

# 智慧农业的国际经验与中国镜鉴\*

郝宇

(北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081)

**[摘要]** 经过信息革命以来长期的技术迭代与经验积累, 国内外智慧农业发展正在加速进入规模应用期。本文梳理文献并界定了智慧农业的核心内涵, 明晰智慧农业的发展历程; 剖析美国、日本和德国智慧农业建设的成功经验; 综合研究判断了我国智慧农业发展现状与现实困难; 结合美国、日本和德国智慧农业发展的国际经验与我国的突出短板, 提出我国智慧农业发展的借鉴思路。研究认为: 智慧农业目前已历经初步探索期、蓬勃发展期和规模应用期三个发展阶段; 美国、日本和德国的智慧农业实践分别表现为“研发+推广”双轮驱动、“专+精”、“数字化+信息化”等特征; 我国智慧农业发展面临资金、技术、人才、组织、区域平衡、经营主体等短板; 我国推进智慧农业发展应坚持改革为先、技术赋能、做专做精、人才下潜的战略原则。

**[关键词]** 智慧农业 农业现代化 国际案例

**[中图分类号]** F323; F49 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 2096-983X(2024)01-0043-14

## 一、引言

“洪范八政, 食为政首”。对于中国而言, 如何利用有限的耕地资源满足十几亿人口生存和发展的粮食需要, 始终是统筹安全和发展的关键问题。习近平总书记高度重视粮食安全, 强调“中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己手上”。然而, 近年来, 我国粮食安全的内外部环境均发生了深刻复杂变化。从内部看, 当前我国农业生产要素约束愈发紧张, 农产品供需结构性、时空性不平衡加剧, 难以突破“低质低效陷阱”。农村劳动力的老龄化更使得未来农业发展受到威胁。中央财经大学人力资本与劳动经济研究中心(CHLR)发布的《中国人力资本报告2022》显示, 我国农村劳动力人口的平均年龄已经从1985年的31.99岁增长至

2020年的39.43岁, 有10个省份农村劳动力平均年龄超过40岁。在未来, “谁来种地”“如何种地”“怎样种好地”的问题将越来越突出。从外部看, 全球人口激增、人均收入提高、饮食结构改变及生物能源发展, 极大改变了国际粮食市场的需求总量和需求结构。同时, 国际四大粮商为了牟取超额利润囤积居奇, 给世界粮食市场带来垄断风险, 严重挤压国内粮食企业的生存空间。<sup>[1]</sup>发达国家的实践表明, 数字农业、精准农业等基于技术应用以提高农业高效运营的经营模式是解决粮食供需失衡、保障国家粮食安全的重要途径。<sup>[2-3]</sup>大力发展智慧农业既能助力农业发展摆脱自然和人力资源的约束, 提高农产品生产能力和效率, 也能塑造打造新的农业增长点, 增强农业作为第一产业的新经济发展动力。<sup>[4-5]</sup>

收稿日期: 2023-06-19; 修回日期: 2023-09-25

\*基金项目: 国家社会科学基金重大项目“数字经济推动社会主义生产、生活以及生态和谐共生研究”(22ZDA107)

作者简介: 郝宇, 教授, 博士研究生导师, 主要从事宏观经济、可持续发展、数字经济等领域的理论与实证研究。

近年来,为推动我国智慧农业平稳健康发展,党和政府先后出台了一系列政策举措和战略部署。从2017年的中央一号文件提出“推进农业物联网和农业装备智能化”,到2022年《“十四五”推进农业农村现代化规划》明确要将新一代信息技术与农业生产经营进行深度融合、《数字乡村发展战略纲要》提出“建设智慧农(牧)场,推广精准化农(牧)业作业……建设智慧绿色乡村”和《数字乡村发展行动计划(2022-2025年)》提出建设天空地一体化农业观测网络、农业生产数字化改造、智慧农业技术创新,系列政策法规相继出台,政策关注点也从配套设施的完善扩展至信息技术在整个产业的应用和融合。

党的二十大报告提出“加快建设农业强国、大力推进农业现代化”,发展智慧农业必将引起来自政府和社会层面更多的关注与重视。将国家连续出台的系列法律政策文件与我国智慧农业发展的现状相结合,归纳出下一阶段推进智慧农业发展的主要目标任务。可以看出,当前我国智慧农业的工作部署已由以往按生产、经营、管理、服务四个环节进行工作部署变为全面推动现代信息技术与农业农村各领域各环节深度融合。其次,与“完善基础”或“扩大覆盖率”相关的目标大幅减少,而与“提升创新能力”和“进一步深入”的目标明显增多,是我国智慧农业发展由“量变”向“质变”转型的重要信号。最后,“十四五”规划提出建设示范基地、创新中心的目标,旨在“以点带面”促进智慧农业发展,将“自上而下”的顶层设计与“自下而上”的基层探索相结合。这些具体目标为下一阶段智慧农业的发展指明了方向。

国内现有智慧农业相关的文献主要从三个方面展开研究:一是总结智慧农业的发展现状和方向,这部分的文献梳理了当前我国智慧农业已取得的成绩、存在的现实问题以及可能的未来发展方向,也是最为广泛讨论的话题;<sup>[6-8]</sup>二是从不同视角探讨国内智慧农业发展的路径和具体措施。此方面的文献既有从特定技术角

度进行的分析,<sup>[9-10]</sup>也有从管理战略或政策制定方面进行的研究。<sup>[11-13]</sup>三是总结世界上农业强国发展智慧农业的路径与方式,进而提出对中国有益的具体举措。<sup>[14-17]</sup>这些研究积累了大量有意义的见解,但未能将国际先进经验与我国农业发展面临的实际纳入统一研究框架进行审视。

为了避免照搬他国做法所带来的“水土不服”和“画虎不成反类犬”问题,必须紧密结合自身实际对他国经验进行“磨合”和“再加工”,将外来经验具体化、本地化,从而形成最适合自己的实践路径。鉴于此,本文在统一界定智慧农业核心内涵,梳理智慧农业发展的历史阶段与现状的基础上,分析智慧农业在我国成为主流农业方式需要解决的现实困难与目标任务,并立足美国、日本、德国智慧农业发展的成功经验,提炼成功推进智慧农业发展的底层逻辑,最后结合我国实际情况,提出我国加速智慧农业发展的切入途径。

## 二、从会种地到“慧”种地:智慧农业的核心内涵与发展历程

随着后城镇化时代的逐步到来,农业这一传统安身立命之业已由保障性谋生渠道向发展性职业经营转变。这一转变不仅意味着传统小农经济的农业经营模式的不断消解,更标志着人类现代科技革命成果进一步与农业生产资料深度融合。智慧农业是第三次科技革命成果在农业领域应用的产物,加快建设智慧农业,首先要明确其内在的革命性并对其核心内涵进行合理的界定,回答好智慧农业“是什么”的首要问题。

