究主要聚焦于搭建中心化的溯源系统^[20-22]。然而,该中心化的溯源系统一旦中心数据库受到攻击或被篡改,将产生灾难性后果,也缺乏公信力。此外,在农产品供应链中一般涉及到多个利益相关方,各利益相关方采用的溯源系统各不相同,相互之间信息难以共享,缺乏统一的数据采集格式和交换标准,导致农产品供应链上的信任机制难以建立,这也对溯源系统的推广和应用造成了一定的困难。

(二) 以分布式账本为基础的农产品溯源系统、方法和技术

近年来,随着区块链技术的快速发展,越来越多的农产品溯源系统开始采用区块链技术,区块链技术的可追溯性、去中心化、不可篡改的特性有效解决了传统溯源系统的一些问题^[23]。去中心化、分布式的特点使得农产品供应链中的多个主体能够充分进行信息共享,克服了传统中心化系统受限于信息交换标准的缺点,同时不可篡改的特性也增强了各主体之间的信任。在溯源的技术和方法上,普遍与物联网技术相结合,增强数据采集的精确度和可靠性。Salah等利用区块链技术构建大豆追溯系统,为大豆追溯提供了解决方案和通用框架,解决了大豆供应链中信息交换困难且耗时的问题^[24]。Bumblauskas等基于区块链实现了鸡蛋“从农场到餐桌”的追溯体系,利用传感器在无需人工输入的情况下为产品的区块链记录提供数据,解决了传统鸡蛋追溯中的欺诈问题,增强了供应链各利益相关方的信任^[25]。Hao等利用区块链技术实现农产品溯源数据的存储和管理,监管农产品在供应链中的流动,同时提出了农产品安全风险评估的定量分析方法,以减少食品安全事故的发生^[26]。尽管区块链技术在农产品溯源方面的应用已经较为丰富,但目前的解决方案主要集中在种植业和养殖业,对于本文研究的野生农产品并不适用。野生农产品由于其零散的供给,溯源的难度更大,需要针对野生农产品溯源的业务特点重新设计溯源流程;此外,野生农产品涉及零散的小农户供应商,溯源链上的成员是动态变化的,现有方案难以适应供应链参与方的动态变化,因此需要重新考虑溯源系统的成员架构和智能合约的设计。同时,区块链溯源系统的数据存储负载过大也是实际应用的难点。而现有的文献仅针对溯源系统的业务流程,没有过多关注区块链溯源系统中多源异构数据的存储方式。

因此,本文针对野生农产品溯源自身的特点,从溯源流程、溯源系统的成员架构、多源异构数据

的存储方式以及智能合约的设计这四个方面做出设计与改进。其中,本文的创新之处在于:(1)针对野生农产品这一特殊品类,设计开发了一种基于区块链的溯源系统,填补了野生农产品在该领域的空白;(2)针对成员松散且关系动态变化的农产品供应链,基于区块链设计了一种成员信息权限动态管理方法,为解决这类问题提供了一种新的办法;(3)针对供应链中产生的多源异构数据,设计了一种新的链上链下协同、数据可验证的存储方式;(4)针对供应链中存在的批次混合拆分过程,设计了一种新的基于产品生命周期的智能合约来实现追溯的功能。

二、野生农产品溯源需求分析及系统框架设计

(一) 野生农产品溯源需求分析

当前我国偏远地区农民通常以合作社形式进行组织野生农产品的采摘和销售,典型的以合作社为中心的野生农产品供应链如图1所示。野生农产品由产地村民采摘后,由采购商(也可以是合作社采购专员)进行收购,并统一销售给合作社进行仓储、分级,此后按照订单(电商平台或经销商)要求进行包装和发货,经物流运输最后到达消费者端。实践中,上述过程包括了村民、采购商、合作社、销售方(电商平台、经销商、零售)、物流方等多个参与方,且每个参与方都可以包括多个企业。

现有产销供应链结构难以实现对野生农产品的全程溯源,主要原因有以下两点:供应链中大部分参与方的信息化程度很低,供应链流程数据记录缺失;供应链参与方之间缺乏信息共享渠道。因此,为了实现供应链的信息化形成完整的溯源链,需要在提高参与方信息化程度的基础上,对现有供应链流程进行再造,并增加监管机构的参与环节,用于提供可信的认证服务和供应链流程数据的监测预警服务,实现多方数据的安全共享。

为实现这一目标,本文构建了“采摘村民责任制”,即由监管机构向村民和采购商进行身份认证,将身份认证信息存入溯源系统数据库,只有经过实名认证后的村民和采购商才能加入后续的采销活动中,以实现野生农产品采摘源头追溯。在该前提下,基于现有的野生农产品产销供应链,对野生农产品产销供应链流程进行再造(如图2所示),主要包括采购商采购、合作社收购、入库和分级以及订单发货这五个步骤。

