

“智”动种植——一种集灌溉施肥除虫的农业一体化装置

黄天培, 安怡璇, 杨琛, 蒋琳琳, 范梦雪
天津仁爱学院, 天津 301600
DOI: 10.61369/MAT.2025010005

摘要: 为提升农业生产效率、降低资源浪费并实现绿色作业目标, 设计了一种集灌溉、施肥与除虫于一体的智能种植装置。系统以模块化硬件架构为基础, 配合传感器感知、智能算法决策与物联网远程调控, 实现农业关键环节的自动执行与动态调节。通过田间试验验证装置在水肥利用率、虫害控制率、产量提升与环境友好性方面具备明显优势, 具备推广与持续优化价值。

关键词: 农业智能装备; 灌溉施肥一体化; 声波趋光除虫; 物联网控制; 自动化作业

“Intelligent” Dynamic Planting -- an Agricultural Integrated Device that Integrates Irrigation, Fertilization and Deinsectization

Huang Tianpei, An Yixuan, Yang Chen, Jiang Linlin, Fan Mengxue
Ren'ai University of Tianjin, Tianjin 301600

Abstract: In order to improve agricultural production efficiency, reduce resource waste and achieve the goal of green operation, an intelligent planting device integrating irrigation, fertilization and deworming was designed. Based on modular hardware architecture, the system combines sensor perception, intelligent algorithm decision making and remote control of the Internet of Things to realize automatic execution and dynamic adjustment of key agricultural links. Through field tests, the device has obvious advantages in water and fertilizer utilization rate, pest control rate, yield improvement and environmental friendliness, and has the value of promotion and continuous optimization.

Keywords: agricultural intelligent equipment; integration of irrigation and fertilization; acoustic phototaxis deworming; Internet of Things control; automated operation

随着农业资源约束加剧与劳动人口持续减少, 推动农业生产向智能化、集约化方向发展成为产业转型的关键路径。传统农业作业方式存在环节分散、效率偏低及人工成本高等问题, 难以满足当前大规模、精准化种植的实际需求。依托传感控制、自动执行与远程调控等新兴技术, 构建融合多功能于一体的农业作业系统, 可为农业现代化提供技术支撑与可复制路径。

一、“智”动种植装置的系统架构设计

(一) 装置功能概述

“智”动种植装置通过集成灌溉、施肥与除虫三项功能, 构建农业活动全流程闭环体系, 实现自动执行、远程调控与资源动态调配的多重协同。系统通过设置液态储水模块和独立肥液储仓, 在满足基础农艺条件的同时, 配合雨水收集处理单元对外部水源进行加工过滤以保障农业活动持续性^[1]。除虫功能由内置声波与光谱模块联合实现害虫吸引及定向清除, 形成全天候多模式防护体系, 设备各子功能以同源控制协议统一调度, 形成具有可重构性与分区作业能力的一体化作业平台。

(二) 整体架构组成

系统主体由动力驱动装置、智能控制核心、农业功能执行部件与能源保障单元四大构成部分组成。动力装置用于装置的场景转移与位移调节, 智能控制核心则承担环境感知、数据处理与控制指令发出功能, 执行部件由灌溉管路系统、肥液注射模块、声波趋光装置及雾化喷头构成, 各组件通过模块化安装方式集成至主架体之上。能源保障单元设有太阳能板与蓄电系统, 可为整体系统提供稳定供电基础, 同时具备与市电及备用能源接入的接口设计, 以增强运行可靠性与户外适用性。

(三) 模块化功能布局

系统在结构设计上采用功能区域分离与协同集成并行构型,

将灌溉模块布置于装置下方并配备雾化与滴灌双通道喷头，使其适配不同生长阶段与作物类型。施肥系统通过可调浓度分配装置与灌溉系统实现管路共用但时序分离的动态运行机制，有效降低冗余与维护压力。除虫模块则集成于装置顶部与侧翼，利用声波发射器与光谱诱导灯协同运行，结合作物生长周期设定诱杀参数，形成低干扰、高效能的绿色虫害控制路径，整体构型便于扩展、易于维护且具备多地块部署能力^[2]。

