

李沐纯,毛明晨. 区块链赋能智慧农业发展的研究热点、演进势态和未来展望[J]. 江苏农业科学,2025,53(5):1-12.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.05.001

# 区块链赋能智慧农业发展的研究热点、 演进势态和未来展望

李沐纯<sup>1,2</sup>, 毛明晨<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学旅游管理系, 广东广州 510006; 2. 华南理工大学数字乡村与文旅可持续发展重点实验室, 广东广州 510006)

**摘要:**全面推进大数据、区块链、5G 等新兴技术赋能现代农业发展,是实现智慧农业高质量发展和农业强国建设的必由之路。以中国知网(CNKI)收录的关于区块链等数字技术赋能智慧农业发展的研究文献为数据来源,利用 CiteSpace 文献计量工具进行可视化分析,绘制关于区块链赋能智慧农业发展领域的科学知识图谱,全面系统化地分析该领域的研究脉络、研究热点与演进势态。结果表明,国内区块链赋能智慧农业发展研究阶段性特征明显,2019 年后出现快速增长,研究历程大致可以分为萌芽阶段、发展阶段和规范阶段;各研究学者和研究机构群体间联系较少,暂未形成紧密的合作群;区块链、农产品安全、智慧农业是当前领域的研究热点。未来须紧抓数字化机遇,促新兴技术融入智慧农业,深化多学科交叉融合与产学研协同创新,聚焦区块链技术在智慧农业中的实际应用场景与效能优化,推动形成标准化、可复制的技术范式,为农业现代化注入可持续动力。

**关键词:**区块链;智慧农业;研究热点;演进势态;CiteSpace

**中图分类号:**F323.3   **文献标志码:**A   **文章编号:**1002-1302(2025)05-0001-11

以农业科技创新促进农业现代化转型发展是我国实现由农业资源大国向农业科技强国转变的题中应有之义<sup>[1]</sup>。科技是第一生产力,实现大数据、互联网、区块链等数字技术同农业发展相结合,打造智慧农业先行样板对我国农业高质量发展具有重要意义<sup>[2]</sup>。近些年来党中央、国务院高度重视农业数智化发展,要将智慧农业、数智农业摆在突出位置<sup>[3-4]</sup>。“中央一号文件”强调要实现大数据、区块链、互联网等现代信息技术在农业领域中的应用,实现数字经济与实体经济协同发展<sup>[5]</sup>;国家“十四五规划”强调发展区块链等数字产业,以区块链技术驱动网络空间实现人人互联到万物互联的演进。智慧农业作为现代化农业发展的新理念,在农业农村发展过程中仍然面临着数据网络安全、高投

资与低增值矛盾、综合人才缺乏等一系列难题,影响了智慧农业在推动农业高质量、集约化、智能化发展的水平和效能<sup>[6]</sup>。

区块链起源于比特币,最初由中本聪(Satoshi Nakamoto)于2008年首次提出,其是一种集合了密码学、计算机科学、经济学、数学等多学科的分布式账本,具有分布式储存、去中心化、不可篡改、数据透明等特性<sup>[7-8]</sup>。自区块链技术提出以来,国内外学者对于区块链技术的应用领域进行了充分研究<sup>[4]</sup>,大多集中在农产品供应链<sup>[9]</sup>、农产品电商<sup>[10]</sup>、金融<sup>[11]</sup>、舆情领域<sup>[12]</sup>等,如国内学者胡祥培等认为农业供应链作为一个复杂的人机复合系统,基于区块链的农产品供应链溯源系统对其所面临的信息泄露和溯源信息造假具有实际意义<sup>[9]</sup>;陈尘等认为以去中心化特征的数字经济模型的兴起为农村电子商务发展再次奠定了基础<sup>[13]</sup>;尚杰等认为农业区块链发展具有技术创新、政策导向、时代机遇等诸多优势<sup>[14]</sup>,区块链赋能农业发展未来前景可期<sup>[15-16]</sup>。然而农业区块链的研究当前仍处于较为浅显层面,主要集中在私有链<sup>[17]</sup>、防伪<sup>[18]</sup>、溯源<sup>[19]</sup>等高端农业领域<sup>[20]</sup>,缺乏系统性和整体性,并且在智慧农业和可持续发展层面鲜有研究<sup>[21]</sup>。社会生态学和环境支持论学者认为农业区块链并不过分依赖于

收稿日期:2024-12-09

基金项目:广东省哲学社会科学创新工程项目(编号:GD24WTCXGC05);  
广东省研究生学位与研究生教育改革研究项目(编号:2023JGXM-006)。

作者简介:李沐纯(1977—),女,河南信阳人,博士,教授,主要从事文旅融合、乡村人才振兴与治理、旅游经济与服务创新等研究。  
E-mail:limch@scut.edu.cn。

通信作者:毛明晨,硕士研究生,主要从事乡村振兴、数字乡村建设、“三农”问题等研究。E-mail:m2041046023@163.com。

地域“硬环境”的专有属性,即使不同地区数字技术发展水平、农业资源禀赋等都存在差异,但区块链赋能智慧农业发展已经成为了全国共性问题<sup>[22]</sup>。

本研究基于 CiteSpace 文献计量软件,从新兴数字技术同智慧农业融合发展角度,对国内区块链赋能智慧农业发展的发文数量、合作作者与研究机构、关键词共现及聚类图谱、关键词突现图谱与时间线图谱进行可视化分析,深入探究当前我国区块链赋能智慧农业创新发展的研究热点和演进势态,以期为促进我国智慧农业高质量发展提出对策建议。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究方法

CiteSpace 是陈悦等于 2004 年基于 Java 语言和引文分析理论开发的一种用于文献数据挖掘与文献可视化知识图谱分析的计量软件,该软件自推出以来广受学术界的关注与使用<sup>[23]</sup>。CiteSpace 可视化知识图谱分析已经被广泛应用到有关区块链和智慧农业的研究领域<sup>[24-25]</sup>;李晓武等基于 CiteSpace 工具对 Web of Science 数据库中有关区块链领域的 5 326 篇文献进行可视化分析,探讨我国区块链发展的研究脉络和知识演进<sup>[26]</sup>;王金丽等对来自中国知网(CNKI)检索主题为“区块链”的 1 216 篇核心论文进行计量分析,研究探讨有关区块链的文献主题演变<sup>[27]</sup>;潘友菊等选取 Web of Science 核心数据集中 2010—2021 年的国际剑桥科学文摘(CSA)研究文献进行研究热点梳理和趋势变化<sup>[28]</sup>。然而对于区块链与智慧农业的赋能融合方面却鲜有学者使用文献计量软件进行研究。基于此,本研究基于 CiteSpace 6.1. R6 版本对国内区块链赋能智慧农业发展的研究文献数据进行可视化分析,以揭示我国区块链赋能智慧农业创新发展的研究热点与演进势态。

### 1.2 数据来源

研究文献数据来源于中国知网数据库,以“区块链、智慧农业以及数字技术和农业发展”为关键词进行检索,检索年限设定为 2016 年 1 月 1 日至 2024 年 11 月 1 日,研究类型为综述型和研究型论文。获得符合检索条件的论文共 2 008 篇,为确保研究结果的权威性和可靠性,在去除报纸、咨询、会议类以及重复发表的文章后,共获得中文核心、中文社会科学引文索引(CSSCI)以及中国科学引文数据库(CSCD)文献 628 篇,经数据转换后最终得到

