

智慧农业发展的底层逻辑、 现实约束与突破路径

殷浩栋 霍 鹏 肖荣美 高雨晨

摘 要:发展智慧农业是推进农业现代化的重要途径。我国在推进智慧农业发展上已有一些探索,对推进农业生产、产业、经营体系的现代化变革发挥了一定作用,为缓解当前农业发展面临的约束提供了有效途径。但农业经营主体的应用能力不足、资源投入不足、“产学研”转化机制不健全、关键技术支撑短板突出、农业大数据应用及管理水平较低等问题,制约了智慧农业的推广和应用。以智慧农业带动农业现代化发展,需要构建符合我国农业经营特征的智慧农业推广体系,注重体制机制创新,强化政府主导作用,建立政企协作机制,提高市场主体参与积极性。要完善“产学研”转化机制,加强关键技术的研发,提高核心技术自主创新能力,构建符合智慧农业需要的农业大数据体系。

关键词:智慧农业;数字乡村;数字化转型;农业现代化

中图分类号:F323 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7543(2021)11-0095-09

经济社会发展与技术变迁会同步促进农业生产方式变革。为有效应对新发展阶段的新需求,农业需要实现程度更深、范围更广的信息化变革,并在此基础上进一步向更高级别的数字化、网络化、智能化迈进。智慧农业在促进我国农业绿色低碳生产、应对劳动力结构性挑战,以及满足和扩展多样化需求等方面能够发挥重要的作用。中共十九届五中全会提出,要加快发展智慧农业,推进农业生产经营和管理服务数字化改造。2021年中央“一号文件”提出,要发展智慧农业,建立农业农村大数据体系,推动新一代信息技术与农业生产经营深度融合。由此可见,智慧农业已成

为国家推进农业现代化的重要途径。

一、相关文献述评

已有文献从不同角度对智慧农业进行了研究,提供了诸多真知灼见。本文基于智慧农业、数字农业、互联网农业、农业信息化等关键词,对中国知网数据库的相关文献进行收集,并分析了这些文献的标题、关键词、摘要。经过分析筛选,最终得到了2014—2021年共计5 890篇相关文献。

从研究合作与发表网络来看,智慧农业领域的研究机构主要包括高校、科研院所和政府机构。智慧农业领域研究的代表性机构有国家农业

基金项目:国家社会科学基金重大项目“乡村振兴背景下数字乡村发展的理论、实践与政策研究”(20&ZD164)。

作者简介:殷浩栋,国务院发展研究中心农村经济研究部副研究员;霍鹏(通信作者),工业和信息化部中国信息通信研究院政策与经济研究所助理研究员、工程师;肖荣美,工业和信息化部中国信息通信研究院政策与经济研究所副所长、教授级高级工程师,工业互联网产业联盟政策法规与投融资组主席;高雨晨,工业和信息化部中国信息通信研究院政策与经济研究所工程师。中国人民大学农业与农村发展学院马九杰教授提供了有益建议。

信息化工程技术研究中心、中国农业科学院农业信息研究所、中国农业大学信息与电气工程学院、农业农村部信息中心等,这些机构也是目前国内智慧农业的主要研究单位。主要的研究人员有赵春江、李道亮、王应宽、王小兵等,这些学者主要研究如何在农业工程技术、农业机械、政策规划等方面推进智慧农业。

从时间线的聚类分析来看,智慧农业研究内容主要包括:智慧农业的内涵与意义、农业大数据、云平台、农村信息化、特色农业、物联网、智能农机和农产品等。研究内容揭示了5G、工业互联网与物联网、区块链技术、人工智能与大数据等的研发应用对于农业生产与农村发展的影响,明确了影响智慧农业发展的重要因素。其中,一些社会科学领域的文献对智慧农业开展了相对综合性的讨论,重点关注了智慧农业的意义^[1-2]、“互联网+”对农业生产的影响^[3]、数字经济与农业农村经济的融合发展路径^[4-5],以及智慧农业发展面临的挑战^[6-7]等。这些研究初步奠定了智慧农业的研究基础。

