

# 基于 STM32 的植物补光调控系统设计

易 艺<sup>1</sup>, 窦文淼<sup>1</sup>, 莫燕兰<sup>2</sup>, 袁颂岳<sup>1</sup>

(1. 桂林电子科技大学 信息科技学院, 广西 桂林 541004;

2. 桂林亦元现代生物技术有限公司, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 光照是植物生长和发育的重要环境因子之一, 在植物组织培养过程中, 为了更好地利用 LED 光源对组培室内植物进行补光, 节约能源和提高补光效率, 设计了一种基于 STM32 的植物补光调控系统; 系统采用 STM32 作为微控制器, 设计植物补光总控中心和补光调节点电路, 补光总控中心通过 RS485 通信模块与安装在组培室内的多个补光调节点进行指令和数据的通信, 补光调节点根据补光总控中心的任务指令和补光参数, 协调补光调节点的各个电路模块之间相互工作, 实现按时、按量对组培室内的植物进行补光; 经过实验测试结果表明, 该系统环保、易操作且性能稳定可靠, 能够实现补光的同时节约能源, 进而减少了组培室的育苗成本, 为在植物组培室内实现植物的补光提供参考。

**关键词:** LED; 植物补光; 闭环控制技术; STM32; 组培室; 光照度调节

## Design of Control System for Plant Light Supplement Based on STM32

Yi Yi<sup>1</sup>, Dou Wenmiao<sup>1</sup>, Mo Yanlan<sup>2</sup>, Yuan Songyue<sup>1</sup>

(1. Institute of Information Technology, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. Guilin Erasun Modern Biotechnology Co., Ltd., Guilin 541004, China)

**Abstract:** Light is one of the important environmental factors for plant growth and development. An STM32 plant light supplement control system is designed in order to make better use of LED light source for plants in tissue culture room, save energy and improve the efficiency of light supplement. STM32 is used as the microcontroller to design the plant light supplement control center and the control nodes. The control center communicates the instructions and data with the multiple light supplement control nodes, installed in the tissue culture room, through the RS485 communication module. According to the instructions and the light-supplementing parameters, control nodes coordinate each module to work with each other, so as to achieve the light supplement on time, on demand and according to quantity. The experimental results show that this system is environmentally friendly, easy to operate, stable and reliable. It can save energy while replenishing light, thus reducing the seedling raising cost of tissue culture room, which is a reference of supplement light in tissue culture indoor plant.

**Keywords:** LED; plant light supplement; closed-loop control technology; STM32; tissue culture room; illumination regulation

## 0 引言

组织培养是对传统植物繁殖方法的突破, 它能使有性繁殖成活率低和不能有性繁殖的植物繁育出新的植株, 且不受季节、气候、自然灾害等因素影响<sup>[1]</sup>。组织培养的繁殖周期短, 扩繁速度快, 短时间内可繁殖出大量植株。通过组织培养不但能节省常规无性繁殖所需要的大量母本植物, 保持母本优良性状一致, 还可以防止植物种性退化。目前, 组织培养在快速繁殖、育种、保存濒危植物种质资源等工作中得到广泛的应用。

在植物组织培养过程中, 光不仅是植物光合作用的能量来源, 而且对植物生长发育、形态建成和生理代谢等各个方面均有调节和控制作用<sup>[2]</sup>。传统组培室对不同植物组培苗以及植物组培苗不同生长阶段进行补光大都采用统一的植物补光方式, 不能根据植物生长需求对光进行合适的

调节, 因而影响植物组培苗的培育质量。荧光灯、高压钠灯等传统植物补光光源都含有植物生长不需要的光谱, 只有部分波段的光可以被植物吸收利用, 存在光能量浪费, 耗能较高, 在组培室中使用传统植物补光光源, 不易获得高性价比的植物组培苗。相对于传统植物补光光源, LED 光源具有发光效率高、体积小、功耗低、寿命长和便于控制等优点<sup>[3]</sup>。近年来, 利用 LED 光源对植物生长进行补光的研究受到广泛关注, 并成为许多科研人员研究的课题<sup>[4-6]</sup>。

