

智慧农业机械化方面的研究进展及其应用展望

新吉勒图¹ 包文育^{2,3} 张春友²

1. 通辽市农牧业装备发展中心, 内蒙古 通辽 028000

2. 内蒙古民族大学 工学院, 内蒙古 通辽 028000

3. 蒙东高寒经济特色作物智能农机装备内蒙古自治区工程研究中心, 内蒙古 通辽 028000

[摘要]伴随工业 4.0 浪潮的持续渗透与农业可持续发展的迫切需求, 传统农业机械化正经历一场以“智慧化”为核心理念的范式革命。文章系统梳理了智慧农业机械化的内涵演进与发展动因, 并对其所依托的核心技术体系——即立体化感知、智能化决策与自主化执行——进行了层次化解构。进而, 综述了该技术体系在大田耕作、设施园艺、畜牧水产等典型场景中的应用深度与广度, 剖析了其在技术集成、成本效益、数据安全及人才培养等领域面临的现实瓶颈。最后, 对未来发展趋势进行了多维度展望, 提出群体智能、人机共融与云端协同将是驱动智慧农业机械化迈向新阶段的关键路径, 旨在为我国农业现代化转型与高质量发展提供前瞻性的理论参照。

[关键词]智慧农业; 农业机械化; 人工智能; 智能农机; 技术展望

DOI: 10.33142/nsr.v2i4.18720

中图分类号: S126

文献标识码: A

Research Progress and Application Prospects of Smart Agricultural Mechanization

XINJI Letu¹, BAO Wenyu^{2,3}, ZHANG Chunyou²

1. Tongliao Agricultural and Animal Husbandry Equipment Development Center, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

2. School of Engineering, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

3. Inner Mongolia Mongolian East Cold Economic Characteristic Crop smart Agricultural Machinery Equipment, Inner Mongolia Autonomous Region Engineering Research Center, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

Abstract: With the continuous penetration of the Industry 4.0 wave and the urgent need for sustainable agricultural development, traditional agricultural mechanization is undergoing a paradigm revolution with "smart" as its core concept. The article systematically summarizes the connotation evolution and development drivers of smart agricultural mechanization, and deconstructs the core technology system it relies on, namely three-dimensional perception, smart decision-making, and autonomous execution, in a hierarchical manner. Furthermore, the depth and breadth of the application of this technology system in typical scenarios such as large-scale farming, facility horticulture, and animal husbandry and aquaculture were summarized, and the practical bottlenecks it faces in areas such as technology integration, cost-effectiveness, data security, and talent cultivation were analyzed. Finally, a multidimensional outlook was made on future development trends, proposing that swarm intelligence, human-machine integration, and cloud collaboration will be the key paths driving the mechanization of smart agriculture towards a new stage, aiming to provide forward-looking theoretical references for Chinese agricultural modernization transformation and high-quality development.

Keywords: smart agriculture; agricultural mechanization; artificial intelligence; smart agricultural machinery; technology prospects

引言

全球农业发展正置身于一个历史性的十字路口: 一方面, 人口增长与资源环境约束的双重压力对粮食安全提出了前所未有的挑战; 另一方面, 以物联网、大数据、人工智能及先进制造技术为代表的第四次工业革命成果, 正以前所未有的深度与广度重塑各行各业, 农业领域亦不例外。

在此宏观背景下, “智慧农业”作为一种颠覆性的生产模式应运而生, 其核心在于通过信息科技赋能农业系统, 实现资源配置的精细化与生产管理的智能化。作为智慧农业理念的物理承载与执行终端, 农业机械的智慧化转型已成为推动这场农业革命落地的关键引擎与核心支柱。

智慧农业机械化绝非传统农机与信息设备的简单叠

加,而是旨在构建一个“感知-决策-执行”一体化的自主作业系统。当前,该领域研究呈现出多学科交叉、技术迭代迅速、应用场景多元的鲜明特征,正从单点技术突破走向系统级集成创新。因此,对本领域的研究进展进行系统性的梳理与审视,并对其未来应用轨迹进行科学展望,不仅具有重要的理论价值,也对指导产业实践、优化政策制定具有紧迫的现实意义。

1 智慧农业与农业机械化的内在联系

智慧农业作为现代农业发展的高级形态,正深刻改变着传统农业生产方式。它依托物联网、云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术,构建了覆盖农业生产全过程的智能化体系,实现了从田间到餐桌的全程可感知、可决策、可执行的数字化管理,推动农业生产从依靠经验判断向数据驱动决策的根本性转变。

农业机械化作为农业现代化的物质基础和重要标志,通过广泛应用各类先进机械装备,不仅实现了对人畜力作业的替代,更在提升作业效率、降低劳动强度、保障农时等方面发挥着不可替代的作用。随着技术进步的加速,农业机械化正在经历从传统机械化向智能机械化的跨越式发展。