智慧农业的本质是农业知识、商业知识通过数字基础设施与数字应用固化后的表现形式,其研发、建设与推广既要遵循我国农业农村的实际情况,又必须符合数字经济发展、产业数字化转型的一般规律。深化智慧农业的认知,必须剖析其底层逻辑。客观了解我国智慧农业发展现状,需在明晰经济学与社会学机理之后,对新一代信息技术在农业领域的运用细节与产业运行堵点进行分析。已有研究在此方面略有不足,以更加丰富、全面的跨学科视角研究我国智慧农业发展现状、底层逻辑与发展路径,在理论研究和实践应用中都有其必要性。

鉴于此,本文在明晰智慧农业基本概念与架构的基础上,充分结合新一代信息技术与数字经济领域相关概念与分析框架,系统梳理我国智慧农业的底层逻辑,剖析发展过程中面临的现实约束,明确未来的推进策略,以期深化新一

代信息技术与农业经济跨学科融合的智慧农业理论研究与实践推广提供有益的参考。

二、智慧农业的内涵界定与底层逻辑

数字化发展是以新一代信息技术(Next Generation ICT)^①的研发应用为基础支撑,以实现产业全流程数字化、网络化、智能化为目的的技术范式革新^②。数字化发展需要具备一个由硬件与软件所共同构筑的,集“感知、传输、计算、存储、应用”等为一体的“闭环”。通过“闭环”的不断迭代与升级,产业发展逐步向数字孪生,以及定制化生产迈进。智慧农业是农业产业数字化的具体形态,同样遵循上述基本逻辑。

(一)智慧农业的内涵界定

智慧农业是新一代信息技术与农业决策、生产、流通交易等深度融合的新型农业生产模式与综合解决方案,是数据科学、农业与商业知识、智能终端相互结合的有机整体。一方面,智慧农业实现了农业的“智能化”。充分利用传感器、遥感技术和地理信息系统、市场信息检测软件模块等感知手段,对农业生产进行全流程跟踪式监测、管理,以数据流驱动技术流、资金流、人才流、物资流,实现更为精准精确的农畜产品的种、管、采收、储存、加工等。另一方面,智慧农业推动了农业的“服务化”。通过网络媒介、社交平台等低成本连接手段,消除物理隔阂、打通市场连接渠道,打造高度敏捷、个性化的农业产销生态系统,实现从简单的物质生产与销售向服务的转变,重塑

①新一代信息技术(Next Generation ICT)是以下一代通信网络、工业互联网、云计算、区块链、人工智能等为代表的新兴信息技术群,它是信息技术的纵向升级,也是信息技术的横向渗透融合。

②技术范式(Technology Paradigm)是指那些能够在一段时间内为实践共同体提供典型解答的科学技术成就(Kuhn, 1962; Dosi, 1982)。技术范式跃迁是一种系统性的技术创新(Freeman & Perez, 1986)。它导致了一系列的产品创新、工艺创新、组织创新和管理创新,给大部分组织和个体带来了生产率的显著提升,创造了非同寻常的投资和盈利机会。

农业与消费者之间的双向互动关系。

(二)智慧农业的底层逻辑

1.数字孪生:农业智能化的源泉

数字孪生是诺伯特·维纳“控制论”^①在数字时代的具体呈现,是用于优化物理对象行为的精准数字化映射,也是新一代信息技术群综合集成应用所达成的一种形态。“数字孪生”一词始见于2011年美国空军实验室的研究文献,用于预测飞机结构寿命和保证结构完整性的过程^[8]。在此之后,伴随着物联网、大数据等新一代信息技术的推广与应用,数字孪生这一概念逐步向工业制造^[9]、产品全生命周期管理^[10-11]、能源系统^[12]、城市建设^[13-14]等方面延伸。

数字孪生依托知识机理、仿真技术为物理实体在虚拟空间创建数字孪生体或者应用场景,模拟、反映物理世界的状态和行为。根据来源于多维度的实时数据、历史数据,预测、指导与控制物理个体或系统的未来状态,以实现物理上的组织性加强、精准性提升和不确定性缓解^[15-16]。由于数字孪生在产品开发、监督和验证^[17]及应对突发情况^[18]等方面的显著成效,数字孪生逐渐在牲畜家禽养殖^[19]、作物种植^[20]、智能农场管理^[21]等农业领域得到了推广与应用^[22]。

