

智能农机装备产业现状及发展建议

欧阳安¹, 崔涛², 林立³

1. 工业和信息化部装备工业发展中心, 北京 100846

2. 中国农业大学工学院, 北京 100083

3. 农业农村部农业机械化推广总站, 北京 100125

摘要 智能农机作为传统农机的智能化升级, 是智慧农业的重要组成部分和重要物质基础。梳理了国内外智能农机相关政策、技术和产业发展现状, 从关键核心技术、共性基础标准、数字化基础设施、企业竞争能力、人才法规要素等方面, 分析了当前中国智能农机发展面临的挑战, 提出应从加快关键核心技术攻关, 加强标准检测体系建设, 加大宜机化数字化改造, 培育发展优质企业, 营造良好生态环境等方面加快提升智能农机装备综合实力和竞争力, 促进中国农机装备产业高质量发展。

关键词 智能农机; 数字化基础设施; 标准检测体系

当前, 新一轮科技革命和产业变革加速发展演进, 传统的农业生产方式已经无法适应现代社会发展的需求, “谁来种地, 怎样种地” 日益成为中国乃至全世界农业生产共同面临的重大问题^[1]。农机装备是现代农业生产发展的物质基础, 是实现农业农村现代化最基本的物质保证和核心支撑。随着人工智能、物联网、大数据等新兴技术与农业生产加快融合, 农业生产已进入网络化、数字化、智能化发展的新时代^[2]。智能农机作为智慧农业的先进生产力, 可大幅提高劳动生产率、土地产出率和资源利用率, 有助于实现农业生产全过程的数字化感知、智能化决策、精准化作业和智慧化管理, 是解决当前

农业生产面临问题的重要途径, 现已成为未来农机装备的发展方向 and 世界各国竞争的焦点^[3]。

近些年, 欧美发达国家纷纷提出智慧农业发展战略, 把智能农机发展摆在突出位置, 加大农业物联网、农业传感器、农业大数据、农业机器人、农业区块链等智能农机关键技术研发攻关, 为中国提供了可借鉴的经验。2017年, 欧洲农机工业学会提出了“农业 4.0 (Farming 4.0)” 计划, 强调智慧农业是欧洲农业发展的主要方向; 美国农业部出台“2018—2022年战略规划”, 重点支持人工智能、自动化与遥感技术在农业领域的应用^[4]。近年来, 中国产业界学术界积极跟踪国外技术和产业发展动

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2022-06-06

作者简介: 欧阳安, 博士, 研究方向为智能农机装备技术与产业发展, 电子信箱: oyangann@foxmail.com

引用格式: 欧阳安, 崔涛, 林立. 智能农机装备产业现状及发展建议[J]. 科技导报, 2022, 40(11): 55-66; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.

向,对智能农机及智慧农业发展进行了深入研究,发表了系列研究成果。陈学庚等^[5]认为农业机械与信息技术融合是中国现代农业机械发展的必然趋势,利用信息技术促进农业机械的发展,能够提高农业生产效率。罗锡文等^[6]认为将物联网、卫星定位、传感技术和智能控制等信息技术应用于传统的农机装备,从而可实现农业生产过程的数字化感知、智能化决策、精准化作业和智慧化管理。赵春江等^[7]认为聚焦农业智能装备制造、农业传感器与测控终端设计及制造等重点创新领域,发展智慧农业是推动中国农业高质量发展、促进乡村全面振兴的重要内容。

目前,中国智能农机装备相关技术研究仍处于起步阶段,与世界先进水平还存在较大差距。发展智能农机装备是中国抢抓农机智能化发展机遇的时代要求,是保障粮食安全和重要农产品供给的重要支撑,对推动农机装备高质量发展、推动中国从“农机大国”向“农机强国”转变具有重要意义。本

研究对国内外智能农机政策、技术以及产业发展现状进行了梳理,对中国智能农机装备产业当前面临的问题进行探讨和分析,并提出相关发展建议。

1 智能农机装备内涵与特征

智能农机装备融合土壤、植物、农机和农艺等知识信息,集成机械、电子、信息、控制等多领域高新技术,能够对农业生产的“土壤-作物-环境-装备”全环节的信息进行感知,并通过构建的自动控制与优化决策系统,可准确和高效地完成农业生产耕、种、管、收等环节作业任务^[8-10]。目前,智能农机装备主要包括大田智能农机装备、设施种栽培智能装备、设施养殖智能装备等产品,广泛应用于耕作、种子繁育与播种施肥、植物保护与田间管理、收获及收获后处理、节水灌溉、畜牧与养殖、设施农业等农业生产全过程,具有智能感知、智能决策、精准作业和智能管控等四个方面技术特点,如图1所示。

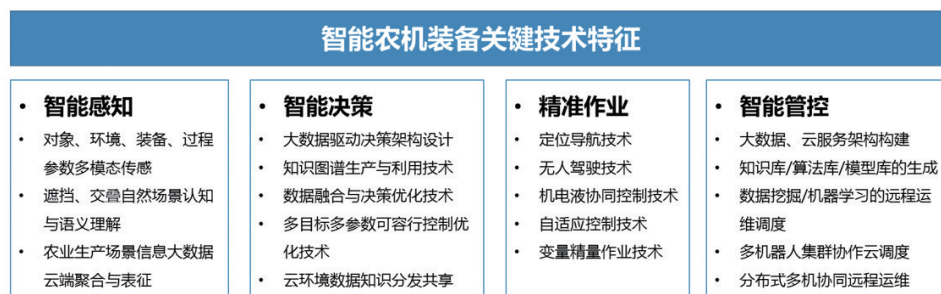


图1 智能农机装备四大关键技术特征

1) 智能感知技术。

智能感知技术是指智能农机通过传感器对作业环境、对象信息参数、自身工作状态参数的感知能力,包括智能农机对作物生长及病虫害信息的检测,对农田土壤水肥酸碱度等信息的获取,对农田作业环境中障碍信息的识别,以及农机对发动机信息、扭矩信息等共性参数的测量和对作业参数的精确检测。

