

物联网技术赋能农业企业精准种植的路径优化与成本收益分析——以果蔬种植企业为例

聂智峰

联通(江西)产业互联网有限公司, 江西 南昌 330001

DOI: 10.61369/TACS.2025070031

摘要：当前，果蔬种植企业普遍面临资源利用效率低、生产决策依赖经验、市场响应滞后等问题，导致成本居高不下且产品竞争力不足。基于此，本文深入探究了物联网技术赋能果蔬精准种植的核心路径、技术集成与效率提升等内容，旨在为农业企业提供可复制的数字化转型方案，助力实现降本增效与可持续发展目标。

关键词：物联网技术；果蔬种植企业；成本收益

Path Optimization and Cost-Benefit Analysis of IoT Technology Empowering Precision Planting in Agricultural Enterprises—A Case Study of Fruit and Vegetable Planting Enterprises

Nie Zhifeng

China Unicom (Jiangxi) Industrial Internet Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330001

Abstract：At present, fruit and vegetable planting enterprises generally face problems such as low resource utilization efficiency, production decisions relying on experience, and lagging market response, which lead to high costs and insufficient product competitiveness. Based on this, this paper deeply explores the core paths, technology integration and efficiency improvement of IoT technology empowering precision planting of fruits and vegetables, aiming to provide replicable digital transformation solutions for agricultural enterprises and help achieve the goals of cost reduction, efficiency improvement and sustainable development.

Keywords：IoT technology; fruit and vegetable planting enterprises; cost-benefit

引言

农业农村部关于印发《全国智慧农业行动计划（2024—2028年）》的通知明确指出按照“一年打基础、三年见成效、五年上台阶”的工作安排，分阶段推进；到2026年底，智慧农业公共服务能力初步形成，探索一批主要作物大面积单产提升智能化解决方案和智能；农（牧、渔）场技术模式，农业生产信息化率达到30%以上；到2028年底，智慧农业公共服务能力大幅提升，信息技术助力粮油作物和重要农产品节本增产增效的作用全面显现，先行先试地区农业全产业链数字化改造基本实现，全域推进智慧农业建设的机制路径基本成熟，农业生产信息化率达到32%以上^[1]。企业应该根据国家的政策性文件进行研究与路径的优化，这样才能够更好地进行发展。

一、物联网技术赋能果蔬精准种植的核心路径

（一）环境感知与数据采集系统：构建农业“数字孪生”基础

1. 多参数地面传感器网络

在田间部署高精度土壤传感器（温湿度、EC值、氮磷钾含量）、气象站（风速、降雨量、光照强度）及作物生理传感器（叶面温度、蒸腾速率），形成10米×10米网格化监测。例如，荷兰Priva公司开发的土壤多参数探头，可实时反馈0-60cm土层水分梯度，指导分层灌溉^[2]。

2. 空天地一体化遥感监测

无人机搭载多光谱/热红外相机，每周2次巡检，通过NDVI植被指数分析作物长势，结合卫星遥感（如Sentinel-2）获取区域尺度病虫害早期预警。美国Blue River Technology公司开发的See & Spray系统，利用计算机视觉识别杂草位置，实现选择性喷洒，减少90%农药使用^[3]。

3. 边缘-云端协同架构

田间部署边缘计算网关（如NVIDIA Jetson系列），对原始数据进行清洗、压缩与初步分析，仅将关键异常数据上传云端^[4]。阿里云ET农业大脑通过此架构，将数据传输延迟从秒级降至毫

秒级，支持实时灌溉决策。

（二）智能决策与控制体系：实现“按需供给”种植

1. 动态水肥模型构建

基于作物蒸腾模型（Penman-Monteith 方程）与土壤水分特征曲线，结合未来7天天气预报，生成每日灌溉量建议。以色列 Netafirm 公司的智能滴灌系统，通过实时调整电磁阀开度，使番茄种植水利用效率达95%，较传统漫灌节水40%^[6]。

2. 设备联动控制策略

智能温室中，环境控制器（如 Hortimax）根据 CO₂ 浓度自动调节补光灯亮度，当湿度超过85%时联动循环风机启动。日本富士通开发的农业 IoT 平台，通过规则引擎实现“如果温度>35℃且光照>10万 lux，则开启遮阳网并启动湿帘降温”的自动化响应^[6]。