智慧农业之所以能实现精准、高效、低碳的发展目标,是因为农业生产控制模式从“靠天靠简单劳动投入”转向以人工智能为指导的数字孪生。智慧农业根据各种类型的生产模型、系统规则与数据集合对农业知识进行数字固化,通过在虚拟空间建构物理对象(动植物、运动轨迹)的实时、精准数字化映射,面向增产、提质等应用需求,展开分析量化的预测和决策反馈,实现农业生产全流程的优化。正因如此,智慧农业需要系统化、全局性的发展方案,任何单一种类和单一环节的技术缺失都无法促成农业数字化转型;任何一个节点存在未连接的问题,整个闭环就无法实现数据的采集、传输和处理;任何一个节点智能化不够,整个系统就难以实现精准化运行。

2.服务化延伸:智慧农业的增收逻辑

智慧农业可以通过对农业产业的服务化延伸实现增收增效,这源于新一代信息技术加速推动三次产业的融合,拓展了农业的多功能性。新一代信息技术能够创新服务供给内容、改变服务供给方式。在传统“人对人”“点对点”的生产过程中,劳动力是主要的供给要素,难以引入新的技术和设备,缺乏规模经济。劳动生产率长期保持不变,很难对其他产业产生技术的外溢效应。一些新兴、小众的服务由于相对高昂的获客成本和低频次的需求而难以存活。传统农业具有这个特点,内卷化现象较为常见,没有发挥出多元价值。

新一代信息技术与产业的融合使得产业发展愈发表现出显著的差异化、服务化和敏捷化。不同于一般意义上的效率提升,智慧农业在服务化方面的影响包括依托新一代信息技术的农业产业链的延伸、农耕文明传承、山水田园生活意境表达等。一方面,通过更多样化的连接形式,重塑生产者与消费者之间的关系,既有物质生产、实物销售,又有内容体验与服务享受等。智慧农业通过订单式作业、云上参与、视频直播等方式,让农业生产凭借“原生态”“定制化”“生活化”的标签,变现自然景观、文化价值、劳动凝聚等。另一方面,新一代信息技术以更为低成本的数字化方式,消除物理隔阂、打通连接渠道,帮助以往难以单独存活的小众供需实现“线上规模化”,有效地将“长尾供需”转变为可以盈利获益的“大市场”。尤其是,我国是一个具有超大规模统一市场的国家,消费者众多、小众消费规模庞大,能够支持多种新模式新业态的发展壮大。如新一代信息技术能够帮助城市消费者以更便捷的方式参与

①控制论是关于系统内秩序维持的一般法则的科学。任何系统(包括物理系统、生物系统和社会系统)都按照一定的秩序运行,都有从有序向无序、从确定向不确定状态的变化倾向。为保持系统的正常运行和系统目标的实现,就需要对系统进行控制。控制的一个重要方法就是信息反馈。

耕种饲养,还能通过认养、认种的方式为农产品溢价买单。

三、智慧农业对农业发展的积极影响

智慧农业基于精准化、服务化的基本逻辑,有助于加速实现农业绿色低碳生产、智能网络协同、服务延伸与价值增值,同步实现成本节约与效率提升,加速农业现代化进程,为满足绿色化生产、集约化经营需求提供可行途径。

(一)以数字化方式促进农业绿色生产

依靠化肥农药的传统技术要素投入对农业生产效率的带动效应日趋递减,而粗放型投入的消极影响正在显现。过去20年,农业和林业约产生了27%的全球温室气体排放量,几乎与工业相当。2000年以来,我国农业温室气体生产排放量增加了16%。我国每公顷农田年均氮肥施用量达到了305公斤,是全球平均水平的4倍以上。这造成了生产资料的浪费,也引致了大量氮氧化物温室气体排放。“碳达峰、碳中和”的发展目标迫使农业必须走绿色发展道路。但是,要在短时间内系统性、全方位地改变传统生产方式并不容易。基于新一代信息技术的智慧农业为改变传统生产方式、实现绿色低碳发展提供了一种可行路径。通过对设施大棚、农田、畜禽圈舍和农业机械等进行数字化改造,构建相匹配的数字化农业生产体系,提升农业生产者动态获取资源信息、智能精准投入的能力,进一步提高生产效率和质量,可为农药化肥的精准利用、农业绿色低碳发展奠定基础。

