

基于区块链的农业面源污染治理信息管理及监管机制创新

梁晓贺, 周爱莲, 远铜, 张毅

引用本文:

梁晓贺, 周爱莲, 远铜, 张毅. 基于区块链的农业面源污染治理信息管理及监管机制创新[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(11): 2541-2549.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0875>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

“产业治污”模式削减丘陵区农业面源氮排放

刘广龙, 李涛, 薛利红, 樊丹, 戴志刚, 甘晓东, 张凯, 周宇翔, 胡荣桂

农业环境科学学报. 2021, 40(9): 1963-1970 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0369>

农业面源和重金属专项实施进展与主要成效

熊炜, 杜会英, 徐长春, 郑戈

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2105-2113 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1098>

《农业环境科学学报》2019年刊出论文简评

蔡祖聪

农业环境科学学报. 2020, 39(1): 1-4 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0049>

藻类在农业面源污染防控中的应用

李胜男, 纪雄辉, 朱坚, 李尝君, 简燕, 彭华

农业环境科学学报. 2019, 38(5): 970-979 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0859>

"农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发"专项组织实施进展分析

徐长春, 熊炜, 郑戈, 林友华

农业环境科学学报. 2017, 36(7): 1242-1246 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0337>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

梁晓贺, 周爱莲, 远铜, 等. 基于区块链的农业面源污染治理信息管理及监管机制创新[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(11): 2541-2549.

LIANG X H, ZHOU A L, YUAN T, et al. Blockchain-based innovations of agricultural non-point source pollution control information management and supervision mechanism[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(11): 2541-2549.

基于区块链的农业面源污染治理信息管理及监管机制创新

梁晓贺^{1,2}, 周爱莲^{1,2*}, 远铜³, 张毅¹

(1. 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081; 2. 农业农村部区块链农业应用重点实验室, 北京 100081; 3. 农业农村部农业贸易促进中心, 北京 100125)

摘要:针对当前我国农业面源污染治理存在因机制不完备导致的治理信息安全隐患大、问题企业追责难、监管效率低下等问题,提出了基于区块链的农业面源污染治理信息管理及监管机制。在探讨区块链与农业面源污染治理的系统结构协同和机制功能协同的基础上,搭建了农业面源污染治理 Fabric 联盟链框架体系,并从农业面源污染治理信息管理和监管两个方面进行了机制创新。研究表明,区块链技术的创新应用将在农业面源污染治理制度和模式上进行突破,保障农业面源污染治理信息的安全性,促进相关利益主体行为得到有效监管,降低治理成本和复杂度,形成政府和农业生产经营主体间信息自由传递、流动的立体网络和治理逻辑。

关键词:区块链;农业面源污染治理;信息管理机制;监管机制;联盟链

中图分类号:X71 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2023)11-2541-09 doi:10.11654/jaes.2023-0875

Blockchain-based innovations of agricultural non-point source pollution control information management and supervision mechanism

LIANG Xiaohu^{1,2}, ZHOU Ailian^{1,2*}, YUAN Tong³, ZHANG Yi¹

(1. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Blockchain Application, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China; 3. Agricultural Trade Promotion Center, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract: Problems in China's agricultural non-point source pollution control include hidden dangers of information security and problematic enterprises and low regulatory efficiency caused by incomplete mechanisms. A mechanism of agricultural non-point source pollution control information management and supervision mechanism based on blockchain was proposed. Aiming to coordinate system structure and mechanism function between blockchain and agricultural non-point source pollution control, a Fabric alliance chain framework system for agricultural non-point source pollution control was built. Innovation of the mechanism involved two aspects of agricultural non-point source pollution: control information management and supervision. The innovative application of blockchain technology is expected to improve system structure and modeling of agricultural non-point source pollution control, ensure the security of agricultural non-point source pollution control information, promote the effective supervision of the behavior of related stakeholders, and reduce the cost and complexity of governance. The findings document the formation of a stereoscopic network and governance logic of information free transmission and flow between government and agricultural business entities.

Keywords: blockchain; agricultural non-point source pollution control; information management mechanism; supervision mechanism; alliance chain

收稿日期:2023-10-24 录用日期:2023-11-06

作者简介:梁晓贺(1986—),女,北京人,博士研究生,副研究员,从事区块链农业应用研究。E-mail:liangxiaohe@caas.cn

*通信作者:周爱莲 E-mail:zhouailian@caas.cn

基金项目:中国农业科学院农业信息研究所创新工程项目(CAAS-ASTIP-2023-A11);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(JBYW-A11-2022-32)

Project supported: Innovation Engineering Project of the Institute of Agricultural Information, Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-2023-A11); Special Fund for Basic Scientific Research Business of Central Level Public Welfare Research Institutes (JBYW-A11-2022-32)

农业面源污染已成为世界性水污染的重要源头^[1],也是我国乡村治理的重要问题^[2],其治理成效直接影响着我国农业现代化发展进程^[3]。在国家政策的大力支持下,我国初步形成了一些农业面源污染控制技术,创建了利于防治农业面源污染和保护农业农村环境的社会氛围,但随着农业面源污染治理的不断深化,在信息管理及监管机制上也逐渐暴露出一些痛点问题。从信息管理机制上来看,传统中心化的存储介质使存储在上面的农业面源污染数据及监测信息存在很大的安全隐患,特别在单点故障或者受到恶意攻击后,中心化数据库很容易被篡改或者被盗用。从监管机制来看,其核心问题在于责任主体分散且各主体间信息不对称而未能有效整合形成合力^[4]。在现代国家多元共治理念下,农业部门、气象部门、水土部门和环境部门等政府部门是农业面源污染治理的核心责任主体,农民、村集体组织、农资经销商以及公众也成为了农业面源污染治理的利益相关主体^[5]。而传统的污染治理仅依靠契约设计或者自愿协议来降低信息的不对称,其结果并不理想^[6]。信息的不对称导致地方政府搭便车行为^[7]、寻租行为^[8]以及逆向选择行为^[9]滋生和蔓延,公众则因缺乏获取信息渠道而无法有效参与到农业面源污染治理当中。从根源上看,信息管理及监管机制障碍的根源在于多元治理主体存在信息壁垒,从而导致农业面源污染治理面临治理信息安全问题,以及企业追责难、监管效率低等困境,这在一定程度上制约了我国农业面源污染治理的公平可持续发展。