二、智能控制系统设计与优化

（一）传感器与数据采集系统设计

传感器系统围绕农田环境参数感知与作物生长状态检测展开布设，在装置关键节点布置土壤湿度传感器、空气温湿度传感器以及光照强度监测单元，通过对土壤水分波动和空气变化趋势的连续采样形成动态数据流^[3]。水肥供应模块引入液位监测与压力传感元件，辅助完成对水箱与肥液容器储量、灌施流量和分布均匀性的实时感知，同时布设害虫识别模块，结合图像捕捉装置记录农作物区域内的虫害分布与活动状态，为除虫模块提供数据支撑。数据通过局域总线协议统一采集传输，进入主控系统进行预处理和决策分析。

（二）智能算法与控制逻辑

控制逻辑以农业任务多线程调度模型为基础，通过设定环境参数阈值区间与作物品种生长曲线匹配策略，驱动灌溉施肥模块按需响应，灌水量与施肥量由动态修正算法控制，并结合历史数据训练模型进行作业预测与路径优化。除虫控制模块采用复合信号识别机制，依据时间段与虫类活动数据调用不同频段声波与光源频谱组合实现害虫诱导聚集，同时将已识别虫态行为反馈至本地模型迭代学习。算法执行依托嵌入式系统中的边缘计算模块，通过模块间控制信号分发机制实现各子系统协同运行^[4]。

（三）物联网与远程控制集成

装置构建基于低功耗广域网通信技术的物联网控制架构，数据采集节点经由网关接入云端平台，统一存储环境状态、运行参数与历史作业记录^[5]。用户可通过终端控制界面实时查看区域内农情数据，调整作业策略参数，调取历史数据曲线，进行趋势分析与资源配置优化。远程控制系统通过加密指令通道与装置主控单元连接，在保障控制指令准确传输的基础上支持断点续控与异常状态回传，并具备自动故障识别与模块隔离机制，确保系统在多变环境下的稳定运行能力^[6]。

三、装置在实际农业应用中的测试与分析

（一）实验设计与测试环境

测试选取天津市近郊3个不同类型的农业场景，包括日照充足型露天农田、相对封闭型温室大棚以及地势较低型水分易滞留田块，通过对典型作物小白菜、西红柿与辣椒进行种植管理，构建对比实验体系。在试验过程中，每类作物均设对照组与实验组，实验组采用“智”动种植装置执行全周期农业操作，对照组则采

用人工灌溉与常规施肥手段，试验周期设定为90天。实验阶段对每日灌溉水量、施肥浓度、虫害发生频次、作物单产等关键指标进行分段记录，结合气象数据同步采集，形成完整农业过程数据据集。

（二）灌溉、施肥、除虫效果评估

水肥管理效率通过对比不同处理条件下的实际用水量、单位面积施肥量与产出进行测算。实验数据显示，装置灌溉过程的日均水量控制在1.6 - 2.1L/m²之间，低于对照组2.8 - 3.3L/m²范围，有效实现水资源节流。在肥料使用方面，装置在相同周期下平均减少氮肥使用量27%，磷钾肥减少21%，而作物生长状态保持稳定。虫害防控评估以单位面积内虫体出现次数为评价指标，配合实地虫害图像采集统计分析^[7]。对比效果如表1、表2所示。

表1：智能装置与常规方式灌溉与施肥效率对比

处理方式	日均灌溉量 (L/m ²)	氮肥总投入 (g/m ²)	磷钾肥总投入 (g/m ²)	平均单产 (kg/m ²)
实验组 (装置)	1.85	18.4	12.6	3.42
对照组 (人工)	3.05	25.1	15.9	2.98

表2：不同控制方式下虫害频率与抑制效果对比

作物种类	平均虫害次数 (次/周/m ²) 实验组	平均虫害次数 (次/周/m ²) 对照组	抑制率 (%)
小白菜	0.9	3.6	75.0
西红柿	1.1	4.2	73.8
辣椒	1.3	4.9	73.5