(二)以智能化应对农村劳动力结构性挑战

农业部门劳动力的老龄化与兼业化趋势更加显著。从劳动力年龄结构来看,2010年前后,我国适龄劳动人口达到峰值,而后开始呈现负增长趋势,人口老龄化加速,进而直接带来了劳动力供给的下降与整体工资水平的上涨。第七次全国人口普查数据显示,我国60岁及以上人口为26402万人,占18.7%,且老年人口增长速度明

显加快,到2030年占比将达到25%左右。可以预见,随着农村劳动力的持续转出与老龄化现象加重,农业生产劳动力稀缺、技能稀缺问题将愈发严重。从劳动力兼业结构来看,农业内部呈现纯农户和高度兼业农户比例不断下降、非农户比例不断上升的分化态势。2003年我国非农户占比仅为33.28%,2016年非农户占比增加到64.04%,年均增长率为5.16%。农户家庭从事农业劳动的时间从2003年的44.06%下降到2016年的29.81%^[23]。“小规模经营+老龄化+大范围兼业”给农业技术的推广与应用、生产方式的变革带来了更大的挑战。

伴随着智慧农业的加速部署与深入实践,具有实时连接、数据分析、智能应用和反馈控制功能的智能化农业生产体系将逐渐成熟,并将越来越多的农业知识、种植技能转化为智能操作程序,为实现农业集约化生产提供解决方案。如多地通过手机App为小农户开展代耕代种、一条龙、一站式“全程机械化+综合农事”等服务。一些智慧农业的试点项目正在尝试集成无人机、农事管理系统、物联网云平台等软硬件,探索生产管理的“全方位在线化”。

(三)以定制化满足和扩展多样化、个性化的市场需求

以往农业产业化发展逻辑是农业生产向着工业化的发展模式靠近,那么智慧农业所激发的新经济、新模式、新业态则更凸显“差异化”“服务化”的新逻辑。智慧农业可以改善产品同质化现象,提高农业生产者准确把握低频或个性化长尾需求的能力,不断催生社区支持农业(CSA)、订单农业、采摘文旅等新业态。智慧农业能够进一步开发农业的多元属性,延长产业价值链,促进产业深度融合。智慧农业能够通过“数字内容”“云体验”的方式,变现农业农村的自然景观、文化价值等,能够使农户技术应用差、经营规模小、标准化程度低的竞争劣势转变为“手工劳作”“原生态”,以及“定制化”的竞争优势^[16]。

四、智慧农业发展面临的现实约束

我国智慧农业正处于初步探索阶段,受发展基础薄弱、技术支撑不足、应用主体数字技能与资金实力等短板的制约,数字化水平远落后于其他产业,综合发展程度距离国际先进水平存在较大差距。

(一)经营主体应用能力不足制约智慧农业推广

当前,“大国小农”仍是我国基本国情农情,全国小农户数量占到农业经营主体的98%以上,小农户从业人员占农业从业人员的90%,小农户经营耕地面积占总耕地面积的70%。我国农业经营主体的新技术新模式应用能力相对较差,且缺乏长期投入大量人力、物力的实力,制约了智慧农业推广运用。特别是,小农户存在对传统生产方式的路径依赖,导致“不想用”;农业产业化基础薄弱,技术、技能等方面存在较大短板,导致“不会用”;智慧农业使用成本高、有一定技术门槛,导致“不敢用”。一套山区柑橘的自动灌溉系统的每亩投入超过1万元,一个蔬菜大棚进行简单数字管理改造的成本达到数万元,投入成本高且带来的增效有限,以至于小农户的接受意愿不强。大田作物种植的数字化成本更高,且很难通过简单的产品溢价回收投入成本。目前智慧农业仅应用在一些高价值的经济作物中,且只有一些经济实力较强的企业开展了小规模应用探索。