以区块链为代表的数字技术为农业面源污染治理带来了新的契机。2020年中央“一号文件”直接提出要加快区块链在农业领域应用。2021年,“十四五”规划将区块链纳入数字经济重点产业,这一系列政策充分体现了区块链对数字乡村治理的赋能作用。区块链技术起源于“比特币”,本质即为一个去中心化的分布式账本数据库,通过集成分布式存储、对等网络、加密算法、共识机制等技术实现各节点记录信息的真实有效^[10],具有去中心化、数据公开透明、不可篡改、匿名等特性^[11]。随着区块链技术的发展,其应用场景也不断拓展,近几年区块链技术也逐步渗透到农业领域,其在农产品质量溯源、农业物联网、农业供应链管理以及农村金融等场景上具有广阔的应用前景^[12]。

目前已有学者将区块链技术应用到了环境治理领域,并对应用领域的适用性、风险控制以及场景设计进行了初步的探索。在应用研究方面,周万锴等^[13]

从安全性、真实性和完整性角度提出了一个以区块链为中心架构的环境监测数据传输方案,解决了集中式系统架构环境监测信息可信度低的问题。Arshad等^[14]在研究中将私有区块链应用到农业环境监控中,提出一种远程用户身份验证方案,提升了农业环境和气候参数的隐私安全性。Han等^[15]将区块链与工业5.0结合,构建了大气污染监测框架,兼容了去中心化、加密传输等特点,实现了大气污染物排放全生命周期的管理。另外,也有部分研究对区块链在环境治理中的应用风险进行了讨论,例如:杨煜^[16]认为将区块链技术应用到环境治理将会给欠发达地区制造新的数字鸿沟、增加网络运行成本和能耗;Howson^[17]认为区块链带来的社会和环境的净收益存在极大的不确定性。除此之外,区块链在环境治理场景的设计也是应用研究的关键点,如Robertson采用去中心化公有链架构搭建了EMchain环境监测链。夸克链科技(深圳)有限公司与地方环境管理部门采用联盟链设计开发了环境治理区块链平台,用于污染数据追踪以及不同政府间信息的共享。

综上,区块链的技术特点与农业面源污染治理机制设计中长期以来面临的信息隐私泄露风险大、多元主体治理效率低等突出问题相契合,其为创新农业面源污染治理信息管理及监管机制提供了新的解决方案。但当前研究多集中在适用性分析以及简单的系统平台搭建,鲜有从治理机制角度厘清区块链带给农业面源污染治理的创新突破。本文的创新之处在于立足农业面源污染治理痛点与区块链技术特点间契合处,搭建Fabric联盟链框架体系,并以宏观视角创新农业面源污染数据的安全存储与监管机制,进一步探究分布式存储技术、加密技术、Fabric联盟链的跨链技术与共识机制等多个技术在农业面源污染治理创新机制设计上的协同作用,以明晰区块链各技术在农业面源污染治理机制设计中所发挥的关键作用。

1 区块链赋能农业面源污染治理的协同性分析

高效的农业面源污染治理机制需要具备3个基本特点:①参与治理的多元责任主体以及农业面源污染治理过程充分公开;②互不熟悉、信任的各主体间治理信息的采集存储、交换、访问便捷,避免信息孤岛现象;③治理数据的安全、不可篡改性。区块链与农业面源污染治理在系统结构上和机制功能上的协同为农业面源污染治理机制的完善创造了有利条件,如图1所示。

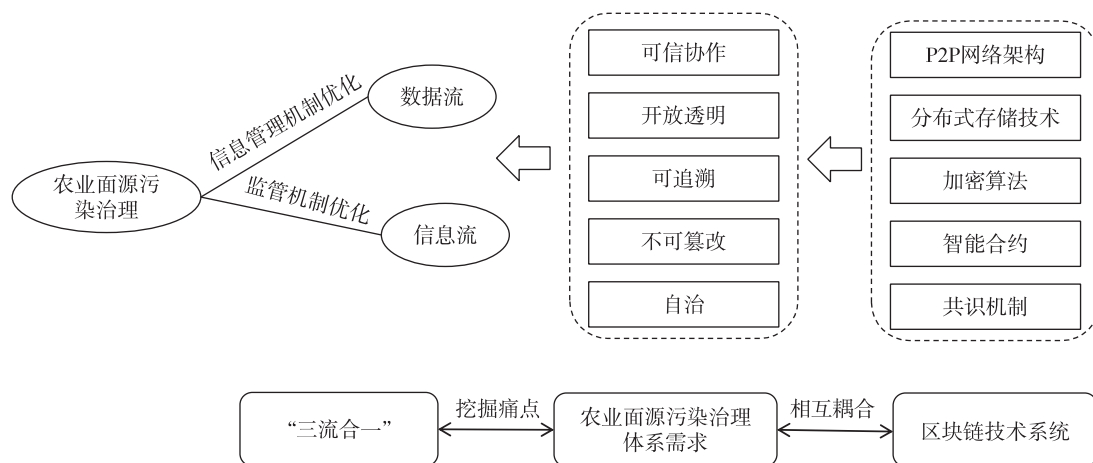


图1 区块链与农业面源污染治理体系的协同

Figure 1 Collaboration between blockchain and agricultural non-point source pollution control system

