

装备与信息协同促进现代智慧农业发展研究

韩佳伟^{1,2}, 朱文颖^{1,2}, 张博³, 赵春江^{1,2}, 杨信廷^{1,2}

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 农产品质量安全追溯技术及应用国家工程实验室, 北京 100097; 3. 北京市农林科学院智能装备技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 农业机械装备是现代农业发展的物质基础、农业机械化发展的重要标志, 新一代信息技术驱动农业机械装备智能化转型升级; 基于装备与信息技术协同的智慧农业成为现代农业发展的新趋势, 对提高农业生产效率、推动农业机械优质高效发展具有积极意义。本文对比分析了国内外智慧农业研究现状, 梳理了我国农业机械装备、农业信息技术的研究进展与趋势; 在剖析我国现代智慧农业发展需求并前瞻发展价值的基础上, 提出重点工程发展建议: 农业生态系统监测网络新建设工程、国家农业大数据中心及运行机制构建工程、智能农机装备研发应用工程、农业信息服务示范工程、果蔬商品化处理智能感控技术与装备研发示范工程。研究认为, 立足国情加大农业科技创新投入并优化结构、建立农业“产学研”创新联盟、完善农业科技创新激励政策, 可为引导现代智慧农业发展提供坚实保障。

关键词: 农业装备; 农业信息化; 农业信息服务; 智能农机; 新基建

中图分类号: S-1; S238 **文献标识码:** A

Equipment and Information Collaboration to Promote Development of Modern Smart Agriculture

Han Jiawei^{1,2}, Zhu Wenying^{1,2}, Zhang Bo³, Zhao Chunjiang^{1,2}, Yang Xinting^{1,2}

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China; 2. National Engineering Laboratory for Agri-product Quality Traceability, Beijing 100097, China; 3. Intelligent Equipment Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Agricultural machinery and equipment is the material basis of modern agricultural development and an important symbol of agricultural mechanization. The new generation of information technology can drive the intelligent transformation and upgrading of agricultural machinery and equipment. The coordinated development of intelligent agricultural equipment and information technology has become a new trend of modern agricultural development, which is of positive significance for improving agricultural production efficiency and promoting high-quality and efficient development of agricultural machinery. This paper compares and analyzes the research status of smart agriculture in China and abroad and summarizes the research progress and trend of agricultural machinery and agricultural information technology in China. Based on the analysis of development needs and values of modern smart agriculture in China, we propose the following projects: an agricultural ecosystem monitoring network infrastructure project, a national agricultural big data center and operation mechanism construction project, an intelligent agricultural equipment research and application project, an agricultural information service demonstration project, and a fruit and vegetable commercial processing intelligent sensing technology

收稿日期: 2021-11-01; **修回日期:** 2022-01-18

通讯作者: 杨信廷, 国家农业信息化工程技术研究中心研究员, 研究方向为智慧农业发展战略研究; E-mail: yangxt@nercita.org.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国 2050 年现代智慧生态农业战略研究与发展路线图”(2020-ZD-07)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

and equipment research and demonstration project. To provide a solid guarantee for guiding the development of modern smart agriculture, China should increase agricultural science and technology innovation input, establish an agricultural industry–university–research innovation alliance, and improve agricultural science and technology innovation incentive policies.

Keywords: agricultural equipment; agricultural informatization; agricultural information service; intelligent agricultural machinery; new infrastructure

一、前言

物联网、大数据、云计算、人工智能（AI）、区块链等新一代信息技术正在快速发展并转化为产业应用，现代农业与之相互渗透、交叉融合，催生了智慧农业这一新业态、新模式，支撑农业建立更高级的生产力、生产方式和经济形态 [1,2]。农业发达国家积极开展前沿技术研发、数据共享开放、行业人才培养等方面的规划部署，稳健推动新一代信息技术与农业生产深度融合 [3]；大数据研究与发展计划、农业技术战略、农业发展 4.0 框架等政策文件，加快推进了智慧农业与农业数字经济 [4]。

我国农业机械（简称“农机”）的制造水平、装备总量、作业水平取得快速发展，促使农业从先前以人力、畜力为主的生产方式转型为以机械动力为主的机械化新阶段 [5]。目前，我国成为世界第一大农机生产与使用国家，农机装备产业企业数量超过 8000 家（规模以上企业超过 1700 家），农业装备产品生产数量约 4000 种；农机企业工业产值从 2004 年的 830 多亿元增长到 2019 年的 4500 亿元。然而，在农业机械装备自动化、信息化、智能化等技术研究与应用方面，农机产业仍处于起步阶段 [6]；以电控技术为基础实现自动化是当前主流，而以信息技术为核心的智能化技术仍待充分发展。“十四五”时期，我国亟需加快建设智慧农业技术体系，把握未来发展趋势，支持农业产业高质量发展。