586 篇有效文献数据用于知识图谱分析。

## 2 区块链赋能智慧农业发展的研究现状

### 2.1 时间序列发文数量分布

如图 1 所示,自 2016 年区块链技术应用在我国提出以来,有关区块链赋能智慧农业发展的相关文献数量呈现倒“V”形走势,2016—2018 年文献数量增速较为缓慢,2019—2022 年文献数量大幅提升,并于 2022 年达到顶峰;2023—2024 年发文数量缓慢下降。整体而言,我国区块链技术赋能农业发展可分为 3 个阶段:萌芽阶段、发展阶段、规范阶段。2019 年中国工信部发布《2018 年信息化和软件服务业标准化工作要点》,国家共计出台 40 余部区块链相关指导政策,对区块链技术的支持力度不断加大,强调区块链技术要与互联网、大数据、人工智能相互融合,实现在各个领域的深入应用。2023 年受宏观环境、加密货币监管政策收紧等多重因素叠加影响,全球区块链企业数量增长明显放缓。区块链等新兴信息科技技术一直是我国步入数字化时代后的研究重点,2024 年工业和信息化部、中央网络安全和信息化委员会办公室和国家标准化委员会关于印发《区块链和分布式记账技术标准体系建设指南》的通知中强调,要扎实推进《新产业标准化领航工程实施方案(2023—2035 年)》,加强区块链标准工作顶层设计,促进区块链技术同大数据要素、人工智能、物联网等深度融合,打造一批高水平、高质量、高效率的现代化产业。因此,基于数字经济时代的持续推进,区块链与智慧农业的协同发展受到学者的广泛关注。

2.1.1 萌芽阶段(2009—2016 年) 20 世纪 90 年代在我国经历计算机、互联网、物联网三大浪潮之后,进入“三网融合”发展时代,区块链作为第七次科技浪潮的信息技术,最早是以比特币的形式在我国受到关注<sup>[29]</sup>,2013 年随着国内众多 ASIC 矿机经营成功,国内资本家开始大力投入比特币导致其价格水涨船高,引起投资热潮;2014 年中国央行正式设立数字货币研究小组,标志着对于区块链技术研究的开始;2016 年区块链才成为人们关注的热点信息科技技术,同年中国工信部发布《中国区块链技术和应用发展白皮书(2016)》,中央正式将区块链技术列入我国“十三五”发展规划。洪涛最早在研究中将区块链与农产品电商发展相结合<sup>[30]</sup>,指出区块链作为一种新兴技术能够拓展农产电商的发展路

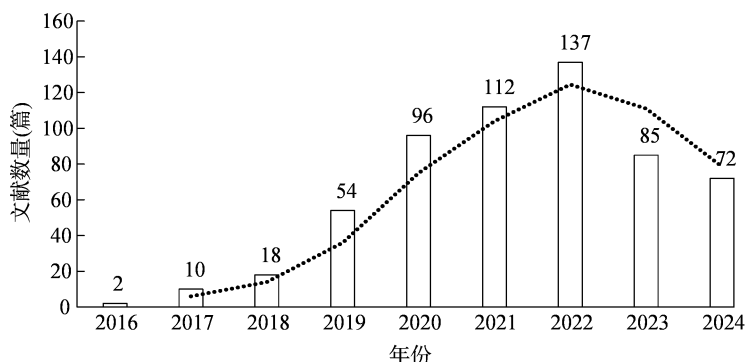


图1 区块链赋能智慧农业发展领域发文数量

径;而随后农业农村部信息中心康春鹏同年首次将区块链与我国农业发展相结合,详细阐述了区块链技术在农业领域应用的六大应用场景<sup>[31]</sup>。

2.1.2 发展阶段(2017—2020 年) 2017 年国务院发布《关于进一步扩大和升级信息消费持续释放内需潜力的指导意见》,鼓励以开源代码进行信息软件开发,开展基于区块链技术的试点应用,部分学者也开始逐渐将区块链技术引入到农产品电商物流<sup>[32]</sup>、现代农产品供应链<sup>[33]</sup>、能源互联网<sup>[34]</sup>等方面进行研究;2018—2020 年我国加大对于区块链技术同产业融合创新发展的支持力度,国务院办公厅《关于支持国家新区深化改革创新加快推动高质量发展的指导意见》指出,要大力推进区块链等新兴前沿技术在工业互联网中的应用,不断探索“区块链+”模式,2018 年华为正式推出云区块链服务 BCS,并逐步开始投入商用。部分学者对于区块链在农业中的应用研究也逐步加大,文献发文数量由 2017 年的 10 篇上升到 2020 年的 96 篇,增速达到 28.6%,但此时期对于区块链的应用研究主要集中在工业、制造业、服务业方面,国内学者对于区块链赋能智慧农业发展鲜有研究且研究层次多集中在理论研究上,缺乏实践案例和数据支撑。

2.1.3 规范阶段(2021 年至今) 2021 年中央一号文件发布《中共中央国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》指出,智慧农业是现代农业发展的新业态,要大力推动大数据、区块链、互联网等新兴技术同农业发展相结合,赋能我国智慧农业建设;2024 年农业农村部等 4 个部门联合印发《2024 年数字乡村发展工作要点》,指出要加强农业科技创新与应用推广,以“大数据+区块链”模式赋能智慧农业,以新兴数字技术和信息技术深化农业社会化服务。区块链应用前景广阔,近些年大部分学者对于区块链同农业的研究集中在农村

电商用户<sup>[35]</sup>、食品溯源<sup>[36]</sup>、供应链金融<sup>[37]</sup>、智能合约<sup>[38]</sup>等方面,但学者对于区块链、大数据等数字技术赋能智慧农业发展却鲜有研究,夏辉等认为区块链在农业领域的研究仍处于起步阶段,基于早期日本区块链赋能农业发展的经验,区块链技术应用于农业要融合溯源、农业大数据等技术,实现区域数据可视化,加入“块日志”推进智慧农业发展<sup>[39]</sup>;陈林蔚指出了当前我国智慧农业发展的主要问题,并深入剖析了区块链在智慧农业中的应用优势,能够为智慧农业发展提供技术支持<sup>[40]</sup>;王庆福认为智慧农业在农村地区基础较弱,区块链技术在智慧农业发展中仍面临着效率低、数据安全得不到保障、人才短缺等诸多困境,限制了区块链技术的效用发挥<sup>[41]</sup>。虽然区块链技术在我国的研究应用不断加深,但对于区块链赋能我国智慧农业的发展仍然处于初级阶段,现有学者的研究并未从区块链技术的深层次理论、效用去解决当前智慧农业所面临的困境,大部分研究仍停留在理论探讨阶段,没有形成系统性的研究体系,为了实现农业强国的转变,推动我国农业高质量发展,研究区块链赋能智慧农业的发展任重而道远。

## 2.2 核心作者与合作关系分析

某一领域的核心作者及合作网络关系可以通过 CiteSpace 合作作者分析进行有效辨识,核心作者反映了作者在其研究领域的影响力程度,合作关系网络则体现了某领域内作者之间的合作疏密程度与研究兴趣。本研究绘制出的图谱(图 2),共呈现作者 213 位,连线 185 条,网络密度为 0.008 2,说明区块链赋能智慧农业发展领域的作者之间存在一定的合作关系,但大部分学者都呈现抱团研究状态,团内学者合作联系紧密,缺乏和其他学者的合作沟通并且还有一部分学者存在独立研究状态,说明在我国区块链赋能智慧农业发展领域研究相对