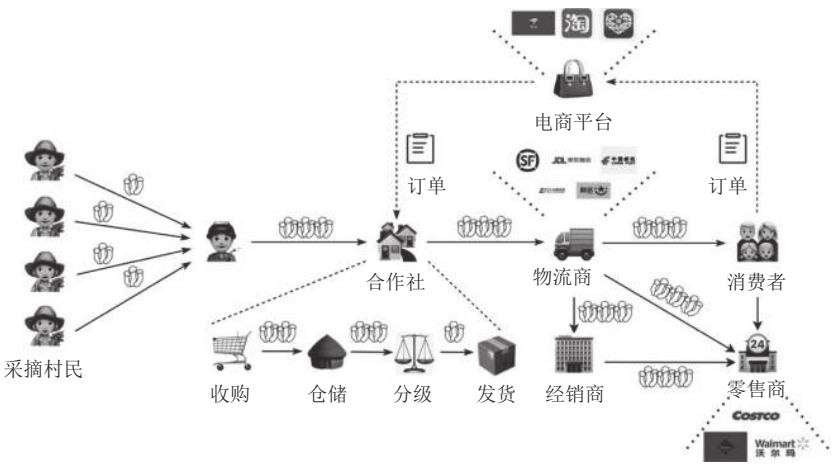


图 1 以合作社为中心的野生农产品产销供应链示例

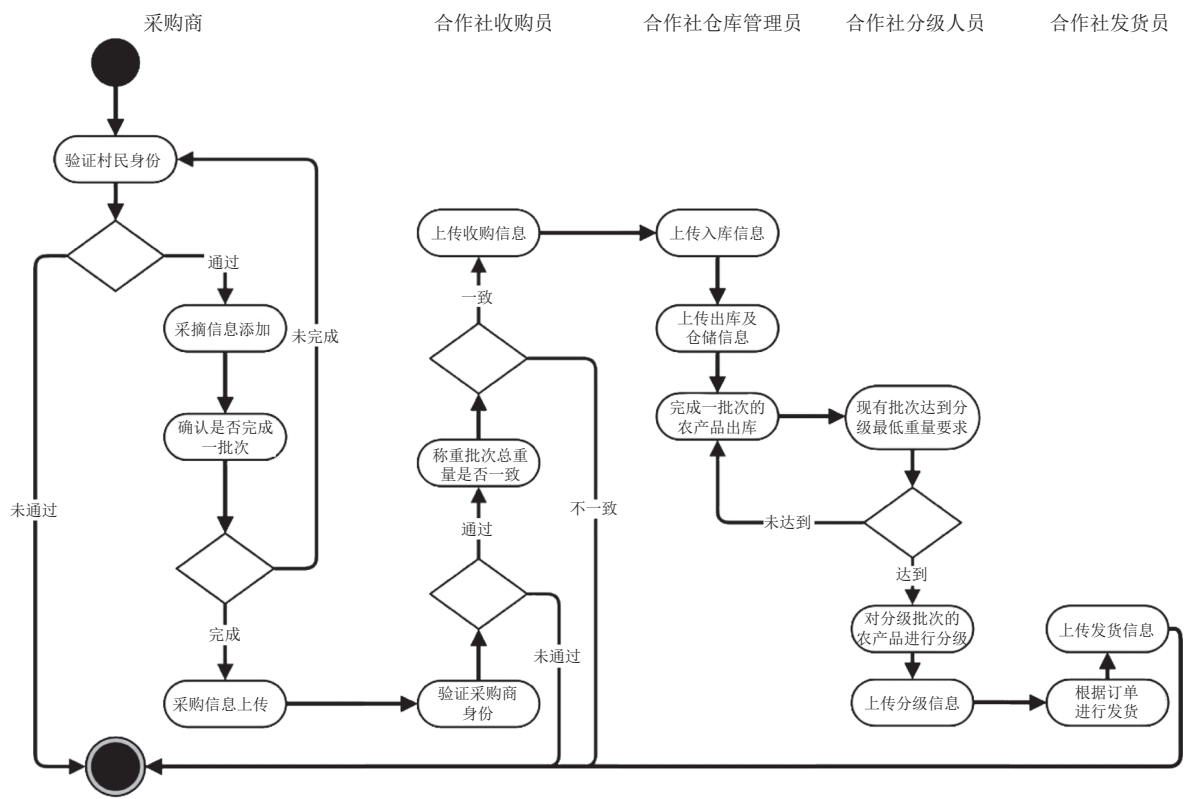


图 2 再造后的野生农产品产销供应链流程

再造后的野生农产品产销供应链具体的各个步骤中的作业流程说明如下：

1. 采购商采购：采购商对村民进行验证，验证通过后称量采摘的农产品重量，对村民的信息以及采摘的农产品信息进行上传，向村民支付相应的款项。一个批次采购完成后，生成与之对应的采购码，采购码包括采购商、采摘村民以及采摘农产品的信息。
2. 合作社收购：采购商将采购来的农产品运送至合作社进行售卖，合作社对采购商的身份进行验证，验证通过后称量该批次的总重量，扫描第一阶

