

基于STM32的食用菌种植环境监测系统设计

徐凌玉, 彭怡晗, 严凡伟, 黄倩倩, 徐洪量

南昌师范学院物理与电子信息学院, 江西 南昌

收稿日期: 2025年5月27日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年6月26日

摘要

在全球农业现代化加速推进的背景下, 中国农业正通过信息化与智能化实现转型升级。食用菌产业因其高附加值和高增长的市场需求, 成为农业发展的重点领域。由于传统种植模式依赖人工经验, 存在环境控制粗放、生产效率低等问题。亟需通过智能化系统实现精准环境监测与数据管理, 辅助种植管理与决策, 提升产量与品质。系统采用STM32微控制器作为核心, 结合多种传感器实时监测菌类作物大棚内的温度、湿度、光照度和CO₂浓度等关键参数。用户根据监测数据调控食用菌各个生长阶段的环境参数, 确保其处于最佳生长状态。并通过网络交互, 将数据通过种植信息化平台进行集约化管理, 方便用户进行远程查看和参数设置, 以及实现对环境变化进行超阈值报警。实验结果表明, 该系统可以实现食用菌种植环境的实时数据监测和历史数据回溯, 并共享给农业专家和其他种植用户进行农技指导和经验分享, 有效促进食用菌产业的智能化发展。

关键词

食用菌种植, 环境监测, STM32单片机

Design of Edible Fungus Cultivation Environment Monitoring System Based on STM32

Lingyu Xu, Yihan Peng, Fanwei Yan, Qianqian Huang, Hongliang Xu

College of Physics and Electronic Information, Nanchang Normal University, Nanchang Jiangxi

Received: May 27th, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jun. 26th, 2025

Abstract

Against the backdrop of the accelerated advancement of global agricultural modernization, China's agriculture is achieving transformation and upgrading through informatization and intelligence. The edible fungi industry has become a key area in agricultural development due to its high added value and high-growth market demand. Due to the fact that the traditional planting mode relies on manual experience, there exist problems such as rough environmental control and low production efficiency. There is an urgent need to achieve precise environmental monitoring and data management through intelligent systems to assist in planting management and decision-making, and enhance yield and quality. The system adopts the STM32 microcontroller as the core and combines multiple sensors to monitor key parameters such as temperature, humidity, illuminance and CO₂ concentration in the mushroom crop greenhouse in real time. Users adjust the environmental parameters of edible fungi at each growth stage based on the monitoring data to ensure they are in the best growth state. And through network interaction, the data is centrally managed through the planting information platform, facilitating users to remotely view and set parameters, as well as achieving over-threshold alarms for environmental changes. The experimental results show that this system can achieve real-time data monitoring and historical data retrospective of the edible fungus planting environment, and share it with agricultural experts and other planting users for agricultural technical guidance and experience sharing, effectively promoting the intelligent development of the edible fungus industry.

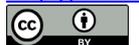
Keywords

Edible Fungus Cultivation, Environmental Monitoring, STM32 Microcontroller

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

在全球农业现代化进程不断加速的背景下，食用菌产业作为农业领域中极具发展潜力的分支，其重要性日益凸显。农业数字化转型的核心表征体现在数据融合体系的完善程度。信息协同机制的构建已成为中国农业现代化进程中不可或缺的演进路径，泛在感知网络技术的深度整合显著推动了菌类栽培产业的智能化转型。物联网在农业全生命周期管理中的实施，实现了生产加工流程的数字化重构、生产要素的智能化调度、决策支持系统的知识化演进，以及数据服务的精准化输出等复合型价值。

通过构建覆盖生产多要素的感知 - 传输 - 分析决策闭环系统，使得传统菌类栽培模式向智能化生产体系的转型。这种多源异构数据的采集与融合机制，既包含了环境参数的实时捕获，也涉及大量业务数据的分布式存储，最终通过反馈调节机制形成生产过程的动态优化模型。

1.2. 研究意义

通过精准监测和调控种植环境，提高食用菌的产量和品质，增强我国食用菌产品在国际市场的竞争力，促进产业可持续发展。随着现代农业向智能化、精准化方向转型，食用菌产业作为高附加值农业的

重要组成部分,亟需通过技术创新突破传统生产模式的局限性。尽管国内外在食用菌种植信息化方面取得了一定成果,但仍存在一些问题,例如:系统成本高、可扩展性差、数据分析能力不足等。因此,开发一套低成本、高可靠、易扩展的食用菌种植环境监测系统具有重要意义。

