

新一代信息技术驱动下的农业信息化发展思考

孙坦^{1,2}, 黄永文^{1*}, 鲜国建^{1,2}, 崔运鹏^{1,2}, 刘娟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 农业大数据实验室, 北京 100081)

摘要: [目的/意义]目前全球正处于信息化时代, 农业信息化的发展已成为现代化农业发展的重要方向, 因此有必要探索新一代信息技术对农业信息化的推动作用。[方法/过程]总结新一代信息技术在农业领域应用的现状, 对新一代信息技术推动农业信息化发展的路径进行分析, 提出新一代农业信息技术创新与集成应用的策略。[结果/结论]提出通过新一代信息技术创新补齐农业信息化和现代化短板, 助力“乡村振兴战略”, 实现并加速“四化同步, 融合发展”。推动新一代信息技术在农业中的应用必须依赖于技术创新、模式创新、机制创新和政策创新。

关键词: 新一代信息技术; 农业信息化; 人工智能; 大数据; 科学数据; 智慧农业

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1248 (2021) 03-0004-12

引用本文: 孙坦, 黄永文, 鲜国建, 等. 新一代信息技术驱动下的农业信息化发展思考[J]. 农业图书情报学报, 2021, 33(3): 04-15.

Considerations for the Development of Agricultural Informatization Driven by a New Generation of Information Technologies

SUN Tan^{1,2}, HUANG Yongwen^{1*}, XIAN Guojian^{1,2}, CUI Yunpeng^{1,2}, LIU Juan¹

(1. Agricultural Information Institution of CAAS, Beijing 100081;

2. Key Laboratory of Agricultural Big Data, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081)

Abstract: [Purpose/Significance] At present, the world is in an information age, and the development of agricultural

收稿日期: 2020-10-07

基金项目: 国家社会科学基金项目“融合多种知识组织体系的认知搜索模式研究”(20BTQ014)

作者简介: 孙坦 (ORCID: 0000-0002-8257-5064), 男, 博士, 研究员, 研究方向为数字信息描述与组织。鲜国建 (ORCID: 0000-0003-4332-1958), 男, 博士, 研究员, 研究方向为大数据融汇治理、知识组织、知识图谱。崔运鹏 (ORCID: 0000-0001-5842-7208), 男, 博士, 研究员, 研究方向为认知计算。刘娟 (ORCID: 0000-0002-8802-0203), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为认知计算

*通信作者: 黄永文 (ORCID: 0000-0002-4486-3233), 女, 博士, 副研究馆员, 研究方向为知识组织与知识服务。Email: huangyongwen@caas.cn

information has become an important development direction of modern agriculture. Therefore, it is necessary to explore how a new generation of information technologies promotes the development of agricultural informatization. [Method/Process] This paper summarizes the current situation of the applications of the new generation of information technologies in the agricultural field, analyzes the path of the technologies to promote the development of agricultural informatization, and puts forward the strategy of the innovation and integrated applications of the technologies. [Results/Conclusions] The paper proposes to supplement the shortcomings of agricultural informatization and modernization through the innovation of a new generation of information technologies, helps the "village revitalization strategy", and realizes and accelerates the "synchronization of the four modernizations and integrated development". Promoting the applications of information technologies in agriculture must rely on technological innovation, model innovation, mechanism innovation and policy innovation.

Keywords: new generation of information technologies; agricultural informatization; artificial intelligence; big data; scientific data; smart agriculture

1 引 言

在国家政策的有力驱动和“三农”发展的迫切需求下,中国农业信息化基础设施建设已基本完成,开始进入到全方位、多层次的发展阶段,移动互联网在解决农业信息化“最后一公里”问题发挥出了重要作用。2020年1月,农业农村部、中央网络安全和信息化委员会办公室联合印发了《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》^[1],提出要大力发展数字农业,实施数字乡村战略,推动农业数字化转型,进一步加强农业信息化建设。

农业信息化是将信息技术应用到现代农业中,利用信息网络化和数字化支持农业生产、经营和管理,其内容涉及农业基础设施信息化、农业科学技术信息化、农业资源环境信息化、农业生产工具信息化、农业经营管理信息化、农民生活消费信息化、农业科研管理信息化等^[2-6]。世界银行认为国家农业信息化战略的主要目标是^[7]:提供信息获取能力、加速农业科技创新与农技推广服务、建设农产品供应链与产品可追溯机制、增加农业资本注入。在农业产业发展过程中,美国、欧盟、日本、英国等发达国家都非常注重政府强有力的支持与管理、重视农业信息化体系的建设、注重计算机网络系统的普及与应用,以及开展多元投

资机制的构建和相关法律法规的建立健全等^[8-13]。

新一代信息技术产业是中国国务院确定的7个国家战略性新兴产业之一^[14],主要聚焦在下一代通信网络、物联网、三网融合、新型平板显示、高性能集成电路和云计算为代表的高端软件。新一代信息技术是以物联网、云计算、5G、大数据、人工智能等为代表的新兴技术,正在全球范围内引发新一轮的科技革命。因此,在新一代信息技术快速发展的环境下,中国农业信息化如何进一步发展是值得思考与讨论的重要问题。如何通过新一代信息技术创新推动中国农业信息化进程,补齐农业现代化这块短板,助力“乡村振兴战略”^[15],实现工业化、信息化、城镇化、农业现代化“四化同步”发展,并加速融合发展,是本文讨论的核心问题。

2 新一代信息技术在农业领域应用现状

未来10~20年,“融合与智能”将是信息技术发展的两大并列主题^[16-18],面向认知和决策的大规模计算与硬件执行相互融合。物联网的出现,极大拓展了人类感知和获取数据的能力,同时也延伸了人类的动作和执行范围;虚拟化和云计算的成熟,为后端透明化的超大规模数据处理提供了基础设施;大数据、深度学习技术的出现,使人工智能获得跨越式发展。这些

