

Research on Equipment Development and Application of Integration of Agricultural Mechanization and Intelligentization

Juntian Liu Sai Li Junde Yue Wei Tang

Xinjiang Bosiran Intelligent Agricultural Machinery Co., Ltd., Jiaxing Branch, Jiaxing, Zhejiang, 314000, China

Abstract

Facility agriculture plays a vital role in enhancing stable agricultural product supply and resource utilization efficiency. The deep integration of mechanization and intelligent technologies has become a key direction for equipment development. Traditional equipment lacks capabilities in intelligent perception, operational precision, and energy consumption control, making it difficult to meet the demands of efficient and sustainable production. To address these limitations, this study focuses on the mechanization-intelligent integration of facility agriculture equipment. It constructs a functional framework for the equipment system, explores the technological evolution paths of power equipment and operational equipment, and analyzes the roles of environmental perception, intelligent control, and data-driven decision-making in equipment applications. By examining typical scenarios such as environmental regulation, fertilization and pesticide application, harvesting and grading, and process monitoring, the study evaluates the comprehensive value of intelligent equipment in resource conservation, labor substitution, and quality improvement. This provides theoretical and practical foundations for the R&D and industrial upgrading of facility agriculture equipment.

Keywords

facility agriculture; mechanization; smart agriculture; agricultural equipment; intelligent control; environmental regulation

设施农业机械化与智慧化融合的装备研发与应用研究

刘钧天 李赛 岳俊德 唐伟

新疆钵施然智能农机股份有限公司嘉兴分公司, 中国·浙江 嘉兴 314000

摘要

设施农业在提升农产品稳定供给与资源利用效率方面具有重要作用, 机械化与智慧化的深度融合已成为其装备发展的关键方向。传统装备在智能感知、作业精度与能耗控制等方面存在不足, 难以满足高效与可持续生产需求。为应对这些限制, 本文围绕设施农业装备的机械化-智慧化融合展开研究, 构建装备体系的功能架构, 探讨动力装备与作业装备的技术演进路径, 并分析环境感知、智能控制与数据驱动决策在装备应用中的作用。结合环境调控、施肥施药、采收分级与过程监测等典型场景, 评估智慧化装备在资源节约、劳动替代与品质提升方面的综合价值, 为设施农业装备研发与产业升级提供理论与实践依据。

关键词

设施农业; 机械化; 智慧农业; 农业装备; 智能控制; 环境调控

1 引言

设施农业通过构建可控环境, 抵御自然条件不稳定性, 提升作物生产效率与品质, 已成为现代农业的重要增长点。随着生产规模不断扩大, 劳动力资源紧缺与成本上升趋势加速传统设施农业作业环节的自动化与智能化需求。机械装备的引入为设施农业提供了稳定作业能力, 但在精准作业、协同控制、环境适应与能效管理方面仍存在不足。智慧化技术的发展, 使传统装备具备环境感知、状态判断与作业优化的能力, 使农业生产逐步从经验驱动向数据驱动转变。本文将

围绕设施农业装备研发, 从装备体系结构、技术融合路径与典型应用场景入手, 构建智慧化装备研发模式, 分析其在生产效率、资源节约与品质提升方面的作用, 为设施农业装备的未来发展提供理论与实践依据。

2 设施农业机械化装备体系的发展现状与技术演进路径

2.1 设施农业机械化装备体系的结构特点与功能定位

设施农业装备体系涵盖环境调控、耕整、播种、植保、采收与运输等多类型装备, 其结构特点与作业要求与露地农业存在明显差异。设施空间有限、作业通道狭窄、环境湿度较高, 使装备必须具备紧凑化、轻量化与灵活化特征。在功能定位上, 机械化装备承担作物生长环境构建与生产操作执行的双重职责, 其性能水平直接决定生产效率与作物生长稳

【作者简介】刘钧天(1988-), 男, 中国甘肃张掖人, 本科, 工程师。

定性。现代设施农业对装备的作业精度提出更高要求,例如在温室环境调控中,风机、水帘与加温设备需在小范围波动内控制温湿度,植保装备需精准识别靶标并控制药剂用量。

2.2 机械化装备智能化升级的驱动因素与发展趋势

设施农业装备智能化的发展受多个因素推动,包括劳动力成本上升、作业强度增加、对绿色生产要求的提升以及作物品质稳定性的需求。装备智能化不仅体现在自动化水平提升,还体现在装备能够通过传感系统、电控系统与算法模型实现作业状态的自适应调控。例如,智能灌溉系统能够依据土壤水分数据与作物需水特性自动调整灌溉参数,精准施肥装备可依据作物营养诊断数据定量供给肥料,减少资源浪费。未来装备智能化将呈现融合化、协同化与平台化趋势。