本文针对农业装备技术、信息技术进行阐述，深入剖析相关技术的应用现状、应用成效与发展趋势；在研判现代智慧农业发展需求、前瞻未来发展前景的基础上，提出重点工程发展建议，以期智慧农业装备与信息化的可持续发展、效能系统优化、资源高效利用等研究提供基础参考。

二、装备技术在现代农业中的应用分析

（一）动力机械

动力机械指代替人力、畜力，为各种农机与设施提供原动力的机械，其应用提高农机作业效率、增强自然灾害抵制力、减少人工劳动量，最终表现为显著提升劳动生产率及产量。

拖拉机是主要的农业动力机械，以“高效、智能、环保、信息集成”为发展目标，重点在动力、传动、行走、液压、悬挂、驾驶舒适性等多个技术方向开展改进优化；信息化控制技术主要朝着自动化、智能化方向发展 [7]。拖拉机的自动化、智能化与定位及导航、动态路径规划、机器视觉、远程监控等密切相关，涉及导航、图像、模型与策略、执行器、数据链等工程技术 [8]。

应对农业机械化规模扩大所伴随的石化燃料过多消耗、环境污染有所加重等情况，有关柴油机排放法规要求必然更为严格。采用各种机内净化、机外尾气处理技术来最大限度降低整机排放，并行发展高比能量动力蓄电池、生物甲烷燃料动力等新型替代能源技术，力求实现机组作业时的零排放、无污染、低噪声、高效率，解决农业机械化过程中的节能减排问题。

（二）大田精准作业机械

大田精准作业机械主要分为土壤耕作机械、播种机械、田间管理作业装备、精准灌溉装备、联合收获机、农业废弃物收集装备等。以国产农机的耕作深度控制为例，较多采用耕整机械力调节和位置调节方法（见图 1），实质为机械与液压系统的简单结合，在实际作业过程中出现了阻力不恒定、无法实时监测等问题；为了实现耕作深度的精准控制，未来将采用基于机电液一体化技术的电子耕深控制系统。

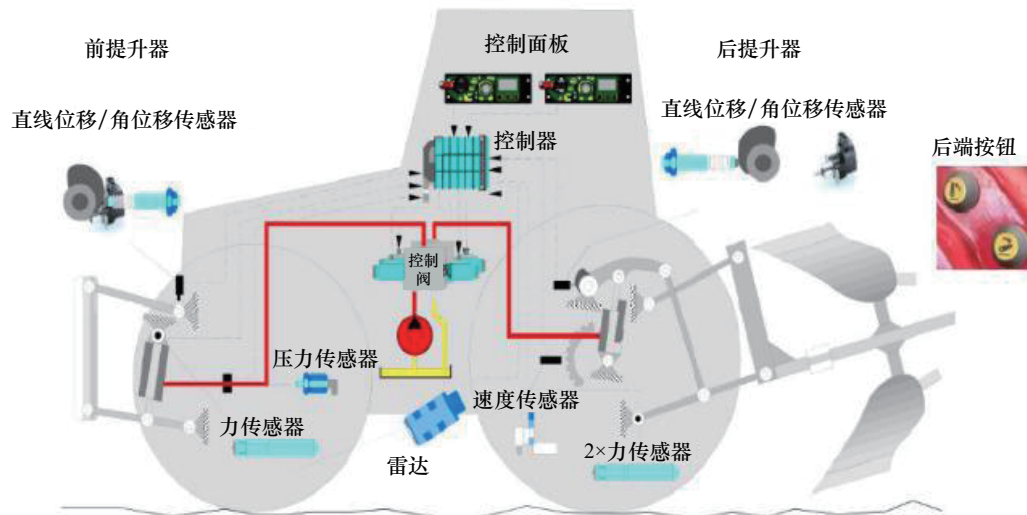


图 1 耕整地机械耕深控制系统示意图

耕整地正在由“功能需求”转向“品质需求”，加强精细耕整地机械的关键零部件材料、加工工艺等核心技术研发，优化宽幅联合耕整地机械工序组合，提升耕整地机械自动监测与故障诊断、作业深度控制、机组水平调节、作业速度匹配等水平；研制减少进地次数、节能降耗、智能化、高速宽幅的联合耕整地机械，是农业机械化生产发展的重要方向 [9,10]。

