DOI:10.13246/j.cnki.iae.2024.05.005

基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系:实践、挑战与建议*

胡　雯　黄季焜　(北京大学现代农学院中国农业政策研究中心,北京,100871)
陈富桥　(中国农业科学院茶叶研究所,杭州,310008)
饶思航　易红梅　(北京大学现代农学院中国农业政策研究中心,北京,100871)

摘　要:区块链技术具有去中心化和信息难以篡改的技术特征。基于区块链技术的农产品溯源体系能有效激励农产品供应链各主体采取措施保障农产品质量安全。在加速布局追溯体系建设、优化数字化发展的环境下,中国农产品区块链溯源技术迎来重要发展机遇,涌现了一些政府主导的创新实践,但总体而言该技术应用仍处于初级阶段。本文系统地梳理了砀山酥梨、潍坊韭菜、西湖龙井茶三个实践案例,研究发现目前农产品区块链溯源技术应用仍面临溯源成本高、产品溢价难预期、利益分配机制不健全等关键挑战。为促进中国农产品区块链溯源体系建立,本文根据国内外实践经验提出以下建议:实施重点环节溯源以降低成本和优化溯源体系;提供公开透明的公众投诉渠道以提升产品溢价;采用闭环式运作且配套严格的质量安全监管制度。

关键词:区块链技术;农产品溯源;供应链;食品安全;实践

一、引言

中国政府高度重视农产品质量安全,积极推动追溯体系建设。农产品具有信任品(Credence Goods)属性,消费者难以识别产品质量,导致农产品质量安全问题频发(周洁红等,2020;芦千文,2021;谭砚文等,2023)。为此,中国自2002年开始推动农产品质量安全追溯体系建设,农业部专门成立了农产品质量安全中心。2004年,中国开始建立完备的质量安全档案记录和农产品标签管理制度。随后,各地方政府出台了农产品质量安全追溯的指导意见。2012年,中国发布了《GB/T27341—2009危害分析与关键控制点(HACCP)体系食品生产企业通用要求》,在关键节点进行食品安全的事前规制。2023年1月1日,新修订的《中华人民共和国农产品食品安全法》正式施行,建立了食用农产品质量安全追溯目录制度。2024年中央"一号文件"强调,加强食用农产品产地质量安全控制和产品检测,提升"从农田到餐桌"全过程食品安全监管能力。农产品溯源能有效破解农产品供应链各环节事前信息不对称和事后责任难以追溯的问题,构建能满足"人民群众对美好生活的向往"的现代化食品供应体系(黄季焜,2023a)。

农产品质量安全追溯体系在实践运行中仍面临诸多挑战。自2004年原农业部在北京和河北试点以来,中国农产品追溯体系建设取得了较大进展,但目前仍面临多重挑战。首先,信息中心化管理导致溯源信息透明度和可信度低,食品安全难以得到有效保障(Sperber,2005)。此外,由于食品种类繁多、成分复杂,政府难以做到全面精准检测,亟

*　项目来源:国家自然科学基金项目(编号:71934003,72273003,72203003,72361147522),北京大学现代农业研究院数字技术创新项目和亚洲开发银行技术援助项目(编号:KSTA6993-PRCS193927),教育部人文社科青年基金项目(编号:23YJC790207),中国博士后科学基金面上项目(编号:2021M700225)。易红梅为本文通讯作者

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

待设计质量认证和信息披露等规章制度(龚强等,2015)。最后,溯源农产品未能在销售市场中形成“优质优价”,溯源产品溢价低,导致中国农产品质量安全追溯体系基本由政府主导,市场主体参与和共享数据动力不足(龚强等,2022)。

区块链因其去中心化和信息难以篡改的技术特征,在农产品溯源领域存在诸多优势。国际上以大型粮食和食品供应商、网络开发商、食品零售商为主体探索以区块链技术为基础的农产品溯源(Antonucci 等,2019)。例如沃尔玛、家乐福、联合利华等国际大型零售商加入的 IBM 区块链平台,涉及小麦、羊毛、葡萄酒、芒果、牛肉等农产品(Lin 等,2022;Kamath,2018)。鉴于农产品行业规模和产品多样性,区块链溯源技术率先应用到价值较高(水果、牛肉等)或食品安全风险较高(绿叶蔬菜)的农产品①。不同于 IBM 区块链的案例,日本农协建立的农产品区块链溯源重点关注流通环节,将农民组织起来遵守严格的生产标准和监管制度,实现降低成本和提高产品溢价的目标(夏辉等,2022)。近些年来,得益于政府加速布局追溯体系和优化数字化发展环境,中国涌现了一批基于区块链技术的溯源创新实践(黄季焜,2023b)。目前,中国在酥梨、韭菜、龙井茶等产品做了初步尝试,但受限于技术采纳的成本收益,项目难以有效落地和推广。日本农业人多地少的特征与中国国情类似,具有参考借鉴价值,故此本文重点分析中国和日本的案例。

二、文献综述

学界认为区块链的去中心化和不可篡改的技术特征对佐证食品质量安全具有重要价值。信用品市场的交易效率取决于卖家和买家的信息透明度(Gaigné 等,2022;Mejia 等,2021)。由于农产品供应链各利益主体的信息披露程度低,消费者不信任食品质量安全(宋晓晨等,2022)。在区块链技术之前,条形码、二维码、射频识别、物联网等技术已被广泛应用于农产品质量安全追溯,但这类技术采用中心化记账方式存在信息篡改风险(Jin 等,2014;Islam 等,2021;Shew 等,2022)。从技术原理上看,区块链是分布式的点对点账本系统,利用哈希算法和共识机制,有效解决篡改信息的问题(Rana 等,2021;Extance,2017;Drescher,2017;汪普庆等,2019;刘光星,2020;刘鸿超等,2021)。此外,区块链技术也能够解决中介机构延迟支付和交易货期长的问题,缩短了交易时间和原产地溯源时间(Kamble 等,2020),减少食品召回成本(Lin 等,2020)。

区块链技术在农产品质量安全追溯的应用处在初级阶段(Stranieri 等,2021)。已有文献普遍认为技术采纳的关键在于成本收益的权衡(Foster 等,2010;Al-Jaroodi 等,2019)。保障信息的真实和准确需要高昂的投入成本(Abadi 等,2018),因此生产商对区块链溯源技术的市场回报往往持观望态度。此外,由于区块链溯源技术高度依赖于信息通讯技术和数字化水平,区块链应用程序不适合小规模运营。在 IBM 的私有区块链平台,小型生产商可以免费上传共享信息,但需要为追溯产品的原产地认证和可持续认证付费②(Morris,2019)。区块链溯源技术的应用中,为追溯信息而投入的自动化传感器、跟踪器、视频等物联网设备的成本高昂且难以应用在多元化的果蔬生鲜行业(Galvez 等,2018)。因此,考虑到区块链溯源技术的初始投资和运营维护成本,生产者需要确保免受责任和产品召回且消费者有支付意愿才会采纳这项技术。

