

引用本文格式 罗永伟, 左志宇. 我国智能农业机械关键技术及发展趋势[J]. 农业工程, 2026, 16(1): 1-5. DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202507023.
LUO Gongwei, ZUO Zhiyu. Key technologies and development trend of intelligent agricultural machinery in China[J]. Agricultural Engineering, 2026, 16(1): 1-5.

我国智能农业机械关键技术及发展趋势

罗永伟¹, 左志宇²

(1. 江苏大学京江学院, 江苏 镇江 212028; 2. 江苏大学农业工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 随着我国多传感器融合环境感知技术、AI技术驱动的决策规划、精准执行及5G+北斗高精度导航控制等核心技术的发展, 农业机械已逐步进入自动化、智能化时代。分析我国智能农机核心技术原理及应用场景, 并指出这些技术面临的自主化率低、成本高昂、复杂场景适应性不足等问题, 以这些问题为基础, 探究我国智能农机的发展趋势。

关键词: 农业机械; 智能化; 智能农机; 核心技术; 农业机器人

中图分类号: S23 文献标识码: A 文章编号: 2095-1795(2026)01-0001-05

DOI: 10.19998/j.cnki.2095-1795.202507023

Key technologies and development trend of intelligent agricultural machinery in China

LUO Gongwei¹, ZUO Zhiyu²

(1. Jingjiang College, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212028, China; 2. School of Agricultural Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: With core technologies development in China such as multi-sensor fusion environmental perception technology, AI algorithm-driven decision planning and precise execution, and 5G + Beidou high-precision navigation control, agricultural machinery has gradually entered an era of automation and intelligence. Principles and application scenarios of intelligent agricultural machinery core technologies in China were analyzed. Problems such as low autonomy rate, high cost, and inadequate adaptability to complex scenarios were identified. Based on these problems, development trends of intelligent agricultural machinery in China were explored.

Keywords: agricultural machinery, intelligentization, smart agricultural machinery, core technology, agricultural robot

0 引言

智能农业机械是在传统农业机械基础上, 将物联网、人工智能、大数据等技术应用于农业机械中, 使其能够根据感知的信息, 进行决策和操作^[1]。当前, 我国农业正经历从机械化向智能化、无人化的跨越式升级, 以信息技术与农业机械深度融合, 推动农业生产向精准化、高效化、绿色化转型。在此背景下, 突破智能农机关键技术、发展高端智能装备, 对保障我国粮食安全、推动农业高质量发展具有重大战略意义。

我国自“十二五”起将智能农机纳入国家重点研发计划, 近年来取得显著进展: 北斗导航系统在农机自动驾驶中定位精度突破2 cm; 智能收获机实现粮损率<1%的谷物收获; 具备全自主航线规划、避障作业能力的植保无人机保有量占全球70%以上。然而, 我

国智能农机仍面临关键部件依赖进口、复杂场景适应性弱、数据滞后、高端装备价格高及维修体系不完善等问题。

本研究分析我国智能农机核心技术的发展现状及典型应用场景, 通过应用模式创新, 对其发展趋势进行展望, 为我国农业机械产业升级提供新的思路与技术储备。

1 关键技术

1.1 多传感器融合环境感知技术

多传感器融合环境感知是智能农机的“神经末梢”, 通过集成视觉传感器、激光雷达、毫米波雷达、红外传感器和土壤墒情传感器等多类设备, 结合算法实现农田环境的全维度感知^[2]。其核心技术包括多源数据校准、特征提取与融合, 解决单一传感器在复杂

农田场景下的局限性,如视觉传感器受光照影响、激光雷达成本高、雷达穿透性不足等。

在无人拖拉机播种作业中,视觉传感器识别田块边界与作物残留,激光雷达扫描地形生成3D点云,毫米波雷达探测隐蔽障碍物,融合后输出高精度环境地图,引导拖拉机沿规划路径行驶,误差控制在 ± 2 cm内^[3]。在植保无人机病虫害监测中,多光谱传感器采集作物叶片光谱数据,结合红外传感器检测冠层温度差异,可精准识别早期病斑,指导植保无人机针对性地喷洒农药,减少药剂浪费30%以上^[4]。

