

引用格式：

曹冰雪, 李瑾, 冯献, 何昉. 我国智慧农业的发展现状、路径与对策建议 [J]. 农业现代化研究, 2021, 42(5): 785-794.
Cao B X, Li J, Feng X, He F. Development status, path, and countermeasures of smart agriculture in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(5): 785-794.
DOI: 10.13872/j.1000-0275.2021.0091



我国智慧农业的发展现状、路径与对策建议

曹冰雪¹, 李瑾^{1*}, 冯献¹, 何昉²

(1. 北京市农林科学院信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 中核战略规划研究总院, 北京 100048)

摘要: 智慧农业作为信息技术与农业深度融合的新兴领域, 已成为我国现代农业发展的必然趋势, 但目前关于智慧农业的研究尚处于起步阶段, 需要对其整体发展情况进行科学分析与精准把脉。本文基于对智慧农业概念、特征科学界定, 利用宏观统计数据 and 2019 年全国智慧农业发展情况调查数据, 分析我国智慧农业发展的现状与问题, 探讨未来发展的战略路径与对策建议。结果表明, 智慧农业发展具有信息感知数字化、管理决策科学化、装备控制智能化、要素投入精准化和信息服务个性化特征。聚焦智慧农业基础设施、智慧种植业、智慧养殖业、农产品智慧供应链等领域, 我国农业新基建取得初步成效, 在农情自动化监测、水肥一体化、精准饲喂、农产品采后自动化处理等得到较好应用, 但也面临信息化基础设施薄弱、关键技术受制于人、数据资源共享不足、人才与资金缺乏等问题。据此, 围绕农业产前、产中和产后推动我国智慧农业发展, 提出强化智慧农业顶层设计、研究制定配套政策机制、加强关键技术研发与推广、推进农业全产业链数字化、健全信息化人才培育体系等对策建议, 以期为加速我国智慧农业发展进程提供启示与借鉴。

关键词: 智慧农业; 信息化; 农业全产业链; 发展现状; 战略路径

中图分类号: F302.4; S-058 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0275 (2021) 05-0785-10

Development status, path, and countermeasures of smart agriculture in China

CAO Bing-xue¹, LI Jin¹, FENG Xian¹, HE Fang²

(1. Information Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. China institute of nuclear industry strategy, Beijing 100048, China)

Abstract: As a form of deep integration of information technology and agriculture, smart agriculture has become an ultimate option for modern agricultural development in China. However, current research on smart agriculture is insufficient. It is necessary to conduct scientific analysis and accurate pulse on the development of smart agriculture. Based on a macro statistical data and the national survey data of smart agriculture development in 2019, this paper deeply analyzed the current situation and problems of smart agriculture, and then discussed the future strategic path and countermeasures of smart agriculture. Results show that the development of smart agriculture has the characteristics of digital information perception, scientific management and decision-making, intelligent equipment control, accurate factor input and personalized information service. Focusing on the fields of smart agriculture infrastructure, smart planting, smart breeding, and smart supply chain of agricultural products, China's new agricultural infrastructure has achieved encouraging results, and automatic monitoring of agricultural situation, fertigation, precise breeding, automatic post-harvest processing of agricultural products and others have been better applied. However, smart agriculture also faces some problems, including weak information infrastructure, key technologies controlled by overseas companies, insufficient data resource sharing, and the lack of talents and funds. Accordingly, to promote the development of China's smart agriculture around the pre-production, in-production and post-production of agriculture and to provide some enlightenment for accelerating the development process of China's smart agriculture, this paper suggests: to strengthen top-level design of smart agriculture, to formulate supporting policies, to enhance R&D and promotion of key technologies, to promote digitization of whole agricultural industry chain, and to improve the information personnel training system.

Key words: smart agriculture; informatization; whole agricultural industry chain; development status; strategic path

基金项目: 中国工程院 2019 年重大咨询项目 (2019-ZD-05)。

作者简介: 曹冰雪 (1990—), 女, 陕西榆林人, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为农业农村信息化, E-mail: caobx@nercita.org.cn; 通信作者: 李瑾 (1978—), 女, 湖北襄阳人, 博士, 研究员, 主要研究方向为农业信息政策, E-mail: lij@nercita.org.cn。

收稿日期: 2021-06-07; **接受日期:** 2021-07-27

Foundation item: Major Consulting and Research Project of the Chinese Academy of Engineering (2019-ZD-05).

Corresponding author: LI Jin, E-mail: lij@nercita.org.cn.

Received 7 June, 2021; **Accepted** 27 July, 2021

智慧农业起源于 20 世纪 80 年代计算机在农业中的应用,融合了品种、设施装备和信息技术三大科技要素,对农业发展具有里程碑意义^[1]。近年来,我国政府对智慧农业发展给予了高度重视。2017 年“中央一号”文件提出“实施智慧农业工程”。2018—2020 年,《关于实施乡村振兴战略的意见》《数字乡村发展战略纲要》《数字农业农村发展规划(2019—2025 年)》等战略性纲领文件相继提出发展“智慧农业”、实施“智慧农业引领工程”。2021 年“十四五规划”进一步将“建设智慧农业”作为十四五时期以及面向 2035 年提高农业质量效益与竞争力的重要内容,为我国智慧农业的发展绘制出清晰的“路线图”。在政府宏观政策导向下,我国智慧农业发展迅速,涌现出一批无人农场、智能玻璃温室、AI 养殖等典型应用场景。但受技术边际效益偏低、经营者科技储备不足、技术适用性不强、设备和系统操作复杂等多重因素影响,我国智慧农业建设正处于起步阶段,难以大范围推广应用,是现阶段亟待解决的关键问题之一^[2]。

