

Optimization and Practice of High-Efficiency Cultivation Technology for Facility Vegetables Based on Intelligent Environmental Regulation and Control

Caixia Han

Qingyang City Comprehensive Service Center for the Elderly, Qingyang, Gansu, 745000, China

Abstract

With the continuous transformation and upgrading of modern agriculture, facility vegetable cultivation is gradually shifting from the traditional experience-led to the precision agriculture mode with intelligent regulation and control as the core. The coexistence of high input and high efficiency of facility agriculture has put forward higher requirements for the control of environmental factors, and how to realize the precise regulation of temperature and humidity, light, carbon dioxide concentration, water and fertilizer supply and other elements through the intelligent system has become the key to improve the yield and quality of vegetables. This paper focuses on the practical application of intelligent environmental control technology in facility vegetable cultivation, systematically analyzes the core technology paths of environmental parameter monitoring, information acquisition, intelligent decision-making and linkage control, combines typical cases in many places, explores the response characteristics of environmental factors of different vegetable species in different fertility periods, and proposes a set of efficient control strategies oriented to the physiological needs of crops. The study shows that the technology system based on intelligent environmental regulation and control can not only increase the yield, improve the quality and save resources, but also effectively reduce the labor cost and management risk, which has high popularization value and practical significance.

Keywords

facility agriculture; vegetable cultivation; intelligent environmental regulation; precision agriculture; efficient production

基于智慧设施的蔬菜栽培环境调控技术优化及实践验证

韩彩霞

庆阳市养老综合服务中心, 中国·甘肃 庆阳 745000

摘要

随着现代农业的持续转型升级, 设施蔬菜种植正逐步由传统经验主导转向以智能化调控为核心的精准农业模式。设施农业的高投入与高效益并存, 对环境因子控制提出了更高要求, 如何通过智能系统实现温湿度、光照、二氧化碳浓度、水肥供给等要素的精准调节, 成为提升蔬菜产量与品质的关键。本文围绕智能环境调控技术在设施蔬菜栽培中的实际应用, 系统分析了环境参数监测、信息采集、智能决策与联动控制等核心技术路径, 结合多地典型案例, 探讨不同蔬菜种类在不同生育期的环境因子响应特性, 并提出一套以作物生理需求为导向的高效调控策略。研究表明, 基于智能环境调控的技术体系不仅能够提高产量、改善品质、节约资源, 还能有效降低人力成本和管理风险, 具有较高的推广价值和实践意义。

关键词

设施农业; 蔬菜栽培; 智能环境调控; 精准农业; 高效生产

1 引言

设施蔬菜栽培作为我国农业现代化的重要组成部分, 其在保障“菜篮子”供给、稳定蔬菜价格与提高农业附加值等方面发挥了关键作用。然而, 由于设施环境封闭性强、调控系统复杂, 对温度、湿度、光照、水肥等因素依赖度高, 传统依靠人工调节的方式在精准性与实时性方面存在较大局限, 难以满足蔬菜生长动态变化的需求。尤其在温室大棚、

高架栽培等高投入作业场景中, 环境波动不仅影响产量, 更直接决定了品质与经济效益。随着传感器技术、物联网、大数据与人工智能等技术的快速发展, 基于智能环境调控的设施栽培技术应运而生, 并逐步渗透到生产实践中。该类技术通过构建多参数采集系统、自动控制平台及作物模型分析, 实现对作物生长环境的精准调节与动态响应, 具备节能增效、减灾避害、稳定供应的多重优势。本文立足我国设施蔬菜栽培现状, 探讨智能环境调控体系的核心构建逻辑, 分析关键调控技术在不同蔬菜品种中的适配性与优化空间, 力求为构建高产、优质、高效、可持续的设施蔬菜生产体系提供

【作者简介】韩彩霞(1974-), 女, 中国甘肃会宁人, 农艺师, 从事农业栽培、园林绿化研究。

理论参考与实践指导。

2 设施蔬菜生产中环境调控的关键因子与智能化转型需求

2.1 设施蔬菜对环境因子的高度敏感性分析

设施蔬菜生产依赖人为可控的环境系统，其核心优势在于突破自然条件的限制，实现周年连续生产。然而，这一优势也意味着蔬菜生长极度依赖人工干预与环境调控的稳定性。设施栽培环境具有空间密闭性强、环境变化迅速、调控链条复杂等特点，使得蔬菜对各类环境因子的反应更加敏感。主要环境因子包括温度、湿度、光照强度与时长、CO₂浓度、土壤或基质中的水分及养分状况等。其中，温度是影响作物代谢活动的关键因素，尤其对于番茄、黄瓜等果菜类蔬菜来说，其生长发育对昼夜温差变化尤为敏感。若白天温度超过35℃，植株蒸腾加剧、花粉活力下降，极易引起花而不实；若夜间温度低于12℃，则可能导致花芽分化障碍、果实生长缓慢，直接影响产量与品质。