段生成的识别码，添加收购的信息，包括收购员的信息和收购的时间等。

3. 入库：合作社对农产品进行入库操作，与收购的流程类似，扫描识别码添加仓储和操作信息。
4. 分级：合作社的分级人员对农产品进行分级操作，将入库的收购批次分成若干分级批次，扫描识别码，上传相对应的操作和分级信息，并生成新的分级批次码用于下一阶段的识别。
5. 订单发货：收到订单后，发货人员依据订单信息，从现有的分级批次中挑选出符合订单需求的

产品,并依次录入分级批次的信息,上传相应的发货信息,最后接入物流信息系统信息,实现全流程追溯。

结合上述步骤,以下进一步对各个参与方的溯源业务需求进行分析和定义,作为溯源系统设计的依据。上述供应链的参与方分为企业(包含合作社和采购商)、消费者和政府监管方三类。具体而言,企业的主要溯源业务需求包括:根据具体业务,在业务方之间进行信息共享;企业的敏感、隐私数据(例如采摘村民信息、企业采购和仓储信息等)的保护。消费者的主要溯源业务需求包括:方便、快速地查询到真实全面的溯源信息,包括供应链过程中的视频和图片数据;个人的隐私数据不被泄露。政府监管方的溯源需求包括:具备溯源系统最高的访问权限,能够对溯源系统上的所有数据进行监测,在出现食品安全以及产品造假的问题时,能够以最快的速率对相关的部门进行追责。结合上述需求,本文设计了基于区块链的野生农产品溯源系统框架。

(二) 基于区块链的野生农产品溯源系统框架设计

基于区块链的野生农产品溯源系统的层次框架如图3所示,包括基础设施、区块链服务、功能以及交互四个层次。基础设施层是整个系统的基础,对整个产业链上的各个环节的数据进行采集。区块链服务层,整个系统的核心,是实现数据存储、共享和后续质量追溯的核心模块。功能服务层面向具体的溯源需求,基于可追溯性智能合约开发对应的功能模块,为后续农产品的溯源防伪的查询功能提供支持。参与方交互层用来为供应链中各成员(系统用户)提供信息共享和查询的接口,系统用户可以通过UI界面对账本中的数据进行添加、查询并进行一些基本的数据分析工作。

基础设施层采用基于物联网的数据自动采集和追踪方案,利用电子身份识别器、摄像头、扫码枪、ERP电子秤等物联网数据采集装置实现全生命周期数据自动采集。此外,为了防止在该过程中可能出现的“真包装,假产品”的现象,对包装进行了防伪设计,在产品的第一层外包上印刷溯源码,在包装内另外粘贴防伪标签和溯源码,利用防伪包装来保证信息和实体的对应。

区块链服务层采用联盟链架构,基于成员信息权限动态管理的方法,实现业务方之间的动态链接,本文设计的成员信息权限动态管理方法将在后文进行详细描述。区块链服务层采用“双轨”数据

存储机制对采集到的溯源数据进行分布式存储,用以支持供应链环境下大吞吐量交易的数据存储和查询场景,本文设计的“双轨”数据存储方法将在后文进行详细描述。

功能服务层基于可追溯性智能合约,对溯源系统节点进行授权和管理,对分布式数据库进行管理整合。具体而言,系统节点授权和管理模块包括节点证书和授权管理以及多重可追溯性验证。前者是指区块链的各个参与方颁发证书,用来确保区块参与方的合法性,后者基于节点认证智能合约,自动地验证用户权限、智能地进行逐级信息交互。分布式数据库管理整合模块包括静态信息管理、动态信息管理、溯源防伪码生成和溯源防伪信息检索四个部分。其中,溯源防伪码是终端消费品上可用于查询溯源防伪信息的二维码,与系统中的标识码一一对应,而每个产品都标定一个唯一标识码,可以在系统中输入该标识码,调用智能合约来查询该产品的溯源防伪信息。

系统用户的交互权限通过功能服务层中系统节点授权和管理功能界定,可以基于智能合约实现数据的查询和(或)添加。系统用户分为三类:消费者用户、供应链用户(包括合作社、物流方、销售方等)以及监督背书用户(包括备案中心和认证机构等)。系统根据不同用户的具体业务需求提供不同的接口:面向消费者用户,系统提供查询接口,根据订单基于智能合约授权查看购买的农产品当前的状态信息和溯源信息;面向供应链用户,系统提供查询和添加两类接口,基于智能合约授权查询和添加业务相关的供应链数据,这里在数据添加接口中设置缓存机制,即添加的数据先存入可以撤回的缓存中,经二次确认再写入区块链中;面向监督背书用户,系统提供查询接口,基于智能合约授权查看业务相关的整个供应链数据。