2) 智能决策技术。

智能决策是智能农机进行精准控制和高效高质量作业的基础和保障。智能农机通过机器学习算

法分析传感器的作业数据,结合知识库和数据库的信息,制定变量作业或者路径规划的策略,主要用于变量施肥播种方案的制定、最优行使路径规划、农机的主从协同控制和共同作业控制等。

3) 精准作业技术。

通过定位导航、无人驾驶技术与智能控制技术相结合,农机装备可实现精准化智能化作业。其中,自动定位和导航技术是实现自动驾驶的基础,目前大多农机装备处于行驶阶段自动驾驶和人工辅助机具控制的辅助驾驶阶段。智能控制和精准作业核心技术包括智能农机机内的总线控制、主机

与机具电子控制单元(ECU)控制、电液提升控制、机具的智能决策控制等技术。

4) 智能管控技术。

智能管控主要包括农机装备的状态终端监控、农机大数据云服务架构和知识库/算法库/模型库的构建等。在云平台决策管控中心,可开展农机调度监控和远程调度管控,查看设备故障信息,进行远程诊断维护,实现农机装备的网络化管理。

智能农机装备作为智慧农业生产系统的重要组成部分,与智能化生产信息采集设施、生产管理信息化平台共同形成闭环系统,通过大数据指导生产运行,以智能感知、智能决策、精准作业、智能管控为核心,推动农业生产方式向节本、高效、精准、绿色方向发展。

2 中国智能农机产业发展现状

中国是世界农机装备第一制造大国和使用大国,已形成65个大类、4000多个机型品种的农机装备产品系列,能够满足国内90%以上的市场需求,为农作物综合机械化率超过71%提供了有力支撑保障。近年来,随着农业农村现代化进程加快推进,中国智能农机装备发展取得积极成效,初步形成了信息化、智能化的技术和产业基础。

2.1 主要支持政策

党中央、国务院高度重视农机装备产业的发展,国家层面出台的系列政策也为智能农机助力农业农村现代化发展提供了重要保障,如表1所示。2018年国务院发布《关于加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的指导意见》^[11],提出要加快精准农业、智能农机、绿色农机等标准制定,构建现代农机装备标准体系,促进物联网、大数据、移动互联网、智能控制、卫星定位等信息技术在农机装备和农机作业上的应用。《国民经济和社会发展的第十四个五年规划和2035远景目标纲》^[12]指出要推广大田作物精准播种、精准施肥施药、精准收获,推动设施园艺、畜禽水产养殖智能化应用。

工业和信息化部发布的《“十四五”机器人产业发展规划》提出十四五期间要研制果园除草、精准

植保、果蔬剪枝、采摘收获、分选,以及用于畜禽养殖的喂料、巡检、清淤泥、清网附着物、消毒处理等农业机器人^[13]。农业农村部发布的《“十四五”全国农业机械化发展规划》提出要大力推广基于北斗、5G的自动驾驶、远程监控、智能控制等技术在大型拖拉机、联合收割机、水稻插秧机等机具上的应用,引导高端智能农机装备加快发展^[14]。

“十三五”以来,国家部委通过专项或补贴等方式支持智能农机关键技术突破和重点产品产业化攻关。工业和信息化部支持企业对无人驾驶装备、智能收获设备等产品开展研发攻关和工程化验证;农业农村部通过购置补贴将北斗导航系统、植保无人机等关键部件和产品纳入补贴目录,给予价格优惠;科技部国家重点研发计划设立“智能农机装备”重点专项,推动农机作业信息感知与精细生产管控应用基础研究、农机智能作业管理等关键技术研究,开展智能农业动力机械、高效精准环保多功能农田作业装备、粮食和经济作物高效智能收获装备、设施智能化精细生产装备等重大装备研究等^[15-16]。

2.2 技术及产业现状

在相关政策的大力支持下,国内企业和科研院所密切跟踪国外技术和产业发展动向,加大研发创新力度,智能农机装备关键技术攻关取得积极进展,产业发展步伐加快。主要体现在以下5个方面。

1) 智能化核心技术创新能力不断提升。

近年来,依托国家部署实施的大量农业装备科技创新项目,农业专家系统、农业智能装备、北斗自动驾驶等智慧农业科技先后取得了突破^[7]。高校院所、企业在智能农业动力机械、智能装备控制与导航技术、农机装备智能化设计与验证关键技术、农机智能作业管理关键技术等方面开展了专项研究工作,初步构建形成了自主完善技术研究体系,提升了自主科技创新能力^[17-18]。早作作物栽植技术、农作物生产过程监测与水肥药精量控制施用技术、土壤植物和动植物对象信息感知与跟踪技术、环境信息实时监测、远程智能化自动测控等技术攻关取得积极成效,为农业全程信息化和机械化技术体系构建奠定了基础。作物叶片、个体、群体