基于区块链技术的农产品追溯体系能否推广,也取决于消费者对区块链溯源产品的支付溢价(Liu 等,2019;Liu 等,2015;Liu 等,2023;Erol 等,2020)。有学者围绕消费者对区块链溯源支付意愿展开研究,但研究结论存在差异(Yang 等,2021)。相对于传统溯源产品而言,37%的中国消费者愿意为区块链溯源的进口美国牛肉每磅支付溢价 0.6 美元(Lin 等,2022)。Rao 等(2023)发现高学历高收入的中国年轻消费者更看重产品质量安全,对区块链溯源茶叶的支付溢价更高。但 Shew 等(2022)认为消费者更看重美国农业部认证标志而非区块链溯源标签,相对于技术,消费者更关心追

① IBM. About IBM Food Trust,https://www.ibm.com/downloads/cas/8QABQBDR

② IBM. Join the Power of IBM Food Trust with Walmart,https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust/get-started#1312531

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

溯体系的目标实现。

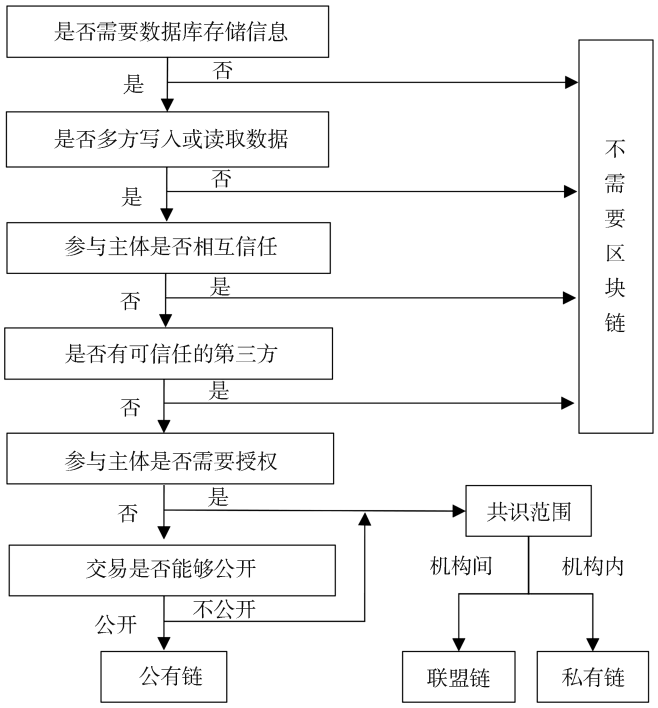
本文将对比中国砀山酥梨、潍坊韭菜、西湖龙井茶三个实践案例与日本农协案例的应用场景,分析技术采用目标、技术的实施效果、相应的成本收益,从而对未来基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系发展和应用做出初步研判。

三、研究方法

(一)抽样原则和依据

基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系研究仍处于探索性阶段,属于新的或现有研究不充分的领域,适用案例研究的方法(Yin,2013;Kamilaris 等,2019;毛基业,2020)。本文选择案例的标准为:(1)拟解决问题具有典型性。追溯产品面临地理标志产品增值有限、原产地品牌保护不力或食品安全监管不足等问题,对健全农产品追溯体系有潜在需求。西湖龙井茶和砀山酥梨都面临产品被仿冒和地理标识保护的问题。韭菜是农业农村部在农产品质量安全监测中不合格率最高的蔬菜之一,存在质量安全问题。(2)供应链类型符合典型性原则。酥梨和韭菜供应链短,产品不需要深加工。西湖龙井供应链相对较长,涉及生产、加工、营销等多环节多利益主体的激励问题。日本农协采用地产地销策略,供应链较短,节约了流通成本和交易费用(刘启明,2015)。(3)选择典型性的嵌入平台研究不同支持系统的追溯体系。砀山梨以支付宝端口的蚂蚁链为嵌入平台,潍坊韭菜以电信的“翼支付”为接入平台,西湖龙井以浙江省“浙里钉”为嵌入平台,日本宫崎县蔬菜以国际电通信息服务公司为嵌入平台。

抽样依据理论抽样准则和典型性原则(Eisenhardt 等,2007)。本文依据 Kandaswamy 等(2018)提出的 KF 区块链适用判别原则(见图 1),具体为以下条件:(1)是否需要数据库存储信息;(2)是否需要多方写入或读取数据;(3)参与主体是否相互信任;(4)是否有可信任的第三方;(5)参与主体是否需要授权;(6)交易能否公开形成共识。综上,判断区块链符合公有链、联盟链、私有链的何种类型。



资料来源:Kandaswamy 等,2018

图 1　区块链适用流程

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

根据 KF 原则判别如下(见表 1):(1)生产者和销售者需要数据库存储生产和流通信息;(2)需要农户和企业、物流公司、消费者、监管部门等多方写入读取数据;(3)由于缺乏统一的生产标准和执行程序,参与主体间缺乏信任;(4)尚无可信任的第三方来背书,即使砀山酥梨、潍坊韭菜和西湖龙井有国家颁发的地理标识和有机认证,仍然无法解决消费者信任的问题;(5)三者在记录信息时参与主体需要授权才能写入信息;(6)从共识范围来说,样本中的区块链酥梨和韭菜均是在机构内达成共识机制,而区块链茶叶是在龙井产区的生产、流通和加工主体间达成共识,日本区块链蔬菜是在农协组织和中下游之间。上述案例中区块链韭菜是一方写入数据,并不需要区块链。其他三个案例均需要数据库存储信息,多方写入数据,参与主体间缺乏信任,判断为需要区块链。其中,酥梨适用私有链,西湖龙井和日本蔬菜适用联盟链。

表 1 各案例的区块链适用流程的判定

条件	中国案例			日本案例
	区块链+酥梨	区块链+韭菜	区块链+茶叶	区块链+蔬菜
供应链长度	短	短	长	短
是否需要数据库存储信息	是	是	是	是
是否多方写入或读取数据	是	否	是	是
参与主体是否相互信任	否	否	否	否
是否有可信任的第三方	否	否	否	否
参与主体是否需要授权	是	是	是	是
交易是否公开	否	否	否	否
共识范围	机构内	机构内	机构间	机构间
区块链类型	私有链	不需要	联盟链	联盟链

资料来源:经作者整理调研和访谈材料得到

(二)数据收集

根据案例研究的证据三角原则和数据丰富性原则,本研究团队从多种数据来源获取研究问题需要的信息与资料。2021—2022 年,团队成员对以区块链技术为基础的农产品追溯体系持续追踪调研。期间与政府职能部门和技术采纳主体开展了 14 次深度访谈,调查中尽量保证同一问题由不同被访对象回答,结合公共数据资料比较访谈数据。针对特定访谈主题,研究团队都会提前拟定访谈提纲发给访谈对象。每次访谈有 2~4 名研究人员参与,时间为 1~3 小时。访谈结束后,录音资料会在 24 小时之内被转为文字资料,并就模糊之处及时联系访谈对象进行确认,最终整理出的访谈记录和资料累计达 18 余万字。