智慧农业已成为学术界关注的热点,纵观已有文献,关于智慧农业的研究主要体现在四个方面:1) 智慧农业概念内涵界定。如 Jayaraman 等^[3]、赵春江^[1]和汪懋华^[4]从不同维度对智慧农业的内涵与外延进行分析;2) 智慧农业技术应用分析。张在一和毛学峰^[5]、Goel 等^[6]的研究表明,智能农机装备、农业大数据和物联网、农产品电商平台等的应用为突破农业资源环境约束、降低劳动力成本、提高农业生产流通效率提供关键手段。但在应用推广中面临技术产品运营维护成本高^[7]、相关配套产业发展滞后^[8]、数据安全保障不足^[9]、技术人才缺乏^[10]等突出问题;3) 智慧农业典型做法总结。Carbonell^[11]、温涛和陈一明^[12]、苏杭和马晓蕾^[13]梳理总结了美国、日本、欧盟等国家(地区)的智慧农业核心做法。刘海启^[14]、汪旭晖等^[15]、李道亮和刘畅^[16]聚焦产业,分别对我国棉花、生猪、水产养殖业的典型智慧实践进行总结;4) 智慧农业路径对策分析。已有研究主要从顶层设计、平台构建、产业体系、人才建设和网络安全等方面提出了促进智慧农业发展的路径建议^[17-19]。

虽然学术界对于智慧农业已进行一定探讨,但已有研究主要集中于理论性论述与二手资料定性描述,难以对我国智慧农业的实际发展情况进行客观定量分析,且鲜有能够从不同领域进行智慧农业战略路径设计,存在一定的局限性。据此,本研究将对智慧农业的概念内涵与基本特征进行界定分析,

在此基础上,利用宏观统计数据 and 2019 年全国智慧农业发展情况调查数据,从智慧农业整体情况、智慧农业基础设施、智慧种植业、智慧养殖业、农产品智慧供应链等领域,深入剖析我国智慧农业的发展现状,厘清我国智慧农业发展存在的短板问题,并提出面向农业产前、产中和产后不同环节的实施路径及相应对策建议,以期弥补现有研究调查不深入、针对性不强等不足,为加快推进我国智慧农业发展提供政策参考。

1 智慧农业的概念与特征

1.1 概念内涵

对于智慧农业,国内外学者已从不同维度进行概念界定。刘丽伟和高中理^[20]、Jayaraman 等^[3]和汪懋华^[4]从技术体系视角,认为智慧农业是信息经济时代把握新一代信息与通信技术发展新趋势与推动农业现代化深度融合发展的科学技术体系。李道亮^[21]、赵春江^[1]和唐华俊^[22]从全产业链视角,认为智慧农业是现代信息技术与农业产业链的深度融合,包括智慧生产、智慧流通、智慧销售、智慧社区、智慧组织和智慧管理等环节。申格等^[23]从农业产业发展视角,认为智慧农业是以信息知识为核心,以数字化、自动化、精准化和智能化为基本特征的现代农业发展高级形态。借鉴上述研究结论,结合现代农业发展趋势,本研究认为智慧农业是指利用大数据、云计算、移动互联网、区块链、人工智能等新一代信息技术,基于农业全要素、全过程、全生命周期数字化与互联化,形成以农业信息感知、定量决策、智能控制、精准投入和个性化服务为技术特征的现代农业产业形态。其是先进生产要素组合后的产业变革形态,是农业信息化发展从数字化到智能化的高级形态,涵盖了从产前育种、资源环境监测、产中种养殖生产、产后农产品流通等农业全过程、全周期智慧化的新型产业业态、服务模式和工程科技。

1.2 基本特征

根据智慧农业的内涵与外延,智慧农业的基础在于农业全要素、全过程、全生命周期的信息智能感知,根本在于实现智能控制与决策,目的在于农产品高质量、农业生产高效率、农业管理服务高效能。与之对应,精准农业是指运用现代信息技术和智能装备技术,对农业生产进行定量决策、变量投入和定位实施的现代农业^[24]。数字农业是以数据为核心,运用数字地球技术与信息感知技术,将农业全要素进行数字化表达、可视化呈现和信息化管理

的现代农业发展方式^[25]。农业信息化是指用现代信息技术装备现代农业，依托信息化与数字化支持农业经营管理、监测农业资源与环境，支撑农业经济与农村社会信息化^[26]。据此，数字农业是农业数字化转型中所出现的重要产业形态，是智慧农业的基础；精准农业是智慧农业的主要场景表现；智慧农业则是农业信息化发展从数字化到网络化再到智能化的高级阶段^[1]。从智慧农业技术应用特点看，智慧农业发展特征主要表现为：

1) 农业信息感知数字化。通过物联网技术、3S 技术等底层信息获取技术形成农业大数据基础数据库，为农业生产经营决策提供数据支撑与服务，使得农业全过程人机物相联系，各种农业要素、信息和环境自动感知与精准识别。

2) 农业管理决策科学化。借助大数据、人工智能等技术，通过“机器学习+经验模型”建立数字化、智能化技术和控制作业装备高度集成的系统与农业管理决策模型，推动农业在设备装备控制、农业投入和农业个性化服务等方面的定量决策。

3) 农业装备控制智能化。通过“人工智能+物联网技术”，推动农业传感器、通信系统和智能控制系统形成一个智慧网络系统，实现农业装备作业的自动化和智能化操作，推进全方位的无人作业。

4) 农业要素投入精准化。依托农业定量决策模型，精细准确地优化农业全产业链每一环节的资

源配置，推动农业生产经营管理决策的定量化和精准化，实现投入减少、资源节约和节本增效。

5) 农业信息服务个性化。基于农业大数据平台，有针对性地、及时地向农业经营主体推送符合其需求的多样化信息服务，有助于信息服务供需主体的精准对接。

2 数据来源与概况

本研究所用数据来自宏观统计数据 and 2019 年 4—11 月开展的“全国智慧农业发展情况调查”数据。调查核心内容主要为我国智慧农业技术应用现状、问题和需求等。本次调查结合实地入户问卷调查和互联网问卷调查（依托国家农业信息化工程技术研究中心全国农技推广云平台中的注册农技人员向农户、新型农业经营主体发放电子版问卷），对 31 个省市（不含香港、澳门和台湾地区）不同经营类别与产业类型的农业经营主体进行问卷调查，最后共回收有效问卷 7 272 份。