表1 近5年中国智能农机相关政策

发布日期	政策	相关内容
2017年7月	新一代人工智能发展规划	研制农业智能传感与控制系统、智能化农业装备、农机田间作业自主系统等。建立完善天空地一体化的智能农业信息遥感监测网络。建立典型农业大数据智能决策分析系统,开展智能农场、智能化植物工厂、智能牧场、智能渔场、智能果园、农产品加工智能车间、农产品绿色智能供应链等集成应用示范
2018年12月	国务院关于加强推进农业机械化 and 农机装备产业转型升级的指导意见	加快精准农业、智能农机、绿色农机等标准制定,构建现代农机装备标准体系。促进物联网、大数据、移动互联网、智能控制、卫星定位等信息技术在农机装备和农机作业上的应用。编制高端农机装备技术路线图,引导智能高效农机装备加快发展。推进智能农机与智慧农业、云农场建设等融合发展
2020年1月	数字农业农村发展规划(2019—2025年)	突破农机装备专用传感器、农机导航及自动作业、精准作业和农机智能运维管理等关键装备技术,推进农机农艺和信息技术等集成研究与系统示范,实现农机作业信息感知、定量决策、智能控制、精准投入、个性服务。实施农业机器人发展战略,研发适应性强、性价比高、智能决策的新一代农业机器人,加快标准化、产业化发展
2021年2月	中共中央国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见	提高农机装备自主研制能力,支持高端智能、丘陵山区农机装备研发制造。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
2021年3月	国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035远景目标纲要	农机方面的数字化应用场景为:推广大田作物精准播种、精准施肥施药、精准收获,推动设施园艺、畜禽水产养殖智能化应用
2021年12月	“十四五”机器人产业发展规划	面向制造业、采矿业、建筑业、农业等行业,重点推进工业机器人、服务机器人、特种机器人重点产品的研制及应用。研制果园除草、精准植保、果蔬剪枝、采摘收获、分选,以及用于畜禽养殖的喂料、巡检、清淤泥、清网衣附着物、消毒处理等农业机器人
2021年12月	“十四五”全国农业机械化发展规划	积极引导高端智能农机装备投入农业生产,加快提升农机装备“耕、种、管、收”全程作业质量与作业效率。大力推广基于北斗、5G的自动驾驶、远程监控、智能控制等技术在大型拖拉机、联合收割机、水稻插秧机等机具上的应用,引导高端智能农机装备加快发展。加快播种、施肥施药、收获等环节智能装备的广泛应用,推动设施园艺、畜禽水产养殖、农产品初加工的机械化、自动化、智能化装备应用
2022年2月	中共中央 国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见	加快大马力机械、丘陵山区和设施园艺小型机械、高端智能机械研发制造并纳入国家重点研发计划予以长期稳定支持

3个尺度养分、生理信息检测技术,土壤水、盐和养分检测技术,农业复杂环境下信息低能耗、低成本和稳定传输技术等研发成果,为实现基于实测信息和满足植物生长需求的物联网肥、水、药精准管理和设施协同调控提供了有力支撑。

2) 大田智能作业装备应用逐渐兴起。

目前,中国在耕种管收田间作业、农产品产地

加工及储运、设施园艺及养殖等智能农机装备方面,已经具备了500多种智能产品研发生产能力。北斗自动驾驶系统已在大田种植中规模化应用,植保无人机飞控技术世界领先,目前保有量已超过10万架,装备总量、作业面积位居全球第1。大型动力、复式整地、变量施肥、精量播种、高效收获等关键技术的不断取得进步,形成了适应不同生

产规模的主粮全程作业装备技术与产品配套体系,并延伸拓展应用于棉花、番茄、甘蔗、花生、马铃薯等优势经济作物环节装备^[19]。

智能重型拖拉机实现了无级变速传动技术应用开发,极大地推动中国大型拖拉机自主化。10 kg/s及以上大喂入量谷物联合收割机集北斗卫星导航技术、控制器局域网络(CAN)总线、在线测产等智能化技术,与世界主流技术的差距逐步缩减;自主研发的智能收获机,通过人工智能视觉技术、高精度传感器来感知收获环境、目标,导入算法模型进行数据分析处理,生成最优的农机参数调整控制指令,传递给整车控制系统,使收获作业更加精准、高效^[20];采棉机采棉头、智能控制系统等关键零部件实现自主化,3行采棉机可满足小规模棉花收获需求,6行大型智能采棉机可实现采棉打包一体化;饲草、加工番茄、甘蔗、花生、甜菜等经济作物收获装备智能化升级逐步开展;智能施肥施药机械、基于机器视觉识别技术的田间除草机器人、农田施药无人机实现示范应用。

3) 设施园艺及农产品加工装备向成套式发展。

中国无人化设施养殖发展势头强劲,无土栽培、立体种植、自动化管理的设施农业成套技术设备已具有自主知识产权,并逐步打入国际市场^[21]。随着物联网和智能控制技术的应用,人工智能识别技术、智能机器人技术等广泛应用于新型养殖设施、环境调控、养殖数字化监控与远程管理、饲料营养加工及快速溯源与在线检定、个性化饲喂设备、养殖场废物环保处理等猪、鸡、水产、奶牛养殖成套技术与设施设备中,养殖集约化、机械化、智能化水平大幅提升,提高了劳动生产率、土地产出率和资源利用率^[22]。上海浦东智能种苗工厂已实现全程智能化生产,配置的智能环控系统能在线感知温室内的土壤温度、湿度,空气温度、湿度,光照、二氧化碳、雨雪等参数,通过传感器可自动控制电磁阀和水泵、施肥系统,以及加温设备、加湿设备、二氧化碳发生器等,使温室内环境始终维持在适宜作业生长的最优范围内^[21]。草莓、西红柿等的智能采摘机器人已经开展试验示范,通过机器视觉和末端执行

器等技术对水果和蔬菜实现自动采摘作业,降低果蔬采摘成本,提高农民收入^[23-24]。针对畜禽不同生理生长阶段对养分的动态需求差异,国内已研发了犊牛精准饲喂机、奶牛分群管理精准饲喂系统、自走式精准撒料机、生猪自动化液态饲喂设备、智能化奶羊饲喂站等产品,实现了畜禽智能化饲喂装备关键核心技术突破^[25-26]。研发的大宗粮食产地集中烘干、果蔬产地保质贮藏、果蔬及棉花等在线检测与分选分级、自动化家禽屠宰等技术装备,可提升农产品加工增值减损能力和能源利用率^[5]。