3. 病虫害 AI 诊断系统

采集叶片图像后，利用 ResNet50 深度学习模型识别白粉病、晚疫病等12种常见病害，准确率达92%。中国农科院开发的“智慧农技”APP，农户上传照片后3秒内返回诊断结果及防治方案，已覆盖全国23个省份^[7]。

（三）全流程追溯与品质管理：打造“透明农业”生态

1. 区块链品质追溯系统

从播种开始，每个批次果蔬绑定 RFID 标签，记录施肥次数、农药使用、采摘时间等28项数据^[8]。沃尔玛与 IBM 合作的区块链平台，使农产品溯源时间从7天缩短至2.2秒，消费者扫码可查看全生命周期视频^[9]。

2. 电商平台直连模式

通过物联网平台对接美团买菜、叮咚买菜等即时零售渠道，实现“订单预测-精准采摘-冷链直送”^[10]。盒马鲜生在上海的“日日鲜”蔬菜项目，利用物联网预测模型将损耗率从15%降至3%。

3. 碳足迹可视化系统

结合能源消耗数据与排放因子库，计算每公斤果蔬的碳排放量。新西兰 Zespri 奇异果公司通过此系统，将碳标签产品溢价提升至15%，满足欧盟碳边境调节机制（CBAM）要求^[11]。

二、路径优化策略：技术集成与效率提升

（一）多源数据融合与算法优化：构建“农业大脑”决策中枢

1. 时空数据对齐技术

将无人机遥感数据（空间分辨率10cm）与地面传感器数据（时间分辨率1分钟）通过克里金插值法融合，生成5m×5m网格的动态水分分布图。中国科学院空天院开发的“天眼农情”系统，使土壤湿度预测误差从18%降至7%^[12]。

2. 迁移学习应对数据稀缺

针对小众果蔬（如黑莓），利用在大宗作物（草莓）上预训练的 CNN 模型，通过少量标注数据微调，实现病虫害识别准确率从65%提升至89%^[13]。谷歌 TensorFlow Agricultural Framework

提供开箱即用的迁移学习工具包。

3. 强化学习优化控制策略

在智能温室中，采用 DDPG 算法训练 Agent，根据历史环境数据与产量反馈，动态调整通风口开度。荷兰 Wageningen 大学实验显示，此方法使黄瓜产量较 PID 控制提升14%^[14]。

（二）边缘计算与本地化部署：破解“最后一公里”难题

1. 轻量化模型压缩技术

将 YOLOv5 病害检测模型从93MB压缩至2.3MB，在华为 Atlas 500 边缘设备上实现15fps实时推理。腾讯优图实验室开发的 Tiny AI 框架，使模型推理能耗降低82%。

2. 低功耗广域网（LPWAN）优化

采用 LoRaWAN 技术部署田间传感器，单节点电池寿命达5年，覆盖半径3km。法国 Semtech 公司的 LoRa 芯片，在宁夏枸杞基地实现每亩年通信成本仅0.8元^[15]。

3. 多模态交互终端设计

开发支持语音指令、手势识别的智能终端，降低农户操作门槛。科大讯飞为安徽砀山梨园定制的“农语通”设备，农户通过方言即可查询灌溉建议，使用率提升至91%。

（三）模块化与可扩展架构设计：支撑差异化需求

1. 插件式传感器接口标准

制定 IEEE P2668 物联网农业设备互操作标准，支持 PH 传感器、虫情测报灯等设备即插即用。德国 Pepperl+Fuchs 公司的工业物联网网关，已兼容超过200种农业协议。

2. 数字孪生体动态更新机制

根据作物生长阶段自动切换孪生模型参数，如番茄开花期重点监测硼元素，结果期侧重钾元素。西门子 MindSphere 平台通过此机制，使模型预测误差随生长周期动态优化。