基于 STM32 微控制器为核心的食用菌种植环境监测系统设计,不仅响应了国家“智慧农业”战略的号召,更在技术实现与产业应用层面具有多重研究价值。传统食用菌栽培依赖人工经验调控环境参数,存在温湿度控制精度低、CO₂ 浓度调节滞后等问题,直接影响菌菇发育效率和子实体品质。

本研究通过 STM32 微控制器与相关传感器构建分布式环境感知网络,通过多源传感器实时采集数据,实现食用菌种植用户及农业指导专家根据采集的数据来评估和调控,提高食用菌的生长质量和生产效率,推动传统农业向数据驱动的精准化生产模式演进。

1.3. 国内外研究现状

2008 年韩清华[1]等人分析了工厂化菌类生产环境的多参数监测体系,进行了系统性技术论证,创新性地采用工业控制计算机与基于 TCP/IP 协议的智能传感终端构建协同工作机制,实时采集和远程监测温度、湿度、光照度和 CO₂ 浓度环境参数。2011 年周炜坚[2]等学者针对产业数字化转型诉求具备必要性,通过整合分布式计算与泛在网络技术,架构了菌类栽培产业的数字化服务生态系统,并形成高效率的实证应用案例。2014 年黄毅[3]等学者针对国内香菇产业集聚化转型趋势存在争议性,系统解构了香菇的生理生态特征与产业化适配性,为食用菌不同规模的种植技术发展提供了思路。2016 年陈涛[4]等设计了基于 ZigBee 组网控制的温室大棚环境监控系统,实现了多节点自适应组网采集种植大棚环境数据。2019 年刘琦[5]基于单体栽培单元控制理论,通过既有设施的适应性重构,构建了具有自主调控能力的栽培微环境管理系统,以边缘计算节点为核心,集成多源传感阵列与分布式执行机构,并实现跨平台数据交互。2022 年万敦[6]等人研发了基于边缘智能的菌类栽培环境协同调控系统,通过部署混合组网架构,构建具有自主决策能力的分布式控制网络,并为用户提供设计 App 与网页,以及异常信息推送和设备控制服务,实现大棚的可视化自动管理,以提高产量,减少人力物力的消耗。2023 年陈晓东[7]等人提出了一种融合边缘计算与泛在通信的智能监管体系,通过部署多物理场传感阵列实现栽培单元环境参数的动态感知,并将监测数据送到终端服务器,实现自动调节菌棚内环境参数以提高食用菌的生长质量。2023 年叶雷[8]等人针对菌类生产过程中经验依赖型决策机制的技术瓶颈,构建了基于多模态感知网络的智能诊断预警体系,做好食用菌栽培中的数字化“体检”,结合科研专家权威数据和本地专家的经验做好食用菌生产的指导和建议。2023 年庄学东[9]等人分析了福建省食用菌产业发展现状及产业发展存在的问题,深度探讨了工厂化生产在未来菌菇种植的发展必要性。2024 年钱志杰[10]等人通过优化除湿设备和温湿度传感器的性能,改进除湿设备结构和控制系统,提升设备效果,准确监测大棚内温湿度变化。R. Y. Adhitya *et al.* [11]在 2016 年实现了自动化监测与调节菌菇培养的温度和湿度,使菌菇的种植在理想的温度和湿度,提高了种植菌菇的生产力,极大提高了生产管理效率。Kavaliauskas Ž. [12]在 2022 年设计和制造了一个电子/自动系统的原型,用于监测和控制蘑菇生长条件的参数,使用适当的传感器来监测相应参数,并使用基于 RS485 接口的本地数据传输网络将数据发送到主逻辑控制器,使植物种植尽可能经济高效,并减少人为错误和劳动力成本。R. Ferdian [13]在 2023 年提出了一种基于物联网的农业系统,以帮助农民实现种植数据可视化,使农民可以基于一些阈值调整,让菌菇生长在精确的环境条件,用于对菌菇进行精确环境控制,提高菌菇养殖的精度,极大提高了产量和品质。

1.4. 研究内容

本研究的主要内容为针对当前食用菌产业存在的技术瓶颈,将物联网技术引入食用菌种植过程。依托精准农业理论框架,基于“泛在物联、移动互联、分布式计算”技术集群,通过异构终端实现栽培环境