4) 无人农业示范已分区域分作物逐步开展。

无人农场作为实现智慧农业的重要途径,已在多区域开展试验示范^[19]。黑龙江、江苏、广西、内蒙古、新疆、重庆等15个省(区、市)已建立26个无人农业作业试验区,正在逐步推进甘蔗、马铃薯、棉花、油菜等作物的全程无人化作业示范。

无人农业示范推动了智能农机快速发展。“东方红”“欧豹”无人驾驶拖拉机、“谷神”无人驾驶联合收割机可实现收割机与运粮车的主从导航无人驾驶,“丰疆”高速无人驾驶插秧机可实现水田原地掉头对行、秧盘自动提升。大疆、极飞等品牌电动多旋翼机型能够精准导航、主动避障、定量施药,可相对稳定、安全开展规模化作业服务。新疆兵团使用卫星导航自动驾驶技术开展棉花种植,整个作业季每台机具较手动驾驶平均多播种1000亩,土地利用率高可提0.5%~2.5%,棉花精准施肥能够节肥15%,单产增加5%左右。华南农业大学在多地建立了水稻无人试验农场,集成耕种管收全环节智能农机装备,实现了机库田间转移作业全自动、自动避障异况停车、生产过程实时监控和智能决策精准作业等,为解决“谁来种田”和“如何种田”的问题提供了无人化技术方案^[19]。

5) 企业加快布局智能化和电动化创新产品。

传统企业智能化产品不断完善。潍柴雷沃重工股份有限公司研制了商业化CVT智能拖拉机—P7000系列;中国一拖集团有限公司研制了LF2204动力换向无人驾驶拖拉机;广西柳工机械股份有限公司生产出系列无人驾驶甘蔗收获机;中国铁建重工集团股份有限公司研制了4QZ-6000高端青贮收

获机和4MZ-6型高端智能采棉机等,配置了智能控制系统,实现了整机质量和效率的提升。国家农机装备创新中心研制了“5G+氢燃料”电动拖拉机和100马力轮边电动拖拉机样机,江苏沃得农业机械股份有限公司、中联重科股份有限公司、东风井关农业机械有限公司等均在开展智能农机装备产品研发生产。广西玉柴机器集团有限公司、潍柴动力股份有限公司等已生产符合最新排放标准的非道路国IV柴油机,关键零部件配套能力不断加强。汽车、工程机械、电子信息等行业企业加快跨界布局,碧桂园集团自主研发300马力大型无人拖拉机作业机组、300马力大型无人联合收割机及智控平台;三一重工股份有限公司继徐工集团工程机械有限公司之后入局农机领域,开展智能农机装备研发制造;比亚迪集团布局新能源农业叉车,北京博创联动科技有限公司、南京天辰礼达电子科技有限公司、上海联适导航技术股份有限公司、丰疆智能科技股份有限公司、苏州极目机器人科技有限公司等企业在智能导航、自动驾驶、作业监测、物联网平台、智能采摘机器人、数字化管理平台等方面均有产品上市。

3 国外智能农机发展现状

近10年来,美国、欧盟、加拿大、日本等发达国家高度重视智能农机发展,纷纷制定相关发展战略和科技研发计划,抢占智能农机发展的制高点,不仅农业生产基本实现全面机械化,智能农机装备也处于领先水平。

3.1 主要战略部署

美国积极推动农机装备与电子信息技术的深度融合,20世纪90年代中期,就已在农机装备上应用卫星导航系统,其智能装备在农场已实现规模化应用,基本形成较为完备的精准农业技术、智能农机装备和相应的服务体系。2018年,美国国家科学院、美国工程院和美国医学科学院联合发布了《Science breakthroughs to advance food and agricultural research by 2030》报告,将动植物及微生物等新一代传感技术、农业大数据科学和信息技术列为亟待突破的关键核心技术^[27]。美国陆军助理部长

办公室发布的《Emerging science and technology trends: 2016—2045》将物联网、机器人与自动化系统、混合现实、数据分析等列为最值得关注的科技发展趋势。美国国家科学技术委员会发布“国家人工智能研发战略计划”,将农业列为人工智能优先应用发展的重点领域之一,支持开展人工智能技术研发和应用。美国农业部、国家科学基金会连续多年将农业机器人列入国家机器人计划重点方向,2021年提出未来四年内将支持15~30项农业机器人项目。加拿大2015年发布《MetaScan3: 新兴技术与相关信息图》报告,强调未来5~10年土壤与作物感应器(传感器)、家畜生物识别技术、农业机器人等技术将颠覆传统农业生产方式,同年,日本启动了“基于智能机械+智能IT的下一代农林水产业创造技术”项目,聚焦“信息化技术+智能化装备”,将大力发展以农业机器人为核心的无人农场^[4]。

3.2 技术及产业现状

发达国家智能农机相关技术研究和产业发展起步较早,以美国为代表的智慧大田农业、以德国为代表的智慧养殖业、以日本为代表的小型智能装备业、以荷兰为代表的智能温室产业发展迅速,已形成较为成熟的产业体系和商业化的发展模式。综合看,国外智能化水平领先,产业发展呈现以下5方面特点。