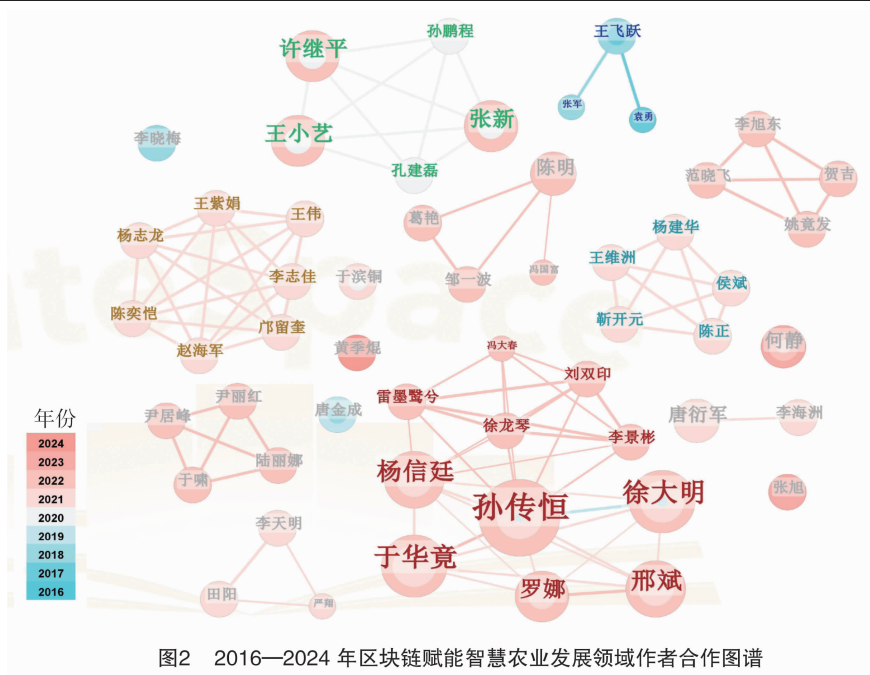


图2 2016—2024 年区块链赋能智慧农业发展领域作者合作图谱

较为分散,没有形成合作统一、联系紧密的合作群体,不同团体间的作者合作仍需加强。

作者合作图谱中的文字大小能够反映作者的发文数量,颜色深浅能够反映作者发文时间的早晚,网络连线状况能够反映作者间的合作紧密关系。图谱中节点较大的作者共有 12 位,即孙传恒、徐大明、于华竟、杨信廷、邢斌、许继平、张新、王小艺、罗娜、唐衍君、何静、陈明。根据普赖斯定律,作者至少需要发表  $m_p$  篇论文才能成为该研究领域的核心作者。

$$m_p = 0.749 \sqrt{n_{pmax}} \quad (1)$$

公式(1)中  $n_{pmax}$  代表 2016—2024 年期间在区块链赋能智慧农业发展领域中的作者最大文献发表数量<sup>[42]</sup>,根据表 1 可知, $n_{pmax} = 9$ ,则  $m_p \approx 2.25$ 。说明作者至少需发表 3 篇及以上数量的论文才能成为该领域的核心作者。由表 1 可知,该领域的核心作者共有 12 位,其中孙传恒、徐大明、于华竟、杨信廷、邢斌、罗娜 6 位核心作者构成了一个较大的合作群体,许继平、张新、王小艺构成了另一个较小的合作群体,陈明虽与其他学者也构成了合作网络关系但群簇合作网络较少,同唐衍君、何静作者相同都处于相对独立的研究状态。

为了进一步研究该领域核心作者的合作关系及其具体研究领域,在统计核心作者发文数量时整合了其各自的研究方向。根据作者合作图谱及表 1 分析可知:(1)核心作者的研究方向均为区块链、农

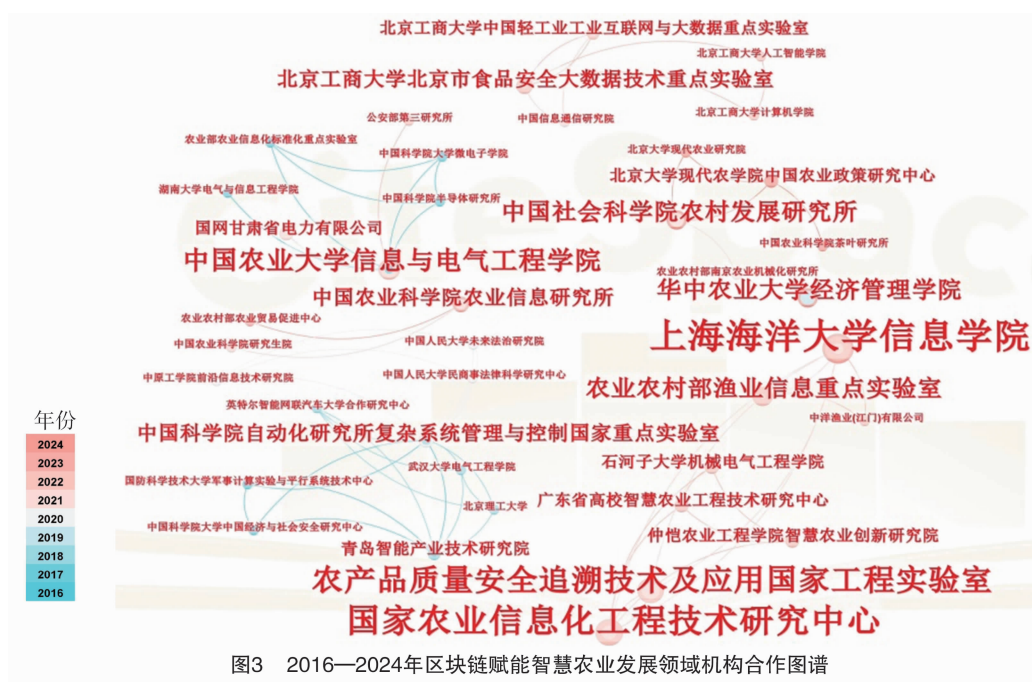
产品、农产品供应链、数据共享等,表明其在研究区块链技术与智慧农业发展上具有一定的专业性,同时也体现了当前区块链技术与智慧农业结合发展的热趋势;(2)核心作者的研究方向涉及区块链技术功能的多个领域,虽然目前在该领域已经形成较为鲜明的作者群簇,例如以孙传恒为主的研究区块链与农产品溯源的较大群簇以及以王小艺为主的研究区块链与农产品供应链的较小群簇,但是不同群体之间鲜有合作、联系且有大部分学者处于独立研究状态;(3)据统计显示发文数量在 3 篇以上的核心作者只有 12 位,论文数量共计 56 篇,占区块链赋能智慧农业发展论文数量总数的 9.56%,与核心作者群发文量占比须达到 50% 存在较大差距<sup>[43]</sup>,表明区块链赋能智慧农业发展作为当前现代农业的发展热点,并未形成较为统一、稳定的核心作者群并且对于区块链与智慧农业融合发展的研究较少,当前学者将研究中心放在区块链技术的特点、作用与农产品溯源、产品交易上,对于智慧农业发展的现存问题并未展开深入探讨,学者之间的相互合作仍存在巨大潜力。