光照是决定光合作用效率的主导因素。光照不足不仅抑制碳同化过程，还易引起茎叶徒长、叶色变淡、节间拉长，最终导致落花落果、果实畸形等不良表现。此外，湿度水平对蔬菜授粉、病害发生等也具有双向影响。当空气湿度过高时，如超过90%，易导致灰霉病、霜霉病等真菌性病害的发生率提升；而湿度过低则使空气干燥，花粉失去活性，降低授粉成功率，进而影响坐果率和商品性。同时，CO₂作为光合作用的原料，其浓度直接关系到产量潜力。在密闭条件下，如未及时补充CO₂浓度，光合速率将明显下降，影响干物质积累。

此外，根区环境中水分与养分供给的稳定性同样是决定蔬菜健壮生长的重要基础。若灌溉频率、施肥量未与作物生育期精准匹配，易造成根系缺氧、盐害积累或养分失衡问题。因此，设施蔬菜对环境因子调控提出了更高的实时性与精准性要求，调控系统一旦响应滞后或参数设定失当，将直接造成产能下降与资源浪费，甚至引发作物大面积病害或早衰现象。

2.2 传统调控方式存在的效率与精度瓶颈

在传统设施蔬菜生产体系中，大多数中小型温室仍以经验管理为主，环境调控依赖于操作人员的判断与手工控制设备，如定时手动通风、灌溉、水肥一体机定量设定等。这种操作方式具有明显的被动性与滞后性，特别是在天气突变、设备失效或作物生育节律突变时，人工操作难以及时调整，常常造成作物生长受阻。以灌溉管理为例，传统做法多采用固定时间与水量灌溉，忽视了土壤墒情与根系吸水动态，极易导致局部过湿或干旱，降低水肥利用效率。

更重要的是，环境因子并非孤立存在，而是相互作用、动态耦合的。例如温度与湿度之间存在热湿交互反馈关系，CO₂浓度与光照强度共同影响光合能力，而水分胁迫又可引

起气孔关闭、抑制蒸腾与养分运输。这些复杂关系在传统人工控制中难以实现实时感知与系统性响应，仅靠单因子调节往往顾此失彼，反而造成系统性误差和作物应激。

此外，由于操作依赖人工，不同管理人员的经验水平参差不齐，调控措施缺乏统一标准，导致管理结果不稳定。同时，传统设备普遍缺乏环境数据采集与反馈能力，不具备预警和分析功能，生产者难以掌握作物实时状态与环境变化趋势，管理决策缺乏科学支撑。因此，提升设施环境调控的智能化水平，已成为制约当前设施农业生产效率提升的关键因素之一。

2.3 智能调控系统的建设必要性与技术优势

随着物联网、大数据、人工智能等技术的逐步成熟，将其引入设施农业环境调控系统已成为现代农业发展的核心路径。智能环境调控系统一般由传感器网络、数据采集与处理平台、决策支持系统和执行终端四大模块构成。通过分布式部署的传感器节点，实现对温、湿、光、气、土五大环境要素的连续监测，并将数据实时上传至控制平台。控制系统依据内置作物模型与专家数据库，判断当前环境状态与最优生态参数的偏离程度，自动生成调控指令，控制风机、天窗、卷膜器、水肥一体机、CO₂发生器、补光灯等终端设备进行联动响应，形成闭环调控过程。

相较传统方式，智能调控具备显著优势：一是响应速度快，可实现分钟级调节，避免滞后引发作物应激；二是调控精度高，可在设定参数范围内保持微小波动，提高作物适应性；三是节能高效，通过数据分析优化设备运行策略，减少资源浪费；四是高度自动化，大幅降低人工参与强度与管理成本。更重要的是，系统具备自学习功能，能根据历史数据与作物表现不断优化调控模型，实现“因苗调控、因时施策、因地管理”的精准农业理念。

未来，随着5G通信、边缘计算与人工智能算法的深度融合，设施蔬菜智能环境调控将迈向“云-边-端”协同演化的新阶段，实现更广域、更智能、更低成本的调控系统普及，为我国农业现代化发展提供坚实支撑。

3 智能环境调控系统的技术路径与功能模块构成

3.1 传感器网络构建与关键参数采集

智能调控系统的高效运行依赖于全面而精准的数据采集体系，这是其感知层的基础。目前广泛应用的传感器种类包括温湿度传感器、光照强度计、二氧化碳浓度检测器、土壤湿度与电导率传感器等，可实现对设施环境关键参数的实时监测。为了获得更加全面的数据支持，通常在温室内不同高度和位置布设节点式感知设备，对棚顶、作物冠层、地表等空间层次的微环境变化进行立体化捕捉，形成纵横交错、多维感知的环境数据网络。部分先进系统还集成叶面温度、冠层反射率、植物电导率等作物生理传感技术，能够直接反

映植物对环境变化的响应状态，为智能算法提供更具作物指向性的决策依据，从而推动环境调控从“以环境为中心”向“以作物为中心”转变，实现真正意义上的精准调控与智能响应。