1) 全球市场需求增长,数字信息化技术应用步伐加快。

20世纪90年代,美国、德国、日本等经济发达国家的种植业和养殖业就已进入高度机械化阶段,农机装备加快向自动化、信息化和智能化方向发展^[28],在动力机械、田间作业、设施农业、畜禽养殖方面基本形成较为完备的精准农业技术、智能农机装备和相应的服务体系。全球智能农机和智慧农业规模快速增长,据市场研究机构Market and Markets分析,2020年全球智能农机市场为46亿美元,2025年将达到203亿美元,年复合增长率达34.5%;据国际咨询机构Research and Markets分析,2019年全球智慧农业市值167亿美元,2027年将达到292亿美元,2021—2027年年复合增长率将达到9.7%^[29]。

2) 智能感知、智能决策关键核心技术处于领先地位。

农业传感器领域,感知元器件、高端农业环境传感器、动植物生命信息传感器、农产品品质在线检测设备等相关技术产品已被美国、德国、日本等国家垄断^[4]。欧美发达国家利用光谱技术对土壤养分、重金属含量等参数进行测量,将微纳米传感器植入动植物生命体内,可实时监测多个环境和动植物生命信息的特征参数,预测动植物疾病产生,从而实现各种食品和农业学科相关指标的快速检测和监测。美国精密种植公司的 Smart Firmer 传感器、Delta Force 压力传感器能够实时感知土壤的有机质含量、种床清洁度、温度、分层土壤含水率及土壤坚实度等信息,依据调控策略实现播种参数的最优调整。美国 Veris technologies 公司的 iScan 车载传感器可以实时检测土壤的质地、含水率、温度、土壤阳离子交换容量、有机质含量等信息,为后续作业决策提供依据。

在农业数字模型与模拟、农业认知计算与农业知识发现、农业可视交互服务引擎等技术、算法和模型方面,美国、荷兰、以色列、日本等国家处于国际领先地位^[4]。通过图像识别、机器学习等技术,分析农业种植的天气、土壤、动植物生长发育以及相关市场数据等信息,可大幅度提高决策的科学性和准确性^[30]。通过大数据技术应用,利用动植物生长模型指导水、肥、药、光、热等农业生产要素的精准精量调控,农业灌溉水利用系数达到 0.7~0.9、农药利用率达到 60% 以上,化肥有效利用率达到 50% 以上。美国新泽西州的纽瓦克垂直农场通过大数据技术分析环境温度、湿度、二氧化碳及作物长势信息,比传统农场每 0.093 m² 用水减少 95%、肥料减少 50%。

3) 定位导航技术广泛应用,无人驾驶拖拉机即将商用。

目前,全球农机龙头企业的农机卫星导航定位技术已相对成熟,并得到广泛应用。美国凯斯 CASE 公司的 Pro 700 AFS 可与全球定位系统 (GPS) 定位接收机连接,通过 AFS AccuGuide 程序完成农机的定位导航和远程管理。科乐收 Class 公

司推出 GPS PILOT 解决方案,通过高精度 GPS 接收机的配合,收获机械的激光传感器可检测已收割作物和未收割作物之间边缘的精确位置。约翰迪尔公司研制出使用 RTK-GPS 技术的解决方案的研制出 Radio RTK 系列接收机。芬特 Fent 公司也推出了 Vario、Katana、Rogator 等多个系列适用于不同场合的农机定位解决方案。此外,国外主机的配套企业也开发了用于农业装备的定位导航产品,如 Topcon 公司的 Hiper、NET 系列,AgLeader 公司的 GPS 6000 系列,AutoFarm 公司的 GR 系列,天宝公司的 NAV 和 GFX 系列等^[1]。

美国自动驾驶驾驶系统普及率达到 90%,大中型农场的拖拉机、联合收割机等通过自动驾驶系统都已实现自动化作业。凯斯纽荷兰、约翰迪尔、Autonomous Tractor Corporation (ATC) 等企业分别都推出了无人驾驶拖拉机样机,如图 2^[31-33]所示。凯斯的 Magnum 拖拉机配备了全方位感应和探测装置,能够侦测并避开障碍物,并根据实时气象信息等进行自主作业决策,具备远程配置、监测及操作功能。约翰迪尔将于今年推出基于 AutoTrac 解决方案的、具有 GPS 定位和自动转向功能的商用无人驾驶拖拉机。



图2 凯斯CASE、ATC拖拉机、约翰迪尔Deere研制的无人驾驶拖拉机

4) 大田智能农机装备技术成熟,产品覆盖耕种管收全过程。

种收设备方面,美国精密种植公司的 Smart-Depth 系统可根据土壤特性(如土壤湿度)自动精确

控制单粒种子的播种深度,实时测量并读取不同深度的湿度水平。瑞士 EcoRobotix 公司开发的田间除草机器人,可以精准识别杂草并通过机械手臂喷洒除草剂进行除草,农药使用量大幅降低,相关成本节约 30%。约翰迪尔 CP690 自走式打包采棉机可实现不停机作业,并边采摘边打包,短时间实现采摘模式到运输模式的切换,连续作业效率可提高 20%~30%,配备 Row-Sense 对行行走系统,能自动控制机器田间作业转向,采用籽棉含水量实时动态监测系统,通过湿度传感器采集的含水率数据实时调整轧棉效率,有效保证了棉花采收质量^[34]。日本久保田公司推出的农业服务支援系统“久保田智能农业系统(KSAS)”,可联通不同环节农机装备,收集分析信息制定最佳作业计划,依靠联合收割机搭载的与 KSAS 对应的传感器进行量产分析,形成土壤肥力图,在插秧环节能进行电动变量施肥,实现高效精准作业。智能收获机械技术向专业化、高效率、自动化方向发展,半喂入水稻联合收割机总损失率不到 1%,谷物联合收割机达到 530 马力、玉米青饲收割机高达 1073 马力。