三、基于区块链的农产品溯源系统设计

本文基于野生农产品溯源系统整体框架,针对面向区块链服务层的权限管理、数据存储以及追溯机制三项系统核心功能,设计了成员信息权限动态管理方法、“双轨”数据存储机制以及可追溯性智能合约。

(一) 野生农产品溯源系统成员信息权限动态管理方法

针对野生农产品供应链的参与方多且分散,结构动态变化,缺乏固定的供应链模式,无法形成统

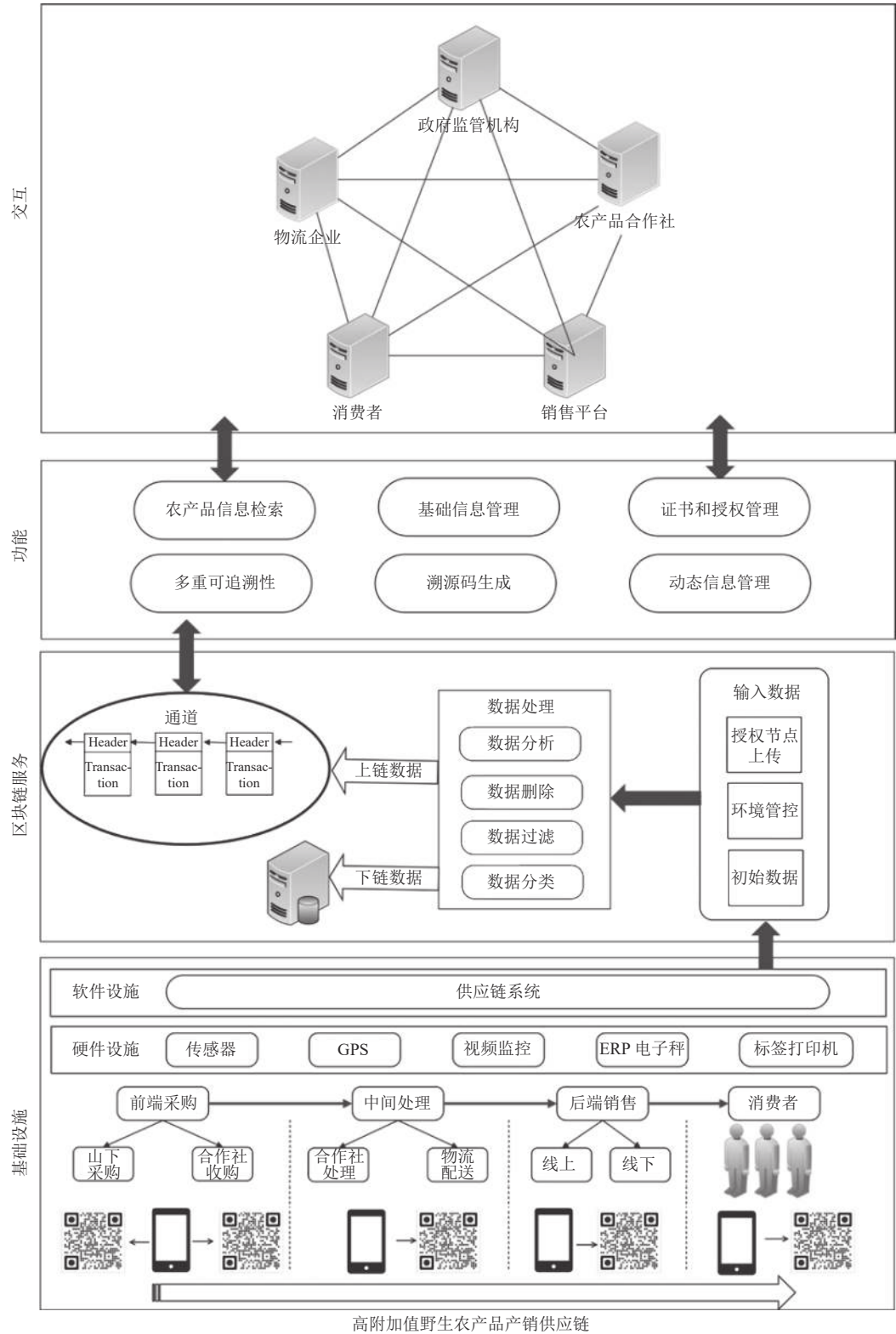


图 3 基于区块链的野生农产品溯源系统层次框架图

一稳定的信息流与物流过程的这一难题, 本文设计了一种溯源系统成员信息权限动态管理的方法, 使得在供应链业务参与方动态变化的情况下, 仍能进行多方数据共享以形成完整的溯源链。