参数的动态感知,对菌棚的水肥调控、空气循环、热交换等提供数据分析,进行数据调控。构建预警机制,使种植主体能够不受时空限制地获取作物生长态势与环境参数变化规律,为农业生产者提供具备高可用性与强扩展性的数字化生产方案。系统通过部署多种传感器(含温湿度传感单元、气体浓度检测模块及光强监测装置等),对菌菇发育过程实施多要素数据采集与过程追溯。种植用户基于不同类型的传感数据进行分析决策,实现环境调控,对栽培微环境的温湿度梯度、气体组分分布及光照参数实施闭环控制,从而确保环境参数始终处于菌菇体最优生长区间。

2. 设计方案

食用菌种植环境监测系统设计分为三个部分,分别是用于采集温湿度、光照度、CO₂浓度数据的检测模块;用于环境检测数据处理、归集、存储的STM32微控制器及存储模块;用于终端调试以及向食用菌种植信息化平台上传数据的通信模块。其中由于不同的种植需求下温湿度采集涉及空气温湿度和种植培养基体的温湿度,所以在设计过程中通过设计两个不同类型的温湿度检测模块电路,实现按需调整。由于食用菌大棚长期处于高潮湿状态,电路设施容易受到侵蚀,再通过设计一个板载温度检测模块电路,实现对食用菌种植环境监测系统设计的工作状态进行辅助监测。其系统框架设计如图1所示。

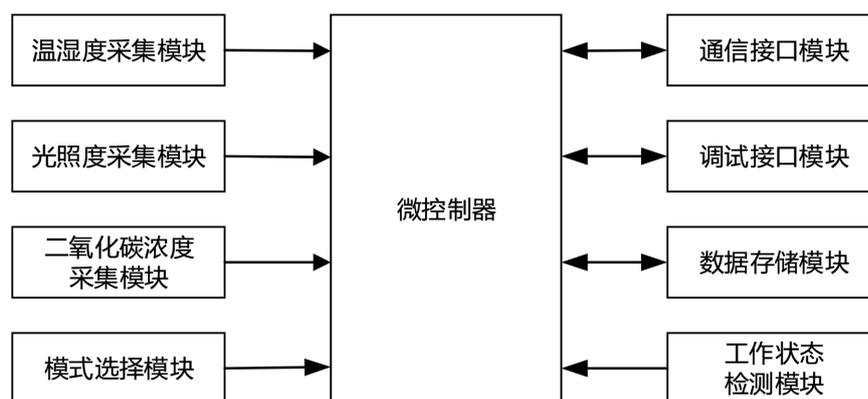


Figure 1. Framework design drawing of the environmental monitoring system for edible fungus cultivation

图1. 食用菌种植环境监测系统框架设计图

食用菌种植环境监测系统与环境调控设备、食用菌生长状态视频监控、食用菌种植信息化平台以及相关的访问终端,共同构成了食用菌种植信息化平台系统。食用菌种植信息化平台通过对食用菌大棚温度湿度、光照度、CO₂浓度等环境数据的集中归集,进行动态可视化呈现,为种植人员和农技专家提供多维度的态势感知数据。操作人员可配置参数阈值,当监测参数偏离预设区间时,系统发出报警信号。平台对用户数据、环境阈值,以及食用菌大棚温湿度、光照度、CO₂浓度等环境参数数据进行处理、存储以及提供查询接口。

3. 硬件设计

食用菌种植环境监测系统电路原理图如图2所示,核心为STM32F103RET6最小系统。供电部分包含12V~5V和5V~3.3V转换电路,为整个系统供应不同等级的稳定电压。调试与通信包含SWD调试接口、RS232调试接口和RS485通信接口及对应指示灯。数据采集模块包含光照度传感器模块和多个RS485接口连接的温湿度、二氧化碳浓度、培养基温湿度传感器模块,负责采集食用菌生长环境数据。控制与存储模块包含复位按键、模式选择电路以及EEPROM(电可擦除可编程只读存储器),用于系统复

