

关于智能大蒜收获一体机多模块协同控制技术研究

郭丽娟

华北水利水电大学 河南 郑州 450000

【摘要】：针对大蒜收获过程中各工作部件配合不协调、作业损伤率偏高、智能化水平较低等问题，开展智能大蒜收获一体机多模块协同控制技术研究。通过梳理挖掘、输送、清选、切根、集果等功能模块的运行逻辑，构建以协同调度为核心的整机控制方案，优化模块间动作衔接与参数匹配，减少动作冲突与作业滞后。结合田间实际工况，明确协同控制的实现路径与调试方法，提升设备运行稳定性与收获质量。试验与应用表明，该技术可有效改善大蒜收获效果，降低破损与丢失，提高作业效率，为大蒜全程机械化生产提供可靠技术支撑，推动智能农机装备在特色经济作物生产中落地应用。

【关键词】：大蒜收获；一体机；多模块；协同控制；智能农机

DOI:10.12417/3041-0630.26.04.047

大蒜是我国重要的经济作物，人工收获劳动强度大、成本高、效率低，已成为制约产业规模化发展的瓶颈。现有大蒜收获机械多为单一功能或简单组合，各部件独立运行，易出现挖掘深度不准、输送卡顿、清选不净、切根不齐等问题，影响收获质量与设备可靠性。随着智慧农业推进，农机装备向模块化、智能化、协同化升级成为必然趋势。围绕智能大蒜收获一体机多模块协同控制展开研究，解决模块间动作不协调、参数不匹配、响应不同步等关键问题，提升整机作业性能，对降低蒜农劳动强度、提高生产效益、推动大蒜产业高质量发展具有重要现实意义。

1 大蒜收获作业现存问题与技术短板

当前大蒜机械化收获仍以分段式或简易联合机型为主，作业流程衔接不畅，整体作业效率与收获质量难以满足规模化、标准化生产需求。这类设备人工辅助比例较高，挖掘、输送、清选、切根等多个关键环节仍依赖人工现场调整，不仅劳动强度大、作业标准不统一，而且长时间连续作业容易出现疲劳失误，进一步加剧蒜头损伤、漏收等收获损失。多数设备采用分散控制结构，各功能模块按照固定程序独立运行，无法根据土壤湿度、种植密度、大蒜长势等复杂田间工况实时调整参数，在坡地、黏土地、大小苗混种等复杂地块作业时适应性明显不足。

设备运行过程中，各模块之间缺乏有效联动，极易出现动作冲突或时序错乱现象。挖掘模块入土深度与行走速度不匹配，会直接造成蒜头损伤或挖掘不净；输送与清选模块速度不协调，会引发堵塞、夹带泥土或漏拣损失；切根模块与输送模块位置不同步，则会导致切根不齐、留须过长或直接切伤蒜头^[1]。这些问题不仅大幅降低收获合格率与商品率，还会增加设备故障率，提高使用与维护成本，进而影响农户购机用机的积极性。

从技术层面看，现有设备普遍缺少统一的协同调度机制，

感知、决策、执行三个环节相互脱节。传感器仅用于单一状态监测，无法为整机协同运行提供有效数据支撑；控制逻辑以简单顺序控制为主，不具备动态调节与故障自愈能力；人机交互界面复杂，操作门槛较高，基层用户难以快速掌握。这些技术短板共同导致大蒜收获机械整体智能化水平偏低，难以实现高效、低损、稳定的连续作业，亟需通过多模块协同控制技术实现系统性突破。

2 多模块协同控制技术实现路径

多模块协同控制以整机高效低损运行为目标，按照统一时序与参数标准调度各功能模块，形成感知、决策、执行闭环体系。在整机运行过程中，先对挖掘、输送、清选、切根、集果等模块进行系统的功能梳理与接口标准化设计，明确各模块在不同作业阶段的启动条件、运行速度、动作幅度与停止时机，建立环环相扣、相互配合的完整工作流程，让原本分散独立的部件形成有机整体。通过统一控制中枢实时接收田间工况信号，按照预设逻辑与作业规则分配任务，确保各模块在正确时间、以合适参数完成对应动作，从结构上消除独立运行带来的配合误差，提升整机运行的连贯性与稳定性。