数据收集过程中,研究团队采取了一系列措施降低偏差以提高研究的信度与效度。第一,调研期间对同一案例的访谈与数据收集间隔尽量不超过 6 个月(Huber,1985)。第二,研究团队在数据收集中不断获得实时数据,比较实时数据和回顾数据,确定二者没有明显差异(Eisenhardt 等,2007)。第三,使用多个数据来源进行研究数据的“三角验证”,避免不同被访者回答存在潜在偏误(Miles 等,1994)。团队成员与被访者非正式会面、电话或互联网沟通等方式交流。总的来说,本文收集的信息包括四类:(1)供应链中的参与主体——政策制定者、技术提供方、农户、龙头企业的深度访谈资料;(2)现场调研中召开的调研会议记录和录音;(3)网站、公众号的新闻报道;(4)部分公开资料,例如《区块链白皮书》《溯源典型案例》等。

四、基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系典型案例实践

本研究团队根据已有研究和调研所获数据,梳理出中国砀山酥梨、潍坊韭菜、西湖龙井茶、日本区块链蔬菜的应用背景和追溯体系构建的实施步骤。其中,追溯体系建设主要分为五个步骤:(1)划定核心产区;(2)确定溯源的基本信息;(3)明确多主体写入溯源数据的任务目标;(4)探索溯源码的生

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

成过程;(5)配套制度。

(一)安徽砀山“区块链+酥梨”的实践案例

酥梨是安徽省砀山县的地理标志产品。砀山县40万亩酥梨种植全部获得无公害基地认证,10万亩获得绿色食品认证,600亩获得有机水果生产基地认证。尽管砀山酥梨的质量认证工作已经较为完善,但砀山酥梨电商产业内恶性竞争却使得地理标志产品的品牌保护受到威胁(胡珺祎等,2022)。由于外部山寨品种的进入导致“劣币驱逐良币”,砀山县本地的酥梨出现了“好梨卖不出好价”的现象,冲击了梨的品牌价值。2020年9月,安徽省砀山县人民政府、中国农业银行安徽省分行、蚂蚁链区块链科技共同签署框架合作协议①。为保护原产地品牌价值,打造了国内“区块链第一村”,对砀山酥梨进行质量安全追溯。

“区块链+酥梨”追溯体系实现的步骤如下:(1)设定酥梨地理标识范围,划定有机产区认证示范区:砀山县在果园场、园艺场、良梨镇等黄河故道沿线的酥梨核心种植区,用地理标志电子围栏划定核心园1500亩,辐射园9000亩。(2)确定溯源信息:蚂蚁链溯源证书包括所在区块、唯一编码、成块时间、上传主体等信息(见图2)。同一基地或同一生产批次的梨共用一个区块链溯源码。生产数据由物联网设备自动上传,阿里云协助安装AloT数字农场平台,监测果园的温度、湿度、风速、光照、辐射、二氧化碳浓度、水资源等情况,但生产种植过程信息由经营者手动写入(见图3)。(3)多主体写入溯源数据:2020年以区块链技术为基础的砀山酥梨追溯体系启动后,位于酥梨核心种植区的上链经营主体下载企业版支付宝,每个支付宝账号匹配一个端口,用于上链企业填写企业基本信息②。(4)生成溯源码:经营主体从支付宝企业端打印区块链溯源码,贴在产品包装上。(5)配套制度建设:政府主导的模式,县商务局负责溯源企业的准入审核,符合条件的企业才让其上链。安徽省政府一年允许40家企业进驻安徽省农产品质量安全追溯管理平台,每家企业补贴8万元。然而,至本文发表前,砀山县已经在砀山酥梨质量溯源中停用了蚂蚁链的溯源服务。

注:尽管蚂蚁链的溯源服务仍在对外提供,但砀山酥梨和梨膏均停用了蚂蚁链的区块链溯源服务,目前在支付宝端口的蚂蚁链精品广场已经无法扫出溯源信息

资料来源:蚂蚁链溯源服务,https://antchain.antgroup.com/products/baas;中国青年网,https://baijiahao.baidu.com/s?id=1685489941395172152&wfr=spider&for=pc

图2　砀山梨的蚂蚁链区块链溯源

① 砀山县人民政府,https://www.dangshan.gov.cn/public/6622315/147674551.html

② 企业端操作溯源管理模块,https://tech.antfin.com/docs/2/131962#%E9%85%8D%E7%BD%AE%E6%BA%AF%E6%BA%90%E4%BF%A1%E6%81%AF

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

注:2023 年 7 月由砀山县与砀山梨源生态农业有限公司合作推进的追溯体系。尽管蚂蚁链溯源不再使用,但负责人表示仍然使用上一套物联网设备,实时监测生产基地的温度、湿度等生产环节信息,分拣和仓储等流通环节信息

图 3　砀山梨的溯源

(二)山东潍坊“区块链+韭菜”的实践案例

韭菜是农业农村部重点监测的 28 种蔬菜之一①。韭菜极易感染灰霉病,需要施用腐霉利进行防治。但韭菜生长周期短,从田间到餐桌的时间不足以让残留的腐霉利挥发,导致腐霉利超标。根据 2019 年全国 7 个省份 124 个韭菜生产基地和批发市场的 462 份韭菜样品进行取样验证的质量安全报告,腐霉利总体检出率为 40.2%,超标率为 18.0%②。为探索保障韭菜质量安全的有效方式,2021 年 7 月,农业农村部信息中心、潍坊市人民政府、中国电信集团有限公司和山东省农业技术推广中心在山东省潍坊市坊子区试点建设“区块链+韭菜”的农产品质量安全追溯体系③。

“区块链+韭菜”追溯体系实现的步骤如下(见图 4):(1)划定核心产区,定额发放溯源码:划定玉泉洼合作社 116 亩的韭菜种植大田为核心产区*。(2)确定溯源信息:溯源信息产地的日照时数、气温、降雨量等实时气象信息;清园、整地、浇水、采收、定植、除草等种植工序的信息;韭菜生长期间的农事操作信息。(3)多方写入溯源数据:玉泉洼韭菜生产基地安装了物联网设备,包括智能水肥一体化设备、智能环境监测设备、视频监测设备,自动上传韭菜生长环境的监测数据。农事操作人员在手机上使用“芯富农 APP”上传种植地块信息、种植作物信息、农事信息等。(4)生成溯源码:为定额发放溯源码,农户要在收获环节上传采收重量,在后端配备追溯标签打印机、带有 RFID 功能的电子秤等设备,用于自动记录交易称重的交易人、重量和时间。电信公司技术人员协助农户上传韭菜生产数据和流通数据到区块链溯源的后台系统。中国电信翼支付商城已上线“可追溯蔬菜专区”,用于消费者购买及评价商品。(5)配套制度建设:目前以政府推动试点示范、企业参与主导为主,仅在玉泉洼合作社的生产基地推行和严格生产标准和规范管理制度,未对其他新型经营主体和农户开放。

---

① 农业农村部,http://www.moa.gov.cn/ztzl/nybrl/rlxx/202307/t20230704_6431515.htm

② 农业农村部农产品质量安全监管司.农产品质量安全工作简报第 16 期.韭菜质量安全状况分析报告,http://www.jgs.moa.gov.cn/gzjb/202009/t20200923_6352918.htm

③ 农业农村部信息中心.农业农村部“区块链+蔬菜”综合试点工作推进活动举行,http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202209/t20220905_6408640.htm

* 划定面积:最初是 20 亩,后逐年扩大到 60 亩、116 亩,目前正在扩大规模至 150 亩

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

资料来源:中国电信"翼支付",https://h5.bestpay.com.cn/subapps/automake-h5/nongyequkuailian/index.html#/qukuailian