调查样本基本特征见表 1，受访者男性占比较高，年龄主要集中在 41~50 岁之间，受教育程度分布较均匀，经营类别包含普通农户、种养大户、家庭农场、农民专业合作社、农业龙头企业和国家现代农业产业园 6 类，产业类型涵盖大田种植（粮食/棉花）、设施栽培（蔬菜、花卉、茶园/果园）和养殖 3 大类。

表 1 调查样本基本特征

Table 1 Basic characteristics of survey samples

基本信息	分类	样本数	占比 (%)	基本信息	分类	样本数	占比 (%)
性别	男	5 950	81.8	经营类别	普通农户	3 302	45.4
	女	1 322	18.2		种养大户	1 183	16.3
年龄 (岁)	18~30	545	7.5		家庭农场	1 956	26.9
	31~40	1 633	22.5		农民专业合作社	441	6.1
	41~50	3 345	46.0		农业龙头企业	268	3.7
	51~60	1 633	22.5		国家现代农业产业园	122	1.7
	60 以上	116	1.6	粮食/棉花	1 084	14.9	
文化程度	小学及以下	1 116	15.4	蔬菜	3 723	51.2	
	初中	2 520	34.7	花卉	618	8.5	
	高中/中专/技校	1 517	20.9	茶园/果园	996	13.7	
	高职/大专	1 574	21.6	养殖	851	11.7	
	本科及以上	545	7.5				

3 我国智慧农业发展现状

3.1 智慧农业整体现状

在政府政策导向、多元主体共同参与下，我国智慧农业高速发展。在科技研发层面，国家“863”计划、国家重点研发计划部署了一批农业专家系统、

精准农业技术与装备、农村与农业信息化科技发展、智能化农机技术与装备等重点研发计划。在国家项目层面，2016 年“智慧农业”分别被列为国民经济“十三五”规划八项农业现代化重大工程之一与农业现代化“十三五”规划五大创新强农重大工程之一，此外相继开展了农业物联网区域试验工程、

信息进村入户试点工程、农业农村大数据应用试点省、数字农业试点、“互联网+”农产品出村进城工程试点、数字乡村试点等工程项目。在产业发展层面,根据《中国数字乡村发展报告(2019)》的预测,2020年我国智慧农业潜在市场规模将达到2000亿元。阿里云、网易、京东等互联网企业,以及新希望、大北农等龙头企业纷纷涉足智慧农业,逐步形成智慧育种、智慧种植、智慧养殖、农产品智慧供应链、农业信息服务等新型业态。在地方推动层面,智慧农业成为各地发展热点,已开展如北京智慧农园、长沙智慧农业示范区、济南智慧农业试验区、广东5G+智慧农业试验区、福建现代农业智慧园等创新实践。

3.2 智慧农业基础设施现状

我国已初步建成融合、泛在、安全和绿色的宽带网络环境,基本实现“农村宽带进乡入村”。CNNIC数据显示,截至2020年6月,我国农村地区互联网普及率为52.3%,较2013年底提升24.2个百分点(图1),全国行政村通宽带和通4G比例均超过98%,贫困村通光纤比例从2017年的不足70%提升至2020年的98%,实现了全球领先的农村网络与光纤覆盖。同时,我国农业新基建初步取得成效,正启动建设全国农业农村大数据示范省(区),各地相继建成省级农业大数据中心。例如陕西省杨凌示范区依托5G技术建成农业大数据管控中心和基于物联网的农业生产运营管控体系。此外,调查数据显示,57.4%的国家现代农业产业园启动建设大数据中心。鉴于信息化基础设施的公共产品属性,我国充分发挥政府引领作用,通过顶层设计,开展金农工程、“宽带乡村”试点工程等,最大程度提高我国智慧农业基础设施建设效率,为我国智慧农业发展提供基础支撑。

3.3 智慧种植业现状

在大田种植领域,目前精细化施肥与农情监

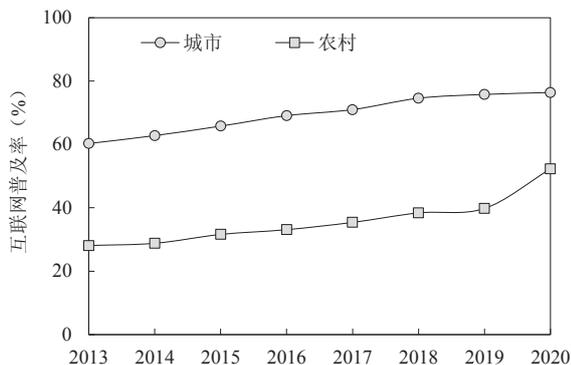


图1 城乡互联网普及率

Fig. 1 Internet penetration rate in urban and rural areas

测技术已有一定规模应用,根据调查结果,在施肥方式上,采取测土配方施肥和水肥一体化的经营主体比例分别为36.1%和30.6%;在农情监测方式上,病虫害监测预警系统应用已较为广泛,各类经营主体的应用比例达到35.3%(表2)。智能农机装备在大田作物耕种管收中的应用也日益广泛,以新疆为例,截至2019年底,新疆石河子垦区已有3500多台机车安装了北斗导航自动驾驶系统,2019年完成垦区近400万亩棉花的播种、中耕、施肥、采收和残膜回收等工作,目前,新疆安装自动驾驶系统的机车已突破6000台^[27]。

