



王惠,黄明雪,吴惠芳. 中国数字农业的研究进程与展望[J]. 中国农业大学学报,2025,30(10):364-380.
WANG Hui, HUANG Mingxue, WU Huifang. Research progress and prospects of digital agriculture in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025,30(10):364-380.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.10.28

中国数字农业的研究进程与展望

王惠^{1,2} 黄明雪¹ 吴惠芳^{1*}

(1. 中国农业大学 人文与发展学院, 北京 100193;
2. 中共山东省委党校(山东行政学院), 济南 250103)

摘要 为系统梳理中国数字农业研究的发展脉络,揭示其演进趋势与研究前沿,助力农业新质生产力发展及农业强国建设,基于2000—2024年中国知网(CNKI)数据库中数字农业研究文献,利用CiteSpace软件进行共现分析、聚类分析、突现词检测及时间演化分析等,以可视化分析的方式揭示该领域的演进路径、研究热点及前沿趋势等。结果表明:1)数字农业研究的发文量呈现显著上升趋势;发文作者的合作网络结构较为松散,跨机构及跨团队的合作尚未规模化,但发文机构间已构建较大合作网络;协同性和对策性的研究文献被引频次较高。2)从“政策-技术-理论-实践”维度分析,数字农业研究的演进趋势可划分为萌芽探索阶段、平稳发展阶段和创新应用阶段;研究热点聚焦于概念内涵的理论解析、农业转型的实践探索以及政策回应的功能价值;研究前沿涵盖技术的颠覆性革新、理论的多维度扩展以及实践的协同性发展。3)未来研究应重点关注数字农业的新发展形态、农民群体对数字农业的适应性与参与性、数字农业研究的“政策-技术-实践-理论”协同发展以及拓宽国际化视角。

关键词 数字农业; 智慧农业; 知识图谱; 研究脉络; 研究展望; CiteSpace

中图分类号 F32;S-1 **文章编号** 1007-4333(2025)10-0364-17 **文献标志码** A

Research progress and prospects of digital agriculture in China

WANG Hui, HUANG Mingxue, WU Huifang*

(1. College of Humanities and Development Studies, China Agricultural University, Beijing 100193, China;
2. Party School of the CPC Shandong Provincial Committee(Shandong Academy of Governance), Jinan 250103, China)

Abstract This study aimed to systematically review the research development context of digital agriculture in China, discover its evolutionary trends and research frontiers, and contribute to the development of new quality productive forces in agriculture and build up strength in agriculture. Based on the digital agriculture research literature in the CNKI database spanning 2000 to 2024. CiteSpace software was used to conduct co-occurrence analysis, clustering analysis, burst detection, and temporal evolution analysis to reveal the field's developmental trajectory, research hotspots, and emerging trends through visual analysis. The results indicated that: 1) The number of papers on digital agriculture published has shown a significant upward trend. The collaboration network among authors remains relatively loose. The cross-institutional and cross-team cooperation has not yet reached large-scale integration, although a substantial collaboration network has formed among publishing institutions. Studies emphasizing coordination and policy responses have a relatively high citation frequency. 2) From the perspective of the “policy-technology-theory-practice” framework, the evolution trend of digital agriculture research is categorized into three stages as following: The budding exploratory phase, the stable development phase, and

收稿日期: 2024-12-08

基金项目: 国家自然科学基金一般项目(20BSH064);清华大学中国农村研究院博士论文奖学金项目(202325)

第一作者: 王惠(ORCID:0009-0003-2256-7550),讲师,主要从事农业与农村社会学研究,E-mail:1666309441@qq.com

通讯作者: 吴惠芳(ORCID:0000-0002-7069-6045),教授,主要从事农业与农村社会学研究,E-mail:wuhf@cau.edu.cn

the innovative application phase. Research hotspots primarily focus on theoretical analyses of the conceptual connotations, the practical explorations of agricultural transformation, and the functional value of policy responses. The research frontiers include disruptive technological innovations, multidimensional theoretical expansion, and coordinated development in practice. 3) Future research should focus on emerging forms of digital agriculture, farmers' adaptability and participation in digital agriculture, the coordinated development of digital agriculture in terms of "policy-technology-practice-theory", and the expansion of international perspectives.

Keywords digital agriculture; smart agriculture; knowledge mapping; research context; research outlook; CiteSpace

1998年中国学术界提出了“数字中国”的概念,并开始了对中国自然资源的数字化研究。数字农业被视为21世纪的新型农业模式^[1]。马克思^[2]曾指出:“各种经济时代的区别,不在于生产什么,而在于怎样生产,用什么劳动资料生产。”数字技术成为21世纪农业生产的劳动资料,这标志着我国农业生产进入了新时代。21世纪以来,我国关于数字农业的研究成果丰硕。在农业强国建设及发展新质生产力背景下,系统梳理、总结数字农业相关研究具有重要的理论价值和现实意义。

目前关于数字农业的学术研究主要集中在3个方向:一是概念内涵。21世纪初期,学术研究关于数字农业的定义是以数字地球技术为基础。孙敬水^[1]认为数字农业是利用数字地球与智能农机技术相结合产生的农业生产和管理技术,具有信息共享的特质。陈疆等^[3]将数字农业定义为在数字地球技术框架下,最终实现农业生产信息化的过程。伴随信息技术的发展和数字技术的应用,数字农业的定义更加丰富和完善,研究范围从农业生产环节的信息化扩展到涵盖农业全链条的数字化^[4],实现了更高层次的数字化发展。数字技术包含的范围也逐渐扩大,从最初基于数字地球技术的遥感、全球定位系统、地理信息系统和通信网络等技术,逐步向自动化技术、无人机、云计算、大数据分析和互联网平台等更先进的技术体系扩展^[5]。二是农业数字化转型所带来的农业发展新机遇。利用“互联网+”技术,借助信息流动性、可获得性、计算性和决策性,可以实现对农业产前、产中和产后的预测、分析和重塑^[6],带动农村产业融合发展,优化农业行业或农产品供应链,实现农业的精准化^[7]、宏观调控和安全发展^[8],创造了多主体的共生共建^[9]。三是数字农业推进过程中面临的困境挑战及其解决方案。在传统农业向数字农业转型的进程中,难免会遭遇困境,例如土地分散经营、小农排斥、效应陷阱和应

用开发滞后等^[10],以及农业发展不平衡、信息化程度不足、资金支持力度有限和人才资源相对短缺等问题^[11]。有序推进农业数字化进程,需要完善数字基础设施建设,推动数字技术与农业产业融合^[12],并营造协同创新的良好环境,增强各主体间的协同创新能力^[13]。

可见,目前关于数字农业的研究已经非常丰富,主要围绕概念内涵、发展机遇、困境与措施3个层面,构建了较为完整的研究体系。然而,历史演进视角下对数字农业知识体系、演进路径和研究脉络的系统性归纳和梳理仍显不足,尤其在发展农业新质生产力和农业强国建设背景下,对数字农业理论与实践的系统梳理,将有助于农业高质量发展与优质学术成果的产出。因此,本研究拟利用CiteSpace文献计量软件,基于中国知网(CNKI)关于数字农业的重要文献,绘制数字农业研究成果的知识图谱,梳理21世纪以来中国数字农业研究的热点与前沿,总结该领域研究的基本态势、整体格局以及未来趋势,旨在为后续研究提供思路和分析方向,促进数字农业的高质量发展。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

为保证样本数据的准确性与科学性,本研究以CNKI数据库为检索平台。在CNKI数据库中利用高级检索功能,以“数字农业”或者“农业数字化”或者“智慧农业”或者“农业智慧化”或者“信息农业”或者“农业信息化”或者“数智农业”或者“农业数智化”为主题(精确匹配)进行文献检索,设置文献来源类别为“北大核心+CSSCI+CSCD”,时间范围设定为“2000-01-01—2024-10-16”,共计得到2 425篇文献。经手动剔除要闻、期刊简介、征稿启事等与本研究无关的文献后,共计获得2 212篇文献。将文献数据以“Refworks”格式导出,利用

CiteSpace6. 3. R1 软件进行去重整理后, 共计得到 2 173 篇有效文献。

1.2 研究方法

利用 CiteSpace 6. 3. R1 软件对整理后的 2 173 篇文献进行关键词共现、聚类、时间线、时区图和突现分析以及作者和机构网络合作等分析。时间分区设置为 2000—2024 年, 以 2 年为一个时间切片, 节点筛选方式 g-index 中的 K 值设置为 8(保证数据的直观性, 即 $N \approx 200$), 修剪方式为 Pathfinder、Pruning sliced networks 和 Pruning the merged network。

采用逻辑分析和经验总结的方法, 对 21 世纪以来中国数字农业研究的相关文献进行系统梳理与分析, 归纳其发展脉络, 总结主要特征与研究趋势。结合新时代数字农业面临的需求与挑战, 基于历史经验的深刻理解、现实问题的客观分析以及未来趋势的合理预测, 统合历史经验与现实问题, 展望中国数字农业未来发展方向。

