智慧农业的国际实践与中国农业现代化发展*

邓 悦[1]，肖 杨[2]

（1. 武汉大学，武汉 430072；2. 中国进出口银行山东省分行，山东 青岛 266071）

摘 要：智慧农业是发展现代农业的重要着力点，是建设农业强国的战略制高点。我国农业发展正向以物联网、云计算、大数据等新一代信息技术为代表的智慧农业时代迈进。而许多国家也正在加快布局智慧农业，在农业生产、农业管理、农业服务等环节开展丰富的智慧化实践活动，以美国、以色列和日本为代表的国家形成了各具特色的智慧农业发展模式，以先进技术推动农业产业发生革命性变化，为我国发展智慧农业、推进农业现代化提供了典型实践范式。因此，建议立足于我国的农业基础条件与现代化发展的独有特点，结合国外先进经验，从技术创新、发展模式、服务体系、人才支撑、基础设施五个方面促进智慧农业发展，进而推进农业现代化建设和农业高质量发展，助力农业强国建设与乡村全面振兴。

关键词：智慧农业；农业强国；农业现代化；农业全产业链

中图分类号：F323.3 **文献标识码：**A **文章编号：**1674-9189(2026)01-0096-09

一、引 言

中国用仅占世界7%的耕地、6%的淡水资源，养活了占世界18%的人口，在历史制度与生产模式共同作用下，形成自主养活高密度人口的小农经济模式[1]。然而，我国农业现代化发展和粮食安全仍面临多重压力与挑战。人多地少水缺的现实国情是限制我国农业未来发展的首要问题[2]，资源环境刚性约束强；“大国小农”仍是我国基本国情农情，一家一户的生产模式和耕地细碎化影响农业产业化和规模化经营，导致生产效率偏低；农业资源利用率低、育种技术突破难度较大、农业机械化率不高等问题，也对推进农业现代化提出挑战。

当前，传统的农业生产经营模式已经难以满足现实需要，迫切需要运用现代信息技术优化农业生产资源要素配置，实现对农业生产管理过程精细化、智能化控制，推动农业生产方式转型和产业结构升级，从而全面提升农业生产效率[3]。智慧农业作为农业信息化发展的高级形态，不仅有力推动我国农业高质量发展，也是新时代建设农业强国的关键支撑[4]，为破解我国农业发展困境提供了新的路径选择。智慧农业依托物联网、大数据和人工智能等先进技术，能够实现对农业生产全过程的实时监测、精准调控与科学管理，有效破解传统农业生产中资源浪费、劳动力短缺等难题[5]；同时，智慧农业通过实现技术进步和优化资源配置，显著提升农业全要素生产率[6]；此外，发展智慧农业还能推动传统生产要素与数字技术深度融合，通过产品、技术和市场等多维创新，促进农业全产业链横向拓展

*项目来源：教育部哲学社会科学研究后期资助项目(23JHQ092)；湖北省教育科学规划重点课题(2024GA146)。

作者简介：邓悦，教授，硕士生导师，研究方向：公共管理与公共政策。

与纵向延伸，深化三产融合[7]。由此可见，智慧农业不仅是农业现代化的重要体现，更是破解我国农业发展瓶颈、实现农业高质量发展的关键抓手。

综观全球，许多国家正加快布局智慧农业，积极推进农业物联网、人工智能、农业机器人等关键技术的创新发展，通过推动农业生产力变革抢占农业科技创新和产业发展制高点。2015年，日本发布《机器人新战略》，启动基于“智能机械+IT”的下一代农林水产业创造技术，通过在农业生产中引入智慧化管理，提高农产品商品率；2017年，欧洲农业机械协会提出以现代信息技术与先进农机装备应用为特征的农业4.0（Farming4.0）——智慧农业，将其确立为欧洲农业的未来发展方向；美国农业在历经传统机械化、生物化学化、生物技术化后，也正走向智慧化阶段。据国际咨询机构研究与市场（Research and Market）预测，到2025年，全球智慧农业市值将达到300.1亿美元①。

