

李乔宇,封文杰,尚明华,等.数据权益去中心化的农业物联网系统[J].江苏农业科学,2022,50(4):187-193.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.04.031

数据权益去中心化的农业物联网系统

李乔宇,封文杰,尚明华,刘淑云,王富军,穆元杰

(山东省农业科学院农业信息与经济研究所,山东济南 250100)

摘要:国内农业物联网存在数据分散、割裂、标准不统一的问题,从而无法发挥大数据的价值以提升农业智能化水平,本研究旨在利用区块链技术结合农业物联网系统汇集农业环境大数据,为应用大数据、人工智能技术提升农业智能化水平打下数据基础。提出利用区块链去中心化和记录数据不可篡改的技术特点,建立信任机制,构建通证经济模型,保证物联网系统用户对其上传的数据享有权益,从而激励更多人参与使用农业物联网系统。在此基础上,设计研发了去中心化的农业物联网系统,针对区块链技术去中心化和效率的矛盾,结合通证经济模型,设计了数据权益去中心化的方式,将用户上传的物联网数据通过智能合约结算为积分,积分参与数据权益的分配,区块链中记录积分的发放和上传物联网数据的哈希值,保证链上链下信息同步,兼顾了去中心化和物联网系统高并发的需要。本研究为区块链技术和物联网技术的结合,以及农业大数据的收集提供了新的思路和方法。

关键词:去中心化;区块链;物联网;大数据;智能合约;通证经济

中图分类号:S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)04-0187-06

我国农业存在生产效率低下、资源利用率不高的问题,应用农业物联网技术是提升农业技术水平,发展现代农业的关键^[1-3]。近年来,我国农业物联网技术取得了快速发展,围绕物联网架构^[4]、信息感知^[5]、信息传输^[6]、信息处理^[7]方面做了大量的工作,取得了显著成果。然而,相对于发达国家,我国农业物联网水平仍然存在很大差距,主要原因在于,我国农业生产规模小,组织化程度低、现代化基础设施不完善,农业物联网技术在推广落地上存在许多瓶颈问题,例如:入门门槛高、应用场景单一等^[1]。为解决这一问题,一方面需要等待我国规模化农业的发展,另一方面需要在技术上寻找解决方向,走符合中国特色的农业物联网发展道路。

另一方面,在大数据时代,数据是应用人工智能、机器学习算法的根本,也是提升农业物联网智能化、实用化水平的关键,具有巨大价值^[8-9]。然

而,相较于工业领域,农业领域因其复杂性和特殊性缺乏商业资本的关注,没有统一的标准,数据分散混乱,无法形成有价值的大数据^[10-11]。利用区块链的去中心化机制和通证经济的价值共享机制,构建开放平台,实现农业物联网参与者对数据的价值共享,从而激励行业投入,形成正向循环,是解决上述问题的一个方向^[12]。

1 系统设计

1.1 设计思路

受益于近年来我国第4代移动通信技术(4G)、第5代移动通信技术(5G)、云平台、工业物联网等技术的快速发展,农业物联网产品在价格和易用性上都逐渐贴近用户的需要,然而在实用性上还存在问题,主要在于难以突破智能化控制的瓶颈。目前,物联网监测的环境数据只能用于自动卷帘、自动通风之类的简单操作,无法针对环境、作物长势、生长阶段等多条件进行综合决策和调控。原因一方面在于传统农学研究的模型往往是在限定条件下做出的,在生产的复杂条件下难以应用到系统控制中;另一方面,功能稳定的传感器只有空气温湿度、土壤温度、土壤湿度、光照度、二氧化碳浓度等少数几种,缺乏对农业生产的整体信息,尤其是作物生长信息、病虫害信息的获取,也使得无法进行综合调控。因此,目前农业物联网还停留在“能看”

收稿日期:2021-06-09

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD070170201);山东省重点研发计划(编号:2019GNC106073、2019LYXZ030);山东省重大科技创新工程(编号:2019JZZY010715);山东省技术创新引导计划(编号:2020LYXZ026)。