位、工作模式设定和数据存储。同时还有一个在高潮湿环境下对食用菌种植环境监测系统的工作状态进行辅助监测的板载温度检测电路。

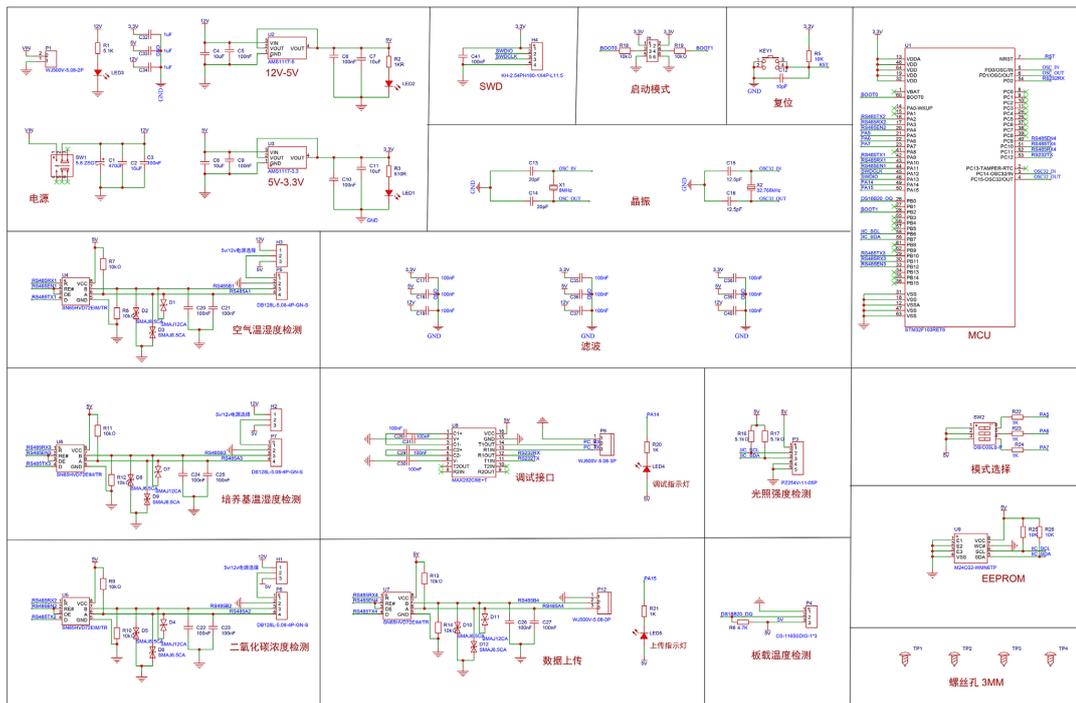


Figure 2. Circuit schematic diagram of the edible fungus cultivation environment monitoring system
图 2. 食用菌种植环境监测系统电路原理图

3.1. 微控制器电路设计

食用菌种植环境监测系统的主控芯片选取为 STM32F103RET6。启动配置单元采用 BOOT0 与 BOOT1 引脚分别通过 $10\text{ k}\Omega$ 限流电阻连接至参考电位。高频振荡器选用 8 MHz 石英晶体谐振器作为基准时钟源，配合相位锁定环(PLL)电路进行倍频处理，最终可以产生最高 72 MHz 的系统时钟频率，为处理器核心及外设提供稳定时序基准。辅助时钟则采用 32.768 kHz 低频晶体振荡器，该配置不仅支持低功耗模式下的持续计时功能，同时为系统提供了高精度定时基础。

3.2. 温湿度采集模块电路设计

温湿度采集模块电路在本设计中总共设计了两路，分别是空气温湿度检测模块和培养基温湿度检测模块，以实现不同情形的种植温湿度检测。设计中通过一个三位的拨码开关，连接微控制器芯片的 PA5、PA6、PA7 端口实现模式选择，使用拨码值实现不同的采集状态切换。

空气温湿度检测模块采用 RS485 接口的 TH10S-B-H 传感器，其实物如图 3 所示。在工作过程中通过串口初始化，给从机发送命令，主机接收从机数据，CRC 校验是否正确，如果错误，从机将重新发送命令，如果正确，从机没有返回错误代码，将正常处理温度及空气相对湿度数据。在本设计中该模块的 RS485TX、RS485RX、RS485EN 分别与微控制器芯片的 PA9、PA10、PA11 端口进行连接。

培养基温湿度检测模块采用 RS485 接口的 ZTS-3000-TR-WS-*土壤温湿度传感器，其实物如图 4 所示。在设计中该模块的 RS485TX、RS485RX、RS485EN 分别与微控制器芯片的 PB10、PB11、PB12 端口进行连接。