表2 智慧种植业关键技术应用情况

Table 2 Application of key technologies in smart planting

技术名称	技术应用比例 (%)	
	大田种植	设施栽培
病虫害监测预警系统	35.30	18.30
精准施药	29.40	45.10
水肥一体化	30.60	46.20
航空喷洒施药	13.60	—
测土配方施肥	36.10	—
生产环境智能化控制	—	35.30

在设施栽培领域,伴随设施栽培标准化水平的提高,水肥一体化、精准施药和生产环境智能化控制技术应用呈较快增长态势。调查数据显示,我国设施栽培中的各经营主体关于水肥一体化、精准施药和生产环境智能化控制技术的应用比例较高,占比均超过35%,病虫害监测预警系统的应用比例则为18.3%(表2)。且设施栽培环境大多配置了灌溉阀门、井房水泵、卷膜、外遮阴和风机等自动化控制设备,上述控制设备应用比例均超过50%。

我国信息化与种植业发展不断融合。其原因主要在于在“政产学研”合作下,智慧种植技术与装备日益熟化,能够显著提升劳动生产效率,实现节水节药节人工,部分地方政府也出台了相关智能农机装备购置补贴激励政策,因此,智慧种植技术产品在经营主体中的推广普及不断加快。

3.4 智慧养殖业现状

在畜牧养殖领域,随着智慧畜牧理念的普及和渗透,环境精准控制、电子识别和智慧养殖管理系统在畜牧养殖数字化转型中得到较好应用。根据调查数据,开展包括温湿度、光照强度和通风情况监测等在内的畜牧养殖环境自动化监测的经营主体占35%以上,个体标识技术和精准饲喂系统得到长足发展,应用比例分别达70.0%和52.4%(图2),基本实现生猪、奶牛等主要品种“一畜一标”。

在家禽养殖领域，环境自动化控制、废弃物无害化处理和精准饲喂得到较大应用。根据调查数据，家禽养殖环境自动化监测的主要指标有空气温度、空气湿度和光照强度等，应用比例均超过 45%，同时废弃物自动化处理和精准饲喂系统应用比例较高，占比分别为 35.6% 和 30.5%（图 2）。

在水产养殖领域，我国水产智慧化养殖虽较发达国家起步较晚，但近年智慧化养殖实践不断扩大。调查数据显示，目前部分经营主体采用自动化仪器对温度、湿度、光照强度、噪声等养殖场环境指标，以及水的溶解氧、pH 值、水位、温度等水质环境指标进行监测，其中有 39.6% 的水产养殖主体对空气湿度进行监控，成为最普遍的监测指标，而鱼群健康智能监测系统、种苗繁育系统等应用比例相对较小，均不足 16.0%（图 2）。

信息技术产品在养殖业得到较为普遍的应用。其背后驱动因素主要源于受“非洲猪瘟”等影响，养殖业少人化、工厂化和品质化发展需求迫切，给产业智慧化转型升级提供了重要契机，国内适农性智慧养殖技术和装备研发不断深入，大型互联网企

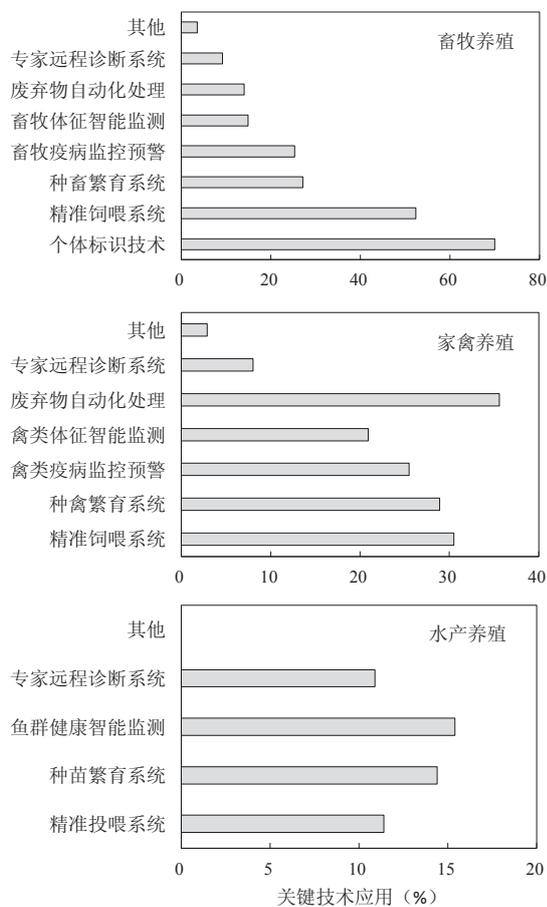


图 2 智慧养殖业关键技术应用情况
Fig. 2 Application of key technologies in smart breeding

业纷纷进入养殖业开展 AI 养猪、大数据养鸡等实践，因此智慧养殖技术产品得到广泛应用。

3.5 农产品智慧供应链现状

在农产品供应链环节中，我国农产品采后自动化处理逐步推进，调查数据显示，蔬果产品采后自动清洗、自动分级分选和自动包装的占比在 30%~40% 之间，但极少采用机器人等智能装备，采用机器人分级分选、机器人包装的占比分别仅为 6.9% 和 4.2%。肉蛋奶产品采后主要进行自动清洗、自动包装和扫码，占比在 28%~43% 之间（图 3）。

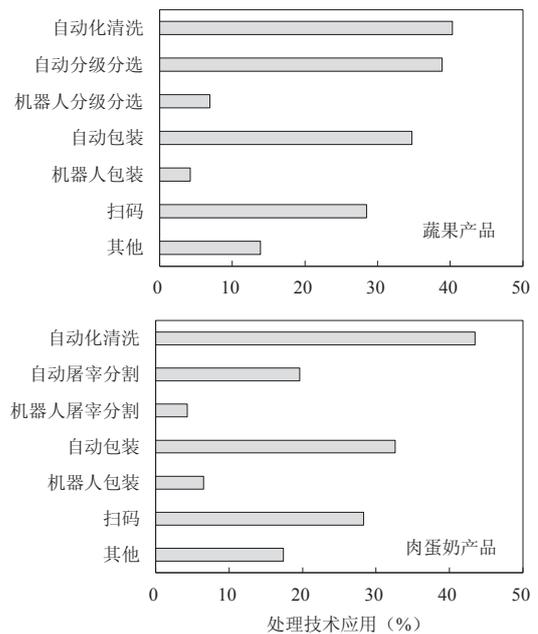


图 3 农产品采后处理技术应用情况
Fig. 3 Application of post-harvest processing technologies for agricultural products