近年来，我国高度重视智慧农业发展，出台系列政策措施。2024年农业农村部印发的《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》和《全国智慧农业行动计划（2024—2028年）》，明确了我国未来推进智慧农业发展的工作思路和重点任务。我国在智慧农业发展方面也开展了一系列具体实践，并取得阶段性成效。根据农业农村部数据，到2026年底全国农业生产信息化率将达到30%以上②，推动传统农业向现代农业转型，但我国智慧农业起步晚、基础弱、技术积累不足，在农业领域的先进技术应用深度和广度上仍与美欧等发达国家存在差距。学界对智慧农业发展进行了广泛讨论，重点关注智慧农业的概念界定[8]、发展现状[9-10]、技术应用[11-12]以及未来发展态势[13]，但对智慧农业发展国际经验的系统总结相对较少。鉴于此，本文从全产业链视角系统梳理国外智慧农业发展的具体实践，归纳总结典型农业强国各具特色的智慧农业发展模式，并结合我国基本国情和特殊农情，提出前瞻性政策建议。

二、智慧农业的概述

（一）智慧农业的内涵

对于“智慧农业”一词，迄今为止学术界尚无公认的、完整的概念定义。智慧农业的提出可追溯至2009年IBM提出的“智慧地球”概念，其核心是利用新一代信息技术改变政府、公司和人们的交互方式，以一种更为智慧的方式提高交互的明确性、效率、灵活性和响应速度。更透彻的感知、更广泛的互联互通和更深入的智能化是其主要特征。随着互联网的普及和快速发展，智慧技术逐步应用于人们的日常生活，“智慧城市”“智慧汽车”等新概念应运而生[14]，同时智慧技术在全球农业领域的应用也更加广泛和深入。在传统农业生产中，农民的决策过程大多依靠经验和直觉[15]，而Nicholas[16]和Wilson[17]将网络和实体经济相结合，提出利用信息技术的新兴耕作方法可以影响灌溉、作物选择、病虫害管理等作物生产管理决策，这为农业发展提供了新方向。因此，本文认为智慧农业是一种将农业物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术与农业全产业链深度融合，以更透彻的感知技术、更广泛的互联互通技术和更深入的智能化技术优化农业产业链、供应链和价值链，通过智慧生产、智慧管理、智慧服务等高效利用资源、维护生态环境、保障产品质量，提高产品附加值的农业生产模式。

总体而言，智慧农业并非信息技术和农业的简单相加，而是把农业作为一个有机联系的系统，将信息技术应用到农业系统各环节，实现其高效、智慧运转，推动农业生产方式变革，赋能农业生产更加高质量、可持续。不同于数字农业、精准农业等相关术语，智慧农业强调将信息技术综合运用于农业全产业链，提升人类对农业系统的综合管控能力；而数字农业强调对农业生产要素和生产过程的数

① 数据来源于Research and Markets: *Smart agriculture market by type, and component: Global opportunity analysis and industry forecast*, 2021—2027，参见https: //www.researchandmarkets.com/reports/5214894/smart-agriculture-market-by-type-and-component#rela2-5349308。

② 数据来源于农业农村部：《全国智慧农业行动计划（2024—2028年）》，参见https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202410/content6983622.htm。

字化改造，从而提升农业生产的数字化管理水平；精准农业则强调从许多异质系统中搜集信息，根据智能算法对不同生长环境的农业生物采取精细投入管理，优化水、肥料、农药等投入数量、质量和时机，以提高农业产量和质量[18]。虽然上述农业发展模式的侧重点有所不同，但信息和知识要素均贯穿全过程，并渗透于农业各生产力要素，从而大幅提高农业劳动生产率。

（二）智慧农业发展的理论基础

智慧农业将促进要素变革。著名经济学家西奥多·舒尔茨在《改造传统农业》一书中提出传统农业“有效而贫穷”的观点，并指出改造传统农业的关键是引进新的农业生产要素[19]。智慧农业是生产者在既定技术条件下，优化配置生产要素，从而达到一种新的农业生产均衡状态，其最突出的特点是将数据信息要素纳入生产要素[20]。数据信息作为新型生产要素，正深度融入农业产业全链条。一方面，数据信息要素使农业生产要素集合发生重构，其在直接作用于农业生产全过程的同时，还能起到优化配置传统要素的作用，使得农业生产对自然资源、劳动力和资本等要素的依存状态发生根本性变革，打破传统要素配置格局的束缚，提升农业资源利用效率和农业生产经营效益；另一方面，数据信息要素有效连接农业产业中多方利益主体，其在农户、合作社、政府、市场等主体之间充分流动，加强各主体的互联互通，形成农业全产业链信息流，促使农业产业更加高效、绿色、科学。由此可见，智慧农业在加入新型生产要素后不仅达到要素配置均衡，而且实现全产业链提质增效，促进传统农业向现代农业转型升级，催生新产业、新业态、新模式，为推进农业现代化发展提供基础资源。