在植物组织培养过程中, 为了更好地实现对组培室内的植物进行补光, 降低育苗成本, 本文以微控制器 STM32F103VET6 为主控芯片, 设计了一种组培室植物生长 LED 补光调控系统。该系统可以根据需要按时、按量对植物组培苗进行补光, 为在组培室内采用 LED 光源对植物进行补光提供一种参考。

收稿日期: 2020-05-29; 修回日期: 2020-07-08。

基金项目: 2018 年广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0837)。

作者简介: 易 艺(1983-), 男, 广西防城人, 硕士, 高级实验师, 高级工程师, 主要从事测控技术与传感器技术方向的研究。

引用格式: 易 艺, 窦文淼, 莫燕兰, 等. 基于 STM32 的植物补光调控系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(2): 63-66.

## 1 系统组成与原理

组培室植物生长补光调控系统由上位机、补光总控中心和补光调控节点组成，其系统组成如图 1 所示。

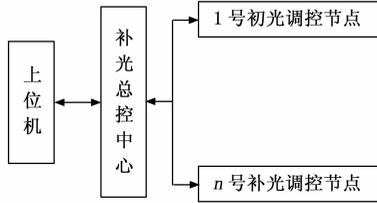


图 1 系统组成框图

上位机和补光总控中心安放在组培室管理中心，上位机为手机或笔记本电脑，手机通过 GPRS 与补光总控中心进行信号的传输，笔记本电脑通过 USB 与补光总控中心进行信号的传输。补光调控节点安装在组培室内的植物组培架上，方便对组培植物进行补光。补光总控中心通过 RS485 通信模块与安装在组培室内的多个补光调控节点进行信号的传输。系统的工作原理为：1) 上位机向补光总控中心发送任务指令和补光参数。植物组培技术员根据组培植物的需求通过上位机输入任务指令和植物补光参数，然后发送给补光总控中心进行存储；2) 补光总控中心将上位机发送来的任务指令和植物补光时间、光照度等补光参数进行处理，然后通过 RS485 通信模块传输到组培室内的各个补光调控节点进行存储；3) 组培室内的补光调控节点对接收到的任务指令和植物补光参数进行处理，然后控制 D/A 模块和 LED 光源驱动模块对 LED 光源进行调光，同时通过光照度传感器模块检测 LED 光源的光照度是否满足预设植物补光光照的要求，如果没有达到预设光照参数要求，则进行适当的调整，直至达到预设的光照参数要求，实现对植物补光参数的闭环控制。植物组培技术员可以根据需要通过上位机输入调光控制指令和参数，传输给补光总控中心，补光总控中心进行处理后，对组培室内的补光调控节点进行控制与管理。补光调控节点按照接收到的控制指令和参数进行光环境参数的调控，并将调控结果返回给上位机，给植物组培技术员参考。

## 2 系统硬件设计

系统的硬件设计主要包括补光总控中心和补光调控节点的电路设计。

### 2.1 补光总控中心的硬件设计

补光总控中心作为上位机与补光调控节点的中间桥梁，用于接收上位机的任务指令和植物补光参数并进行处理，然后控制和管理组培室内的全部补光调控节点进行工作。它主要由微控制器和与之相连接的 GPRS 模块、USB 转串口模块、时钟模块、RS485 通信模块和存储器模块组成。其硬件电路设计如图 2 所示。

补光总控中心选用性价比高、功耗低的 STM32F103VET6

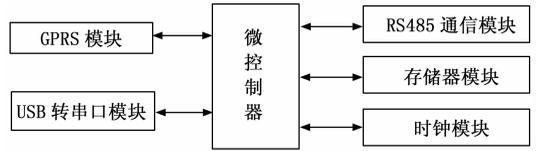


图 2 补光总控中心硬件电路设计框图

芯片作为微控制器，其片内集成有 SPI 通信接口、I<sup>2</sup>C 通信接口、USART 通信接口和多组 I/O 接口等丰富的片上资源<sup>[7]</sup>，易于实现对组培室内主控节点和补光调控节点的控制和管理。

GPRS 模块选用 TTL 串口转 GPRS 模块 USR-1-GPRS232-7S3 来实现<sup>[8-9]</sup>。该模块是济南有人物联网技术有限公司推出的 GPRS 模块，它可以与微控制器的串口相连接，实现 TTL 串口转 GPRS 双向数据透明传输功能。