作者简介:李乔宇(1986—),男,山东济南人,硕士,助理研究员,主要从事农业信息化、人工智能技术研究。E-mail: joray86@126.com。
通信作者:穆元杰,硕士,研究实习员,主要从事农业物联网及智能装备研发工作。E-mail: myj2437@163.com。

的阶段,距离“能用”还有一定距离,对农业效益的提升并不明显。

从人工智能的发展历程来看,依靠专家经验的模型,效果远不及依靠大数据训练的模型,后者是语音识别技术和图像识别技术目前大规模应用的基础。因此,解决农业物联网实用性的方向,也在于大数据和人工智能技术。然而,目前的农业物联网系统中,并没有产生足够的数据量可以用于大数据分析和挖掘,一方面是各地的农业物联网系统割裂,没有统一汇聚成大数据;另一方面在于农业物联网系统监测的环境数据往往种类单一,缺乏分析利用的价值。因此,农业物联网系统的应用陷入一个悖论:一方面,农业物联网技术需要大规模应用,才能利用产生的大数据提高实用性和降低价格;另一方面,农业物联网需要提高实用性和降低价格,才能大规模推广。

解决悖论的一个思路是将物联网产生数据的价值返还给农业物联网的使用者(即农户),以平衡效益和成本的差距。分散的物联网数据是没有价值的,但当物联网数据汇聚成大数据后就能够挖掘利用,在农资推广、科学研究等方面具有巨大价值。因此,考虑建立经济模型,通过让数据的贡献者分享数据的价值,吸引广大用户参与,从而将物联网数据汇集起来。其中的关键在于信任机制的建立,而区块链技术正是建立信任机制的工具。区块链技术的去中心化设计使得参与的每个节点可以在互不相识、没有建立信任的前提下参与到同一条区块链中,通过共识和算法保证参与者的权益不会被篡改,正符合本研究的目的。

1.2 去中心化设计

长期以来,信任的建立需要中介机构提供担保,典型的中介机构如银行,人与人之间基于对银行的信任建立借贷关系,以银行做信用担保、记录账务的系统被认为是中心化的系统。但是中心化的系统也存在作恶的可能,2008 年金融危机爆发,使人意识到对中心化系统的信任同样存在风险,区块链技术便是在这样的背景下出现的,Nakamoto 提出了比特币^[13],一种不依赖金融系统记账和信任背书的虚拟货币,其实现的关键在于区块链,每笔交易记录在一个区块中,链接在上一笔交易的区块后面,由此形成一条区块链;系统的参与者都维护该链的备份,通过分布式技术和共识算法,保证区块链的唯一性^[14-15]。区块链的核心思想在于通过技

术(密码学和共识算法)建立信任机制,使并不存在信任关系的系统参与者达成互信,从而摒弃中心化的机构。此后,比特币逐渐获得了大众的认可,而区块链技术也因上述特性被应用于多个领域,在农业中也有众多应用^[15-20]。但是,相较于中心化系统,所有参与者共同维护数据并保证数据的唯一性,明显要极大地损失效率,正因如此,效率、安全性、去中心化,被认为是区块链技术的“不可能三角”(图 1),即无法全部实现 3 个目标。为了能实现大规模应用,通过在去中心化程度上做妥协以提升效率,区块链又可分为公链、联盟链、私有链 3 类,见表 1。以区块链在农业中的典型应用——农产品追溯为例,追溯系统的参与方作为农产品供应链的责任主体,可以建立有限的信任关系,因此一般采用联盟链^[15-16];同时,区块链仅存证追溯数据的哈希值,以提高存储和查询的效率,也可以认为是在“不可能三角”中以安全为代价换取了去中心化和效率^[15]。