### (一)核心内涵:智慧农业的概念界定

早在1983年,普渡大学农业与生物工程系教授Krutz就指出,未来的农业机械化将朝着能够完成多种任务的智能机器发展。<sup>[18]</sup>如今,这一预言已逐渐成为现实,世界范围内的多个国家相继推出智慧农业的发展方案。例如,美国

正走向大田生产全程的数字化农业；欧盟提出未来发展以现代信息技术装备为核心的“农业4.0”（Farming 4.0），日本提出大力发展以农业机器人为核心的无人农场等，智慧农业已经成为现代世界农业发展的大趋势。<sup>[19]</sup>

尽管，现有文献普遍认可智慧农业主要表现为依靠遥感技术、地理信息系统、全球定位系统（GPS）、物联网、大数据分析、云计算、人工智能、人机交互等最新的信息技术组件和系统来实现农业经济活动的自动控制与科学决策，<sup>[20-24]</sup>但由于不同学者关注的侧重点不同，对智慧农业的核心内涵仍未形成统一的意见。一些文献将其称作“Smart agriculture”，<sup>[25-26]</sup>有些称其为“Wisdom agriculture”或“Intelligent agriculture”。<sup>[27-30]</sup>其中，“Smart agriculture”主要强调智慧农业为适应气候挑战而采取的保障粮食安全的技术手段，全称为“Climate-smart agriculture”。<sup>[31]</sup>相较于“Smart agriculture”和“Wisdom agriculture”“Intelligent agriculture”主要突出智能传感器、人工智能等相关智能信息系统和技术在农业中的应用。就我国而言，2014年，我国正式引入了“智慧农业”这一新概念，指出智慧农业是智慧农业专家系统的简称，一般是指利用物联网技术、“5S”技术、云计算技术和大数据等信息化技术实现“三农”产业的数字化、智慧化、低碳化、生态化、集约化，实现农业高效、聪明、智慧、精细和可持续生态发展，是将科学技术融合在农业发展领域中的具体实践和应用。从这一定义来看，Intelligent agriculture更加符合我国对智慧农业这种新型

农业发展模式的描述。在城乡一体化发展阶段，智慧农业是现代城市经济和智慧城市建设的重要板块。<sup>[32]</sup>

综上所述，笔者认为智慧农业是在现代信息技术革命中探索出来的农业发展的现代化新模式，是对传统农业进行信息化、智慧化改造后的高级阶段，是农业的智慧化形态。从主要特征看，智慧农业是集集约化生产、智能化远程控制、精细化调节、科学化管理、数据化分析和扁平化经营于一体的现代农业发展模式。<sup>[33]</sup>

## （二）状态研判：智慧农业的发展阶段

目前，国内一些农业领域的权威专家已经在农业发展阶段的划分上达成了共识，即认为农业发展涵盖了四个阶段，分别是以人力和畜力为代表的传统农业阶段、以机械化为主要的小型规模化农业阶段、以信息技术和自动化装备为主的自动化农业阶段和以大数据、物联网、人工智能为主的智慧农业阶段。<sup>[34]</sup>作为占据农业领先地位、创造农产品竞争优势、实现农业赶超策略的重要途径，近年来，我国充分意识到了智慧农业发展的必要性，并逐步推动新一代信息技术与农业生产经营深度融合，<sup>[4]</sup>这一过程是随着时空条件的不同呈现出一定的阶段性。按照现代信息技术在农业中的应用范围，将智慧农业的发展具体细分为初步探索期、蓬勃发展和规模应用期三个阶段，并将我国与发达国家或地区（如美国、日本、欧盟）的发展历程进行梳理和对比（见表1）。从起始时间和应用范围上看，我国与发达国家仍有差距，但这种差距正呈现不断缩小的趋势。

表1 中外智慧农业发展阶段比较

发展阶段	国家/地区	时间	发展契机	阶段特征或标志性成果
初步探索期	发达国家或地区	1970s-1980s	1956年人工智能产生；1965-1968年，美国斯坦福大学研制出帮助化学家推断分子结构的计算机程序系统DENDRAL，标志着人工智能新领域——专家系统的产生。	以美国为代表的欧美国家率先开始了农业信息化的应用研究。1978年美国伊利诺大学开发出世界上第一个农业专家系统——大豆病害诊断专家系统PLANT/ds。
	中国	1980-1995	人工智能进入中国；国家科技部提出：“以农业专家系统为突破口，发展我国的农业信息技术”。	农业专家系统开始起步，主要包括施肥专家咨询系统、栽培管理专家系统。
蓬勃发展期	发达国家或地区	1980s-2000s	80年代，出现了以农业专家系统为主进而与作物模型、GIS等相结合向深度发展的趋势；90年代以来，农业专家系统、作物模型、3S技术之间的集成已成为信息技术领域研究的热点之一。	专家系统领域涌现许多成果，计算机视觉技术在农业中取得较大进展。
	中国	1992-2005	国家863计划“智能计算机系统主题组织了农业专家系统的研制与应用推广工作。	系统开展了以农业专家系统为核心的智能化农业信息技术应用示范工程，在全国范围内研发出超过200个本地化农业专家系统。

(续表)

发展阶段	国家/地区	时间	发展契机	阶段特征或标志性成果
	发达国家或地区	2000s-	精准农业、数字农业技术逐渐成熟。包括美国、欧盟、日本在内的多个发达国家对智慧农业进行战略布局和大力推广。	以美国为例,其大农场对物联网设备技术的采用率高达80%;有100余个农业信息收集点为全美农业经营提供最新的农资交易信息和农业科研信息。
规模应用期	中国	2005-	2004年,为解决地形复杂、且种植分散地区的水稻病虫害防治问题,农业部与科技部意识到植保无人机的的重要性,开始进行无人机相关的研究与推广。	2010年,无锡汉和第一架植保无人机交付市场,正式掀起了中国植保无人机产业化的序幕;2010年以来,我国有关部门批准了一批物联网试点项目,在大田作物、设施农业、动物养殖、水产养殖等多个方面应用了物联网技术。

### 三、他山之石:智慧农业发展的国际经验

综合考量智慧农业发展的技术条件、人地关系、资源禀赋等因素,文章重点考察美国、日本和德国智慧农业发展典型模式。其中,美国模式是人少地多背景下规模化农场的智慧农业发展典范,主要洞悉其在集约化生产和智能化远程控制方面的做法;日本模式则是典型的人多地少且“老龄化”严重国情下的智慧农业发展思路,其在精细化调节和扁平化经营方面的做法,值得同样面临“老龄化”问题的我们借鉴;德国是高效数字农业的成功案例,能为解决我国农村高素质劳动力不足问题、打造我国农业国际竞争力提供很好的借鉴。

