

卞智逸, 肖德琴, 殷建军, 等. 基于 PLC 技术的火龙果智能补光调控器设计与应用 [J]. 华南农业大学学报, 2022, 43(5): 124-132.  
BIAN Zhiyi, XIAO Deqin, YIN Jianjun, et al. Design and application of intelligent supplemental light controller for pitaya based on PLC technology [J].  
Journal of South China Agricultural University, 2022, 43(5): 124-132.

# 基于 PLC 技术的火龙果智能补光调控器设计与应用

卞智逸<sup>1</sup>, 肖德琴<sup>1</sup>, 殷建军<sup>1</sup>, 欧周才<sup>2</sup>, 杨润娜<sup>2</sup>

(1 华南农业大学 数学与信息学院, 广东 广州 510642;

2 广州国家现代农业产业科技创新中心, 广东 广州 510520)

**摘要:**【目的】不同植物对光照强度、光质的需求程度不同, 本文旨在通过 LED 灯实时照射实现对植物的智能补光。【方法】针对火龙果 *Hylocereus undatus* 生长发育过程充足补光和调节果期的需要, 应用新一代可编程控制器 (Programmable logic controller, PLC) 技术, 选择波长 570~590 nm 的黄色 LED 灯, 本文设计了一套种植火龙果专用的智能补光调控器和相应的数据传输协议, 进行硬件选型、电路设计与软件设计, 建立了调控策略和远程通信协议, 最后在广东省新兴县 10 666 m<sup>2</sup> 的火龙果农庄进行了实际布署与应用试验。【结果】该调控器能够长时间稳定地通过手动、自动以及远程的方式实现对火龙果的补光, 并且数据传输稳定, 调控器的响应时间不超过 3 s, 每次补光 4 h。利用该调控器进行火龙果补光调控可以让果实成熟期提前 2~4 d, 部分果树挂果可以多 2~3 个, 补光后产量提升 16.7%。【结论】该装置实现了火龙果的智能补光, 经济效益和社会效益提升明显, 具有较好的推广前景。

**关键词:** 火龙果; 智能补光; LED; PLC; 调控策略; 数据传输

中图分类号: S224;S667.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2022)05-0124-09

## Design and application of intelligent supplemental light controller for pitaya based on PLC technology

BIAN Zhiyi<sup>1</sup>, XIAO Deqin<sup>1</sup>, YIN Jianjun<sup>1</sup>, OU Zhoucai<sup>2</sup>, YANG Runna<sup>2</sup>

(1 College of Mathematics and Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Guangzhou National Modern Agricultural Industry Technology Innovation Center, Guangzhou 510520, China)

**Abstract:** 【Objective】 Different plants have different requirements for light intensity and light quality. The goal was to achieve intelligent light supplementation for plants through real-time illumination from LED lights. 【Method】 Aiming at the need for sufficient supplementary light for the growth and development of pitaya (*Hylocereus undatus*) and regulation of fruit stage, an intelligent regulator specially for light supplementation of pitaya was designed using a new generation of the programmable logic controller (PLC) technology and yellow LED lights with wavelengths of 570–590 nm, and the corresponding data transmission protocol was designed. The hardware selection, circuit design and software design were performed, and control strategy and remote communication protocol were established. Finally, an actual deployment and application experiment was carried out in a 10 666 m<sup>2</sup> pitaya farm in Xinxing County of Guangdong Province. 【Result】 The regulator could achieve stable and long-term light supplementation for pitaya through manual, automatic

收稿日期: 2021-12-25 网络首发时间: 2022-07-04 17:01:21

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20220701.1532.002.html>

作者简介: 卞智逸, 硕士研究生, 主要从事农业智能化装置研究, E-mail: 18398166795@163.com; 通信作者: 肖德琴, 教授, 博士, 主要从事物联网、农业图像视频处理研究, E-mail: deqinx@scau.edu.cn

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2019B020222003, 2019B020214005); 广东省农业科研项目 (2021KJ383)

and remote management, and data transmission was stable and reliable. The response time of the regulator was within 3 s, and light supplementation duration was 4 h. After using the regulator to supplement the light, the fruit ripening stage was advanced by 2–4 d, some pitaya trees bore 2–3 more fruits per tree, the output of pitaya fruit increased by 16.7%. **【Conclusion】** The device realizes the intelligent supplementary lighting of pitaya. It has obvious economic and social benefits and has a good popularization prospect.