Figure 3. Air temperature and humidity detection module
图 3. 空气温湿度检测模块



Figure 4. Soil temperature and humidity detection module
图 4. 土壤温湿度检测模块

3.3. 光照度检测模块电路设计

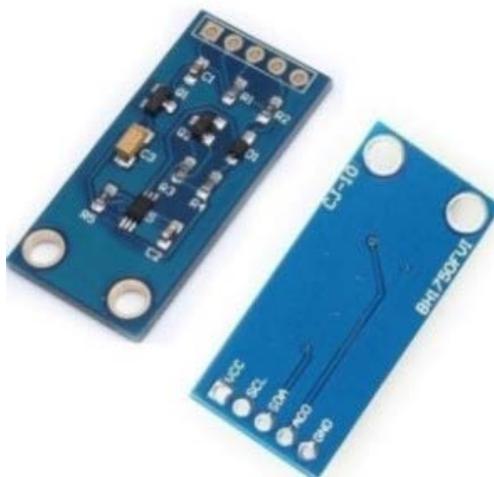


Figure 5. Digital light illuminance detection module GY-30
图 5. 数字型光照度检测模块 GY-30

光照度检测模块选用数字型光照度检测模块 GY-30, 其实物如图 5 所示。该传感器具备多场景适应能力, 其内置的自适应滤波算法有效抑制了环境干扰。通过 16 位高精度模数转换器的配置, 使得微弱光照强信号的数字化转换过程不会产生显著量化误差。模块内部集成智能电平适配单元, 使其能够与 5 V 逻辑电平系统直接兼容, 显著简化了外围电路设计。该模块是基于 I²C 总线协议的数字化接口架构, 在

本设计中将时钟信号线(SCL)与数据信号线(SDA)分别连接微控制器的 PB6 与 PB7 端口。

3.4. 二氧化碳浓度采集模块电路设计

二氧化碳浓度检测模块采用 RS485 总线协议的 ZTS-3002-CO₂-N01 型红外光谱分析传感器,其实物如图 6 所示。该装置基于非色散红外吸收光谱(NDIR)检测原理,其制造过程中已完成精密校准流程,校准参数被固化存储于片内非易失性存储器中。这种数字化接口设计免除了繁琐的现场校验流程,在测量精度、线性度等关键性能指标上具有显著优势。在本设计中,模块的 RS485 总线接口的 RS485TX、RS485RX、RS485EN 分别连接主控芯片的 PA2、PA3、PA4 端口。



Figure 6. Carbon dioxide concentration detection module
图 6. 二氧化碳浓度检测模块

3.5. 调试接口电路设计

在本设计中通过一路 RS232 调试接口电路实现食用菌种植环境监测系统的出厂化设置、现场数据调试等功能,RS232 接口是一种用于串行通信的标准接口,主要用于计算机与周边设备之间的连接。在设计中该模块的 RS232RX, RS232TX 与微控制器芯片的 PD2、PC12 端口进行连接。

3.6. 数据上传通信接口电路设计

在本设计中通过一路 RS485 通信模块电路实现与食用菌种植信息化平台的数据传输,该模块在工作过程中可以灵活连接以太网、4G 移动通信、WIFI、LORA 等多种类型的 485DTU,实现数据的上传。在本电路设计中该模块的 RS485EN、RS485TX、RS485RX 分别与微控制器芯片的 PC9、PC10、PC11 脚进行连接。

4. 软件设计

食用菌种植环境监测系统的软件方面,核心部分主要包括采集温湿度、光照度、CO₂ 浓度数据并存储传输的功能。

4.1. 温湿度采集子程序

食用菌种植环境监测系统上电之后,系统通过读取模式选择拨码开关的电平信号,根据对应的拨码数据,选择需要初始化的温湿度传感器进行初始化,然后发送数据读取指令,传感器返回数据,将返回的数据转化为对应的温湿度值,其流程如图 7 所示。

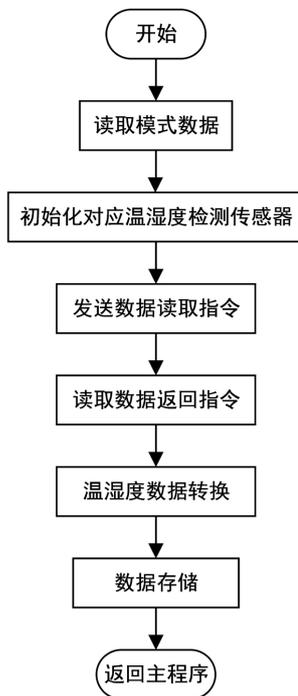


Figure 7. The subroutine flow for temperature and humidity collection
图 7. 温湿度采集子程序流程