#### (一)“研发+推广”双轮推动技术落地——以美国推动集约化生产和智能化远程控制的做法为例

广袤的土地、高昂的人力成本与发达的工业与信息技术是美国农业发展的基本背景,也使其形成了以较高的人力资源成本和相对较低的机械成本为基本特征的农业成本结构。在此背景下,美国以现代信息技术和新型管理理念为依托,大力发展集约化生产和智能化远程控制。在集约化生产方面,1960—1990年,美国经历了长达30年的农场兼并,期间农场数量不断减少,但农场规模逐渐变大,机械化、规模化生产得到快速发展;进入21世纪后,美国的农场数量和规模则趋于稳定,规模化经营的收益见顶,纷纷开始更加注重运用集约化思维来整合土地、资金、技术和人力资本,更加集约高效地利用农业生产各方面资源,稳定了农业经营效

益。智能化远程控制方面,美国农民可以通过远程控制技术和先进的传感器进行气象监测、精准灌溉、智能化施肥和生产调度等一系列农业生产活动。这两种措施也促进了美国农业资源的高效利用与经营效益的稳步提升。美国农业部的数据显示,20世纪50年代的美国农民平均可以耕种1.8英亩,在2017年,这一数字提升至10.9英亩。与此同时,通过应用高科技、集约化种植技术,美国农作物平均每英亩的产量不断提高。例如,美国小麦产量从1920年的每亩19.5蒲式耳增加到2020年的53.3蒲式耳,约提高了173%。

美国对农业技术研发高度重视。根据美国农业局数据,2019年美国仅公共部门农业研发投入就高达154.1亿美元,是我国同期投入的近三倍。美国农业发展强调应用导向,极为重视研发与推广的协同配合,并建立了一套以《农业试验站法》《农业推广法》等为代表的法律体系来支持农业发展。在美国的农业体系中,高等院校和科研院所等部门发挥科研优势负责技术研发。技术推广环节则广泛依靠民间农业协会通过居间服务来实现。其中,高等院校和科研院所是主要的研发部门,民间农业协会则是连接沟通研发机构和农业经营者的桥梁,负责把科研成果推广给农业经营者。

在研发方面,美国采用“双向推动”方式,“自上而下”是指顺着“研发-推广-使用”的技术传递环节进行“自上而下”的广泛技术升级,即通过市场调研确定技术需求,专题立项开展技术攻关,推广部门向农场主推广试用;“自下而上”是指逆技术传递环节,以农场主生产一线面临的技术难题为起点,求助推广人员和技

术专家进行技术指导,必要时采取专项攻关形式加以解决。在推广方面,美国各级政府和赠地大学均建有专门的农业推广部门,政府负责科研计划制定、项目配套和资金筹措等服务环节,农业协会、农业合作社等民间团体负责具体对接工作,为农民提供切实可行的服务和技术支持。美国的农业合作社服务类型多样,发展较为成熟,既能“自上而下”承接政府技术推广任务和获取市场技术动态,也能“自下而上”帮助农民争取政策倾斜、提供金融服务,维护农民利益,降低农业经营风险,从而帮助农民更好地适应农业集约化和智能化的发展。

### (二)“专+精”商业思维突破地散人稀局限——以日本推动精细化调节和扁平化经营的做法为例

日本农业突出的特征是人多地少、精耕细作,属于东方小农生产模式。二战后日本大批青壮年劳动力转向城市就业,农村“空心化”“老龄化”等问题凸显,并随着老一代农业从业人口的老去,新的青年人口无意从事农业生产,出现农村人口“过疏化”、农业生产“老人化”和“兼业化”、粮食自给率走低与农田抛荒共存等问题。在此背景中,日本积极推行农业精细化调节和扁平化经营,加快实现农业现代化。

在精细化调节方面,日本的农业生产普遍采用自动化技术和机器设备,如自动化灌溉系统、自动化种植机、自动化收割机和顶量化的氮肥管理措施等。这种精准化、自动化的农业生产方式能够有效控制农业生产环境,在节省人力成本的同时保证作物品质。以日本横滨市的高智能化水稻田为例,其稻田的起伏和倾斜度都被激光剖面仪精确定量,然后根据性质和形状不同的水稻养殖池的要求,设置相关管道和水系统。接着由气象卫星和遥感技术获得气象和土壤信息的实时图像,然后将其转换成数据,通过数字模型模拟农田生态环境,实现种植喷洒、除草、防虫害和施肥的全自动作业。除了生产过程的精细化,日本农民对于农产品品质的把控也十分严格。

在扁平化经营方面,日本开发了许多农业电子商务平台,为农民提供了新的销售渠道和服务。这些平台不仅有助于消除中间环节,提高销售效率和市场竞争力,而且还能实现信息共享和服务协作,促进了农业扁平化经营。不仅如此,日本农民发展了很多互助机制,如品牌互助、销售互助、技术互助等。精细化发展模式使得日本农户能够充分聚焦特色农作物,推动农业生产向二、三产业延伸,开发食品加工和旅游等产业,并以此实现价值增值、农民增收。

### (三)“数字化+信息化”为农民赋能——以德国推动数据化分析和科学化管理的做法为例

德国以2%的农业人口养活了整个国家。德国农业的生产有着极高的数字化水平和领先世界的农业生产技术设备,更有一批受过专业农业教育的高素质人才为农业发展提供最为坚实的保障。

在数据化分析和科学化管理方面,德国大型的农业机械几乎都是由全球卫星定位系统控制的,大量传感器在农场应用,通过传感器搜集的田间地理和墒情等数据,经过云平台处理,这些处理后的数据将指挥各类机械进行科学化的作业,从而实现农业生产过程的科学化管理。同时,规模较小的农场可以通过联手合作来降低数字化成本,以使用最先进的技术。

为了保障农业数据化分析和科学化管理,德国还对农业信息化和农民的职业化教育非常重视。在农业化信息方面,德国农业部门建立了包括农业地理信息系统(GIS)、农业科学文献数据库、农产品贸易信息中心、食品质量信息系统等多个数据库,将农业生产和经济数据进行统一、规范的管理和运用。在农民的职业化教育方面,德国不仅出台了以《联邦职业教育法》为基础的一系列法律条文,整个培育过程以农民学员取得专业证书才算完成,意味着德国农民只有在参与并通过考核后才有继续从事农场生产经营的资格,而不是遵循普通的“继承即可经营”的逻辑。德国的经验表明,先进的数字化技术和职业化的教育能够帮助

农民实现农业的科学化管理,从而极大地提高农业生产效率。

美国、日本和德国分别代表了以人多地多、人多地少和科技发达为特征的三类国家,其在农业领域的相对优势和自然禀赋各有不同,故在选择本国(地区)的智慧农业发展方向时各有侧重,目标定位、管理体制和经验教训也无一而足。在进行经验借鉴时,必须充分认识到其他国家或地区与我国自然条件、经济基础的不同,有选择性地吸收借鉴其中适合我国特定地区的成功经验。就美国而言,其农业经营多以大农场为市场主体,规模化引致的企业化运营有利于发挥生产要素的规模效应,成熟的市场网络、发达的技术水平、充裕的财政支持为智慧农业的研发与推广提供了优良的外部条件。在借鉴美国智慧农业发展经验时,应该认识到两国之间在人均土地规模、资金供给和市场成熟度等方面存在的客观差距,扁平化经营与信息共享也与合作社经济相互契合,既可以维持一定的稳定性,也为规模化经营留足了空间,是比较合适的过渡型智慧农业经营模式。德国以数字化驱动信息化并为农民赋能的做法既保证了全国农业数据的高效整合,也为智慧农业的持续发展夯实了基础。目前我国的职业农民培训仍面临生源萎缩、资源配置不均、职业教育功能弱化等突出问题。<sup>[35]</sup>这与我国当前农业政策过分关注粮食产量稳定而一定程度上忽略农产品市场化建设有关。德国的实践表明,强有力的政府干预和制度设计对于智慧农业的发展也是不可或缺的。