1.1 系统结构上的协同

区块链与农业面源污染治理体系分别代表了技术系统和组织系统,两者在系统结构上具有协同性,能够改善传统农业面源污染治理核心力量中心化控制现状,促进多元主体的可信合作与协同治理。对农业面源污染治理系统而言,首先,在区块链的P2P网络架构体系下,农业面源污染治理系统具有了去中心化特征,其包含的多方治理主体在利益博弈下建立了平等地位的系统内部动态合作^[18]。其次,区块链采用分布式存储技术,保障了农业面源污染治理系统的开放透明与可追溯性,促使农业面源污染信息源中“收集、处理与外部输出”等环节信息可以被系统上的节点任意访问与快速流转,实现了隐患治理、源头追溯与责任认定。再次,区块链集成了加密算法技术,保障了农业面源污染治理系统数据的不可篡改性。最后,在区块链智能合约和共识机制基础上,形成去中心化自治权责分配方式,建立多元治理主体共享收益的多边治理模式,促进农业面源污染数字治理规则的公平与透明化。对于区块链技术系统而言,农业面源污染治理为区块链技术的系统部署提供了一个崭新领域的实施应用平台,结合当前农业面源污染治理系统所面临的困境,推动了区块链系统组织结构的不断完善和优化,提升了在环境治理领域的适用性、可伸缩性与可拓展性,增强了区块链的技术赋能。

1.2 机制功能的协同

区块链嵌入到农业面源污染治理系统中可以充分发挥各自的优势,实现彼此功能的互补促进。一方面,农业面源污染治理体系需要借助区块链技术打通多元治理主体间的信息壁垒,实现治理的体系

化、集成化与智能化。另一方面,区块链与农业面源污染治理结合可以在多种应用场景中实现跨地区、跨平台、跨链等功能的升级。二者的功能协同,可以优化解决农业面源污染治理系统数据流与信息流存在的断点、堵点、痛点问题,促进治理共识达成、构建行业互信环境。

在信息管理机制层面,“只有51%以上节点确认才能修改链上数据”的区块链约束,极大地提升了数据篡改的成本和难度,保障了农业面源污染监测数据的真实性,有利于提升污染治理的隐私安全,有效抑制了操纵治理数据牟取利益的机会主义动机。在监管机制层面,区块链的共识机制与农业面源污染治理主体间的复杂协同,解决了多元主体治理存在的信息不对称问题。所有污染数据和治理信息需要经过全网主体的协同验证,经过共识节点认可后方可上链存储,所有区块链上的节点用户都拥有一致的数据副本,任何新加入节点的用户都可以通过公开的接口查询区块链上的数据,促进治理主体间的协同合作。同时区块链的身份认证机制可以使各节点存储过程留痕,为问题主体的追溯提供了溯源证据链,提高了农业面源污染治理过程的可追溯性。同时区块链的智能合约机制可以通过既定算法规则优化政府的管理成本,释放公共治理资源,同时自动化执行合约可以保障农业面源污染治理的公平和高效。

2 农业面源污染治理联盟链架构体系

农业面源污染治理是一个多组织参与、需要准入控制的系统,区块链中联盟链的架构形式更适合农业面源污染治理这一应用场景。区块链有公有链、联盟

链和私有链三类,联盟链的权限介于公有链和私有链之间,既可保证参与者范围可控,又能保障运算承载能力^[19]。首先,农业面源污染治理过程涉及一群特定主体,他们彼此职能类似、功能上衔接互补,联盟链的身份认证功能可以对治理主体参与资格进行审核,限制治理主体的权限,具有较好的管理优势;其次,联盟链还可以建立链上主体协同机制,驱动农业面源污染治理组织结构趋向动态平衡;最后,联盟链上的农业面源污染治理主体的身份和数量都已明确,因此可以使用相对松散的共识机制,利于提升数据处理速度^[20]。由此,本文选择联盟链作为农业面源污染治理的区块链系统。由Linux基金会支持的超级账本(Hyperledger)开源项目 Fabric是目前企业中应用最广的联盟链,其采用模块化架构,支持可插拔组件的开发与使用^[21]。本文主要基于Fabric联盟链构建农业面源污染治理联盟架构体系,由其构建的区块链平台包含数据层、网络层、合约层、共识层、基础服务层、外部接口层和应用层7层(图2)。

数据层为农业面源污染治理联盟链框架的基础模块,主要对农业面源污染治理过程中涉及的监测数据、污染数据以及各治理主体行为数据等基础信息进行采集和预处理操作,完成对基础数据的处理。主要

包含IPFS(Inter Planetary File System,星际文件系统)和Hyperledger Fabric区块链网络。其中,星际文件用来存储采集到的农业面源污染治理数据,Hyperledger Fabric数据库封装了区块、链式结构、哈希算法、Merkle树和时间戳等技术要素,用来存储数据的哈希值。简单来说,数据层可以实现对数据的增加、删除、修改、查询等操作。

网络层由参与区块链共识的所有网络节点组成,包含P2P网络、传播机制和数据验证机制等,负责各个网络节点的信息交互和连接建立,具有信息内容查看和数据安全性验证的功能。在农业面源污染治理系统中,其作用体现在对治理主体进行身份认证和网络访问控制上,每个网络节点需要向证书颁发机构(CA)获取身份认证之后才有资格加入联盟链。

合约层是构成智能合约、基础规则和链码(Chaincode)的子层,具有可编程的特点,是提升区块链扩展性与便捷性的关键。在农业面源污染治理联盟链系统架构中,多元治理主体在达成治理共识后,还需要将每个治理细节考虑清楚,将合作治理规则写入智能合约,执行结果在系统中可以被实时记录、检查。智能合约在Fabric中被称为链码, Fabric联盟链对链码的管理包括安装、实例化、调用运行操作^[22]。