**Key words:** Pitaya; Intelligent supplementary light; LED; PLC; Regulation strategy; Data transmission

光是植物生长的必需资源之一,对植物的生长发育、果实品质有重要的调节作用<sup>[1-3]</sup>。在自然条件下,光照随着时间和空间发生改变,植物通过光受体感测光强、光质和光周期的变化等影响植物的形态、生长,控制植物发育的因素<sup>[4]</sup>。李蔚等<sup>[5]</sup>、张子鹏等<sup>[6]</sup>和祁娟霞等<sup>[7]</sup>研究指出,在不同光照时间、不同光源的补光条件下,作物的长势、产量、品质都会受到不同的影响,通过将专家经验、种植经验与作物长势相结合,构成作物不同生长时期合理的补光方案能有效提升作物产量、质量。火龙果属于阳生植物,光照时间充足的情况下能够促进火龙果成花,提高产量<sup>[8-9]</sup>。通过LED灯补足日照时长诱使火龙果花苞发育,能够很大地提高火龙果反季节产量。

LED具有高光电转换效率、使用直流电、体积小、寿命长、耗能低、波长固定与低发热等优点,与目前普遍使用的高压钠灯和荧光灯相比,LED灯具具备低发热量冷光源、可近距离照射的特点,使得空间利用率大大提高<sup>[10]</sup>。在农业生产中使用LED灯代替太阳能为植物提供所需光照已经得到了广泛应用<sup>[11-13]</sup>,通过LED灯对作物进行补光对农业生产有较为明显的促进作用。例如,曲溪等<sup>[14]</sup>研究了荧光灯和LED灯的补光效果;李彦荣等<sup>[15]</sup>在自然光的基础上对植物进行人工补光,从补光光源、强度、时间等角度讨论了光照时长、光质和光照强度对作物生长发育以及反季节栽培的影响,证明了在适合光质和光照强度下对植物进行适量补光能有效促进植物生长发育,在反季节植物栽培中,合理的补光措施能有效保障植物的生长发育;张建飞等<sup>[16]</sup>和周益民等<sup>[17]</sup>研究了LED补光系统,实现了对光质、光强、光周期的动态调控;王瑞等<sup>[18]</sup>和李蔚等<sup>[5]</sup>通过对植物补光灯的定时调控以及对番茄补光时间的调控,实现了作物产量、品质和生产效率的提升;这些研究表明LED灯在作物补光方面有着广泛的应用前景,合理的作物补光方案能有效提升生产效率<sup>[19-21]</sup>;Chiang等<sup>[22]</sup>研究了光照和温度这2个环境变量,确定在适合植物生长的温度条件下,充足的光照能有效促进植物进行光合作用,加快植

物的生长发育。Olvera-gonzalez等<sup>[23]</sup>通过试验证明使用不同的LED光照时长和不同波长的LED光源,制定合理的调控方式,能有效提高作物产量。

目前农业领域使用的LED补光设备大多数是按照特定的需求设计完成的,无法根据不同季节、不同时间段、不同光照环境等条件因素对作物进行智能补光。

针对以上问题,本文设计了一种基于可编程控制器(Programmable logic controller, PLC)的补光灯调控器,以实现火龙果的夜间智能、精确、定量补光。下面将介绍调控器的结构设计、数据传输协议和上位机软件设计,并结合田间应用试验情况进行其性能测试与分析。

## 1 调控器设计

### 1.1 硬件结构设计

硬件系统采用模块化设计,由电源模块、通信模块、控制模块、补光模块以及用户交互模块这5个模块共同组成火龙果智能补光调控器,系统原理如图1所示。

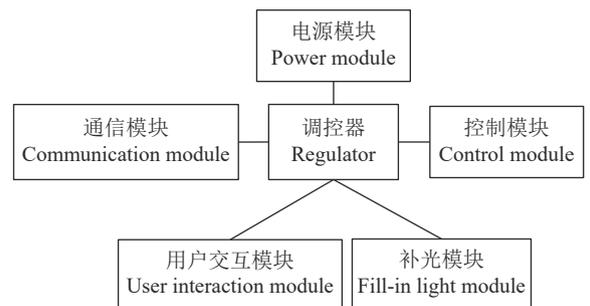


图1 调控器组成架构

Fig. 1 Controller composition architecture

其中,电源模块采用380 V供电电压供给补光模块,以12 V供电电压为系统供电;通信模块采用USR-G781 4G DTU实现信号处理;补光模块采用3相4线380 V的交流电进行供电,利用模拟信号对2组LED补光灯进行控制;用户交互模块采用远程控制和现场控制的方式实现对补光灯的远程操控包括阈值设置、补光时段等功能。

1.1.1 电源模块 采用 380 V 交流电直接对整个调控器进行供电,使用德力西 DZ47s-C63 断路器进行配电线路及设备的过载和短路保护。其中 LED 灯组采用 380 V 交流电供电,通信模块和控制模块使用 12 V 进行供电。通过正泰 NXB-63C40 型断路器降低调控器在调控过程中由于电压、电流过大导致的调控器内部电路烧毁的可能。且调控器配备急停按钮,实现调控器以及 LED 灯组的急停断电,保护设备安全。

1.1.2 通信模块 采用 USR-G781 4G DTU 数据传输单元对调控器产生的数据以及远程下发的指令进行传输处理,这一数据传输单元的突出特点为有组网能力,稳定性高。将这一数据传输单元与云平台相结合作为远程设备与调控器通信的网络传输层,实现数据的实时监测与接收处理。4G DTU 数据传输单元集成了 TCP/IP、MQTT、HTTP 等多种协议,支持网络透传模式,且支持各运营商的 4G 网络。用户采用 SIM 卡连接网络,提高了采集数据远程传输的高效性和组网的灵活性。同时,4G DTU 具备网络心跳包设置、断线重连等功能,保证了数据监测信息的完整性和稳定性。