二者之间存在着相辅相成、相互促进的深度融合关系。智慧农业以机械化装备为基础载体,通过赋予农机“感知-决策-执行”的完整智能链条,使传统农机具备了“大脑”和“神经”;而农业机械化在智慧农业的引领下,正从单一作业功能向智能化、网联化、精准化的方向全面升级,形成了“机械为体、智能为魂”的发展新格局。胡明国^[1]在其研究中强调,农业机械化为智慧农业提供了不可或缺的装备支撑与技术底座,是智慧农业落地的物理基础;而智慧农业的发展又反过来推动农机装备向智能控制、远程运维与协同作业等更高层次迈进,实现了从“机械换人”到“智能强机”的战略升级。赵春江^[2]也指出,先进农机装备是智慧农业技术体系得以落地的物质保障,缺乏高性能的智能农机作为执行终端,再先进的智慧农业系统也难以发挥其应有的效用。

在实际应用层面,智慧农业系统依托智能农机装备,已经在多个领域取得显著成效。例如,通过配备北斗导航系统的智能拖拉机实现厘米级精度的自动导航作业;利用植保无人机进行精准变量施药;借助智能收获机械实现作物产量分布监测等。这些应用不仅大幅提升了资源利用效率,还显著提高了作业质量和一致性。目前,智慧农业与农业机械化已形成互为支撑、协同发展的良性循环,共同

构成了现代农业生产体系的“双轮驱动”机制。可以预见,二者的深度融合与协同创新,必将成为推动我国农业高质量发展、实现农业现代化的必然选择和重要路径。这一发展趋势也符合全球农业科技发展的主流方向,将为保障国家粮食安全、促进农业可持续发展提供有力支撑。

2 智慧农业关键技术应用现状

智慧农业关键技术应用正呈现体系化、集成化的发展趋势,以物联网、大数据、人工智能、云计算与5G通信等为代表的数字技术,通过深度融合与协同创新,共同构建了支撑现代农业智能化转型的核心技术体系。这一技术体系不仅涵盖信息感知、数据传输、智能决策和精准执行等关键环节,还通过系统集成实现了农业生产全流程的数字化管理。

在具体技术应用层面,物联网技术通过构建“天-空-地”一体化的监测网络,借助田间传感器、无人机遥感平台与智能农机车载终端,实现了对土壤理化指标、作物生理参数、田间微气象等农业要素的全方位实时感知与可靠传输。大数据技术则对多源异构的农业数据进行深度挖掘与融合分析,构建起包含作物生长模型、病虫害预测模型、产量预估模型等在内的决策支持系统,为变量施肥、精准施药与智能灌溉等农事活动提供科学依据。云计算平台作为“农业数字大脑”,通过强大的算力支撑与算法优化,实现了海量数据的存储计算与生产资源的智能调度,有效支持了跨区域、多终端的协同作业与远程管控。人工智能技术特别是深度学习算法在农业视觉识别、智能诊断等领域取得突破性进展,已在作物病虫害智能识别、果实成熟度自动判别、畜禽行为分析等多个场景中实现规模化应用。

孙传范^[3]研究指出,农业机械化与智能化的深度融合是推动农业现代化的核心路径,只有将智能装备的技术优势与农艺学的专业知识有机结合,才能实现从“机械替代人力”到“系统替代经验”的质的飞跃。赵春侠^[4]则强调,以无人驾驶拖拉机、智能收获系统、自动化灌溉设备为代表的新型智能农机的推广应用,不仅显著提升了农业作业的标准化程度与质量控制水平,还通过精准作业大幅提高了水、肥、药等关键资源的利用效率,推动农业生产向“资源节约、环境友好”的可持续发展模式转型。

当前,智慧农业技术体系正在经历从单点技术突破向全产业链集成应用的重要转变,逐步构建起覆盖“感知-传输-分析-决策-执行”全链条的闭环智能管理系统。这一转变不仅极大提升了农业生产的自动化与智能化水平,实现了从传统精耕细作向数字化精准管理的演进,更重要的

是为解决全球粮食安全挑战、推动农业可持续发展提供了强有力的技术支撑。随着相关技术的不断成熟与应用成本的持续降低,智慧农业技术必将在更大范围、更广领域发挥其革命性作用,为世界农业发展注入新的动力。