技术一直不停地试图进行更深层次地融合，以获得更少的人工干预和更加智能的效果^[19-22]。

新一代信息技术在农业领域中不断应用和融合，加速了农业全行业知识、技术和服务的积累、扩散、分享与创新，让整个农业价值链中的各方可以捕获、追踪和共享数据，推动了农业信息服务范式由细碎零散向规范系统转化，极大提升了各环节效率，引领现代农业发展与转型。物联网、云计算、大数据、人工智能、区块链、数字孪生（Digital Twins）等新一代信息技术的迅猛发展，为农业信息化的发展奠定了强大基础，推动农业向智慧化转型升级^[23-28]。

2.1 新一代信息技术应用于现代农业全产业链

新一代信息技术在农业中的应用为农业带来革命性影响，技术创新和资本双轮驱动是农业现代化进程的动力^[29]。新一代信息技术在农业领域中的应用贯穿于现代农业的整个产业链，具体如下^[30-33]：①在农业生产过程中，新一代信息技术对农业生产系统的核心作用是优化自然资源配置，实现农业生产的全面自动化。通过对农作物的自动管理，实现农作物种植、畜禽饲

养的管理信息化，以及病虫害防治信息化等。②在农产品流通过程中，借助新一代信息技术不断扩大市场信息网络，帮助上游和下游企业（如加工商或出口商）更好地管理农产品的运营和产品质量，推动农业产业化发展。③在农业信息化的管理过程中，借助新一代信息技术建立相应的信息网络和针对农业构建的虚拟模型，帮助政府部门进行农业宏观调控、农业活动智慧管理等。④在农业社会服务信息化过程中，农民可以借助新一代信息技术充分了解天气情况、土壤湿度、病虫害预警信息、农产品价格、农业保险、农业信贷等，帮助农民做出更好的决策。

美国、欧盟等发达地区占据了信息技术高地，不断推动新一代信息技术渗透到农业全产业链中^[34,35]。新一代信息技术在农业产业链和价值链中的应用与作用如图 1 所示^[36]。

2.2 物联网、大数据、人工智能等新兴技术驱动农业发展新业态

物联网、大数据、人工智能、区块链等新兴技术的发展，提供了快速收集、整理、存储、分析和共享

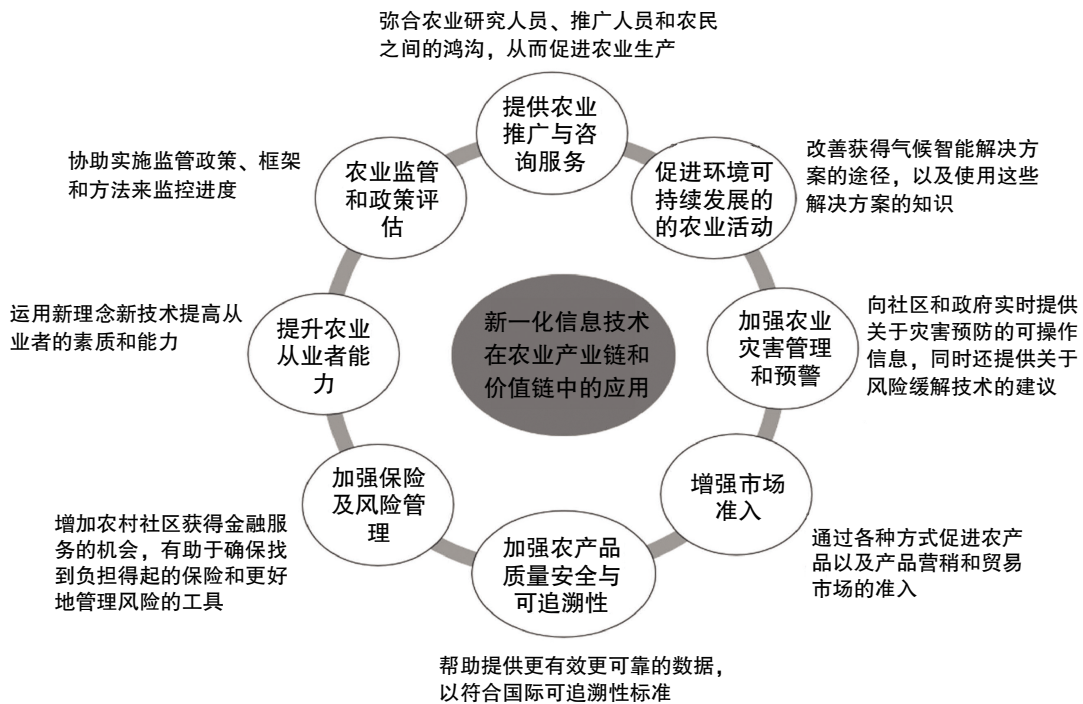


图 1 新一代信息技术在农业产业链和价值链中的应用

Fig. 1 Applications of a new generation of information technologies in agricultural industrial chain and value chain

异构数据的能力, 极大地提高农业领域复杂问题的解决能力, 将农业、粮食、资源环境等领域的研究成果应用在生产实践中, 正在改变粮食的种植方式, 促进形成数据驱动的智慧农业发展, 新兴技术将引领现代农业进入全新发展阶段, 并催生农业产业发展新业态。地面和空中机器人的增加, 从种植到收获的一些操作实现了自动化, 并且更容易得到土壤信息、天气和污染数据, 从而做到对害虫和农药等的精细控制; 物联网技术在农业中的应用, 改变了粗放的农业经营管理方式, 它提供远程监控、虚拟地理信息系统、作物和土壤健康监测以及更好的农场管理技术, 在农产品种植、制造、营销等多个环节得到了应用; 通过区块链技术可以保证农业生产企业或消费者方便、安全地获取信息, 区块链技术已被成功用于检测食品链中劣质食品, 为早期有效应对创造了条件, 还可以为消费者提供食物来源信息; 移动技术、远程遥感服务和分布式计算的推广已在改善小农户获取信息、市场、金融和培训, 新一代信息技术为将小农户纳入数字驱动农业食品系统创了新机会^[37]。