（三）工厂化农业装备

工厂化农业指在相对可控的生长环境下，采用工业化生产方式为农业生物（植物、动物、微生物）提供适宜的生长环境，以提升农业产量、品质与效益，促进农业生产方式的集约、高效与可持续发展；具有均衡生产（实现周年性、全天候、反季节生产）、产出效率高（规模化生产程度高、土地产出率高、劳动生产率高、资源利用率高）、产品价值高（质量安全性高、商品化程度高、市场适应能力高）等显著特征。

工厂化农业核心装备主要分为工厂化设施设计与制造、智能传感与感知设备、智能控制设备、精准作业装备等 [11]。目前国内投入应用的工厂化种植设施有日光温室、塑料大棚、连栋温室、人工光植物工厂等。基于信息感知的监测装备包括传感监测、光谱监测、视频监测，基本形成了多源信息耦合感知模式；监测方式从实验室离线测量发展到便携式多参数测量再到实时在线测量，通过快速提取

工厂化种植执行器精准作业所需的各种信息，为标准化流水线作业提供关键技术支撑。以荷兰为代表的设施园艺发达国家，在设施温度、湿度、CO₂、光照等环境调控等方面发展了成熟稳定的设备和系统。我国在设施环境调控技术装备能力及创新方面达到世界先进水平，发展了基于正压通风的温室环境综合调控系统（见图 2）、基于双热源热泵的温室间能量转移加温系统、温室环境综合管控云平台、基于环境-作物耦合模型的最优控制决策算法等；但温室环境控制策略及控制系统仍是我国设施园艺发展的薄弱环节。

未来智能化作业装备技术将着力突破无人操控条件下的作物生产、采后、物流等环节的关键技术，



图 2 基于正压通风的温室环境综合调控系统

实现 AI、大数据、智能装备与农艺的结合 [12]；形成覆盖全产业链应用的智能作业技术装备，如作物育苗机器人、物流机器人、植保机器人、采收机器人、采后处理作业装备、农业废弃物处理机器人等；集成机械、电子、控制等技术，发展实时监控植物生理、生态特性的生物传感装备，最大限度地获得植物生长需求信息、减少人为影响，全面进行科学生产与信息化管理 [13]。

（四）农产品产地初加工装备

农产品产地初加工装备主要分为粮食干燥装备、生鲜农产品预冷保鲜装备、农产品品质无损检测分级装备，相应装备从机械化逐渐向智能化、自动化发展。

粮食干燥装备重点在高效、高质、能源节约化、智能化等方面进行技术突破；在增强对生鲜农产品预冷保鲜装备重要性认知的基础上，稳步提升农产品品质无损检测分级装备的可靠性与检测精度。农产品产地初加工装备将在保障农产品质量安全、提高农产品市场竞争力方面发挥关键作用，驱动农业生产更高效、更舒适，农业资源利用更充分、更环保。

三、信息技术在现代农业中的应用分析

我国农业信息技术研究起步稍晚，发展经历可分为：萌芽期（20 世纪 70 年代末—80 年代初）、成长期（20 世纪 80—90 年代）、成熟期（21 世纪初—2010 年前后）、4.0 时代（2011 年以后）。经过 40 多年的发展，农业信息领域形成了相对完整的技术体系 [14,15]。

（一）作物信息获取技术

作物表型信息获取技术主要利用传感设备、无线通信、数据库、大数据分析等自动化平台装备及信息化技术手段，系统、高效地获取作物多尺度性状（组织—器官—植株—群体）等表型信息，包含从基因与环境相互作用形成的作物表型原始数据、作物表型性状元数据到生物学知识的全集数据。根据实验环境的差异，表型信息获取技术分为室内、室外两类：前者对各类环境因素进行精确调控，严格控制生长箱或温室中的作物的生长条件，能够在

复杂实验条件下对作物生长发育进行精确分级模拟与针对性研究，有着后者难以复制的优势。

表型信息获取与智能解析技术是推进农业数字化、智能化，引领未来农业发展方向的关键方面。未来表型技术发展趋势为：地上表型至地下表型、宏观表型至微观表型、物理表型至生理表型、静态表型至动态表型；针对作物表型信息采集手段单一、表型数据解析时效性不足等问题，重点研究多传感器时空同步采集、多模态数据融合处理及实时在线解析等关键技术 [16]。构建以自主技术为主、性能可靠稳定、具备自主作业与自动处理能力的系列化作物表型平台产品，支撑我国植物表型研究迈入世界先进行列。

（二）农业智能知识服务技术

农业智能知识服务技术以农业知识为内容，通过智能化方式将分散的农业知识与数据组织起来，利用知识共享与综合辅助决策模型，为广大用户提供个性化精准服务，缓解农业生产经营中存在的资源利用低效、水肥施用过量、专家数量短缺、知识传播受限等问题 [17]。完整、规范、准确地描述农业知识，以本体知识图谱等方式存储农业知识的数据及关系，实现农业知识的实时、高效重用及共享。