(二)财政投入不足且平台呈现低水平重复建设

财政投入是支撑智慧农业前期发展的重要资金来源。从投入力度来看,由于对智慧农业的重要性认知不足,各级政府部门对智慧农业的投入相对不足。据农业农村部信息中心监测,2018年全国县域用于农业农村信息化建设的财政投入,25.2%的县域低于10万元,仅有20.0%的县域在500万元以上。从投入方向来看,大部分政府投入的智慧农业项目存在不同程度的“平台建

设倾向”问题。以“可视化”大屏幕为主要载体的数字平台成为财政资金投入的重点领域。通过对“中国政府采购网”2014—2020年各级地方政府关于智慧农业(农业信息化)招投标项目的大数据分析发现,在各级地方政府建设的709个智慧农业相关项目中,有268个项目是用于平台建设。这些平台投入经费有限,功能较为简单、相似性较高,且不注重持续迭代升级。大部分项目忽视了智慧农业与传统农业基础设施建设项目的差别。大量招投标项目仅准备了系统平台的快速启动资金,而没有考虑后期的持续维护、迭代升级以及推广费用,以至于系统平台并不具有成长性,而逐步被淘汰。

(三)研发投入不足且“产学研”转化机制不健全

智慧农业的研发遵从数字应用开发的基本逻辑,即整个生命周期都需要持续的技术与资金投入,且运行维护与迭代创新投入远大于初期的建设成本。同时,由于农业数字化相较于工业和服务业在技术学科(数字、生物、气象、地理等)方面具有更强的综合性,在研发与生产方面具有更长的周期性,在生产经营绩效方面具有更大的不确定性。诸如此类特性使得智慧农业面临着更大的技术挑战与投入风险,从而导致企业和社会资本的投入意愿不强,研发缺乏有效的资金和人力资源保障。此外,我国智慧农业的“产学研”转化机制仍不健全。一些研究脱离了实际生产的需要,如过于追求相关技术和设备的先进性,没有充分考虑我国农业经营主体的可接受性和现实需求。一些研究以课题立项、文章发表等为最终考核导向,研究成果仅停留在实验室中,既没有完成理论与应用的衔接,又缺乏应有的市场化推广,如机器视觉、云平台、智能终端等应用成果产出较少,未能充分用于实际生产。

(四)关键核心技术自主创新不足且短板较为突出

我国作物生长模型、生产控制软件等智慧农

业的核心领域与国外差距明显。在大田农业领域,中化集团 MAP(Modern Agriculture Platform)等以“土地适度规模化”为切入点在全国范围内开展了大量有益实践。但是,整体而言,我国大田农业管理与控制平台在质量、数量方面较美国、以色列、荷兰等国家依然落后。在设施农业领域,目前,国内仅在黄瓜、西红柿、草莓等个别品种上有一些商业化实践,且这些项目中所使用的生长模型大部分来自荷兰瓦赫宁根大学、美国加州大学戴维斯分校和普渡大学等国外机构。全球智慧农业软件市场主要以 CropX, Trimble Agriculture, Raven Industries, Topcon Positioning Systems, The Climate Corporation 等美国企业为主。这些企业在相关细分领域的垄断地位因为技术壁垒的加强而愈发坚固。如 The Climate Corporation 的核心数字平台产品 Climate Field View 已经覆盖美国、加拿大、巴西、法国、德国等 20 多个国家的超过 1.5 亿英亩(9 亿亩)的农田,成为世界上覆盖范围最广泛的农业数字平台。同时,The Climate Corporation 利用超过 1400 万英亩大田作物的多年期数据培训了高级作物生长模型,并通过生长模型与气候预测模型的匹配,提供了系统性的智能种植服务。这种智慧种植方案能够对农资化肥进行更有效的利用,相较于没有采用该方案的种植者能够提升 4~6 蒲式耳/英亩(约 20 公斤/亩)的产量。这种长期积累的优势,使后继者很难对其进行追赶和超越。