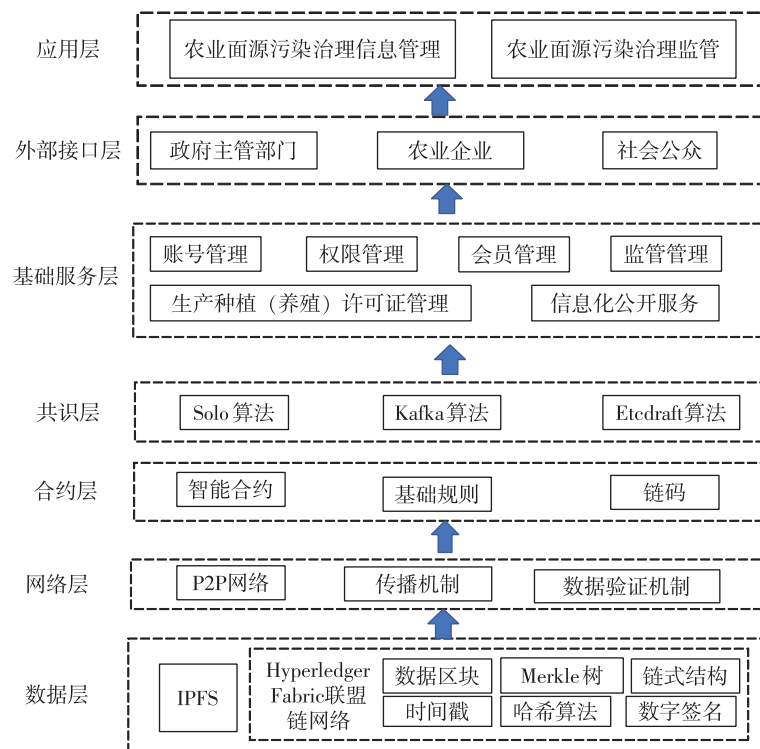


图2 农业面源污染治理联盟链架构体系

Figure 2 Agricultural non-point source pollution control alliance chain architecture system

共识层主要封装网络节点的各类共识算法,确保区块链达成共识信任。目前联盟链 Fabric 提供 3 种共识机制,分别是 Solo 算法、Kafka 算法和 Etcdraft 算法。Solo 算法采用单点共识模式,可以为单机部署提供更快捷的共识方式,但无容错性,通常在测试环境使用。Kafka 算法可以实现多链间数据共识备份,具有高吞吐量、低延时的处理能力,并且支持网络节点故障容错^[23]。Etcdraft 算法支持排序节点直接建立连接,支持外部系统。在农业面源污染治理联盟链架构体系建设初期的试验阶段可以采用 Solo 算法作为演示,在后期系统较为成熟的情况下可以选择 Kafka 或者 Etcdraft 共识算法。

基础服务层相当于后台管理系统,主要是为有权限的农业面源污染治理主体提供污染治理数据查看、定期系统维护以及新产生的污染治理数据上链等服务。具体包括农业面源污染治理主体账号管理、权限管理、会员管理、监管管理、生产种植(养殖)许可证管理和信息公开化服务等。

外部接口层为信息采集端,主要提供联盟链节点接入区块链的上链服务。农业面源污染治理主体通过应用程序界面(API)与基础服务层对接,并根据不同主体参与资格差异调整对应接口权限。其中,政府主管部门在农业面源污染治理系统中拥有最高权限,相应的农业生产经营主体、社会公众等只拥有信息上链和查看自己上传信息的权限。

应用层即为利用区块链系统进行农业面源污染治理的具体应用,具体包括农业面源污染治理信息管理和农业面源污染治理监管。

3 面向农业面源污染治理信息管理及监管的区块链创新机制构建

3.1 区块链技术下的农业面源污染治理信息管理

在数字化治理模式下,基础数据的安全性是信息管理的核心任务,我国在数据安全领域进行了持续立法保护^[24]。农业面源污染数据通常分散存储在各数据采集实施主体的中心化数据库中,数据的真实性和安全性难以保障。中心化的存储结构面临着严重的数据安全风险,特别是环境质量状况等敏感信息一经泄露,轻则会影响市场秩序,重则会引发民众恐慌,威胁国家安全。区块链技术中的去中心性、防篡改等特性为污染数据的安全存储提供了解决思路。

搭建基于联盟链的农业面源污染信息安全存储体系,将农业面源污染数据存储到去中心化区块链系

统中。农业面源污染与从农业生产区域到受纳水体广泛区域内的气候变化、流域水文情势、土壤条件、农业生产方式、污染排放情况等息息相关,由此产生的气象数据、农田土壤信息、农业生产行为信息、污染排放信息、水文水质信息等均被纳入到了农业面源污染治理范畴。考虑到污染信息敏感性较高,具有隐私保护要求,以及区块链存在的大规模存储困难问题,本文构建了“联盟链+IPFS”的农业面源污染数据多模存储机制,具体见图3。“联盟链+IPFS”存储机制包含了链上、链下两个存储阶段。首先进行链下存储,即为农业面源污染数据上传到 IPFS 系统的过程,具体过程为采集到农业面源污染治理标签数据后,经过联盟链进行身份验证,调用非对称加密算法对污染数据加密并上传至 IPFS 系统,IPFS 系统自动将大的数据文件拆分为多个小数据块文件,分布存储在各个存储器中,然后再依据拆分后的文件内容生成哈希值和存储位置信息。之后进行链上存储,即为 IPFS 生成的数据哈希上传至联盟链网络的过程,具体过程包括应用电子证据上链功能将返回的加密哈希值信息提交到联盟链上,利用共识机制生成新的区块,验证成功后存入 Peer 节点账本。农业面源污染治理政府主管部门可以向联盟链网络发起请求调用对应合约验证权限,实现对农业面源污染数据的安全共享;农业生产经营主体与公众也可以向联盟链网络发起同样的数据查询溯源请求,在权限范围内查询监测信息,以验证农业面源污染是否符合应达标准或数据是否遭到篡改。

将“联盟链+IPFS”策略应用到农业面源污染数据存储机制上,链上仅存储元数据,其他数据存储存储在 IPFS 系统中,解决了农业面源污染数据量庞大而区块链存储限制问题。同时细粒度访问控制共享技术可以保障链下、链上存储的协同安全,实现农业面源污染数据的隐私保护^[25]。