协同运行以稳定时序与合理参数为核心，重点解决动作同步性与负荷均衡性问题。系统可根据设备行走速度自动调节挖掘深度与振动强度，保证入土均匀、起蒜顺畅，避免因深浅不一造成蒜头损伤或遗漏；按照实时输送量动态调整清选转速与风力大小，在保证清土效果的同时减少蒜头碰撞损伤与泥土残留；依据输送位置精准控制切根时机与高度，提升切根整齐度，降低后续处理工作量^[2]。各模块严格按照先信号采集、再逻辑判断、后动作执行的流程协同工作，遇到堵塞、过载等异常情况时，整机可快速降速或暂停运行，优先保护关键部件不受损坏，待故障排除后自动恢复作业，大幅提升设备运行安全性与耐用性。

田间适配与简化操作是技术落地的关键，在保证协同效果

的同时尽可能降低使用难度。控制系统界面采用直观按键与清晰指示灯,实时显示作业状态与故障信息,支持常用工况一键切换,满足不同地块、不同种植模式的作业需求。整机采用模块化布局,结构简洁合理,便于拆装、维护与部件更换,协同控制程序预留充足调整空间,可根据当地农艺要求与作业习惯优化参数。通过多轮样机试制与田间对比试验,不断改进控制逻辑与硬件配置,使协同控制方案更贴合实际生产环境,确保普通农户能够轻松上手操作,实现设备稳定可靠运行。

3 技术应用成效与发展方向

多模块协同控制技术应用后,智能大蒜收获一体机的作业质量与运行稳定性得到明显提升,各部件之间配合更加流畅有序,能够有效减少蒜头损伤、漏收丢失以及管路堵塞等常见作业问题。设备可一次性完成挖掘、清土、输送、切根、集果等多道工序,实现收获流程一体化作业,大幅缩短田间作业时间,降低人工投入数量与劳动强度,使蒜农的收获成本显著下降,综合生产收益得到切实提高。统一协同调度让整机运行负荷更加均衡,避免了部件间的相互冲击与过度磨损,有效延长设备使用寿命,降低故障率与后期维修费用,进一步提升农机使用的经济性与实用性。

该技术为大蒜生产全程机械化提供了稳定可行的解决方案,有力推动收获环节从人工主导逐步转向智能机械主导。标准化的模块接口与协同控制架构具有良好的扩展性,可根据实际生产需求增加辅助功能或适配不同类型机型,为后续技术升级与产品迭代更新打下坚实基础^[3]。此项技术的推广与应用,

参考文献:

- [1] 侯加林,李超,娄伟,等.大蒜联合收获机按压式切根装置设计与试验[J].农业机械学报,2022,53(10):167-174.
- [2] 朱彦飞.大蒜机械化收获装备及其关键技术研究进展[J].农业装备技术,2025,51(06):4-5+8.
- [3] 王永健,丁想,李骅,等.基于STM32大蒜联合收获机监测系统设计与试验[J].智能化农业装备学报(中英文),2025,6(01):15-24.

有助于全面提升大蒜种植的机械化、智能化水平,促进农机与农艺深度融合,助力特色经济作物生产提质增效,为乡村产业振兴提供坚实的装备支撑。

未来可进一步提升协同控制的自适应与智慧化水平,增强设备对复杂地形、不同土壤条件以及多样种植模式的适应能力。结合更加完善的工况感知与在线监测功能,实现作业参数自主优化、故障提前预警与自动保护,逐步向少人化、无人化作业方向发展。同时持续简化操作流程、降低制造成本,推出更多适配中小地块与普通农户需求的经济型机型,让智能协同技术真正走进田间地头,更好服务广大蒜农,推动大蒜产业朝着高效、绿色、智能的方向持续健康迈进。

4 结语

多模块协同控制技术有效解决了大蒜收获一体机各部件配合不协调、作业稳定性不足等问题,显著提升收获质量与作业效率,降低劳动强度与生产成本,为大蒜机械化智能化升级提供实用技术支撑。标准化模块架构与协同调度方案具备良好的适用性与扩展性,便于推广应用,能够推动农机农艺深度融合,助力特色经济作物提质增效。随着智能农机技术不断进步,协同控制将向更自主、更精准、更可靠方向发展,自适应调节、在线监测、故障自愈等功能将逐步完善。持续优化设备结构与控制策略,降低制造成本与操作难度,可让更多农户受益,推动大蒜产业向高效低碳、智能便捷方向高质量发展,为乡村产业振兴注入持久动力。