本文采用联盟链架构搭建溯源系统, 利用联盟

链中的通道结构实现采购商、零售商、经销商以及物流配送企业可以根据业务弹性加入联盟链中。具体而言, 联盟链由多个可以根据业务动态生成的通道构成, 将一项业务映射为一个通道, 将这项业务的参与企业、业务关系及相关交易数据映射为通道

中的共识节点、链码（智能合约）和相应的账本。此外，联盟链中的每个通道都包括具有政府官方背景的监管机构、备案中心和认证机构。每个通道的参与方共同维护一个分布式的数据库，可保障数据的不可篡改性，实现产业链数据安全、透明、共享。图4展示了在联盟链架构下两组野生农产品产销联盟的数据共享过程。

针对联盟链场景下可能出现的隐私泄漏问题，

本文分别使用通道和HFL（Hyperledger Fabric Ledger）中的私有数据模块来解决通道间和通道内成员隐私数据保密的问题。在不同的业务联盟之间，可以利用通道的性质形成业务联盟间数据的天然隔离。在同一个业务联盟内实现参与方隐私数据的保护，联盟内的节点可以通过创建私有数据集来实现通道内的组织子集定义，进而实现隐私数据的保护。

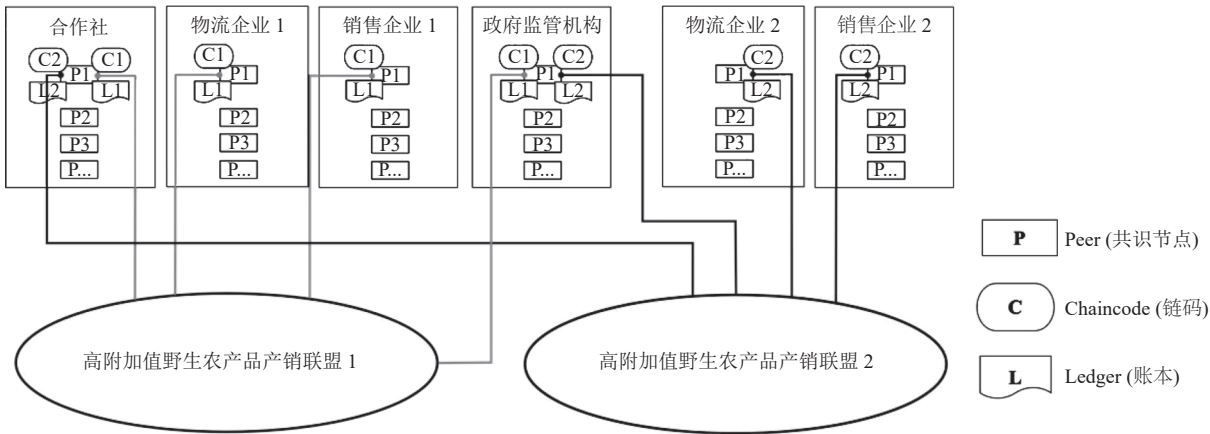


图 4 联盟链架构下野生农产品产销联盟的数据共享过程示例

（二）“双轨”的数据存储机制

区块链作为一种分布式的账本，受限于网络技术和存储技术，账本的大小不能够进行无限扩充，只能存储体量较轻的表单数据。然而野生农产品供应链溯源数据具有多源异构、数据量巨大的特点。因此本文设计一种“双轨”的数据存储机制，将实现大体量的、有篡改风险的数据的哈希值存储到链上，而将对应的数据存储到链下，利用哈希函数单向加密的性质实现数据的不可篡改。这里，“双轨”是指一条轨道进行链上数据的存储，另一条轨道进行链下数据的存储。具体而言，“双轨”的数据存储机制包括数据上传机制与数据查询机制。

数据的上传机制包括了数据准备和数据上传两个部分。数据准备主要是基于数据的防伪和验证需求特性对上链数据和下链数据进行区分，将需要进行防伪和验证的数据上传至区块链，而无需防伪和验证需求特性的数据存储至线下的数据库中。本文溯源系统中的链下数据和链上数据如表1所示。数据上传分为上链数据和下链数据两类上传操作，上链数据可直接上传至区块链节点，而下链数据则需要先通过客户端上传至线下或云数据库服务器，由后端处理生成对应的hash摘要并将hash摘要同上链数据一同打包上传至区块链节点。区块链节点将打包

后的数据经过网络的提交背书之后进行广播，最终上传至区块链账本。

表 1 溯源系统的链下数据和链上数据

采购信息	链上数据 链下数据	采购时间，采购员，采购地点，采购批次 无
采摘信息	链上数据 链下数据	采摘村民，采摘重量 采摘图片、视频
收购信息	链上数据 链下数据	收购员，收购时间，称量重量，采购批次 无
出入库信息	链上数据 链下数据	出入库操作员，出入库时间，采购批次 仓库环境数据
分级信息	链上数据 链下数据	分级员，分级时间，分级批次 分级结果信息
发货信息	链上数据 链下数据	发货员，发货时间，订单批次 无