1.2 智能决策与规划技术

决策与规划技术是智能农机的“大脑”,基于感知数据与环境模型,通过机器学习、运筹优化算法实现作业策略动态调整^[5]。其核心是构建感知-分析-决策闭环,解决传统农业机械按预设程序作业的局限性,适应农田环境的动态变化。

在联合收获机作业中,搭载的AI系统实时分析摄像头采集的作物图像与近红外光谱数据,结合北斗定位的田块地图,动态调整割台高度、脱粒滚筒转速及行走速度^[6]。如遇倒伏作物时自动降低割台、减慢车速,确保收获损失率 $< 1\%$ 。在果园机器人采摘中,深度学习识别果实成熟度,规划机械臂最优采摘路径,结合力控传感器轻柔抓取,单果损伤率仅0.5%,效率是人工的2倍以上^[7]。

1.3 精准执行与智能控制技术

精准执行与智能控制技术是智能农机的“手脚”,通过电液伺服系统、步进电机、变频控制器等执行机构,结合闭环控制算法,实现对作业参数包括播种量、施肥量和喷药量等的毫米级/克级精准调控。其核心是将AI决策转化为机械动作,解决传统农业机械粗放作业导致的资源浪费问题^[8]。

在变量施肥机作业中,通过GPS接收田块养分地图,结合AI规划的施肥处方图,控制液压阀调节排肥量。如在玉米种植区,肥力高的区域减少20%施肥量,肥力低的区域增加15%,既保证产量又降低面源污染。在精密播种机中,伺服电机驱动排种器,通过光电传感器实时监测播种间距,偏差 > 2 cm时自动调整步进电机转速,实现单粒精播,玉米出苗率从85%提升至95%以上^[9]。

1.4 5G+北斗高精度定位与协同控制技术

5G+北斗高精度定位与协同控制技术是智能农机的“神经中枢”,依托北斗三号全球卫星导航系统的厘米级定位能力,结合5G网络的低时延、大连接特性,实现农业机械集群的高精度定位、实时通信与协同作业^[10]。其核心是解决多机作业时的碰撞风险与效率瓶颈,支撑无人农场的规模化运营^[11]。

在无人农场水稻种植中,多台无人拖拉机、插秧机、植保机通过5G接入农场管理平台,北斗RTK模块为每台设备提供厘米级定位,平台实时计算最优作业路径并下发指令,拖拉机完成翻耕后,插秧机自动驶入已耕区域按预设株距精准插秧,植保机随后按病虫害地图变量喷洒;全程无须人工干预,作业效率较人工提升5倍。在草原放牧场景中,5G+北斗项圈实时定位羊群位置,智能牧机根据羊群移动轨迹动态调整路线,避免重复作业,放牧效率提升60%^[12]。

1.5 农业数据挖掘与智能服务平台

农业数据挖掘与智能服务平台是智能农机的“中枢大脑”,通过整合传感器、卫星遥感、无人机和农机终端等多源数据,构建农业大数据平台,利用机器学习实现生产决策支持、灾害预警、产量预测等服务^[13]。其核心是将“数据”转化为“知识”,解决传统农业“经验主导”的决策模式。

某省级农业大数据平台接入10万台农机终端、500颗遥感卫星及2000个土壤墒情站数据,通过模型分析生成作物生长热力图^[14]。如发现某区域玉米叶面积指数低于阈值,结合气象预测,平台自动向农户推送“需立即灌溉”预警,并推荐最优灌溉量。在秋收季,平台整合历史产量、当前作物长势、市场价格等数据,预测各区域玉米产量及收购价,指导合作社调整仓储与销售策略,帮助农户增收8%~12%。

