

基于 C8051F005 的组培 CO₂ 微环境调控系统的研制与试验

刘晓英, 徐志刚*, 焦学磊, 邸秀茹

(南京农业大学农学院, 南京 210095)

摘要: 基于 C8051F005 芯片设计开发一种新型组培气体微环境控制系统, 采用高纯度 CO₂ 定压定量供给和自动箱内循环在线监测技术, 成功解决了 CO₂ 气体难以自动精确施放和传感器检测精度及其稳定性的问题, 实现了组培微环境 CO₂ 浓度的按需设定和自动控制。该系统能够同时记录 CO₂ 浓度的下降量和时长, 既可用于研究不同组培微环境因子对组培苗同化 CO₂ 速率的影响, 又能用于规模化组培育苗生产。以驱蚊香草、冬青、大花蕙兰组培苗为实验材料, 验证系统可靠性与可行性。结果表明该系统运行可靠, 控制精度高, 能够满足规模化组培育苗对气体微环境调控的需求和组培微环境建模的科研要求。

关键词: 植物组培; CO₂ 气体微环境; C8051F; 调控系统

中图分类号: S123; S625.5+1

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2006)11-0209-04

刘晓英, 徐志刚, 焦学磊, 等. 基于 C8051F005 的组培 CO₂ 微环境调控系统的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 209-212.

Liu Xiaoying, Xu Zhigang, Jiao Xuelei, et al. Development and test on new monitoring and control system of CO₂ gaseous micro-environment for plant tissue culture based on C8051F005[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 209-212. (in Chinese with English abstract)

0 引言

日本研发了大型组培设施及其环境调控系统, 采用强制通风或箱外循环间歇监测的方法对组培气体微环境实施调控^[1-4], CO₂ 浓度信息采集与监测的自动化程度有待提高。中国在引进日本无糖组培新技术的同时也开始研发大型组培设施, 但对组培微环境的监控还只实现了 CO₂ 增施的半自动化控制^[5-8]。徐志刚等^[9,10]以 A/D 卡配合计算机研制出组培微环境控制系统, 但该系统不能脱离计算机工作, 当计算机出错时, 会造成系统无法运行。李传业等^[5]开发了基于 PLC 的无糖组培微环境控制系统, 该系统采用 PLC 及系统必须的 A/D 模块, 硬件成本增高。

微环境气体 CO₂ 浓度监测精度低、漂移大和迟滞性是上述系统的最主要问题, 直接影响到控制精度和可靠性, 不能用于 CO₂ 同化速率的研究分析。根据上述研究基础, 以 C8051F005 单片机为核心的控制器, 采用自行研发的定压、定量高纯度 CO₂ 施放技术和 CO₂ 浓度自动箱内循环在线监测技术, 设计了一种新

型组培气体微环境自动控制系统, 其监测和调控精度高、可控性强、成本低, 能用于研究组培苗的 CO₂ 同化速率; 当不需要记录数据时, 控制器可脱离上位机单独工作。

2 系统结构和工作原理

2.1 系统总体构成

系统总体构成如图 1 所示。该系统由 CO₂ 自动施肥装置、CO₂ 浓度自动在线箱内循环监测装置以及控制器和上位机组成。CO₂ 自动施肥装置主要由组培箱、电磁阀和固态继电器组成。组培箱容积约 145 L, 双层结构, 采用透光有机材料, 能容纳约 84 只组培瓶; 采用 Silicon 的 CARBOCAP[®] 传感技术的 GMD20D CO₂ 浓度传感器和自行开发的自动循环在线检测技术。CO₂ 浓度传感器的误差小于 ±2.0%, 非线性度小于 ±1.0%, 响应时间为 1 min、量程为 0~10000 μL/L。控制器是以 C8051F005 为核心的嵌入式系统, 上位机主要承担数据处理和监视下位机系统的功能。