### 2.3 发文机构及其合作关系分析

通过机构分析,对区块链赋能智慧农业发展领域主要作者所在的机构进行分析,不仅能揭示我国在该领域的主要研究机构,也能从侧面反映出目前区块链与智慧农业领域主体力量分布状况。基于 CiteSpace 可视化分析,得到机构合作图谱(图 3),

表1 核心作者发文量及具体研究方向

序号	作者	发文量(篇)	研究方向
1	孙传恒	9	农产品、区块链、溯源、供应链
2	徐大明	6	农产品、区块链、追溯、农产品供应链
3	于华竟	6	农产品、区块链、追溯、农产品供应链
4	杨信廷	5	农产品、区块链、食品安全溯源、追溯
5	邢斌	5	农产品溯源、区块链、追溯主体、数据共享
6	许继平	4	区块链、全供应链、信息安全、智能合约、超级账本
7	张新	4	区块链、粮油食品、全供应链、智能合约、可信追溯
8	王小艺	4	区块链综合索引指数、多链、可信共享、可信标志
9	罗娜	4	农产品溯源、区块链、溯源、质量安全
10	唐衍军	3	区块链、质量安全、应急管理、共识机制、信息共享
11	何静	3	区块链技术、食品安全、食品追溯
12	陈明	3	Hyperledger Fabri、区块链、数据安全、水产品交易



其中包含机构 178 个,机构间网络连线 116 条,网络密度为 0.007 4,总体看来各机构间存在一定程度的合作关系,但联结关系相对较弱,各机构间的联系、合作关系潜力还有待激发。

根据机构合作图谱可知:(1)从发文节点来看,在区块链与智慧农业领域发文量较多的机构包括上海海洋大学信息学院、国家农业信息化工程技术研究中心、农产品质量安全追溯技术及应用国家工程实验室、中国农业大学信息与电气工程学院、中国社会科学院农村发展研究所、华中农业大学经济管理学院在内的6所机构,机构类型以研究信息和农业发展为主,专业程度较高;(2)从发文机构

合作关系来看,各机构间形成了一定的合作群体,以上海海洋大学信息学院为主的合作群体内部联系紧密,该群体内各机构间合作关系较多,其他群体内机构虽然存在合作,但网络结构关系较为单一,合作联系较少,说明当前在该领域各团体之间以及机构间合作程度并不紧密,大多数机构处于相对独立的研究状态,在后续研究中,加强各机构之间的合作联系、不同群簇之间的合作、机构跨部门跨区域合作尤为重要。

为了更加深入地探讨机构在区块链和智慧农业领域的研究状况,对主要发文机构的发文量、地域分布及其细分研究领域进行了文献数据整合。

根据表 2 可知:(1)从机构发文量来看,选取了发文量前 12 名的机构为主要发文机构,其中发文量最多的机构为上海海洋大学信息学院,发文量 11 篇,主要发文机构共计发文量 59 篇,在所有机构发文量中仅占比 10.07%,说明当前在该领域内机构研究较为分散,合作程度并不强;(2)从机构地域分布来看,75% 的主要机构都集中在北京、上海,由于二者经济发达,科技人才完备,区块链技术发展基础良好,成为区块链与智慧农业研究的主要区域,25% 的主要机构也都属于在农业研究较为突出的区域,侧

面反映了对于区块链与智慧农业的研究仅仅只集中在经济发达城市和农业经济强省,研究范围并未扩大,其他地域城市并未展开广泛研究;(3)从机构细分研究领域来看,机构的研究领域集中在区块链、农产品供应链、产品溯源、质量监察等方面,对于智慧农业存在交易效率低下、人才短缺、数据安全等问题鲜有研究,综合来看机构对于区块链赋能智慧农业发展的关注度较低,在该领域仍处于初级研究阶段。

表 2 2016—2024 年机构发文具体情况统计

序号	发文量 (篇)	发文机构	地域分布	细分研究领域
1	11	上海海洋大学信息学院	上海	区块链、水产品交易、食品溯源、农产品供应链
2	9	国家农业信息化工程技术研究中心	北京	农产品区块链、农产品质量溯源、数据共享、多链
3	7	农产品质量安全追溯技术及应用国家工程实验室	北京	区块链、供应链、追溯系统、质量安全、数据共享
4	5	中国农业大学信息与电气工程学院	北京	区块链、农产品、供应链、设施农业、去中心化
5	4	华中农业大学经济管理学院	湖北	电商平台、区块链技术、质量监察
6	4	中国社会科学院农村发展研究所	北京	农业农村、农业现代化、区块链+农业
7	4	农业农村部渔业信息重点实验室	上海	水产品交易、质量溯源、多链、跨链
8	3	中国农业科学院农业信息研究所	北京	现代农业产业链、农业污染、农业应用、电子证据
9	3	东北林业大学经济管理学院	黑龙江	农业产业链、生态农业、区块链金融、农产品监管
10	3	上海海洋大学经济管理学院	上海	区块链、食品安全、追溯
11	3	北京工商大学北京市食品安全大数据技术重点实验室	北京	食品安全、粮油区块链、信息监管、智能合约
12	3	中国科学院自动化研究所复杂系统管理与控制国家重点实验室	北京	智能区块链、隐私保护、信息监管

3 区块链赋能智慧农业的研究热点与前沿分析

3.1 关键词共现网络分析

关键词是对文献主题的整体概括和凝练,通过整合文献进行关键词共现网络分析可以揭示当前区块链赋能智慧农业发展领域的研究热点、研究重点和未来研究发展趋势<sup>[45]</sup>。基于 CiteSpace 关键词可视化分析,在文献检索时通过对“区块链,智慧农业”“数字技术、农业”进行筛选,最后对 586 篇文献生成关键词共现网络图谱,发现共 242 个关键词,关键词间节点连线为 528 条,网络密度为 0.018 1。其中节点越大代表关键词出现的频次越高,在该领域内研究的人越多;节点由内而外代表不同的研究时间,越靠近圆心研究时间越早。

由图 4 可知,区块链、农产品、智慧农业、智能合约、数字经济等节点较大,说明当前该领域对于此类关键词的研究频次较高,并且各个节点间网络连线错综复杂,关键词之间联系较为紧密,为了探讨

该领域内学者对于关键词的关注度,通过对文献样本数据整理统计形成关键词共现频次及中介中心性(表 3),中介中心性大于 0.1 的节点就可以被认为是该领域研究的重要节点<sup>[46]</sup>。分析发现,区块链频次最高,中介中心性为 1.34,为当前学者所研究的重点,其次智慧农业中介中心性为 0.11,反映了当前学者对于区块链与智慧农业发展的关注度较高,智慧农业作为当前我国现代农业发展的新业态,在发展过程中仍然面临数据泄露、质量安全保障、高层次人才缺乏、数字基础设施不完善等困境,区块链作为新一代信息科技技术,具有去中心化、数据共享、智能合约的特点,能够保障食品质量安全,实现农产品溯源,对智慧农业发展具有重要作用。但当前对于区块链赋能智慧农业发展的联系程度并不紧密,区块链与智慧农业的网络线较少,目前对于区块链的研究集中在产品溯源、保险监管、产品供应层面,并未将区块链与智慧农业发展相结合,对该领域的研究还有待学者关注和探讨。