随着新一代信息技术深入应用于农业领域, 精准农业、智慧农业等农业新业态将有更大的技术创新与应用空间^[38-41]。波士顿决策咨询集团开展农业技术预见表明^[42], 未来 15~20 年, 物联网、大数据、农业分析软件、智能设备等组成的农业智能系统和分子生物技术将实现大范围应用, 并由此引发农业产业价值链与农业商业模式的转变。当前, 新型农业发展业态已经引起许多国家重视, 欧盟、美国等推出支持新一轮产业数字革命的举措, 欧盟投资银行等加大对该领域的投资倾斜^[43,44]。此外, 泰国政府也提出积极推进“*Agriculture 4.0*”, 实现农业生产与物联网、大数据、电子商务等信息技术相互融合, 实现农业产业更加生态化、智能化和自由化^[45]。

通过物联网、人工智能、大数据等可以实现作物产量预测、杂草检测、病虫害监测与预防、物种识别、土壤分析、灌溉管理和预防干旱等^[46-52], 帮助农民更好地管理农场以及在危机来临前做出更好的决策, 从而提高生产水平, 推动精准农业和智慧农业的发展。表 1

列出了一些面向农民的智能服务平台或工具。

2.3 数字孪生技术为农业信息化提供新的发展机遇

Gartner 副总裁 David Cearley 在 Gartner Symposium/ITxpo 2018 上强调, 自主设备、增强分析、AI 驱动的研发、数字孪生、边缘计算、沉浸式体验、区块链、智能空间、数字道德和隐私、量子计算十大战略性技术在未来 5 年将带来颠覆式创新, 在这样一个数字孪生的智能空间里, 人、设备、内容、服务、交易将连接成一个不断扩张的网络, 各类数据不断被汇聚和计算并产生新的知识——洞察 (Insights)。数字孪生是现实世界特定实体 (如特定的母牛、田地、甚至特定的农场) 的数字表示, 数字孪生技术主要是把现实世界与数字世界连接起来, 结合感测器、人工智能、机器学习、软件分析, 生成存在于虚拟空间中的数字模型, 这些模型就像是一个虚拟的孪生体, 这样的数字孪生体不仅可以代表实体的实际状态, 还可以再现历史状态和模拟未来状态, 对这些实体进行预测, 甚至可以考虑进行干预, 以替代现实世界中的实验, 如一头牛的数字孪生体可以根据各种管理和治疗决策来表明其患乳腺炎的可能性。数字孪生技术使农民和利益相关者有能力应对意外情况, 通过不断监控从生产到营销和销售的整个过程, 它可以帮助事先识别问题, 并在适当的时间安排预测性维护以及为复杂问题提供即时解决方案。

数字孪生技术可以有效推动农业向优质、生态和现代化、信息化的方向发展。数字孪生技术已经在农场管理中得到应用, 因为它消除了与地点、时间和人类观察有关的基本限制, 农业生产将不再需要物理上的接近, 允许对农场作业进行远程监测、控制和协调。通过对全球范围内的农场和农业活动的数字孪生, 农业价值链中各个层面的参与者将可以获取更多的信息资源, 更有效地预测农作物产量, 在有限的资源下, 扩大生产的规模。IBM 认为^[53], 对真正耕作的农场进行数字复制, 可以为全球农场打造一个“数字孪生”或“虚拟模型”, 实现农作物的健康管理, 还可以对农

表 1 面向农民的智能服务平台或工具

Table 1 Intelligent service platforms or tools for the farmers

平台/工具名称	机构	功能特点
AGRI	哥伦比亚国际热带农业中心农业研究所 (CIAT)	综合气候、土壤、土地覆盖和水文的信息, 显示封闭的水源和水库建设场地, 帮助农民找到灌溉系统的水源
EcoProMIS	哥伦比亚国际热带农业中心农业研究所 (CIAT)	利用卫星等空间技术跟踪作物在各种条件下的表现, 并将空中数据与农民提供的数据相结合, 实时估计水稻和油棕的产量和温室气体排放量
Farmwave	美国 Farmwave 公司	通过照片识别虫害和疾病, 创建简单的田间报告, 帮助农民做出维护和保护农场的关键决策; 通过照片扫描快速计算玉米粒数, 以估算产量
Plantix	德国 PEAT 公司	基于深度学习技术, 通过用户智能手机拍摄的图像可以识别不同的农作物和病虫害
Hello Tractor	尼日利亚农业科技初创公司	通过物联网技术将拖拉机所有者与需要拖拉机服务的小农联系起来, 帮助农民更智能地使用拖拉机
IDA	荷兰 Connecterra 公司	利用谷歌的机器学习框架, 收集奶牛日常行为的数据, 帮助农民更多地了解牛群的健康、习惯和生活
Farmnote	日本 Farmnote 公司	可以实时收集每头奶牛的个体信息, 采用人工智能技术分析奶牛生病或生产的情况, 并将相应信息自动推送给农户
SWIIM	美国农业部 USDA	通过监测水流量、水消耗水平、降水量和天气数据, 帮助农民或土地所有者管理其农业用水的用水数据
Taranis	美国 Taranis 公司	通过监测田地, 提高作物产量。将卫星、飞机和无人机的图像结合起来, 解决由于昆虫、作物疾病、杂草和营养缺乏而造成的作物产量损失问题
Trace Genomics	美国 Trace Genomics 公司	通过量化土壤中的微生物分析土壤, 帮助农民优化农田潜力
Watson 农业决策平台	IBM 公司	将数据、卫星、移动电话和传感器与人工智能技术相结合, 收集和分析从土壤化学成分和水供应到作物疾病、设备使用情况和可用性信息、即将到来的暴雨、热浪等, 帮助农民和种植者做出更好决策

场数据进行共享, 让农业各参与方分享想法、研究和材料, 交流全球农场和作物生长相关数据, 并与食品供应链相互联结。荷兰的 Connecterra 公司基于数字孪生技术研发了数字奶牛助手服务^[54], 通过远程监视母牛并检测母牛何时处于发情期, 全面了解母牛的健康状况, 进一步预测下一个周期的开始日期, 并使用物联网技术向农民发送可行的见解和智能建议; 希腊的 BeeZon 养蜂场监控系统设计了蜂群的数字孪生^[55], 对蜜蜂的疾病、病虫害感染、农药暴露和毒性进行程监控, 帮助养蜂人远程控制其养蜂场并做出明智的管理决策。