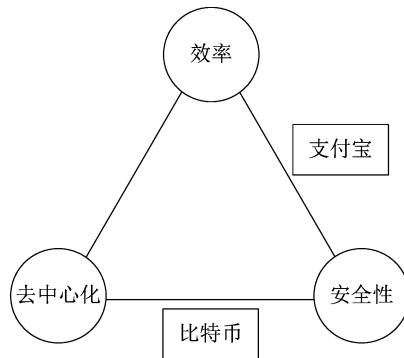


图1 区块链“不可能三角”

表 1 区块链分类

区块链	中心化程度	效率	节点间信任关系
公链	去中心化	低	不存在信任
联盟链	多中心化	较高	存在部分信任
私有链	弱中心	高	完全信任

去中心化农业物联网系统的核心是通过区块链技术建立信任机制,使系统的参与方形成互信,从而将物联网监测信息汇集成大数据,产生数据价值。考虑到系统的用户主要是未建立信任关系的物联网设备用户,系统需要严格去中心化保证信任机制,因此必须选择公链。但是相较于追溯系统,物联网系统的数据存取频次更高,也更加依赖效率,这又与公链的系统吞吐量相悖,必须要解决去中心化与效率的矛盾。

系统以通证经济的思路,通过“数据打包——

换取通证”的方式,解决这一问题。首先,系统的目的在于实现数据的权益共享,可以认为对于用户来讲,并不关心数据放置的位置以及由此带来的数据泄露、数据篡改等安全性问题,重点在于数据权益及由此带来的收益。在这一假设下,系统放弃数据层面的去中心化,转而实现数据权益层面的去中心化,即物联网信息存储在中心化的系统中,而区块链数据的权益以通证形式发放给用户,其中,通证的每笔发放都在区块链中记录,无法修改,从而保证系统可信。由此,数据的记录与权益的发放可以分割开来,本系统设计在每天固定的时间对 1 个周期内(一般为 1 d)用户上传的物联网数据进行清算,计算数据对应的通证数量,发放通证给数据所有者。本系统以该方式实现区块链与物联网的结合,可以认为是以一部分安全性为代价,换取去中心化和效率的平衡。

1.3 数据权益

数据权益的前提在于数据资产化。在法律上,很长时间以来数据的归属一直不明确,近年来这一状况在逐渐改变,2016 年,欧盟率先制定了《通用数据保护条例》(general data protection regulation,简称 GDPR),其中明确规定,数据的所有权属于数据的提供者,在法律上为鉴定数据所有权和保护个人在数据上的权益迈出了重要的一步。在欧盟之后,美国版 GDPR《加州消费者隐私法案》(CCPA)也在 2020 年开始实施。可以预见,保护个人用户数据在法律上是大势所趋。进一步的,数据资产化要使消费者享有数据权益,否则,消费者的数据只是存在

数据库中的杂乱信息,既无法看懂也无法发挥价值。这需要技术上的实现,一方面防止数据被窃取,还要使数据发挥价值,区块链被认为是突破口。谷歌公司前首席执行官施密特在 2014 年就指出:“区块链是一项了不起的加密成就,它能创建数字世界中不可复制的内容,具有巨大的价值。”《人民日报》也在 2019 年发文《区块链让数据“谁拥有,谁受益”》。

目前,由于我国在法律上没有明确界定,导致事实上用户数据由中心化的组织(公司、政府)负责保管和维护,并同时享有数据的权益^[21]。本研究设计的去中心化物联网系统,通过区块链的去中心化机制,保证参与者享受数据权益。围绕积分这一发放在区块链中的通证,实现对物联网数据价值的资产化,进而打造数据和价值循环的通证经济模型(图 2),在此基础上规定了通证经济运行的规则:(1)积分代表用户对数据的权益,系统内所有用户的积分构成积分池;(2)用户上传物联网数据,当日凌晨,智能合约自发运行,计算数据价值,将积分发放到用户账户;(3)数据售卖所得资金注入资金池,定期分配;(4)用户凭借账户内积分参与收益分配,收益分配按照积分占积分池的比例分配资金池资金,公式为 $\text{收益} = \frac{\text{积分}}{\text{积分池}} \times \text{资金池}$ 。积分数量每次参与资金分配都会自动销毁 1/2。(5)如果被发现用户通过作弊或者作假手段上传物联网数据获取积分,则该用户所有积分将被清零;(6)为防止炒作损害项目,积分仅用于系统内循环;(7)积分是通证