智慧农业将促进制度变革。经济发展本身就是一个制度和技术变动的过程[21]，土地制度改革和创新是破解“三农”问题的关键，完善土地产权安排，有利于提高土地等生产要素的配置效率，促进农业现代化发展。第三次全国国土调查结果显示，目前我国耕地面积达19.18亿亩，但在家庭联产承包责任制下，耕地分散在农户手中，一定程度上导致我国耕地细碎化，难以集中成片。根据第三次全国农业普查数据，我国小农户经营耕地面积占总耕地面积的70%，户均经营规模7.8亩。由此可见，个体化农业生产依然是我国农业生产的主体，加之土地难以集中成片，导致农业生产具有较大的分散性，农业经营成本上升，整体效率不高。智慧农业具有显著的技术和资本密集性及规模经济性[22]，需要大量的资金用于农业基础设施的建设、数据平台的开发和运营、智能设备的引入和使用等，而规模化经营将会大大降低智慧农业的经营成本。因此，生产规模化是智慧农业发展的基础和前提，发展智慧农业需要改变我国当前土地规模经营水平较低现状，通过土地规模化和服务规模化推进农业适度规模经营。这就需要加快土地制度改革，促进土地依法有序流转，加快土地集约化和规模化进程，助推智慧农业及农业现代化发展。

三、全产业链视角下智慧农业发展的国际实践

新一轮科技革命和产业变革正在进行，人工智能、大数据、第五代移动通信（5G）、区块链等先进信息技术正深度赋能农业发展。全球农业历经以人力和畜力为主的传统农业（农业1.0）、以机械化为标志的农业（农业2.0）、以自动化为核心的农业（农业3.0）后，开启了以现代信息技术深度融合为特征的智慧农业时代（农业4.0）[23]。当前，智慧农业在全球多国快速发展，通过信息技术推动农业生产到农产品销售终端各环节运转，在农业生产、农业管理以及农业服务等领域开展丰富的智慧化实践活动。

（一）农业生产智慧化实践

智慧农业生产是整个农业产业链的关键环节。在此发展模式下，现代科技信息技术被广泛应用于改善农业实践、提升生产力，依托人工智能、物联网、传感器等技术，使农业生产运行更具效率[24]。这些技术应用突破时空限制，实现农业生产全过程可视化，进而形成精细化、规模化的现代农业生产模式。

农业生产过程中，传感器和物联网技术的应用实现了远程监控和数据采集，可以在最少的人工干预下自动管理和跟踪农业用地，用智慧化生产代替传统的经验化生产[25]。例如，沙特阿拉伯研发嵌入式智能传感器系统和植物自动灌溉系统，有效进行湿度、温度和虫害控制，在节约水资源的同时采取精细化管理，改变耕作和作物管理方式[26]。智慧农机的使用是智慧农业生产的重要指标。智能化农机将传感器、中心处理芯片、无线通信技术等安装于农业机械中，使其能够开展智能化动态作业，不仅能完成传统农机的基本作业环节，还能与电子信息、软件技术等跨领域合作，开展土壤信息采集、农作物产量预估、病虫害监控等工作[27]。这使农业生产越来越“智慧化”，推动农业生产朝“无人化”方向发展；由此带来的农业机械化水平提升，也将有效促进农民增收[28]。

智慧农业将人工智能、物联网、传感器等技术与农业生产深度融合，使种植、畜牧、渔业、林业等更具效率和活力，显著提升了农业现代化水平，为农业可持续发展注入新动能。

（二）农业管理智慧化实践

智慧农业管理贯穿于整个农业产业链，通过先进的信息化技术和管理方式提高决策的科学性、有效性和实时性，实现产前生产资料的科学衔接、产中生产要素的精准配置、产后产品供需的完美对接。