3 智慧农业机械化发展面临的挑战与对策

智慧农业与农业机械化在协同发展过程中仍面临系统性挑战,需从技术创新、政策配套与机制完善等多个维度协同推进。

在核心技术层面,智能农机装备仍存在感知精度不足、环境适应性有限、系统稳定性不高等共性问题。不同厂商的农机装备数据接口各异,通信协议互不兼容,形成严重的技术壁垒,制约了农机群体智能协同作业的实现。在应用推广层面,智慧农业技术集成度不足,与现代农业生产的系统性要求存在差距。部分地区农田基础设施薄弱,网络覆盖不完善,限制了智能农机功能的充分发挥。莫劼书^[5]研究指出,当前智慧农业技术应用呈现“点状突破”特征,尚未形成规模化效应,高昂的前期投入与持续运维成本使得中小规模经营主体望而却步,资金支持机制缺位进一步制约了技术的普及推广。

在体制机制层面,区域发展不平衡现象突出,东部沿海地区与中西部地区在技术应用深度和基础设施水平上存在明显差距。政策体系尚不完善,缺乏针对智慧农业发展的专项法律法规,跨部门协调机制缺失导致资源配置效率低下。吴宗钊等人^[6]提出,应构建“顶层设计-核心技术-数据平台”三位一体的推进策略:首先需要制定国家层面的智慧农业发展中长期规划,明确技术路线和实施路径;其次要设立专项资金,重点突破智能决策、自主导航、群体协同等关键技术;同时应建设覆盖全国的农业数据共享平台,制定统一的数据标准和接口规范,破除信息孤岛。

值得关注的是,人才短缺问题已成为制约智慧农业发展的关键因素。燕丽^[7]指出,既懂农业技术又掌握数字技能的复合型人才严重不足,现有农业从业者的数字素养难以适应智慧农业发展需求。此外,技术服务体系建设滞后,售后维护网络不完善,也影响了新技术的推广应用效果。

面向未来,应着力构建“政策引导-技术创新-人才培养-机制创新”四位一体的支撑体系。具体而言,需要加强政策协同,完善财政金融支持措施;加大研发投入,突破关键核心技术瓶颈;建立健全人才培养体系,培育新型职业农民;创新服务机制,完善技术推广网络。通过多措并举、系统推进,有效破解智慧农业发展瓶颈,推动农业机械化与智慧农业深度融合,为加快农业现代化进程提供坚实保障。这一系统性解决方案将有助于实现从单点技术

创新向整体效能提升的转变,推动我国农业实现高质量、可持续发展。

4 农业机械化与智慧农业的协同发展

农业机械化与智慧农业的协同发展正在重塑现代农业生产方式,推动农业体系向数字化、智能化方向转型升级。二者的深度融合不仅体现在技术层面的交汇,更表现为农业生产模式与管理方式的根本性变革。

在技术融合层面,农业机械化正从传统的动力替代向以智能感知、自主决策、精准执行为特征的智能化方向演进。智能农机装备通过集成导航定位、环境感知、智能控制等先进技术,实现了从单机自动化向群体智能协同的重要突破。田玉萍^[8]指出,智慧农业通过引入智能决策系统和精准作业技术,显著优化了农机作业路径规划、作业参数实时调整等关键环节,大幅提升了农机利用效率与作业质量,实现了从“经验作业”到“精准执行”的转变。

在系统协同层面,吴雨晴^[9]从四个维度系统阐述了农业机械化支撑智慧农业发展的创新路径:在政策推进方面,需要建立跨部门协调机制,完善智能农机研发推广政策体系;在平台构建方面,应打造覆盖“云-网-端”的农业机械化智能服务平台,实现农机资源优化配置;在技术保障方面,要重点突破智能控制、群体协同等关键技术,提升农机装备的智能化水平;在人才培养方面,亟需培育既懂农机技术又掌握数字技能的复合型人才,为智慧农业发展提供人才支撑。

当前,智能农机系统通过接入农业物联网平台^[10],正在形成“感知-决策-执行-评估”的完整数据闭环。无人农场、智能灌溉系统、精准施药平台等创新应用不断涌现,展现出农业机械化与智慧农业深度融合的巨大潜力。这表明,农机智能化不仅是智慧农业落地的关键保障,更是推动农业生产方式变革的核心驱动力。随着5G、人工智能等新一代信息技术的深度应用,农业机械化与智慧农业的协同发展将进入更高水平,为全球农业可持续发展提供重要支撑。

5 高标准农田建设的支撑作用

高标准农田建设作为现代农业基础设施的核心组成部分,为智慧农业与农业机械化的深度融合提供了坚实的物质基础和系统化载体。其在田块整治、灌溉配套、道路连通、电力覆盖等方面的标准化建设,为智能农机作业与农业数字化管理创造了良好的物理环境和设施条件。

孙学涛与张丽娟^[11]在研究中系统阐释了高标准农田对智慧农业发展的多重促进作用。在直接效应层面,标准化田块便于大型智能农机展开精准作业,配套的沟渠管网为智能灌溉系统提供了基础设施,而完善的路网电网则确