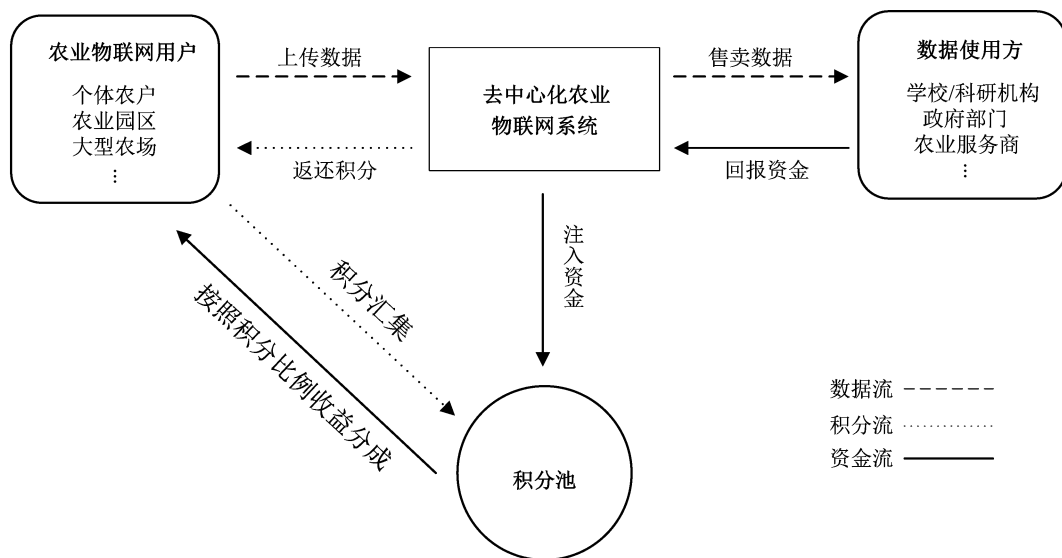


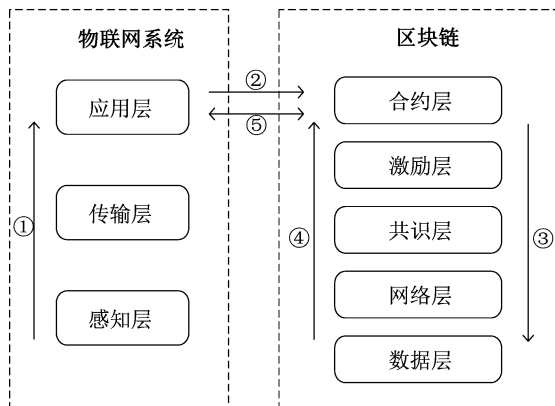
图2 通证经济模型

经济的关键,为了随着项目的发展,积分的功能将不限于收益分配,还可用于获取物联网和农业服务等。

2 系统实现

2.1 总体框架

系统的主体为传统的中心化物联网系统与基于区块链的去中心化的积分系统的结合(图3)。物联网系统完成数据的采集、上传、存储、展示功能,在物联网平台中设置定时器,触发区块链的智能合约,完成积分的发放。每个用户发放积分的过程都会记录在一个区块中,积分发放速度取决于区块链的出块速度,远远慢于中心化的系统,因此平台会持续查询区块链直至确认积分发放成功,在系统中更新用户的积分数量和积分池积分数量,并向用户发送消息告知。



- ①—物联网数据采集；②—触发智能合约进行数据结算；
③—智能合约自动计算数据对应积分价值，向用户转账积分，转账记录存于区块，数据哈希值存于区块备注；
④—全网确认；⑤—查询区块状态，系统更新积分信息