数据的查询机制包括了链上数据和链下数据查询。具体而言，数据查询请求由客户端设备发起，后台处理相应的请求并连接区块链和数据库进行信息的查询。需要特别说明的是，针对待查询的链下数据，数据库向后台返回相应的请求数据后将其进行hash摘要生成，并与从区块链上返回的hash摘要数据进行比对。若比对的结果一致，则向终端返回相应的数据；若比对的结果不一致，则向终端提示数据篡改的风险可能。图5展示了“双轨”数据存储机制的概念框架。

区块链网络和数据库为野生农产品构建了一个

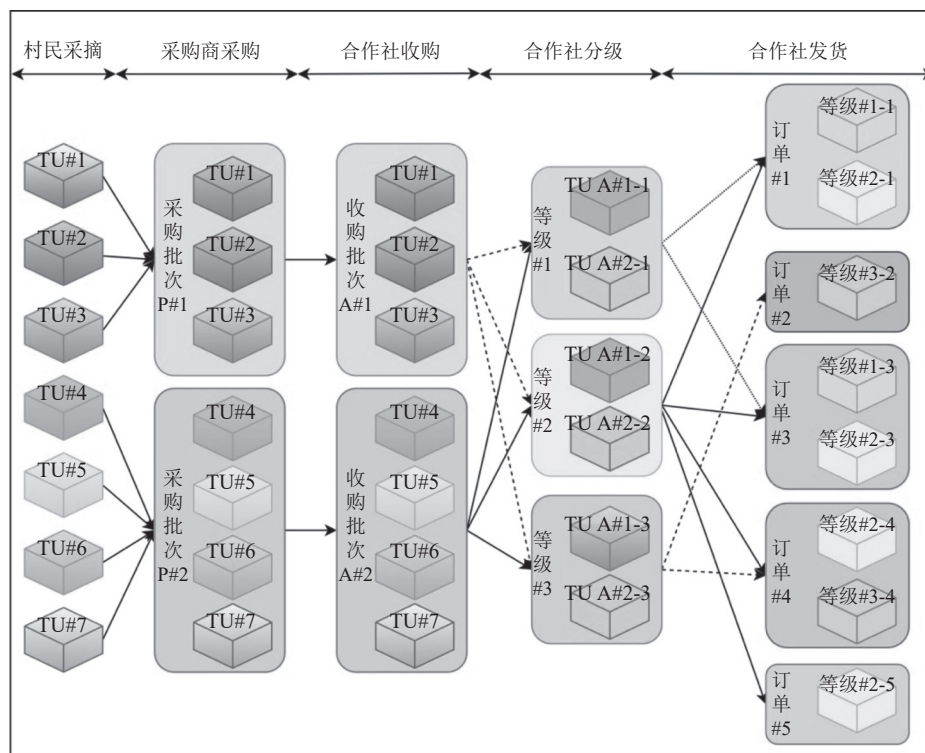


图 6 供应链过程批次的混合、拆分过程（TU为溯源单位）

MSP实现溯源系统成员信息权限动态管理方法。如图7所示，溯源系统的PKI架构主要由证书机构（Certificate Authority）组成，向所有参与方（如合作社、采购商、政府监管机构）发放数字证书。CA是一个受信任的一方（例如，政府机构），在本文系统中由Hyperledger Fabric中默认的CA授权机构担任，为所有PKI证书提供信任根，并提供服务来验证、颁发和撤销个人的身份。此后，在通道和本地配置中的MSP对参与方的权限进行控制，验证参与者的CA是否符合要求，并标识参与者在节点或通道上拥有的特定特权，将身份转换为角色。

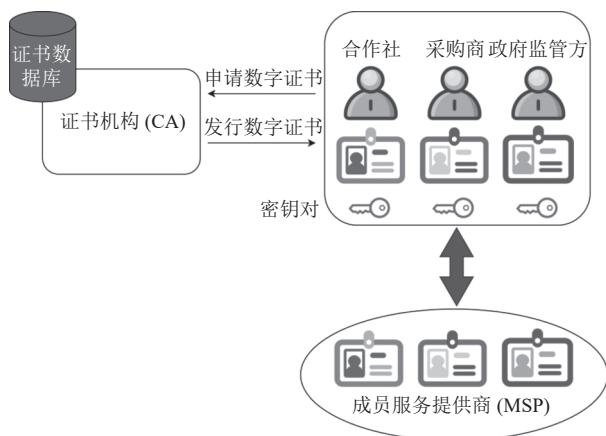


图 7 身份管理与验证

第二，本文使用MySQL数据库进行链下数据的存储，使用LevelDB对链上数据（包括链下数据

的hash摘要值）以K-V形式进行存储，实现基于系统设计中的“双轨”存储机制。

第三，本文在各个供应链环节建立相应的智能合约实现系统的向前追溯和向后追溯的功能。如表2列出了智能合约中定义的一系列交易。交易的资源为供应链过程中的农产品，但在不同的环节下其单位不尽相同，表现为粒度的大小存在差别。例如在采购阶段农产品的单位为一批次的采购单位，而这一批次的采购单位由若干个村民采摘单元组成，前者的粒度大，后者的粒度小。供应链的参与方对这些交易资源进行操作，每个参与方都与一个身份相关联，支持的操作包括：CREATE、READ、UPDATE和DELETE。