3.2 数据处理与模型化智能决策算法

采集数据需经过边缘计算或云端平台处理，提取有效信息并构建环境调控模型。典型方法包括基于作物生长模型的反馈控制、模糊逻辑控制、遗传算法优化等。其中基于作物需水模型的灌溉算法已较为成熟，可依据蒸散量、光照时长与基质湿度等因素动态调节水量与时间，实现精准灌溉。近年来深度学习技术也开始在设施农业中尝试应用，通过历史数据训练模型以预测作物生长趋势与异常环境响应，进一步提升系统决策能力。

3.3 自动化控制执行系统集成设计

在决策基础上，系统需控制硬件执行调节命令。常见执行终端包括开窗电机、卷膜器、喷滴灌系统、加湿器、暖风机、补光灯等，通常通过 PLC 控制器或农业专用控制平台实现设备联动控制。高端系统支持远程操控、参数预设、历史数据回放等功能，使管理者可实现全天候、跨地域的环境调控管理。

4 设施蔬菜典型作物的智能调控技术实践路径探析

4.1 果菜类（番茄、辣椒）精准温光管理优化实践

果菜类蔬菜对光周期和温度变化较为敏感，在定植、开花、膨果等关键期对环境控制需求各异。智能系统可依据生育阶段设定不同昼夜温差，自动调整天窗、侧窗开启程度及加湿器启停时间。光照不足季节可辅以 LED 补光系统，设定特定波段照射周期以提升光合效率。实践表明，通过优化温光协同管理，番茄坐果率提高 12% 以上，商品果比例提升约 15%。

4.2 叶菜类（生菜、菠菜）智能水肥调控技术应用

叶菜类生长周期短，需水需肥量变化快，过量施肥或灌溉易导致硝酸盐积累或病害发生。基于智能水肥一体化平台，通过作物需水曲线与营养供应模型指导精准供给，实时监控基质电导率与湿度变化并动态调节配方浓度与灌溉频次。实际应用中，系统可将水分利用效率提高至 90% 以上，硝酸盐含量控制在标准范围内，显著提升品质安全性。

4.3 瓜类作物（黄瓜、甜瓜）二氧化碳与病害预警系统融合调控

瓜类作物在光合作用强度与棚内 CO₂ 浓度高度相关。在封闭温室条件下，光照强时开启 CO₂ 施放设备，并结合

湿度监测避免湿热环境诱发灰霉病。系统结合病害预警模型，在温湿度与气流不利时自动开启除湿与通风，降低病原滋生概率，实现防治前移。以智能调控系统应用于甜瓜育果期为例，可将发病率降低 30% 以上，商品率提升显著。

5 智能调控技术推广中的关键问题与对策建议

5.1 系统投资与运维成本制约推广速度

当前多数智能调控系统仍存在初期投入高、维护技术门槛高等问题，中小规模农户在资金与技术能力上存在接入障碍。建议通过政府引导设立专项补贴、推广“托管式服务+云平台租赁”运营模式，降低用户门槛。同时，研发适用于不同规模生产场景的模块化控制系统，提升技术的适配性与推广效率。

5.2 数据孤岛与平台不兼容问题制约系统整合

目前设施农业智能设备多由不同厂商开发，存在接口不统一、数据不互通等“信息孤岛”现象，制约系统整合与智能分析。建议行业主管部门制定统一数据接口标准，推动建立农业物联网开放平台，形成数据共享与系统兼容的良性生态。

6 结语

基于智能环境调控的设施蔬菜高效栽培技术，是推动现代设施农业转型升级的核心路径。本文从环境因子响应机制入手，系统分析了当前环境调控面临的问题与技术瓶颈，构建了由多维感知、智能决策与自动执行组成的智能化控制系统模型，并结合典型蔬菜种类提出适配性调控实践路径。研究与实践表明，该类技术在提升产量、改善品质、节约资源方面具有显著优势，是实现设施农业提质增效的有效工具。未来应加强多学科交叉融合、完善标准体系建设、推进政产学研用协同，构建更具智能化、低成本、易推广的设施蔬菜调控技术体系，助力我国农业现代化进程不断迈上新台阶。

参考文献

- [1] 余颖辉.野香优653在南靖县作晚稻种植表现及高产栽培技术[J].福建稻麦科技,2024,42(04):45-47.
- [2] 苏海鸣,金鑫,程彦弟,等.优质早熟高产水稻新品种宁粳68号选育及高产栽培技术[J].宁夏农林科技,2024,65(12):28-30.
- [3] 曾绍贵,邱胤晖,李永清,等.番茄新品种明番1号的特征特性及高产栽培技术[J].上海蔬菜,2024,(06):33-34+40.
- [4] 王安梁,周东,黄丽源.洋葱新品种金球936的特征特性及高产栽培技术[J].上海蔬菜,2024,(06):38-40.
- [5] 罗娇,张玲娟,刘娟.西南丘陵区黄蜀葵高产栽培技术[J].农村科学实验,2024,(23):87-89.