(五)农业领域大数据商务应用及管理水平较低

农业大数据是推动智慧农业发展的重要驱动力。我国农业大数据建设相对滞后,数据积累较薄弱,技术及管理水平也较低,影响了智慧农业的发展。一方面,农业大数据分布于多个部门和领域,数据“孤岛化”问题比较严重,且农业大数据的数据采集与过滤缺乏准确有效的数据提取技术或数据预处理方法,导致数据不准确,可用性较差,在实际应用中存在诸多困难。另一方

面,智慧农业所采集的农业生长数据标准化和连续性不够。其平台存储的作物(动物)生长数据存在时间上不连续、结构上不完整、内容上不统一等问题,难以通过连接共享、清洗筛选来改变。我国大量的科研机构和企业推进智慧农业商业化应用时,仍需要花费重金向国外机构购买作物生长数据。

五、推进智慧农业发展的政策建议

推进智慧农业发展,既需要权衡由于数字化发展阶段不同带来的智慧农业的特殊性,又需要在广泛吸收服务业、制造业(尤其是工业互联网领域)成功经验的基础上确定可行的发展路径;既需要了解各项信息技术的实际效用、应用场景和局限性,又需要明确新一代信息技术只有形成“稳固闭环”,才能够实现农业生产的提质、增效,避免陷入“技术黑箱”,从而切实有效加速推动农业生产向数字化、网络化、智能化方向迈进。

(一)构建符合我国农业经营特征的智慧农业推广体系

智慧农业的发展需要与我国的基本国情农情紧密结合。根据智慧农业实现方式的多样性,探索适用于家庭农场、小农户的智慧农业实现形式。实际上,我国的国有农垦系统、大中型农业企业与合作社在发展智慧农业与实施数字化转型方面,与工业、服务业等产业的大中型企业没有本质区别,都是基于 5G、工业互联网、人工智能、云计算、大数据等新一代信息技术进行的数字化、网络化、智能化升级改造。但是,我国存在着大量小农业生产者,他们大多尚未完全步入数字时代。因此,针对他们的智慧农业、数字化转型方案需要有所差别——既要看到小农生产在应用整套数字化设备方面的局限性,不能盲目设想他们能够在短时期内就从手工与半机械化劳作跨越到智能化生产;又要看到小农户参与数字经济活动的必要性,以及帮助小农户共享数字红利对于实现共同富裕的重要性。综合而言,培养与提

升小农户个体的数字技能,帮助小农户认识数字经济,推动他们在生产过程中更多地利用电子商务、数字应用、信息平台获取信息、订单、金融等资源,是当前推动“小农户数字化”的一种重要实现途径。为此,一要扩大对新型经营主体在农场管理软件、作物影像分析、农场 ERP 等软件应用、物联网传感器等方面的补贴与支持力度,扩大基础规模,提升应用水平。深化以体验电商、直播带货等为代表的新一代电子商务模式的应用,丰富农业农村数字经济新模式新业态,并逐步实现由消费端的数字化带动生产端的数字化。二要鼓励新型农民,尤其是涉农院校、专业的大学生积极投身于智慧农业、数字化农业社会服务的创新创业之中,在有需求、有条件的地区组建“数字合作社”,通过手机 App 等方式为小农户提供基础性的数字化农业社会服务。同时,在深入评估农村居民数字技能实际水平与产业发展需求的基础上,研发“数字技能政策工具包”(Digital Skills Toolkit),着力提升农村居民应用水平。三要将各级农垦、大型农场作为大田作物智慧农业的推广重点,将数字化与适度规模化相结合,开展全方位、高水准的物联网传感器布设,以及作物生长模型实验,带动大田智慧农业的发展。