3 新一代信息技术推动中国农业信息化发展的路径分析

在中国农业信息化进程中, 政策演变始终与信息

技术变迁相适应, 由强基础向重应用转变^[47]。将新一代信息技术应用于农业产业和农村系统的各个领域, 通过有效获取、整合、利用和传播各类涉农信息资源, 关联农村地区经济、社会、生态诸要素, 推动新一代信息技术在生产、经营、管理、服务的全产业链渗透, 形成多主体可互联互通、信息数据可交互和共享的技术应用场景, 从而借助信息化手段改变农业发展方式, 创新“三农”服务手段, 最终实现农业生产经营效率提升和农村社会全面进步。利用新一代信息技术推进中国农业信息化发展的路径主要包括以下几个方面。

3.1 创新信息服务模式, 填平数字信息鸿沟, 推动信息对称及供需平衡

随着移动数据网络和手机的普及, 以及农村硬件基础设施建设不断进步, 广大农民和农业生产经营新

型主体获取和利用农业信息的渠道已经打通。但是, 文化素养、信息素养和农业信息供给、传播与互动服务等方面的短板, 仍严重阻碍着农业信息的开放传播与充分获取, 造成数字时代更大的信息鸿沟, 导致农业生产者与政府管理部门和市场的信息严重不对称, 严重制约了农业信息服务成为农业生产经营的“耳目、尖兵和参谋”作用的发挥。美国农业部所属的农业技术推广体系中的主要内容之一, 就是充分利用网络和信息化手段, 由政府资助的农技推广队伍为农场主和农民等提供充分、及时和双向的信息推送、培训和咨询服务, 不断提升他们的职业素养和水平。中国农业现代化进程中必然首先需要持续为农民提供充分的农业信息服务, 包括农业生产所需的科技信息与知识、农产品市场信息及咨询分析、农业金融、保险、国家农业政策法规等各个方面的信息。同时, 信息服务过程和目标不仅仅局限于某个具体问题的解决, 更重视通过长期的信息服务发挥继续教育职能, 潜移默化地改善和提高农民的信息素养和整体文化水平, 支持和引导农民更加科学地从事农业生产经营活动, 降低“盲人摸象”式或“盲目跟风”式的生产经营导致的各类风险。农业信息服务供给侧需不断深化改革, 建立面向“三农”信息服务的非赢利公益服务机制, 并充分利用信息开放共享、自动信息感知以及大数据分析等手段, 加强信息技术和信息服务创新, 有力支撑不同农业经营主体的生产经营活动过程中的信息需求, 显著缓解各类群体信息需求与服务供给不充分不平衡的突出矛盾。

3.2 推进全产业链信息管理, 支撑农业生产经营与管理精细化智能化

目前, 中国农业信息管理水平仍处于应用领域及范围比较局限和技术手段比较落后的阶段, 突出表现为先进信息管理技术与农业产业链的全面耦合不够紧密, 过程松散, 缺少衔接, 环节缺失。主要表现为: ①缺乏全局性信息和数据采集机制和先进技术手段; ②缺乏即时性客观数据支撑, 人工抽样采集和统计方法仍是农业信息采集的主要手段; ③缺乏农业产业链

信息管理系统的衔接、整合与集成, 导致信息流断链和“孤岛”式的信息管理, 难以支撑全局性把控与决策。上述问题的存在直接导致农业管理者和生产经营者均存在信息缺失、信息失真等问题, 以及相互之间信息不对称等问题。同时, 面向农业全产业链的农业管理者与生产经营者均缺乏一个有效的农业知识管理平台, 导致在瞬息万变的市场中, 在有限的机会窗口期内, 大量的时间和精力耗费在面向问题的信息采集、清洗和汇聚过程, 严重压缩了分析、洞察和决策的时间, 难以产出高质量的洞察和决策。因此, 通过新一代信息技术全面开展农业全产业链信息流的垂直整合及与相关产业的信息流水平集成, 加强流程、过程和节点信息采集与控制, 必将成为中国农业信息化乃至农业现代化的全局性和基础性要求。

3.3 开展大数据驱动的智能信息分析, 提升农业决策智慧化能力与水平

智慧决策是信息由感知而来、到管理和生产决策中去的中间过程, 即依托模型和算法, 通过大数据和深度学习, 让机器像人一样并超越人去架构、去思维并做出决策。其中, 模型和算法既是信息技术领域前沿基础研究的核心, 也是推动农业信息化从信息管理向智慧决策, 从自动化农业向智慧农业跨越发展的关键。2019年11月20日, 在“中国农业农村科技发展高峰论坛”上, 中国农业农村部副部长张桃林表示: “形势逼人, 时不我待。我们必须在生物育种、智能农机装备、智慧农业等战略必争的重点领域, 在合成生物、基因编辑、人工智能、区块链等受制于人的核心关键技术上, 加快重点布局和创新突破。”无论是构建支撑政府农业管理的信息分析和知识管理系统, 还是发展支撑智慧农业的农业智能装备、农业生产智慧决策管理系统, 都聚焦于复杂场景下的多维大数据挖掘与分析问题, 农业分析理论模型、数据模型、机器学习、数据挖掘算法等成为核心关键技术。目前, 中国在大数据、机器学习乃至深度机器学习、数据挖掘以及农业分析领域的模型和算法等方面缺乏原始创新, 主要在美国、欧洲科学家成果基础上进行优化和应用

研究。因此,需要瞄准农业产业和管理问题,引导科研机构和企业聚焦从0到1进行智慧农业领域核心技术创新和模式创新,加强符合中国农业现代化发展的集成应用创新,加强符合中国创新驱动发展战略特色的模式创新。