2 存在问题

2.1 传感器精度低且成本高

我国智能农机多传感器融合感知技术仍面临精度、成本、鲁棒性多重矛盾^[15]。首先,核心传感器依赖进口,高精度激光雷达、毫米波雷达、多光谱传感器的核心芯片,如SPAD、MEMS振镜等国产化率 $< 30\%$,导致感知设备成本高,单台无人农机传感器成本占比 $> 40\%$,限制小农户普及。其次,复杂农田环境如光照骤变、雨雾遮挡、高低起伏地形,单一传感器易失效,如视觉传感器在强光下误检率达25%,激光雷达在雨雾中点云密度下降60%;多源数据融合算法,如卡尔曼滤波、深度学习对异质数据的特征对齐与噪声抑制能力不足,融合后感知误差仍高达 $\pm (5\sim 10)$ cm,远超精准作业所需的 ± 2 cm^[16]。最后,传感器与农业机械集成化设计不足,传感器安装位置、角度易受农业机械振动、姿态变化影响,导致数据采集偏差。

2.2 智能决策实时性差

智能决策与规划技术在农业场景中面临数据、模型、实时性多重挑战。首先,农业数据标注成本高、标注标准不统一,作物生长状态、病虫害程度、土壤肥力等关键参数依赖人工经验判断,NDVI指数田间实

测误差达 15%，导致训练数据质量低、样本量不足，单类作物病害数据集通常<10 万张，远低于通用 AI 的千万级。其次，现有模型在非结构化农田环境中泛化能力弱，换地块或换作物时需重新训练，小麦联合收获机模型在玉米地中收获损失率上升至 3%，难以满足一机多用需求。最后，智能决策与农业机械控制的实时性矛盾突出，复杂场景下模型推理延迟 200~500 ms，无法匹配农机高速作业，如拖拉机时速 10 km/h 时，100 ms 延迟可能导致 50 cm 偏差^[17]。

2.3 执行机构的适应性与控制精度难以兼顾

精准执行与智能控制技术核心瓶颈在于执行机构的适应性和控制精度难以兼顾。首先，农业作业环境恶劣，泥沙、潮湿、温差大，传统执行机构如液压阀、伺服电机易腐蚀、卡滞，播种机排种器在含沙土壤中故障率上升 40%。其次，变量施肥需同时调节排肥量、行进速度、土壤湿度，多参数协同控制难度大，现有 PID 控制算法难以应对非线性、时变系统。最后，执行机构与传感器、决策系统的“闭环反馈”滞后，如播种机播种深度传感器反馈延迟导致深度偏差，实际深度与设定值偏差>1 cm 的比例达 30%^[18]。

2.4 5G+北斗网络、定位、协同多重短板

5G+北斗协同控制在农村场景中面临网络、定位、协同多重短板。首先，农村地区 5G 基站覆盖率低，尤其是山区、丘陵，信号中断或延迟>20 ms，导致农机集群通信失效，多台无人拖拉机协同作业时碰撞风险增加。其次，北斗定位在复杂环境如密林、高楼旁下的信号遮挡问题突出，RTK 差分修正受基站距离限制，>10 km 时定位精度下降至分米级，难以满足精准作业需求^[19]。最后，多机协同控制协议不统一，不同厂商农机的通信接口、数据格式差异大，导致协同作业时信息交互效率低，指令传输延迟达 500 ms，无法实现编队作业、交叉作业等复杂任务。

2.5 农业数据平台矛盾显著

农业数据平台的孤岛、安全、价值矛盾显著。首先，数据孤岛现象严重，农机企业、政府部门、科研机构的数据未打通，如气象数据与农机作业数据共享率<20%，难以形成全局分析能力。其次，农业数据隐私与安全风险突出，涉及农户土地信息、种植收益等敏感数据，现有加密技术难以抵御农业物联网设备的低算力攻击。最后，数据价值挖掘深度不足，现有平台多为数据展示而非决策支持，会出现仅显示土壤湿度，未关联灌溉建议，模型可解释性差，农户信任度低^[20]。