通过对虫害图像识别系统记录的虫体种类与数量进行分析，结果显示装置除虫系统在夜间使用声波和光谱组合作模式期间，虫害控制效果最为显著，虫体吸引率达到91.3%，其中趋光性害虫捕捉比为84.7%。

（三）经济与环境效益评估

经济评估以单位面积投入成本与产出效益比为基础，结合用水量、化肥使用量与人工投入测算收益结构。在每亩土地上的平均投入较对照组高出6.2%，但因作物增产、人工成本大幅降低，综合产出比提升23.5%。环境效益方面，装置运行三个月内平均减少肥料残留浓度12.6%，降低地下水污染风险，对比分析如表3所示。

表3：经济与环境综合效益评估表

项目类别	装置组	对照组	差值/变化率
每亩总投入 (元)	1240	1168	+6.2%
平均单产 (kg)	684	559	+22.3%
人工成本 (元)	260	490	-46.9%
水资源使用率提升	—	—	+37.1%
肥料残留浓度 (mg/L)	5.12	5.86	-12.6%

在能耗方面，装置所采用的太阳能发电单元运行稳定，三个月试验期间平均每日供电能力为4.3千瓦时，系统整体能耗控制在3.7千瓦时以内，能源自给率达到86%，显著降低了传统设备对外部电力依赖程度。在土壤质量评估方面，通过对试验地块采样分析发现，装置区土壤中有效养分均衡度较对照组提高18.4%，土壤微生物活性提升12.1%，呈现出农业生态系统向良性方向演化的趋势。结合产出与环境反馈双重指标，“智”动种植装置在现代农业生产中的集成化与绿色化效能得到量化验证。

四、“智”动种植装置的优化协同与推广路径

(一) 装置功能提升的优化策略

功能优化将从核心硬件性能、部件模块扩展性与软件算法适配性三方面同步推进。结构层面增加可伸缩支架组件,使装置能在不同垄距与株型作物之间灵活调整工作宽度,适应行间变幅在30cm至80cm之间的不同种植模式^[8]。在灌溉单元增设电磁流量阀,实现液体流速与喷洒量双重控制精度提升至 $\pm 2\%$,结合高灵敏度湿度反馈系统,形成闭环调节逻辑,提升精准供水效率。肥液分配模块引入可编程比例调节器,依据实时作物养分需求调整养分浓度和施用频率,减少固定周期内因过度或滞后施肥导致的作物生长偏差。在控制软件部分增加多种作物适配模板,用户可基于作物种类快速调用预设参数库并根据实测数据进行自动微调以满足局部差异环境下的变量调节需求^[9]。除虫系统集成多频段声波发射端,通过调制不同频段干扰信号以提升对多种害虫的诱导能力,光谱诱导模块接入环境感光自适应算法以根据昼夜及气象变化动态调整光照强度与波长分布。系统能源部分优化太阳能电池板排布方式,提升面板采光效率与集热角响应能力,蓄电池采用磷酸铁锂材料,提升高温工况下的电能稳定性和循环寿命。

(二) 系统集成与农业机械协同路径

装置的系统协同路径构建以信息接口标准化与机械协同通用化为基础。各作业模块数据节点嵌入统一的数据传输协议接口,可实现与常规农业无人车、轨道播种机、喷药机及中耕管理机的调度平台无缝对接^[10]。在大田作业场景中,装置可搭载至无人农机底盘,通过开放式CAN总线与车体主控系统连接,实现多台设备联动作业。在温室或大棚作业环境中,可通过导轨移动平台控制定位路径,由温室自动化系统调度执行任务。装置控制系统与地面传感网络集成方式采用中继节点方式,在低信号区部署无线中继器,提高系统通信覆盖范围。为保障跨系统协同的时间一致性与任务精度,作业平台引入统一时间戳管理机制与路径缓存调度规则,通过微延迟校正算法确保作业路径交叉区域的任务先后顺序不发生冲突^[11]。在整体农机作业调度中,系统可通过主平台设置任务队列,对装置执行灌溉、施肥、除虫操作的时间点、路