图3 物联网与区块链的结合方式

2.2 智能合约

智能合约是一种旨在以信息化方式传播、验证或执行合同的计算机协议,它允许在没有第三方的情况下进行可信交易,这些交易可追踪且不可逆转^[20]。事实上,智能合约并不是一个新的概念,早在1995年就由跨领域法律学者尼克萨博提出,是对现实中的合约条款执行电子化的量化交易协议。智能合约设计的总体目标是满足常见的合约条件(如支付条款、留置权、机密性以及执行等),以及最大程度地减少恶意和偶然地异常,最大限度地减少对可信中介的依赖。但是智能合约的工作理论迟迟没有实现,一个重要原因是缺乏能够支持可编程合约的数字系统和技术。区块链技术的出现解决

了该问题,不仅可以支持可编程合约,而且具有去中心化、不可篡改、过程透明可追踪等优点,天然适合于智能合约。将合约以数字化的形式写入区块链中,因区块链的特性,数据将无法删除、修改,只能新增,整个过程透明可跟踪,保证了历史的可追溯性;当满足合约内容时,将自动启动智能合约的代码,避免了人为干预过程,使得该过程无法发生违约。

在积分系统中,通过在区块链部署的智能合约自发运行,计算用户数据价值对应的积分值,算法为(1)设备单个传感器当日数据报送时间超过16 h时,认为数据有效,按照系统设定值发放积分;(2)多维数据具有更高的数据分析价值,所以采集数据类型越多,积分加成越多,对于具有 n 个传感器的物联网设备,其积分值的计算规则遵循公式:

$$\text{设备单日积分} = \sum_{i=1}^n w_i \times a_i, a_i \leq a_{i+1}。$$

其中, a_i 表示设备中第 i 号传感器根据其类型在系统中被赋予的积分值, w_i 表示加权值,遵循规则:若 $a_i \neq a_{i+1}$,则 $w_{i+1} = w_i + 1$ 。

2.3 实现细节

2.3.1 积分规则 不同的传感器价格不同,所包含的信息量也不同,所以对应的积分值应该有差异,积分系统中提供对不同传感器类型积分值的设定;同时,多维信息的信息量更高,大数据分析的价值更大,因此积分系统中鼓励在设备中增加传感器的类型,提供对多维信息逐渐增加权值的计算公式设定。

2.3.2 区块链 由于区块链的技术特性,在公链中转账需要耗费资源,当转账数量很大时,就需要很高的运行成本。在本研究的积分系统中,由上述设计的通证经济模型,需要在区块链中执行大量的转账操作。为此,积分系统使用的区块链为基于墨客(MOAC)主链开发的子链,子链可以发行区块链通证,并且运行耗费很少的主链资源,大大降低了成本。积分系统运行之初,在区块链中发放代表积分值的虚拟币(通证),虚拟币存放于锁定账户中,该账户中的虚拟币不参与流转;用户在系统中注册后,会在区块链中为用户生成账户,当发生积分系统清算时,会将虚拟币从锁定账户向用户账户转账,转账过程记录在区块链中。

2.3.3 区块链交互规则 当日凌晨,积分系统对系统中的用户逐个进行积分结算,触发区块链中的智能合约,智能合约输入为用户所有设备当天上传的

物联网数据关键值,按照积分规则,智能合约计算得到该用户当日的积分值,随后发起向用户区块链账户的转账,同时数据哈希值作为转账的附加信息。积分系统持续查询直至确认区块链中虚拟币转账完成,积分系统中更改用户的积分值。

2.3.4 积分账户 用户积分账户分为云平台积分账户和区块链虚拟币账户,二者一一对应,用户积分变动会同时影响 2 个账户。云平台积分信息存储于数据库,由于数据库查询速度比区块链快,所以云平台积分账户用于对用户的积分显示和管理;区块链虚拟币账户显示用户在区块链上的积分数量,具有不可篡改性。系统保证 2 个账户中的积分数量相等,用户也可以看到 2 个账户的积分/虚拟币数量自行判定。