4 加强新一代农业信息技术创新与集成应用的策略

农业信息技术对引领和支撑现代农业发展发挥了重要的作用,农业信息技术创新是中国农业信息化与现代化进程的核心驱动力。合理有效集成科研机构、大学和企业研发力量,构建国家农业信息技术创新体系,是落实农业现代化进程中创新驱动发展战略的关键支撑和可持续发展保障。

4.1 前瞻布局并深入推进基础性和战略性农业信息技术研究探索

随着中国创新能力的不断增强和人工智能领域创新水平与美国并跑的趋势,需要更加关注中国在信息技术领域的前沿基础研究和探索发现,为中国持续的信息技术创新奠定可持续发展的基础。科研机构和大学是开展农业信息技术前沿基础研究的主力军,政府资助的科研经费需要建立持续、开放支持新一代农业信息技术领域前沿探索机制,鼓励科学家对信息技术领域未知前沿科学问题的自由探索,为孕育中国农业信息技术乃至信息技术领域前沿基础研究的原始发现提供平台和环境,为科研机构和企业的技术和产品创新提供可持续发展动力

4.2 深化农业科技协同创新,突破“卡脖子”关键技术

随着生物技术和信息通信技术等新兴技术在农业领域的密集应用,农业科学研究范式、农业产业形态均发生着巨大的改变。同时,大区域性农业生态与环境治理、生物安全、复杂产业问题等诸多全局性关键瓶颈问题均需要多个学科领域协同创新。例如,由于

数据科学与组学的综合交叉,催生出计算育种(Breeding Informatics),就需要育种学、组学(基因组、表型)和数据科学(数据工程师、软件工程师和数据科学家)等不同领域和不同角色的科学家协同开展研究和创新。未来10年美国将围绕系统认知分析、精准动态感知、数据科学、基因编辑、微生物组五大关键技术寻求农业领域的科技突破^[56],同样这也是未来中国农业领域不可或缺的关键核心技术。因此,需要聚焦农业现代化进程中的重大全局性或大区域性关键瓶颈问题,在国家层面规划农业大科学计划,充分重视和发挥信息技术和数据科学的作用,加强围绕新一代信息技术和大数据驱动的农业科技协同创新体系建设。

4.3 持续投入建设新型农业信息技术研究与应用创新支撑条件

现代科学研究和技术创新越来越依托大科学工程基础设施,无论是推动中国智慧农业技术创新,还是推动中国农业信息化应用,均需要强大的信息基础设施支撑。因此,中国在发展数字农业、精准农业和智慧农业过程中,必须充分借助新型基础设施建设的机遇,以贯彻落实《数字农业农村发展规划(2019—2025年)》为抓手,政府主导大力加强和全面构建“空、天、地、海一体化”集信息感知与控制、信息传播与交互、大数据获取与治理于一体的农业信息基础设施,加快5G网络、物联网等新型基础设施建设,以及包括农业自然资源、动植物本体感知数据、农业种质资源、农兽药基础数据、农业产业经营主体信息、重点农产品市场信息等农业全产业链数据的国家农业农村大数据中心基础设施建设,支撑精准农业、智慧农业的规模化应用,一方面,可以大幅提高产出效益;另一方面,可以分摊和降低农业信息化应用直接成本。

4.4 加强体制机制创新,释放创新驱动发展战略活力

在全球范围内,相对于工业4.0而言,吸引企业和社会资本投入农业信息化技术创新均困难重重。中国

应发挥独特的体制优势,在积极推动新一代农业信息技术相关科研成果产业化政策基础上,进一步加强机制创新,打造鼓励科研人员在岗创业、企业兼职、技术入股、离岗创业等多种促进科研人员参与市场化、企业化技术创新的新模式。通过机制创新,以科研人员为纽带,打造前沿基础研究和产业技术创新两支队伍,搭建科学研究和产品研发两个平台,突破国立科研机构与企业创新体系的壁垒,形成基础研究与应用技术创新,积极推进科企融合,构建科研机构与企业一体两翼的良性互动格局和协同创新模式。

5 启示与建议

通过前述分析讨论,信息技术创新不断推动着农业信息化向共享、智能、数字的方向发展。推动新一代信息技术在农业中的应用,加速中国农业信息化进程,进而引领推动农业现代化,必须依赖于技术创新、模式创新、机制创新和政策创新。

5.1 系统化、针对性、前瞻性地加强农业信息化政策创设

政策创新是政府破解技术和资本进入农业信息化领域周期长、回报低等诸多障碍的有效法宝。从政府层面上,“四化同步,融合发展”关键是要建立充分借助新型工业化、信息化做好农业现代化的政策机制保障。政策机制体系既要覆盖农业信息、数据采集、治理、挖掘、应用与服务的全生命周期,又要贯穿于农业信息基础设施建设、关键技术创新、产品研发、技术应用与服务营销等全产业链,还要包含农业产业链与制造业、服务业、金融业等其他产业链的水平整合相关的接口。政策机制的内容要点主要包括:①应加强数据信息的共建共享、开放应用的政策和标准的制定工作,积极研究出台鼓励信息和数据开放获取、共享应用的政策,推动国家公共资金资助产出的各类科研信息、自然资源与环境数据、农业生产经营过程产生的数据等强制开放获取,鼓励大数据湖(Big Data Lake)为代表的商业大数据共享模式。②积极研究出

台中央和各级地方政府大力加强农业信息基础设施建设的政策,为农业科技创新、农业产业信息技术应用和农业经营等提供基础信息设施支撑。③构建国家农业信息技术创新体系,大力鼓励、引导和支持科研机构 and 企业的农业信息技术领域的前沿探索、原始创新和应用创新,着力加强体制机制创新,鼓励科研人员更加关注市场和产品创新,鼓励企业增加农业信息技术研发投入,发展创新型企业,鼓励社会资本更加积极投入到农业现代化。④借鉴美国、欧盟等发达国家发展现代信息农业的经验,建立推动面向农民、农业管理部门和新型农业生产经营主体的强大信息服务网络的政策体系。⑤研究出台一系列促进农业信息技术应用的政策补贴措施,克服农业领域创新周期长、投资回报率偏低的弊端。