2 数字农业研究的文献特征

2.1 年发文趋势分析

2000—2024 年数字农业研究发文量变化趋势见图 1。可以看出, 数字农业研究发文量呈现波动上升趋势。2000—2007 年数字农业研究处于起步阶段, 主要聚焦于概念的界定与讨论, 发文量从 9 篇(2000 年)逐年增加至 100 篇(2007 年); 2008—2017 年, 随着农业信息技术的逐渐成熟, 研究重心逐步转向数据驱动的农业生产模式, 然而, 该时期发文量平稳波动, 大多数年份保持在 60~100 篇, 仍处于探索阶段; 2018 年以来, 大数据、物联网和人工智能等新兴技术的广泛应用推动了数字农业研究的快速发展, 2023 年发文量达到峰值 254 篇, 2024 年截至 10 月发文量已超过 2022 年, 研究热度持续攀升。总之, 2018 年以来, 学术研究对数字农业的关注度逐年提升, 发文量快速增长, 数字农业相关研究在学术界的影响力日益扩大。

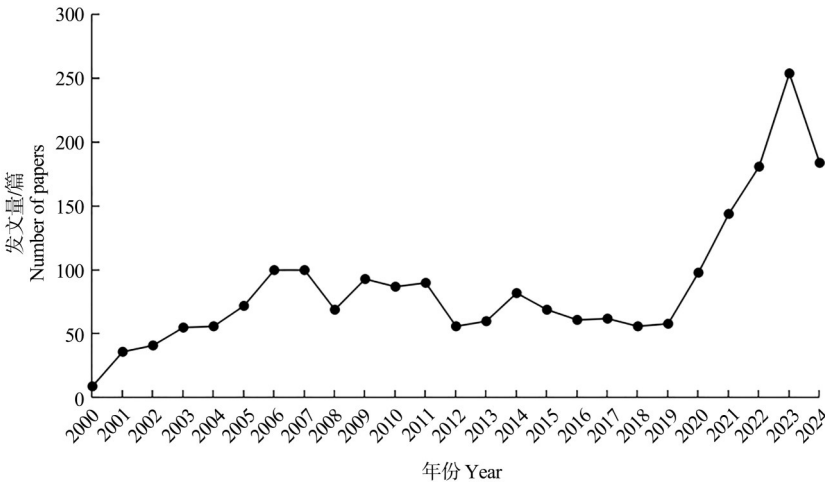


图1 2000—2024年数字农业研究年发文量趋势

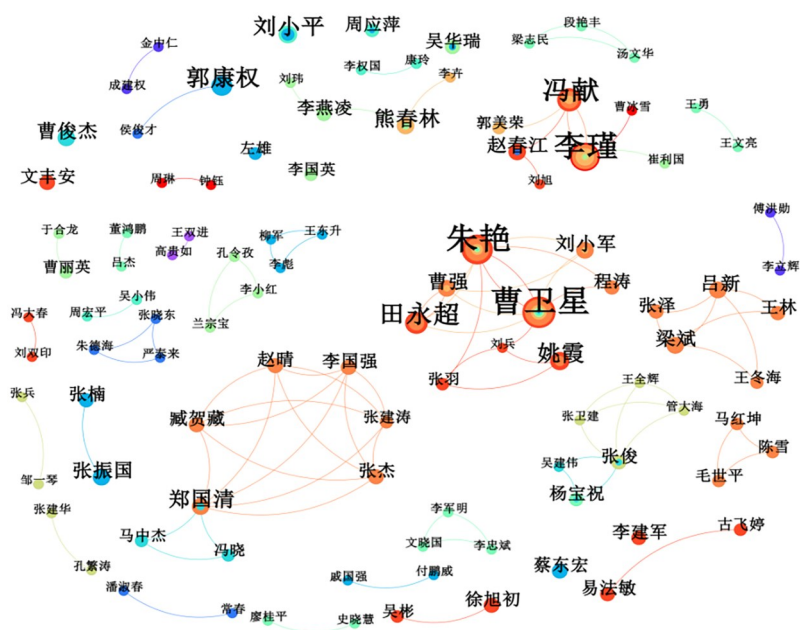
Fig. 1 Annual trend of the number of digital agriculture research articles published from 2000 to 2024

2.2 发文作者合作网络分析

分析发文作者及其合作关系可以明确该领域的核心研究人员, 并判断合作作者间是否已形成研究共同体。2000—2024 年数字农业研究的作者合作网络分析结果见图 2。其中, 作者合作网络图谱中字体和圆圈大小与作者发文量成正比, 连线代表合作关系。图中共有 199 个节点, 105 条连线; 网络密度为 0. 005 3, 远低于正常水平 0. 1。根据普赖斯定律公式:

M=0. 749√Nmax (1)

式中: M 为核心作者至少发文量; Nmax 为研究样本中发文量最多作者的发文量。通过计算得到 $M \approx 3. 26$, 向上取整为 4, 从而得到了 35 位核心作者候选人(占比 17. 59%), 其发文数量占所有作者发文总量的 39. 45%。由图 2 可知, 21 世纪以来我国数字农业研究的主要作者有曹卫星、朱艳、李瑾、冯献和田永超等, 发文均在 10 篇以上。其中, 发文量最多的作者为曹卫星, 共计 19 篇, 他的主要研究方向是



字体大小和圆圈大小与发文数量成正比;连线表示作者间的合作关系;不同颜色代表不同的时间段。下同。

The font size and circle diameter are proportionally scaled to reflect the number of publications. The connecting lines represent collaborative relationships between authors. Different colors represent different time slicing. The same below.

图 2 2000—2024 年数字农业研究作者合作网络图

Fig. 2 Authors cooperation network diagram of digital agriculture research from 2000 to 2024

数字农作技术^[14]。数字农业研究领域的合作模式以小规模团队为主,2人组成的合作组合较为普遍。具有较高合作密度的团队集中在少数核心作者之间,如以曹卫星和朱艳为核心的作者合作网络,成员包括田永超、刘小军和曹强等;以冯献为核心的作者合作网络,成员包括李瑾、赵春江和郭美荣等;以郑国清为核心的作者合作网络,成员有马中杰、冯晓、张杰和臧贺藏等。总体来看,我国数字农业领域的合作模式仍以单一团队内部合作为主,团队间的合作强度较低,研究网络的整体结构相对松散,跨团队的合作尚未形成规模。

2.3 发文机构合作网络分析

对研究机构及合作关系的分析,能够呈现 21 世纪以来中国数字农业研究机构分布及机构之间的联动情况,分析结果如图 3 所示。图中节点大小代表相应机构发文量,标签字号大小代表相应机构的重要程度,标签之间的连线代表有合作关系。图 3 中共有 202 个节点,52 条连线;网络密度为 0.002 6,远低于正常水平的 0.1,表明现有关于数字农业的研究,各机构间联系较为松散、合作力度较低。研究机构主要涉及研究所和高校 2 类,包括国家农业信息化工程技术研究中心(35 篇)、北京农业信息技

术研究中心(24 篇)、中国农业科学院农业经济与发展研究所(21 篇)、中国社会科学院农村发展研究所(18 篇)、中国农业科学院农业信息研究所(16 篇)和中国农业大学信息与电气工程学院(12 篇)等。从合作关系来看,较大的合作网络以国家农业信息化工程技术研究中心、北京农业信息技术研究中心、中国社会科学院农村发展研究所和中国农业科学院农业信息研究所等为核心并辐射到多所高校及研究中心。从区域角度看,研究数字农业的机构单位在中国各个地区均有分布,表明数字农业已成为全国范围内的重点研究领域。

2.4 高被引文献分析

高被引文献可以说明其在数字农业领域的认可程度,可快速了解该领域的重点文献。由表 1 可知,在 CNKI 数据库中,被引次数最多的文献是西南大学温涛等^[15]于 2020 年发表的《数字经济与农业农村经济融合发展:实践模式、现实障碍与突破路径》,被引频次高达 532 次。该文献通过归纳国内外数字经济与农业农村经济融合发展的典型实践模式,结合中国现实情况,系统分析了数字农业发展障碍,并提出了相应的应对路径。被引频次排名第 2 的高被引文献是 2020 年殷浩栋等^[16]发表的《农



图3 2000—2024年数字农业研究机构合作网络图

Fig. 3 Structural cooperation network diagram of digital agriculture research from 2000 to 2024

表1 2000—2024年数字农业研究领域排名前10的高被引文献

Table 1 Top 10 highly cited literature of digital agriculture research from 2000 to 2024