2.3.5 积分池 系统中所有用户积分值的总和构成积分池,当日积分系统对所有用户积分清算完成

后,会根据用户云平台积分账户的值计算积分池总量。

2.4 功能实现

2.4.1 管理平台 系统的管理平台是在传统物联网功能的基础上,结合了基于区块链的积分系统。平台内的物联网数据会在区块链中存证,由于区块链的响应速度和存储量远不及中心化的物联网系统,因此系统设计为在凌晨时段定时开启数据存证,将当日的物联网数据经哈希运算得到的值写入到区块链中,由区块链的不可篡改性和哈希(Hash)算法保证的结果唯一性,确保物联网数据安全不可以更改。通过数据存证管理页面的交易 Hash 链接,可以看到数据在区块链中的记录(图 4)。在平台进行区块链数据存证的同时,会将用户所有设备上传数据对应的积分值发放到用户账户,在积分管理界面显示各个用户的积分和积分发放详情(图 5)。

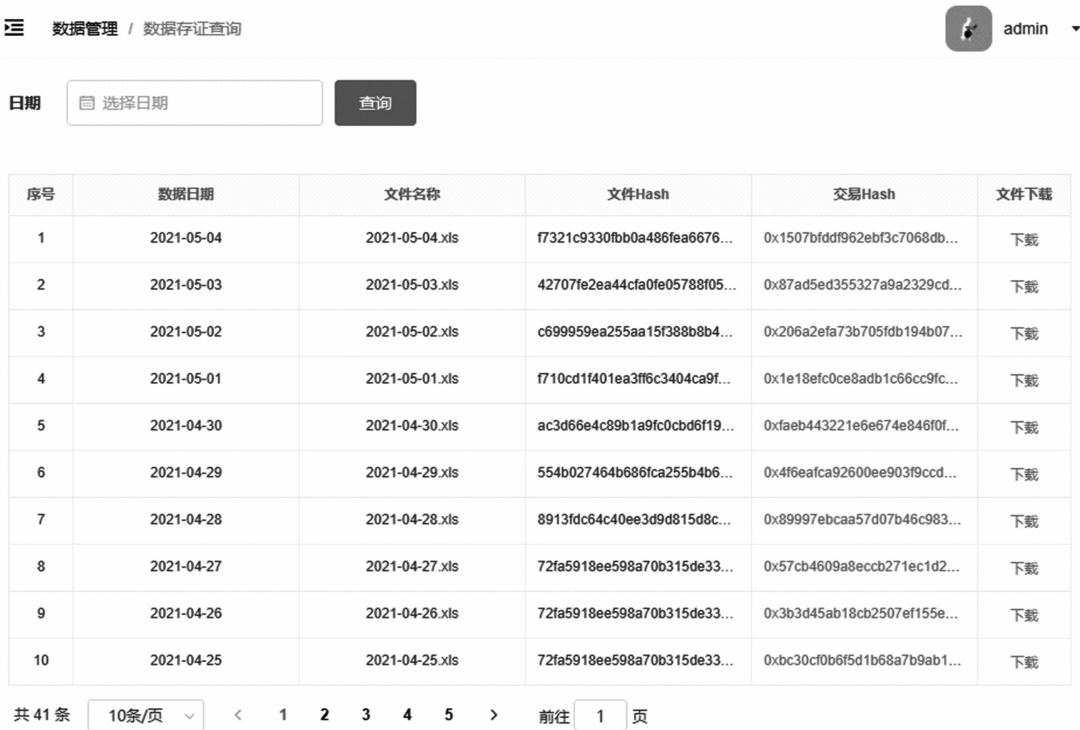


图4 数据存证界面

2.4.2 软硬件产品 为便于推广应用,系统的软硬件产品按照消费市场的需求设计,硬件设备采用通用分组无线业务(GPRS)、窄带物联网(NB-IoT)、CAT1 等无线网络,避免布线网络;前端交互采用微信小程序(图 6)的形式,通过微信小程序扫码设备上的二维码绑定设备,使用物联网功能,并根据上传的物联网数据获得积分。