目前,中国农业发展正处于爬坡过坎的关键期,应根据中国的资源禀赋条件和农业现代化水平,强化信息化服务能力的建设,提升农业信息科技创新,加快推动农业转型升级,由粗放向精细、精准、绿色转变,走出具有中国特色的数据信息驱动发展的绿色农业之路。

5.2 高度重视颠覆性技术在农业现代化进程中的引领定位

当今时代,随着科学研究突破和技术创新进步,农业科研模式和产业形态开始进入到转型升级的跨越式发展阶段,将产生全新的创新范式和业态。因此,我们必须意识到一些具有颠覆性的技术,例如以大数据、人工智能为代表的信息通信技术,以基因编辑、分子生物学为代表的新兴生物技术,它们之间交叉融合、相辅相成,将彻底改变和重构农业科技创新的基本范式,推动农业生产、经营、管理等产业链垂直整合及与其他产业水平整合,形成全新的多元集成、紧耦合产业模式,它们对农业转型升级起到引领作用,而不仅仅是支撑作用。因此,要把颠覆性改变农业产业业态的新兴技术放在农业科技创新的突出位置,充分发挥这些新兴技术在重塑与再造全新的农业现代化范式中的前瞻性、基础性和战略性作用。

5.3 构建有利于农业信息技术创新成果转化应用的新机制

信息技术、数据科学和人工智能是农业领域的战略性关键技术,但是由于信息技术和相关资本投入农业信息化具备周期长、回报低等特点,导致先进信息技术应用于农业,特别是发端于农业领域内部的科技创新,多聚焦于技术先进性和可行性研究,容易忽略技术成熟度和可规模应用性。因此,一些应用先进信息技术的农业信息化系统只能囿于示范基地,缺乏适应各种不同自然环境、市场条件的可复制性和可操作性。针对上述问题,必须建立市场导向的农业信息技术应用创新模式。尤为关键的是,如何突破现有科研成果转化机制缺陷,在继续夯实政府资助基础研究前提下,通过体制机制创新,进一步充分发挥资本和市场作用,建立企业主导农业信息技术创新的发展模式,即整个创新过程由企业定制研发产品和服务开始,倒逼科研机构和创新系统聚焦产业问题开展目标明确的产品创新、技术创新和配套的前瞻基础研究,系统地、规模化地引导和推动信息服务、信息管理、信息感知与控制、信息分析等在农业领域的应用。

5.4 加快推进新型农业科研基础设施建设和开放共享

重大科学发现越来越依靠重大科技基础设施,以信息技术和大数据为基础的数据密集型科学研究对科研数据基础设施提出了更高要求,推动各个国家加快科研基础设施布局,如美国先后发布“大数据研发计划”“国家战略性计算计划”等,围绕数据知识获取能力和高性能计算领域开展布局。而欧盟、印度、日本等多家也同样加速国家信息通信技术基础设施布局,加快发展数字经济。因此,农业科技创新作为实现农业现代化的核心驱动力,中国应积极借鉴国内外领先机构和组织,全面规划面向农业领域的科研基础设施建设方案,加强顶层设计,全面部署,并加大对科研所需的技术、工具、设备等设施的投资,这些设施包括物理基础设施,以及能够共享思想、数据、模型和

知识的网络基础设施,为粮食和农业领域进行前沿研究和解决农业最棘手的问题提供支撑。一方面应加快科研数据采集、存储、分析等相关基础设施的数据存储、计算能力建设,发展新型国家级农业科学大数据设施,并搭建虚拟科研平台。另一方面,加快发展数据采集、存储、传输、管理分析和共享相关的核心技术,以及数据集成技术、工作流技术、大数据挖掘技术、非结构化和半结构化数据处理技术、数据长期保存技术、大规模数据智能分析与可视化技术、农业科研成果开放共享的标准与技术等。

参考文献:

- [1] 人民日报.数字农业农村发展规划(2019-2025年)出台[N/OL]. [2020-01-21].http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2020-01/21/nw.D110000renmrb_20200121_6-07.htm.
People's Daily. The introduction of digital agriculture and rural development plan(2019-2025)[N/OL]. [2020-01-21]. http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2020-01/21/nw.D110000renmrb_20200121_6-07.htm.
- [2] 张献.农业信息化建设探析[J].河南农业,2019(27):41-42.
ZHANG X. Explosion on agricultural information construction[J]. Agriculture of Henan, 2019(27): 41-42.
- [3] 熊春林,李卉,尹慧慧.新世纪以来我国农村农业信息化研究的热点识别与趋势预测[J].科技管理研究,2019(15):182-190.
XIONG C L, LI H, YIN H H. Hotspot identification and trend prediction in rural agricultural informatization research in China since beginning of 21st century[J]. Science and technology management research, 2019(15): 182-190.
- [4] 陈诗.新媒体背景下农业信息化建设的应用研究[J].农村经济,2019(9):110-115.
CHEN S. Applied research of agricultural information construction in the context of news media[J]. Rural economy, 2019(9): 110-115.
- [5] 郭艳艳.农业信息化建设现状与对策浅析[J].南方农业,2020(2):188-189,194.
GUO Y Y. A brief analysis on present situation and countermeasures of agricultural information construction[J]. South China agriculture, 2020(2): 188-189, 194.