表 2 智能合约中定义的交易样本

交易名称	参与方	操作	资源
创建采购信息	采购商	CREATE	采购批次
创建收购信息	合作社	CREATE	采购批次
创建出入库信息	合作社	CREATE	采购批次
创建分级信息	合作社	CREATE	等级批次
创建发货信息	合作社	CREATE	订单批次
历史采购信息	采购商	READ	采购批次
查询溯源信息	消费者	READ	订单批次
用户管理	管理员	ALL	账户信息
历史收购信息	合作社	READ	采购批次

在实现上述方法的基础上，本文基于B/S架构、通过Hyperledger Fabric进行系统分布式部署，最终实现溯源系统的原型。系统开发所使用的语言

包括Golang, JavaScript, HTML和CSS, 前后端的数据处理和交换通过json加以实现。原型系统使用VMware虚拟机来部署整个区块链网络, 区块链网络的组织成员包含采购商、合作社、物流商、销售商以及政府监管方。各组织成员通过一个门户网站作为用户操作的人机界面, 在网络门户发送请求, 调用系统的API以实现业务逻辑。其中, 用户操作界面如下图8所示。

在原型系统利用Hyperledger Explorer监控区块链网络的运行情况。Hyperledger Explorer允许内部浏览由链上成员创建的账本项目, 获取网络和链码

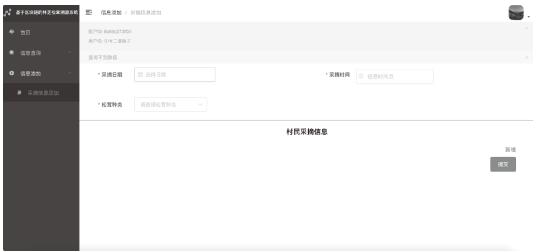


图 8 溯源原型系统用户操作界面图

状态, 查看区块和交易, 按条件过滤区块, 并获取新区块的实时通知。图9显示了区块18的细节, 如交易号、区块哈希、数据哈希和上一区块的哈希。

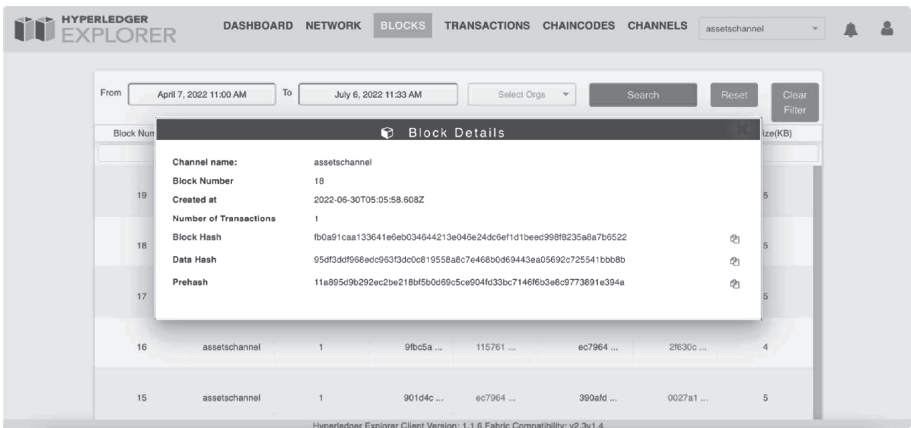


图 9 Hyperledger Explorer的区块信息显示图

五、结论

本文基于Hyperledger Fabric架构, 考虑高附加值野生农产品的产销过程, 结合区块链与物联网的技术特点, 创建了一个基于区块链的野生农产品的溯源系统。论文通过对现有的野生农产品的产销供应链流程再造, 构建了野生农产品的完整溯源链; 针对根据具体业务而动态变化的信息流和物流参与方, 设计了一种溯源系统成员信息权限动态管理的方法; 针对多源海量的溯源数据的防篡改与去中心化存储难题, 设计了一种“双轨”数据存储机制, 在链上存储链下数据的hash映射, 实现链上链下数据的协同存储; 针对供应链过程中存在的多次混合、拆分过程, 源头信息难以定位的难题, 设计了可追溯性智能合约, 实现溯源系统的向前和向后追溯。本文针对野生农产品设计了一套可行的追溯方案, 并重构了现有的高附加值野生农产品供应链流程, 实现对供应链全流程数据的查询和异常感知, 增强消费者对农产品的信任程度, 拓展了区块链技术在农产品品质追溯方面的应用范围。目前, 本文相关成果正在西藏进行应用落地, 针对林芝松茸进