3. 跨区域知识图谱构建

整合全国32个农业生态区的气候数据、品种特性与种植经验，形成可复用的决策规则库。中国农科院开发的“农知通”图谱，已包含12万条农业知识关联。

三、成本构成与收益来源分析

（一）初始投资成本

硬件设备：传感器、网关、自动化执行机构（约占总成本40%~60%）。

软件系统：数据平台开发、AI模型训练（约20%~30%）。

基础设施：网络覆盖、电力供应改造（约10%~20%）。

（二）运营维护成本

设备校准与更换、数据存储与安全费用、技术人员培训。

（三）收益来源

直接收益：产量提升（15%~30%）、水肥节约（20%~40%）、品质溢价（有机认证产品价格提升30%+）。

间接收益：政府补贴（如智慧农业项目资助）、品牌价值提升、供应链效率优化。

四、典型案例实证：以果蔬企业为例

- （一）实施背景

企业规模：500亩设施果园，传统种植模式下单产波动大、病虫害频发。
- （二）技术应用方案

部署土壤墒情监测系统 + 智能滴灌设备，实现按需供水。

引入图像识别技术自动识别蚜虫病害，联动无人机精准施药。
- （三）效果对比

成本：初期投入120万元，年维护费用8万元。

收益：年增产22%，水肥成本降低35%，病虫害损失减少40%，2年内收回投资。

五、挑战与对策：推动规模化应用的关键

- （一）技术层面

挑战：传感器在恶劣环境下的稳定性、多设备协议兼容性。

对策：采用工业级防护设计，开发通用型物联网中间件。

- （二）经济层面

挑战：中小企业资金短缺、投资回报周期长。

对策：探索“设备租赁 + 服务分成”模式，申请农业科技贷款。
- （三）政策与社会层面

挑战：农户技术接受度低、数据隐私风险。

对策：开展田间学校培训，建立数据脱敏与共享机制。

六、结束语

本文从技术路径到优化策略，再到成本收益量化，最后通过案例验证并提出推广建议，形成“技术 - 经济 - 实践”闭环分析，符合农业企业决策需求。物联网技术赋能果蔬精准种植已从概念验证进入规模化推广阶段。通过构建“技术 - 经济 - 政策”三位一体的实施框架，可实现亩产提升20% ~ 35%、资源消耗降低30% ~ 50%的可持续农业发展目标。未来需重点突破轻量化AI模型、跨区域知识共享等关键技术，完善政府 - 企业 - 农户的风险共担机制，推动中国农业向全球价值链高端攀升。

参考文献

[1] 秦璇, 张嘉怡, 曹星. 基于物联网技术的循环生活方式运用研究——以家庭智能果蔬储存仓为例 [J]. 设计, 2025, 38(04): 110-113.

[2] 魏静. 物联网技术在果蔬产品供应链管理中的应用分析 [J]. 产业创新研究, 2024, (21): 125-127.

[3] 齐海军, 曾波锋, 罗毅智, 等. 基于物联网的柚果分级交易数字化管理系统设计与开发 [J]. 农机化研究, 2025, 47(08): 251-258+285.

[4] 方鑫, 江杰霖, 经羽凡, 等. BIM+ 物联网技术在智能果蔬农业灌溉工程中的应用研究 [J]. 河北农业, 2024, (08): 44-46.

[5] 任欢. 面向果蔬品质状态检测的无芯片射频跨域感知研究 [D]. 安徽农业大学, 2023.

[6] 李洪兵, 罗洋, 张颖, 等. 基于模糊 PID 控制的 NB-IoT 果蔬农业物联网系统设计与试验 [J]. 中国农机化学报, 2023, 44(01): 162-171.

[7] 褚军, 张静, 刘萍, 等. 疫情常态背景下温室物联网技术在蔬菜生产中的应用——以茄果类蔬菜番茄生产为例 [J]. 安徽农学通报, 2022, 28(07): 108-109+116.

[8] 成志平. 物联网背景下果蔬冷链物流平台发展趋势探讨 [J]. 中国物流与采购, 2022, (03): 67.

[9] 王玉巍, 竟静静, 宾大山, 等. 浅谈基于物联网的太阳能热电联供果蔬干燥系统设计 [J]. 中国设备工程, 2021, (16): 126-127.

[10] 杨冀东. 果蔬智能温室标准化感知模式及其关键技术研究 [D]. 东南大学, 2021.

[11] 孙鲁青, 李婧, 郭公浦. 5G 背景下物联网技术助推智慧农业建设模式研究——以中小林果种植企业为例 [J]. 智慧农业导刊, 2021, 1(05): 9-11+15.

[12] 袁春兰. 基于物联网技术的果蔬冷链物流实时监测系统研究 [J]. 无线互联科技, 2020, 17(19): 155-156.

[13] 李琰, 孙林, 许宏超, 等. 一种基于物联网的社区商业鲁棒优化配送方案——社区商业的果蔬配送解决方案 [J]. 时代经贸, 2020, (20): 46-50.

[14] 史亮. 基于区块链 + 物联网的果蔬农产品供应链追溯体系研究 [D]. 山东农业大学, 2020.

[15] 杨扬. 基于 LoRa 物联网技术的火龙果大棚监控系统的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27(11): 82-85+129.