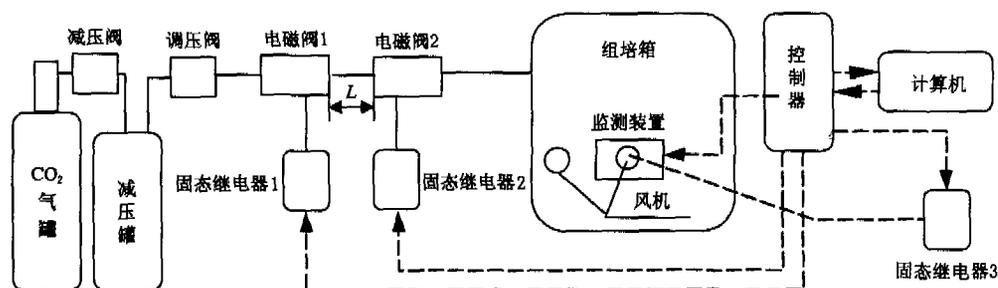


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 Sketch of system for CO₂ control

2.2 系统工作原理

根据需要设定系统的 CO₂ 浓度设置点。控制器(下位机)采集 CO₂ 浓度信息, 当满足 CO₂ 施放条件时, 控制器输出控制信号, 启动电磁阀, 高纯度的 CO₂ 气体恒压, 定量地施放进入组培箱内。当实时监测数据在设定范围时, 控制器显示组培箱内实时 CO₂ 浓度, 下位机同步采集施气后的 CO₂ 浓度和本周期的时长 t, 传给上位机并以文件的形式保存数据。系统共布置两台风扇, 功率均为 3.5 W, 其中一台布置在 CO₂ 气体施放的入口处, 自系

收稿日期: 2006-02-10 修订日期: 2006-07-20

资助项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2004107)

作者简介: 刘晓英, 南京 南京农业大学农学院, 210095.

Email: liuxy@njau.edu.cn

*通讯作者: 徐志刚, 工学博士, 副教授, 南京 南京农业大学农学院, 210095. Email: xuzhigang@njau.edu.cn

统运行时这台风机一直开启,促进箱内气流循环,以保证组培箱内 CO₂ 浓度分布均匀;另一台与 CO₂ 传感器探头集成在一起,系统自动定时开启这台风机,保证传感器周围的 CO₂ 浓度均匀,从而保证测量数据的真实性。

2.3 CO₂ 施放控制与组培箱内 CO₂ 分布均匀性测试

CO₂ 气体的施放压力可按需调定为 P₁, 浓度为 99%。组培箱内容积为 V, 箱内气压恒为 P₀。如图 1 所示,电磁阀 1、2 间的管道内径为 d, 长度为 L。箱内 CO₂ 浓度的控制增量可根据需要任意设定,当确定为 C_c 后,即能以 d、L 和 P₁ 中的任意一个参数作为调节参数,以满足系统对 C_c 的控制要求,计算公式^[14]如下。

$$C_c = \frac{L \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{P_1 - P_0}{P_0}}{V} \times 0.99 \times 10^6$$

在箱内上下两层各取 5 个测点,分布位置见图 2。采用遥控移动玩具汽车将传感器移动到选定测点分别检测,测得不同控制浓度下的数据如表 1。测试结果表明箱内 CO₂ 浓度分布的最大偏差值 10 μL/L, 最大相对偏差 1%。

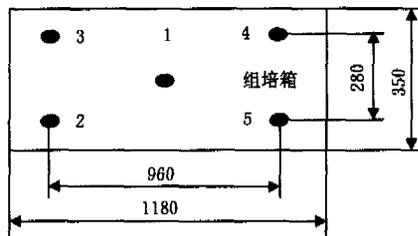


图 2 CO₂ 传感器在组培箱内测点布置图

Fig. 2 Testing positions of CO₂ sensor in vitro

表 1 组培箱内各测点 CO₂ 浓度

Table 1 CO₂ concentration of testing position in vitro

CO ₂ 实际控制浓度 C ₁ /μL · L ⁻¹	各测量点 CO ₂ 浓度 C/μL · L ⁻¹				
	2	5	1	4	3
880	880	890	880	880	870
790	790	790	790	790	790
960	960	970	960	960	960
1000	1000	1000	1000	1000	1000
1140	1140	1140	1140	1130	1140