农业生产环节，智慧化管理利用农业环境监测平台实时监测农作物的生长环境和灾害预警，实现对农作物浇水、施肥、施药的精准检测和控制，利于农作物的精细化产出。农业流通环节，智慧化管理优化市场资源配置，提高农产品产业化水平，增加农民收入。例如，英国零售企业Tesco通过现代信息网络技术实施农超联盟对接产业链订单模式，在该模式下，Tesco与各地农产品供应商、农场主实时共享信息，以长期订单合作方式解决传统农业供产销信息不对称的问题，促进“以产定销”向“以销定产”方式转变。农产品安全环节，智慧化管理通过物联网、区块链等技术提高农业产品链参与者之间的透明度，实现农产品从田间到餐桌的可追溯功能[29]。例如，加拿大通过电子耳标建立了全国性母牛标识系统，通过无线射频识别技术和全国性的网络数据库，从育种、饲养到销售每个环节均可被跟踪查询。这种全程可追溯的管理模式不仅提高了农产品的安全性，还增强了消费者对农产品质量的信任度。

智慧农业管理创新推动农业生产智慧化转型、农业流通数字化转型以及农产品质量安全追溯智能化管理，为创新农业发展模式、推动农业现代化发展提供了可行路径。

（三）农业服务智慧化实践

智慧农业服务是智慧农业发展的核心，主要指智慧农业信息服务。在智慧农业发展中，注重信息的开放共享，通过搭建农业大数据共享平台，构建社会化服务体系，可以有效解决信息不对称、信息获取困难等问题。依托信息技术的应用，实现服务高效便捷、精准对接，从而提升农业发展整体水平。

社会化服务支持方面，法国政府搭建了集农业科技研发、商业市场咨询、法律政策保障及互联网应用为一体的农业数据体系，全方位的农业数据库为多方主体提供农业社会化服务支持。便利的农业信息服务使决策者及时、针对性地调整农业决策，显著提高农业生产效率[30]。社会化服务体系方面，美国建立了“联邦—地区—州”三级农业信息化网络体系，提供全面的农业信息服务，有效促进农业生产效率与效益提升。通过这种分层次的信息化网络体系，各级农业机构可以协同工作，提供更加精准和实时的农业信息服务，帮助农户优化生产决策，增强应对市场变化和环境挑战的能力，推动农业向高效能和高科技方向发展[31]。

智慧农业服务创新能够促进农业信息服务、数据支持的个性化，实现农业全过程信息精准识别与高效传达，推动农业科技、农机、金融等涉农服务更加高效便捷，加速农业新技术的推广应用新模式的形成与发展，为农业现代化发展提供重要支撑。

四、国外智慧农业典型发展模式

农业领域的每一次重大科技进步，都通过生产力变革推动农业产业升级与结构调整。国际上，以美国为代表的规模化大田智慧农业、以日本为代表的集约化精耕智慧农业、以以色列为代表的高效化精准智慧农业均取得较快发展，在新技术研发与应用、相关政策支持、社会化服务等方面走在世界前列，形成各具特色的智慧农业发展模式，为我国发展智慧农业提供典型实践范式借鉴。

（一）规模化大田智慧农业模式——美国

美国地广人稀，大部分耕地集中连片分布，农业以家庭农场为主要模式，规模效益明显，集约化程度高。根据NASS农业普查数据，至2022年美国共有农场约200万个；根据ERS公布的数据，2022年美国农场总面积为8.93亿英亩（约53.6亿亩），平均面积为446英亩（约2676亩）[32]，但直接从事农业的人口约260万，仅占总就业人口的1.2%，农业生产呈现人少地多、劳动力成本较高的特点，因此需要借助机械化和数字化手段降低成本。随着新一代信息技术融入并引领农业变革，美国将现代信息技术广泛应用于农业生产各环节，发展智慧农业，逐步形成规模经营与智慧化发展相结合的规模化大田智慧农业模式。