1.1.3 控制模块 根据火龙果农场定时补光的需求,需要精准定时控制、运算速度快、远程物联网控制、数据采集和后期智能控制等功能,因此系统核心控制器采用 SUK2N-1412MR/MT 型 PLC,该 PLC 内部有 26 点 I/O 接口、指令执行时间为 1~10  $\mu$ s、16 K EEPROM 程序容量,可采用 12 V 电压进行供电,其结构紧凑、性能稳定,具有较高的性价比。调控器使用 CJX2-6511 交流接触器和 CHNT 的 4P 断路器实现 PLC 对 LED 灯组的调控。

1.1.4 补光模块 补光模块选取黄光的 LED 灯,其额定功率为 15 W,采用先进的 LED 半导体照明,比传统荧光灯节约 50% 耗电,且 LED 灯的工作寿命达到 30 000 h,是传统荧光灯的 20 倍,能有效降低实施成本。保障 LED 灯长期稳定地工作,是火龙果补光的必要条件。LED 灯在 2 个田块中安装完成后,采用 380 V 交流电直接供电,为避免使用过程中由于电压不稳定导致 LED 灯组烧毁,使用 CHNT 的 4P 断路器进行过载保护,LED 灯组安装示意如图 2 所示。

1.1.5 用户交互模块 用户交互模块主要包括调控器上的指示灯和按钮以及云平台,指示灯用于表明当前补光灯的工作状态,按钮用于调控器的工作模式切换,避免指令冲突导致调控器停止工作,以及云平台完成阈值设定和远程控制补光调控器等



图 2 LED 补光灯

Fig. 2 LED fill-in light

操作。

## 1.2 硬件电路设计

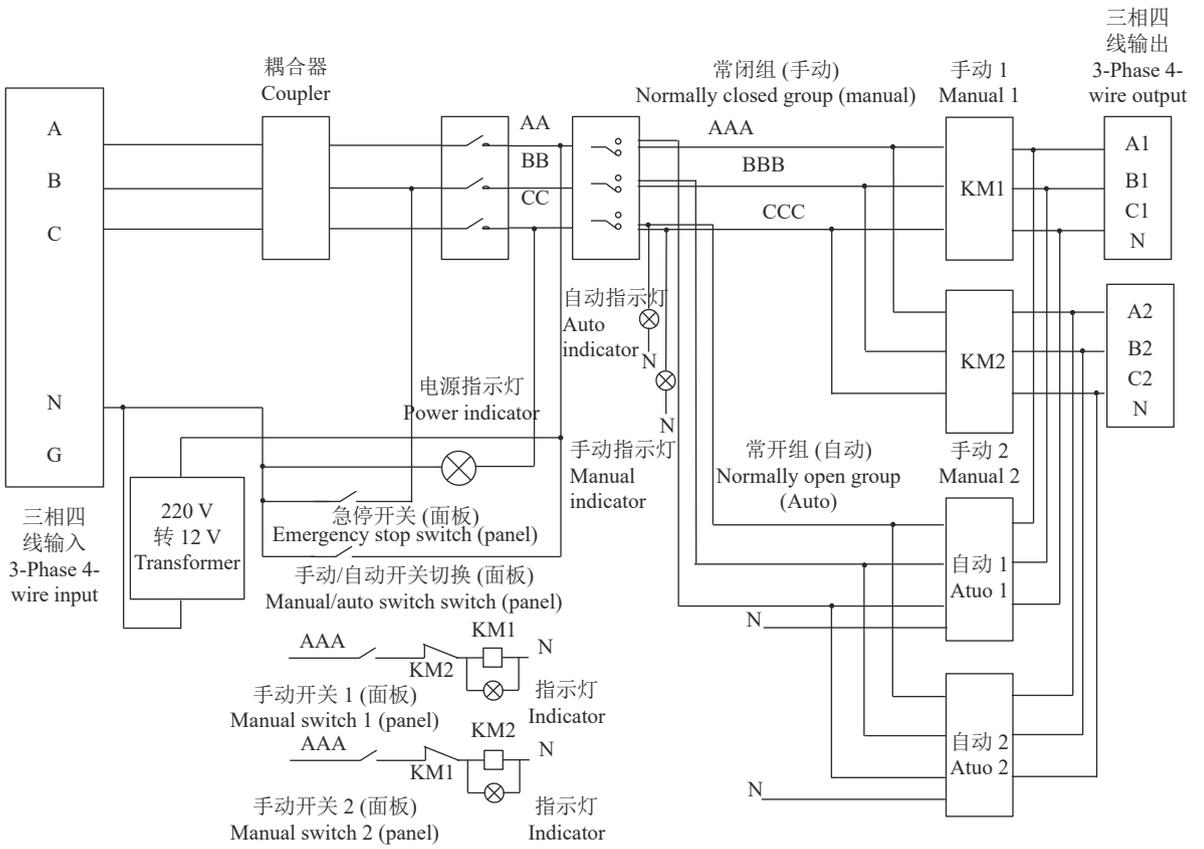
调控器电源采用 380 V 交流电进行直接供电,其余内部电路采用三相四线的方式接入电源,在引入电源处加 4P 空气开关进行电路保护,避免电压波动导致设备烧毁、损坏。通过接线将电压由 380 V 降为 220 V,但电流仍然过大,无法使用普通空气开关进行控制,所以采用 2 个 CJX2s-6511 型接触器对不同 LED 灯组进行控制,并加入 DZ47-63 C63 型空气开关断路器用于保护电路,避免电路由于过载、过热导致的短路。并使用变压器将 220 V 电压转化为 12 V 电压为通信模块、PLC 控制器供电,如图 3 所示。