图 4　区块链韭菜的溯源

(三)浙江杭州"区块链+龙井茶"的实践案例

《2023 年中国茶叶区域公用品牌价值评估报告》显示,西湖龙井以 82.64 亿元的品牌价值蝉联榜首。西湖龙井市场需求大,核心产区总产量低,西湖龙井加工工艺外流,大量企业生产扁形绿茶冒充西湖龙井。普通消费者对西湖龙井茶的辨识力较低,存在劣币驱逐良币现象。2019 年春茶上市期间,新闻媒体曝光贴标卖假西湖龙井的现象后,品牌形象严重受损。

资料来源:中国电信的翼支付商城,https://h5.bestpay.com.cn/subapps/automake-h5/nongyequkuailian/index.html#/qukuailian

图 5　区块链西湖龙井茶的溯源

为此,浙江省杭州市政府推动基于区块链技术的西湖龙井茶证明标识全方位追溯管理,旨在实现西湖龙井茶产量核准、证明标识划转申领、贴标销售、防伪追溯的全站式闭环管理。西湖龙井茶区块链溯源系统的架构如下(见图 5):(1)划定西湖龙井核心产区,定量管理和闭环运行。茶农的西湖龙井茶园面积一年一核,测绘数据录入数字化管理系统,与最终的销售茶叶量对比。数据一旦异常,市场监管部门就介入调查。(2)串联溯源信息,全流程闭环管理:建立茶园自动监测站 10 个,布设气候采集一体化、土地墒情仪、虫情监测设备 30 套。建立无人机数字飞防场景,开展全域茶园无人机统防统治。以狮峰龙井为例,身份码唯一的区块链证书上写明茶叶产地、茶叶品名。追溯信息有产品批次信息、茶叶种植和加工的信息。由于龙井茶的品质很大程度由炒茶师傅工艺决定,所以加入辉锅、青锅、摊青的日期、照片和操作人员信息。(3)多方写入和读取数据:管理系统为每家茶农、茶企建立

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

独立的电子账户、独立二维码和 IC 卡。依托浙农码和区块链技术,将西湖龙井茶的产地、主体、采摘、加工、检测、包装等全流程纳入溯源管理。(4)生成溯源码:严格的身份识别和地理标识溯源化。对所有发放的防伪溯源专用标识标进行统一编号,茶农用证明标 N,企业用证明标 Q,根据编号随时进行源头追溯。通过上驻主体限制,精准控制可销数量管控、产品溯源管理,实现西湖龙井产量。标识防伪按照人民币的防伪标准制作,所有西湖龙井茶的产品包装上必须等量张贴专用标识,不贴专用标识的产品视同假冒产品。专用标识的样式在上市前才公开,京东、拼多多、淘宝等平台商城也要求西湖龙井茶上架前必须贴有专用标识。(5)配套制度建设:在茶叶质量检测方面,采用"企业自检+第三方检测+政府抽检"的检测体系为产品质量安全背书。构建西湖龙井茶品牌数字信用模型,生成诚信档案、红黑榜体系,建立信用管理机制,系统自动计算茶农茶企的信用值。

(四)日本农协"区块链+蔬菜"的实践案例

日本和中国农业都具有生产者分散,供应链主体多的特点。日本的食品追溯系统建设比中国略早,近年也积极发展基于区块链技术的农产品质量安全追溯体系。日本从 2001 年开始推动"食品可追溯制度",大部分超市安装了产品溯源终端。2003 年日本开始推行牛肉追溯系统和牛肉身份证制度,消费者可在销售终端查询牛肉产地、品种、出生时间、饲养者和饲料成分等信息。2005 年日本农业协作组织(简称"农协")要求,必须对农协上市流通的农产品实现可追溯。2018 年 3 月 19 日,日本建立开放示范实验,用区块链技术确保有机农产品供应链的可追溯性以及食品质量安全。与国际电通信息服务公司(Information Services International-Dentsu,ISID)合作,搭建了区块链技术的智慧农业追溯平台(Smart Agriculture Traceability,SMAGt)。

以日本宫崎县绫町的蔬菜为例(见图 6),区块链溯源体系的流程包括:(1)溯源信息自动上链:记录生产者信息、收获和出库时间、流通信息和运输环境。为评估果蔬新鲜度,每个包装箱配置一个自动检测果蔬运输箱内温度、气体成分、存储温度、湿度的物联网传感器,监控箱子在运输过程中是否被打开,是否在适当的温度和地点存放。(2)多主体写入数据:分阶段追溯,以流通阶段为中心。生产阶段由政府对农户进行资质认证,确认所购农产品种子、化肥、农药等符合要求,监督农户检测土壤和产品质检。生产管理者记录采购和种植信息,了解种子、种苗的来源,流通环节和销售环节记录产品的进出、交易规模、供应商等信息。生产环节由农户上传数据,保证不使用农药和化肥;流通环节中,对果蔬农产品预冷,用高性能保温材料且无需制冷剂或制冷系统的可冷藏 Fresh Logi 盒子运送到超市,物联网传感器自动上传运输数据。消费者用智能手机扫描二维码读取信息后再考虑是否购买。与此同时,消费者的消费历史、评价反馈、复购行为都将被记录在区块链上。(3)生成溯源码:ISID 公司运用 SMAGt 将可视化交易状态与农业支持应用程序链接,生成溯源码。基于区块链技术的高度防篡改功能,SMAGt 不仅收集和记录农药和化肥等生产管理数据,预测收获时间和数量,还能可视化销售数据。(4)配套制度:在日本农协组织下,严格执行统一的生产标准和质检制度。此外,福岛县广野町振兴公社的香蕉、鸟取县鸟取市的梨也采纳了该技术。

(五)实践案例的实施步骤情况比较

综合案例的实践情况,本文整理对比调研素材后,判断了各案例的初步实施效果(见表 2)。尽管中国和日本案例实施步骤较为类似,都包括确定追溯信息、安装物联网传感器、多主体写入数据和配套制度等环节,但具体内容上存在差异。首先,不同于中国的全环节溯源的高设备成本和运营成本。日本案例着重以流通环节为中心双向进行,前端追溯食品来源,后端追溯流通销售,在包装箱配置物联网传感器以控制投入成本。其次,尽管都是多主体写入,但中国案例尚未接入消费者评价反馈的渠道,而日本案例可以在区块链应用程序上进行评价。最后,配套制度不同。中国案例多以政府主导试点示范,没有带动农户参与,导致各主体激励不足和技术采纳意愿不强,没有推动技术应用的制度设计。而日本案例则以日本农协牵头,用严格的会员管理制度,强有力地将农户组织起来,实现市场运行闭环化和监管制度内部化。综上所述,目前中国案例的投入成本远大于收益,亟需借鉴日本农协

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的案例经验,严格生产标准和质检制度,将外部监管内生化。

资料来源:ISID 与旭化成株式会社合作,https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000057.000043138.html;ISID 与其他协会合作的案例,https://www.isid.co.jp/news/release/2020/0107.html;ISID 区块链可追溯性示范实验的步骤、流程、每个人职责,https://japan.cnet.com/release/30247927/