农业产业分类多、气候区域差异显著、季节性生产需求变化快等特征，使得用户服务需求差异极大。传统的知识服务逐步发展成为大数据驱动与知识指导相结合的服务模式，以 20 世纪 90 年代美国的农业专家系统为代表。我国在 2000 年后研究形成了一系列农业专家决策系统，涉及小麦、烟草、水稻、花卉、果树、园艺作物的病虫害诊断、栽培、管理等，但在知识规则构建、更新、维护等方面存在局限性。

农业智能知识服务技术领域正在逐步从传统小样本的数据挖掘、统计分析朝着海量数据智能分析预警模型、动植物数字化模拟与过程建模等方向演进。互联网在向物联网扩展，农业智能知识服务能够整合机器学习、建模与仿真、云计算、图像识别、复杂网络、地理信息系统等技术手段，使得农业领域的很多问题、事件可被求解与模拟；以多模态数据驱动的农业知识智能抽取技术、基于深度学习的农业大数据自适应分析模型、跨媒体农业知识关联理解与服务交互机制为代表。

（三）农业生产智慧管理技术

农业生产智慧管理涉及多部门、多领域、多学科，系统性与复杂性突出，按照产业领域可分为作物生产智慧化、畜禽养殖智慧化、水产养殖智慧化。作物生产智慧管理技术指在掌握土地资源、作物群体变异情况的条件下，根据田间各个操作单元的具体情况，精准调整各项管理措施及各项物资投入量，追求经济效益最优的同时降低农业生产带来的环境风险 [18]；具体分为精准施肥、精准灌溉、精准施药、农情会商、决策指挥等方向。这其中，物联网技术基于智能装备协同运作来实现农业生产信息的实时感知与传输，大数据、云计算用于农业生产信息的数字化存储、分析及运算处理，AI 技术用于在海量数据中挖掘知识并对农业生产中的问题进行分析、判断以提供决策支持 [19]。

以畜禽养殖智慧管理技术为例，通过互联网、大数据、云计算、区块链等新一代信息技术，传感器、图像处理、声音识别等先进感知监测技术，进行畜禽养殖环境智能化管理、畜禽精准饲喂管理、畜禽疫病智能诊断与预警预报、畜禽养殖综合信息化管理、畜禽遗传育种数字化管理、畜产品质量安全管理，实现生产智能化、经营网络化、管理精准化、模式标准化。未来将实现无人/少人智慧牧场（覆盖称重、存栏、饲喂、饮水等环节），集成基因遗传、精准营养、环境控制、生产管理、生物安全等关键技术，实现智能化精准健康管理、发情期精准预测、自动补饲、牧场管理等，将畜禽因人的接触而感染疫病的风险降到最低。

（四）农产品智慧流通技术

农产品智慧流通主要涉及流通环境信息获取技术、农产品品质感知技术、农产品运输与配送路径优化技术 [20]。流通环境信息获取旨在农产品冷链流通过程尤其是长距离运输过程中，严格控制食品的温度、湿度、光照、空气含氧量、乙烯含量、硫化氢含量等环境参数；针对单一温区、单一产品的配送冷藏车，经由传感器完成运输车内环境信息的实时采集、传输及存储。

农产品品质感知是保证冷链食品质量与安全的关键环节 [21]。食品品质分为外表品质、物理品质、营养品质、安全品质、感官品质等方面，针对于此发展快速无损检测技术，涉及力学、电子学、光学、

电化学、生物学等方法；可细分为嗅觉、味觉、视觉传感器技术，光谱分析技术，生物传感器技术。

农产品运输与配送路径优化指通过海量数据的挖掘、处理与分析，增强冷链物流企业的信息获取及应用、流程优化等能力，为农产品冷链物流的物联网建设提供基础信息平台。针对多目标最优配送路径选取问题，多数理论研究利用加权求和方式将多目标寻优问题转化为单目标寻优，进而开展模型构建与分析应用；而在实际配送过程中，群体智能算法能够实质性解决最优配送路径方面的多目标寻优问题（依据与偏重目标相对应的最优解）。

四、我国现代智慧农业发展价值分析

（一）发展需求

以卫星定位、智能控制、物联网、移动互联网、大数据等信息技术为核心的智能农业装备技术是未来农机装备发展的趋势和主流。我国农机装备技术走过了机械替代人力、畜力阶段，产品综合水平取得长足进展，但相比农业农机强国还有不小的差距。随着信息技术发展及其运用深化，我国传统农业生产正在向现代农业转变，传统农机必将朝着与新一代信息技术深度融合的智能农业装备方向发展。