径节点、任务载荷量等进行精细化管理,构建作业任务分区调度逻辑,保障各类农业机械协同运行。

(三) 推广应用的现实路径与策略

推广路径应立足区域性种植结构差异与产业发展水平,分层分类部署装置投放模式。在水资源分布不均或农户种植地块碎片化地区,优先推广模块组装型轻量版本,通过区域农机服务中心统一调配装置部件,由合作社集中组装后投放使用,降低小规模农户个体购置成本^[12]。在种植规模较大、种类集中的高标准农田区域,推行标准化集成版本,结合物联网平台接入能力,与当地农业大数据平台联动,实现设备状态远程监管、作业数据上云归档、运行参数模型化管理。在政策层面,通过与农业农村主管部门合作对接农机补贴目录,将装置列入现代农业智能装备采购目录,提升用户投资意愿。在实施过程中结合示范农场与科研基地建立试点应用区,组织周期性现场观摩活动,配套制定可操作性强的技术使用手册和设备维护手册,设立技术服务热线与远程运维平台。针对农户数字操作水平不一的问题,通过村镇联合举办系统操作技能培训课程,将智能装置操作流程分解为图示化、语音化教学包,提升推广适应度。对已部署区域建立基于网格化管理的装置运行档案制度,定期生成作业评估报告与维护预警通知,并在区域管理平台实现装置数据分布可视化与风险指标图谱展示。在装置推广后的运行周期内,设置不少于12个月的跟踪评估期,采集使用数据并通过反馈闭环机制用于第二代产品的快速迭代更新,形成产品-数据-服务一体化的闭环推广模式。

五、结语

集成灌溉、施肥与除虫功能的智能种植装置已展现出在实际农田作业中的集成度与稳定性,通过持续优化结构与算法可进一步提升系统协同性与环境适应性。在未来推广中应加强区域差异化适配、平台间互联标准建设与运维体系保障,并结合农业大数据平台推进闭环管理与智能调控融合,逐步实现农业作业的精准、高效与绿色协同,推动现代农业装备从自动执行走向高效协同发展。

参考文献

- [1] 刘佳琪. 农田水肥一体化智能灌溉控制系统研究与设计 [D]. 华北水利水电大学, 2021.
- [2] 李雪. 基于物联网的果园智能灌溉系统研究与设计 [D]. 延安大学, 2023.
- [3] 杨运乐. 传感器技术在农业中的应用 [J]. 农业技术与装备, 2019, (02): 18-20.
- [4] 张峰. 面向智能农业小麦自动化管理机器人的开发与应用 [J]. 农业工程技术, 2024, 44(26): 52-53.
- [5] 本刊讯. 托普云农展示智慧农业云平台及农业物联网系统的应用 [J]. 中国植保导刊, 2017, 37(06): 35.
- [6] 任嘉颖. 农业物联网技术在农业机械装备中的应用研究 [J]. 南方农机, 2025, 56(02): 60-62.
- [7] 稽学喜. 超声波用于加速谷物发芽和驱除害虫 [J]. 电子技术, 1966, (04): 13.
- [8] 张景东. 大数据驱动的农业种植智能化管理与优化策略 [J]. 农业工程技术, 2024, 44(02): 84-85.
- [9] 刘军梅. 农业机械自动化技术在农业机械制造业中的应用及发展 [J]. 河北农机, 2024, (13): 22-24.
- [10] 孟晓杰, 汪文明, 夏馨, 等. 基于 OneNET 物联网云平台智慧农业灌溉系统设计与实现 [J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(21): 101-103.
- [11] 赵志强. 模块化设计对农业机械化的影响 [J]. 河北农机, 2024, (16): 24-26.
- [12] 王宇涵, 王浩, 李飞扬, 等. 模块化智能农业作业车的设计 [J]. 应用科技, 2024, 51(05): 284-291.