图 6　日本 ISID 的 SMAGt 区块链溯源信息

表 2　各案例的实践情况和实施效果对比

实施情况	中国案例			日本案例
	区块链+酥梨	区块链+韭菜	区块链+茶叶	区块链+蔬菜
划定核心产区	设定酥梨地理标识范围,划定有机产区认证示范区	划定玉泉洼合作社韭菜种植大田为核心产区	划定西湖龙井核心产区,面积一年一核,对比销售数据	划定有机蔬菜生产基地面积
确定溯源信息	全环节:区块、唯一编码、上传主体、实时气象信息	全环节:实时气象、种植工序、农事操作时间和人员	全环节:串联溯源信息,全流程闭环管理	重点追溯:流通和运输环境的信息,消费者评价反馈
溯源设备	多	多	多	少
传感器	温湿度传感器	温湿度传感器	温湿度传感器	包装箱传感器
数字大屏	是	是	是	否
视频监控	是	是	是	否
收集频率	实时更新	实时更新	实时更新	关键节点
信息量	大	大	大	适当
多主体写入	多:上链企业、农事操作人、阿里云	单一:合作社内农事操作人员	多:茶农、茶企、中国移动	多:农协成员、企业、消费者、ISID 公司
溯源码生成	蚂蚁链:上传打印的区块链溯源码	电信翼支付:上传追溯码	浙里钉:使用防伪溯源专用标识	SMAGt:可视化交易与农业应用程序
价格	难以提高	仅少量产品价高	仅定额内产品价高	提高
配套制度	政府主导:县商务局负责审核溯源企业,补贴企业 8 万元	政府试点示范:合作社主导高门槛进入,统一生产标准	企业自检+第三方检测+政府抽检:检测体系和信用机制	日本农协高度组织农民:严格统一生产标准和质检制度
实施效果	激励不足:收不抵支,很难靠政府补贴实施和推广下去	激励不足:仅玉泉洼合作社实施,其他经营主体未参与	激励不足:溢价低于上链前的收益,很难拓展规模	有激励:重点环节溯源以控制溯源成本,收益高于成本

资料来源:作者整理调研和访谈材料

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

五、区块链技术应用的成本收益和实施效果

(一)“区块链+砀山酥梨”案例的成本收益及实施效果

砀山酥梨价格波动大且增值空间小,收益难以覆盖区块链技术的新增成本,无法实现预期增值目标。根据联合国粮食及农业组织统计,中国是全球排名第一的鲜梨主产区和消费国①。梨在中国是仅次于苹果、柑橘的第三大水果,但是,中国鲜梨产能长期过剩,获得全国地理标志产品的梨就有 87 个,居水果之首,竞争非常激烈②。成本投入上,区块链追溯体系是重资产的高投入系统,每 200~500 亩配备了土壤墒情仪 5~10 个,农田气象站 1 个,总投入 8 万~10 万元,年折旧约为 20%。而梨农的平均经营规模为 20 亩,小农户难以负担如此高的投入。此外,区块链溯源码会增加农户的人工投入成本。溯源需要生产者增加上传图片和生产信息、生成溯源码、人工贴码的时间;贴码成本由溯源平台费和二维码贴纸费用构成,平台费约为 3000 元,二维码贴纸则按数量计费,一箱酥梨的贴纸费用约为 0.5 元。然而,酥梨的利润空间极为有限。根据笔者调查,在考虑土地租金和人工成本的情况下,砀山酥梨的单位成本约为 2.5 元/公斤,而收购价波动大,一般在 1~10 元/公斤,平均在 2 元左右。按照每亩平均水平,即产量 2000 公斤/亩、价格 4 元/公斤、成本 2.5 元/公斤计算,每亩梨园的利润约为 3000 元。如果收购价被压低到 1 元/公斤,不算地租和雇工投入的情况下,收益仅能弥补农药化肥等物质投入。酥梨大多以“经纪人+果农”“合作社+果农”模式进行市场交易,收购方会尽量压低酥梨的收购价,梨农没有提高酥梨品质和产量的激励。

总的来说,砀山酥梨的区块链溯源增值空间有限,“区块链+砀山酥梨”项目难以依靠政府补贴持续实施。首先,项目及补贴激励的制度安排,容易催生脱离市场需求和公众需求的数字技术嵌入(付豪等,2019),从而出现大量安装传感器、数字化大屏等“数字形式主义”和“过度数字化”,不仅不利于提高收益和节约成本,反而增加了农民的负担,造成了大量财政和社会资源浪费。此外,区块链技术的应用效果评估存在片面性和短期价值取向,一旦项目 2~3 年结束验收后,商家和农户就不会再继续上传溯源信息,区块链溯源系统后台也处于停滞状态。

(二)“区块链+潍坊韭菜”案例的成本收益及实施效果

“区块链+潍坊韭菜”是以“政府推动+企业参与”为主的以区块链技术为基础的农产品质量安全追溯体系试点项目。截至目前,116 亩的区块链韭菜基地采用有机标准生产。因为需要人工锄草、有机肥施用、病虫害生物防治、人工采摘和分拣等高强度的劳动投入,有机韭菜生产成本高。在生产规模较小的情况下,成本更高。2022 年春季,60 亩的生产基地区块链韭菜平均售价为 50 元/公斤,春节期间少量能卖到 260 元/公斤。2023 年韭菜种植面积扩大了,单位面积的人工投入成本有所下降,春季售价下降至 160 元/公斤③,平均售价仍为 50 元/公斤。鉴于普通韭菜售价仅为 6.6 元/公斤左右,消费者对区块链溯源的有机韭菜有更高的支付意愿和需求④。溯源韭菜在京东自营店、盒马鲜生、电信翼支付商城、本地中百超市、上海艺捷农业科技有限公司多个渠道销售。此外,合作社的“基地+会员定制+食材配送”模式的注册会员有 3000 多人,定期将基地的有机蔬菜包送往会员的家里。但据笔者估计,以区块链技术为基础的韭菜质量安全追溯体系的成本收益也并不乐观。一方面,新增投入大,普通生产者可能难以负担。试点项目中物联网均为政府投入,包括为收集上链信息安装的智

① 资料来源:联合国粮食及农业组织统计数据,https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

② 资料来源;国家知识产权局,https://www.cnipa.gov.cn/。全国果品类地标产品 943 个,以梨(87)、苹果(66)、桃(63)、西瓜(62)数量居多

③ 资料来源:潍坊日报,http://h5.wfrb.wfnews.com.cn/content/20230608/Articel02005MN.htm

④ 玉泉洼种植专业合作社,于 2011 年 12 月注册成立,在 2015 年开始盈利。京东玉泉洼旗舰店:https://item.jd.com/10052811657132.html#crumb-wrap;其中,有机蔬菜包的链接 https://item.jd.com/10053040319700.html#

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

能水肥一体机、监控摄像头、物联网传感器、气象站等智能物联网设备,以及追溯标签打印机、电子秤等后端交易设备,均未计入溯源有机韭菜的生产成本。考虑到普通韭菜的销售价格,普通韭菜的收益难以覆盖溯源的成本。另一方面,从销售价格来看,目前溯源的有机韭菜虽然网络销售价格高,但销售量不清楚。未来一旦规模扩大,是否仍能维持高价还未可知。