也要注意，我国农机装备的自动化、信息化、智能化等技术研究尚属起步，亟需对标产业应用、加大投入力度、保持高速发展。结合新形势下国家粮食安全战略、农业可持续发展要求，农业装备领域围绕发展现代农业、城乡统筹等重大发展需求，形成推进农业科技创新、加快农业科技推广应用的行动计划；面向主要粮食作物与经济作物、设施农业、畜牧养殖、农业废弃物加工利用等生产环节智能化精准生产实际，根据各地农业生产特点及农艺要求，开展主要环节精准作业智能装备技术研究；尽快发展农机智能技术与装备体系，切实推动农业生产由粗放型经营向集约化经营方式转变、由传统农业向现代农业转变。

（二）应用前瞻

农业绿色可持续发展是守住绿水青山、建设美丽中国的担当之举，对保障永续发展具有重大意义。以绿色生态为导向的农业永续发展科技创新体系的全面构建，在激活农业发展内生动力的同时，将推

动农业生态系统有效修复，产地环境更加清洁、绿色供给能力显著增长、资源利用效率改善提升。

现代智慧农业技术体系将成为我国农业现代化的技术支撑，以现代种业、装备技术为代表的智慧化、生态化集成解决方案，在种植、养殖、水产等领域广泛应用，构成推动农业产业结构转型与升级发展的主要推动力。到2050年，生物、信息、装备等高新技术推进我国现代农业产业完成转型升级，信息技术与智能装备的农业应用比例超过50%；农业机械化、设施装备化水平取得重大突破，实现“机器替代人力”“电脑替代人脑”“自主技术替代进口”的三大转变。

在大田种植领域，机械化、信息化、智能化成为主流应用的基本特征，2050年将全面实现信息、生命科学、关键装备、营养改良等先进技术在大宗作物生产中的集成应用。在设施与工厂化农业方面，智能自主决策走向主流，智能温室、植物工厂、太空农业规模化应用，农业生产的综合效率达到国际先进水平[22]。在畜禽养殖方面，智能设施设备以及大数据、AI技术集成应用成为主要方式，到2050年将全面实现精准喂养、智能饲喂、自动清扫、疫病防控的智能化，形成绿色生态的智慧养殖体系，生产效率与质量控制显著提升。

五、保障现代智慧农业发展的重点工程

（一）农业生态系统监测网络新基建工程

目前，我国农业系统主要采用地面调查统计、定点观测、农业遥感监测等方式，“天空地”一体化监测技术框架初步构建并投入应用。然而，传感器实时性、自动监测设备应用水平不高，无法实现包括生产、流通、服务在内的农业全产业链快速监测；农业生产数字化水平仅为18.6%，自主研发的农业传感器应用数量不到世界的10%[23]。与农业强国应用、国内其他行业相比，农业生态系统监测的基础设施薄弱、手段单一，监测结果的实时性、精准性不足；缺乏全方位、立体式的监测评估网络，难以支撑以生态目标为导向的全产业链、全要素资源优化配置。

建设集卫星、无人机、移动通信基站、传感器于一体的农业生态系统立体监测网络新型基础设施，组建国家级智慧农业研发团队，加强实时感知、智能分析、智慧决策等核心技术研发。以农业生产

效率提升为直接目标，兼顾农业面源污染与温室气体排放控制目标，建设以生态为导向的智慧农场、智慧渔场、智慧牧场。

（二）国家农业大数据中心及运行机制构建工程

落实农业大数据国家战略，构建国家农业大数据中心，包括农业大数据采集网络、农业大数据存储平台、农业大数据处理平台、农业大数据综合分析平台。优化顶层设计，实行统一标准、分布存储、集中管控、合理开放，汇集全局性、区域性、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。建设基于大数据的“一张图”，涵盖农业生产要素、环境要素、产业布局等。开展基于农业大数据的创新应用，融合农业部门的三次产业，提高生产调度、决策、管理、服务能力。

推动涉农数据的标准化和共享机制建设，围绕采集、存储、共享、流通、使用、安全等数据环节，编制数据资源管理办法、数据生产规范、数据共享机制等，为农业大数据的数据归集、应用管理、开放共享等确立制度依据。聚焦农业应用，对农业大数据进行清洗、集成、融合、挖掘，研究数据挖掘分析、动植物本体模型、大数据的农业农村应用场景，形成农业数据关联预测、农业数据预警多维模拟等能力，提高农业监测预警的准确性。在兼顾数据资产安全、数据合规风险、数据生产效率的前提下，建设数据流动风险的防治体系，平衡数据流动与数据安全问题，同时提升各利益相关方的协同治理能力；提出关键信息的软硬件基础设施应用国家标准，增强对数据物理流动的溯源与安全预警能力。