#### 四、应变局与开新局:我国智慧农业的基本特征与现实困境

从发展机遇看,一是智慧农业已成为“十四五”时期农业农村信息化发展的主要方向,资金投入和政策支持力度不断加大;二是数字经济领域正占据国家战略高地,“数字中国”“网络强国”建设如火如荼,新兴技术成果

应用正在由第二、第三产业和城市核心区域向农业农村领域溢出,农业农村这一传统边缘市场空前繁荣;三是随着新型城镇化的不断深化和农村老龄化的到来,农业农村的技术需求日益扩张,加速农业劳动力的技术替代,加快实现农业农村现代化图景已正当其时。但立足新发展阶段,还需要基于智慧农业的基本特征、现实困境,回答“智慧农业发展压力何来”以及“桎梏何在”等关键问题。

##### (一)基本特征:基于“钻石理论”的多维分解

参考美国战略管理专家迈克尔·波特提出的“钻石理论”,文章从生产要素、需求条件、支持产业、行业竞争、政策支持以及机会等六个方面分析我国智慧农业的主要特征和发展现状。

在生产要素方面,基础要素的相对充足与高级要素的相对匮乏并存。我国拥有全球9%的耕地、6%的淡水资源和超过5亿农村人口,构成支撑智慧农业发展的基本要素条件。截至2022年底,我国已累计建成高标准农田面积超10亿亩,约为我国农田总量的一半,形成了稳定保障1万亿斤以上的粮食产能,已具备推进智慧农业生产的客观条件(见表2)。

表2 我国2019-2030年高标准农田建设进展(规划)

年份	新增与改造提升面积(亿亩)	(预计)累积建成面积(亿亩)	中央财政投入(亿元)
2019	0.8150	8	859
2020	0.8391	—	867
2021	1.0551	—	1008
2022	超1亿亩	10	1096
2025	—	10.75	—
2030	—	12	—

数据来源:2019-2022年数据由历年政府相关文件与发布会数据汇总得到。2025年与2030年数据来自《全国高标准农田建设(2021-2030年)》,中央财政投入数据来自《中国农村经济形势分析与预测(2022-2023)》。

一方面,我国智慧农业相关技术起步晚、投资少,且面临发达国家的专利封锁。从信息技术看,中国绝大多数智慧农业关键核心技术还处于跟踪阶段,农业物联网、大数据、人工智能等技术在国内还处于试验阶段。<sup>[36]</sup>智慧农业相关装备水平进口依赖度较高。如耕整机械方

面,80%以上的关键核心技术来源于国外,重大装备关键核心技术对国外技术的依存度高达90%以上,产品配套比例偏低。<sup>[37]</sup>技术与装备的成熟度与可靠度不足严重掣肘我国智慧农业的智能化远程控制、精细化调节和数据化管理能力。另一方面,具备智慧农业经营管理能力的专业技术人才同样严重不足,受教育水平较高的年轻人返乡意愿普遍不强。这也与智慧农业所要求的科学化管理、扁平化经营不匹配,客观上限制了我国智慧农业的发展。

同时,我国在农业农村信息基础设施方面的投资正日益扩大,为智慧农业的发展打下良好的设施基础。截至目前,我国已建成全球规模最大的移动物联网,连接数达18.45亿户,占全球总连接数的70%以上,成为全球主要经济体率先实现了“物超人”的国家。同时,我国在用的数据中心机架总规模已经超过650万标准机架,服务器规模超过2000万台,算力总规模位居全球第二。根据《中国数字乡村发展报告(2022)》,截至2022年6月,我国农村地区互联网普及率为58.8%,是“十三五”初期的两倍。这说明我国互联网产业已由生产端向消费端渗透,互联网技术商用化成熟度已能够满足居民日常消费需求,互联网与农业的深度结合契机正在出现。具体到通讯方面,截至2022年8月,我国已经累计建成开通5G基站196.8万个,实现“县县通5G、村村通宽带”,并基本实现农村城市“同网同速”。这为智慧农业所需的数据传输和精准化控制提供了条件。数据显示,2021年全国全系统装备北斗导航设备作业面积超过6000万亩。全国累计创建9个农业物联网示范省份、建设100个数字农业试点项目,征集发布426项节本增效农业物联网应用成果和模式。在2021年前,我国就已在18个省份建成运营45.4万个益农信息社,培训村级信息员超过70万人次。总之,我国农村地区互联网基础设施建设正在经历快速的全面强化阶段,智慧农业相关技术成果正逐渐由试点实验向商业化推广推进。

在需求条件方面,消费端需求上升与生产

端供给不足并存。一方面,日益增长的对高品质、可溯源农产品需求构成智慧农业发展的初始动力。随着我国经济持续增长,居民收入水平的不断提升,居民消费结构随之转变,农产品消费升级的趋势也愈发明显。京东大数据研究院与新华网2021年联合发布的《高质量农产品上行报告》显示,产地、特级、优选等体现农产品商品品质的词语已成为当下京东上的热搜关键词。高品质农产品需求不仅推动数字化、智能化的供应链向农村地区延伸,还促使区块链、大数据等信息技术逐渐嵌入农业生产链条,以生产更加安全、优质、可溯源的农产品。同时,庞大的消费数据也为智慧农业实现经营阶段的科学化管理和数据化分析持续赋能。另一方面,复杂的生产端矛盾日益成为智慧农业发展的现实阻力。首先,细碎化的耕地产权配置极大抬升企业交易成本,土地流转面临国家政策规定与违约风险等多方面因素制约,短期的土地流转合约使集约化生产难以维持,流通过程中的道德风险也难以控制;其次,劳动力的相对富余制约农业生产领域的技术替代。我国至今仍有超过5亿人居住在农村,农业劳动力相对富余。且老人和妇女已逐渐成为农业生产的主力军,这两类人群通常流动性不强,更愿意将农业经营作为保障性和补充性收入,耕地流转意愿较低;最后,智慧农业经营门槛较高,缺乏成熟的社会化服务体系。智慧农业相关设备和系统维护费用通常价格高昂,性价比不高,超出农民承受能力。当前国内相关技术设备成熟度与适应性同样不足。试点快速增长,但尚无成熟可靠、适应性强的智慧农业解决方案脱颖而出。以上各方面因素均制约着智慧农业的推广普及。