3.2 区块链技术下的农业面源污染治理监管

区块链技术在农业面源污染监管上的价值主要体现在污染过程的可信追溯以及激励与约束等管理措施的公正性。

3.2.1 农业面源污染溯源

农业面源污染治理主体多元,信息来源渠道多样,由此造成的信息损耗问题突出。一方面农业面源污染信息在多层级上报、多部门流转过程中存在信息损耗,特别是一些地方政府和重点企业为了减轻农业面源污染治理压力,频繁发生虚报、瞒报、漏报等现

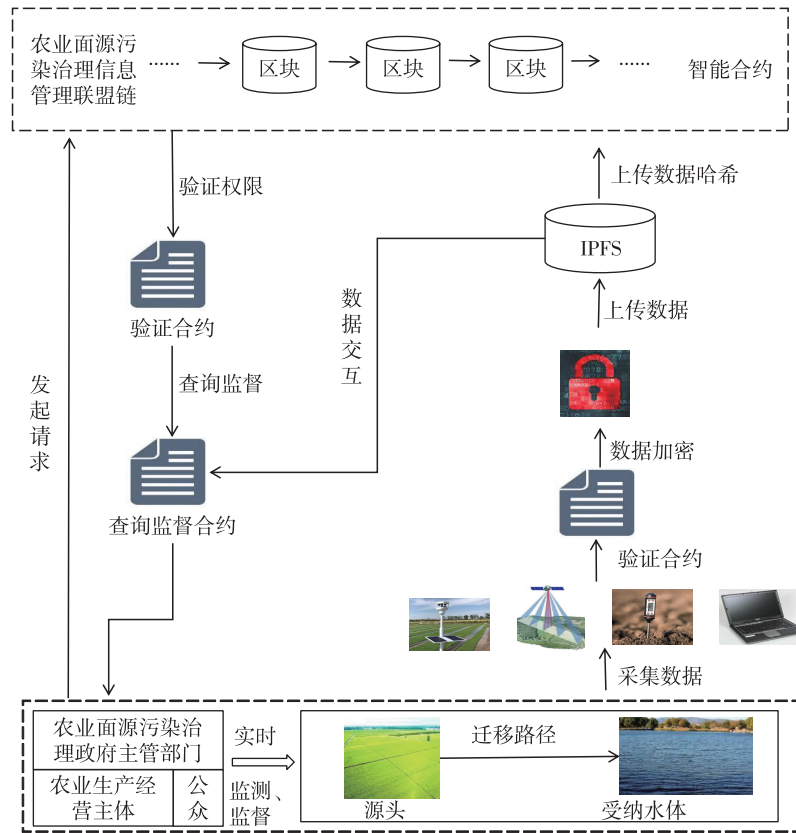


图3 农业面源污染治理信息管理联盟链

Figure 3 Agricultural non-point source pollution control information management alliance chain

象,从而影响了治理效果;另一方面,农业面源污染治理政府主管部门很难准确定位错误上报数据的责任主体,无法及时对问题主体进行问责,一定程度上影响了农业面源污染治理的公平性和可信度。

基于区块链的透明、可追溯、不可篡改等特点,结合以上分析,本文构建了农业面源污染溯源联盟链框架,以保证从农业面源污染源头、污染过程到末端治理全链条中污染监管数据的真实性(图4)。具体来说,从农业面源污染源头控制开始,土壤环境信息、农业种养殖环节详情(包括肥料施用信息、饲料、灌溉、种植或养殖方式等)、降雨信息、污染物流失拦截措施、受纳水质信息等全部监测信息被打包上链,通过电子标签或溯源码技术进行电子存档,这些信息区块以时间戳为依据进行前后次序的排列,不能被篡改。链上的参与者都能够查看全部面源污染过程数据,保护了参与者自身的权益。农业生产经营主体与公众可以利用手机应用程序(APP)或者个人计算机(PC终端),通过追溯码或者电子标签查询、追溯农业面源污染治理过程,监督农业面源污染治理效果。政府主管部门接入农业面源污染溯源联盟链,通过查看数据

区块对前端农业面源污染源头减量、中端农业废弃物全量利用和末端农业面源污染综合治理过程所有环节信息进行监控,快速追踪责任主体。

以区块链作为底层技术支撑的农业面源污染源体系,一方面在区块链加密算法支持下,保证了存入区块链的农业面源污染治理信息不可篡改性。农业面源污染信息一经上链,极大地增加了地方政府以及农业生产经营主体伪造、瞒报和少报信息的成本。另一方面,对于不同统计口径存在的出入,可通过执行哈希运算生成哈希值,再访问区块链数据库进行查询比对来快速查找问题数据来源,并通过数字签名追溯到责任主体,为问责、处罚提供事实依据。

3.2.2 农业面源污染治理激励与约束

激励与约束是环境治理的重要工具^[26],当前缺乏公平、公正的奖惩制度依然是农业面源污染治理面临的重要难题。政府部门、农业生产经营主体与农户都是农业面源污染治理的核心利益主体,他们之间利益交互、互相影响^[27],而传统以政府“强制性”命令控制为主的污染治理手段,不仅容易削弱农业生产经营主体与农户参与农业面源污染治理的积极性,同时“向