排序 Ranking	题名 Title	第一作者 First author	期刊名称 Journal name	发表 年份 Publication year	被引次 数/次 No. of citations
1	《数字经济与农业农村经济融合发展:实践模式、现实障碍与突破路径》	温涛	《农业经济问题》	2020	532
2	《农业农村数字化转型:现实表征、影响机理与推进策略》	殷浩栋	《改革》	2020	458
3	《大数据在智慧农业中研究与应用展望》	孙忠富	《中国农业科技导报》	2013	426
4	《中国数字乡村建设若干问题刍议》	曾亿武	《中国农村经济》	2021	419
5	《“互联网+”背景下我国现代农业产业链及商业模式解构》	李国英	《农村经济》	2015	374
6	《农业信息化带动农业现代化的战略分析》	梅方权	《中国农村经济》	2001	369
7	《农业信息化对农业全要素生产率增长的门槛效应分析》	韩海彬	《中国农村经济》	2015	337
8	《中国数字产业发展的现状、特征及其溢出效应》	王俊豪	《数量经济技术经济研究》	2021	314
9	《当前数字乡村建设的实践困境与突破路径》	冯朝睿	《云南师范大学学报(哲学社会科学版)》	2021	308
10	《农业机械导航技术研究进展》	张漫	《农业机械学报》	2020	298

业农村数字化转型:现实表征、影响机理与推进策略》,被引458次。该研究指出,与城市相比,农村地区网络基础设施和服务水平相对滞后,产业数字化进程相对缓慢,数字技能培训体系欠缺,制约了数

字技术在农业农村的渗透广度和深度,因此,亟须加快中国农业农村的数字化转型进程。此外,其余高被引文献从不同角度对数字农业和农业农村的协同发展、数字技术的应用路径及相关建议等议题

进行了深入探讨。这些研究成果共同构建了数字农业领域的基本研究主题。

关键词的中心度值越高,说明其影响程度越大^[17]。中心性是一项用于评估关键词重要性的关键指标。从数字农业研究排名前10的高频关键词的中心性来看(表2),关键词出现频次与中心性不

存在正相关关系,即关键词出现频次越高,并不意味着其越重要。除“农业”“数字农业”和“信息化”等与研究主题相近的关键词外,“对策”的中心性最高,说明数字农业中关于对策的研究相对重要。此外,“信息化”“物联网”作为数字农业的核心技术,也成为高频关键词。

表 2 2000—2024 年数字农业研究排名前 10 的高频关键词

Table 2 Top 10 high-frequency keywords in digital agriculture research from 2000 to 2024

排序 Ranking	关键词 Keyword	出现频次/次 Occurrence frequency	中心性 Centrality	排序 Ranking	关键词 Keyword	出现频次/次 Occurrence frequency	中心性 Centrality
1	智慧农业	251	0.18	6	数字经济	68	0.13
2	数字农业	142	0.44	7	数字乡村	63	0.02
3	乡村振兴	126	0.05	8	对策	60	0.17
4	信息化	115	0.51	9	物联网	52	0.17
5	农业	103	1.00	10	现代农业	49	0.26

3 数字农业的研究脉络分析

3.1 研究趋势

时间线图谱更加注重聚类间横向关联信息,且着重描绘领域内各研究主题随时间的演变趋势^[18]。关键词时间线知识图谱见图4,图中节点外圈有紫色

光环代表中心性>0.1,说明其在短期之内被学者大量引用。从图4可以看出,“信息化”“信息技术”“数字经济”“农业工程”“数字农业”和“农业信息”等聚类主题的研究时间线较长;“对策”和“现代农业”等主题的研究热度逐渐降低;“智慧农业”虽然出现时间较晚,但持续时间较长,且有可能成为未来研究的

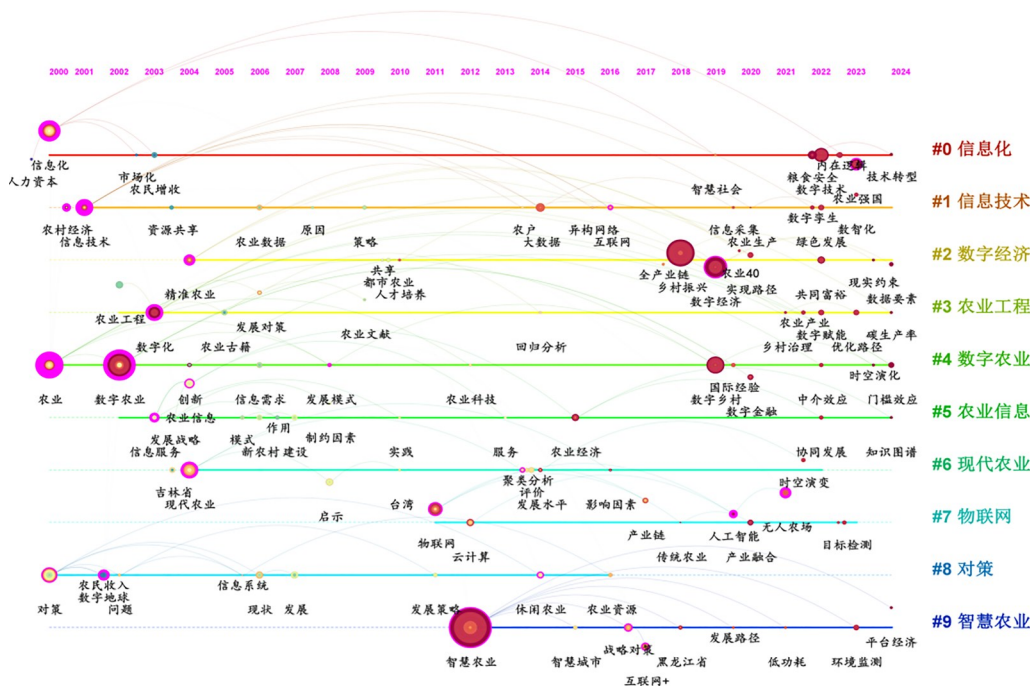


图 4 数字农业研究关键词时间线知识图谱

Fig. 4 Timeline knowledge map of digital agriculture research keywords

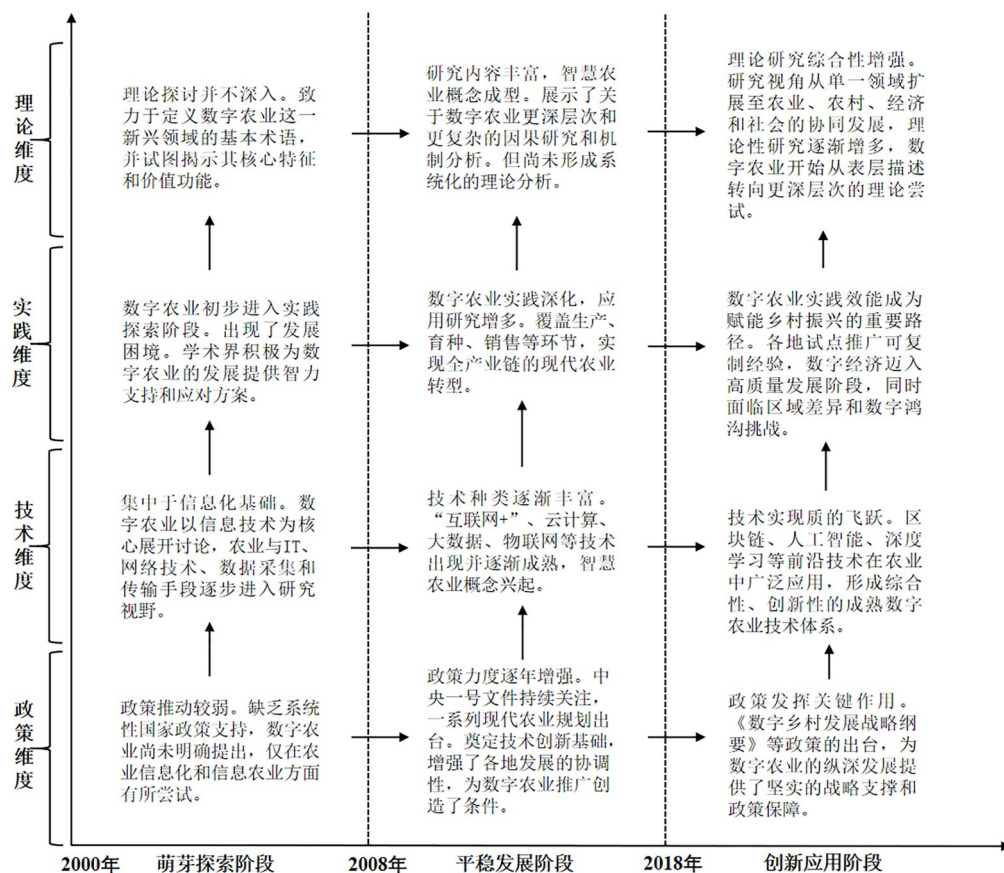


图 6 数字农业研究的 3 个发展阶段

Fig. 6 Three stages of development of digital agriculture research

性与统筹性的制度保障。从宏观政策到细化措施的推进,不仅为数字农业的技术创新奠定了制度基础,还增强了各地区农业发展的协调性与一致性,为数字农业的全面推广创造了有利条件。