RS485 通信模块选用自动控制流向的 MAX485 芯片来设计实现。该通信模块为 TTL 串口转 RS485 模块，通过串口与微控制器进行通信。

时钟模块选用内部自带温补晶振电路的 DS3231 高精度时钟模块来实现。该模块通过 I<sup>2</sup>C 通信协议与微控制器进行通信<sup>[10]</sup>。

植物组培技术员既可以根据需要通过上位机实现对组培室内的 LED 光源进行开启与关闭，又可以通过上位机进行查看或修改 LED 光源的光照时间、光照强度等参数。系统参数设置完成后，补光总控中心可以脱离上位机，控制和管理组培室内的补光调控节点进行工作。

### 2.2 补光调控节点的硬件设计

补光调控节点接收补光总控中心的任务指令，并根据任务指令和植物补光参数对组培室内组培架上的 LED 光源进行调控。补光调控节点主要由微控制器、RS485 通信模块、光照度传感器模块、D/A 模块、电压检测电路、LED 光源驱动模块和 LED 光源组成。其硬件电路设计如图 3 所示。

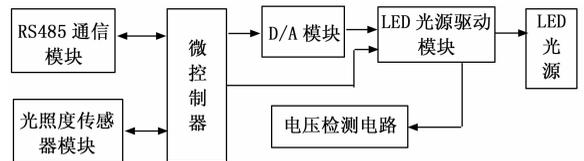


图 3 补光调控节点硬件电路设计框图

LED 光源驱动模块由继电器电路和开关电源电路组成，开关电源电路选用 JM-360W-60 可调开关电源来实现，该电源的 AC 输入电压为 220 V，DC 输出电压调整范围为 0~60 V，最大输出电流 6 A，通过输入信号电压 0~5 V 来调节输出电压，将其电压调节控制端连接至 D/A 电路的输出端，实现对开关电源输出电压的调节。继电器电路的控制端与微控制器的 I/O 口相连，用来切换选择给不同光谱的 LED 光源供电。

D/A 模块主要用来给可调开关电源提供输入控制电压。由于可调开关电源的最大输入控制电压 5 V, 因此选用 TI 公司的电压输出型 DAC 芯片 TLV5616 来设计实现。TLV5616 通过 SPI 接口与微控制器的 I/O 口相连接。由 MC1403 电压基准芯片为其提供基准电压<sup>[11]</sup>, D/A 模块电路连接如图 4 所示。

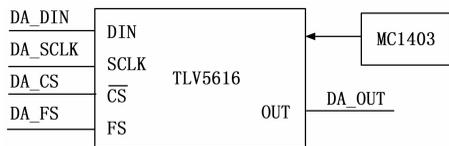


图 4 D/A 电路框图

光照度传感器模块选用 BH1750FVI 芯片作为光照检测传感器, 用于检测 LED 光源的光照强度, 微控制器将检测得到的 LED 光源的光照强度与预设值进行比较, 如果没有达到预设值的要求, 微控制器将控制 D/A 模块和 LED 光源驱动模块对 LED 光源的光照度进行适当的调整, 直至达到光照强度预设值的要求, 以形成闭环控制<sup>[12]</sup>, 实现光照强度的调整。该模块通过 I<sup>2</sup>C 通信协议与微控制器进行通信, 可以测量 0~65 535 Lx 的光照强度。

补光调控节点选用性价比高、功耗低的 STM32F103C8T6 作为微控制器, 其片内集成有 64 KB 的 Flash、20 KB 的 SRAM、I<sup>2</sup>C 通信接口、2 个 12 位的 A/D 转换器、USART 通信接口和多组 I/O 接口等丰富的片上资源, 易于实现对补光调控节点中各个电路模块的控制和管理, 协调补光调控节点中各个电路模块进行工作。STM32F103C8T6 微控制器通过 RS485 通信模块接收补光总控中心发送的植物补光时间、光照强度等补光参数, 然后根据补光参数和指令对组培架上的 LED 光源进行控制, 根据植物补光需要实现对 LED 光源光照强度的调节。