（三）智能农机装备研发应用工程

智能农机技术以卫星导航应用为核心，整合了传感器、大数据、决策支持等功能，因而需要从智能传感器、智能导航、精准化作业、运营管理等方面开展研究[24]。①立足敏感性材料、核心芯片的技术与产品能力，研发农机装备专用智能传感器，用于机体性能、环境状态、作业情况等的信息传输。②应用机组定位、星基增强导航等技术，研发农机装备智能导航系统，提升农机导航的精准性与稳定性，保障农机装备自动化作业水平。③开展农机装备作业过程实时分析、智能化农机决策与控制研究，建立并验证农机装备智能化、精准化作业技术，实

现精准播种、智能灌溉、智能施肥(药)等功能,提升农机作业水平与质量。④跟踪和应用信息技术,开展农机装备智能化运营管理研究,实现农机装备远程智能调控、智能预警、智能诊断、协同作业等功能,提升农机装备的运营管理效率。

(四) 农业信息服务示范工程

农业信息服务主要依托智能化技术手段,为农业供应链(含生产、存储、运输、销售)提供高质量的信息服务能力,提升农业生产效率和市场竞争力;是促进农业供给侧改革的重要途径、实现农业可持续发展的战略选择。我国农业信息服务迈入了智慧农业信息服务的初级阶段,仍存在数据共享程度与数据分析挖掘能力不足、信息服务供需不匹配、资源配置不合理等现象,因而基于信息的可靠传输、对信息的深入分析来开展农业生产性服务,需求强烈。开展基于新一代信息技术的农业信息服务工程建设,推动大数据技术与农业生产性服务的深度融合,以数据创新应用引导农业生产、提供精准服务 [25,26]。

深入推进“宽带中国”战略,支持第五代移动通信等新基建工程向农业农村地区延伸,为农业信息服务提供底层基础设施支撑。针对农业区域的生态性、分散性、品种类型、种养方式特点,以各级农业产业园、农业科技园区、重点农产品生产基地为重点形式,开展农业信息服务试点示范。面向农村新型农业经营主体,通过深度学习方法整合跨媒体、海量、碎片化的农业信息知识,建立综合农业知识中心,提供高效便捷、简明直观、双向互动的农业知识主动服务。搭建统一的智慧农业信息平台,培育信息服务专业组织(线上、线下),开展农机资源实时调用服务信息、农资信息、农事安排、作物植保、病虫害防治指导、农业保险、技能培训等服务。提升企业的服务主体地位,支持涉农信息服务企业提供农业生产服务领域的智能解决方案与服务,构建以满足农业经营主体多样化、个性化信息服务需求为目标的多元化服务体系。

(五) 果蔬商品化处理智能感控技术与装备研发示范工程

相比发达国家,我国冷链物流体系发展起步较晚,在冷链物流管理运营方式、法律法规监管体制

及基础硬件设施等方面还存在不足与隐患,如冷链断链、环境温湿度波动或分布不均、冷链流通过程不透明等现象,导致采后苹果在冷链流通过程中(即采后预冷、运输、贮藏及销售环节)的损失率高达15%~25%。冷链各环节制冷条件操控不当或各环节之间缺乏无缝交接保障(即断链),都将影响果品所需适宜低温高湿环境的稳定性,从而影响冷链流通中通风箱体内部风场、温度场及湿度场的均匀性及稳定性分布,导致果品品质下降。因此,明确冷链环境温湿度波动与果品品质劣变交互机理,对改善冷链各环节环境温湿度分布均匀性及保障果品品质安全具有重要意义。

针对我国果蔬商品化处理低端化的现状,开展果蔬商品化处理过程中预冷、分选、包装、贮存、配送等关键操作环节数据信息收集、感知、控制,果蔬成熟度预判及品质分选等技术研究;构建果蔬贮藏期和货架期精准预测数学模型,建立配套的智能化预判技术;提出我国大宗及特色果蔬成熟度精准判断标准规程,制定果蔬智能化分级标准;研发果蔬商品化处理智能感控技术配套装备。建立现代化的果蔬商品化处理智能装备和技术示范基地。

六、对策建议

(一) 加大农业科技创新投入并优化结构

长期以来,我国农业科技投入强度偏低、结构不合理,建议进一步加大现代智慧农业科技投入规模,优化科技投入结构。农业科技创新因其公益性、排他性,产生的社会效益大于私人收益;为了克服“搭便车”问题,需要新的市场条件下,发挥政府的引导作用,合理加大对现代智慧农业科技创新、转化、推广的财政支持力度。建议成立现代智慧农业科技创新重大专项基金,用于扶持农业生产前沿技术科技攻关,支持发挥农业重大科研成果的技术带动与示范作用。国际经验表明,私人研发投入与公共研发投入具有互补性;建议制定相关激励措施,引导社会组织、农业企业积极开展现代智慧农业科技创新研究,从而形成稳定的农业科技投入机制及多元化的投资格局。