2.3 设施农业机械化装备发展面临的关键制约因素

尽管设施农业装备取得显著进步,但其研发与推广仍面临结构适配性不足、技术集成度低与成本投入较高等制约因素。设施种类繁多,包括连栋温室、大棚、日光温室与工厂化育苗设施等,不同设施环境对装备体积、动力与安全性提出不同要求,使装备的通用性较难实现。此外,装备智能化水平有限,传感数据噪声较大、算法鲁棒性不足及设备间通信协议不统一等问题仍然存在,导致智慧化装备在复杂环境下表现不稳定。在经济因素方面,部分农户对装备投入回报周期不明确,影响了智能装备的推广速度。因此,未来装备研发需要从结构标准化、控制系统优化、感知能力提升与成本可控性等方面进行突破,使机械化与智慧化装备更适应设施农业的生产需求。

3 设施农业智慧感知与智能控制技术的融合应用研究

3.1 环境感知技术在设施农业装备中的应用价值

设施农业的生产条件对环境参数高度敏感,温度、湿度、光照、二氧化碳浓度与基质水分含量等指标直接影响作物生长。因此,环境感知技术是智慧化装备开发的重要基础。通过布设温湿度传感器、光量子传感器、CO₂传感器与水分传感器,可实现对设施环境变化的实时监测,使装备能够依据环境变化调整作业策略。感知技术的发展,使传统依赖人工经验的调控方式转向数据驱动,使环境控制更加精准稳定。例如,在高温天气中,感知系统可自动识别温室内部温度上升趋势,驱动遮阳系统与通风系统协同运行,维持适宜的生长环境。环境感知系统还可用于异常识别,通过分析温度与湿度变化曲线发现设备故障或病害风险,使环境控制进入主动预警阶段。

3.2 智能控制技术赋能设施农业装备的作业优化

智能控制技术是机械化装备智慧化的重要实现路径,通过对执行机构的精准控制,使作业过程能够适应不同作物与不同环境条件变化。智能控制系统通常由执行单元、控制器与反馈系统构成,可依据传感数据动态调整运行参数。例

如,在灌溉系统中,智能控制可根据土壤水分梯度、作物蒸腾量与预报气象数据形成灌溉策略,从而避免过量施水造成根系缺氧或资源浪费。在植保装备中,通过图像识别与控制算法的结合,可实现靶向喷雾、变量施药与漂移抑制,提高药剂利用效率并降低环境污染。智能控制还能够在复杂环境中调整装备姿态与运行轨迹,使装备具备自适应能力,提高作业可靠性。

3.3 数据驱动决策技术在设施农业装备管理中的作用

智慧化装备的运行不仅依赖感知技术与控制技术,还依赖数据驱动的决策机制。通过数据平台对环境数据、作物数据、设备数据与作业历史数据进行整合,可形成数据分析模型与决策模型,为装备运行提供依据。例如,基于生长模型可预测作物在不同环境条件下的生长反应,使环境调控设备能够提前进行调节;基于能耗数据可优化加温与通风装置的协同方式,提高能源利用效率。此外,数据驱动机制可用于生产规划,通过对历史产量与操作行为分析,确定不同作业时间的最佳作业策略,使设施农业生产更加高效可控。

4 设施农业装备研发中的机械化-智慧化融合模式构建

4.1 装备结构与智能模块一体化设计原则

设施农业装备向智慧化升级的关键在于机械结构与智能模块的深度协同。一体化设计理念强调在装备研发初期即将传感器、控制器、执行机构与通信单元纳入整体结构规划,使机械结构不再只是作业组件的承载体,而成为智能系统的载体。传统装备在加装智能模块时常出现空间受限、线路杂乱与信号干扰等问题,使智能功能难以稳定发挥。因此,未来研发需要基于三维模型、运动仿真与结构优化技术,预先设计传感器布点位置、电控组件安装舱室以及数据线缆通路,使智能模块在结构中自然嵌入。此外,通过模块化零部件与标准化接口的构建,可实现不同作业装置之间的快速切换与智能组件的跨设备复用,提高装备生态的可拓展性。一体化设计不仅提升装备的可靠性与维护便利度,也使智慧化功能发挥更高效益,为设施农业装备体系的标准化建构奠定基础。

4.2 智能算法与作业执行机构的深度耦合

智慧化装备的核心优势在于能够依据作物状态、环境变化与作业需求自主调整作业行为,而这一能力依赖算法与执行机构之间的深度耦合。在视觉识别、深度学习与强化学习等技术支撑下,装备得以实现作物形态识别、病害诊断、成熟度判断、空间定位等高级感知能力,使作业不再依赖人工经验。例如,采收机械臂在获取果实图像后,可通过算法推断果实的成熟程度与最佳抓取角度,结合运动规划算法生成柔性路径,使采摘过程兼具效率与保护性。在环境控制装备中,算法能够学习温室内温湿度变化规律,构建预测模型,使风机、加温装置与遮阳系统按最优策略协同运行,减少能