3 发展趋势

3.1 传感器国产化与多模态融合

未来传感器将向国产化替代+多模态融合+自适应

校准方向突破。一是加速 MEMS 传感器、激光雷达芯片等核心部件的自主研发，如华为、大疆已布局农业级激光雷达，降低成本至当前的 50% 以下^[21]。二是研发视觉+激光雷达+红外的多模态融合算法，结合迁移学习，利用仿真农田数据预训练模型，提升复杂场景下的感知鲁棒性，目标是将误差压缩至±2 cm 内^[22]。三是推动传感器与农机结构的“共形设计”，通过柔性安装支架、惯性稳定平台减少振动干扰，并结合在线自校准算法实时对比 GNSS 定位数据修正传感器偏差，实现全工况下的稳定感知^[23]。

3.2 智能决策与规划技术多样化发展

智能决策与规划技术未来将聚焦小样本学习+数字孪生+边缘智能 3 大方向。一是发展农业领域的小样本学习算法，如元学习、迁移学习等，利用少量标注数据结合生成对抗网络合成虚拟数据，降低标注依赖^[24]。二是构建虚拟农场数字孪生平台，通过仿真软件模拟不同农田环境包括土壤、作物、天气，预训练通用决策模型，实际作业时仅需少量数据微调即可适配新场景^[25]。三是推动 AI 模型轻量化，如模型压缩、知识蒸馏与边缘计算部署，在农业机械终端集成高性能芯片，将推理延迟降至 50 ms 以内，满足高速作业需求。

3.3 智能控制技术全面升级

精准执行与智能控制技术未来将向新型材料+自适应控制+模块化设计升级^[26]。一是采用耐腐蚀、耐磨损的新型材料如陶瓷基涂层、形状记忆合金制造执行部件，提升在泥沙、潮湿环境下的寿命，目标寿命延长至 5 年以上。二是研发自适应控制算法如模糊控制、自抗扰控制，结合实时传感器数据动态调整控制参数，根据土壤湿度自动修正排肥量，将多参数协同控制误差降至±5% 以内。三是推动执行机构的模块化设计，用户可根据播种、施肥、喷药作业需求，快速更换功能模块，降低维护成本并提升灵活性^[27]。

3.4 5G+北斗系统全面铺开

5G+北斗高精度定位与协同控制技术未来将围绕网络补盲+定位增强+协议统一展开^[28]。一是推进 5G+卫星互联网融合组网，通过低轨卫星，补盲农村偏远地区，确保 5G 网络覆盖率>90%。二是研发北斗+惯性导航（INS）组合定位技术，在信号遮挡区域利用 INS 短时间维持厘米级定位，误差<3 cm，并结合北斗差分基站，加密布设至 5 km 间隔，实时修正，实现全场景高精度定位。三是制定农机协同控制国家标准，统一通信协议及数据格式，推动不同厂商设备的互联互通，支持百台级农机集群的毫秒级协同作业^[29]。

3.5 农业数据平台聚焦安全与共享

农业数据智能服务平台未来将聚焦数据共享+安全可靠+智能决策 3 大方向^[30]。一是构建国家农业数据共

享平台,通过区块链技术,实现数据确权与授权共享,目标3年内数据共享率达80%。二是研发农业领域专用隐私计算技术,在不泄露原始数据的前提下实现跨机构模型训练。三是推动数据、模型、决策深度融合,开发可解释AI工具,明确关键影响因素,如近10日降雨量对玉米产量的贡献度达35%,并生成可视化操作建议,提升农户使用意愿^[31]。

4 结束语

我国智能农机关键技术正处于从单点突破向系统集成转型的关键期。尽管面临感知精度、模型泛化、执行耐久、网络协同和数据价值等多重挑战,但随着国产技术攻关、数字孪生应用、新型材料研发及政策支持,尤其是“十四五”农机装备发展行动,未来将加速向全场景覆盖、全要素协同、全链条智能演进,为农业现代化提供核心支撑。

当前仍面临核心技术依赖、场景适配不足、数据价值未释放等问题,但随着国产技术攻关、数字孪生应用、数据要素共享及政策支持,未来5~10年,智能农业机械将加速渗透至丘陵山区、果园、设施农业等全场景,推动我国农业现代化迈向“全域智能”新阶段,为保障粮食安全、促进乡村振兴提供不可替代的技术动能。