- [6] 白山稳. 加快农业信息化建设推进农业现代化发展[J]. 山西农经, 2020(6): 96-97.
- BAI S W. Accelerate the construction of agricultural informatization and promote the development of agricultural modernization [J]. Shanxi agricultural economy, 2020(6): 96-97.
- [7] FAO, ITU. E-Agriculture strategy guide: Piloted in Asia-Pacific countries[EB/OL]. [2020-06-05]. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/str/D-STR-E_AGRICULT.01-2016-PDF-E.pdf.
- [8] 戴珍蕤. 促进我国智慧农业发展的对策研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018.
- DAI Z R. Research on countermeasures to promote the development of wisdom agriculture in China[D]. Zhoushan: Zhejiang ocean university, 2018.
- [9] 刘杰夫. 基于 MVC 框架下的农业信息网络的开发[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- LIU J F. Development of agricultural information network based on MVC framework[D]. Nanning: Guangxi university, 2017.
- [10] 韩玮. 德国: "数字农业"模式[J]. 中国农资. 2017(33): 20.
- HAN W. Germany: "Digital agriculture" model[J]. China agri-production news. 2017(33): 20.
- [11] 刘丽伟, 高中理. 美国发展“智慧农业”促进农业产业链变革的做法及启示[J]. 经济纵横, 2016(12): 120-124.
- LIU L W, GAO Z L. Practice and inspiration of America's development in smart agriculture aiming at promoting the transformation of agricultural industry chain[J]. Economic review journal, 2016(12): 120-124.
- [12] 孔繁涛, 朱孟帅, 韩书庆, 等. 国内外农业信息化比较研究[J]. 世界农业. 2016(10): 10-18.
- KONG F T, ZHU M S, HAN S Q, et al. A comparison of agricultural informatization in China and abroad[J]. World agriculture, 2016 (10): 10-18.
- [13] BRONSON K, KNEZEVIC I. Big data in food and agriculture[J]. Big data & society, 2016, 3(1): 11-15.
- [14] 国务院关于加强培育和发展战略性新兴产业的决定[EB/OL]. [2020-05-05]. http://www.gov.cn/zwggk/2010-10/18/content_1724848.htm.
- Decision of the state council on accelerating the fostering and development of strategic emerging industries[EB/OL]. [2020-05-05]. http://www.gov.cn/zwggk/2010-10/18/content_1724848.htm.
- [15] 姜丽娜. 乡村振兴战略背景下提升农业信息化建设水平的研究[J]. 现代农业研究, 2019(5): 31-33.
- LOU L N. Research on promoting agricultural informatization construction level under the background of rural revitalization strategy[J]. Modern agriculture research, 2019(5): 31-33.
- [16] 新一代信息技术产业发展新趋势: 数字、智能、跨界、融合[EB/OL]. [2020-05-15]. https://www.sohu.com/a/330149807_100017659.
- New development trend of new generation information technology industry: digitalization, intelligence, transboundary and integration[EB/OL]. [2020-05-15]. https://www.sohu.com/a/330149807_100017659.
- [17] Gartner's top 10 strategic technology trends for 2020 [EB/OL]. [2020-05-15]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/>.
- [18] Gartner's top 10 strategic technology trends for 2019 [EB/OL]. [2020-05-15]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>.
- [19] 5 trends appear on the Gartner hype cycle for emerging technologies, 2019[EB/OL]. [2020-05-15]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019/>.
- [20] 5 trends appear on the Gartner hype cycle for emerging technologies, 2018[EB/OL]. [2020-05-15]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/>.
- [21] Gartner's top 10 strategic technology trends for 2018 [EB/OL]. [2020-05-15]. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2018/>.
- [22] Gartner's top 10 strategic technology trends for 2017 [EB/OL]. [2020-05-15]. <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017/>.
- [23] 杨绣涵, 宿丽丽, 王青蓝. 论 5G 时代农业信息化的发展趋势[J]. 农业科技管理, 2020(2): 11-12, 35.
- YANG X H, SU L L, WANG Q L. The development trend of agricultural informatization in 5G era [J]. Management of agricultural science and technology, 2020(2): 11-12, 35.

- [24] 杨思思. 农业信息化建设中物联网技术的应用[J]. 南方农机, 2020(14): 60-61.
YANG S S. Application of IoT technology in agricultural informatization construction[J]. China southern agricultural machinery, 2020(14): 60-61.
- [25] 李祥锐. 云计算在农业信息化中的价值与应用[J]. 农村经济与科技, 2020(2): 397-398.
LI X R. Value and application of cloud computing in agricultural informatization[J]. Rural economy and science-technology, 2020(2): 397-398.
- [26] 叶煜, 雷静, 任华. 数据挖掘在农业信息化中的应用[J]. 工业控制计算机, 2020(7): 127-128.
YE Y, LEI J, REN H. Application of data mining in agricultural informatization[J]. Industrial control computer, 2020(7): 127-128.
- [27] SMITH M J. Getting value from artificial intelligence in agriculture[J]. Animal production science, 2020(60): 46-54.
- [28] 刘双印, 黄建德, 黄子涛, 等. 农业人工智能的现状与应用综述[J]. 现代农业装备, 2019(6): 7-13.
LIU S Y, HUANG J D, HUANG Z T, et al. Summary of agricultural artificial intelligence [J]. Modern agricultural equipment, 2019(6): 7-13.
- [29] FOUNTAS S, ESPEJO-GARCIA B, KASIMATI A, et al. The future of digital agriculture: Technologies and opportunities[J]. IT professional, 2020, 22(1): 24-28.
- [30] 吴进成, 李冬梅. 探索基于“互联网+”背景下的农业信息化发展途径[J]. 农业工程技术, 2020(18):5 9-60.
WU J C, LI D M. Exploring the development way of agricultural informatization in the context of "Internet Plus"[J]. Agricultural engineering technology, 2020(18): 59-60.
- [31] 张乃芹. 农业信息化建设在农业农村中应用现状及发展建议[J]. 农业工程技术, 2020(18): 33-35.
ZHANG N Q. Application and development of agricultural informatization construction in agriculture and rural sector [J]. Agricultural engineering technology, 2020(18): 33-35.
- [32] 王瑜, 郑子辉. 人工智能技术在农业领域的应用方向及发展路径[J]. 信息通信技术与政策, 2019(6): 29-31.
WANG Y, ZHENG Z H. Application orientation and development path of artificial intelligence technology in agriculture[J]. Information and communications technology and policy, 2019(6): 29-31.
- [33] 刘耀雄. 智能机器人在农业自动化领域应用分析[J]. 农业技术与装备, 2019(1): 14-16.
LIU Y X. Analysis of the main application of intelligent robot in the field of agricultural automation[J]. Agricultural technology & equipment, 2019(1): 14-16.
- [34] 潘教峰, 刘益东, 陈光华, 等. 世界科技中心转移的钻石模型——基于经济繁荣、思想解放、教育兴盛、政府支持、科技革命的历史分析与前瞻[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(1): 10-21.
PAN J F, LIU Y D, CHEN G H, et al. Diamond model of world science and technology centers transfer: economic prosperity, ideological emancipation, education prosperity, government support, S&T revolution[J]. Bulletin of Chinese academy of sciences, 2019, 34(1): 10-21.
- [35] 欧阳日辉. 从“+互联网”到“互联网+”——技术革命如何孕育新型经济社会形态[J]. 人民论坛·学术前沿, 2015(10): 25-28.
OUYANG R H. Changing from "plus internet" to "internet plus" - how technological revolution brings about new economic and social patterns[J]. Frontiers, 2015(10): 25-28.
- [36] FAO. The future of food and agriculture: Trends and challenges[EB/OL]. [2020-05-20]. <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>.
- [37] GRAY B, BABCOCK L, TOBIAS L, et al. Digital farmer profile: Reimagining smallholder agriculture[M]. Washington D. C., USAID, 2018.
- [38] PATIL T G, SHEKHAWAT S P. INDUSTRY 4.0 implications on agriculture sector: an overview[J]. International journal of management, technology and engineering, 2019, IX(i): 1512-1524.
- [39] MEOLA A. Why IoT, big data & smart farming are the future of agriculture[EB/OL]. [2020-05-20]. <http://www.businessinsider.com/internet-of-things-smart-agriculture-2016-10>.
- [40] 艾金龙, 冯晖, 王欢. 浅议智慧农业的发展历程、现状与趋势[J]. 广西农业机械化, 2019(6): 93-94.
AI J L, FENG H, WANG H. Development process, current situation and trend of smart agriculture[J]. Guangxi agricultural mechanization, 2019(6): 93-94.
- [41] 王振, 姬广永, 耿桂娟. 云计算在农业信息化中的应用及发展[J].