在产业支持方面,相关产业链条日益完善。我国智慧农业原料支持充足,商贸服务支持完善,相关技术的应用成效也得到初步验证。在原料方面,智慧农业的上游原材料主要包括有色金属、单晶硅和电子陶瓷等,主要应用于物联网、云计算的承载设备的电子元器件制造,这

些是实现智能化远程控制、精细化调节和数据化分析的硬件基础。目前,我国有色金属和单晶硅的产量均在全球处于领先地位,电子陶瓷也进入快速发展阶段,基本能够满足经济社会的发展需要。在商贸服务方面,自2020年起,“互联网+”农产品出村进城工程开始实施,随后全国农产品网络零售业呈现“井喷”式发展,农产品物流得到迅速完善,之前我国较为薄弱的冷链运输能力也得到大幅提高。在技术支持方面,我国正积极推进智慧农业相关技术落地和应用。截至2022年底,国内从事遥感卫星业务的企业有近7万家,与“空间信息”业务相关的企业超过20万家,产业产值已经超过千亿元。各地智慧农业的实践也开展得如火如荼。以黑龙江省北大荒地区为例,2020年以来,该区域先后启动建设了两批共20个数字农(牧)场,试行了覆盖农业全产业链的17套涉农类管理系统,并初步形成可复制的智慧农业方案,辐射带动面积236万余亩,使得区域智慧农业发展进程大大提速。

在行业竞争方面,蓝海市场引致激烈增量竞争。波特认为激烈的行业竞争与竞争优势的保持具有密切的联系。智慧农业已经成为互联网及技术公司创业及经营布局的重要赛道。2021年我国智慧农业市场规模达685亿元左右。在巨大市场诱惑下,京东、阿里、华为、腾讯、百度、美团等头部科技公司、互联网公司纷纷向智慧农业领域下沉发力,并在自身业务关联紧密的领域内积极布局,极大地促进了智慧农业技术的创新和市场规模的扩大。如联想集团依托“端-边-云-网-智”一体化的新IT技术架构,打造“擎天”智能引擎,搭建了联想“Le农”数字农业农村大脑,打造了涵盖农村基层党建管理、种养管理、乡村治理、农村特色文旅、农产品营销服务等在内的系列农业农村智能化解决方案。相关成果已在陕西梁家河、北京妙峰山、山西阳曲等地相继落地应用。

在政策支持方面,各层级、各领域的政策措施逐渐完善。从中央层面看,我国2016—

2022年“中央一号文件”中均有涉及智慧农业发展的相关规划且目标愈发清晰。农业信息化建设、农业技术创新、土地经营等方面的支持政策也逐渐完善。同时,各级政府也纷纷响应中央号召,对发展智慧农业保持高度重视。河北、辽宁、江西、河南、湖南等省份均已出台相关的配套文件,江苏省更是将数字农业农村发展水平纳入乡村振兴绩效评估指标体系。这些政策的出台和实施不仅有助于提升全社会开展智慧农业活动的积极性,也能为智慧农业的良性发展提供良好的基础,但与此同时,在智慧农业发展相关标准规范的制定上还有缺失。

在机会方面,国内经济发展新常态亦为智慧农业发展创造了新契机。在我国经济由高速增长转向中高速增长的宏观背景下,传统行业投资回报趋于下降,迫切需要开发新的增长空间。而在乡村振兴、中国式现代化等国家战略规划以及数字经济、5G、大数据等新兴互联网业态的赋能下,农业农村领域将可能面临新的投资机遇,由投资“谷地”转变为投资“热土”,成长为新的经济增长点。其中,兼具粮食安全、吸纳就业、高技术需求、高附加值、长产业链条等标签和特点的智慧农业无疑是重要板块。

以政府为引导、市场为主体、社会共同参与的协同推进机制正在建立。政府对智慧农业的引导将从政策倾斜、资金配置、市场监管等多个方面向社会派发“机会包”,成为智慧农业发展的先行力量。在此过程中,努力在国家层面逐渐培育出智慧农业的国际竞争优势。随着政策对智慧农业领域的大量倾斜,众多投资人开始“上山下乡”,试图寻找新的增长机会,促使社会资本广泛涌入智慧农业领域。企业逐步成为农业生产的主体。根据《2021全国县域农业农村信息化发展水平评价报告》(简称《县域报告》),2020年社会资本在农业农村信息化建设中的总投入约是财政总投入的2.4倍。发展水平排名全国前100的县(市、区)中,社会资本投入206.3亿元,是其财政投入的2.9倍。这充分说明市场主体和社会参与已成为推进智慧农业发展

的重要力量。

## (二) 现实困境: 面临资金、技术、经营主体多维短板

尽管智慧农业建设如火如荼,但是我国农业农村信息化基础差、发展不平衡的情况并没有得到根本性的扭转。智慧农业发展面临多方面的短板和“关卡”。从供给侧看,面临资金投入、技术创新、人力资本等关键要素缺乏的窘境;就需求侧而言,市场发育不成熟和农民接受度不高对智慧农业的建设提出了新的要求。

资金投入力度相对不足,智慧农业面临“开局关”。据《县域报告》,2020年全国县域农业农村信息化建设的财政投入总额达到341.4亿元,但这一数字与全国内农林水的财政支出相比微乎其微(前者仅占后者的1.4%),县均财政投入1292.3万元,乡村人均财政投入46.0元,社会资本投入县均超3000万元。然而尽管相比上年资金投入增长迅速,县均和人均资金投入仍远远无法满足智慧农业发展所需海量资金。且财政投入的区域差异较大,浙江、重庆、江苏、新疆等地的县均财政投入均超过3000万元,浙江甚至超过1亿2000万元,其他省份的投入则远远落后。从比例上看,2020年全国约五分之一的县(市、区)该领域财政投入基本为零,四分之一的县(市、区)财政投入不足10万元,说明智慧农业建设仍面临较大的资金缺口。此外,由于尚未出台专门的智慧农业规划方案,当前财政投入的分配较为分散。针对智慧农业本身的农业补贴种类和力度都较小,且农村金融服务发展滞后,农业保险面临推广、理赔等多方面的困境。

科技创新与成果转化不足,智慧农业面临“升级关”。根据农业部数据,2021年我国农业科技贡献率仅为61.5%,与西方国家普遍在70%以上的水平仍存在差距。在农业生产领域的差距尤为明显。根据《中国数字乡村发展报告(2022)》,2021年我国农业生产信息化率仅为25.4%,而美国早已实现了农业生产信息化转型。2017年一项针对精准农业经销商的调查显

示, GPS自动制导与自动喷头等技术已得到大规模应用,普及率分别达到78%和73%,有44%的人使用移动设备上的应用程序来协助实地侦察,约三分之一的人利用无人机或无人机技术来协助他们的业务。在实际应用中,我国智慧农业相关技术整体上仍然存在成熟度不高、适用性不足、成本高企、维护难度高等突出问题。在数据方面,智慧农业存在相关数据搜集、处理、应用环节运转不畅,政务、行业、社会、企业数据汇聚困难,技术储备与应用场景脱节等诸多难题。智慧农业发展所需的各方面高级要素缺乏,尤其是支撑智慧农业发展的高端实用技术难以实现商用化,技术要素支撑约束不可忽视。