4.2. 光照度采集子程序

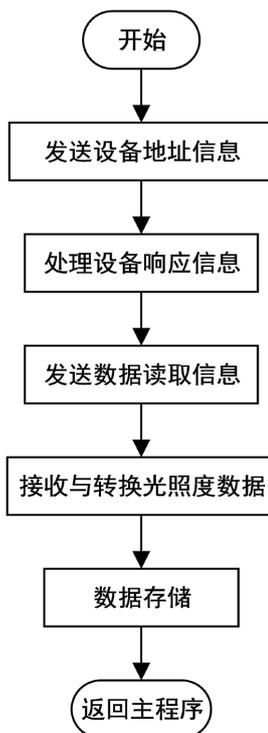


Figure 8. The subroutine flow for illuminance collection
图 8. 光照度采集子程序流程

食用菌种植环境监测系统上电之后, 在食用菌种植环境监测系统设计的硬件初始化阶段, 光照度检测单元 GY-30 被配置为互补式输出模式, 其总线驱动时钟频率设定为 50 MHz。光照度采集子程序通过 I²C 串行通信总线, 连续访问光照度传感器从 0×32 起始的 6 个寄存器存储区, 获取二进制编码十进制 (BCD) 格式的照度原始数据。数据处理单元将获取的 BCD 数值与 0×32 进行逻辑或运算, 实现数值转码操作, 其流程如图 8 所示。

4.3. 二氧化碳浓度采集子程序

食用菌种植环境监测系统上电之后将二氧化碳浓度检测模块 ZTS-3002-CO₂-N01 初始化, 二氧化碳浓度采集子程序发送二氧化碳数据读取指令后, 传感器返回数据, 将返回的数据转化为对应的二氧化碳浓度值, 其流程如图 9 所示。

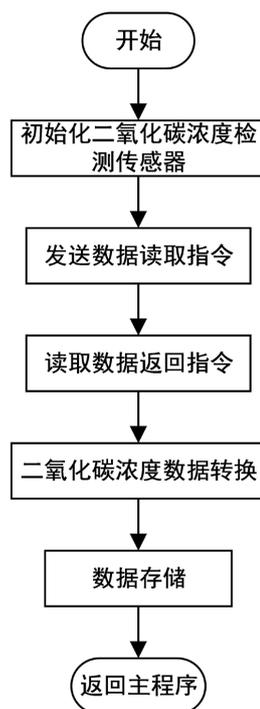


Figure 9. The subroutine flow for carbon dioxide concentration collection
图 9. 二氧化碳浓度采集子程序流程

4.4. 数据传输平台子程序

食用菌种植环境监测系统首先会建立与平台之间的连接, 随后, 接收平台下发的数据轮询指令, 在接收到指令后, 依次将温湿度、光照度、CO₂ 浓度数据, 按照既定的数据传输协议, 有序上传至平台。

5. 系统测试

食用菌种植环境监测系统通过 RS232 连接电脑进行调试, 设置好对应参数。参数设置好之后, 再将系统通过 485DTU 连接食用菌种植信息化平台进行数据传输, 设备连接如图 10 所示。

食用菌大棚温湿度、光照度和 CO₂ 浓度实时数据显示如图 11 所示。

报警信息显示如图 12 所示, 当温湿度、光照度、CO₂ 浓度数据低于下限阈值或高于上限阈值时, 会产生报警信息。



Figure 10. Equipment connection diagram of the edible fungus cultivation environment monitoring system
图 10. 食用菌种植环境监测系统设备连接图

1号棚环境数据						
请选择食用菌大棚 1						
刷新数据						
棚号	终端号	更新时间	温度(°C)	湿度(%)	CO2浓度(ppm)	光照度(lux)
1	1	2025-04-30 14:58:34	30.4	34.0	465	138
2	2	2025-04-30 14:58:34	30.7	35.0	510	238
3	3	2025-04-30 14:58:34	30.8	36.0	363	145
4	4	2025-04-30 14:58:34	31.3	32.0	375	143
5	5	2025-04-30 14:58:34	30.6	32.0	680	222
6	6	2025-04-30 14:58:34	30.5	31.0	594	238
7	7	2025-04-30 14:58:34	31.2	35.0	668	87
8	8	2025-04-30 14:58:34	30.9	31.0	372	230

Figure 11. Real-time data on the cultivation environment of edible fungus greenhouses
图 11. 食用菌大棚种植环境实时数据