2)技术维度。数字农业的技术种类更加丰富,不再局限于信息工程,“互联网+”“云计算”“大数据”“物联网”等关键词开始频繁出现,丰富和深化了数字农业的核心技术。2012年起,“智慧农业”的概念逐渐兴起,这得益于数字农业核心技术的崛起与成熟,标志着数字农业从初期的基础技术探索逐渐转向更复杂的核心技术研发。

3)实践维度。伴随大数据和物联网技术的兴起,数字农业的实际应用研究逐渐增多。关键词如“物联网”“大数据”和“启示”等反映出数字农业技术在实践中的进一步推进。数字农业的应用范围从农业的生产阶段逐步扩展到育种、销售和物流等全产业链,标志着数字农业转型的进一步深化。

4)理论维度。这一时期研究内容逐渐深化,“智慧农业”的概念逐渐成熟,进一步丰富了数字农

业的内涵。特别是这一时期关于数字农业的影响因素、因子分析、回归分析和聚类分析等层出不穷,展示了更深层次和更复杂的因果研究和机制分析,但这一时期尚未形成系统化的理论分析。

3.1.3 创新应用阶段(2018—2024年)

1)政策维度。自2018年乡村振兴战略提出以来,关于数字农业的研究迅速增长。国家政策在这一阶段扮演了关键角色,特别是《数字乡村发展战略纲要》^[21]和《“十四五”数字经济发展规划》^[22]等政策文件的出台,为数字农业的纵深发展提供了坚实的战略支撑和政策保障。政策不仅推动了数字农业的技术革新,还着重强调提升农民数字素养和技能,加速了数字技术在农村经济、环境保护和乡村发展等各领域的广泛应用。

2)技术维度。这一时期,技术层面实现了大规模的扩展以及质的创新与突破,“区块链”“人工智能”“时空演变”“深度学习”等关键词意味着前沿技术在农业中的广泛应用,推动了数字农业智能化和精细化管理。技术不再局限于单一的信息化或数

据化应用,而是以信息数据为基础,进行智能化生产决策或生产指导提示,促进农业数据资源的高效整合与利用,形成了更具综合性、创新性和融合性的成熟数字农业技术系统。

3)实践维度。这一时期,各地区结合实际情况开展试点项目,探索适应数字农业发展的改革举措,形成了一批可复制推广的经验做法和制度成果。数字农业的实践效能逐渐突显,成为赋能“乡村振兴”“数字经济”“数字乡村”“农业强国”“共同富裕”的重要路径。数字农业进入高质量发展阶段,致力于农业的“低碳”“绿色”“生态”发展。但经过20余年的发展,数字农业引发的“区域差异”“数字鸿沟”等问题逐渐凸显。

4)理论维度。在当前阶段,理论研究更趋向于应用与创新。关键词如“乡村振兴”“数字经济”以及“数字乡村”频繁出现,表明研究重点已从单一的数字农业研究转向综合考虑农村、农民、经济和社会的协同发展。这一阶段的理论框架愈加成熟,出

现“协同发展理论”“赋能理论”“扎根理论”和“作用机理”等,这表明理论性研究逐渐增多,数字农业开始从表层描述转向深层次的理论探索,涉及经典理论的传承与新理论的建构。

3.2 研究热点主题

关键词共现图谱用于揭示关键词之间的相互联系,2000—2024年数字农业研究关键词共现图谱见图7。通过CiteSpace对“keyword”的可视化分析,得到217个关键词,235条连线,密度为0.01的关键词共现图谱。由图7可知,“智慧农业”“数字农业”“乡村振兴”“信息化”“农业”“数字经济”“数字乡村”“对策”“物联网”和“现代农业”在图谱中占据位置较大,是数字农业研究的高频关键词,也是该领域的研究热点。可见,数字农业不仅是驱动农业生产现代化的重要引擎,也逐渐成为推动乡村振兴、数字乡村和乡村经济发展的有力支点,更是学界回应农业转型及社会经济结构转型的重要抓手。

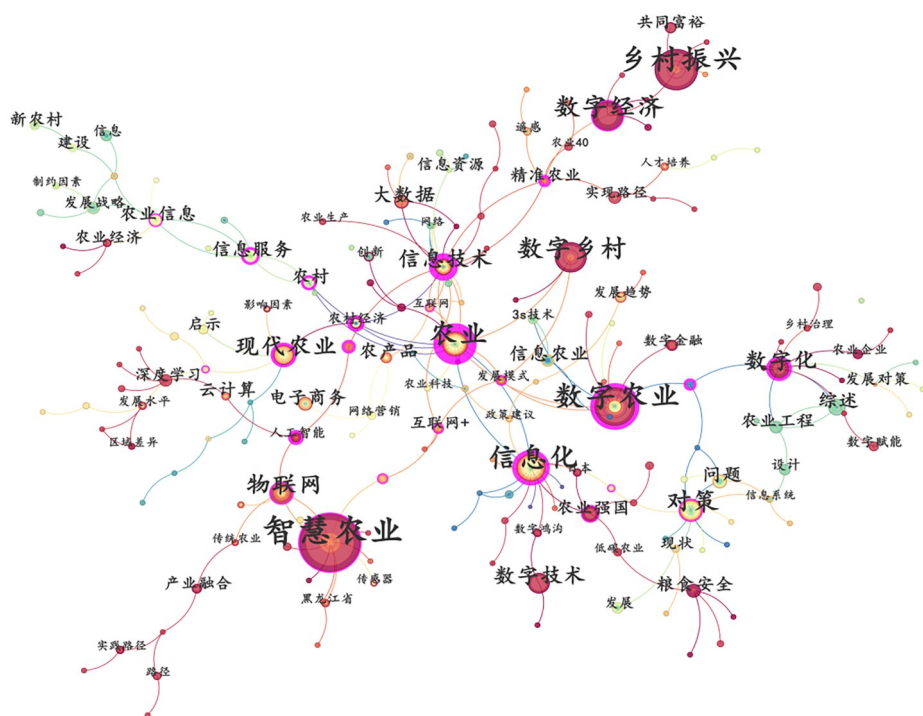


图7 2000—2024年数字农业研究关键词共现图谱

Fig. 7 Co-occurrence map of digital agriculture research keywords from 2000 to 2024

在关键词共现图谱的基础上,利用CiteSpace进行自动聚类,形成的关键词聚类图谱如图8所示。关键词聚类是对关键词共现图的扩展,通过对数似然法(LLR)提取关键词作为聚类标签,以

概括研究主题,直观展现研究领域,从而反映研究主题的热点分布状况。CiteSpace依据网络结构的稳定性和聚类的清晰度提供了模块值(Q值)和平均轮廓值(S值)2个指标。Q值>0.3意味着划分

出来的社团结构显著;当S值达到0.7时,说明聚类高效且可信。聚类群编号越小,表明该聚类规模越大,包含的关键词节点越多^[23]。由图8可知,聚类分析的Q值为0.836 7(>0.3),S值为0.898 1(>0.7),表明该聚类网络显著,聚类结果合理。在聚类群中,“信息化”聚类规模最大,其次是“信

息技术”“数字经济”,随后依次是“农业工程”“数字农业”“农业信息”“现代农业”“物联网”“对策”和“智慧农业”。按照“内涵-现状-价值”逻辑,研究热点主题可以梳理为3个层次:概念内涵的理论解析、农业转型的实践探索和政策回应的功能价值。

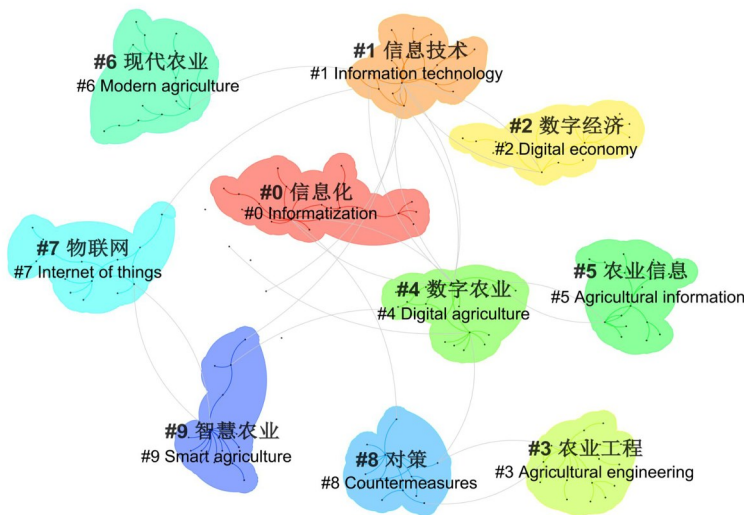


图8 2000—2024年数字农业研究关键词聚类图

Fig. 8 Keyword clustering diagram of digital agriculture research from 2000 to 2024

3.2.1 概念内涵的理论解析

进入21世纪以来,数字技术不断渗透经济和社会领域,农业也抓住数字技术红利,发展数字农业。这是国家在新世纪对农业现代化路径的探索,与我国改革开放以来的农业现代化实践一脉相承。数字农业概念内涵的理论阐释回应了数字农业的历史必然性、现实必要性及技术可行性,是数字农业研究的基础。