总的来说,“区块链+韭菜”是玉泉洼合作社承接试点,但至今该合作社没有实现收支平衡。尽管在合作社内部实施了严格的监管制度和有机生产标准,但没有带动其他农户参与。物联网设备投入成本过高,实施规模难以拓展。

(三)“区块链+西湖龙井”案例的成本收益及实施效果

目前来看,西湖龙井是三个案例中成本收益预期最高的产品。与砀山酥梨和潍坊韭菜一样,西湖龙井也从生产端开始溯源。由于茶叶数字化生产水平不高,前期需要投入大量物联网设备,以实现标准化生产和上链信息的自动化收集。以茶园智能设备为例(见表2),如果投入一套适用面积200亩的溯源设备(智能化灌溉系统、病虫害防治前端、茶园监控系统、综合气象站前端、综合数据平台软件),每亩成本大约为4720元,相当于每斤干毛茶新增成本39.3元。根据Rao等(2023)的研究,相较于无溯源信息的普通茶叶,以区块链技术为基础的溯源茶叶溢价比例约为28%。假设按300元/斤的价格计算,新增收益84元,是投入成本的2倍。但考虑到这套追溯体系运营维护成本较高,目前仅有少数茶企在高端产品上试点使用。自西湖龙井茶采用基于区块链技术的质量安全溯源体系以来,初步达到了从源头杜绝假冒滋生的效果。目前,西湖龙井溯源APP共涵盖9910茶农数、151茶企数、22195.295亩核定面积、533.246吨标准总量、茶农销量280.7吨、茶企收购量220.91吨。2022年有2532户茶农主动将因减产而结余的37.53吨茶标退回。往年企业茶叶复购率为20%左右,2022年企业复购率达到37%。

总的来说,“区块链+西湖龙井”尽管产品溢价较高,但远低于上链前的收益,企业缺乏技术采纳的积极性。消费者是否认可区块链产品,项目投资能否达到市场回报期望仍不确定。此外,现有项目规模难以进一步扩大。目前,区块链溯源仅应用在西湖龙井核心产区,其他农户和合作社无法采用这套追溯体系,并且受限于西湖龙井产地的用地管制,茶叶生产加工场地稀缺,项目规模难以扩大。现有追溯系统的运维成本较高,因此只应用在高端产品上,若要扩展到全品类,如何降低运营成本也存在挑战。

表3　茶园智能设备的成本:200亩为例

序号	设备	当年费用(计算折旧)	单价(万元)	数量	总价(万元)
(1)	智能化灌溉系统	使用寿命5年,净残值率5%,当年折旧6.65万元	35.0	1套	35.00
(2)	病虫害防治前端	使用寿命5年,净残值率5%,当年折旧3.8万元	0.2	100台	20.00
(3)	茶园监控系统	使用寿命5年,净残值率5%,当年折旧5.32万元	2.8	10台	28.00
(4)	综合气象站前端	无形资产,使用寿命5年,当年折旧18万元	0.9	100套	90.00
(5)	综合数据平台软件	无形资产,使用寿命5年,当年折旧6万元	30.0	1套	30.00
(6)	云服务器租赁	租赁费,当年计入费用,5万元	5.0	1年	5.00
(7)	安装调试	当年计入费用,20万元	20.0	1套	20.00
(8)	小计	64.77万元			228.00
(9)	税金13%	29.64万元			29.64
(10)	费用合计	94.41万元			257.64
(11)	单位面积的成本	(8)/200亩=4720.5元/亩			
(12)	干毛茶产量	60公斤/亩			
(13)	干毛茶溯源成本	(9)/(10)=78.6元/公斤			

资料来源:长沙湘丰智慧茶园装备2021年技术方案。长沙湘丰智能装备股份有限公司是一家专业从事茶叶加工装备研发和制造的高新技术企业。根据工程量定安装费,预付总价的50%后,生产调试完成后,发货前支付总价的50%

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(四)“区块链+日本农协蔬菜”案例的成本收益及实施效果

基于区块链技术去中心化和信息不可篡改的技术特征,中国和日本的农产品区块链追溯体系能够提升消费者对农产品质量安全的信任和产品溢价。但不同的是,中国由于缺乏有效的农户组织,需要同时解决“生产”和“流通”环节的质量安全问题;而日本依靠农协,通过制度保障和内部监管,基本解决“生产”环节的产品质量安全问题,对生产环节的重要信息溯源,因此重点关注“流通”环节。首先,农协统一生产标准、质检要求,实施严格的内部监管制度。日本农协确认所购种子、化肥、农药符合要求,监督农户检测土壤和产品质检,用内部监管制度替代用技术手段和物联网设备的高投入质量监管。其次,日本农协建立了水果分级与流通营销规则,在流通环节使用先进的冷链运输技术和传感器设备监测运输环节保证农产品不变质。再次,日本农协严格管理组织成员的生产标准,如果成员不严格遵从标准就面临退出农协的风险,以此实现了闭环式运行和管理。最后,通过“区块链+供应链”改善了分销机制,信息通信技术使得农产品营销渠道扁平化。日本在农协建立的农业规则和市场秩序下,水果价值大幅度增加(温铁军等,2016)。

为推动以区块链技术为基础的农产品质量安全追溯体系建设,我国可从两个方面借鉴日本“降本增效”的经验。首先,制定农产品行业的安全规则、营业标准和监管政策,形成良好的农业规范。其次,学习日本利用农协内部化监管和闭环式市场运行的做法。目前区块链韭菜在玉泉洼合作社基地内做了初步尝试,带动合作社内部的农户遵守规则,内部监督来维持品牌声誉和价值,实施严格的进入和退出机制。此制度有助于减少交易成本,增加产品溢价。一方面,严格的市场监管和惩罚机制能替代依靠技术监控产品质量的监控成本、设备投入成本。另一方面,统一行业规范和生产标准有助于提高产品质量和溢价。

六、以区块链技术佐证农产品质量安全的关键挑战和政策优化

在数字技术加速发展的背景下,基于区块链技术的农产品追溯体系的创新实践开始出现,但目前仍处于初期阶段,成本收益问题严重制约着技术的持续应用和推广(黄季焜等,2024)。此外,基于区块链技术的农产品质量安全追溯的有效体系是一个包括配套措施和制度法规在内的系统性工程。首先,目前消费者是否愿意为区块链技术付费仍不明确,市场主体需要采取措施提升消费者信任和产品溢价。其次,农产品质量不能只依靠溯源技术和设备。日本农协的区块链溯源的成功并不仅在于区块链技术本身,还在于各种技术催生下的制度安排和内生激励机制。鉴于上述,本文从案例经验中总结出如下建议。

(一)区块链溯源技术应用于农产品质量安全追溯体系的关键挑战

结合上述分析,本文认为,目前我国农产品区块链溯源体系建立存在全环节溯源成本高、产品溢价难预期和利益分配机制不健全三方面挑战。

1. 全环节追溯成本高,数据采集过度化。追溯农产品全生产环节信息需要大量的前期物联网设备投入和后期运维成本,容易出现应付项目检查的数字采集过度化和形式化。砀山酥梨、潍坊韭菜和西湖龙井追溯生产环节来实现总量控制和质量监管,根据产量定额发放溯源码。目前农产品的智慧化生产水平和数字化基础设施水平较低,智能化灌溉系统、综合气象前端、传感器、视频监控以及数字大屏等物联网设备投入和运维成本高昂。三个产品的溯源体系均是产地主导,重点都放在生产端,在过度采集生产环节信息的同时,却缺乏流通、销售和售后环节信息。