## 1.3 上位机软件设计

系统软件主要包括数据传输协议、PLC 控制程序和软件控制程序,实现了数据传输与调控器控制的功能,如图 4 所示。

其中调控器以 SUK2N-1412MR/MT 型 PLC 为核心控制元件,将空气开关、交流接触器等作为执行器件,设计了 LED 灯的调控功能,用 1 个转换开关进行手动模式、自动模式、远程模式的切换。

手动模式主要用于系统停机检修和维护调试,也可用于农户按照经验对火龙果进行补光调控,当系统处于手动模式时,农户按下 LED 灯组 1 或 LED 灯组 2 的开关,对应的执行机构动作,显示元件启动,提醒农户当前系统正处于补光中。自动模式主要用于系统长时间自动运行状态下,依据提前设定好的阈值,调控器自动执行对应操作,并开启对应的 LED 灯组的指示灯,实现火龙果的自动补光。远程模式主要通过云平台实现对补光灯调控器



A: A 相, B: B 相, C: C 相, N: 零线, G: 接地, KM: 交流接触器  
 A : A phase, B: B phase, C: C phase, N: Neutral, G: Earth, KM: AC contactor

图 3 硬件电气接线图

Fig. 3 Hardware electrical diagram

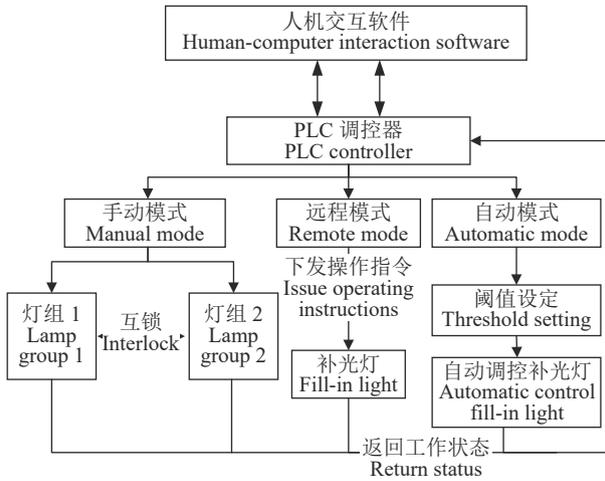


图 4 调控器上位机软件功能架构

Fig. 4 Function diagram of upper computer software of controller

的远程操控, 实现自动补光、无人值守。

1.3.1 数据传输协议 LED 植物补光灯调控器对应 4G DTU 数据传输单元的底层数据传输协议, 共 8 位。数据传输单元在完成对 PLC 的数据读取后, 将 PLC 的串口数据或下发指令打包, 通过无线网络

按照给定通信格式上传至服务器或下发至 PLC 调控器。

数据传输单元除了具有网络透传功能外, 还具有注册包功能。注册包的作用是为了让服务器能够正确识别数据的来源, 注册包功能示意图如图 5 所示, 注册包向服务器发送的形式分为 2 种: 一是在 USR-G780 与服务器建立连接时发送 1 次; 二是作为数据包的包头同数据包一同发送过去。

图 6 中的代码表的解释如下: T1~T4 为数据传输的帧头; T5~T7 为 LED 灯组代码地址或其他

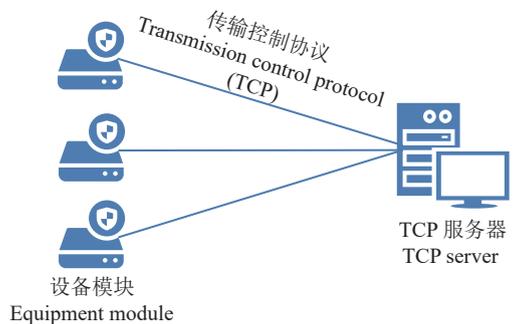


图 5 注册包功能示意图

Fig. 5 Schematic diagram of registration package function

控制功能代码, T8 为异或校验, 用于验证数据传输内容是否存在缺失, 避免误操作。其控制逻辑的主要功能为接收调控器的补光数据, 通过自定义数据传输代码的意义, 各位代码代表的意义如

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
63	6f	6d	55	起始寄存器 Starting register	寄存器数量 Number of registers	数据 Data	XOR 校验 XOR check
固定格式 Fixed format				设备编号或 6 字节控制信息 Device ID/6-byte control information			校验位 Check

T1~T8: 各部分报文段

T1~T8: Message segment of each part

图 6 通信协议设计

Fig. 6 Communication protocol design

上层通信协议用于服务器与客户端之间的通信, 上层数据通信数据包由包头和数据内容构成, 如图 7 所示。主要包含心跳包和客户端下行数据通信协议, 心跳包的主要作用是为了使客户端与服务器一