保了农业物联网设备的稳定运行。在间接效应层面,高标准农田通过推动农机普及与农业产业结构优化,为智慧农业技术应用创造了规模化场景和产业化条件,形成了“良田-良机-良法”相互促进的良性循环。

具体而言,高标准农田的规模化经营特点为智能农机提供了理想的应用场景,促使农机装备从单一功能向复合作业、从人工操控向自主决策转型升级。同时,臧瑞玲^[12]指出完善的农田基础设施为农业物联网部署提供了便利,使得田间传感器、自动灌溉设备、无人机巡检系统等智能装备能够充分发挥效能,实现农业生产全过程的数字化管理和精准化控制。

因此,加强高标准农田建设不仅是提升土地产能的重要举措,更是推动智慧农业与农业机械化协同发展的关键支撑。未来应持续推进高标准农田与智慧农业系统的集成建设,通过“农田标准化+装备智能化+管理数字化”三位一体的系统推进,构建现代化农业生产体系,为实现农业高质量发展提供坚实基础。

6 总结与展望

智慧农业机械化作为现代农业发展的核心引擎,在提升农业生产效率、优化资源要素配置、推动农业绿色可持续发展等方面展现出显著优势。当前,我国在智能农机装备研发、农业物联网建设和精准作业技术应用等领域取得了重要突破,智能导航、无人驾驶、精准施药等关键技术已进入规模化应用阶段。

然而,智慧农业机械化发展仍面临多重挑战。胡明国^[1]指出,技术集成度不足、系统兼容性差制约了整体效能发挥;吴雨晴^[9]则强调,区域发展不平衡、基础设施不配套、政策体系不完善等问题亟待解决。特别是在中小规模经营主体中,高昂的投入成本和复杂的技术要求仍是普及推广的主要障碍。

面向未来,于华波^[13]指出应当从多个维度系统推进智慧农业机械化发展:在技术创新方面,重点突破智能感知、自主决策、群体协同等核心技术,提升农机装备的智能化水平;在产业应用方面,优化农业产业结构,推动农机农艺深度融合,构建全程机械化解决方案;在政策保障方面,完善支持政策体系,加大资金投入力度,建立多元化投入机制;在国际合作方面,积极引进消化吸收国际先进技术,推动适合中国国情的本土化创新。

吴宗钊等人^[1]建议,应建立“政产学研用”协同创新机制,构建覆盖全产业链的智慧农业机械化体系。通过多方协同、系统推进,智慧农业机械化必将为农业现代化建设和乡村振兴战略实施提供更加坚实的技术支撑和装备保障,推动我国农业向高质量、高效率、可持续方向发展。

基金项目:内蒙古自治区科技成果转化引导项目(2020CG0085);内蒙古民族大学科学技术研究项目(GXKY25Z017)。

[参考文献]

- [1] 胡明国.我国智慧农业发展对策思考[J].南方农业,2019(15):121-123.
 - [2] 赵春江.现代农业中农业机械化发展的问题与方向分析[J].河北农机,2023(23):13-15.
 - [3] 孙传范.基于国际比较的中国智慧农业发展的影响因素及策略研究[D].重庆:重庆师范大学,2019.
 - [4] 赵春侠.智慧农业的发展现状与未来展望[J].华南农业大学学报,2021(6):1-7.
 - [5] 莫劭书.智慧农业背景下农业机械智能化技术发展路径[J].农村实用技术,2023(9):111-112.
 - [6] 吴宗钊,易春龙,吴争光,等.农业机械化赋能智慧农业发展的创新路径[J].南方农机,2024(24):169-171.
 - [7] 燕丽.我国智慧农业的发展现状、路径与对策建议[J].智慧农业导刊,2024(10):1-4.
 - [8] 田玉萍.高标准农田建设对智慧农业的影响研究[J].现代经济探讨,2025(3):111-132.
 - [9] 吴雨晴.智慧农业对农机化发展的影响与典型技术的应用情况[J].农机使用与维修,2021(5):31-32.
 - [10] 孙学涛,张丽娟.智能农机装备在智慧农业中的应用[J].河北农机,2025(16):31-33.
 - [11] 孙学涛,张丽娟.智慧农业技术的发展与应用[J].国际人才交流,2022(7):2.
 - [12] 臧瑞玲,付星,凌灵,等.新机具推广应用助力智慧农业发展[J].农家参谋,2021(24):88-89.
 - [13] 于华波.智慧农业对农机化发展的影响及典型技术的应用[J].湖北农机化,2021(18):11-12.
- 作者简介:新吉勒图(1967.3—),男,职称:农业技术推广研究员,研究领域:农牧业机械化智能化、农机农艺融合发展。