(二)充分发挥政府在智慧农业领域的引导与带动作用

智慧农业在“十四五”期间依然将呈现社会效益大于经济效益的状态,因而需要政府作为主导力量统筹部署、协调推进。政府牵头建立开放共享的农业新型信息基础设施体系,加强智慧农业与国家“新基建”相关规划的衔接,在农业生产领域适度超前部署工业互联网、人工智能、数据中心等融合类新型数字基础设施,降低经营主体发展智慧农业的门槛。以各类现代农业产业示范园、示范区为基础,开展一批农业数字化改造项目,加快智慧农业的技术集成和示范带动,为市场主体参与智慧农业创造条件。尤其是智慧农业项目伴随着数据存量、计算数量的不断提升,应

用和维护成本也会大幅提升,需要汇聚农业农村、工信、网信,以及教育和科研机构等部门力量,充分考虑智慧农业项目与传统农业项目在资金投入、项目折旧、后期维护方面的差异性,实施与智慧农业更加匹配的资金项目管理机制。加大对各级涉农部门、基层部门在数字技术、数字经济,以及智慧农业方面相关知识的培训力度,帮助他们全面地了解智慧农业,改革“县域智慧农业项目就是建设可视化平台”的思维观念,合理投资智慧农业。切实将发展智慧农业、实施农业数字化转型作为推进农业现代化的重点抓手。

(三)全方位探索更注重实际效用的“产学研”转化机制

开展智慧农业的技术产业化培育,以智能农机、农业传感器、数字信息服务等领域技术创新为核心,建立以市场为导向的产学研协同技术创新运行机制。推动与智慧农业相关的投资、信贷、税收、知识产权等法规与政策体系的创新,促进智慧农业技术链和产业链精准对接,完善科研机构与生产实践主体的联动机制,根据生产实际需求开展研发攻关。突出市场主导力量,让企业在智慧农业推广中发挥更大作用。利用中小企业创新基金、“863 计划”等,引导企业积极参与农业通用性软件与智慧农业社会化服务等领域的应用技术开发。发挥互联网企业和农业信息化企业的核心带动作用,鼓励服务业、工业相关数据服务企业开展农情报告、市场分析、数字金融等农业相关业务,引导传统农业企业数字化转型。

(四)全面提升智慧农业关键核心技术的自主创新水平

技术支撑是智慧农业的发展基础,需尽快补齐核心技术自主创新不足的短板。一是加强智慧农业专门性技术的研发,突破“卡脖子”技术。要加强智慧农业专门性技术的研发。针对农业生产控制软件、作物(动物)生长模型等关键领域,综合利用专项资金、产业基金等方式开展产业短板协同攻关。将草莓等高产经济作物、畜禽养殖等

作为智慧农业商业化的先导领域和实践重点,不断扩展深度和广度。二是深化通用性技术在农业领域的创新应用。依托国家农业科技创新平台整合资源,建立通用性技术研发平台。加大对“人工智能+农业”“工业互联网+农业”等创新创业项目的支持力度,将作物培育、病虫害防治、农药化肥精细化投入等列为重点应用场景。试点实施“新一代信息技术与农业融合发展创新重点任务揭榜工作”,推动前沿技术在农业生产方面的创新与融合应用。

(五)构建更符合智慧农业实际需求的农业大数据体系

完善农业大数据体系需从采集、处理和运用环节入手。一是建立天空地一体化的观测网络和数据采集体系,利用遥感、无人机、物联网等现代信息技术和设施设备,对农业自然资源、种质资源、农业产业链等数据进行采集。依托国家农业大数据平台,建立政府部门之间、政府与企业之间、政府与社会之间的数据共享机制,打破数据“孤岛化”现象。对现有主要智慧农业系统平台的数据质量进行摸底,明晰数据整体存量水平。二是在农作物(动物)生长等重点领域,由行业协会与重点相关企业协同编制数据标准规范,包括数据格式、质量标准、可用性等方面的详细规范,指导数据采集和处理的物联网模块搭建等。三是继续开展农业机械装备、农业生产设施等数字化改造,推动气象、水文、土壤、肥力、育种等数据在农业生产领域的标准化采集、流通与集成应用,为农作物生长监测、重大动植物疫病防治、灾害预警等提供决策服务。 **Reform**