表3 关键词共现频次及中介中心性

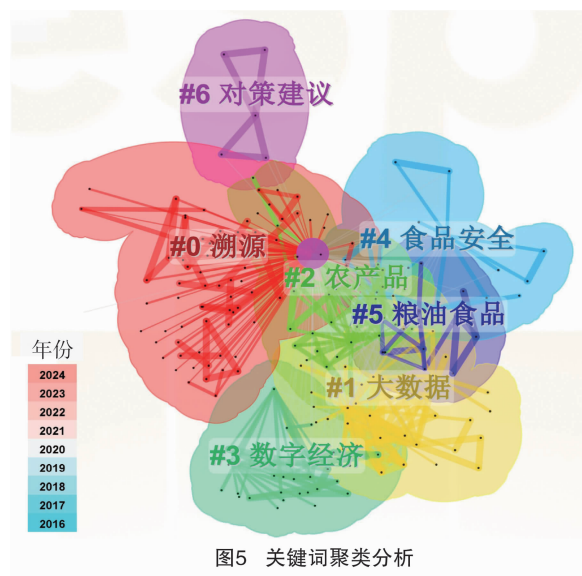
序号	关键词	频次 (次)	中心性	序号	关键词	频次 (次)	中心性
1	区块链	196	1.34	12	大数据	8	0.05
2	智能合约	26	0.07	13	产业链	5	0.02
3	溯源	22	0.05	14	信任	2	0.01
4	农产品	20	0.01	15	农业发展	2	0.02
5	数字经济	15	0.07	16	融合发展	2	0.01
6	智慧农业	14	0.11	17	知识图谱	2	0.03
7	物联网	14	0.01	18	农业经济	2	0.01
8	食品安全	13	0.05	19	数据安全	2	0.01
9	供应链	13	0.01	20	发展路径	2	0.01
10	去中心化	12	0.03	21	信息技术	2	0.01
11	乡村振兴	9	0.03	22	发展现状	2	0.03

### 3.2 关键词聚类分析

基于 CiteSpace 可视化分析中对数似然比算法对区块链赋能智慧农业发展领域的关键词进行分类整理,以揭示当前在该领域的研究主题和研究类别。关键词聚类分析中的清晰度一般用模块值和平均轮廓值来衡量,关键词聚类模块值  $>0.3$  时表示聚类结构显著,聚类平均轮廓值  $\geq 0.7$  时表示聚类结果的准确率和信服程度较高<sup>[23]</sup>。

由图5可知,关键词各聚类模块间未显现关键词之间的网络连线代表各关键词间的联系紧密程度,区块链作为首要关键词处于中心位置,与各个未显现关键词联系紧密。其中关键词聚类模块值为0.529 3( $>0.3$ ),表明聚类结构显著,聚类平均模块值为0.992 1( $\geq 0.7$ ),表明聚类结果具有较高信服力。聚类分析共得到7个聚类结果,分别为#0 溯源、#1 大数据、#2 农产品、#3 数字经济、#4 食品安全、#5 粮油食品、#6 对策建议,表明当前我国区块链

与智慧农业发展领域主要围绕这7个层面展开。党的二十大报告明确指出,要加快建设网络强国、数字中国,以推动现代服务业同先进制造业、现代农业发展深度融合,以新兴数字技术赋能传统农业,使智慧农业成为加快农业现代化、农业智慧化的新方向。农业发展问题作为我国“三农”问题的重中之重,在数字化时代契机下,我们要实现大数据、区块链、物联网等数字技术同智慧农业发展相结合,探索出具有我国本土特征和地域特色的“区块链+智慧农业”的现代农业发展模式,以实现科技助农、科技兴农、科技强农。



### 3.3 关键词时间线分析

为了刻画关键词聚类之间的网络关系和动态演变<sup>[46]</sup>,通过 CiteSpace 对 2017—2024 年间的文献样本数据进行时间轴可视化分析,由图 6 可知,区块链与农业、智慧农业发展领域的热点研究主题随时间

变化不断发生演变,并呈阶段化特征。2017 年主要关注区块链技术的溯源性、去中心化、契约协调等特征,探讨区块链与物联网、农产品供应的前景和路径;2020 年主要将区块链同实体经济发展相结合,通过区块链的数据共享、融资模式、超级账本等应用在农业农村发展中,助力乡村振兴;2023 年以后区块链技术的联盟链、私有链、溯源系统、数据监管等贯穿于农业经济发展的多个层面,区块链技术

开始应用到智慧农业发展领域。从各个聚类时间线长度来看,区块链、数字经济、食品安全、对策建议等主题的研究时间较长,在数字经济发展时代下,我国农业发展要深度重视对于区块链技术的应用转化,以区块链技术数据共享、去中心化、不可篡改的特点和功能解决智慧农业发展困境,实现现代农业高质量发展。