3 总结与展望

本研究主要探讨一种通过使参与者分享数据权益以提高农业物联网系统使用率的方法,由区块链技术建立信任上的独特技术特点,利用区块链技术建立一种对于农业数据权益由参与者共享而非系统所有者占有的,即去中心化的物联网系统。



图5 积分管理界面



图6 微信小程序界面

此外,还对数据权益的归属进行了分析和讨论。在现阶段,农业物联网设备普及的关键仍然在于其实用性和易用性,而在对用户数据权益日益明确的大趋势下,本研究提出的利用区块链保护用户数据权益的方法,对于区块链应用、大数据收集、农业智能系统建设等均具有前瞻性和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 李道亮, 杨 昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 1-20.
- [2] 李道亮. 农业物联网导论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [3] 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 222-230, 277.
- [4] 施苗苗, 宋建成, 田慕琴, 等. 基于物联网的设施农业远程智能化信息监测系统的开发[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 392-395.
- [5] 静 平, 张晓梅, 许艳丽, 等. 纳米材料电化学传感器在食品安全检测中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(2): 379-382.
- [6] 赵 静, 苏光添. LoRa 无线网络技术分析[J]. 移动通信, 2016, 40(21): 50-57.
- [7] 赵 晴, 臧贺藏, 张 杰, 等. 基于物联网技术的作物虫情采集监测预警系统构建[J]. 河南农业科学, 2019, 48(12): 164-169.
- [8] 周国民. 我国农业大数据应用进展综述[J]. 农业大数据学报, 2019, 1(1): 16-23.
- [9] 孙海龙. 农业大数据专家孙九林院士: 数据信息改造传统农业[J]. 农业工程技术, 2016, 36(15): 35-37.
- [10] 段青玲, 刘怡然, 张 璐, 等. 水产养殖大数据技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(6): 1-16.
- [11] 官 波, 陈婷婷, 罗治情, 等. 湖北省农业农村大数据发展问题研究[J]. 农业大数据学报, 2021, 3(1): 81-87.
- [12] 李乔宇, 阮怀军, 尚明华, 等. 区块链在农业中的应用展望[J]. 农学报, 2018, 8(11): 78-81.
- [13] Nakamoto S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system[EB/OL]. [2021-05-09]. https://www.kean.edu/sites/default/files/u26/bitcoin_0.pdf

而由区块链技术和物联网技术各自的技术特点,为克服双方在响应速度、吞吐量上的差距,设计了基于通证经济模型的数据权益去中心化机制和相应的规则,在传统物联网系统的基础上,通过区块链的智能合约对用户的物联网数据进行结算,针对数据价值设计了积分定价规则,研发了链上链下共同运行的通证/积分发放系统,实现了去中心化的物联网系统。

戚琳,宋修超,沈新,等. 3-吲哚乙酸对植物修复重金属污染土壤的增效作用[J]. 江苏农业科学,2022,50(4):193-197.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.04.032

3-吲哚乙酸对植物修复重金属污染土壤的增效作用

戚琳¹, 宋修超², 沈新¹, 陈雅静¹, 张瑞敏¹, 关莹¹

(1. 江苏开放大学环境生态学院, 江苏南京 210017; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014)