数字农业的概念内涵是学者重点辨析的内容,多围绕技术要素展开定义。例如,数字农业是利用数字技术驱动的数字农业,以农业数字化为特色^[24],将农业的全要素、全系统和全过程进行数字化,数字农业的基本构架包含农业基础信息数据库、农业信息实时获取系统、数字网络传输系统、中央处理系统和数字化农业机械^[25]。可见,数字农业的底色是信息化。

随着物联网技术、深度学习、云计算和场景运用等技术的发展,数字农业的内涵不断深化,逐步演变为智慧农业。智慧农业以数字技术所实现的

信息化为基础,实现了更智能化的农业管理,其核心要素仍然是信息技术^[26]。虽然“数字农业”和“智慧农业”的侧重点不同,但信息和知识要素以及技术基础的本质并未改变,只是智能化程度有所差异,是随技术水平不断发展所出现的不同呈现方式和不同形态^[27]。

3.2.2 农业转型的实践探索

数字农业的本质是农业转型的议题,最终目标是实现农业现代化,关键在于数字农业的实践探索。相较于对数字农业的内涵阐释和技术解读,对数字农业实践的探索研究更强调数字农业转型的实践模式、实践差异、实践困境和实践建议。

学术研究围绕数字农业的实践模式展开了探索。汪旭晖等^[28]以网易味央猪为例,探索了数字农业的实践模式,指出数字农业以“产品”为核心、以“消费者”为中心,创新性地推动了数字生产模式和数字管理向全产业链延伸。吴彬等^[9]以甘肃省临洮县农业数字化转型的探索与实践为例证,构建了农业产业数字化共生系统的分析框架,发现临洮县通

过实施“三位一体”综合改革,利用“数字临洮2.0”,成功构建了一个多主体参与、互利共赢、持续共生的县域农业产业数字化生态系统样本,为其他地区提供了可借鉴经验。胡晶等^[29]分享了北大荒集团和呼玛县推进数字农业的方案,作为农业大省的黑龙江省在发展数字农业时,明确顶层设计和立法规范,充分发挥龙头企业的带动作用,实现数字农业与智慧农业、数字乡村和数字城市的协同发展。特别需要说明的是,数字农业涉及农业全产业链的数字化,不仅是生产阶段的数字化实践,还包括农业供应链的数字化应用^[30]。

整体看,数字技术可以提升农业生产力水平,显著推动农业高质量发展。但目前国内数字农业发展存在实践差异,容易形成数字鸿沟和数字孤岛。一是区域差异。中西部地区数字技术对农业高质量发展的推动较为显著,但东部地区的效果不明显。同时,由于中西部地区数字技术发展有限,数字农业生产力发展水平较低,又阻碍了其农业数字化转型^[31]。二是城乡差异。农村和农民作为农业生产的关键场域和关键主体遭遇了数字技术发展的制约,农村地区数字技术有限,农民数字技能薄弱,难以抓住数字技术的发展机遇^[32]。三是农业经营主体差异。平台型企业在推动农业数字化转型中发挥了至关重要的引领作用,其数字化水平明显高于普通小农户,容易形成数字孤岛^[8]。

传统农业在向数字农业转型的进程中遭遇了困境,如经营主体的应用能力不足、财政投入有限、研发投入不足和自主创新不足等^[33]。数字农业在具体实践中也遭遇了困境,如缺乏对技术潜在风险的认知与研判、环境赋能效益较低等^[34]。可以通过加快推进农村新基建、推动农村电商发展、扩展互联网在生产领域的应用、加强农村地区的数字技能培训等措施推进农业数字化转型^[16]。

3.2.3 政策回应的功能价值

数字农业的学术研究不仅随着科学技术的发展不断深化,也随政策导向不断推进。其研究主题热点与政策紧密结合,沿着相关政策的时间脉络不断深化,突出了数字农业在政策实践中的工具价值,尤其是在推进农业信息化、农业现代化、乡村振兴和数字经济等领域发展的重要贡献。

2006年中央一号文件首次提出农业信息化建设,2006年和2007年数字农业研究的发文量是

2020年之前的峰值,均达到了100篇,密切呼应政策文件。这一时期,数字农业的研究主要集中在概念内涵解析和技术实践探索等方面,重点关注信息采集技术及研发^[35],政策支持主要集中于服务技术发展,包括空间信息技术、信息化网络建设和创造农业信息服务体系等方面^[36]。学者为加速农业信息化建设提出了丰富的建议,如加强信息管理、建立和完善农业信息产业、加强国家信息网络建设等^[37]。

自2018年提出乡村振兴以来,与数字农业相关的一系列政策文件相继出台,如《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》^[38]《“十四五”数字经济发展规划》^[22]等。这一时期,关于数字农业的研究呈现井喷式增长,研究主题和研究内容也更加丰富,数字农业的工具价值不再局限于农业现代化,而是扩展到更广阔的领域,如乡村振兴^[11]、共同富裕^[39]、城乡融合^[40]和产业融合^[41]等。如杨蓓蓓^[42]指出,数字农业可以与乡村旅游融合发展,进而有效推动乡村振兴;齐文浩等^[43]研究发现,数字农业对农村环境可持续发展存在显著的正向影响。可见,数字农业不仅顺应了政策导向,更在政策实施中展现了独特的价值。

3.3 研究前沿

突现词是指在特定的某一时间段内出现频次较高的词语,突现强度越高说明该关键词受到关注度越高,突现词的时间跨度代表其爆发的时间周期,时间周期越长说明其影响力就越大^[44]。关键词突发检测可以识别研究领域的新兴趋势,反映某一话题在特定时期内受到学术研究的关注^[45]。2000—2024年中国数字农业研究排名前20的关键词突现详情如表3所示。表中深蓝色线段表示该时间段有学者进行相关研究,但是未形成研究热点,红色线条为关键词突现时间段。可见,“农业”的突现时间最长(17年),“信息化”次之(15年),“智慧农业”突现强度最高(25.12),“乡村振兴”的突现强度次之(24.64)。在整合突现词、数字农业的发展脉络以及国内外学者的相关研究来看,中国数字农业的研究前沿集中于以下3个方面。

3.3.1 技术的颠覆性革新研究

1)数字农业中相关技术的颠覆性革新是当下理工学科研究前沿。数字农业中使用了丰富的数字技术,不同的数字技术需要持续性研发,不同学

表 3 2000—2024 年中国数字农业研究排名前 20 的关键词突现表
Table 3 Top 20 keywords emergence table for digital agriculture in China from 2000 to 2024

排序 Ranking	关键词 Keyword	强度 Strength	起始年份 Beginning year	终止年份 Ending year	2000—2024 年突现年份 Burst year from 2000 to 2024
1	农业	16.44	2000	2017	
2	信息化	16.09	2000	2015	
3	信息农业	8.35	2000	2015	
4	农业工程	7.07	2002	2007	
5	综述	11.51	2003	2007	
6	信息服务	6.95	2003	2013	
7	对策	13.67	2004	2011	
8	农村	6.57	2004	2011	
9	现代农业	13.13	2006	2019	
10	新农村	6.27	2006	2011	
11	建设	5.89	2007	2011	
12	启示	6.17	2008	2015	
13	物联网	11.83	2011	2021	
14	大数据	9.27	2014	2021	
15	智慧农业	25.12	2016	2024	
16	乡村振兴	24.64	2020	2024	
17	数字乡村	12.55	2020	2024	
18	数字经济	15.12	2022	2024	
19	数字技术	10.62	2022	2024	
20	粮食安全	5.58	2022	2024	

注：突现强度表示关键词出现的频次；红色线段表示从关键词突现开始到结束的时间，长度越长则关键词热度持续时间越久，研究前沿性越强。
Note: Burst intensity indicates the frequency of keywords appearance. The red line segment indicates the time from the beginning of keyword emergence to the end, the longer the length, the longer the duration of keywords hotness, the stronger the research frontier.