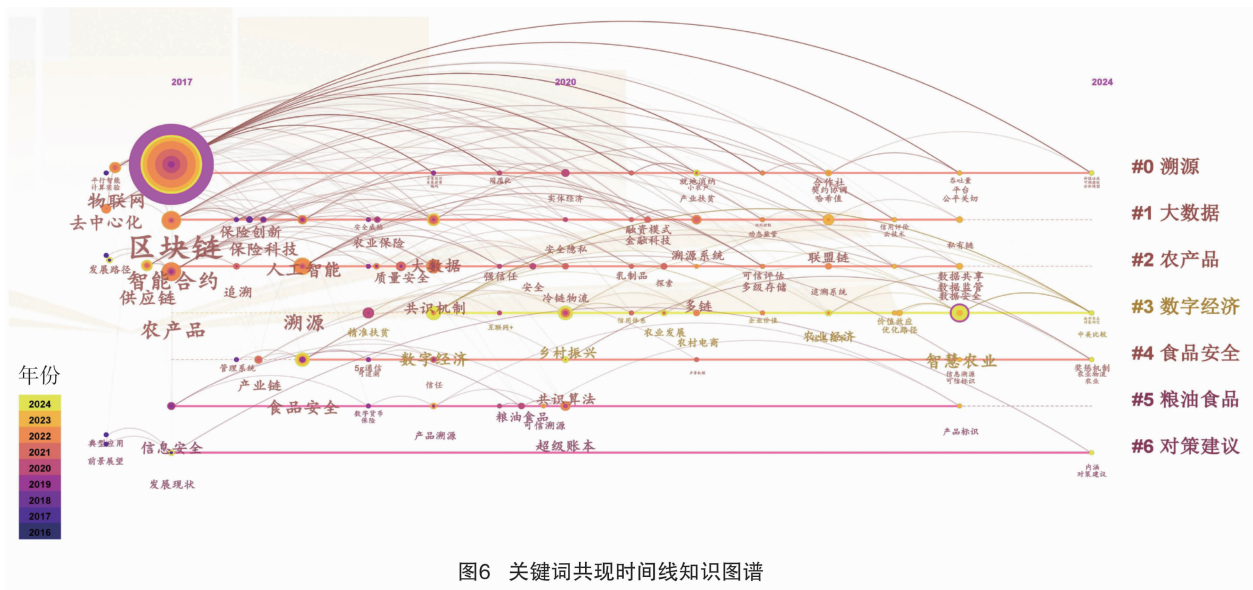


图6 关键词共现时间线知识图谱

### 3.4 关键词突现热点分析

基于 Citespace 可视化分析软件对文献数据进行关键词突变分析可以揭示在区块链赋能智慧农业发展领域研究热点的重大转向和变化情况,是该领域内研究前沿分析和未来研究热点预测的重要方式<sup>[47]</sup>。根据所形成的关键词突变图谱(图 7),得到在区块链赋能智慧农业发展领域内的前 14 位为突变关键词,从突现强度来看,精准扶贫的突现强度最高,突现强度值为 2.65,其首次出现时间为 2019 年,表明 2019 年区块链、大数据等新型数字技术在助力我国乡村振兴,实现精准扶贫中发挥了重要作用。2019 年 2 月,中共中央国务院发布《关于坚持农业农村优先发展“三农”工作的若干意见》,首要任务就是“凝心聚力精准施策,决战决胜脱贫攻坚”,在脱贫方面要着力解决突出问题,坚持扶贫与扶智相结合,实现人工智能、区块链、互联网等新一代信息技术同贫困地区的传统农业发展相结合,着力解决产销脱节、风险保障不足等问题,提高贫困人口的直接受益水平,实现科技精准扶贫;其次食品安全突现强度较高,突现强度值为 2.28,近些

年来随着人们物质生活水平的不断提高,人们对高品质、高质量、绿色健康的生活越来越向往,其中和人们关系最为密切的就是食品安全,区块链作为具有不可篡改、数据透明、网络共享等特点的数字技术,消费者可利用区块链技术进行产品溯源和质量追溯,以实现食品安全更好的自我把控;从关键词突现持续时间来看,信息安全、多链持续时间最长,突现持续时间为 3 年,2017—2020 年是我国区块链技术由萌芽阶段转向发展阶段的重要时刻,此期间对于区块链技术各行各行的应用研究程度并不深入,学者主要关注在应用过程中区块链技术的信息透明性和信息安全保障,虽然区块链具有数据共享、数据处理效率高的特点,但应用过程中的数据安全、风险防范问题值得关注。2021—2024 年随着区块链技术发展和应用水平在我国不断提高,面对区块链业务场景的复杂多变,对于其信息数据处理能力、可扩展能力和安全能力提出了更严峻的挑战。诸多学者提出一系列区块链多链模型,为业务动态扩展和应用场景优化提供了较好的支持。



根据关键词突现图谱来看,近些年来对于区块链与智慧农业发展领域的关注集中于农村电商、多链、契约协调、哈希值、可信溯源领域,一方面反映了当前我国对于区块链技术功能效用的深度挖掘和再应用,将区块链拓展到私有链、共享链、多链联盟的范畴,对于集中农业资源,实现规模经营具有重要作用,并且产品的可信溯源和数据共享,也能实现农业产品供给侧与市场需求侧的有效结合,区块链技术在我国未来农业农村发展中潜力较大;但另一方面也反映出了当前对于区块链技术本身的过度关注,关键词突现中并没有体现出智慧农业、农业发展,表明近些年来对于区块链赋能智慧农业发展的研究关注程度较低,对于区块链和智慧农业的发展处于相对独立状态。智慧农业是利用新一代数字技术、信息技术赋能传统农业,形成的具有智能化、集约化、规模化的新型农业业态<sup>[49]</sup>。区块链技术作为新时代科技革命的重要产物,能够赋予智慧农业新的发展动力,对解决智慧农业发展困境,推动我国农业高质量发展具有不可替代的作用。

## 4 结论与展望

### 4.1 研究结论

本研究通过 CiteSpace 文献计量软件对国内区块链技术赋能智慧农业发展领域进行系统性文献综述,对于该领域的研究热点、研究进展和演进趋势进行文献数据整理、知识图谱等可视化分析,得到以下主要结论:

(1)区块链赋能我国农业发展领域总体上经历了萌芽阶段、发展阶段和规范阶段,有关区块链等

新型数字技术赋能智慧农业发展领域的文献数量呈现倒“V”形走势,前期增速缓慢,中期发文量增速较快,后期缓慢下降;作者与合作机构呈现各自抱团形成“局部集中,整体分散”的特点。发文数量与时间分布上,自 2016 年区块链技术在我国开始正式研究应用以来,前期阶段发展较为缓慢,2019—2022 年,由于国家对于区块链、互联网、大数据等新兴技术的大力支持,积极推动区块链技术在农业发展领域的应用,形成了区块链技术研究的热潮;2023 年以来,受宏观经济环境影响和国际复杂因素制约,对区块链技术的严格把控使得该领域内的文献数量呈缓慢下降趋势;合作作者与发文机构上,以孙传恒、徐大明、于华竟等主要学者构成了区块链赋能智慧农业发展领域的核心作者,他们主要研究区块链与农产品供应链,对该领域的前沿研究做出了巨大的理论贡献;上海海洋大学信息学院、国家农业信息化工程技术研究中心等作为当前该领域的主要研究机构,在区块链与农产品供应链、农业设施等细分领域做出了诸多研究;虽然当前已有核心作者和发文机构在区块链与农业及智慧农业发展领域形成了合作群簇,但主要呈现局部集中,抱团式合作,大部分学者处于独立研究状态,各团队整体间合作联系较少,该领域内各学者和发文机构间交流合作亟需加强。

(2)区块链、智慧农业、数字经济、智能合约是目前区块链赋能智慧农业发展领域的四大研究热点,随着人工智能、大数据、区块链技术等新兴技术的不断兴起,我国经济发展迈入数字化新时代,区块链技术具有去中心化、不可篡改、数据透明共享、

智能合约等突出特点,能解决智慧农业发展过程中的数据“黑箱”、农产品供需不匹配、产品质量难以保证等问题,推动我国农业现代化高质量发展。由于我国“大国小农”的情形仍然客观存在,智慧农业在发展过程中由于农业资源分散,农业数据量大且种类繁多,存在数据处理效率低下问题且综合人才缺乏、农业技术落后、规模化经营还未实现等问题制约着我国智慧农业的发展,当前对于区块链技术的研究过度集中于农产品供应、质量溯源等问题,现存智慧农业发展问题并未得到有效解决。

(3)从区块链赋能我国农业及智慧农业发展的关键词演进势态来看,区块链赋能智慧农业发展的研究热点从低维度、低层次的去中心化、智能合约、供应链转向多维度、多层次发展,从单一的农产品供应、农产品质量溯源、食品安全视角转向水产品交易、乳制品、农业融资模式、金融科技、冷链物流、农业经济等其他综合视角进行研究,2019—2020 年加大区块链技术在推动我国精准扶贫和乡村振兴的研究应用,为我国农村发展、农业经济和农村电商做出重要贡献;2022—2024 年,随着对区块链技术的价值效应和实施路径的优化研究,“数字经济+区块链+智慧农业”掀起新的研究热潮,基于当前我国数智化发展水平的不断深入,区块链等新兴技术赋能我国智慧农业发展的研究热点不断演变,现代农业的高质量发展被赋予高层次、高效率、智能化、可持续的发展内涵,应充分发挥区块链等数字技术数据公开共享、不可篡改、智能合约等特点,结合区域农业要素禀赋优势和资源差异,因地制宜,以区块链等新兴技术推动我国智慧农业的高质量发展。