直保持连接, 防止客户端因为长时间与服务器没有数据交换发生掉线, 心跳包设置发送间隔为每 30 s 1 次。服务器要处理多个客户端发送过来的命令请求, 因此需要对每个心跳包的数据来源加以区分。

开始符 Start character	心跳包 Heartbeat packet	用户 ID User ID	IP 地址 IP address	端口号 Port number	结束符 Terminator
------------------------	-------------------------	------------------	---------------------	--------------------	-------------------

图 7 心跳包通信协议格式

Fig. 7 The communication protocol format of the heartbeat packet

客户端发送到服务器的数据有以下 2 种, 用户登录信息和通过服务器访问数据库的指令。为了保证服务器的返回消息能准确发送到目标客户端上,

用户发送到服务器的命令帧除了要有命令内容外, 还需要包含用户 ID、客户端 IP 地址和端口号等信息, 客户端下行数据总体通信协议如图 8 所示。

开始符 Start character	命令内容 Command content	用户 ID User ID	IP 地址 IP address	端口号 Port number	结束符 Terminator
------------------------	-------------------------	------------------	---------------------	--------------------	-------------------

图 8 客户端下行数据总体通信协议格式

Fig. 8 The overall communication protocol format of the downlink data of client

1.3.2 PLC 调控策略设计 根据系统功能需要, 综合日后功能扩展应留有适当余量, 选择 SUK2N 型 PLC, 确定 2 个数字量输入、2 个数字量输出, 实现对田间 2 组 LED 灯的手动/自动/远程的 3 种控制模式设计, PLC 的资源分配如表 1 所示。

考虑到设备功能异常等特殊原因, 手动控制时信号不再经过 PLC 运算, 使用按钮、继电器等常规控制方法进行手动控制。由于 PLC 输出功率有限, 而外部负载功率需要根据外部环境确定, 且工作时长不确定, 若用 PLC 直接驱动负载容易将对应的输出点击穿, 因此采用中间继电器进行逐级功率放大, 进行调控。

系统分为手动、自动、远程 3 种运行模式。手

动模式用于系统安装、调试、维护检修及火龙果特定状态下的补光操作。在手动模式下, 工作人员先将转换开关旋转至手动模式, 之后按下对应灯组的启动按钮, 开启对应 LED 灯组进行火龙果补光, 直至操作人员按下停止按钮, 调控器停止动作, 补光停止。在自动模式中, 工作人员只需将转换开关旋转至自动模式, 系统首先进行初始化动作, 将 PLC 内部时钟校对为标准时间, 然后将设定的阈值与 PLC 内部时钟不断进行对比, 若内部时钟达到设定值下限, 则调控器调控对应 LED 灯组对火龙果进行补光, 若内部时钟达到设定上限, 补光停止。在远程模式下, 操作人员通过软件平台对调控器进行控制, 通过软件下发开启指令, 经通信模块传输

表 1 PLC 资源分配表  
Table 1 PLC resource allocation table

软元件 Programming element	寄存器地址 Register address	功能 Function	用途 Purpose
X00	S32	自动模式 Auto mode	远程状态 Remote status
X01	D10	远程模式 Remote mode	计数 Count
X02	D512~D514	灯组1 Lamp group 1	灯组1时间下限设置 Set the lower time limit for light group 1
X03	D515~D517	灯组2 Lamp group 2	灯组1时间上限设置 Set the upper time limit for light group 1
S31	D518~D520	自动状态 Auto mode	灯组2时间下限设置 Set the lower time limit for light group 2
S31	D521~D523	自动状态 Auto mode	灯组2时间上限设置 Set the upper time limit for light group 2

至 PLC, PLC 将该信号转换成电信号, 对不同 LED 灯组开关进行控制, 控制程序如图 9 所示。为了避免用户使用时造成控制冲突, 导致调控器损坏, 需要进行相应的模式切换, 调控器才能进行正常工作。切换时需要将调控器上的工作模式切换按钮转换至对应的工作模式下, 才可对补光灯进行相应的操作。