植保设备方面,日本油动单旋翼农用无人机应用较早,在作业管理、发动机技术等方面国际领先。加拿大 NORAC 公司设计了一种能使喷杆根据地形轮廓自动进行调整的 UC5 喷杆控制系统^[35],通过超声波传感器对作物高度变化迅速做出反应,可在复杂地形作业中保持喷杆的离地高度,使喷头维持在最佳喷洒位置均匀施药,减少农药在喷药过程中的漂移。

5) 设施栽培智能装备处于领先水平,设施养殖智能装备已规模化应用。

设施栽培方面,欧美日已经实现了环境调控自动化、生产过程无人化、分级包装智能化,温室成套装备制造技术非常成熟,农业机器人也应用非常广泛。如美国 Abundant Robotics 公司开发的苹果采摘机器人,可准确识别成熟的苹果,并且能以 1.5 s 的平均采摘速度连续工作 24 h;日本在设施种植的育苗、嫁接、移栽、植保、施肥、采摘等各环节形成了系列化、全程化的农业机器人产品。以色列、荷兰、德国、英国、澳大利亚、瑞士、法国等国家均有针对

本国特色研发生产的系列农业机器人,管控、巡检、采摘机器人均有小规模使用^[36]。

设施养殖方面,发达国家信息化、智能化技术已在畜牧养殖各个环节中应用,研制建成多种养殖环境自动监控系统平台,形成了适合不同饲养规模和区域特点的生产模式,针对生猪、奶牛、蛋鸡养殖的少人化生产已开展规模化应用^[36]。以色列的 Afimilk、美国的 BOUMATIC、加拿大的 ARROWQUIP、澳大利亚的 Morrissey & Co、荷兰的 LEIY、芬兰的 PELLON、新西兰的 Farmquip 等公司均开展了奶牛精细化养殖饲喂装置研究。

4 中国智能农机装备产业发展存在的问题

国内智能农机装备发展起步晚,尚处于产业发展初期,创新能力不强,技术积累不足,底层技术和关键零部件受制于人,与发达国家相比差距明显。

1) 企业研发投入少,电液控制及传感等关键技术受制于人。企业自主创新能力不强,研发投入不足 2%,设施农业机械化率仅 30% 左右,农业机器人大部分停留在样机阶段,设施养殖智能技术研发能力严重滞后,传感控制核心技术及系统受制于人,电控动力系统、液压驱动系统、总线及控制系统等严重依赖进口,农机导航用陀螺加速度传感器、毫米波雷达等智能专用传感器对外依存度较高,智能收割机脱粒清选性能检测系统、割台自适应控制系统等与国外存在一定差距。与此同时,产业链供应链存在不少风险挑战,上下游协同亟待强化。

2) 智能农机共性基础和关键标准缺失,产品整体质量不高。智能农机标准体系和检验检测认证平台尚未建立,国内现行及在研的相关标准有 104 项,其中国家标准仅 49 项,总量相对较少,基础术语、安全要求等共性基础和关键标准缺失,软硬件技术标准尚未统一^[37]。此外,国内农机整机可靠性水平、作业效率与发达国家产品差距明显,国产拖拉机平均无故障时间(mean time between failure, MTBF)仅为国外产品 30%~50%,国产收获机在整机可靠性、作业效率、智能化程度等方面与国

外差距较大。

3) 农田农艺宜机化条件差,数字化基础设施薄弱。目前部分地区农田宜机化基础条件差,田块分散不平整,导致农机下田难、作业难、掉头多;部分作物种植株成熟度不一致等特征制约机械进行高效种植、低损收获;山地通信网络基础设施建设薄弱,平地、坡地、偏坡地变化组合较多,信息采集工作较大,影响自动驾驶控制精度,农作物表型等农艺知识图谱共性数据资源较少,无法满足智能识别算法所需训练数据需求。田不宜机、艺不适机、数字化基础薄弱等问题突出。

4) 传统农机企业小散弱,综合实力与竞争力不强。中国农机装备行业市场主体众多,但“小散弱”特征明显,2021年中国农机规上企业1776家,实现营业收入仅2860亿,没有超过百亿元的企业。受限于制造成本高、农民购置能力弱等条件,智能农机生产企业相对较少,以大型龙头企业为主,整体上企业综合实力与竞争力不强,龙头企业对产业链提升带动作用发挥不够。

5) 复合型创新研发人才较少,无人驾驶安全法规缺失。目前农业机械化、电子信息领域创新型复合型研发人才缺失,合作社农机实用人员少、总体技能水平偏低,影响了无人农机新技术的推广、示范和运用。农田无人驾驶安全法规缺失,尚无针对无人驾驶设备安全性的法律法规或标准,农机网络信息安全管理机制还不健全。

5 中国智能农机装备产业发展建议

针对目前国内智能农机装备产业发展中存在的问题,为尽快追赶世界先进水平,加快突破关键核心技术,为农业现代化发展提供有力支撑,提出相关对策建议。

5.1 加强关键核心技术攻关,加快提升智能农机技术水平

1) 实施智能农机创新攻关工程。按照智能农机技术路线图,聚焦关键核心技术,明确智能农机核心技术发展方向和推进路径,确定技术攻关突破的任务书、时间表、路线图,加强组织协调,抓好任

务落实,加快推进智能农机硬件基础和应用技术研究,提升智能农机技术水平。

2) 加大重点关键技术攻关支持力度。采取“揭榜挂帅”机制,发挥企业主体作用,推动企业与农户、科研机构、高等学校开展协同创新,建立科企联合创新模式,共同开展项目技术攻关,着力突破动力换挡与无级变速传动、农业传感器与专用芯片、精密排种、高效脱粒与清选、精准作业等智能农机关键核心技术。