#### 4.2 研究展望

虽然对区块链技术及在我国农业发展方面的应用研究已经取得了大量成果,但由于我国对于区块链技术同农业发展的研究较早,2016 年就有学者提出区块链赋能农业发展的六大实施路径,许多理论经验具有时代局限性且近几年受宏观经济环境与国际复杂因素影响,对区块链技术的严格把控、规范发展使得区块链技术应用研究的热度较之前降低,当前区块链与我国智慧农业的发展研究也仅仅停留在较为浅显的层面。面对我国“全面推进乡村振兴,发展高质量现代化农业”的新时代背景,作为推动我国农业供给侧改革的重要一环,智慧农业的发展在当前依然面临数字技术不完备、数据安全

风险、数字管理能力以及人才缺乏等困境,区块链等数字技术同智慧农业结合水平低是成果发明端问题还是应用端问题?如何推动区块链技术赋能智慧农业的高质量发展?如何赋予以区块链等新兴数字技术推动农业智慧化、智能化发展赋予新的时代内涵?是当前亟需探讨解决的问题。基于以上研究结论,提出以下 3 个方面的研究展望:

(1)区块链赋能智慧农业发展的理论研究要顺应时代发展,丰富时代内涵。由于各个时期区块链技术发展的局限性,不同的发展时期、不同的研究学者会产生对区块链技术不同的理论探讨,技术发展具有鲜明的时代性、阶段性,早期对于区块链同农业结合大多关注在农村电商、农产品供应、食品安全等方面,然而随着数字化时代的不断演进,智慧农业作为推动我国由“农业大国”转向“农业强国”的主要抓手,应该给予区块链技术赋能智慧农业发展新时代内涵,以区块链技术着力解决智慧农业在技术发展不完备、数据泄露风险、数字管理能力较低以及数字人才缺乏方面的主要困境,推动区块链在智慧农业领域更加多维度深层次的研究而非仅仅关注单一层面,并且对于该领域的研究也应形成系统的理论研究体系,推动经济学、管理学、计算机科学、数学等多领域内交叉互动,为区块链赋能智慧农业发展奠定坚实的理论基础。

(2)推动形成以农业产业为主题,高校与政府支持辅助的三方协同发展。智慧农业产业作为推动区块链技术赋能农业发展的主体,具有统筹全局的领导核心作用,然而智慧农业依然面临技术不完备、关键人才缺乏等问题,需要与高校的产学研相结合,充分利用高校的理论经验、技术人才和技术成果,为区块链赋能智慧农业发展保驾护航;智慧农业作为投资风险大、周期长、耗费大的新型农业产业,亟需依靠政府的政策红利和资金支持,引导智慧农业的良性发展,“智慧农业+高校+政府”的三方协同机制仍需进一步研究深化。

(3)多领域多学科交叉互动,以区块链等新型数字技术推动“三农”工作的协调发展。区块链同智慧农业发展领域并非单一的计算机科学或者经济学领域,而是计算机科学、经济学、管理学、生态学、社会学等多学科领域交叉的综合体系,对于该领域的研究不能仅仅局限于单一学科、单一研究领域的研究方法、研究视角,当前对于区块链赋能智慧农业发展领域的学者大多集中于“三农”方面的

专家学者,农业发展的专业性虽然得到了保障但是多学科理论交叉融合却存在欠缺,核心作者和机构的抱团发展导致了各领域学者的合作较少,智慧农业的高质量发展不仅只涉及农业,农业的高质量发展会协同带动农村农民的高质量发展,“三农”问题作为当前我国乡村振兴的首要问题,未来面对大数据、人工智能、5G 等数字技术的拓展应用,对于区块链技术赋能智慧农业发展领域会有更多的跨学科多领域的研究应用,“数字化+学科交叉”会驱动我国农业农村农民的高质量协同发展。

#### 参考文献:

- [1] 黄季琨,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[J]. 中国农村经济,2024(1):21-40.
- [2] 高原. 农业农村部:推进数字技术与农业农村深度融合[EB/OL]. (2022-09-05)[2024-11-29]. [http://tuopin.ce.cn/news/202209/05/t20220905\\_38085685.shtml](http://tuopin.ce.cn/news/202209/05/t20220905_38085685.shtml).
- [3] 姚毓春. 以新质生产力引领农业强国建设:内在要求与实现路径[J]. 人民论坛·学术前沿,2024(10):40-46.
- [4] 陈先兵. 数字经济、基本公共服务均等化与中国式农业农村现代化[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版),2023,44(10):95-109.
- [5] 李旭辉,陈梦伟,朱启贵. 中国农业数字化绿色化协同发展的时空格局及收敛性分析[J]. 中国软科学,2024(8):110-121.
- [6] 刘长全. 关于智慧农业的理论思考:发展模式、潜在问题与推进策略[J]. 经济纵横,2023(8):63-70.
- [7] Babich V, Hilary G. OM forum; distributed ledgers and operations; what operations management researchers should know about blockchain technology[J]. Manufacturing & Service Operations Management,2020,22(2):223-240.
- [8] Kamilaris A, Fonts A, Prenafeta - Boldú F X. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains[J]. Trends in Food Science & Technology,2019,91:640-652.
- [9] 胡祥培,都牧,孔祥维,等. 基于区块链的农产品供应链溯源研究综述[J]. 管理科学学报,2024,27(5):1-12.
- [10] 林晓刚,黄海玲,李文卓,等. 混合销售模式下农产品电商的区块链提供策略研究[J/OL]. 中国管理科学,2023:1-15(2023-10-09)[2024-11-29]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2023.0117>.
- [11] 王性玉,任乐,李田田. 区块链增信农业供应链金融的瓶颈约束与破解机制[J]. 农村经济,2024(6):88-94.
- [12] 苏震,吕捷,赵文彦. 基于关键词的图书情报领域区块链研究热点及趋势分析[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版),2024,45(6):233-240.
- [13] 陈尘,刘翔,郑迪文. 区块链赋能下我国农村电商模式创新与发展研究[J]. 农业经济,2022(12):123-125.
- [14] 尚杰,吉雪强,陈玺名. 区块链与生态农业产业链结合:机理、机遇与对策[J]. 农村经济,2021(1):119-125.
- [15] Akella G K, Wibowo S, Grandhi S, et al. A systematic review of blockchain technology adoption barriers and enablers for smart and sustainable agriculture[J]. Big Data and Cognitive Computing, 2023,7(2):86.
- [16] Bermeo - Almeida O, Cardenas - Rodriguez M, Samaniego - Cobo T, et al. Blockchain in agriculture: a systematic literature review [C]//Technologies and Innovation. Cham: Springer International Publishing,2018:44-56.
- [17] 汪刚. 基于私有云区块链的农业网络安全系统设计[J]. 农机化研究,2023,45(12):235-239.
- [18] 王莉,任健荣,王涛,等. 基于区块链的粮食防伪溯源系统的设计与实现[J]. 科学技术与工程,2023,23(4):1625-1634.
- [19] 邢斌,于华竟,徐大明,等. 基于区块链的红茶质量安全追溯系统开发及应用[J]. 中国农机化学报,2022,43(11):133-138.
- [20] 张贤,石庆波. 乡村振兴战略下区块链赋能农业的机遇、挑战与对策[J]. 江苏农业科学,2023,51(6):230-238.
- [21] Wu C H. An empirical study on the application of blockchain technology in e - agriculture: an innovative service UIS application system[J]. Journal of Global Information Management,2023,31(3):1-20.
- [22] 生吉萍,莫际仙,于滨铜,等. 区块链技术何以赋能农业协同创新发展:功能特征、增效机理与管理机制[J]. 中国农村经济,2021(12):22-43.
- [23] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究,2015,33(2):242-253.
- [24] 洪帅,王天尊,符晓艺. 中国智慧农业研究演进脉络梳理及前沿趋势分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(4):28-38.
- [25] Guo Y M, Huang Z L, Guo J, et al. A bibliometric analysis and visualization of blockchain [J]. Future Generation Computer Systems,2021,116:316-332.
- [26] 李晓武,曲国华,张悦,等. 区块链研究现状、知识演进与趋势分析:基于 WOS 核心数据库文献的科学计量[J]. 经济问题,2022(5):54-63.
- [27] 王金丽,樊勇,张辉. 区块链文献主题发现及演化研究[J]. 计算机工程与应用,2020,56(20):1-8.
- [28] 潘友菊,徐玉婷,於冉,等. 气候智慧型农业研究:热点、趋势和展望[J]. 中国生态农业学报(中英文),2023,31(1):136-148.
- [29] 邵怡敏,赵凡,王轶,等. 基于区块链技术及应用的可视化研究综述[J]. 计算机应用,2023,43(10):3038-3046.
- [30] 洪涛. 区块链在我国农产品电商领域的应用研究[J]. 中国市场,2016(39):65-68.
- [31] 康春鹏. 区块链在农业中的 6 大应用场景与挑战[J]. 农业工程技术,2016,36(33):62-63.
- [32] 张瀚艺. 基于区块链的我国农产品电子商务发展路径探讨[J]. 商业经济研究,2017(12):96-98.
- [33] 于丽娜,张国锋,贾敬敦,等. 基于区块链技术的现代农产品供应链[J]. 农业机械学报,2017,48(增刊1):387-393.
- [34] 杨德昌,赵肖余,徐梓潇,等. 区块链在能源互联网中应用现状分析和前景展望[J]. 中国电机工程学报,2017,37(13):3664-3671.