专业人才及组织匮乏,智慧农业面临“运营关”。人才作为连接技术与应用的桥梁,是推动现代社会发展的重要动力。一方面,当前农业大数据人才、农业经营管理与信息化复合型人才以及能够操作现代生产设备的农村高素质人才的大量短缺。另一方面,智慧农业应用本身面临较高的知识门槛,而我国农民整体受教育程度不高,对新事物的接受能力较低,且由于建设和维护资金较多,导致农业劳动者的参与程度也不高。往往仅是部分农业合作社、家庭农场、农业企业等新型经营主体作为主力,多数小农户只能望而却步。《中国乡村振兴综合调查报告2021》显示,农村人口中60岁及以上人口的比重达到了20.04%,可以预见,随着城镇化的进一步推进,农村老年人口的比例继续上升,很大程度上延缓农业的现代化转型进程。此外,基层农村中专门推进智慧农业的机构严重不足。2020年全国农业农村信息化管理服务机构覆盖率为78.0%,有约27%的地方农业农村局未设置承担信息化相关工作的行政科室,近55%的农业农村局未设置信息中心(信息站)。

不平衡不充分问题依然突出,智慧农业发展“外溢关”。从地区发展总体水平来看,我国东强中西弱、区域失衡的总体格局一时难以改变。一方面,资金投入严重不平衡。2020年东部

地区县域农业农村信息化财政投入172.7亿元，占全国农林财政投入的一半左右。另一方面，整体发展水平亦不平衡。2020年全国农业生产数字化水平为22.5%（此数据较上一年略有下降），但分区域看，东部地区农业生产数字化水平为25.7%，中部地区为30.8%，西部地区为19.6%，江苏、浙江、安徽、上海等东部省份数字农业农村发展水平远高于西部省份。此外，数字农业发展水平较高的地区通常在财政投入、社会资本投入、生产经营信息化及在线办事率、机构设置、市场环境、财政投入等方面也都明显领先于发展水平较低的地区。根据《中国数字乡村发展报告（2022年）》，我国东、中、西部地区的农业生产信息化率分别为29.2%、33.4%、19.1%，共有13个省份的农业生产信息化率高于全国平均水平（见表3）。13个省份均为东部和中部传统农业优势区，且与地区经济发展水平密切相关，西部省份的农业生产信息化水平则相对落后，甚至未有超出全国平均水平的省份，凸显出我国东中西部农业生产领域存在的巨大信息化鸿沟。同时还应注意的是，就算是农业生产信息化水平排在第一位的安徽，其农业生产信息化率也仅刚刚过半，排在第13位的重庆，其农业生产信息化率仅略微超过四分之一，与美欧等传统农业强国差距悬殊，表明我国农业信息化基础仍显薄弱。

表3 农业生产信息化率高于全国平均水平的省份

省 (区、市)	农业生产 信息化率 (%)	排名	省 (区、市)	农业生产 信息化率 (%)	排名
安徽	52.1	1	江西	29.4	8
上海	49.6	2	河南	29.3	9
湖北	48.5	3	河北	28.5	10
江苏	48.2	4	广东	28.0	11
浙江	45.3	5	黑龙江	27.7	12
湖南	32.5	6	重庆	26.5	13
天津	30.5	7	-	-	-

数据来源：根据农业农村部信息中心发布的《中国数字乡村发展报告（2022年）》相关内容整理而得。

从不同行业生产信息化水平看，行业间发展不平衡、行业内应用不充分的问题也十分明显。与工业、服务业等行业和领域相比，我国农业数字经济仍处于低洼状态。根据中国信

息通信研究院发布的《中国数字经济发展报告（2022年）》，2021年我国第一产业数字化投入183.7亿元，仅为第二产业投入的0.24%，第三产业投入的0.66%。《国务院关于数字经济发展情况的报告》也指出，“农业、工业等传统产业数字化还需深化”，“数字鸿沟亟待弥合”，总之，智慧农业发展面临的不平衡不充分的问题仍然有待纠正。

耕地细碎化、经营主体“兼业化”，智慧农业面临“替代关”。我国人多地少，人均耕地仅1.4亩，加之农业人口较多，细碎的产权与大量的农业人口形成对农业经营方式改革在经营环节的阻滞。与此同时，我国大量农村青壮年人口不断向城市转移，农民收入来源逐渐由农业生产转向城市务工，许多农户将农业生产收益作为保障性收入。而在此过程中，由于租金低廉等原因造成农民对土地经营权流转的意愿不强，农村土地流转率整体较低，大量耕地由老人和妇女经营，能够从事智慧农业生产的人才亦较少，造成农产品生产趋向“兼业化”和“休闲化”。基于智慧农业技术成熟度不高、投入成本高昂、市场风险较高、相关补贴较少等事实，造成农户对于智慧农业生产需求不足，且相关企业面临全产业链技术不成熟、市场不完善、体系不健全等发展困境，地方政府推进智慧农业的动力不足。因此，如何破除我国当前农业面临的“低水平陷阱”，实现智慧农业对传统农业经营模式的替代，是智慧农业需要面对的重要关卡。

## 五、政策启示

系统总结美国、德国和日本的智慧农业发展经验，并就中国智慧农业发展现状与面临的发展困境进行了多方面阐述，为本文提出针对性的智慧农业发展策略提供了参考。对于中国而言，土地的过密化和碎片化经营、农业劳动力社会保障、农村基础设施欠账等三农问题可能还将持续较长时间，这意味着我国智慧农业的发展不可能完全照搬美国等发达国家的做法，而

应该在透彻了解我国基本国情的基础上量身打造、取长补短。

### （一）改革为先，扬长避短拓宽智慧农业发展“蓄水池”

提升国家引领与市场驱动契合度。在竞争激烈的国际农业市场，集团化、寡头化趋势日益明显，作为后起之秀，我国的智慧农业发展势必需要以国家引领来加速智慧农业相关产业的快速孵化成熟。经过前期长时间的战略演进，我国智慧农业的发展思路渐趋明显。一方面，大幅提升农业农村信息化、数字化、智慧化要素投入，搭建城乡数据、治理、产业、服务一张网络。抢抓新一代技术革命战略机遇，尽快实现城乡间的多维度、全方位互联互通，以智慧化赋能乡村振兴。另一方面，在数字化、智慧化转型的浪潮中完善组织机制、责任机制和绩效评价机制。农村是新技术新理念最广阔的试验地，而农业则是其中最为关键的一环。在农业智慧化转型的过程中应充分发挥政府和市场两只手的作用。尽快制定完善全国层面的智慧农业发展规划，按照地域性、经济发展水平、技术成熟度等多维度评价标准制定跨区域、分行业、分步骤的智慧农业发展行动方案，以国家引领为基本方针，将基层成功试点经验与现阶段发展目标相结合、国家力量与社会发展活力相结合、信息化革命成熟果实与农业农村发展短板相结合，推动我国智慧农业实现快速迭代与布局，在保证国家粮食安全的同时巩固乡村振兴战略基础条件。