### 3 系统软件设计

系统的软件设计主要包括补光总控中心软件设计和补光调控节点软件设计。补光总控中心软件设计和补光调控节点软件设计都采用程序模块化的设计方法, 首先将系统软件设计分为多个子程序模块的设计, 然后画出软件流程图, 最后在 Keil uVision5 集成开发环境下, 用 C 语言来编程实现补光总控中心和补光调控节点的各个软件模块的程序设计。

#### 3.1 补光总控中心软件设计

补光总控中心的软件设计主要包括时钟模块的驱动程序设计、USART 驱动程序设计和存储器模块的驱动程序设计, 其主程序流程如图 5 所示。补光总控中心的软件工作流程为: 补光总控中心开始工作后, STM32F103VET6 微控制器先对其内部资源以及与之相连接的 GPRS 模块、USB 转串口模块、时钟模块、RS485 通信模块和存储器模块进行初始化; 接着判断是否收到上位机指令和植物补光

参数, 如果接收到上位机指令和植物补光参数, 则进行指令和植物补光参数的处理与存储; 如果没有接收到上位机指令和植物补光参数, 接下来将判断是否接收到补光调控节点的数据, 如果接收到补光调控节点的数据, 则进行数据的处理, 并发送给上位机; 如果没有接收到补光调控节点的数据, 接下来微控制器将通过 I<sup>2</sup>C 通信协议读取时钟模块的实时时钟, 并进行时钟和补光参数的数据处理, 然后根据存储的植物补光参数(如: 光照强度和补光时间)向补光调控节点发送控制指令和补光调控参数。

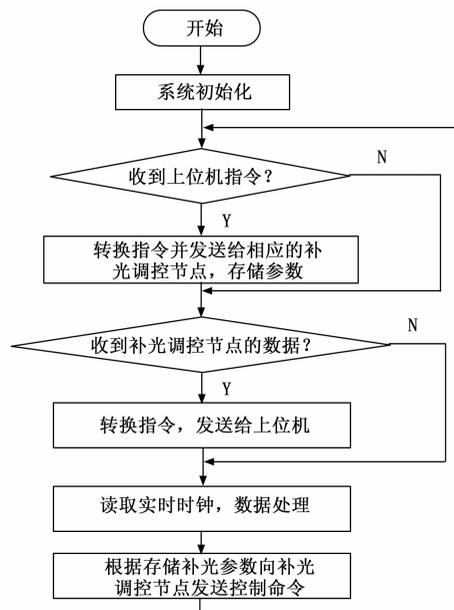


图 5 补光总控中心主程序流程图

#### 3.2 补光调控节点软件设计

补光调控节点软件设计主要包括 BH1750FVI 的驱动程序设计、USART 驱动程序设计、A/D 驱动程序设计和 TLV5616 的驱动程序设计, 其主程序流程如图 6 所示。补

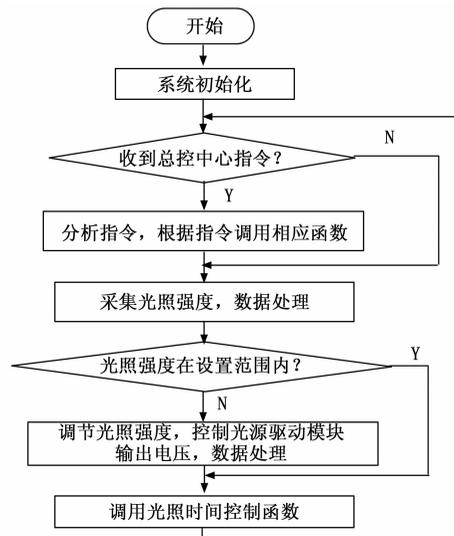


图 6 补光调控节点主程序流程图

光调控节点的软件工作流程为：补光调控节点开始工作后，STM32F103C8T6 微控制器先对其内部资源以及与之相连接的 RS485 通信模块、光照度传感器模块和 D/A 模块进行初始化；接着判断是否收到补光总控中心指令和植物补光参数，如果接收到补光总控中心指令和植物补光参数，则进行指令和植物补光参数的处理；如果没有接收到补光总控中心指令和植物补光参数，接下来微控制器将控制光照度传感器模块工作，获取组培室内的 LED 光源的光照强度，并判断 LED 光源的光照强度是否在设置范围内，如果 LED 光源的光照强度不在设置范围内，则微控制器将控制 D/A 模块和 LED 光源驱动模块对 LED 光源的光照强度进行适当的调整，直至达到 LED 光源光照强度预设范围的要求，然后根据预设的光照时间参数调用光照时间控制函数对植物按时进行补光。