在仓库等硬件设施设备建设方面，有 45.1% 的新型农业经营主体自建农产品存储仓库，近五成实现了温湿度环境自动控制和安保视频防控，但设备远程控制、自动称重和农产品质量实时监测等功能应用较少，占比均小于 20%（表 3）。

表 3 农产品采后仓储数字化技术应用情况
Table 3 Application of digital technologies in post-harvest storage of agricultural products

技术名称	技术应用比例 (%)
温湿度环境自动控制	47.30
设备远程控制	19.70
自动称重	15.30
出入库监测	36.50
农产品质量实时监测	13.80
安保视频防控	47.80
其他	0.50
以上均无	19.70

农产品质量安全追溯体系建设不断完善, 2017 年我国上线运行了国家农产品质量安全追溯管理信息平台, 目前已累积入驻各类企业主体 9.43 万家、可追溯产品种类 981 个^[28]。通过对已采纳质量追溯系统的新型农业经营主体调查发现, 目前农产品质量安全追溯信息主要为产品产地、生产者信息和生产投入品使用信息, 占比在 68%~90% 之间, 生产环境信息、产品认证信息、产品加工信息和实时高清视频等信息追溯较少, 占比均小于 45% (表 4)。

整体来看, 我国农产品智慧供应链发展迅速。其原因主要是随着国内消费升级, 农产品需求已由“量”向“质”转变, 政府对农产品质量安全全过程监管、农业企业对农产品品牌化发展的诉求不断扩大, 共同推动农产品供应链的智慧化转型。

表 4 农产品追溯信息情况

Table 4 Traceability information of agricultural products

信息内容	追溯信息比例 (%)
产品产地信息	89.40
生产者信息	82.70
生产投入品使用信息	68.20
生产环境信息	38.50
实时高清视频	15.10
产品认证信息	40.20
产品加工信息	31.30
产品介绍	38.50

4 我国智慧农业发展存在的突出问题

4.1 信息化基础设施薄弱, 难以满足发展需求

我国信息化基础设施建设在宽带服务性能、空间设施能力、关键核心技术能力等方面与国际先进水平尚有较大差距^[29]。同时, 国内城乡信息鸿沟仍需弥合, 城乡互联网普及率差异仍达 20% 以上。与其他行业相比, 农业信息化基础设施更为薄弱。调查数据显示, 种养基地通光纤宽带比例仅为 27.2%, 农户采用信息化终端监控作物生长的比例仅约为 13.6%, 同时有 32.7% 的经营主体认为农业生产基地网速难以满足应用需求。5G、天基农业物联网等新基建应用仍处于起步阶段, 天空地一体化数据采集设施建设不足, 区域性和专业性农业大数据平台较为缺乏。

4.2 信息技术适用性不强, 关键技术受制于人

由于缺乏基础性和原创性研究, 我国智慧农业技术整体上与发达国家差距在 10 年以上^[30]。其中, 国内高端农业环境传感和生命信息感知设备、动植物知识模型与核心算法、智能控制与精准作业装备被美国、日本、德国、以色列、荷兰等垄断, 整体

高端技术产品对外依存度高达 90%, 且智慧农业技术产品适用性普遍不强。调查数据显示, 1/4 左右的经营主体反映目前市场中的信息化设备不稳定、容易出现运行故障, 应用系统功能不全面、针对性不强。近五成的经营主体表示现有信息技术产品的增收效果不显著, 适用性和作用效果有待提升。

4.3 数据资源共享不足, 农业信息服务水平低

数据资源整合共享难度大成为智慧农业建设中的重要瓶颈。研究表明, 2016 年我国电子政务数据共享水平仅排全球第 63 位 (邬贺铨, 2017)^[31]。国内现有法律法规尚未明确相关涉农数据公开与共享的原则和规范, 全国统一的涉农数据标准体系建设较为滞后。调查数据显示, 18% 的产业园表示其部门之间数据协同共享不足, 近一半的产业园表示其信息资源共享水平较低。数据资源共享不足、平台支撑不够制约着农业信息服务的供给水平。根据调查, 有 40.1% 的经营主体从未获得过相关农业信息资源与服务, 已获取的信息资源主要集中于气象信息、农业新闻和农业政策等公共信息, 而对于贷款信息、市场信息和农产品营销服务等获取较为困难, 获取比例大多不超过 20%。且有 50.1% 的经营主体表示信息更新不及时, 37.6% 表示信息服务不符合自己需要。

4.4 专业技术人才缺乏, 信息化技能培训不够

在农业信息化人才培养方面, 发达国家已建立起完备的人才培育体系, 例如美国政府与高校通过项目合作积极培养高素质、多样化智慧农业人才^[32]。与之相比, 我国智慧农业人才培养体系尚不健全, 交叉学科型人才培养基地和学术平台难以建立, 智慧农业技术装备应用人才、管理人才等缺乏。调查数据显示, 近 60% 的经营主体认为农业领域信息化发展的不利因素与障碍在于农业信息技术人才短缺。具体就涉农企业人才引进看, 八成以上的涉农企业都有智慧农业人才需求缺口, 其中技术型人才需求最为旺盛、需求占比达 59.3%。有 62.9% 的企业表示优秀的智慧农业人才引进困难, 其中, 14.8% 的企业表示人才引进非常困难。此外, 针对农户、新型农业经营主体的信息化技能培训不足, 40% 的经营主体表示缺乏专业化的技能指导。