参考文献

- [1]高芸,赵芝俊.我国农业颠覆性技术创新的可能方向与路径选择[J].改革,2020(11):98-108.
- [2]李周,温铁军,魏后凯,等.加快推进农业农村现代化:“三农”专家深度解读中共中央一号文件精神[J].中国农村经济,2021(4):2-20.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]马红坤,毛世平,陈雪.小农业生产条件下智慧农业发展的路径选择——基于中日两国的比较分析[J].农业经济问题,2020(12):87-98.
- [6]熊航.智慧农业转型过程中的挑战及对策[J].人民论坛·学术前沿,2020(24):90-95.
- [7]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.
- [8]TUEGEL E J, INGRAFFEA A R, EASON T G, et al. Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin[Z]. International Journal of Aerospace Engineering, 2011.
- [9]LEE J, LAPIRA E, YANG S, et al. Predictive manufacturing system—trends of next-generation production systems[J]. IFAC Proceedings Volumes, 2013, 46(7): 150-156.
- [10]GRIEVES M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication [J]. ResearchGate, 2014: 1-7.
- [11]KRITZINGER W, KARNER M, TRAAR G, et al. Digital Twin in manufacturing: a categorical literature review and classification[J]. IFAC—PapersOnLine, 2018, 51(11): 1016-1022.
- [12]SIWALINGAM K, SEPULVEDA M, SPRING M, et al. A review and methodology development for remaining useful life prediction of offshore fixed and floating wind turbine power converter with digital twin technology perspective[C]//2018 2nd International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA). IEEE, 2018: 197-204.

- [13]胡坚波.关于城市大脑未来形态的思考[J].人民论坛·学术前沿,2021(9):1-8.
- [14]陈栋,张翔,陈能成.智慧城市感知基站:未来智慧城市的综合感知基础设施[J].武汉大学学报(信息科学版),2021(6):1-39.
- [15]卢阳光.面向智能制造的数字孪生工厂构建方法与应用[D].大连:大连理工大学,2020.
- [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.
- [17]BOSCHERT S, ROSEN R. Digital twin: the simulation aspect[M]//Mechatronic futures. Springer, Cham, 2016: 59-74.
- [18]GRIEVES M, VICKERS J. Digital twin: mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems[M]//Transdisciplinary perspectives on complex systems. Springer, Cham, 2017: 85-113.
- [19]JO S K, PARK D H, Park H, et al. Smart livestock farms using digital twin: feasibility study[C]//2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2018: 1461-1463.
- [20]PARAFOROS D S, SHARIPOV G M, GRIEPENTROG H W. ISO 11783-compatible industrial sensor and control systems and related research: a review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 163: 104863.
- [21]SMITH M J. Getting value from artificial intelligence in agriculture[J]. Animal Production Science, 2020, 60(1): 46-54.
- [22]PYLIANIDIS C, OSINGA S, ATHANASIADIS I N. Introducing digital twins to agriculture[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2021, 184: 105942.
- [23]张琛,彭超,孔祥智.农户分化的演化逻辑、历史演变与未来展望[J].改革,2019(2):5-16.

The Underlying Logic, Practical Constraints and Breakthrough Path of the Development of Smart Agriculture

YIN Hao-dong HUO Peng XIAO Rong-mei GAO Yu-chen

Abstract: Developing smart agriculture is a significant way to promote the modernization of agriculture. There have been some explorations of smart agriculture in China, which have played a certain role in promoting the modernization of agricultural production, industry and management system, and have provided an effective way to alleviate the current constraints on agricultural development. However, the application of smart agriculture are restricted by problems such as insufficient ability of agricultural operating entities, lack of resource input, imperfect transformation mechanism of Industry-University-Research(IUR), inefficient support of key technology, and low management level of agricultural big data. In order to promote agricultural modernization with smart agriculture, it is necessary to build a smart agriculture extension system in line with the characteristics of agricultural operation in China, pay attention to the innovation of mechanism, strengthen the role of the government, establish a government-enterprise cooperation mechanism, and improve the initiative of market entities.

Key words: smart agriculture; digital village; digital transformation; agricultural modernization

(责任编辑:罗重谱)