#### 4 系统功能实验

为了验证植物补光调控系统的功能，选择红光和蓝光 LED 作为 LED 光源，将设计制作完成的 LED 补光调控电路按照图 7 建立实验测试电路，然后采用优利德数字式照度计 UT382 对补光调控电路的光照度参数调节情况进行实验测试，得到其部分参数测量结果如表 1 所示。



图 7 补光调控电路的实验测试图

表 1 LED 光源光照度测量结果表

序号	预置值/Lx	测试值/Lx	相对误差/%
1	500	488	2.40
2	1 000	1 098	9.80
3	1 500	1 513	0.87
4	2 000	2 086	4.30
5	2 500	2 545	1.80
6	3 000	3 109	3.63
7	3 500	3 601	2.89
8	4 000	4 083	2.08
9	4 500	4 502	0.04
10	5 000	4 953	0.94
11	5 500	5 495	0.09
12	6 000	5 976	0.40

测试结果表明，补光调控电路对 LED 光源的光照度参数调节范围宽、调节精度较高、误差较小，能够满足组培室植物补光的需求。

#### 5 结束语

本文以 STM32 微控制器作为控制核心，结合电子技术、传感器技术和测控技术，设计了一种组培室植物补光调控系统。阐述了系统的组成原理和软硬件设计方法，并对植物补光调控系统进行实验验证。测试结果表明，系统达到了预期的设计要求，可以在常规组培室根据需要对植物组培苗按时、按量进行补光，相对于传统组培室植物补光方式而言，达到节约能源的目的，减少育苗成本，为在组培室内采用 LED 光源对植物进行补光提供一种参考。

但该植物补光调控系统也存在不足的地方，比如：植物补光存在 LED 光源光照分布不均匀、不能对光质进行科学的调控等问题，在今后的研究中，需要对植物补光调控系统进一步改进，以完善植物补光调控系统的功能，并建立丰富的数据库，实现上位机选择植物类型，就可以自适应地完成对植物补光光环境的调控。

#### 参考文献：

- [1] 刘晓鹏, 王 锋, 赵黎明, 等. 药用植物组织培养研究进展 [J]. 湖北民族学院学报 (自然科学版), 2019, 37 (1): 13-18.
- [2] 刘晓英, 徐志刚, 焦学磊, 等. 可调 LED 光源系统设计及其对菠菜生长的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (1): 208-212.
- [3] 于海业, 孔雨娟, 刘 爽, 等. 植物生产的光环境因子调控应用综述 [J]. 农机化研究, 2018 (8): 1-9.
- [4] 岑益超, 余桂英, 季杭峰, 等. 新型智能 LED 植物组培光照系统设计 [J]. 中国农机化学报, 2014, 35 (5): 90-93.
- [5] 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.
- [6] 周 泓, 虞侠挺. 基于嵌入式的兰科植物组培控制系统 [J]. 传感器与微系统, 2012, 31 (8): 116-122.
- [7] STMicroelectronics Ltd. STM32F103xC, STM32F103xD, STM32F103xE datasheet [Z]. STMicroelectronics Ltd, 2018.
- [8] 邹丰谦, 邱成军. 植物生长环境测控系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2018, 37 (10): 111-113, 116.
- [9] 张德茂, 袁 晓, 陈文杰. 电磁阀远程控制及水压监测系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (7): 77-81.
- [10] 易 艺, 郝建卫, 于新业, 等. 用于繁育植物种苗的高压发生器的设计 [J]. 现代电子技术, 2019, 42 (14): 09-13.
- [11] 郝建卫, 易 艺, 李长俊. 基于 FPGA 的智能放大器的研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (1): 205-206, 210.
- [12] 邢 苏, 周国平, 何碧漪, 等. 基于 STM32 的高效光伏能量转换系统设计 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (19): 128-130, 135.