(二) 建立农业“产学研”创新联盟

“产学研”创新联盟是知识经济背景下农业生

产方式的重要组织形式,有利于不同创新主体的优势互补、资源协同,拉长创新价值链,构建现代智慧农业的核心竞争力和创新能力。建议科研院所、高校、管理部门协同参与,突出农业企业的主体作用,重构我国现代农业科技创新体系,通过创新价值链发挥预设效用、形成协同合作关系;在金融、财政、税收等方面给予配套政策支持,完善联盟内不同创新主体的利益分配机制,加快农业产业结构的转型升级,激发农业科技创新体系动力;进一步实施科技兴农战略,加大农业科研人才培养,培育新型农民群体,构建多样化的人才激励机制,提高人力资本储备并给予充足支持。

(三) 完善农业科技创新激励政策

农业科技创新具有不确定性和风险,我国农业科技创新不足的原因之一即农业科技创新动力缺失。建议剖析现代智慧农业发展特点,针对性完善农业科技创新激励政策体系。保持合理的政府采购支持力度,尤其是扶持现代智慧农业重大创新成果。鼓励多元化投入主体参与现代智慧农业创新活动,激发农业科技投入积极性,支持农业从业者积极运用创新成果,同步加强农业知识产权保护。引导民间资本进入并深度参与农业企业创新活动,提高企业创新的抵御风险能力。建设农业科技成果转化平台,丰富信息交流渠道,降低市场信息不对称,利于现代智慧农业的科技成果转化与商业化、产业化。完善农业科技考核评价体系,统筹评价农业科研成果的学术价值、应用可行性、产业适用性;推动农业科技链与农业产业链的有机结合,以共享科技超额产出的形式激发科研人员积极性。

参考文献

- [1] 李瑾,马晨,赵春江,等.“互联网+”现代农业的战略路径与对策建议[J].中国工程科学,2020,22(4):50-57.
Li J, Ma C, Zhao C J, et al. Strategic path and countermeasures for developing Internet plus modern agriculture [J]. Strategic of CAE, 2020, 22(4): 50-57.
- [2] 赵春江,李瑾,冯献,等.“互联网+”现代农业国内外应用现状与发展趋势[J].中国工程科学,2018,20(2):50-56.
Zhao C J, Li J, Feng X, et al. Application status and trend of “Internet plus” modern agriculture in China and abroad [J]. Strategic of CAE, 2018, 20(2): 50-56.
- [3] 李瑾,冯献,郭美荣,等.“互联网+”现代农业发展模式的国际比较与借鉴[J].农业现代化研究,2018,39(2):194-202.
Li J, Feng X, Guo M R, et al. The international comparison, tendency and reference of the development mode of “Internet+” modern agriculture [J]. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(2): 194-202.
- [4] 李道亮.农业4.0——即将到来的智能农业时代[J].农学学报,2018,8(1):215-222.
Li D L. Agriculture 4.0, the approaching age of intelligent agriculture [J]. Journal of Agriculture, 2018, 8(1): 215-222.
- [5] 李瑾,赵春江,秦向阳,等.现代农业智能装备应用现状和需求分析[J].中国农学通报,2011,27(30):290-296.
Li J, Zhao C J, Qin X Y, et al. Application situation and requirements analysis of modern agricultural intelligent equipment [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(30): 290-296.
- [6] 李瑾,冯献,郭美荣.我国农业信息化发展的形势与对策[J].华南农业大学学报(社会科学版),2015(4):9-19.
Li J, Feng X, Guo M R. Analysis and countermeasures for the development of agricultural informatization in China [J]. Journal of South China Agricultural University(Social Science Edition), 2015(4): 9-19.
- [7] 翟红霞.拖拉机技术发展现状及趋势研究[J].农业科技与装备,2014,2(2):61-62.
Zhai H X. Research status and trend of technical development of tractors [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2014, 2(2): 61-62.
- [8] 谢斌,武仲斌,毛恩荣.农业拖拉机关键技术发展现状与展望[J].农业机械学报,2018,49(8):1-17.
Xie B, Wu Z B, Mao E R. Development and prospect of key technologies on agricultural tractor [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 1-17.
- [9] 朱登胜,方慧,胡韶明,等.农机远程智能管理平台研发及其应用[J].智慧农业,2020,2(2):67-81.
Zhu D S, Fang H, Hu S M, et al. Development and application of an intelligent remote management platform for agricultural machinery [J]. Smart Agriculture, 2020, 2(2): 67-81.
- [10] 江泽林.把握新时代农业机械化的基本特性[J].农业经济问题,2019(11):4-14.
Jiang Z L. Grasping the basic characteristics of agricultural mechanization in the new era [J]. Issues in Agricultural Economy, 2019(11): 4-14.
- [11] 李中华,李玉荣,丁小明,等.设施农业生产信息化发展重点研究[J].中国农机化学报,2016,37(3):225-229.
Li Z H, Li Y R, Ding X M, et al. Research on the development emphases of informationization in facility agricultural production [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2016, 37(3): 225-229.
- [12] 马洪涛,赵逸霄,童一飞.面向智能制造的智慧农业装备信息化系统[J].中国农机化学报,2020,41(11):171-177.
Ma H T, Zhao Y X, Tong Y F. Research on intelligent agricultural equipment information system for smart manufacturing [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(11): 171-177.
- [13] 吴海华,方宪法.新时期我国农业装备产业科技创新发展研究[J].农业工程,2020,10(5):1-7.
Wu H H, Fang X F. Scientific and technological innovation and development of Chinese agricultural machinery industry in new stage [J]. Agricultural Engineering, 2020, 10(5): 1-7.
- [14] 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.
Sun Z F, Du K M, Zheng F X, et al. Perspectives of research