3) 加快完善智能农机装备技术创新体系。进一步完善以企业为主体、市场为导向、产学研用深度融合的协同创新机制,建立智能农机装备联盟,培育区域性智能农机装备创新中心,有效汇聚各方面创新要素和资源。

5.2 加强标准和检测体系建设,加快提升智能农机产品质量

1) 加快智能农机标准体系建设。加强智能农机体系框架、术语定义、安全要求等基础标准研制,突破通信控制、农机导航、计量测试等重点标准。推动动力机械与配套农具、主机与配件的标准化、系列化、通用化生产。

2) 加强智能农机装备检测认证。支持建立智能/新能源农机整机及核心零部件检验检测平台,建立自动辅助/无人驾驶测试系统、动力电池及控制系统、无级变速/电动拖拉机测试系统等,提升智能农机整机和零部件安全性、环境适应性、设备可靠性以及可维修性等试验测试和鉴定能力。

3) 实施农机产品质量提升行动。指导督促行业大力开展诚信自律行动和质量提升行动,强化企业质量主体责任,加强农机产品质量监管,加强企业品牌建设。加强知识产权保护和高质量专利培育,鼓励企业就北斗导航技术、无人驾驶系统、农业无人机、新能源拖拉机等关键技术和产品加大专利挖掘力度,加快专利申请布局,抢占国际专利优势地位。

5.3 加快宜机化数字化改造,夯实智能农机推广应用基础

1) 推动农机作业条件和作物品种性状宜机化改造。支持高标准农田建设和丘陵山区宜机化改造,坚持集中连片、规模开发、整体推进,加大田地

平整力度,注重农田农机与沟渠路树结合、桥涵闸站配套,为智能化作业、规模化生产创造条件。支持选育具有宜机化性状特征的作物品种,充分发挥智能化、机械化生产方式增产增收潜力。

2) 加快数字化基础设施建设。利用5G、物联网等信息技术,加快农场设备、基础设施改造,提高农业各环节数据采集和分析能力。打造智能农业信息服务平台,整合农田地图数据、农作物表型识别训练数据、农机智能决策知识图谱数据等,开展农机研发、作业监测、维修诊断、远程调度等,为农业全产业链提供大数据支撑,逐步提升农场管理云应用效应。

3) 打造智能农机应用示范基地。建立重点作物全程机械化/无人化应用示范基地,形成一批无人作业场景、应用标准规范和智慧化生产技术方案。建设数字农业示范基地,推进智能农机与智慧农业、云农场建设等融合发展,探索“互联网+农机作业服务”“全程托管”“全程机械化+综合农事服务”等服务模式,打造智能先进适用农机技术推广应用先导区。

5.4 培育发展优质农机企业,带动智能农机产业链协同发展

1) 支持大企业做优做强、中小企业专精特新发展。鼓励支持优势企业对标世界先进农机装备企业,开展兼并重组、战略合作,由生产单一农机产品向成套全程装备集成转变;鼓励支持中小企业深耕细分领域,打造独门绝技,由生产大宗农机产品向特色、定制经济作物机械以及养殖业和加工业农机装备转变,成为“配套专家”“单项冠军”。

2) 支持优势领域企业跨界形成“制机新势力”。鼓励支持有实力的汽车、工程机械、电子信息等领域企业“跨界”进入智能农机领域,发挥产业优势、技术优势和人才优势,进一步壮大市场主体。鼓励工程机械、轨道交通、汽车等产业配套企业开发面向农业机械的零配件,全面提升产业链配套供给和保障能力。

3) 提升智能农机产业链现代化水平。支持有实力的龙头企业作为“链主”,与上下游零部件企业、科研院所等构建协同创新、稳定配套联合体,构

建以“链主”企业为中心、大中小企业融通发展的产业生态体系。推广应用安全可控传感器和控制软件,确保智能农机产品数据安全;扩大智能农机应用范围,提高农业农村基础数据收集运用水平,进一步提升种子安全、粮食安全、农业安全的保障能力。

5.5 加强要素配置,积极营造智能农机装备发展良好环境

1) 加强顶层设计和战略谋划。制定智能农机产业中长期发展规划,明确10~15年战略目标、任务、路径和政策。推动产业科技金融财税等政策加大协同,把农机关键产品补短板、新机具新技术示范、技术创新攻关目标联动起来,把鼓励创新产品研发与推广应用联动起来,把金融保险支持与补短板、农机服务组织建设联动起来,构建政策接力支持、产品迭代突破的良性发展机制。

2) 加大购置补贴力度,完善智能农机发展政策。将智能农机具纳入农机购置补贴范围,加大对智能、复式、高端产品的补贴力度,实施农机新产品购置补贴试点,支持促进智能农机装备产品技术创新和研发生产。引导金融服务通过保险、贷款、以租代购等方式进一步降低生产主体用机门槛。修订完善智能农机装备应用的政策和法规,规范智能农机装备高效、安全应用。

3) 支持人才培养体系建设。加强农业工程学科建设,提高农机创新研发人才培养质量,大力强化农机职业教育,创新产教融合、校企合作、工学结合的农机职业教育人才培养模式,针对基层需求进行农机实用人才精准培育,构建多层次人才队伍体系,强化智能农机装备相关人才培养。

参考文献(References)

- [1] 刘成良,林洪振,李彦明,等. 农业装备智能控制技术研究现状与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(1): 1-18.
- [2] 韩佳伟,朱文颖,张博,等. 装备与信息协同促进现代智慧农业发展研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 55-63.
- [3] 汪懋华,李道亮. 力推数字技术与农业农村的深度融合[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2020, 32(2): 4.