参考文献

- [1] 买合木江·巴吐尔,毛吾兰,刘佳,等.农业机械智能化技术发展现状[J].*农业工程*,2025,15(6):1-7.
BATUER Maihemujiang, MAO Wulan, LIU Jia, et al. Development status of agricultural machinery intelligence technology[J]. *Agricultural Engineering*, 2025, 15(6): 1-7.
- [2] 万欢,欧媛珍,管宪鲁,等.无人农机作业环境感知技术综述[J].*农业工程学报*,2024,40(8):1-18.
WAN Huan, OU Yuanzhen, GUAN Xianlu, et al. Review of the perception technologies for unmanned agricultural machinery operating environment[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2024, 40(8): 1-18.
- [3] 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.
ZHAO Chunjiang. Current situations and prospects of smart agriculture[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2021, 42(6): 1-7.
- [4] 李卫斌,安炳贞,孔玉辉,等.基于无人机遥感影像的松材线虫病监测方法概述[J].*林业工程学报*,2023,8(2):21-29.
LI Weibin, AN Bingzhen, KONG Yuhui, et al. A review of monitoring methods for pine wilt disease based on UAV remote sensing images[J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2023, 8(2): 21-29.
- [5] 苗中华,朱子煜,张伟,等.具身智能农业机器人关键技术与发展趋势[J].*农业机械学报*,2025,56(9):212-239.
MIAO Zhonghua, ZHU Ziyu, ZHANG Wei, et al. Key technologies and development trends of embodied intelligence agricultural robots[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2025, 56(9): 212-239.
- [6] 张瑞吉.浅析农业机械化技术推广及农机维修问题[J].*农业开发与装备*,2022(4):81-82,191.
- [7] 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.
SONG Chao, SUN Shengkai, CHEN Jindong, et al. Review on major planning projects & frontier issues about global engineering science and technology in major countries[J]. *Strategic Study of CAE*, 2017, 19(1): 4-12.
- [8] 马海丰.机械制造智能化发展趋势分析[J].*吉林广播电视大学学报*,2018(1):111-112.
- [9] 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 Chunjiang, LI Jin, FENG Xian. Development strategy of smart agriculture for 2035 in China[J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(4): 1-9.
- [10] 张发奎.智能化制造在工程机械行业的应用现状、发展趋势及影响[J].*中国设备工程*,2018(5):211-212.
- [11] 王术,刘一明.农业机械化与区域农业可持续发展关系实证分析[J].*农机化研究*,2015,37(4):1-6,31.
WANG Shu, LIU Yiming. Empirical analysis of agricultural mechanization and agricultural sustainable development of China's regional relations[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2015, 37(4): 1-6, 31.
- [12] 卢秉福,张祖立,朱明,等.农业机械化发展关键影响因素的辨识与分析[J].*农业工程学报*,2008,24(11):114-117.
LU Bingfu, ZHANG Zuli, ZHU Ming, et al. Discrimination and analysis of key influencing factors for agricultural mechanization development[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(11): 114-117.
- [13] 何继梅,陈霖,赵汉齐.花椒产业发展现状及机械化采摘研究进展[J].*农业工程*,2025,15(6):8-13.
HE Jimei, CHEN Lin, ZHAO Hanqi. Development status of *Zanthoxylum bungeanum* industry and research progress of mechanized picking[J]. *Agricultural Engineering*, 2025, 15(6): 8-13.
- [14] BAZALUK O, HAVRYSH V, NITSENKO V, et al. Low-cost smart farm irrigation systems in Kherson Province: feasibility study[J]. *Agronomy*, 2022, 12(5): 1013.
- [15] GAO Y C, GONG L, HUANG Y X, et al. Rhino: an open-source embedded motherboard design enabling complex behavior of intelligent robots[C]//Proceedings of 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). New York: ACM, 2019: 1568-1573.
- [16] 邱云桥,何婷婷,王春霞,等.农业生产中机器视觉技术应用现状[J].*农业工程*,2025,15(6):19-25.
QIU Yunqiao, HE Tingting, WANG Chunxia, et al. Application status of machine vision technology in agricultural production[J]. *Agricultural Engineering*, 2025, 15(6): 19-25.
- [17] 康宪芝,陈静,滕岳,等.探究物联网核心技术在现代农业领域的应用[J].*农业与技术*,2022,42(17):38-41.
- [18] 薛冰.小麦双轴旋耕播种机播种深度测控系统研究[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2024.