2.4 控制器硬件系统

硬件系统如图 3 所示,由主控板和信号处理板组成。主控板是嵌入式系统,有键盘、LCD 显示、JTAG 接口、输入输出接口、SPI 串行口以及 UART 串行通讯口。C8051F 是与 MCS-51 内核及指令系统完全兼容的集成混合信号的片上系统(System On Chip),片内集成了数据采集和控制系统常用的模拟部件,其数字交叉开关能将内部数字系统资源定向到外部 I/O 口上,是目前功能最强大 8 位单片机之一^[11-13]。信号处理模块将 CO₂ 浓度自动在线循环监测装置的输出信号调理为与控制器 A/D 接口相一致的电压信号。

外接端口引出了 4 个 12bit 模拟量(A/D)输入通道,其中 1 个通道用于采集 CO₂ 浓度信号,预留 3 个通道采集其它环境因子监测信号;4 个 I/O 通道分别用来驱动固态继电器以控制电磁阀。设置 JTAG 接口用于调试系统或将程序存入程序存储器并与 PC 机联机,在正常运行时此接口无用。目标板上的 JTAG 接口与 RS232 间的协议转换由 Cygnal 公司提供的串行适配器 EC2 实现,控制程序可随时通过此接口修改。控制器与上位机的通讯采用串行通讯的方式;SPI 串行口设为预留口。

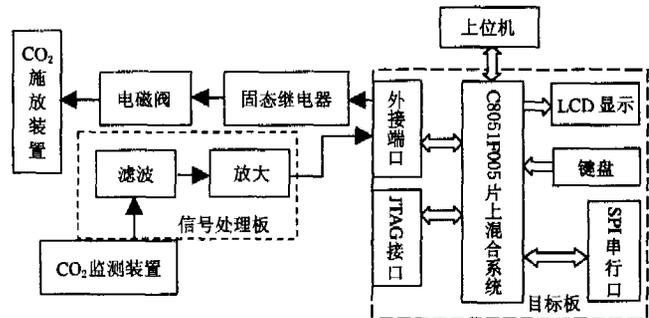


图 3 组培苗 CO₂ 微环境调控系统硬件组成

Fig. 3 Hardware architecture of control system for CO₂ micro-environment of plant tissue culture

2.5 控制器软件系统

控制器系统软件采用 MCS-51 汇编语言编写,定时循环气流驱动模块由定时器 3 中断方式实现,其主程序流程图如图 4 所示,其中 C、C₁、C_r、C_c 分别表示实时浓度、实际控制浓度、设定浓度和控制浓度增量。上位机系统软件采用 VB6.0 设计。