4.5 投入成本较大, 可持续运营机制尚未建立

智慧农业建设周期长、投入大, 近年来美国、欧盟、日本等国家和地区都持续加大了农业信息化的扶持力度, 例如美国农业部每年提供 7 亿美元左右基础设施贷款用于农村宽带服务供给^[32]。而农业农村部《2020 全国县域数字农业农村发展水平评价

报告》显示，我国县域农业农村信息化建设财政投入相对较低，总投入仅占农林水财政支出的 0.8%，难以提供有力资金支持。调查数据显示，近一半的经营主体表示信息化建设成本过高，33%的经营主体表示后期维护成本过高，很难有效实现成本平抑。与此同时，我国智慧农业建设仍处于由政府主导的试点示范阶段，成熟的商业化运行模式较少。且不少应用试点项目仅停留在视频监控建设、数据采集和简单统计分析展示，与农业全产业链融合不够，难以真正提升农业效率效益。

5 推动我国智慧农业发展的战略路径

智慧农业已成为世界农业发展的重要趋势，亟需面向世界农业工程科技前沿与国家农业高质量发展战略需求，瞄准我国智慧农业领域技术短板，明确我国智慧农业发展的全产业链战略路径（图 4），为提升我国智慧农业科技能力和产业竞争力提供战略支撑。

5.1 农业产前智慧化实施路径

结合国家农业农村大数据中心建设工程，全面推进省市级农业大数据资源中心建设，因地制宜建立全局性、区域性和专业性（优先种植业、养殖业、农机、种业、耕地、科教、典型农产品）大数据中心与农产品全产业链大数据平台^[30]。开展农业“天网”“空网”“地网”工程，构建人机协同的天空地一体化农业资源环境数据采集体系，建立健全农业资源环境监测预警系统和大数据云平台，实现农业资源环境要素、权属“一张图”。加快国家种质资源数据库建设，重点攻克精准育种技术、全基因辅助育种技术、作物表型检测技术等，着力开展育种

大数据云平台、智能育种农机设备等软硬件产品研发。不断完善农资网络销售平台，建立健全农资质量安全追溯体系。

5.2 农业产中智慧化实施路径

加快推进农业专用传感技术研发应用，研发具有自主知识产权的土壤养分传感器、农药残留传感器、动植物生命信息感知传感器、农机传感器等，攻克“植物—环境”模拟模型、“动物行为—环境—装备”互动知识模型难点。加快发展大田作物精准播种、精准施肥/药、精准收获等智能装备，开发推广适宜于设施环境的耕整地、播种/育苗、移栽、植保、排灌和采摘智能机械，创制畜禽水产养殖精准环控器、智能饲喂系统以及消毒、巡检、治疗、清扫等重点环节作业机器人。以粮食生产功能区、重要农产品生产保护区、特色农产品优势区、国家现代农业示范区和国家现代农业产业园所在县市为重点，打造一批智能化程度高、竞争力强、带动力显著的无人农场、智能温室、植物工厂、智慧牧场和无人渔场，实现无人化作业模式应用示范。

5.3 农业产后智慧化实施路径

结合信息技术，打造集铁路、公路和航空“三位一体”的智慧多式联运，形成覆盖线上线下物流运输、仓储配送、商品交易、金融服务和物流诚信等业务的农产品物流生态系统。建立基于农残智能检测技术、品质无损检测技术、移动终端检测设备、区块链技术等农产品质量安全实时监测检测与风险评估体系，构建农产品质量安全风险预警信息平台。研究基于电商需求的生鲜农产品产地快速预冷装备、智能微环境感控贮运和配送技术，持续研发面向农产品仓储、运输过程的机械臂、机器人、无

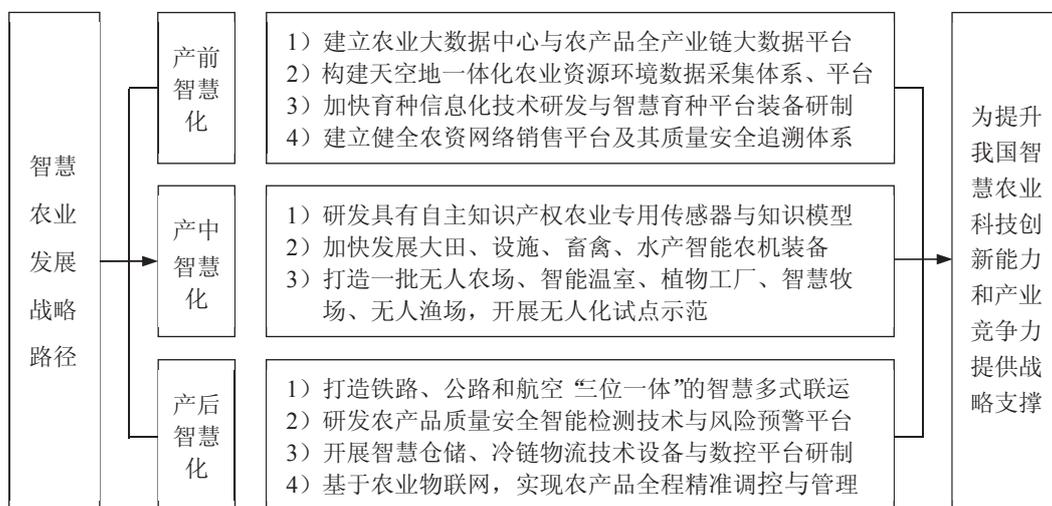


图 4 智慧农业发展战略路径
Fig. 4 Strategic path of smart agriculture development

人机和无人车等智能硬件设备,构建集环境监控、产品模型分析和精准调节于一体的农产品数控系统平台。在全国范围内推动农业物联网全面介入物流基础设施,实现农产品全程信息化精准调控与管理,不断增强农产品全过程、全链条政府监管能力与公共服务能力。