- and application of big data on smart agriculture [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(6): 63–71.
- [15] 赵星, 廖桂平, 史晓慧, 等. 物联网与云计算环境下的农业信息服务模式构建 [J]. *农机化研究*, 2012, 34(4): 142–147.
Zhao X, Liao G P, Shi X H, et al. The construction of agricultural information service system which combines the technology of the Internet of things and cloud computing [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(4): 142–147.
- [16] 程曼, 袁洪波, 蔡振江, 等. 田间作物高通量表型信息获取与分析技术研究进展 [J]. *农业机械学报*, 2020, 51(S1): 314–324.
Cheng M, Yuan H B, Cai Z J, et al. Review of field-based information acquisition and analysis of high-throughput phenotyping [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2020, 51(S1): 314–324.
- [17] 李瑾, 孙留萍, 郭美荣, 等. “互联网+”农机: 产业链融合模式、瓶颈与对策 [J]. *农业现代化研究*, 2017, 38(3): 397–404.
Li J, Sun L P, Guo M R, et al. “Internet +” agricultural machinery: The mode, the bottleneck, and the countermeasures of the industry chain integration [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(3): 397–404.
- [18] 罗锡文, 廖娟, 邹湘军, 等. 信息技术提升农业机械化水平 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(20): 1–14.
Luo X W, Liao J, Zou X J, et al. Enhancing agricultural mechanization level through information technology [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(20): 1–14.
- [19] 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.
Li D L, Yang H. State-of-the-art review for Internet of things in agriculture [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2018, 49(1): 1–20.
- [20] 韩佳伟, 李佳铖, 任青山, 等. 农产品智慧物流发展研究 [J]. *中国工程科学*, 2021, 23(4): 30–36.
- Han J W, Li J C, Ren Q S, et al. Development strategy of intelligent logistics for agricultural products [J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(4): 30–36.
- [21] 杨天阳, 田长青, 刘树森. 生鲜农产品冷链储运技术装备发展研究 [J]. *中国工程科学*, 2021, 23(4): 37–44.
Yang T Y, Tian C Q, Liu S S. Technology and equipment for cold-chain storage and transportation of fresh agricultural products [J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(4): 37–44.
- [22] 杨其长. 植物工厂的发展策略 [J]. *科技导报*, 2014, 32(10): 20–24.
Yang Q C. Developmental strategy of plant factory [J]. *Science & Technology Review*, 2014, 32(10): 20–24.
- [23] 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.
- [24] 吴海华, 胡小鹿, 方宪法, 等. 智能农机装备技术创新进展及发展重点研究 [J]. *现代农业装备*, 2020, 41(3): 2–10.
Wu H H, Hu X L, Fang X F, et al. Research on the progress and future development of technological Innovation of intelligent agricultural machinery [J]. *Modern Agricultural Equipment*, 2020, 41(3): 2–10.
- [25] 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.
Zhao C J, Li J, Feng X. Development strategy of smart agriculture for 2035 in China [J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(4): 1–9.
- [26] 陈威, 郭书普. 中国农业信息化技术发展现状及存在的问题 [J]. *农业工程学报*, 2013, 29(22): 196–205.
Chen W, Guo S P. Current situation and existing problems of agricultural informatization in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(22): 196–205.