2. 产品溢价难预期,生产者缺乏信心。在多利益主体的农产品流通市场中,生产者缺乏市场信心。农产品升值空间有限,导致溯源收益难以覆盖成本。砀山酥梨的收购价常年处于 2 元以下,潍坊韭菜在上市旺季价格仅 50 元/公斤左右。如果只依靠技术追溯信息,很难实现产品增值。西湖龙井品牌价值高,但消费者鉴别能力有限。同时,龙井茶核心产区产量有限,茶企和茶农可能以类似品质但非核心区的茶叶充当西湖龙井销售,以获取利益。采用区块链溯源的新增收益难以预期,因此茶

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

企和茶农往往不愿采纳技术。日本案例中开放了消费者反馈和评价渠道,有助于生产者及时了解市场信息,同时也可以增加消费者监督参与,提升消费者信任。

3. 利益分配不明确,技术采纳激励低。由于区块链溯源系统的增值不明确和利益分配机制不健全,参与主体技术采纳激励低。生产需要承担上传信息的成本和工作量,但产品销售后的新增收益通常由流通和销售主体获取,生产者往往难以参与产品溢价和利益分配。因此,在高成本投入和无法分享新增收益的情况下,生产者缺乏采用技术的激励。日本农协规范了质量检测制度、生产标准和进入退出机制,高度组织和激励农协成员互相监督和把关产品质量。因此,单纯靠投入物联网设备无法解决数据真实性的问题,需要借鉴日本的经验将外部监管内部化。西湖龙井茶的质量安全溯源体系,包括政府部门、技术服务商、茶企、茶农、消费者多个利益主体。目前主要是政府部门和技术服务商在积极推动以区块链技术为基础的西湖龙井质量安全追溯系统,其受益者主要是消费者,茶企和茶农上链的受益不明确,整体参与意愿不高。

(二)区块链溯源技术应用于农产品质量安全追溯体系的措施建议

1. 实施重点环节溯源以降低成本和优化溯源体系。由于农产品供应链相对较长,涉及生产、流通和销售等多个市场主体,交易成本较高,若各环节都上传信息,会导致溯源成本较高。中国可以借鉴日本案例经验,监测重点环节,而非过度采集全环节信息,以降低溯源成本。由于农产品生产标准化程度低,在流通过程中容易腐败变质,难以保证农产品品质(Moschini 等,2008;Belletti 等,2017)。因此,农产品溯源可采用内生化监管和激励机制来保证生产环节的农产品质量安全,并重点关注产品流通环节。

2. 提供公开透明的公众投诉渠道以提升产品溢价。保留消费者公开透明的投诉渠道,有助于农产品接受公众的监督,提高违约成本,重塑消费者信任和生产者的市场信心。西湖龙井追溯体系内嵌举报系统,与食品监管部门合作,将抽检结果上传到系统,既能激励抽检合格产品的厂商维护声誉品牌和提高信息透明度,又能为消费者提供食品安全的预警信息。日本农协案例中,区块链溯源平台也嵌入了消费者评价反馈的场景,有助于增加消费者溢价。如果是安全的食品,生产主体有激励上传溯源信息,如果是不合格的抽检结果,也应当提供相应的披露信息的渠道。

3. 采用闭环式运行和配套严格的质量安全监管制度。闭环式的市场运行可组织农户维护品牌价值和声誉,配套严格的市场监管和奖惩制度实现内生化监管。中国可借鉴日本农协严格的生产标准和高进入门槛的做法,让协会成员有激励按标准生产。中国的农产品追溯体系大多是政府或企业来推动,未建立有效的农户组织将品牌保护的机制内生化。若出现农产品质量安全问题,难以有效处罚分散的小农户。未来,中国需要加强生产端的组织制度建设,构建农产品质量安全追溯体系的监管制度和奖惩制度。

参考文献

1. Abadi, J., Brunnermeier, M. Blockchain Economics. National Bureau of Economic Research, 2018, 25407
2. Al-Jaroodi, J., Mohamed, N. Blockchain in Industries: A Survey. IEEE Access, 2019, 7: 36500~36515
3. Antonucci, F., Figorilli, S., Costa, C., Pallottino, F., Raso, L., Menesatti, P. A Review on Blockchain Applications in the Agri-food Sector. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019(14): 6129~6138
4. Belletti, G., Marescotti, A., Touzard, J. M. Geographical Indications, Public Goods, and Sustainable Development: The Roles of Actors' Strategies and Public Policies. World Development, 2017, 98: 45~57
5. Drescher, D. Blockchain Basics: A Non-technical Introduction in 25 Steps. Berkley: CA: Apress, 2017
6. Eisenhardt, K. M., Graebner, M. E. Theory Building from Cases: Opportunities and Challenges. Academy of Management Journal, 2007(1): 25~32
7. Erol, I., Ar, I. M., Ozdemir, A. I., et al. Assessing the Feasibility of Blockchain Technology in Industries: Evidence from Turkey. Journal of Enterprise Information Management, 2020(3): 746~769
8. Extance, A. Blockchain Moves to Science. Nature, 2017, 552: 301~302