6 对策建议

6.1 强化智慧农业顶层设计

一是加快制定符合我国国情的“智慧农业发展纲要”,部署我国智慧农业发展的“时间表”和“路线图”,推动新一代信息技术与农业深度融合。规划要突出战略性,坚持落地解决智慧农业发展过程的实际问题,以需求为导向,部署实施一批智慧农业重大工程。二是针对农业数据散乱杂、孤岛林立等特点,推动政府部门加快制定农业大数据资源共享开放目录清单,建立数据整合共享机制和规范化的数据管理制度,并在一定范围内开放相关数据,促使农业数据共建共享、协同管理和有序开放。三是从国家层面探索建立不同类型智慧农业产业园的创建标准,并对智慧农业重大示范工程、区域建设水平开展定期监测与评价,推动智慧农业规范有序发展。

6.2 研究制定配套政策机制

一是坚持政府主导、市场推动、中央与地方联动,着力开展智慧农业试验示范工程建设,通过重大工程牵引,引导国家和地方持续的项目资金投入。二是促进相关政府部门类比农机购置补贴政策、农业绿色发展补贴政策,制定专门的智慧农业技术产品购置支持名录,对智慧农业技术产品和应用主体给予政策性补贴,减免农村互联网接入费用和农民移动通讯、数据传输费用。同时在社会化服务较成熟的地区,将智能农机购置补贴资金加快向作业服务补贴转移。三是通过政府政策导向、建立智慧农业发展专项基金等,激发多层次主体参与智慧农业投融资,构建以政府投资为引导、以企业投资为主体、金融机构积极支持和民间资本广泛参与的投融资模式。

6.3 加强关键技术研发与推广

一是增设智慧农业重点研发计划专项,围绕农业专用传感器、动植物生长调控模型和高端智能农机装备等短板技术领域,开展联合攻关和科研创新,不断提高自主研发能力,加大核心关键技术研发力度。二是尽快研制出台智慧农业名词术语、标识、元数据、空间编码和平台构建等基础标准,建立健

全农业物联网、农业大数据等关键技术标准,研究制定智慧农业行业应用标准框架体系与项目建设规范等,以标准化手段引领智慧农业规范化发展。三是把握不同产业技术与装备需求,制定智慧农业技术动态推广机制,定期发布适应大范围推广的智慧农业技术和产品目录,切实推动智慧农业先进适用技术落地。

6.4 推进农业全产业链数字化

一是将智慧农业基础设施建设重点转向田间、圈舍、鱼塘、农机库和产地仓库等生产基地数字化改造以及农业新基建,加快推进天空地一体化遥感监测网络、农业大数据中心建设,为智慧农业发展奠定基础。二是以新型农业经营主体、国家现代农业产业园为载体,加强新一代信息技术与农机装备和农艺的深度融合,大力推进智慧大田、智慧设施、智慧畜禽和智慧渔业等生产数字化基地试点示范,着力推动区块链、大数据在农业全产业链中的应用,继续强化农产品智能化仓储物流与质量追溯体系建设。三是积极发展农业传感器、农业大数据、智能农机装备和农业软件等核心技术产业,加快建立国家及行业认可的第三方产品和技术检测平台,建立智慧农业产业生态体系。

6.5 健全信息化人才培育体系

一是依托高校院所资源,加快构建信息化人才培养体系与交流合作平台,通过专项资金、减税和补贴等方式,吸引人才参与智慧农业发展。二是依托新型职业农民培育工程等,采用远程教育、专家授课、网络微课程和技术观摩等多种培训手段,重点对基地标准化数字化改造、信息技术操作规程与工艺、农机智能装备管护、应用系统与平台后期维护等领域开展针对性培训。三是实施农民信息化培训计划,采用短视频宣传、积分制等方式,加大对普通农民信息化意识与技能的培育力度。

参考文献:

- [1] 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 objective of smart agriculture[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 1-7.
- [2] 赵春江. 对发展农业智能科技的思考[J]. 机器人产业, 2020(4): 36-40.
Zhao C J. Thinking on the development of agricultural intelligent science and technology[J]. Robot Industry, 2020(4): 36-40.
- [3] Jayaraman P P, Yavari A, Georgakopoulos D, et al. Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt[J]. Sensors, 2016, 16(11): 1884. DOI: 10.3390/s16111884.
- [4] 汪懋华. 创新驱动实施智慧农业发展[EB/OL]. (2019-06-18).