- [4] 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.
- [5] 陈学庚, 温浩军, 张伟荣, 等. 农业机械与信息技术融合发展现状与方向[J]. 智慧农业, 2020, 2(4): 1-16.
- [6] 罗锡文, 廖娟, 臧英, 等. 中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.
- [7] 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.
- [8] 翟长远, 杨硕, 王秀, 等. 农机装备智能测控技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2022, 53(4): 1-20.
- [9] 陈学庚, 郝哲. 北斗导航技术在现代农业中的应用[J]. 中国测绘, 2020(1): 9-13.
- [10] 孟志军. 农机信息化智能化应用发展趋势[J]. 农机市场, 2022(3): 27-28.
- [11] 国务院关于加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的指导意见[J]. 农业机械, 2019(3): 69-73.
- [12] 国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 远景目标纲[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1694072437920188678&wfr=spider&for=pc>.
- [13] “十四五”机器人产业发展规划[EB/OL]. [2022-04-30]. http://www.ncsti.gov.cn/zcfg/zcwj/202112/t20211228_54469.html.
- [14] 农业农村部办公厅. “十四五”全国农业机械化发展规划[J]. 畜牧产业, 2022(5): 5-18.
- [15] 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.
- [16] 翟长远, 杨硕, 王秀, 等. 农机装备智能测控技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2022, 53(4): 1-20.
- [17] 张智刚, 王进, 朱金光, 等. 我国农业机械自动驾驶系统研究进展[J]. 农业工程技术, 2018, 38(18): 23-27.
- [18] 姚春生, 何丽虹, 陈谦, 等. 农业机械化信息化融合研究[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(8): 1-8, 54.
- [19] 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.
- [20] 李翼南. 智能农机助力精准农业中联重科亮相第七届中国科博会[J]. 农业机械, 2016(12): 64.
- [21] 中农富通长三角规划所. 国内外无人化农业的发展历程与趋势[EB/OL]. [2022-04-30]. https://www.sohu.com/a/477637702_120537338.
- [22] 罗锡文. 农业人工智能的应用和思考[J]. 中国农村科技, 2019(5): 16-19.
- [23] 伍荣达, 陈天赐, 张世昂, 等. 果蔬采摘机器人关键技术研究进展[J]. 机电工程技术, 2021, 50(9): 128-132.
- [24] 徐明东, 邱立涛, 曲文浩, 等. 草莓采摘机器人的系统研究设计[J]. 机械研究与应用, 2022, 35(1): 136-138, 144.
- [25] 李保明, 王阳, 郑炜超, 等. 畜禽养殖智能装备与信息化技术研究进展[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 18-26.
- [26] 席瑞谦, 王娟, 李正义, 等. 奶牛智能饲喂关键技术研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(2): 190-196.
- [27] 宋超, 孙胜凯, 陈进东, 等. 世界主要国家工程科技重大计划与前沿问题综述[J]. 中国工程科学, 2017, 19(1): 4-12.
- [28] 陶卫民. 国外农机技术发展趋势[J]. 湖南农机, 2001(4): 21-22.
- [29] Research and Markets. Smart agriculture market by type, and component: Global opportunity analysis and industry forecast[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5214894/smart-agriculture-market-by-type-and-component#rela2-5349308>.
- [30] 孙九林, 李灯华, 许世卫, 等. 农业大数据与信息化基础设施发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 10-18.
- [31] Emily Demarest. Autonomous Tractor Corporation Aims to be the Tesla for Tractors[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://agfundernews.com/autonomous-tractor-corporation-aims-to-be-the-tesla-for-tractors>.
- [32] Frank Tobe. Will agricultural robots arrive in time to keep fruit and vegetable costs down[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://www.therobotreport.com/will-agricultural-robots-arrive-in-time-to-keep-fruit-and-vegetable-costs-down>.
- [33] Agrimag Staff Writer. Farming made easy with the new Case Autonomous Tractor[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://blog.agrimag.co.za/case-autonomous-tractor>.
- [34] CP690 cotton picker[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://www.deere.com/en/harvesting/cp690-cot-ton-picker>.
- [35] NORAC. Tailored control for any operation[EB/OL]. [2022-04-30]. <https://www.norac.ca/products>.
- [36] 王国占, 侯方安, 车宇. 国内外无人化农业发展状况[J]. 农机科技推广, 2020(8): 8-9, 15.
- [37] 胡小鹿, 梁学修, 张俊宁, 等. 中国智能农机装备标准体系框架构建与研制建议[J]. 智慧农业, 2020, 2(4): 116-123.

Development status and countermeasures of intelligent agricultural machinery equipment industry

OUYANG An¹, CUI Tao², LIN Li³

1. Ministry of Industry and Information Technology Equipment Industry Development Center, Beijing 100846, China
2. Engineering of College, China Agricultural University, Beijing 100083, China
3. Department of Agricultural Mechanization Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China

Abstract As an intelligent upgradation of traditional agricultural machinery, intelligent agricultural machinery is an important part and material basis for the development of intelligent agriculture. In this paper we summarize the domestic and foreign intelligent agricultural machinery related policies, technology, and industrial development status. Then we analyze the challenges in terms of core technology, common basic standards, digital infrastructure, enterprise competitiveness, talent laws and regulations, and other aspects of China's intelligent agricultural machinery development. In order to promote the high-quality development of China's agricultural machinery industry, we propose to accelerate the comprehensive strength and competitiveness of intelligent agricultural machinery equipment by accelerating key core technology research, strengthening the construction of standard detection system, increasing the appropriate mechanization and digital transformation, cultivating and developing high-quality enterprises, and creating a good ecological environment.

Keywords intelligent agricultural machinery; digital infrastructure; standard detection system ●



(责任编辑 刘志远)