现代信息技术全面覆盖农业全产业链是美国智慧农业发展的主要特点。美国利用物联网等技术发展智慧农业，推动农业产业实现全新变革，构建农业大发展格局。目前，美国成为全球农业物联网最发达的国家之一。据测算，美国20%耕地、80%大农场实现大田生产全程数字化，平均每个农场拥有约50台连接物联网的设备③。在生产端，通过设立大田观察点，利用气象卫星、农业卫星、物联网技术，对农业资源进行24小时不间断的智能化监测和管理；在经营端，美国农场主利用智能终端设备实时掌握生产经营状况，并基于大数据平台和全流程精准信息，进行科学分析从而作出智能决策；在流通端，电子商务技术将农产品与消费者直接联系起来，利用B2C方式促进流通环节产业升级，将物联网充分融入农民的生产生活。此外，美国还通过搭建农业信息服务平台、培育涉农复合型人才、完善互联网基础设施、提供相关政策和法律支持等方式保障智慧农业的发展。2020年，美国提出“农业创新议程（Agriculture Innovation Agenda）”，强调将数字化和自动化作为推动未来农业发展的关键创新工具，确保土地流转规范顺畅，为智慧农业发展提供空间。通过这些技术和手段的应用，美国农业生产力大幅提升，产业结构得到有效调整。美国的规模化大田智慧农业模式通过生产力变革，实现从传统农业向现代化、智能化农业的转型，整体竞争力显著提升。

（二）集约化精耕智慧农业模式——日本

与规模化、机械化的美国农业不同，日本以精耕细作、小规模经营为特点，农业生产面临人均耕地不足和劳动力老龄化等挑战。为突破土地资源限制，日本注重以现代信息科技为载体，纵深发展农业生产技术，不断提高农业产业化与自动化水平，并在小规模精耕细作的基础上，逐步形成集约化精耕智慧农业模式。

日本农林水产省将“智慧农业”定义为使用机器人、ICT先进技术，以节约劳动力和实现高品质生产为目标的新型农业形态。日本智慧农业主要采用集约化发展模式，通过自动化与工业化生产相结合，将物联网、农业机器人、人工智能、大数据等现代智能技术深入应用于农业领域，有效减轻农业生产对土地、气候等自然条件的依赖。在农业生产中，日本广泛应用物联网技术，实时采集空气、降水、光照等数据，监测作物的生长状况，并结合市场管理系统及时作出生产调整，形成对产销一体化的全

③ 数据来源于农业农村部发展规划司：《发展智慧农业 建设数字乡村》，参见https://jhs.moa.gov.cn/zlyj/202004/t20200430_6342836.htm。

程监控。日本政府在智慧农业信息服务中发挥重要作用，构建了政府与农民协会组织相结合的“双轨协同”农业信息服务体系。20世纪90年代初，日本建立农业信息服务全国网络，用于收集、处理、交流各地农业信息。此后，日本政府与多方主体共同搭建农业数据协作平台（WAGRI），为社会各方主体提供丰富的气候、土地、地理信息等数据，促进农机企业和ICT运营商开发新型农业服务，提高农业生产者的管理水平。日本智慧农业的集约化精耕模式，在提升农业生产效率与质量同时，驱动生产过程智能化与现代化转型。这不仅增强了日本农业的整体竞争力，也为其他国家提供了有益的经验借鉴。

（三）高效化精准智慧农业模式——以色列

以色列是世界上水土资源最匮乏的国家之一。全国淡水资源极度短缺，人均可利用淡水资源仅为世界人均占有量的1/33[33]。为克服自然条件的限制，以色列将农业科技精准应用于农业生产，促进水土资源高效利用，形成独具特色的高效化精准智慧农业模式。

受农业资源禀赋的制约，以色列智慧农业始终坚持走资源高效、集约生产的道路，将物联网、人工智能、大数据等现代信息技术成功应用于农业生产各环节：低压滴灌系统、温室技术、现代育种技术、病虫害防治系统以及水肥一体化技术等，推动精准种植与畜牧养殖向智慧化、自动化方向升级。以色列的温室技术处于世界领先地位，从20世纪70年代至今，温室技术实现智能化和自动化，可通过计算机自动调节温室内的温度、湿度和光照，并自动完成灌溉、施肥及病虫害防治。立足资源现实，以色列农业部等政府部门大力支持农业科技创新与推广，在农业研发领域投入大量资金，并以农业补贴等方式促进农业科技成果转化；构建多层次农业教育体系，在高校和科研院所开设农业科技创新等实践课程，推动产学研一体化发展，并针对不同人群需求，定期举办多样化农业技术培训课程，为智慧农业发展提供充足持续动力。这些技术和手段的综合应用，大幅提升了资源利用效率和农业生产效能，实现了高效化、可持续的农业生产。