- http://www.scznfutong.com/Expert/expert-perspective/352.html.
Wang M H. Innovation driven implementation of smart agriculture development[EB/OL]. (2019-06-18). <http://www.scznfutong.com/Expert/expert-perspective/352.html>.
- [5] 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.
- [6] Goel R K, Yadav C S, Vishnoi S, et al. Smart agriculture - Urgent need of the day in developing countries[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2021, 30: 100512. DOI: 10.1016/j.suscom.2021.100512.
- [7] 阮俊虎, 刘天军, 冯晓春, 等. 数字农业运营管理: 关键问题、理论与方法与示范工程[J]. 管理世界, 2020, 36(8): 222-233.
Ruan J H, Liu T J, Feng X C, et al. Digital agriculture operation and management: Key issues, methodology and demonstration project[J]. Management World, 2020, 36(8): 222-233.
- [8] 刘元胜. 农业数字化转型的效能分析及应对策略[J]. 经济纵横, 2020(7): 106-113.
Liu Y S. Research on the efficiency, problems and countermeasures of agricultural digital transformation in China[J]. Economic Review Journal, 2020(7): 106-113.
- [9] de Araujo Zanella A R, da Silva E, Albin L C P. Security challenges to smart agriculture: Current state, key issues, and future directions[J]. Array, 2020, 8: 100048. DOI: 10.1016/j.array.2020.100048.
- [10] 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.
- [11] Carbonell I M. The ethics of big data in big agriculture[J]. Internet Policy Review, 2016, 5(1). DOI: 10.14763/2016.1.405.
- [12] 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.
- [13] 苏杭, 马晓蕾. 日本智慧农业的发展及启示[J]. 日本问题研究, 2020, 34(3): 29-36.
Su H, Ma X L. The development and enlightenment of Japanese smart agriculture[J]. Japanese Research, 2020, 34(3): 29-36.
- [14] 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.
- [15] 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(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(8): 115-130.
- [16] 李道亮, 刘畅. 人工智能在水产养殖中研究应用分析与未来展望[J]. 智慧农业, 2020, 2(3): 1-20.
Li D L, Liu C. Recent advances and future outlook for artificial intelligence in aquaculture[J]. Smart Agriculture, 2020, 2(3): 1-20.
- [17] Brandt P, Kvakić M, Butterbach-Bahl K, et al. How to target climate-smart agriculture? Concept and application of the consensus-driven decision support framework ‘target CSA’[J]. Agricultural Systems, 2017, 151: 234-245.
- [18] 吴娜琳, 张娣, 李二玲, 等. 涉农人员对智慧农业建设的支持意愿及影响因素研究——以新疆察布查尔锡伯自治县为例[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(5): 845-854.
Wu N L, Zhang D, Li E L, et al. The willingness and influencing factors of agricultural personnel to support the construction of smart agriculture: A case study of Qapqal Xibe Autonomous County, Xinjiang, China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(5): 845-854.
- [19] 马红坤, 毛世平, 陈雪. 小农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.
Ma H K, Mao S P, Chen X. Exploring the development path of smart agriculture in China: Based on the comparative analysis between China and Japan[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020(12): 87-98.
- [20] 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. The practice and enlightenment of developing ‘smart agriculture’ in the United States to promote the transformation of agricultural industry chain[J]. Economic Review Journal, 2016(12): 120-124.
- [21] 李道亮. 城乡一体化发展的思维方式变革——论现代城市经济中的智慧农业[J]. 人民论坛·学术前沿, 2015(17): 39-47.
Li D L. Changing the thinking mode for the urban and rural integrated development—On intelligent agriculture in modern urban economy[J]. Frontiers, 2015(17): 39-47.
- [22] 唐华俊. 智慧农业赋能农业现代化高质量发展[J]. 农机科技推广, 2020(6): 4-5, 9.
Tang H J. Smart agriculture enables high quality development of agricultural modernization[J]. Agriculture Machinery Technology Extension, 2020(6): 4-5, 9.
- [23] 申格, 吴文斌, 史云, 等. 我国智慧农业研究和应用最新进展分析[J]. 中国农业信息, 2018, 30(2): 1-14.
Shen G, Wu W B, Shi Y, et al. The latest progress in the research and application of smart agriculture in China[J]. China Agricultural Informatics, 2018, 30(2): 1-14.
- [24] 赵春江. 对我国未来精准农业发展的思考[J]. 农业网络信息, 2010(4): 5-8.
Zhao C J. Strategy thinking on precision agriculture of China[J]. Agriculture Network Information, 2010(4): 5-8.
- [25] FAO. Climate-smart agriculture sourcebook[R]. Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013.
- [26] 梅方权. 农业信息化带动农业现代化的战略分析[J]. 中国农村经济, 2001(12): 22-26.
Mei F Q. An analysis of the strategy of accelerating modernization

- in agriculture by introducing information technology into agriculture[J]. Chinese Rural Economy, 2001(12): 22-26.
- [27] 梅成建. 去年全国农机深松补贴面积超九成实现远程智能化检测 [EB/OL]. (2019-02-12). http://newspaper.dahe.cn/hnrbcnb/html/2019-02/12/content_317565.htm.
- Mei C J. More than 90% of China's agricultural machinery subsoiling subsidy area realized remote intelligent detection in 2018[EB/OL]. (2019-02-12). http://newspaper.dahe.cn/hnrbcnb/html/2019-02/12/content_317565.htm.
- [28] 崔建玲. 追溯, 为农产品安全保驾护航 [J]. 农村工作通讯, 2020(17): 24-26.
- Cui J L. Tracing back to ensure the safety of agricultural products[J]. Rural Work Newsletter, 2020(17): 24-26.
- [29] 郭朝先, 刘艳红. 中国信息基础设施建设: 成就、差距与对策 [J]. 企业经济, 2020, 39(9): 143-151.
- Guo C X, Liu Y H. China's information infrastructure construction: Achievements, gaps and countermeasures[J]. Enterprise Economy, 2020, 39(9): 143-151.
- [30] 赵春江. 发展智慧农业 建设数字乡村 [J]. 农机科技推广, 2020(6): 6-9.
- Zhao C J. Developing smart agriculture and building digital countryside[J]. Agriculture Machinery Technology Extension, 2020(6): 6-9.
- [31] 邬贺铨. 现阶段我国大数据共享面临的问题 [EB/OL]. (2017-07-31). http://www.cssn.cn/bk/bkpd_qklm/bkpd_bkwz/201707/t20170731_3596221.shtml.
- Wu H Q. Demand, problems of big data sharing in China at present [EB/OL]. (2017-07-31). http://www.cssn.cn/bk/bkpd_qklm/bkpd_bkwz/201707/t20170731_3596221.shtml.
- [32] 陈雪, 毛世平, 马红坤. 耦合视角下生产性服务业与智慧农业发展的研究——基于美国的经验与启示 [J]. 农业现代化研究, 2021, 42(5). DOI: 10.13872/j.1000-0275.2021.0055.
- Chen X, Mao S P, Ma H K. The development of production services and smart agriculture from the perspective of coupling: Experiences and implications from the case of the United States[J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(5). DOI: 10.13872/j.1000-0275.2021.0055.

(责任编辑: 童成立)