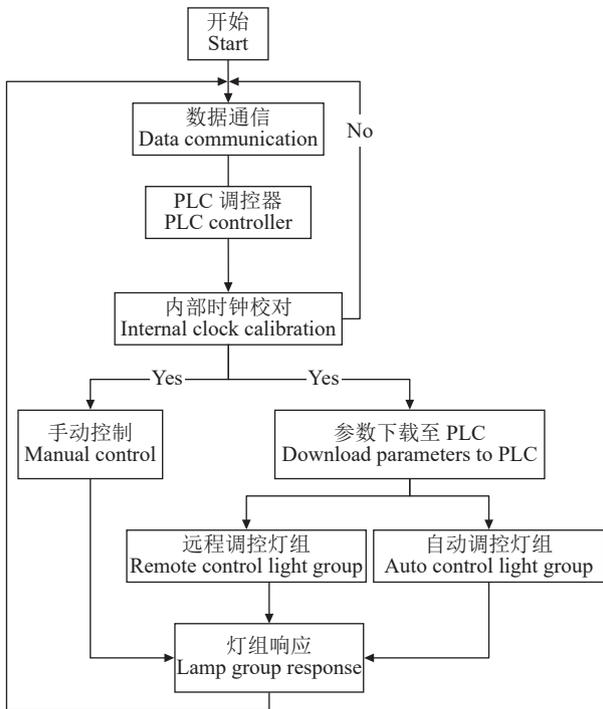


图 9 PLC 控制策略  
Fig. 9 PLC control strategy

1.3.3 远程控制软件设计 远程控制软件主要实现参数的设置、发送、接收并对补光参数进行显示等相关操作。系统通电后, 调控器进行初始化, 并将 PLC 调控器的内部时钟与标准时间进行校对, 根据相应的工作模式进入下一步工作, 在远程控制模式下, 可对不同的 LED 灯组进行控制, 并将控制结果以及灯组的工作状态返回到远程操作平台上; 在自动工作模式下, 先进入阈值设置界面, 用户可根据火龙果不同生长时期进行补光时间设置, 然后系统将阈值时间与 PLC 内部时钟进行对比, 判断是否处于阈值时间内, 处于阈值时间则开启接触器使补光灯保持工作; 若超出阈值时间则断开接触器使补光灯停止工作, 并将补光灯的实时工作状态每 30 min 进行更新并上传至软件平台。

图 10 展示了 PC 端调控和移动端调控界面。软件工作流程如图 11 所示。

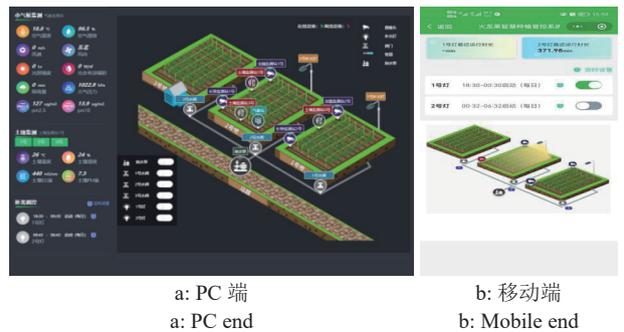


图 10 PC 端和移动端补光调控界面  
Fig. 10 Fill light control interface of PC end and mobile end

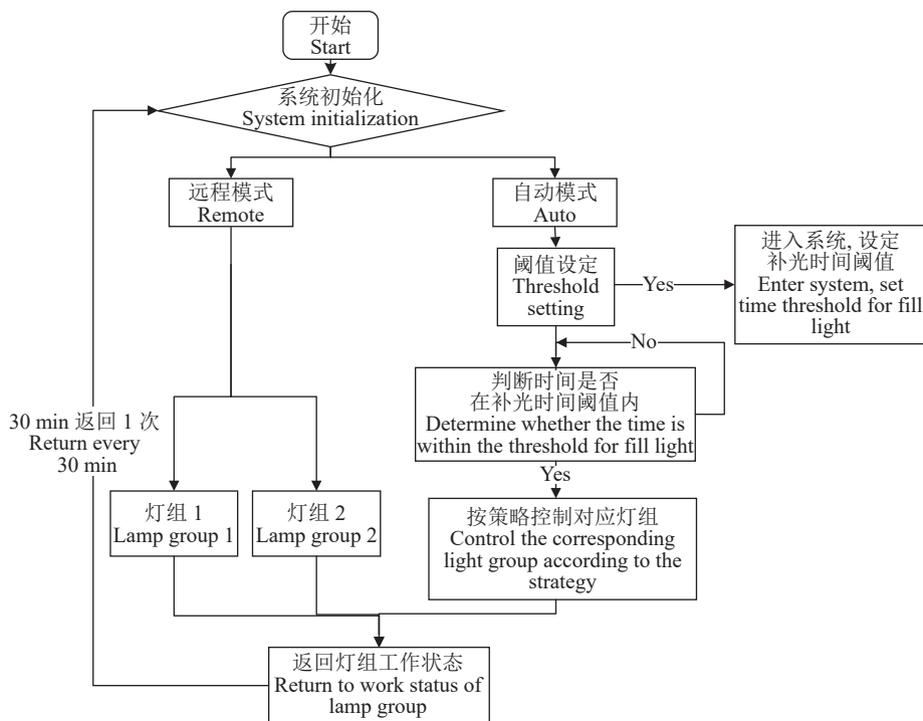


图 11 控制软件流程图

Fig. 11 Flow chart of control software

## 2 生产试验与结果分析

### 2.1 试验内容

为了检验火龙果智能调控器在实际生产过程中的应用效果和实际生产价值,于 2020 年 8 月在广东省云浮市新兴县火龙果种植园内,开展控制柜的布署,进行设备性能测试。并于 2020 年 9—11 月在火龙果果园进行实际生产试验。

### 2.2 设备安装

该设备整体结构具有轻巧、简易、易携带以及安装方便等特点。设备实物图如图 12 所示,控制系统固定在绝缘防水箱体外壳内部,箱体外壳通过复杂支架安装于墙体之上。安装使用时将 380 V 电源经箱体下方防雨口引端子相连接即可。该火龙果补光灯调控器已在广东省云浮市新兴火龙基地进行运行测试,设备运行情况如图 13 所示。