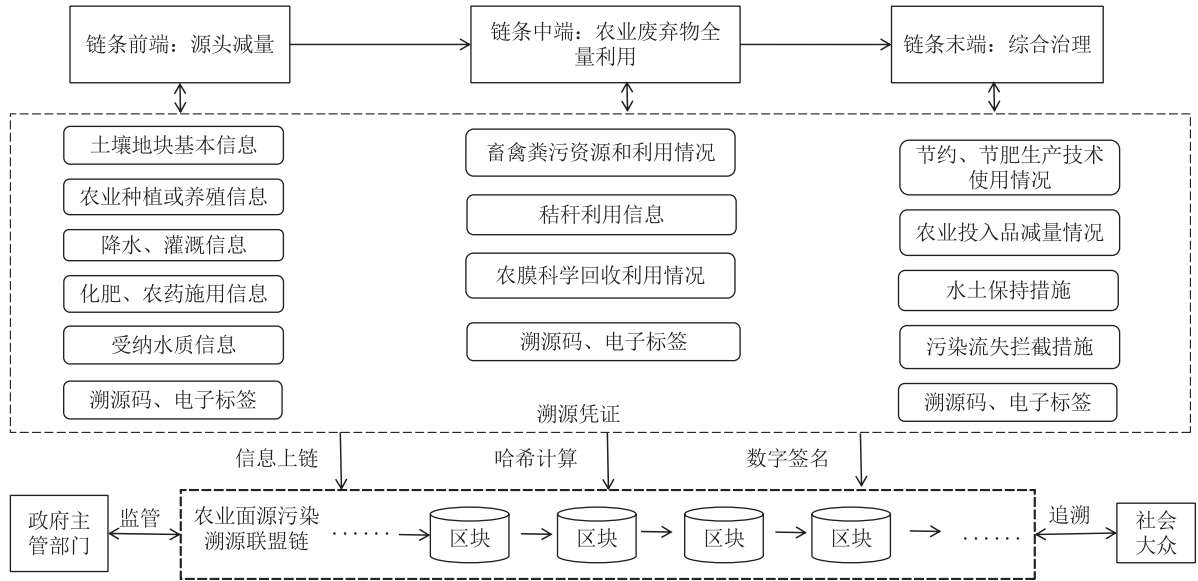


图4 农业面源污染溯源联盟链

Figure 4 Agricultural non-point source pollution traceability alliance chain

下”的治理模式也存在着奖惩不均衡、不平等的问题,从而影响了农业面源污染治理效率。

区块链具备的激励与约束机制天然地契合了农业面源污染治理模式的应用^[28]。激励与约束是农业面源污染治理机制的核心,在智能合约技术支持下,激励、约束农业面源污染治理利益相关主体的自发行为,使之可以为了共同的治理愿景进行集体行动。由此,本论文构建了基于区块链的农业面源污染治理激

励与约束框架,具体如图5所示。考虑到激励与约束是依据采集到的农业面源污染信息进行决策的过程,故采用区块链的跨链技术,调用存储在农业面源污染治理信息管理联盟链和溯源联盟链中的数据作为激励与约束评估的数据源。进一步引入“农业面源污染治理信用币”作为区块链系统激励与约束的通证媒介,将“农业面源污染治理信用币”的执行与结算规则以智能合约形式编码在区块链上,应用分布式程序自

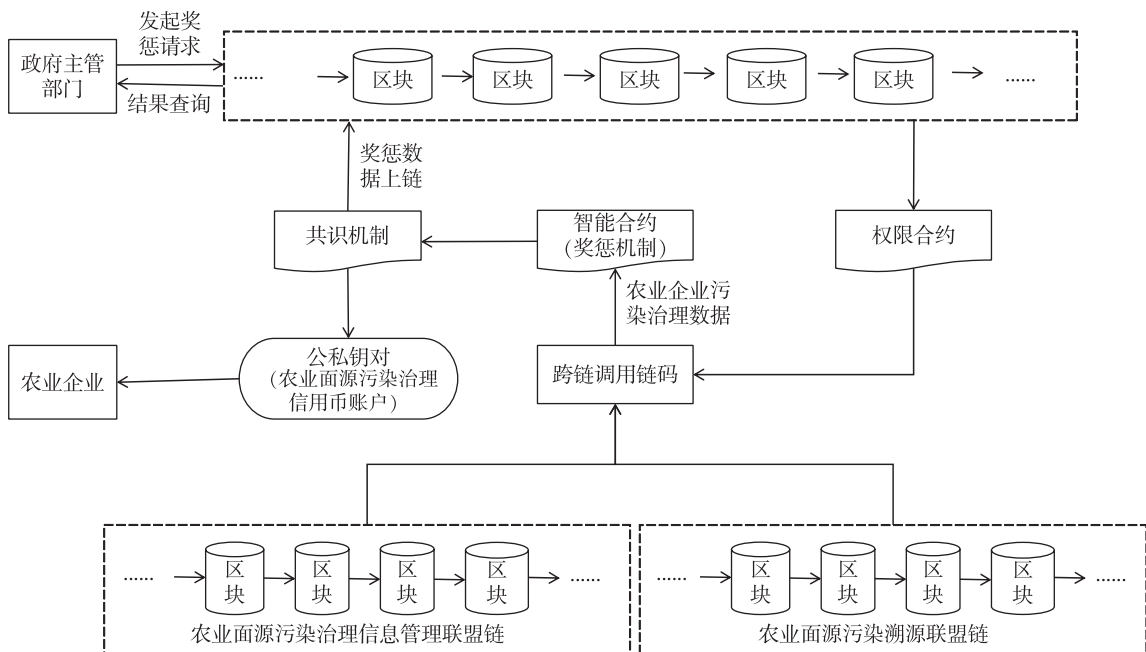


图5 农业面源污染治理激励与约束联盟链

Figure 5 Incentive and constraint alliance chain for agricultural non-point source pollution control

动执行激励和约束。同时为每个农业生产经营主体节点配置一个污染治理信用币账户,由此每个用户节点也将拥有两对公私钥对,一对用于控制身份和签署身份证明,另一对用于保存和执行账户交易,使用公钥来存储用户名,使用私钥来存储用户密码。参与农业面源污染治理的政府主管部门向区块链系统发起奖惩管理申请,通过P2P网络广播到全网节点,然后每个节点应用跨链技术查询链上农业生产经营主体的农业面源污染治理数据信息,智能合约根据预先达成共识的奖惩标准自动执行既定奖惩规则,形成去中心化的自治奖惩分配方式,该方法既省去了第三方的监管,也降低了人为因素的干扰,规避了不平等异常的发生。