科、不同研究方向专注于特定数字技术的持续推进^[46]，逐步推动数字技术的颠覆性革新。例如，目前无人机技术正在对农业大数据挖掘及农业数字模型搭建，实际应用重心向低空遥感喷施、能源续航倾斜等方面攻坚克难^[47]。AI技术在农业领域的应用也逐渐增多，利用AI技术如何更好地赋能农业数字化，相关理论与试验还在不断迭代，如AI for Science在农业领域的应用研究将成为撬动农业生产从看天、看地、看庄稼的传统模式向智能感知、智能决策和可视化管理等模式转变的强力引擎^[48]。

2)数字农业技术的合作化发展。农业数字技术的合作研发有助于加速科研创新和成果转化，如促进农业科技成果转化的数字化平台建设^[49]。建

立数字农业共享平台，科研人员共享算力、模型、算法、数据库和知识库等基础设施，围绕农业全产业链全生命周期研发应用，通过滚雪球效应加速科研创新和成果应用，实现理论与实践的快速迭代^[48]。另外，不同科研机构、不同国家之间就农业技术的合作发展也是当下数字农业技术发展的实践前沿方向，可以借鉴国际上农业技术合作方案，如韩国正在推进制度合作的系统化，利用现有的合格人才、设备和设施来促进农业现代化和农业技术发展^[50]。

3.3.2 理论的多维度扩展研究

1)数字农业相关的学科融合。数字农业是一个多学科交叉的领域，它整合了生物学、信息技术、

地理遥感、经济学和社会学等多个学科的理论和方法,形成了一个全面的农业发展理论体系。这种跨学科的融合有助于数字农业在理论和实践层面更全面、系统地发展,从而更好地理解数字农业的复杂性,研发出更有效的技术和策略。如农业食品研究和计算机科学的交叉性融合分析有助于扩大技术创新的规模、范围和速度^[51]。可见,数字农业的快速发展得益于不同学科知识的相互渗透和整合,相关学科之间的交流与合作研究仍然是当下的研究前沿。

2)数字农业相关的理论建构。数字农业研究本质上是对农业转型经典理论的现代诠释,已进入创新性理论建构的新阶段。目前数字农业研究理论涵盖了农业技术^[52]、农业组织模式^[15]以及农业人才培养模式^[53]等全面系统的农业转型进程,体现了传统农业模式的深刻、系统、本质的转型。另外,农业数字化转型的动力机制、影响机理、路径机制等研究也逐渐成熟,成为中国式农业现代化理论的重要组成部分。需要特别说明的是,数字农业作为由数字技术这一新质生产力驱动的农业现代化转型的实践探索,其所带来的生产力和生产关系的变革,也是数字农业理论建构的研究前沿。

3.3.3 实践的协同性发展研究

1)数字农业发展与农村、经济、社会、环境协同发展的实践研究。关于数字农业的研究不再仅仅局限于农业领域的讨论,其研究前沿体现在农业、农村、经济、社会和环境等多要素的协同演进。数字农业的发展不仅提升了农业生产效率,还促进了乡村振兴、数字经济和共同富裕的发展,呈现出协同共进、相互影响与相互促进的关系。相关研究关注到数字农业如何驱动城市化进程^[54],如何抑制碳排放强度^[55]以及数字农业通过制定数据驱动的政策、优化作物管理和增强土壤健康,从而实现生态环境的可持续发展^[56]。数字农业的研究不仅仅是单一的生产效率和经济收益的提升,是与之相关的农村、社会和环境等一系列要素的协同发展。

2)数字技术与农业劳动者和农业劳动对象协同发展的研究。数字技术会直接影响劳动过程,影响劳动者与劳动对象的有序生产,已有研究关注到数字技术对农业劳动者的剥削^[57],以及对动物福利的威胁^[58]等。在实践中,要求劳动者的素质和技能水平与数字技术相匹配,具备有效运用数字技术的

能力。同时,劳动对象也需进行相应的改造与升级,以适应数字技术的应用需求,从而实现劳动者、数字技术与劳动对象之间的有机结合,最大化提升数字农业的生产效率与创新能力。当下研究数字技术如何与劳动者和劳动对象协同发展有一定的必要性和现实性,是数字农业实践的前沿性研究,需要人文社科领域与理工科领域协同攻坚克难。

4 结论与展望

4.1 结论

本研究利用 CiteSpace 软件对 CNKI 数据库 2000—2024 年数字农业领域的文献进行统计分析,得出以下结论:

1)数字农业研究的发文量呈显著上升趋势,研究热度持续攀升。发文作者的合作模式仍以单一机构内部的小规模团队为主,合作网络结构较为松散,跨机构及跨团队的广泛合作尚未形成,整体研究协同性有待提升。从研究机构来看,数字农业研究主要集中在研究所和高校,其中国家农业信息化工程技术研究中心、北京农业信息技术研究中心等机构形成了较大的合作网络,并辐射至多所高校及研究中心。数字农业与农村农民协同发展、数字技术的应用路径及政策建议等研究成果受到较多关注,相关论文被引用频次较高。

2)从“政策-技术-理论-实践”4个维度分析,数字农业研究的演进可划分为3个阶段:萌芽探索阶段(2000—2007年)、平稳发展阶段(2008—2017年)和创新应用阶段(2018—2024年)。数字农业的研究热点主要集中在概念内涵的理论解析、农业转型的实践探索及政策回应的功能价值,研究前沿则聚焦于数字农业技术的颠覆性革新、数字农业理论的多维度拓展以及数字农业实践的协同性发展。

4.2 展望

基于上述结论,本研究对数字农业研究领域提出如下展望:

1)关注数字农业的新发展样态。智慧农业和数智农业正逐渐成为数字农业的新样态,并成为研究与实践热点。2024年10月23日,农业农村部发布《全国智慧农业行动计划(2024—2028年)》^[59],标志着智慧农业将成为农业强国建设的重要支撑。首先,未来研究应关注智慧农业和数智农业的发展动态,加强前瞻性研究,探索其促进农业新质生产

力的理论逻辑与路径。其次,学术研究应结合政策目标与实践需求,构建智慧农业评价体系,围绕智能化、精准化、数字化、可持续化等核心维度,建立综合指数测算体系,实现科学评估。最后,应加强基层调研,关注农民、推广人员、农业企业等多方主体的实践需求,优化智慧农业技术的推广与应用。

2)关注农民群体在数字农业中的适应性。数字农业的发展必须契合我国“大国小农”的基本国情,农民的参与度直接影响数字农业的推广效果。首先,未来应重点关注农民的数字素养提升,探讨如何通过培训、合作以及共享等方式,提高农民对数字工具的应用。其次,应挖掘技术推广的典型案列并进行推广,构建完善的农业技术服务体系,增强农民的技术支持。最后,应从农民视角出发,推动数字农业技术与农民实际需求相匹配,加强人文社科与理工类学科的合作,以优化数字技术的研发方向。

3)构建“政策-技术-实践-理论”协同体系。数字农业的发展需要政策引导、技术革新、实践探索与理论建构的协同推进。首先,政策应为技术研发和理论创新提供方向,而技术推广与理论研究的反馈也应反哺政策优化。其次,技术创新应基于实践需求,并进行理论可行性评估,确保技术的落地性。最后,理论研究应结合实践经验与技术革新,提供动力机制分析、模式理论构建和实践路径建议,促进政策、理论、实践和技术的良性循环。

4)拓宽国际视角。全球化背景下,数字农业已成为实现农业现代化的重要路径。首先,未来研究应借鉴国际领先的数字农业技术与模式,如精准农业、智慧农业、农业物联网等,评估其在我国的适应性和应用价值。其次,应加强跨国合作,推动数字农业标准体系构建,可以借鉴各国政策支持和技术推广的经验。最后,研究还应从国际视野出发,分析我国数字农业的独特优势,构建具有国际影响力的发展范式,提升中国在全球农业科技创新中的话语权。

参考文献 References

- [1] 孙敬水. 数字农业: 21世纪新型农业模式[J]. 农村经济, 2002(5): 1-3
Sun J S. Digital agriculture-a new agricultural model in the 21st century[J]. *Rural Economy*, 2002(5): 1-3 (in Chinese)
- [2] 马克思, 恩格斯. 马克思恩格斯文集(第5卷)[M]. 中共中央马克思恩格斯列宁斯大林著作编译局译. 北京: 人民出版社, 2009
Marx, Engels. *Collected Works of Marx and Engels (Volume 5)*[M]. Central Compilation and Translation Bureau. Beijing: People's Publishing House, 2009 (in Chinese)
- [3] 陈疆, 师帅兵, 侯俊才, 徐杰. 我国数字农业与农业机械的发展[J]. 农机化研究, 2005(3): 21-23
Chen J, Shi S B, Hou J C, Xu J. The development of digital agriculture and Chinese agriculture machinery[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2005(3): 21-23 (in Chinese)
- [4] 韩旭东, 刘闯, 刘合光. 农业全链条数字化助推乡村产业转型的理论逻辑与实践路径[J]. 改革, 2023(3): 121-132
Han X D, Liu C, Liu H G. The theoretical logic and practical path of the digitalization of the whole agricultural chain to promote the transformation of rural industries[J]. *Reform*, 2023(3): 121-132 (in Chinese)
- [5] 阮俊虎, 刘天军, 冯晓春, 乔志伟, 霍学喜, 朱玉春, 胡祥培. 数字农业运营管理: 关键问题、理论与方法示范工程[J]. 管理世界, 2020, 36(8): 222-233
Ruan J H, Liu T J, Feng X C, Qiao Z W, Huo X X, Zhu Y C, Hu X P. Digital agriculture operation and management: Key issues, methodology and demonstration project[J]. *Journal of Management World*, 2020, 36(8): 222-233 (in Chinese)
- [6] 张在一, 毛学峰. “互联网+”重塑中国农业: 表征、机制与本质[J]. 改革, 2020(7): 134-144
Zhang Z Y, Mao X F. “Internet +” remodeling Chinese agriculture: Representation, mechanism and essence[J]. *Reform*, 2020(7): 134-144 (in Chinese)
- [7] 刘海启. 以精准农业驱动农业现代化加速现代农业数字化转型[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 1-6, 73
Liu H Q. Accelerating the digital transformation of modern agriculture by driving the agricultural modernization with precision agriculture[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(1): 1-6, 73 (in Chinese)
- [8] 姜长云. 发展数字经济引领带动农业转型和农村产业融合[J]. 经济纵横, 2022(8): 41-49
Jiang C Y. Developing digital economy to drive the agricultural transformation and rural industrial integration[J]. *Economic Review Journal*, 2022(8): 41-49 (in Chinese)
- [9] 吴彬, 徐旭初. 农业产业数字化转型: 共生系统及其现实困境: 基于对甘肃省临洮县的考察[J]. 学习与探索, 2022(2): 127-135
Wu B, Xu X C. Digital transformation of agricultural industry: Symbiosis system and its realistic dilemma: Based on the investigation of Lintao County, Gansu Province[J]. *Study & Exploration*, 2022(2): 127-135 (in Chinese)
- [10] 金建东, 徐旭初. 数字农业的实践逻辑、现实挑战与推进策略[J]. 农业现代化研究, 2022, 43(1): 1-10
Jin J D, Xu X C. The operational logic, realistic challenges, and promotion strategies of digital agriculture[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2022, 43(1): 1-10 (in Chinese)
- [11] 赵亮. 乡村振兴视域中数字农业高质量发展探析[J]. 人民论坛, 2023(2): 81-83
Zhao L. Analysis on the high-quality development of digital agriculture from the perspective of rural revitalization[J]. *People's Tribune*, 2023(2): 81-83 (in Chinese)
- [12] 苏锦旗, 潘婷, 董长宏. 中国农业数字化发展及区域差异评价[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2023, 23(4): 135-144
Su J Q, Pan T, Dong C H. Study on the development of agricultural digitalization and the evaluation of regional differences in China[J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2023, 23(4): 135-144 (in Chinese)