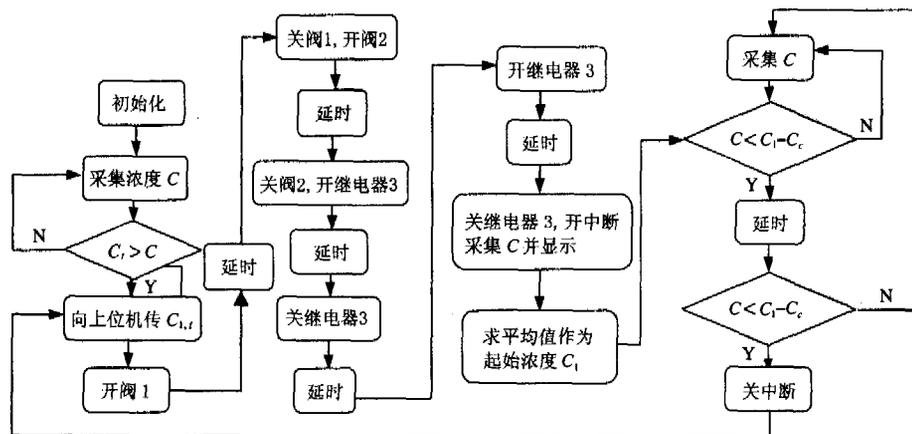


图 4 主程序流程图

Fig. 4 Flowchart of main programme

3 作物生长实验与系统性能验证

以驱蚊香草、冬青和大花蕙兰组培苗为实验材料进行作物生长实验,以验证系统的性能。将驱蚊香草和冬青及大花蕙兰组培苗分别在(25±2)℃温度、12 h 光照、40 μmol·m⁻²·s⁻¹PPFD 和 410 μL·L⁻¹ CO₂ 浓度的环境下培养 10 d 后移入环境调控组培箱内,温度与光周期与上述相同,光量和 CO₂ 浓度参数的控制

如表 2。所有实验均重复 2 次,采用 LSD 法进行多重比较,使用 SAS8.2 软件做差异显著性测验,实验结果分析如表 2 和表 3。

实验数据表明:控制系统能够将微环境的 CO₂ 实际控制浓度 C₁ 精确地保持在设定浓度值 C_i 附近,控制误差最大不超过 ±2%。该系统能够精确地调控组培微环境中 CO₂ 浓度;依据数据记录,能够研究组培苗的光合同化速率与 CO₂ 浓度、光合光子通量密度等诸环境因子之间的关系。

表 2 CO₂ 设定浓度 C_i 与控制浓度 C₁ 及其同化速率(驱蚊香草和冬青组培苗)

Table 1 Comparison of set point C_i and control point C₁ and assimilation rate of CO₂ (plant tissue culture of holly and Mozzie Buster)

光量/μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	100							
C _i /μL·L ⁻¹	1460		1560		1770		1820	
C ₁ /μL·L ⁻¹	1460	1470	1558	1567	1771	1770	1815	1819
CO ₂ 同化速率/mg·h ⁻¹	15.00D	19.57C	23.20B	24.19B	25.42B	24.75B	32.59A	32.75A

注:不同大写字母代表在 0.01 水平差异显著,LSD=2.3062。

表 3 CO₂ 设定浓度 C_i 与控制浓度 C₁ 及其 CO₂ 同化速率(大花蕙兰组培苗)

Table 2 Comparison of set point C_i and control point C₁ and assimilation rate of CO₂ (plant tissue culture of Cymbidium hybridum)

光量/μmol·m ⁻² ·s ⁻¹	100							
C _i /μL·L ⁻¹	960		990		1150		1200	
C ₁ /μL·L ⁻¹	940	970	989	994	1147	1152	1199	1201
CO ₂ 同化速率/mg·h ⁻¹	9.32F	10.73E	11.63E	12.67D	15.20C	15.34CB	17.93A	16.27B

注:不同大写字母代表在 0.01 水平差异显著,LSD=0.9824。

由表 2 可知,随着 CO₂ 设定浓度的增加,驱蚊香草和冬青组培苗的同化速率逐渐增大,设定浓度 1820 μL/L 下得到最大 CO₂ 同化速率,且各设定浓度间差异极显著,除在低的设定浓度 1460 μL/L 下的两个控制浓度间差异极显著外,其余各设定浓度组间的两个控制浓度无显著差异。由表 3 可知,大花蕙兰组培苗在各设定浓度下的控制浓度间差异极显著,随着 CO₂ 浓度的升高,CO₂ 同化速率增大,在设定浓度 1200 μL/L,控制浓度 1199 μL/L 时得最大值,即光合速率最大,生长最旺盛。

4 结 语

采用 C8051F005 设计的嵌入式系统、高纯度(浓度为 99%)CO₂ 定压定量供给和自动箱内循环在线监测技术,研制出新型组培 CO₂ 微环境自动控制系统,成功解决了 CO₂ 气体难以自动精确施放、传感器检测精度和稳定性的问题,实现了组培微环境 CO₂ 浓度的按需设定和自动控制,既可用于研究不同组培微环境因子对组培苗同化 CO₂ 速率的影响,又能满足规模化组培育苗的生产要求。