数字货币是区块链最早的应用领域,本文在区块链系统中建立了“农业面源污染治理信用币”,将政府部门、农业生产经营主体达成一致的信用币交易规则写入智能合约,在区块链系统中自动执行奖惩规则。一方面应用智能合约技术,可以在联盟链节点范围内达成治理愿景,从而激励农业生产经营主体更加积极地参与到农业面源污染治理中,在实现自己利益的同时共同维护、监督农业面源污染治理区块链系统,促进规范共治。另一方面“治理信用币”的自动执行与结算正符合亚当·斯密那只看不见的手的原理,其促进企业的种养殖节能减排技术创新,有效减少了机会主义、寻租等复杂性问题的出现,保证了奖励与约束过程的公开、公正及合理,缓解了政府与企业的污染治理冲突,降低了治理成本。

4 总结与建议

本论文将区块链技术嵌入到农业面源污染治理的应用场域中,构建了Fabric联盟链架构体系,并利用区块链的共识机制、分布式存储、密码学、点对点传输、跨链互认等技术创新了农业面源污染治理数据存储、信息追溯以及激励和约束机制,以期改善当前农业面源污染治理信息管理及监管机制存在的监测信息存储传输不安全、信息不对称、多头管理协作性差、企业寻租与投机行为频发、政府权力异化等发展困境。在机制设计上,应用区块链的特性与去中心化的思想,构建一个数据安全存储、透明公开、可信追溯、共识自治的农业面源污染治理区块链网络,营造了安全可信的治理环境,实现政企信息的高效、无损耗传递,促进污染治理的公开、公平与公正。本文对区块链技术在农业面源污染治理机制创新中的进一步应

用研究提出了以下几点建议:

(1)加大区块链底层和基础技术研发,为创新机制更好地应用到农业面源污染治理提供技术基础。一方面要加大在体系结构、共识算法、跨链通信协议等区块链核心技术领域的攻关,做到技术可控。另一方面要加强区块链技术与人工智能、物联网、云计算等数字技术,以及农业面源污染检测、监测、预警等技术工具的集成创新研究,推动形成自主、安全可控的区块链技术体系。

(2)支持协同创新,开展示范应用。本文从宏观视角探索了区块链与农业面源污染治理的协同创新机制,全面、系统地设计了农业面源污染治理组织框架与治理逻辑,未来可以更多关注微观层面的应用效果,聚焦我国小散型农户面源污染治理问题,选取典型场景因地制宜地开展示范应用,支持优秀互联网企业将区块链基础平台、技术和服务优先应用于示范区,形成具有示范作用和推广价值的农业面源污染治理行业解决方案,推动规模化应用。

(3)本文在构建基于区块链的农业面源污染治理框架中并未考虑实际应用所需要的配套基础设施以及开发成本问题。需要高水平配套设施支撑的区块链技术与我国落后的乡村数字基础设施是区块链在农业面源污染治理应用上的突出矛盾,为了最大程度地发挥本文构建的区块链创新机制的优势,应用过程中还需要综合考量当地的经济水平与信息化支撑能力。

参考文献:

- [1] 华春林, 张玖弘, 金书秦. 基于文本量化的中国农业面源污染治理政策演进特征分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(7): 1385-1398. HUA C L, ZHANG J H, JIN S Q. Analysis to evolution characteristics of policies for controlling agricultural non-point source pollution in China: based on text quantification[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(7): 1385-1398.
- [2] 冯献, 李瑾. 乡村治理现代化水平评价[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(3): 127-140. FENG X, LI J. An evaluation of rural governance modernization level[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2022, 21(3): 127-140.
- [3] 蒋永穆, 孟林. 加快推进农业现代化重在“精准”[J]. 农村经济, 2023(2): 1-9. JIANG Y M, MENG L. Accelerating agricultural modernization with emphasis on "Precision"[J]. *Rural Economy*, 2023(2): 1-9.
- [4] 王萌, 杨生光, 耿润哲. 农业面源污染防治的监测问题分析[J]. 中国环境监测, 2022, 38(2): 61-66. WANG M, YANG S G, GENG R Z. Analysis on monitoring and practices of agricultural non-point source pollution control[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2022, 38(2): 61-66.
- [5] 吴锋, 曾麟岚, 刘桂君. 农业面源污染管理政策调控仿真模型研究