（四）典型国家发展智慧农业的经验总结

通过对美国、日本、以色列智慧农业发展模式的比较分析，可以看出智慧农业不仅是技术命题，更需要政府通过制定政策和规划实施宏观调控，并与多方主体协同构建农业信息服务体系。与此同时，农业技术的研发、推广以及专业人才的培养，也对智慧农业的发展起到推动作用。

一是加大智慧农业支持政策力度。比如，美国为推动规模化大田智慧农业的发展，制定一系列引导农业智慧化发展的战略和规划，保证土地流转规范顺畅，促进土地规模经营，为农业规模化和智慧化发展营造良好政策环境。二是构建智慧农业社会化服务体系。为更好支撑智慧农业发展，上述国家着力构建完善的农业社会化服务体系，鼓励多方主体共同参与，为智慧农业提供信息、技术、资金等多方面的服务与支持。三是促进农业科技的研发与推广。目前，多数国家构建了适应本国智慧农业发展的农业科技研发与推广体系，其中政府作为主要推动者，引导并鼓励科研机构、高校、企业等多元主体共同参与。四是培养农业智慧化专业人才。上述国家在推动智慧农业发展过程中，注重农业教育体系建设，着力培育既懂农业又掌握数字化、智慧化技术的复合型、应用型人才。

五、推进中国农业现代化的经验总结与路径启示

国际经验表明，智慧农业的形成与发展依赖于科技创新、制度保障、人才培养与数字基础设施建设等多维要素的系统性支撑。不同国家因资源禀赋、农业结构和社会经济条件差异，形成各具特色的发展模式。美国依托规模化经营实现高效智能生产，日本以精细化耕作推动智慧农业普及，以色列则凭借精准节水和技术创新实现资源利用最大化，均为我国发展智慧农业提供了重要借鉴。当前，我国正处于传统农业向现代农业转型升级的关键时期。与西方国家不同，发展智慧农业应立足“大国小农”的基本国情与农业资源多样化特征，在吸收国际成功经验的基础上，探索符合中国农业现代化阶段特

征的发展路径，打造具有中国特色的智慧农业，加快建设农业强国。

（一）加强农业技术突破性创新，完善农业技术供给体系

农业技术创新是推动智慧农业发展的关键。借鉴美国以政策引导与企业创新相结合的做法，我国应深化智慧农业关键技术的自主创新和系统集成。第一，将农业科技创新放在更为突出的位置，集中优势资源围绕智慧农业关键领域开展技术攻关，联合科研机构、高校、企业等主体协同创新。第二，突破关键核心技术，结合我国基本国情和特殊农情，依托重大科技创新平台加强对农业重点领域、重要环节核心技术的突破性创新，全方位提升农业科技的自主研发水平，通过智能农业装备研发、农业物联网技术应用发展智慧农业。第三，健全农业科技推广与成果转化机制，做好全国领域内农业技术的有效供给，加快农业推广体系建设，激发各类市场主体参与推广的主动性，推动新技术在生产一线快速应用，逐步形成创新驱动型智慧农业生态。

（二）基于农业资源禀赋多元化特征，选择差异化发展模式

我国地域辽阔，不同区域的自然禀赋存在显著空间分异，导致农业生产在经营规模、耕作方式和种植种类上呈现出鲜明的区域特色。因此，应通过“因地制宜、分类推进”[34]的思路，形成体现区域特色、资源适配与科技融合的中国特色智慧农业模式。在发展智慧农业过程中，应注意区域适宜性，充分考虑区域农业生产的自然、经济、社会特征，选择不同实践形式，发展适应本地实际的智慧农业模式。比如，北方种植面积较大地区，可借鉴美国规模化大田智慧农业模式，以大型智能机械、全域物联网推进智慧农业生产；南方耕地细碎化地区，可借鉴日本集约化精耕智慧农业模式，以小型农业机器人、智慧农机实现自动化生产；西北干旱地区，可借鉴以色列高效化精准智慧农业模式，依托物联网、传感器等技术对农田灌溉进行严格监控和管理，为作物生产提供适时适量水分，实行节水灌溉。