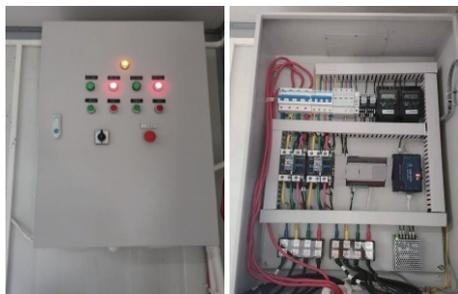


图 12 补光灯调控器

Fig. 12 Fill light controller

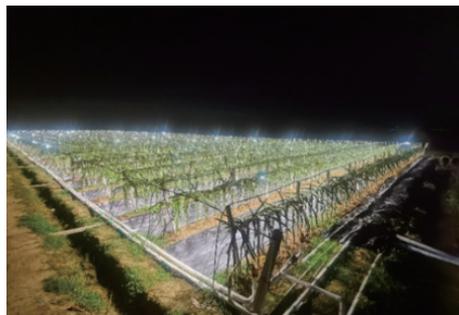


图 13 补光调控效果

Fig. 13 Fill light control effect

### 2.3 设备性能测试

对调控器在不同工作模式下补光灯的响应时间和稳定性进行测试,并记录不同模式下的响应时间和稳定程度。

2.3.1 响应时间测试 在调控器安装完成,并接入 380 V 电压以及 LED 灯组的电源线路后,对调控器的不同工作模式进行现场测试,测试其从指令下发到灯组响应耗时记录如表 2 所示。经多次测试后,得出调控器在手动、自动和远程工作模式下的响应时间基本均不超过 3 s。在长时间使用过程中发现,远程模式通过调控器对火龙果补光灯进行操作受到其他因素影响,如信号不佳、雷雨天气等,干扰导致灯组响应时间超过 3 s。

2.3.2 工作稳定性测试 现场进行为期 30 d,每次补光 4 h,预计补光 120 h 的调控器试验。在自动模式下,对 LED 灯的开启成功和关闭成功的 4 条控

表 2 灯组 1 和灯组 2 不同工作模式下响应时间  
Table 2 Response time of lamp group 1 and lamp group 2 in different working modes

灯组编号 Lamp group number	手动 Manual	自动 Auto	远程 Remote
1	1	1	3
	1	2	2
	2	2	2
	1	2	2
	2	2	2
	2	1	2
	2	2	2
	2	2	3
	2	1	2
	2	1	2
2		1	2
1		2	1
1		2	2
2		1	3
2		1	2
2		1	1
1		2	2

制指令, 和 8 条补光状态的查询指令, 共 12 条指令进行记录。系统后台查询发送包总次数为 360 次,

接收回应总次数为 348 次, 根据公式丢包率=(发送包总次数-接收回应总次数)/发送包总次数×100%, 计算得出, 丢包率约为 3%, 满足实际应用情况。且经过后期自 2020 年 9 月该设备布署后至今, 设备故障次数为 10 次。设备故障率低, 满足调控器长期使用的需求。

2.4 试验结果

根据火龙果生长特点, 火龙果果园现场种植户、火龙果领域专家的经验以及陈丹等<sup>[24-26]</sup>、卓福昌等<sup>[27]</sup>针对火龙果补光光源、补光时长的研究结果, 设计以下试验方案。在相同的种植条件下划分甲乙 2 组, 种植面积均为 10 666 m<sup>2</sup>。在甲组种植区域内, 选取 LED 灯作为光源, LED 灯采用悬吊安装方式, 悬挂位置距离结果枝条 80~100 cm, 安装开口直径为 13.5 cm 的 LED 灯共 2 210 盏, 对火龙果进行夜间补光, 每次补光设定为 4 h, 与处于自然生长状态的乙组进行对照试验, 并记录火龙果补光时长及产量。由试验统计结果(表 3)可知, 补光生长的火龙果与自然生长的火龙果相比, 补光条件下挂果时间提前 2~4 d, 总产量提升约 16.7%, 具备良好的经济效益。且通过火龙果补光系统补充光照可有效地促进火龙果植株抽花、结果, 进一步完善补光措施及其配套技术, 可为火龙果冬春季果实反季节生产提供技术应用参考。

表 3 补光与自然条件下的火龙果产量指标  
Table 3 Pitaya yield index under supplemental light and natural conditions

组别 Group	补光时长/h Light supplementation time	挂果日期 Date of fruiting		产量/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield
		第 1 次 First	第 2 次 Second	
甲组 Group 1	364	2020-10-13	2020-11-24	48 397.5
乙组 Group 2	0	2020-10-15	2020-11-28	41 460.0

3 结论

本文研发了一种基于 PLC 技术的火龙果补光智能调控器, 针对火龙果生长发育的补光需求进行补光, 通过核心处理器的模拟信号, 控制指定 LED 灯组, 实现光照时长的自动调控。调控器拥有多种工作方式(手动、自动和远程), 通过将 LED 灯组的发射光谱与作物的选择性吸收光谱相匹配, 用于田间火龙果补光, 实现不同阶段不同环境下火龙果的智能、精确、定量补光。试验证明, 火龙果智能补光调控器能满足火龙果补光需求, 补光后火龙果产量提升约 16.7%, 有助于增加 15%~20% 的经济效益, 且设备具有稳定性良好、响应速度快、维护简单和布署灵活等特点, 具有良好的推广应用前景。

参考文献:

[1] WARD J M, CUFR C A, DENZEL M A, et al. The dof transcription factor OBP<sub>3</sub> modulates phytochrome and cryptochrome signaling in *Arabidopsis*[J]. *The Plant Cell*, 2005, 17(2): 475-485.