加快推进农村集体产权制度改革。智慧农业发展面临的突出问题即农村土地产权的细碎化。国外的经验表明，适度规模经营是提升农业竞争力，实现智慧农业发展的重要前提。一方面是因为智慧农业发展需要投入较多的前期成本，这超出了一般小规模经营者的承受能力。另一方面是智慧农业离不开企业化市场化运营，耕地的收益天花板较低且鉴于耕地的相比一般商品的特殊性，其产权流转与回收存在事实上的困难，这无疑抬升了企业的运营成本，提

升了市场化经营的风险。当前的农村集体产权制度改革为农业适度规模经营打下了良好的基础，但尚未根本性破解当前智慧农业发展的这一难题，仍需进一步创新农村集体产权制度改革方式，真正放活农村集体资产产权的权能。

### （二）技术赋能，打通“研发+推广+集成”的技术路线

智慧农业具有明显的技术门槛与技术依赖性，其推广无疑需要成熟的产业配套和技术支撑。而我国当前在智慧农业基础设施与技术储备方面与西方国家仍有差距，信息技术在农业领域的渗透率不足，亟需实现技术体系与产业体系的相互匹配与深度融合。在整个农业产业链条中，因固定成本与市场风险较高且金融支持力度不够，农产品生产环节的智慧化、数字化进展较为缓慢，高昂的成本、不成熟的技术、不完善的市场均是智慧农业产业链上游发展的桎梏因素。农业科研成果虽然丰富，但有效供给不足。借鉴美国的做法，在研发方面，从市场和农户两个层面挖掘技术需求，针对性的进行技术升级和开发。在市场的角度，农业技术的研发需要关注市场需求和趋势，提高技术效益和成本效益。此外，还需建立完善的技术标准和规范，确保农业技术应用的安全性和可持续性。深入了解农户的实际需求和作业场景，通过田间地头的实地考察和试验，掌握农产品生长的规律和特点。同时，启动科普教育，提高农户的科学知识和信息水平，有特殊操作步骤或使用方法复杂的技术还应指导农户进行技术培训，鼓励面向实践的技术创新并落地示范。

在推广方面，需要联合多方力量，帮助农民更好地适应农业集约化和智能化的发展。政府应加强数字基础设施建设，包括农业信息化技术中心建设、农业智能化示范基地建设等，为农业技术落地提供政策支持和案例证明。同时鼓励有能力的企业开发农业智能化产品和服务，与农业企业合作共建农业科技平台，为农民提供农业技术培训、技术咨询和技术服务。并对相关社会化服务团体给予资金支持，使其更

好地开展助农、教育或信息交流活动,提高农民科技素质和技能水平,增进农民与其他领域之间的联系。

在集成方面,应重视从产业链源头入手,加快智慧农业相关基础设施建设,着力扩大智慧农业相关技术在农业领域的渗透与应用,加快智慧农业相关技术由实验室向田间地头的拓展,由上至下实现全产业链的智能化和信息化,最终发展完善集智慧生产、智慧管理、智慧流通、智慧决策等智慧农业全链条全过程中的产业集群和集成系统。

### (三) 做专做精, 开发智慧农业溢价空间

着力推进经营模式创新。当前,我国仅有5%的农户承包经营30亩以上耕地,具备市场化经营的基本条件,小农户仍是农业生产的主体,且其在经营方法、规模上都存在弱小和被动地位。这样的情况直接导致了土地没有办法集中以及很难培育竞争优势。在此背景下,可以借鉴日本精细化调节和扁平化经营的做法,利用现代农业技术手段,如精准施肥、病虫害防治、低温保鲜等,提高农产品的产量和品质,树立健康优质农产品的形象,吸引消费者,提高农产品产业的销售价格。同时,可以将农产品进行进一步的精深加工,如建立果汁加工厂、水果干厂、浓缩果汁厂等,提高农产品附加值,延长产品销售周期。对于在种植或采摘环节独具特色的农产品,农户还可以利用美丽乡村和独特的农业文化资源,发展农业旅游,进一步拓展农产品的市场和溢价空间。与此同时,为了避免农产品种类单一、分工不明确、销路不通畅等问题,政府还应当积极建设农产品的信息交流平台,为广大农民提供沟通交流和合作的机会。

激活“数据要素”开发数字农业。2020年中央发布的《关于构建更加完善的要素市场化配置体制机制的意见》指出,数据是继土地、资本、劳动力、技术之后的第五大生产要素,数据要素的战略性地位进一步凸显。面对农村劳动力流失和老龄化的现状,激活“数据要素”、释放数据生产力变得尤为重要。这首先需要政

府加强农业数据采集和应用。借助物联网、云计算等技术手段,建立农业数据采集与应用平台,收集农业领域的生产、销售、监管等各类数据,为农民提供个性化的决策支持服务。

完善智慧农业相关社会化服务体系。从日本的智慧农业发展经验看,在多地少的基本国情下,小农经济、精耕细作、集约化生产的农业经营模式难以猝然改变,因此,大力发展面向中小农场的社会化智慧农业服务体系是现实的选择。当前我国存在涵盖供应、销售、加工、信息服务、技术指导、托管等服务在内的多种社会化服务模式,且各类社会化服务模式往往与当地的产业发展与农业经营生态相契合。因此,当下发展智慧农业相关的社会化服务体系不能沿用政府搭台的发展思路,而应坚持市场化和需求导向,对适应当地智慧农业发展思路并能切实提升农业经营效益的社会化服务机构采取灵活的扶持策略。同时,政府做好救急纾困、牵线搭桥等服务工作,将社会化服务体系的完善更多地交由市场力量完成。

### (四) 人才“下潜”, 培养职业化经营主体

快速的城镇化、农业市场发育不完善等多重困境造成新兴信息产业技术人才向城市流动,智慧农业技术人才相对匮乏。而作为智慧农业主要推广力量的经营主体多因经营素养和技术水平不高造成智慧农业推广驱动力不足。在此背景下,尽快提升智慧农业相关技术创新能力,大力培育具备相关技术开发能力的智慧农业技术人才和涉农企业,推动智慧农业产业化、成熟化。

此外,要有计划、有针对性地构建适应现代农业发展需要的科学培育体系,培养能够适合农业现代化生产需求的新型职业农民。在培养过程中既要重视文化教育,更要开展技术技能教育。在教学上可以采取农学结合、半农半读的方式,通过课堂教学与实践实习相结合、集中学习与农业生产相结合、课堂学习与网上学习相结合的学习形式,开展教育教学工作。政府还有必要建立农业技术培训基地和科技示范