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

9. FAO. Food Traceability Guidance, https://www.fao.org/3/a-i7665e.pdf, 2020-02-24
10. Foster, A. D., Rosenzweig, M. R. Microeconomics of Technology Adoption. Annual Reviews of Economics, 2010(1): 395~424
11. Gaigné, C., Gouel, C. Trade in Agricultural and Food Products. Handbook of Agricultural Economics, 2022(6): 4845~4931
12. Galvez, J. F., Mejuto, J. C., Simal-Gandara, J. Future Challenges on the Use of Blockchain for Food Traceability Analysis. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2018, 107: 222~232
13. Huber, G. P. Temporal Stability and Response-order Biases in Participant Descriptions of Organizational Decisions. Academy of Management Journal, 1985(4): 943~950
14. Islam, S., Cullen, J. M. Food Traceability: A Generic Theoretical Framework. Food Control, 2021, 123: 107848
15. Jin, S., Zhou, L. Consumer Interest in Information Provided by Food Traceability Systems in Japan. Food Quality and Preference, 2014, 36: 144~152
16. Kamath, R. Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM. The Journal of the British Blockchain Association, 2018(1): 1~12
17. Kamble, S. S., Gunasekaran, A. Sharma, R. Modeling the Blockchain Enabled Traceability in Agriculture Supply Chain. International Journal of Information Management, 2020, 52: 101967
18. Kamilaris, A., Fonts, A. Prenafeta-Boldú, F. X. The Rise of Blockchain Technology in Agriculture and Food Supply Chains. Trends in Food Science & Technology, 2019, 91: 640~652
19. Kandaswamy, R., Furlonger, D. Blockchain-based Transformation: A Gartner Trend Insight Report. Gartner IT Glossary, 2018
20. Lin, K., Chavalarias, D. Panahi, M. Yeh, T. Takimoto, K. Mizoguchi, M. Mobile-based Traceability System for Sustainable Food Supply Networks. Nature Food, 2020(11): 673~679
21. Lin, W., Ortega, D. L. Ufer, D. Caputo, V. Awokuse, T. Blockchain-based Traceability and Demand for U. S. Beef in China. Applied Economic Perspectives and Policy, 2022(1): 253~272
22. Liu, H., Ma, R. He, G. Lamrabet, A. Fu, S. The Impact of Blockchain Technology on the Online Purchase Behavior of Green Agricultural Products. Journal of Retailing and Consumer Services, 2023, 74: 103387
23. Liu, R., Gao, Z. Nayga, R. M. Snell, H. A., Ma, H. Consumers' Valuation for Food Traceability in China: Does Trust Matter. Food Policy, 2019, 88: 101768
24. Liu, X., Xu, L. Zhu, D. Wu, L. Consumers' WTP for Certified Traceable Tea in China. British Food Journal, 2015(5): 1440~1452
25. Mejia, J., Parker, C. When Transparency Fails: Bias and Financial Incentives in Ridesharing Platforms. Management Science, 2021(1): 166~184
26. Miles, M. B. Huberman, A. M. Qualitative Data Analysis: A Sourcebook of New Methods. Sage Publications, 1994
27. Morris, N. Uploading Data to IBM's Food Trust Blockchain Is Free, https://www.ledgerinsights.com/ibm-food-trust-blockchain-cost-food-traceability/, 2019-2-21
28. Moschini, G., Menapace, L. Pick, D. Geographical Indications and the Competitive Provision of Quality in Agricultural Markets. American Journal of Agricultural Economics, 2008(3): 794~812
29. Rana, R. L., Tricase, C., De Cesare, L. Blockchain Technology for a Sustainable Agri-food Supply Chain. British Food Journal, 2021: 3471~3485
30. Rao, S. H., Chen, F. Q., Hu, W., Gao, F., Huang, J. K., Yi, H. M. Consumers' Valuations of Tea Traceability and Certification: Evidence from a Blockchain Knowledge Experiment in Six Megacities of China. Food Control, 2023: 109827
31. Shew, A. M., Snell, H. A., Nayga, R. M., Lacity, M. C. Consumer Valuation of Blockchain Traceability for Beef in the United States. Applied Economic Perspectives and Policy, 2022(1): 299~323
32. Sperber, W. H. HACCP and Transparency. Food Control, 2005(6): 505~509
33. Stranieri, S., Riccardi, F., Meuwissen, M. P., Soregaroli, C. Exploring the Impact of Blockchain on the Performance of Agri-food Supply Chains. Food Control, 2021, 119: 107495
34. Yang, X., Chen, Q., Lin, N., Han, M., Chen, Q., Zheng, Q., Xu, Z. Chinese Consumer Preferences for Organic Labels on Oolong tea: Evidence From a Choice Experiment. International Food and Agribusiness Management Review, 2021(3): 545~561
35. Yin, R. L. Case Study Research: Design and Methods. Sage Publications, 2013
36. 付 豪,赵翠萍,程传兴. 区块链嵌入、约束打破与农业产业链治理. 农业经济问题,2019(12):108~117
37. 龚 强,班铭媛,刘 冲. 数据交易之悖论与突破:不完全契约视角. 经济研究,2022(7):172~188
38. 龚 强,雷丽衡,袁 燕. 政策性负担、规制俘获与食品安全. 经济研究,2015(8):4~15
39. 胡珺祎,肖煜株,覃丹妮,刘春辰,姚佳祺. 微商何以助小农——基于砀山县的案例研究. 中国农业大学学报(社会科学版),2022

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(5):93~113
40. 黄季焜,苏岚岚,王　悦. 数字技术促进农业农村发展:机遇、挑战和推进思路. 中国农村经济,2024(1):21~40
41. 黄季焜. 践行大食物观和创新政策支持体系. 农业经济问题,2023a(5):22~35
42. 黄季焜. 数字技术如何促进乡村振兴——兼谈农村数字金融. 农村金融研究,2023b(12):3~10
43. 刘光星."区块链+金融精准扶贫":现实挑战及其法治解决进路. 农业经济问题,2020(9):16~30
44. 刘鸿超,王晓伟,陈卫洪. 基于区块链技术的农产品安全生产机制研究. 农业经济问题,2021(11):66~76
45. 刘启明. 日本农协的销售服务与启示. 中国流通经济,2015(4):97~102
46. 芦千文. 区块链加快农业现代化的理论前景、现实挑战与推进策略. 农村经济,2021(1):126~136
47. 毛基业. 运用结构化的数据分析方法做严谨的质性研究——中国企业管理案例与质性研究论坛(2019)综述. 管理世界,2020(3):221~227
48. 宋晓晨,毛基业. 基于区块链的组织间信任构建过程研究——以数字供应链金融模式为例. 中国工业经济,2022(11):174~192
49. 谭砚文,李丛希,宋　清. 区块链技术在农产品供应链中的应用——理论机理、发展实践与政策启示. 农业经济问题,2023(1):76~87
50. 汪普庆,瞿　翔,熊　航,汪志广. 区块链技术在食品安全管理中的应用研究. 农业技术经济,2019(9):82~90
51. 温铁军,侯宏伟,计　晗. 日本高米价背后的农协垄断及其政党联系. 农业经济问题,2016(2):100~109
52. 夏　辉,刘　江,秦　哲. 区块链技术如何与农业融合发展——基于日本经验的启示. 农村经济,2022(1):20~29
53. 周洁红,金　宇,王　煜. 质量信息公示、信号传递与农产品认证——基于肉类与蔬菜产业的比较分析. 农业经济问题,2020(9):76~87

A Blockchain-based Traceability System for Agri-food Products: Practice, Challenges, and Suggestions

HU Wen, HUANG Jikun, CHEN Fuqiao, RAO Sihang, YI Hongmei

Abstract: Blockchain technology is characterized by decentralization and difficulty in tampering with information. Blockchain-based agri-food traceability technology can effectively incentivize entities in the supply chain to take measures to ensure food safety. China is accelerating the layout of the traceability system and promoting digitalization. It provides opportunities for the application of blockchain-based systems. Although some government-led innovation practices have emerged, the application is still in the early stages. This study systematically reviews the application of blockchain-based agricultural product traceability systems in Dangshan crisp pear, Weifang leek, and West Lake Longjing tea. We find that the application of the technology faces critical challenges such as high traceability cost, uncertain premium, and imperfect distribution mechanism of the added value. Based on domestic and international experiences, we put forward three suggestions to promote the establishment of China's agri-food product blockchain-based traceability system. First, it suggests to identify and trace the critical control points (rather than the whole process) only to reduce system cost. Second, it suggests to provide open and transparent channels for public complaints to gain consumer trust and thus enhance the product premium. Finally, it suggests to develop a market structure that effectively separates low-quality agricultural products from high-quality ones complemented by a strict safety supervision institutions and regulations.

Keywords: Blockchain technology; Traceability of agricultural products; Supply chain; Food safety; Practice

责任编辑: 赵　倩

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net