（三）健全农业社会化服务体系，促进小农户与智慧农业有机衔接

“大国小农”依然是中国长期以来的基本国情和农业发展实际[35]，农业社会化服务能够有效推动智慧农业适度规模经营，实现由数亿小农户构成的农业大国走向农业强国的历史性跨越。借鉴日本农业合作社的协同服务经验与美国三级农业信息化网络体系的做法，我国应构建多层次、多主体参与的社会化服务网络。一是培育新型农业经营主体，加快发展农业社会化服务，将合作社、家庭农场、农业企业等主体的服务功能贯穿智慧农业发展全过程。二是提供全方位智慧化服务，通过物联网、大数据、云计算等技术为小农户提供专业化、智慧化服务，同时推动新型农业经营主体数字化转型，提高智慧服务能力。三是激活村集体“统”的功能，将分散的小农户有效组织起来，以服务规模化适配智慧农业规模化发展需求，促进小农户与现代农业有效衔接，形成具有中国特色的现代农业经营模式。

（四）培养智慧农业复合型人才，为农业现代化提供人才支撑

人才是智慧农业可持续发展的核心要素。借鉴以色列“技术、教育、实践”相结合的农业人才培养体系，我国应构建多层次、多类型的农业人才培养体系。一是设置跨学科交叉课程。鼓励高校开设农业与信息多学科交叉课程，将前沿农业技术纳入实践与应用课程，培养一批既懂农业又了解信息技术的应用型人才。二是完善农民教育培训体系。开展高素质农民培训，提高农民的信息化应用水平，培养一批懂技术、会操作、适应智慧农业发展的“新农人”。三是加强农业技术推广人才培养。充分发挥农业科研机构、涉农高校、农业企业的人才培养优势，将现代信息技术带到农业生产一线，促进智慧农业的推广与应用。

（五）部署农业领域“新基建”，统筹智慧农业与智慧乡村发展

智慧农村的发展不是简单地将“智慧农机”搬到农村作业，而是需要完善的信息化基础设施支撑全域发展，为智慧农业提供重要保障。因此，应统筹智慧农业与智慧乡村同步发展，以智慧乡村完善的基础设施和服务保障促进智慧农业建设。将农业农村“新基建”纳入国家乡村建设行动，依托5G网

络、物联网、大数据等新一代信息技术推动其与农业农村发展深度融合，搭建农业农村“天、空、地”一体化观测体系，构建农业大数据平台和县、乡、村三级农业信息网络平台，建设智慧农田、智慧水利、智慧物流等智慧化基础设施，在推动农业现代化的同时，实现智慧农业与智慧乡村一体化建设，促进农业农村健康发展，从而推进乡村全面振兴。

参考文献

[1] 温铁军, 唐正花, 刘亚慧. 从农业1.0到农业4.0: 生态转型与农业可持续[M]. 北京: 东方出版社, 2021.

[2] 蒋和平. 我国现代农业的发展目标、主要挑战及对策建议[J]. 中国发展观察, 2011(12): 43-47.

[3] 曹冰雪, 赵春江, 李瑾, 等. 中国智慧农业技术发展现状、挑战与展望[J]. 农业工程学报, 2025, 41(21): 1-10.

[4] 蒙慧, 刘允秀, 刘光旭. DeepSeek何以赋能智慧农业高质量发展: 内在机理与路径选择[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2026, 26(1): 41-58.

[5] 汪新宇, 甘信斌, 秦佳婷, 等. 智慧农业发展现状及关键技术应用研究[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2026, 38(1): 41-45.

[6] 王明哲, 陈慧, 汤佳, 等. 智慧农业应用能否提升企业全要素生产率——基于173570家农业企业的实证研究[J]. 中国农村经济, 2025(9): 146-163.

[7] 金丽馥, 张新月. 数字赋能农业全产业链范式革新: 机理、困境和策略[J]. 经济纵横, 2025(5): 88-98.

[8] 殷浩栋, 霍鹏, 肖荣美, 等. 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 刘旭, 李文华, 赵春江, 等. 面向2050年我国现代智慧生态农业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 38-45.

[14] Hildebrandt M. Balance or trade-off? Online security technologies and fundamental rights[J]. Philosophy & Technology, 2013, 26: 357-379.

[15] Nuthall P L, Old K M. Intuition, the farmers' primary decision process: A review and analysis[J]. Journal of Rural Studies, 2018, 58: 28-38.

[16] Economides Nicholas. The economics of networks[J]. International Journal of Industrial Organization, 1996, 14(6): 673-699.

[17] National Research Council. Precision agriculture in the 21st century: Geospatial and information technologies in crop management[M]. Washington D C: The National Academy Press, 1997.