行溯源系统的部署, 后续本文的理论和方法将会进一步应用于西藏的其他农特产品, 例如波密天麻、那曲虫草等等。系统落地应用后, 本文相关成果将会成为西藏自治区乃至中国国内第一个松茸区块链溯源系统, 在为国内松茸行业的品质溯源提供示范应用的同时, 能够进一步规范国内的松茸产销市场, 实现国内松茸产业“优质优价”、“价值共创”的目标。

然而, 本文仍然存在一些需要改进和优化的地方: 首先, 现有的物联网环境已经在一定程度上保证了信息来源的真实性, 但是依旧存在着信息来源失真的风险, 因此如何进一步确保上链数据的真实性是一个需要进一步研究的方向。其次, 在系统的实际运行过程中存在吞吐量较低的问题, 单次查询涉及多个区块时, 区块链系统的响应花费时间较长, 因此, 需要进行进一步的查询优化, 以适应大吞吐量的信息查询。

参考文献

[1] 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.

[2] HU F, WU Z. Research on grain supply chain mode innovation: a case study of China non-primary grain-yielding areas[C]. Wuhan, China: 2010 International Conference on Management and Service Science, 2010: 1-4.

[3] CHEN C, ZHANG J, DELAURENTIS T. Quality control in food supply chain management: an analytical model and case study of the adulterated milk incident in China[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 152: 188-199.

[4] NAKASUMI M. Information sharing for supply chain management based on block chain technology[C]. Thessaloniki, Greece: 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI), 2017: 140-149.

[5] LAWSON B, POTTER A, PIL F K, et al. Supply chain disruptions: the influence of industry and geography on firm reaction speed[J]. *International Journal of Operations & Production Management*, 2019, 39: 1076-1098.

[6] 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.

[7] ZHANG X, SUN P, XU J, et al. Blockchain-based safety management system for the grain supply chain[J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 36398-36410.

[8] SALAH K, NIZAMUDDIN N, JAYARAMAN R, et al. Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 73295-73305.

[9] YANG X, LI M, YU H, et al. A trusted blockchain-based traceability system for fruit and vegetable agricultural products[J]. *IEEE Access*, 2021, 9: 36282-36293.

[10] PING H, WANG J, MA Z, et al. Mini-review of application of IoT technology in monitoring agricultural products quality and safety[J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, 11(5): 35-45.

[11] 工布江达县松茸加工农民专业合作社. 西藏工布江达县朱拉乡松茸加工农民专业合作社带领村民走上致富路. [EB/OL]. (2020-11-19). <https://new.qq.com/omn/20201119/20201119A03TRR00.html>.

[12] European Commission. Regulation(EC)178(2002). Laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety[S]. London: The Stationery Office Ltd, 2002.

[13] BOSONA T, GEBRESENBET G. Food traceability as

an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain[J]. *Food Control*, 2013, 33(1): 32-48.

[14] 刘晓敏. 基于二维码和RFID个体标识技术的农产品溯源系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.

[15] ABAD E, PALACIO F, NUIN M, et al. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 93(4): 394-399.

[16] BADIA-MELIS R, MISHRA P, RUIZ-GARCÍA L. Food traceability: new trends and recent advances. a review[J]. *Food Control*, 2015, 57: 393-401.

[17] COSTA C, ANTONUCCI F, PALLOTTINO F, et al. A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(2): 353-366.

[18] TURCHINI G M, QUINN G P, JONES P L, et al. Traceability and discrimination among differently farmed fish: a case study on Australian murray cod[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(1): 274-281.

[19] GUO B, WEI Y, PAN J. Progress in the application of isotopic fingerprint analysis to food origin traceability[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(3): 284-289.

[20] QIAN J, YANG X, WU X, et al. A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, 89: 76-85.

[21] HU J, ZHANG X, MOGA L M, et al. Modeling and implementation of the vegetable supply chain traceability system[J]. *Food Control*, 2013, 30(1): 341-353.

[22] THAKUR M, MARTENS B J, HURBURGH C R. Data modeling to facilitate internal traceability at a grain elevator[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(2): 327-336.

[23] 吕星辰, 孟军. 基于区块链的农产品溯源: 优势与挑战[J]. *中国农学通报*, 2022, 38(9): 157-164.

[24] 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: 102008.

[25] HAO Z, MAO D, ZHANG B, et al. A novel visual analysis method of food safety risk traceability based on blockchain[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(7): 2300.

[26] 王千阁, 何蒲, 聂铁铮, 等. 区块链系统的数据存储与查询技术综述[J]. *计算机科学*, 2018(12): 12-18.

编辑 何婧