参 考 文 献

- [1] Nguyen Q, Kozai T, Nguyen U V. Effects of sugar concentration, supporting materials and number of air exchanges of the vessel on the growth of in vitro Coffee [J]. *In vitro Cell Dev Bio Plant*, 1992, 35: 350-355.
- [2] Kitaya Y, Askami K, Kozai T. Development of photoautotrophic plant tissue culture system using CO₂ from shiitak emushroom [J]. *Acta Horticulturae*, 1995, 393: 195-202.
- [3] Fujiwara K, Kozai T, Watanabe I. Development of a photoautotrophic tissue culture system for shoot and/or plantlets at rooting and acclimatization stages [J]. *Acta Horticulturae*, 1988, 230: 153-158.
- [4] Tisserar B, Jones D, Gallera D. Construction and use of an inexpensive in vitro ultrasonic misting system [J]. *Hort Technology*, 1993, 3(1): 75-77.
- [5] 李传业, 滕光辉, 曲英华. 基于 PLC 的无糖组培微环境控制系统 [J]. *中国农业大学学报*, 2004, 9(4): 30-34.
- [6] 肖玉兰, 钱 彪, 和树庄, 等. 植物光独立微繁殖供气装置 [P]. 中国专利 00223772.5, 2003-04-05
- [7] 古在丰树. 植物组织培养的新阶段(日文) [M]. 日本东京: 农山渔村文化协会, 1998.
- [8] 丁永前, 丁为民, 崔 瑾, 等. 组培环境 CO₂ 增施监控系统的设计与试验 [J]. *农业工程学报*, 2002, 18(1): 96-98.
- [9] 徐志刚, 崔 瑾, 王立文, 等. 组培育苗气体微环境自动调控系统的研制与试验 [J]. *农业工程学报*, 2003, 19(6): 14-17.
- [10] 王双喜, 高昌珍, 李存栋, 等. 温室 CO₂ 气体浓度环境自动控制系统的研究 [J]. *农业工程学报*, 2002, 18(3): 85-86.
- [11] 赵念强, 鲍可进, 申屠浩, 等. 基于 SOC 单片机 C8051F 的码头供给监控系统 [J]. *微计算机应用*, 2005, 21(3): 70-72.
- [12] 潘琢金. C8051FXXX 高速 SOC 单片机原理与应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [13] 管成龙, 彭照伟, 耿庆波, 等. 基于 C8051F 单片机的光合测定仪 [J]. *单片机应用*, 2005, 9(2): 125-127.
- [14] 徐志刚. 组培微环境规模化育苗调控系统的研究 [D]. 南京: 南京农业大学工学院, 2002.

Development and test on new monitoring and control system of CO₂ gaseous micro-environment for plant tissue culture based on C8051F005

Liu Xiaoying, Xu Zhigang*, Jiao Xuelei, Di Xiuru

(College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Based on C8051F005, a new monitoring and controlling system of CO₂ micro-environment for plant tissue culture was developed, which can feed high concentration CO₂ by constant pressure and quantum, and can monitor CO₂ concentration of microenvironment automatically and circularly on line. The developed system resolved such problems as the discharging CO₂ exactly and automatically, the CO₂ detecting precision and stability decreased by high relative humidity in vitro. In the system, the CO₂ concentration in micro-environment can be set up according to demands and be controlled automatically and accurately, and also the decrement of CO₂ concentration and the time length of this course can be recorded. The system can be applied to the research of assimilation rate of CO₂ in different environmental factors, and the large-scale production of plantlets in vitro. By the experiment on *Cymbidium hybridum*, holly and *Mozzie Buster*, the feasibility and reliability of the system have been tested. Results show that this system can meet the control requirement of gaseous environment for large-scale production of plant tissue culture, and can meet the research requirement of building model of micro-environment of tissue culture.

Key words: plant tissue culture; CO₂ gaseous micro-environment; C8051F; auto-control system