[18] Kacira M, Sase S, Okushima L, et al. Plant response-based sensing for control strategies in sustainable greenhouse production[J]. Journal of Agricultural Meteorology, 2005, 61(1): 15-22.

[19] 西奥多·舒尔茨. 改造传统农业[M]. 梁小民, 译. 北京: 商务印书馆, 2006.

[20] 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.

[21] 林毅夫. 制度、技术与中国农业发展[M]. 上海: 上海人民出版社, 2008.

[22] 杨印生, 薛春序, 许莹, 等. 智慧农业的社会经济特征、发展逻辑与系统阐释[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(2): 146-152.

[23] Yang X, Shu L, Chen J, et al. A survey on smart agriculture: Development modes, technologies, and security and privacy challenges[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2021, 8(2): 273-302.

[24] Rutten C J, Velthuis A G J, Steeneveld W, et al. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms[J]. Journal of Dairy Science, 2013, 96(4): 1928-1952.

[25] Udutalapally V, Mohanty S P, Pallagani V, et al. Scrop: A novel device for sustainable automatic disease prediction, crop selection, and irrigation in internet-of-agro-things for smart agriculture[J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 21(16): 17525-17538.

[26] Gs Campos N, Rocha A R, Gondim R, et al. Smart & green: An internet-of-things framework for smart irrigation[J]. Sensors, 2019, 20(1): 190.

[27] Bortolini M, Cascini A, Gamberi M, et al. Sustainable design and life cycle assessment of an innovative multi-functional haymaking agricultural machinery[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 82: 23-36.

[28] 邓悦, 吴忠邦, 罗连发. 农业机械化促进了农民增收吗?——基于农村人力资本调节效应的分析[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 169-180.

[29] Dawkins M S. Animal welfare and efficient farming: Is conflict inevitable?[J]. Animal Production Science, 2016, 57(2): 201-208.

[30] 郑建华, 赵瑞雪, 赵华, 等. 智慧农业信息服务发展的国际经验与启示[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(6): 9-18.

[31] 何迪. 美国、日本、德国农业信息化发展比较与经验借鉴[J]. 世界农业, 2017(3): 164-170.

[32] 安肖. 美国农场面面观[J]. 世界农业, 2023(6): 136-137.

[33] 洪宇, 陈秧分, 刘坚. 中国不同区域的农业现代化路径选择——基于技术诱导理论与发达国家经验[J]. 农业现代化研究, 2024, 45(3): 355-365.

[34] 邓悦, 肖杨. 基于精准识别的乡村振兴质量动态评价体系构建: 逻辑框架与应用分析[J]. 宏观质量研究, 2022, 10(2): 62-75.

[35] 徐勇. 中国家户制传统与农村发展道路——以俄国、印度的村社传统为参照[J]. 中国社会科学, 2013(8): 102-123+206-207.

（责任编辑：胡英彬）

International Practices in Smart Agriculture and the Development of China's Agricultural Modernization

DENG Yue[1], XIAO Yang[2]

(1. Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. The Export-Import Bank of China Shandong Branch, Qingdao 266071, Shandong, China)

Abstract: Smart agriculture is an important focus of developing modern agriculture and a strategic commanding height for building a strong agricultural country. China's agricultural development is advancing into the era of smart agriculture, represented by new-generation information technologies such as the Internet of Things, cloud computing and big data. Globally, numerous nations are accelerating the deployment of smart agriculture, implementing comprehensive smart applications across agricultural production, management, and service domains. Representative countries including the United States, Israel, and Japan have developed distinctive smart agriculture models characterized by technological specialization. These pioneering practices are driving revolutionary transformations in agricultural industries through advanced technological integration, thereby establishing exemplary paradigms for China's pursuit of smart agriculture development and agricultural modernization advancement. Therefore, based on China's basic conditions of agriculture and the unique characteristics of modernization and development, combined with the advanced experience of foreign countries. It is suggested that to promote the development of smart agriculture in five aspects: technological innovation, development mode, service system, infrastructure, talent support, thereby promoting the construction of agricultural modernization and high-quality development of agriculture, and to help the construction of a strong agricultural country and comprehensive rural revitalization.

Key words: smart agriculture; strong agricultural country; agricultural modernization; agricultural industrial chain