- XUE Bing. Research on sowing depth measurement and control system of wheat twin-shaft rotary planter[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences Group, 2024.
- [19] 兰玉彬, 闫瑜, 王宝聚, 等. 智能施药机器人关键技术研究现状及发展趋势[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(20): 30-40.
- LAN Yubin, YAN Yu, WANG Baoju, et al. Current status and future development of the key technologies for intelligent pesticide spraying robots[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(20): 30-40.
- [20] 安晓飞, 付卫强, 王培, 等. 小麦种行肥行精准拟合变量施肥控制系统研究[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(S1): 96-101.
- AN Xiaofei, FU Weiqiang, WANG Pei, et al. Development of variable rate fertilization control system based on matching fertilizer line and seed line of wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(S1): 96-101.
- [21] 刘玉琴. 农业机械的新能源化发展情况与关键技术研发方向[J]. *农机使用与维修*, 2021(4): 33-34.
- [22] 陈明猷, 罗陆锋, 刘威, 等. 采摘机器人全果园视觉感知及自主作业综述[J]. *智慧农业(中英文)*, 2024, 6(5): 20-39.
- CHEN Mingyou, LUO Lufeng, LIU Wei, et al. Orchard-wide visual perception and autonomous operation of fruit picking robots: a review[J]. *Smart Agriculture*, 2024, 6(5): 20-39.
- [23] 杨静, 李博, 胡世玮, 等. 智慧农业标准化实践与建议[J]. *中国标准化*, 2021(22): 60-63.
- YANG Jing, LI Bo, HU Shiwei, et al. Practices and suggestions of standardization on smart agriculture[J]. *China Standardization*, 2021(22): 60-63.
- [24] 马永海, 胡庆毅, 杨立凡, 等. 智慧农业发展现状及前景分析[J]. *现代农业研究*, 2021, 27(11): 11-15.
- MA Yonghai, HU Qingyi, YANG Lifan, et al. Analysis of current situation and prospect of smart agriculture development[J]. *Modern Agriculture Research*, 2021, 27(11): 11-15.
- [25] 赵莹. 农业机械自动化发展现状及对策[J]. *农机使用与维修*, 2022(9): 51-53.
- ZHAO Ying. Agricultural machinery automation development status and countermeasures[J]. *Agricultural Machinery Using & Maintenance*, 2022(9): 51-53.
- [26] 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.
- LIU Chengliang, LIN Hongzhen, LI Yanming, et al. Analysis on status and development trend of intelligent control technology for agricultural equipment[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(1): 1-18.
- [27] 周生龙. 智能农机作业数据采集终端设计与作业信息处理方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- ZHOU Shenglong. Research on data acquisition terminal design and operation information processing method of intelligent agricultural machinery operation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019.
- [28] 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.
- ZHAI Changyuan, YANG Shuo, WANG Xiu, et al. Status and prospect of intelligent measurement and control technology for agricultural equipment[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(4): 1-20.
- [29] 伟利国, 张小超, 苑严伟, 等. 2F-6-BP1型变量配肥施肥机的研制与试验[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(7): 14-18.
- WEI Liguo, ZHANG Xiaochao, YUAN Yanwei, et al. Design and experiment of 2F-6-BP1 variable rate assorted fertilizer applicator[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(7): 14-18.
- [30] 韩海波. 中联重科持续赋能智能农机制造[J]. *农机市场*, 2024(1): 40.
- [31] DROUKAS L, DOULGERI Z, TSAKIRIDIS N L, et al. A survey of robotic harvesting systems and enabling technologies[J]. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2023, 107(2): 21.