点,提供农产品质量安全、种植技术、营销渠道等多方面的培训和辅导,并对农民进行全面的农业信息化应用知识的普及与培训。为了保证培训和考核的长期效果,还应在培训结束后跟踪农民知识技能转化运用效果,为农民提供及时有效的指导和建议。让“农民”一词成为职业概念而不再是身份代名词,让有能力、有资金、有技术的人才进入智慧农业领域,从根本上改变农业的落后现状。

### 参考文献:

- [1]杨静,陈亮,冯卓.国际农业垄断资本对发展中国家粮食安全影响的分析——兼对保障中国粮食安全的思考[J].中国农村经济,2017(4):75-87.
- [2]GABRIEL A, GANDORFER M. Adoption of digital technologies in agriculture—an inventory in a european small-scale farming region[J]. Precision Agriculture, 2023, 24(1): 68-91.
- [3]PAUSTIAN M, THEUVSEN L. Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers[J]. Precision Agriculture, 2017, 18(5): 701-716.
- [4]牟少岩,丁慧媛,郑满生,等.智慧农业革命影响及对策研究[J].农业经济问题,2022(9):111-117.
- [5]李道亮.农业现代化如何从“互联网+”发力[J].人民论坛·学术前沿,2016(10):89-94.
- [6]曹冰雪,李瑾,冯献,等.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.
- [7]宁甜甜.新发展阶段我国智慧农业:机遇、挑战与优化路径[J].科学管理研究,2022,40(2):131-138.
- [8]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.
- [9]罗锡文,廖娟,胡炼,等.我国智能农机的研究进展与无人农场的实践[J].华南农业大学学报,2021,42(6):8-17+5.
- [10]陈鹏飞,马啸.作物种植行自动检测研究现状与趋势[J].中国农业科学,2021,54(13):2737-2745.
- [11]侯秀芳,王栋.新时代下我国“智慧农业”的发展路径选择[J].宏观经济管理,2017(12):64-68.
- [12]赵敏娟.智慧农业的经济学解释与突破路径[J].人民论坛·学术前沿,2020(24):70-78.
- [13]赵春江,李瑾,冯献.面向2035年智慧农业发展战略研究[J].中国工程科学,2021,23(4):1-9.
- [14]蒋璐闻,梅燕.典型发达国家智慧农业发展模式对我国的启示[J].经济体制改革,2018(5):158-164.
- [15]张绮雯,林青宁,毛世平.国际视角下中国智慧农业发展的路径探寻[J].世界农业,2022(8):17-26.
- [16]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.
- [17]冯献,李瑾,崔凯.中外智慧农业的历史演进与政策动向比较分析[J].科技管理研究,2022,42(5):28-36.
- [18]KRUTZ G W. Intelligent machines for agriculture in 1990[C]. SAE Technical Paper Series, 1983: 831269.
- [19]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.
- [20]FRIHA O, FERRAG M A, SHU L, et al. Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2021, 8(4): 718-752.
- [21]王济民,肖红波.“十二五”中国农业科技发展的战略需求、发展重点与对策建议[J].中国农业科学,2011,44(11):2398-2402.
- [22]孙忠富,杜克明,郑飞翔,等.大数据在智慧农业中研究与应用展望[J].中国农业科技导报,2013,15(6):63-71.
- [23]SHAIKH F K, KARIM S, ZEADALLY S, et al. Recent trends in internet-of-things-enabled sensor technologies for smart agriculture[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2022, 9(23): 23583-23598.
- [24]李道亮,杨昊.农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J].农业机械学报,2018,49(1):1-20.
- [25]LIPPER L, THORNTON P, CAMPBELL B M, et al. Climate-smart agriculture for food security[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(12): 1068-1072.
- [26]PARTEY S T, ZOUGMORÉ R B, OUÉDRAOGO M, et al. Developing climate-smart agriculture to face climate variability in West Africa: Challenges and lessons learnt[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 187: 285-295.
- [27]胡亚兰,张荣.我国智慧农业的运营模式、问题与战略对策[J].经济体制改革,2017(4):70-76.
- [28]龙江,靳永辉.我国智慧农业发展态势、问题与战略对策[J].经济体制改革,2018(3):74-78.
- [29]SHI L, SHI G, QIU H. General review of intelligent agriculture development in China[J]. China Agricultural Economic Review, 2019, 11(1): 39-51.
- [30]COLAÇO A F, RICHETTI J, BRAMLEY R G V, et al. How will the next-generation of sensor-based decision systems look in the context of intelligent agriculture? A case-study[J]. Field Crops Research, 2021, 270: 108205.

- [31] CAMPBELL B M, THORNTON P, ZOUGMORÉ R, VAN ASTEN P, LIPPER L. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2014(8): 39-43.
- [32] 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.
- [33] 周斌. 我国智慧农业的发展现状、问题及战略对策[J]. *农业经济*, 2018(1): 6-8.
- [34] 温铁军, 张俊娜, 邱建生, 等. 农业1.0到农业4.0的演进过程[J]. *当代农村财经*, 2016(2): 2-6.
- [35] 胡原, 李婕, 高鸣. 职业教育提升农民就业创业能力: 国际经验与政策启示[J]. *世界农业*, 2023(7): 5-13.
- [36] 中国宏观经济研究院课题组. 迈向高收入国家行列进程中农业现代化的思路与任务[J]. *宏观经济研究*, 2022(6): 5-14, 136.
- [37] 罗锡文, 廖娟, 臧英, 等. 我国农业生产的发展方向: 从机械化到智慧化[J]. *中国工程科学*, 2022, 24(1): 46-54.

【责任编辑 许鲁光】

## International Experience of Intelligent Agriculture and Its Lessons for China

HAO Yu

**Abstract:** After the long-term technological iterations and accumulated experience since the information revolution, the development of intelligent agriculture is rapidly entering a phase of extensive application. By reviewing the literature and defining the core essence of intelligent agriculture, the developmental trajectory of intelligent agriculture is clarified. Successful experiences in intelligent agriculture construction in the United States, Japan, and Germany are analyzed. Moreover, the current status and practical challenges in the development of intelligent agriculture in China are comprehensively studied and assessed. Drawing on the international experiences from the United States, Japan, and Germany in intelligent agriculture development, along with identifying the prominent gaps in China's context, this study proposes inspirations for the advancement of intelligent agriculture in China. The research concludes that intelligent agriculture has undergone three developmental stages: initial exploration, vigorous growth, and extensive application. The practices of intelligent agriculture in the United States, Japan, and Germany are characterized by dual-driven mechanisms of “research + promotion”, “specialization + refinement”, “digitization + informatization”, respectively. In contrast, the development of intelligent agriculture in China faces challenges related to funding, technology, talent, organization, regional balance, and operational entities. To promote the progress of intelligent agriculture, China should prioritize reform, empower technology, focus on specialization and refinement, and foster the cultivation of talent.

**Keywords:** intelligent agriculture; modernization of agriculture; international cases