摘要:为探究植物在外源 3-吲哚乙酸(IAA)作用下对重金属[铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)]污染土壤的修复效果,以江苏省某重金属复合污染区土壤为对象,通过盆栽种植紫花苜蓿和黑麦草 2 种先锋植物,研究 3-吲哚乙酸对植物修复重金属污染土壤效果的影响。结果表明:IAA 可促进植物在重金属污染的土壤中生长,紫花苜蓿和黑麦草株高、根长和生物量均比不添加 IAA 的处理显著高;相比于对照,各处理土壤重金属含量降低,其中 IAA 处理下黑麦草土壤 Cu、Zn、Cd 含量最低,IAA 处理下紫花苜蓿土壤 Pb 含量最低;IAA 作用下土壤重金属去除率和植物体内重金属含量提高,2 种植物对 4 种重金属的生物富集系数(BCF)提高,但紫花苜蓿中 Pb 和 Zn 转运系数(TF)降低,黑麦草中 Cu 和 Zn 的 TF 不受 IAA 影响。综合分析,植物激素 IAA 可促进植物生长,对植物修复土壤重金属污染具有增效作用。

关键词:3-吲哚乙酸;植物修复;重金属;去除率;富集系数;转运系数

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)04-0193-05

土壤是动植物和微生物的主要栖息场所,同时是各种污染物的最终归宿^[1]。土壤污染具有隐蔽性、滞后性、累积性和不可逆转性等特点,导致其治理难度大、耗时长、恢复代价大^[2]。作为典型的无机污染物,重金属毒性强,进入土壤后难降解,能与土壤有机质或矿物质相结合并长期留存于土壤中,最终在土壤中不断积累^[3],同时通过食物链的富集作用危及人类健康,引发生态风险^[4-5]。

植物修复(phytoremediation)是利用植物及其根际微生物群落的理化或生物过程来吸收、转化、降解、挥发或固定土壤污染物的一种原位生物修复技术^[6-7]。相较于传统理化修复方法,植物修复成本低,对环境破坏小、扰动少^[8]。然而,大多数超积累植物(hyperaccumulator)适生范围窄、根系浅、生长慢,无法达到快速处理复合污染土壤的目的^[9]。因此,植物修复的关键在于促进植物体根部生物量的增加,保证植物在污染土壤中定植并发挥作用。

植物激素 3-吲哚乙酸(IAA)是植物体内合成的、调控植物生长发育的微量有机物质,能促进植物细胞伸长、分裂和分化生长,提高植物抗逆性、促进植物根系发育和叶片生物量的增加,对植物的生长发育和生理生化有着重要影响^[10-11]。IAA 用于促进植物生长已具有一定的研究基础^[12],但应用于强化植物修复土壤重金属的报道较少。因此,本研究选取江苏省典型重金属复合污染土壤,筛选先锋

收稿日期:2021-05-14

基金项目:江苏开放大学(江苏城市职业学院)“十三五”科研规划课题(编号:18SSW-ZR-Y-17);江苏省大学生创新创业训练计划(编号:202014000008Y);江苏省环境工程重点实验室开放基金(编号:HX2017005)。

作者简介:戚琳(1987—),女,山西临汾人,硕士,实验师,主要从事环境生态学及土壤修复相关研究。E-mail:qlkatrina@163.com。

通信作者:宋修超,博士,助理研究员,主要从事农业废弃物肥料化与基质化利用相关研究。E-mail:xiuchao103@163.com。

[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.

[15]杨信廷,王明亭,徐大明,等.基于区块链的农产品追溯系统信息存储模型与查询方法[J].农业工程学报,2019,35(22):323-330.

[16]孙传恒,于华竟,徐大明,等.农产品供应链区块链追溯技术研究进展与展望[J].农业机械学报,2021,52(1):1-13.

[17]孙俊,何小东,陈建华.基于区块链的农产品追溯系统架构研究[J].河南农业科学,2018,47(10):149-153.

[18]孙忠富,马浚诚,郑飞翔,等.区块链支撑农业大数据安全初探[J].农业大数据学报,2020,2(2):25-37.

[19]王云婷,庞晓琼,陈锦生,等.基于以太坊的数字权限保护系统[J/OL].计算机工程与应用,[2021-11-09].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20210316.1716.008.html.

[20]陈玥婧,周爱莲,谢能付,等.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.

[21]程啸.区块链技术视野下的数据权属问题[J].现代法学,2020,42(2):121-132.