- 进展[J]. 生态学报, 2022, 42(8): 3045-3055. WU F, ZENG L L, LIU G J. Research progress of simulation models for policies regulating agricultural non-point source pollution[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(8): 3045-3055.
- [6] 周志波, 张卫国. 环境税规制农业面源污染研究: 不对称信息和污染者合作共谋的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(2): 75-89. ZHOU Z B, ZHANG W G. Study on regulation of agricultural non-point source pollution by environmental taxes - analysis based on asymmetric information and cooperative collusion[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2019, 41(2): 75-89.
- [7] 陆杉, 唐佳欣, 熊娇. 财政分权与农业面源污染: 空间溢出与门槛特征[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2022, 28(6): 67-77. LU S, TANG J X, XIONG J. Fiscal decentralization and agricultural non-point source pollution: spatial spillover and threshold characteristics[J]. *Journal of Central South University(Social Sciences)*, 2022, 28(6): 67-77.
- [8] 杨小山, 刘建成, 林奇英. 中国农业面源污染的制度根源及其控制对策[J]. 福建论坛(人文社会科学版), 2008(3): 25-28. YANG X S, LIU J C, LIN Q Y. Institutional causes of agricultural non-point source pollution in China and its control countermeasures[J]. *Fujian Tribune(The Humanities & Social Sciences Monthly)*, 2008(3): 25-28.
- [9] 袁平, 朱立志. 中国农业污染防治: 环境规制缺陷与利益相关者的逆向选择[J]. 农业经济问题, 2015, 36(11): 73-80. YUAN P, ZHU L Z. Agricultural pollution prevention and control in China: defects of environmental regulation and adverse selection of stakeholders[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2015, 36(11): 73-80.
- [10] 张俊, 唐雪莲, 赵宇. 论区块链技术挑战下的警务工作[J]. 中国人民公安大学学报(社会科学版), 2020, 36(1): 136-146. ZHANG J, TANG X L, ZHAO Y. On policing under the challenge of blockchain technology[J]. *Journal of People's Public Security University of China(Social Sciences Edition)*, 2020, 36(1): 136-146.
- [11] 盛守一. 基于区块链技术的供应链信息资源共享模型构建研究[J]. 情报科学, 2021, 39(7): 162-168. SHENG S Y. Information sharing model construction of supply chain based on blockchain technology[J]. *Information Science*, 2021, 39(7): 162-168.
- [12] 周爱莲, 梁晓贺. 区块链农业应用发展报告[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2022: 22. ZHOU A L, LIANG X H. Blockchain agricultural application development report[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2022: 22.
- [13] 周万锴, 龙敏. 基于区块链的环境监测数据安全传输方案[J]. 计算机科学, 2020, 47(1): 315-320. ZHOU W K, LONG M. Secure transmission scheme for environmental monitoring data based on blockchain[J]. *Computer Science*, 2020, 47(1): 315-320.
- [14] ARSHAD J, SIDDIQUE M A B, ZULFIQAR Z, et al. A novel remote user authentication scheme by using private blockchain-based secure access control for agriculture monitoring[C]. 2020 International Conference on Engineering and Emerging Technologies (ICEET). IEEE, 2020.
- [15] HAN Y, PARK B, JEONG J. A novel architecture of air pollution measurement platform using 5G and blockchain for industrial IoT applications[J]. *Procedia Computer Science*, 2019, 155: 728-733.
- [16] 杨煜. 基于区块链赋能的生态环境治理网络研究[J]. 电子政务, 2021, 220(4): 105-113. YANG Y. Research on ecological environment governance network based on blockchain empowerment[J]. *E-Government*, 2021, 220(4): 105-113.
- [17] HOWSON P. Tackling climate change with blockchain[J]. *Nature Climate Change*, 2019, 9(9): 644-645.
- [18] 严燕, 王硕. 基于利益相关者理论的农业面源污染治理的博弈分析[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(12): 160-167. YAN Y, WANG S. Research of agro-ecological non-point source pollution from the perspective of the stakeholder[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(12): 160-167.
- [19] 李春艳, 乔超. 区块链技术在大企业集团电子文件管理中的应用: 以中国石化为例[J]. 档案学通讯, 2020(1): 13-20. LI C Y, QIAO C. Application of blockchain technology in electronic document management of large enterprise groups: take Sinopec as an example[J]. *Archives Science Bulletin*, 2020(1): 13-20.
- [20] 周少燕, 李焦. 基于区块链技术的双链混合审计系统构建[J]. 财会月刊, 2022(13): 107-112. ZHOU S Y, LI J. Construction of dual-chain hybrid audit system based on blockchain technology[J]. *Finance and Accounting Monthly*, 2022(13): 107-112.
- [21] 李天翼. 基于联盟区块链的铁路客运出行服务系统研究[J]. 铁路运输与经济, 2022, 44(1): 59-66. LI T Y. Research on railway passenger travel service system based on consortium blockchain[J]. *Railway Transport and Economy*, 2022, 44(1): 59-66.
- [22] 刘宏宇, 梁秀波, 吴俊涵. 基于Kubernetes的Fabric链码管理及高可用技术[J]. 计算机应用, 2021, 41(4): 956-962. LIU H Y, LIANG X B, WU J H. Kubernetes-based Fabric chaincode management and high availability technology[J]. *Journal of Computer Applications*, 2021, 41(4): 956-962.
- [23] YUSOFF J, MOHAMAD Z, ANUAR M. A review: consensus algorithms on blockchain[J]. *Computers and Communications*, 2022, 10(9): 10.
- [24] 刘桂峰, 阮冰颖, 刘琼. 加强数据安全防护提升数据治理能力: 《中华人民共和国数据安全法(草案)》解读[J]. 农业图书情报学报, 2021, 33(4): 4-13. LIU G F, RUAN B Y, LIU Q. Enhance data security governance capability: interpretation of *Data Security Law of the People's Republic of China(Draft)*[J]. *Journal of Library and Information Science Agriculture*, 2021, 33(4): 4-13.
- [25] 秦捷, 马兆丰, 段鹏飞, 等. 支持零知识证明的交易数据隐私保护方案[J]. 信息安全与通信保密, 2022(10): 38-51. QIN J, MA Z F, DUAN P F, et al. Privacy protection scheme of transaction data supporting Zero-Knowledge proof[J]. *Information Security and Communications Privacy*, 2022(10): 38-51.
- [26] 付宇. 自然资源离任审计能否提升城市创新能力[J]. 贵州财经大学学报, 2022(4): 52-60. FU Y. Can the outgoing audit of natural resources improve city's innovation ability[J]. *Journal of Guizhou University of Finance and Economics*, 2022(4): 52-60.
- [27] 何奇龙, 唐娟红, 罗兴, 等. 政企农协同治理农业面源污染的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2023, 31(7): 202-213. HE Q L, TANG J H, LUO X, et al. Evolutionary game analysis of agricultural non-point source pollution coordinated governance by government, agricultural enterprise and farmers[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2023, 31(7): 202-213.
- [28] 朱婉菁. 区块链赋能城市社区合作治理: 逻辑、困境与纾解路径[J]. 东吴学术, 2022(5): 64-71. ZHU W J. Blockchain empowers collaborative governance in urban communities: logic, dilemmas, and solutions[J]. *Soochow Academic*, 2022(5): 64-71.

(责任编辑:李丹)