报警数据	
报警时间	报警信息
2025-04-30 07:35:23	1号棚3号终端CO2浓度低于300
2025-04-30 07:35:23	1号棚3号终端湿度低于55
2025-04-30 07:35:23	1号棚3号终端温度低于20
2025-04-30 04:07:31	1号棚8号终端CO2浓度低于300
2025-04-30 04:07:30	1号棚8号终端湿度低于55
2025-04-30 04:07:30	1号棚8号终端温度低于20
2025-04-29 21:33:34	1号棚8号终端CO2浓度低于300
2025-04-29 21:33:33	1号棚8号终端湿度低于55
2025-04-29 21:33:33	1号棚8号终端温度低于20
2025-04-29 17:46:05	1号棚2号终端CO2浓度低于300
2025-04-29 17:46:05	1号棚2号终端湿度低于55
2025-04-29 17:46:04	1号棚2号终端温度低于20
2025-04-21 08:20:35	1号棚5号终端CO2浓度低于300
2025-04-21 08:20:35	1号棚5号终端湿度低于55
2025-04-21 08:20:35	1号棚5号终端温度低于20
2025-04-13 10:15:52	1号棚8号终端CO2浓度低于300
2025-04-13 10:15:51	1号棚8号终端湿度低于55
2025-04-13 10:15:51	1号棚8号终端温度低于20

[每页18条 第1页 / 共2页 共20条] [首页] [上一页] [下一页] [尾页]