- [13] 易加斌, 李霄, 杨小平, 焦晋鹏. 创新生态系统理论视角下的农业数字化转型: 驱动因素、战略框架与实施路径[J]. 农业经济问题, 2021(7): 101-116
Yi J B, Li X, Yang X P, Jiao J P. Agricultural digital transformation from the perspective of innovation ecosystem theory: Driving factors, strategic framework and realization path[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021(7): 101-116 (in Chinese)
- [14] 曹卫星. 数字农作技术研究进展与发展方向[J]. 作物杂志, 2008(6): 3-5
Cao W X. Research progress and development direction of digital farming technology[J]. *Crops*, 2008(6): 3-5 (in Chinese)
- [15] 温涛, 陈一明. 数字经济与农业农村经济融合发展: 实践模式、现实障碍与突破路径[J]. 农业经济问题, 2020(7): 118-129
Wen T, Chen Y M. Research on the digital economy and agriculture and rural economy integration: Practice pattern, realistic obstacles and breakthrough paths[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2020(7): 118-129 (in Chinese)
- [16] 殷浩栋, 霍鹏, 汪三贵. 农业农村数字化转型: 现实表征、影响机理与推进策略[J]. 改革, 2020(12): 48-56
Yin H D, Huo P, Wang S G. Agricultural and rural digital transformation: Realistic representation, impact mechanism and promotion strategy[J]. *Reform*, 2020(12): 48-56 (in Chinese)
- [17] 卢文林, 常春. 编制多语种叙词表的计算机处理方法应用[J]. 农业图书情报学刊, 2005, 17(5): 18-19
Lu W L, Chang C. The application of a computer processing procedure for working-out multilingual thesaurus[J]. *Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*, 2005, 17(5): 18-19 (in Chinese)
- [18] 陈悦, 陈超美, 胡志刚, 王贤文. 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
Chen Y, Chen C M, Hu Z G, Wang X W. *Principles and Applications of Analyzing a Citation Space* [M]. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese)
- [19] 中国政府网. 国务院关于印发全国现代农业发展规划(2011—2015年)的通知[EB/OL]. [2024-10-29]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2068273.htm
Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the State Council on Issuing the National Modern Agriculture Development Plan (2011-2015)[EB/OL]. [2024-10-29]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2012/content_2068273.htm (in Chinese)
- [20] 中国政府网. 农业部发展改革委中央网信办科技部商务部质检总局食品药品监管总局林业局关于印发《“互联网+”现代农业三年行动实施方案》的通知[EB/OL]. [2024-10-29]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5103157.htm
Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture, National Development and Reform Commission, Office of the Central Leading Group for Cyberspace Affairs, Ministry of Science and Technology, Ministry of Commerce, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, State Food and Drug Administration, and State Forestry Administration on Issuing the "Internet plus modern agriculture three-year action plan"[EB/OL]. [2024-10-29]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5103157.htm (in Chinese)
- [21] 中国政府网. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《数字乡村发展战略纲要》[EB/OL]. [2024-10-31]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm
Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. General Office of the CPC Central Committee and General Office of the State Council Issue the "Strategic outline for digital rural development"[EB/OL]. [2024-10-31]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-05/16/content_5392269.htm (in Chinese)
- [22] 中国政府网. 国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知[EB/OL]. [2024-10-31]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5671108.htm
Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the State Council on issuing the "14th five-year plan for digital economy development"[EB/OL]. [2024-10-31]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2022/content_5671108.htm (in Chinese)
- [23] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 胡志刚, 王贤文. CiteSpace知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253
Chen Y, Chen C M, Liu Z Y, Hu Z G, Wang X W. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253 (in Chinese)
- [24] 俞海红, 何勇. 数字农业及其发展现状[J]. 农机化研究, 2006(2): 14-15, 19
Yu H H, He Y. Digital agriculture and its present developmental situation[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2006(2): 14-15, 19 (in Chinese)
- [25] 唐世浩, 朱启疆, 闫广建, 周晓东, 吴门新. 关于数字农业的基本构想[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(3): 183-187
Tang S H, Zhu Q J, Yan G J, Zhou X D, Wu M X. About basic conception of digital agriculture[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2002, 23(3): 183-187 (in Chinese)
- [26] 宋洪远. 智慧农业发展的状况、面临的问题及对策建议[J]. 人民论坛·学术前沿, 2020(24): 62-69
Song H Y. The status and problems of smart agriculture development and responses[J]. *Frontiers*, 2020(24): 62-69 (in Chinese)
- [27] 赵春江. 智慧农业的发展现状与未来展望[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 1-7
Zhao C J. Current situations and prospects of smart agriculture[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2021, 42(6): 1-7 (in Chinese)
- [28] 汪旭晖, 赵博, 王新. 数字农业模式创新研究: 基于网易味央猪的案例[J]. 农业经济问题, 2020, 41(8): 115-130
Wang X H, Zhao B, Wang X. Digital agriculture mode innovation study: Based on the case of Netease Wei Yang pig[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2020, 41(8): 115-130 (in Chinese)
- [29] 胡晶, 赵文哲. 数字农业助推黑龙江省乡村振兴的对策[J]. 学术交流, 2023(5): 140-153
Hu J, Zhao W Z. The strategy for promoting rural revitalization with digital agriculture[J]. *Academic Exchange*, 2023(5): 140-153 (in Chinese)
- [30] 许玉磊, 张龙耀. 农业供应链金融的数字化转型: 理论与中国案例[J]. 农业经济问题, 2020, 41(4): 72-81
Xu Y Y, Zhang L Y. Digital transformation of agricultural supply chain finance: Theory and case study[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2020, 41(4): 72-81 (in Chinese)
- [31] 杨军鸽, 王琴梅. 数字技术与农业高质量发展: 基于数字生产力的视角[J]. 山西财经大学学报, 2023, 45(4): 47-63
Yang J G, Wang Q M. Digital technology and high-quality agricultural development: From the perspective of digital productivity[J]. *Journal of Shanxi University of Finance and Economics*, 2023, 45(4): 47-63 (in Chinese)
- [32] 联合国粮食及农业组织编. 农业和农村地区的数字技术现状报告[M]. 张龙豹, 徐明, 高战荣, 张玉帅, 李骏达, 王鹏远, 佟敏强, 郑君, 赵文, 张笑, 张晴译. 北京: 中国农业出版社, 2021
Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas: Status report*[M]. Zhang L B, Xu M, Gao Z R, Zhang Y S, Li J D, Wang P Y, Tong M Q, Zheng J, Zhao W, Zhang X, Zhang Q translated. Beijing: China Agriculture Press,