[2] 杜洪涛, 刘世琦, 蒲高斌. 光质对彩色甜椒幼苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2005(1): 41-45.

[3] ZHENG J, HU M J, GUO Y P. Regulation of photosynthesis by light quality and its mechanism in plants[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1619-1624.

[4] HÉRAUT-BRON V, ROBIN C, VARLET-GRANCHER C, et al. Phytochrome mediated effects on leaves of white clover: Consequences for light interception by the plant under competition for light[J]. *Annals of Botany*, 2001,

- 88(4): 737-743.
- [5] 李蔚, 李新旭, 李红岑, 等. 植物生长灯不同补光时间对日光温室番茄产量及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(11): 49-50.
- [6] 张子鹏, 温健新, 黄爱政, 等. LED 灯补光对温室甜椒产量及品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(29): 24-25.
- [7] 祁娟霞, 韦峰, 董艳, 等. 不同补光时间对温室番茄生长发育的影响[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(8): 245-248.
- [8] 叶小荣, 赵晓美, 黄春红, 等. 大棚补光对火龙果开花及产量影响[J]. *中国南方果树*, 2019, 48(6): 43-45.
- [9] 苏明, 任太军, 袁水清, 等. 海南火龙果反季节生产技术初探[J]. *中国南方果树*, 2018, 47(1): 83-86.
- [10] 张立萍. 智能型 LED 植物生长灯控制系统设计[J]. *赤峰学院学报(自然科学版)*, 2021, 37(1): 57-62.
- [11] 覃文奇. LED 植物生长灯的设计[J]. *河南科技*, 2020(8): 68-70.
- [12] 何林, 李亨, 陈红豆. 智能 LED 植物补光灯设计[J]. *天津职业技术师范大学学报*, 2018, 28(3): 31-35.
- [13] 徐秀知, 王淑凡, 王巍, 等. 全数字智能 LED 植物补光灯控制系统[J]. *天津工业大学学报*, 2012, 31(4): 57-60.
- [14] 曲溪, 叶方铭, 宋杰琼, 等. LED 灯在植物补光领域的效用探究[J]. *灯与照明*, 2008, 32(2): 41-45.
- [15] 李彦荣, 常瑛, 魏玉杰, 等. 克服弱光寡照障碍的技术研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(2): 687-690.
- [16] 张建飞, 杨景发, 胡岚岚, 等. 基于单片机植物组培专用 LED 光源的设计[J]. *河北农业大学学报*, 2012, 35(5): 99-104.
- [17] 周益民, 周国泉, 徐一清. 基于单片机的温室植物 LED 补光系统设计[J]. *激光生物学报*, 2013, 22(3): 214-219.
- [18] 王瑞, 喻晨, 马艳, 等. 基于 STM8 的植物工厂环境调控定时器的设计与应用[J]. *宁夏工程技术*, 2020, 19(1): 13-17.
- [19] 张海辉, 杨青, 胡瑾, 等. 可控 LED 亮度的植物自适应精准补光系统[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 153-158.
- [20] 崔瑾, 徐志刚, 邸秀茹. LED 在植物设施栽培中的应用和前景[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(8): 249-253.
- [21] 刘卫国, 宋颖, 邹俊林, 等. LED 灯模拟作物间作套种群体内光环境的设计与应用[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(8): 288-292.
- [22] CHIANG C, BÅNKESTAD D, HOCH G. Effect of asynchronous light and temperature fluctuations on plant traits in indoor growth facilities[J]. *Agronomy*, 2021, 11(4): 755. doi: 10.3390/agronomy11040755.
- [23] OLVERA-GONZALEZ E, RIVERA M M, ESCALANTE-GARCIA N, et al. Modeling energy LED light consumption based on an artificial intelligent method applied to closed plant production system[J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(6): 2735. doi: 10.3390/app11062735.
- [24] 陈丹, 范万新, 韦思智, 等. 不同时长 LED 灯补光对火龙果生长的影响[J]. *气象研究与应用*, 2021, 42(3): 44-49.
- [25] 陈丹, 潘建安, 马振军, 等. 火龙果四种不同光质 LED 灯补光效果试验[J]. *广西农学报*, 2020, 35(5): 38-42.
- [26] 陈丹, 范万新, 欧善生, 等. 不同光质 LED 灯对火龙果补光催花试验[J]. *气象研究与应用*, 2019, 40(2): 51-55.
- [27] 卓福昌, 韦优, 蒋娟娟, 等. 火龙果补光催花试验初探[J]. *中国热带农业*, 2018(3): 52-53.

【责任编辑 庄 延】