- 农业工程, 2018(2): 32-34.
- WANG Z, JI Y G, GENG G J. Application and development prospect of cloud computing in agricultural informatization[J]. Agricultural engineering, 2018(2): 32-34.
- [42] The Boston consulting group. Crop farming 2030 [EB/OL]. [2020-05-20]. <https://www.bcg.com/de-de/publications/2015/crop-farming-2030-reinvention-sector.aspx>.
- [43] The common agricultural policy 2014-2020: Scenarios for the European agricultural and rural systems[EB/OL]. [2020-06-05]. <https://agrifoodecon.springeropen.com/articles/10.1186/s40100-016-0060-y>.
- [44] Horizon 2020 work programme 2016-2017[EB/OL]. [2020-06-05]. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-msca_en.pdf.
- [45] AGRICULTURE 4.0: Obstacles and how to break through[EB/OL]. [2020-06-05]. <https://tdri.or.th/en/2017/06/agriculture-4-0-obstacles-break-2/>.
- [46] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.
- ZHAO C J. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectives of smart agriculture[J]. Smart agriculture, 2019, 1(1): 1-7.
- [47] 李明晓, 马鑫, 张宏, 等. 智慧农业——AI在农业领域的应用与展望[J]. 软件导刊, 2019(8): 39-42.
- LI M X, MA X, ZHANG H L, et al. Smart agriculture - application and prospect of AI in agriculture[J]. Software guide, 2019(8): 39-42.
- [48] 徐军纪, 付少平, 孟燕, 等. 我国农业信息化精准管理技术重构路径[J]. 农业工程, 2019(9): 43-45.
- XU J J, FU S P, MENG Y, et al. Reconstructing technical path of precision management of agricultural informatization in China[J]. Agricultural engineering, 2019(9): 43-45.
- [49] 李中科, 赵慧娟, 苏晓萍, 等. 人工智能在农业中的最新应用及挑战[J]. 农业技术与装备, 2018(6): 90-92.
- LI Z K, ZHAO H J, SU X P, et al. The latest applications and challenges of artificial intelligence in agriculture[J]. Agricultural technology & equipment, 2018(6): 90-92.
- [50] 崔凯, 冯献. 我国农业农村信息化的阶段性特征与趋势研判[J]. 改革, 2020(6): 125-135.
- CUI K, FENG X. Stage characteristics and trend judgement of agricultural and rural informatization in China[J]. Reform, 2020(6): 125-135.
- [51] 赵春江, 杨信廷, 李斌, 等. 中国农业信息技术发展回顾及展望[J]. 农学报, 2018(1): 172-178.
- ZHAO C J, YANG X T, LI B, et al. The retrospect and prospect of agricultural information technology in China[J]. Journal of agriculture, 2018(1): 172-178.
- [52] 周金蒙. 大数据时代下我国农业信息化发展趋势[J]. 吉林农业, 2018(11): 38-39.
- ZHOU J M. The development trend of China's agricultural informatization in the era of big data[J]. Agriculture of Jilin, 2018(11): 38-39.
- [53] IBM. Farming's digital doubles will help feed a growing population using less resources[EB/OL]. [2020-05-20]. <https://www.research.ibm.com/>.
- [54] Connecterra[EB/OL]. [2020-06-20]. <https://www.connecterra.io/>.
- [55] RASHID M. Ag tech Sunday-why modern farming need the digital twins[EB/OL]. [2020-06-20]. <https://www.farmtender.com.au/primeag-news/ag-tech-sunday-why-modern-farming-need-the-digital-twins>.
- [56] The national academies of sciences engineering medicine. Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030[EB/OL]. [2020-05-20]. <https://www.nap.edu/resource/25059/Science-Breakthroughs2030ReportBrief.pdf>.

致谢: 中国农业科学院农业信息研究所认知计算团队王健博士、胡林博士、张学彪博士等承担了本文中文献调研与分析任务, 在此声明他们的学术贡献并表示感谢。