- 2021 (in Chinese)
- [33] 殷浩栋, 霍鹏, 肖荣美, 高雨晨. 智慧农业发展的底层逻辑、现实约束与突破路径[J]. 改革, 2021(11): 95-103
- Yin H D, Huo P, Xiao R M, Gao Y C. The underlying logic, practical constraints and breakthrough path of the development of smart agriculture [J]. *Reform*, 2021(11): 95-103 (in Chinese)
- [34] 肖涵, 付裕琳. 智慧农业发展的实践逻辑与优化策略: 基于Q村丘陵山地数智化无人果园的案例考察[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2024, 24(3): 58-65
- Xiao H, Fu Y L. Practical logic and optimization strategy of smart agriculture development: Based on a case study of digitally intelligent unmanned orchards on hilly mountainous terrain in Q village [J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2024, 24(3): 58-65 (in Chinese)
- [35] 杨宇姝, 王福林, 刘晓华. 数字农业带动中国农业现代化的战略探讨[J]. 农机化研究, 2007, 29(12): 246-247, 250
- Yang Y S, Wang F L, Liu X H. The strategic discussion of digital agriculture promoting Chinese agriculture modernization [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007, 29(12): 246-247, 250 (in Chinese)
- [36] 高万龙. 中国农业信息化发展战略的探讨与思考[J]. 中国科技论坛, 2005(4): 7-11
- Gao W L. Discussion and reflection on the development strategy of agricultural informatization in China [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2005(4): 7-11 (in Chinese)
- [37] 郑业鲁, 洪建军, 何绮云. 农村信息化建设中服务内容支撑的探索[J]. 广东农业科学, 2008(7): 138-142
- Zheng Y L, Hong J J, He Q Y. Exploration of service content support in rural informatization construction [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2008(7): 138-142 (in Chinese)
- [38] 中国政府网. 农业农村部 中央网络安全和信息化委员会办公室关于印发《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》的通知[EB/OL]. [2024-10-30]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content_5470944.htm
- Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs and the Office of the Central Cyberspace Affairs Commission on Issuing the "Digital agriculture and rural development plan (2019-2025)" [EB/OL]. [2024-10-30]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/20/content_5470944.htm (in Chinese)
- [39] 张新文, 万栗江. 数字赋能乡村共同富裕的实践类型、经验总结与创新路径: 基于五个典型案例的考察[J]. 农村经济, 2023(10): 135-144
- Zhang X W, Wan L J. Practical types, experience summary and innovation path of digital empowerment of rural common prosperity: Based on the investigation of five typical cases [J]. *Rural Economy*, 2023(10): 135-144 (in Chinese)
- [40] 顾相君. 以数字乡村建设推动城乡融合发展[J]. 宏观经济管理, 2023(9): 46-53
- Gu X J. Revitalize rural areas through digital empowerment and promote integrated urban-rural development [J]. *Macroeconomic Management*, 2023(9): 46-53 (in Chinese)
- [41] 欧定余, 廖纤. 智慧农业发展水平测度及驱动力比较: 基于产业融合的视角[J]. 湘潭大学学报: 哲学社会科学版, 2024, 48(2): 62-68
- Ou D Y, Liao Q. Measurement of smart agriculture development level and comparison of its driving forces: Based on the perspective of industrial integration [J]. *Journal of Xiangtan University: Philosophy and Social Sciences*, 2024, 48(2): 62-68 (in Chinese)
- [42] 杨蓓蓓. 智慧农业和乡村旅游融合发展策略[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(4): 14
- Yang B B. Development strategy of integration of smart agriculture and rural tourism [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(4): 14 (in Chinese)
- [43] 齐文浩, 宋长兴, 齐秀琳. 数字农业与农村环境可持续发展: 作用机理与多维效益[J]. 财贸研究, 2024, 35(6): 45-58
- Qi W H, Song C X, Qi X L. Digital agriculture and sustainable development of rural environment: Mechanism of action and multidimensional benefits [J]. *Finance and Trade Research*, 2024, 35(6): 45-58 (in Chinese)
- [44] 李光龙, 陈燕. 我国义务教育财政研究演进的可视化分析: 基于关键词共现和文献共被引知识图谱[J]. 华东经济管理, 2017, 31(10): 164-172
- Li G L, Chen Y. Visual analysis on the evolution of the compulsory education finance research in China: Based on keywords co-occurrence and literature co-citation knowledge mapping [J]. *East China Economic Management*, 2017, 31(10): 164-172 (in Chinese)
- [45] 许恒周, 刘源. 我国农地确权研究的热点分析与演化路径: 基于CiteSpace的知识图谱分析[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(2): 1-9
- Xu H Z, Liu Y. Hotspot analysis and evolutionary path in the study of rural land right confirmation [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2020, 34(2): 1-9 (in Chinese)
- [46] Patel A, Kethavath A, Kushwaha N L, Naorem A, Jagadale M, Sheetal K R, Renjith P S. Review of artificial intelligence and Internet of Things technologies in land and water management research during 1991-2021: A bibliometric analysis [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 123: 106335
- [47] Li J Y, Hu X D, Lan Y B, Deng X. Research advance on worldwide agricultural UAVs in 2001-2020 based on bibliometrics [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(9): 328-339
- [48] 方松, 姜丽华, 曹景军, 王骁, 邱明慧, 田泉芝. AI for Science在农业领域的应用研究[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(10): 1-10
- Fang S, Jiang L H, Cao J J, Wang X, Qiu M H, Tian X Y. Research on the application of AI for science in agricultural field [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2024, 26(10): 1-10 (in Chinese)
- [49] Runck B C, Joglekar A, Silverstein K A T, Chan-Kang C, Pardey P G, Wilgenbusch J C. Digital agriculture platforms: Driving data-enabled agricultural innovation in a world fraught with privacy and security concerns [J]. *Agronomy Journal*, 2022, 114(5): 2635-2643
- [50] Hong Y K, Han P J, Kim D S. The progress and contribution of agri-institutional cooperation for agricultural development in Korea [EB/OL]. [2024-10-30]. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19921894474>
- [51] Roeven L, Wolf S A, Sengers P, Liu J, Rubambiza G, Persaud D, Weatherspoon H. Analyzing abstraction in critical agri-food studies and computer science: Toward interdisciplinary analysis of digital agriculture innovation [J]. *Agriculture and Human Values*, 2025, 42(2): 1009-1026
- [52] 刘学侠, 陈传龙. 数字技术推动农业产业结构转型升级路径研究[J]. 行政管理改革, 2022(12): 57-65
- Liu X X, Chen C L. The path of digital technology promoting the transformation and upgrading of agricultural industrial structure [J]. *Administration Reform*, 2022(12): 57-65 (in Chinese)
- [53] 程大为, 樊倩, 周旭海. 数字经济与农业深度融合的格局构想及现实路径[J]. 兰州学刊, 2022(12): 131-143
- Cheng D W, Fan Q, Zhou X H. Pattern conception and realistic paths of deep integration of digital economy and agriculture [J]. *Lanzhou Academic Journal*, 2022(12): 131-143 (in Chinese)
- [54] Jiang S, Zhou J, Qiu S. Digital agriculture and urbanization: Mechanism and empirical research [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022,

180; 121724

- [55] Zhong R X, He Q, Qi Y B. Digital economy, agricultural technological progress, and agricultural carbon intensity: Evidence from China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(11): 6488
- [56] Ametefe D S, Hussin N, John D, Dzorgbenya Ametefe G, Adozuka Aliu A, Abdi Ali Z. Revolutionising agriculture for food security and environmental sustainability: A perspective on the role of digital twin technology[J]. *CABI Reviews*, 2024, 19(1): 1-12
- [57] Rotz S, Gravely E, Mosby I, Duncan E, Finnis E, Horgan M, LeBlanc J, Martin R, Neufeld H T, Nixon A, Pant L, Shalla V, Fraser E. Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities[J]. *Journal of Rural Studies*, 2019, 68:

112-122

- [58] Tuytens F A M, Molento C F M, Benaissa S. Twelve threats of precision livestock farming (PLF) for animal welfare[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, 9: 889623
- [59] 中国政府网. 农业农村部关于印发《全国智慧农业行动计划(2024—2028年)》的通知[EB/OL]. [2024-10-23]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202410/content_6983622.htm
- Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs on Issuing the "National smart agriculture action plan (2024-2028)"[EB/OL]. [2024-10-23]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202410/content_6983622.htm (in Chinese)

责任编辑: 申青苗



第一作者简介: 王惠, 博士, 讲师, 专业为社会学。主持“清华大学中国农村研究院博士论文奖学金项目”“中国农业大学研究生自主创新研究基金项目”等; 参与国家社科基金项目“小农户融入多功能农业产业链的社会学研究”等。在《中国农业大学学报(社会科学版)》等期刊发表学术论文3篇; 参编《社会蓝皮书: 2023年中国社会形势分析与预测》等。曾获得国家奖学金、北京市三好学生等。



通讯作者简介: 吴惠芳, 中国农业大学人文与发展学院教授、副院长、博士生导师。主要研究领域包括农业与农村社会学问题、人口流动与留守人口、乡村文化与乡村治理等。兼任亚洲农村社会学会秘书长、中国社会学会理事、发展社会学专业委员会秘书长、农村社会学专业委员会副秘书长等。主持2项国家社科基金项目; 在国内外学术期刊上发表论文多篇; 参与撰写的多项政策建议获得省部级领导批示。获得多个省部级奖项, 曾入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”、北京高校青年英才计划等。