李明洋,赵 斌,周 正,等. 田间杂草智能检测技术研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2025,53(5):12-19.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.05.002

# 田间杂草智能检测技术研究现状与展望

李明洋<sup>1</sup>, 赵 斌<sup>1,2</sup>, 周 正<sup>1</sup>, 王 淞<sup>1</sup>, 孙 博<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学工程学院,黑龙江大庆 163319; 2. 黑龙江省农机智能装备重点实验室,黑龙江大庆 163319)

**摘要:**杂草不仅会与作物竞争生长资源,还会传播病虫害最终影响作物产量,杂草智能检测技术是田间杂草精准防治的关键环节。本文通过对国内外相关文献进行综述,并结合田间杂草智能检测技术的研究进展,深入分析传统杂草检测算法和深度学习杂草检测算法的特点,并根据算法在杂草检测过程中的实际应用情况,分别对 3 种常见的传统杂草智能检测算法、深度学习算法的单阶段杂草智能检测算法和两阶段杂草智能检测算法进行系统性分析。在此基础上提出目前田间杂草识别中存在的人工标注数据耗时长、模型泛化能力差、模型轻量化设计等现存挑战,最后针对现状对杂草智能检测技术提出技术发展策略,并对技术发展进行合理化展望,为未来杂草智能检测技术的深入研究提供理论参考。

**关键词:**目标检测;杂草检测;精准除草;深度学习;研究进展

**中图分类号:**S126;TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)05-0012-08

在作物生长过程中,杂草的生长与泛滥性繁殖成为农田草情管理的灾害性问题。我国是受杂草危害最严重的国家之一,据统计全国共有杂草 1 430 余种,其中 130 多种可能对农业生产造成直接性严重危害<sup>[1]</sup>,我国每年因杂草造成的作物产量损失占

作物总产量的 10%<sup>[2]</sup>。在农业生产中,杂草是束缚作物生长的重要影响因素之一。田间杂草具有生长迅速、抗逆性强、繁殖力旺盛和竞争力强势等特点,常常与农作物争夺养分,从而导致作物产量和品质大大降低,最终造成直接经济损失,因此杂草防治也成为田间管理的重要挑战。

随着现代农业科技的发展,田间作物除草从人力除草阶段演变至农药除草为主的阶段,然而农药的大量使用,易使药剂在土壤中残留并累积,造成环境污染、药害事故的发生<sup>[3]</sup>。除了农药除草,目前农田除草手段还有机械除草、生物除草、物理除草<sup>[4]</sup>。为了减少资源的浪费与环境破坏,未来农田

收稿日期:2024-04-04

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:32201655);智慧农机电源与电网融合互动关键技术与商业模式研究项目(编号:SGJN0000SCJS2310075)。

作者简介:李明洋(2000—),男,山东潍坊人,硕士研究生,研究方向为信息获取与图像处理。E-mail:limingyangwf@126.com。

通信作者:赵 斌,博士,教授,研究方向为信息获取与图像处理。E-mail:616283364@qq.com。

[35]孙剑明,陈晓菲,李 京. 区块链技术视角下农村电商农户信用评价[J]. 商业研究,2021(2):74-79.

[36]李建军,苏芳媛,杨 玉,等. 基于区块链技术的有机食品溯源体系[J]. 食品与机械,2022,38(3):71-74,109.

[37]董春雨,李守伟,张瑞彬. 基于知识图谱的区块链与供应链金融融合研究[J]. 财会月刊,2022(4):149-154.

[38]张 新,彭祥贞,许继平,等. 基于区块链智能合约的稻米供应链动态监管模型[J]. 农业机械学报,2022,53(1):370-382.

[39]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[J]. 农村经济,2022(1):20-29.

[40]陈林蔚. 区块链技术在智慧农业领域中的应用[J]. 江苏农业学报,2023,39(6):1358-1365.

[41]王庆福. 区块链技术在智慧农业领域应用的现实困境与对策研究[J]. 农业经济,2024(6):3-5.

[42]丁学东. 文献计量学基础[M]. 北京:北京大学出版社,1992:220-236.

[43]袁 莉. 中国农村土地制度改革研究现状及热点问题:基于CiteSpace 软件可视化分析[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版),2022,43(6):231-240.

[44]吴晓秋,吕 娜. 基于关键词共现频率的热点分析方法研究[J]. 情报理论与实践,2012,35(8):115-119.

[45]刘井莲,王大玲,赵卫绩,等. 一种面向度中心性及重叠网络社区的发现算法[J]. 计算机科学,2016,43(3):33-37,71.

[46]陈 悦,陈超美,胡志刚,等. 引文空间分析原理与应用:CiteSpace 实用指南[M]. 北京:科学出版社,2014:134.

[47]刘则渊. 科学知识图谱:方法与应用[M]. 北京:人民出版社,2008:31.

[48]郑 倩,李鹏云,周 迪. 基于文献计量学的智慧农业研究现状及趋势分析[J]. 华中农业大学学报,2023,42(3):29-38.