Figure 12. Threshold alarm information display interface
图 12. 阈值报警信息显示界面

图 13 所示为菌棚温度实时数据曲线。

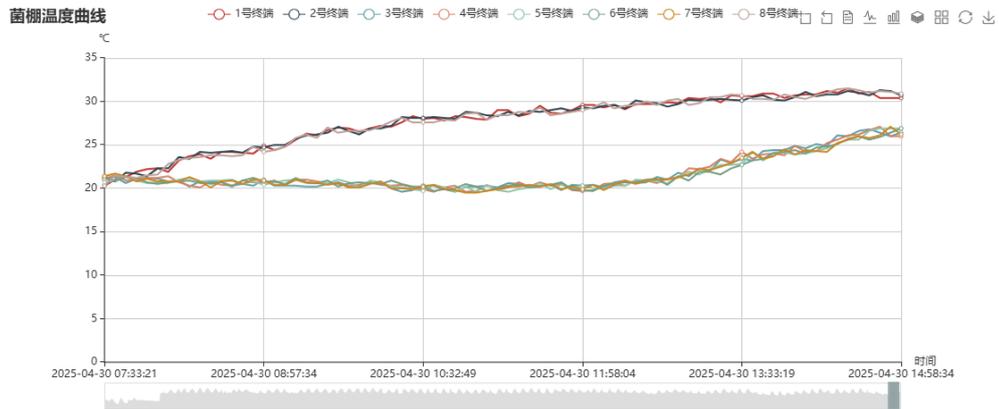


Figure 13. Temperature curve of edible fungus greenhouses

图 13. 食用菌大棚温度曲线

图 14 所示为菌棚湿度实时数据曲线。

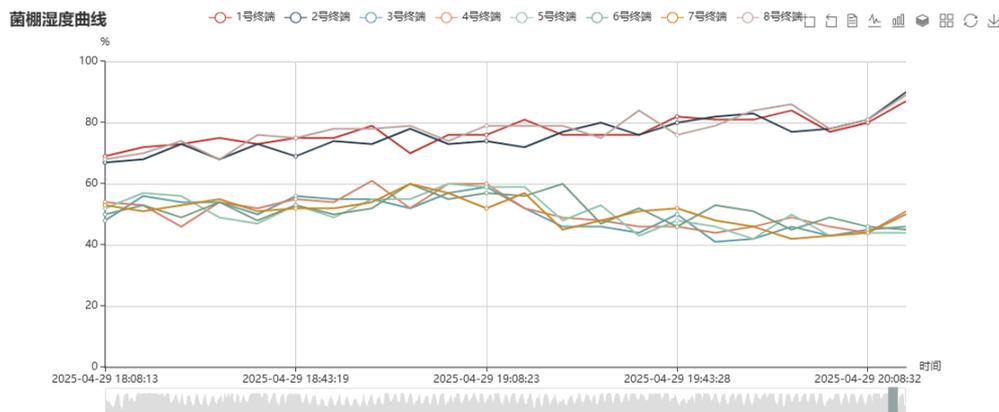


Figure 14. Humidity curve of edible fungus greenhouses

图 14. 食用菌大棚湿度曲线

图 15 所示为菌棚光照度实时数据曲线。



Figure 15. Illuminance curve of edible fungus greenhouses

图 15. 食用菌大棚光照度曲线

图 16 所示为菌棚二氧化碳实时数据曲线。



Figure 16. Carbon dioxide concentration curve of edible fungus greenhouses

图 16. 食用菌大棚二氧化碳浓度曲线

6. 总结与展望

本研究聚焦构建面向智慧农业的菌类栽培数字化转型的解决方案，通过结合泛在感知网络与移动互联网技术，采集温湿度、光照度和 CO_2 浓度并传输到信息化平台，对传统菌类生产模式实施系统性改良，将物联网跟菌菇体生长调控技术达成有机融合，形成信息化栽培范式。带动菌类生产往标准化、集约化、信息化方向迈进，该技术体系不仅可增进菌类生物量的积累效率，更凭借精准环境调节实现产品品质的整体改善，最终实现生产效益的提升。未来，将引入轻量化边缘计算节点以及容器化部署技术，构建可实现动态负载均衡的分布式架构，促使系统在面对呈指数式增长的环境监测数据时，拥有可扩充的潜力，这种不断升级的技术演进轨迹，最终会形成具有国际竞争实力的智慧菌类种植解决方案。

基金项目

本文获江西省教育科学“十四五”规划 2022 年度课题(22YB297)；江西省 2022 年教育厅教学改革项目(JXJG-22-23-13)；江西省 2024 年教育厅教学改革项目(JXJG-24-23-18)；江西省 2023 年大学生创新训练计划项目(S202314437018)；南昌师范学院 2023 年学生科研创新项目(23XSKY83)；南昌师范学院 2023 年学生科研创新项目(23XSKY84)；南昌师范学院 2023 年学生科研创新项目(23XSKY85)支持。

参考文献

- [1] 韩清华, 李树君, 张云川, 等. 食用菌工厂化栽培环境的远程监测系统[J]. 农业机械学报, 2008(8): 123-127.
- [2] 周炜坚. 食用菌行业信息化服务体系构建与应用[J]. 农业网络信息, 2011(3): 25-27.
- [3] 黄毅. 中国香菇工厂化栽培的现状与发展前景[J]. 食药用菌, 2014, 22(5): 255-259.
- [4] 陈涛, 张晓红, 吴平, 龚佩珍. 基于 ZigBee 组网控制的温室大棚环境监控系统[J]. 电路与系统, 2016, 5(2): 34-41.
- [5] 刘琦. 食用菌智能大棚自动控制系统研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2019.
- [6] 万敦, 李亚, 张宇, 等. 基于物联网的食用菌大棚智能测控系统设计与实现[J]. 物联网技术, 2022, 12(8): 7-9, 12.
- [7] 陈晓冬, 牛艳, 杨杰. 设施食用菌生长环境远程监测系统研发[J]. 农村经济与科技, 2022, 33(22): 49-51.
- [8] 叶雷, 李小林, 张波, 等. 基于物联网技术的食用菌“数智”远程预警监控系统及应用研究[J]. 物联网技术, 2023, 13(9): 38-40.
- [9] 庄学东, 施乐乐. 福建省食用菌产业发展现状及对策建议[J]. 东南园艺, 2023, 11(4): 308-311.
- [10] 钱志杰, 周冬成, 莫国华, 等. 智能大棚的温湿度监测与控制技术分析[J]. 电子技术, 2024, 53(11): 40-41.

-
- [11] Adhitya, R.Y., Ramadhan, M.A., Kautsar, S., Rinanto, N., Sarena, S.T., Munadhif, I., *et al.* (2016). Comparison Methods of Fuzzy Logic Control and Feed Forward Neural Network in Automatic Operating Temperature and Humidity Control System (Oyster Mushroom Farm House) Using Microcontroller. 2016 *International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, Bandung, 29-30 November 2016, 168-173. <https://doi.org/10.1109/ISESD.2016.7886713>
- [12] Kavaliauskas, Ž., Šajev, I., Gecevičius, G. and Čapas, V. (2022) Intelligent Control of Mushroom Growing Conditions Using an Electronic System for Monitoring and Maintaining Environmental Parameters. *Applied Sciences*, **12**, Article 13040. <https://doi.org/10.3390/app122413040>
- [13] Ferdian, R., Fattah, R.A. and Erlina, T. (2023) Implementation of Environmental Monitoring and Controlling for the Oyster Mushroom Based on the Internet of Things. 2023 *Eighth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, Manado, 8-9 December 2023, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICIC60109.2023.10381954>