

基于叶绿素荧光参数的LED动态补光方法的研究

李征明, 李钦夫, 纪建伟

(沈阳农业大学 信息与电气工程学院, 沈阳 110866)

摘要:通过分析现有的自动调光方式,研究一种新的补光方法—双线间接调光法,并以完成此方法为基础设计了动态补光系统。该系统分上下两个控制系统:下级以单片机为核心,PWM为控制方法,通过传感器测量光照强度直接调节LED输出光强;上级以上位机为控制核心,通过MINI-PAM测量植物的叶绿素荧光参数来调节下级单片机中的光照阈值,从而间接控制LED输出光强。应用该系统对番茄苗期的生长状态进行测试和对照实验取得了良好的效果。

关键词: MINIPAM 叶绿素荧光参数; 动态补光; LED; 双线间接调光法

中图分类号: S123

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2015)03-0030-04

0 引言

光照条件在各个生长期都是影响作物的生长的主要因素,当光照不能达到作物生长的最佳的光照要求时,就需要对作物的各个生长期进行补光。国际上补光源通常选择红色和蓝色LED光源,可以做到高效节能,有些地区甚至完全用人工光源代替自然光源培养作物。在自动补光系统中,通常以外界光照强度为标准进行补光,该方法设计简单、参数调整方便,但不能从作物的内在因素分析其生长状态。本文以叶绿素荧光参数为补光参数调整基础,能够反映出作物的光合作用效率,可以从作物生长的角度来调整光照条件。为此,设计了一种双线间接调光法,并在此基础上提出了一种新的自动控制动态补光系统。

1 叶绿素荧光参数与补光方法分析

光合作用的本质是一个植物转化太阳能为淀粉和多糖等其他形式的能量并储存的反应。光合作用主要由两阶段组成,分别是光反应和碳反应。其中,光反应由光照引起,并把光能转化成电能,叶绿素荧光现象发生在光反应阶段。叶绿素在光反应中的作用是用来捕捉光子能量并最终把光能转化成化学能、热能和荧光。自1931年由Kautsky和Hirsch发现的叶

绿素荧光现象以来,人们就发现叶绿素荧光的产量与光合作用有很强的负相关性;正因这种负相关性,所以叶绿素荧光又被称为活体作光合作用的研究探针,是用来研究光合作用现象的最佳选择。叶绿素荧光参数多种多样,能够反应的植物的生长信息也是多种多样的,在诸多叶绿素荧光参数当中比较直接地反应植物的光合作用能力的是 ΦPSII 。

研究表明,植物对光能的吸收峰集中在波长为400~500nm(主要是蓝光)和600~700nm(主要是红光)这两个波段。虽然现在很多还是采用全波段对植物进行补光,但是红蓝光组合补光更高效,在国外应用也比全波段补光更广泛。所以,本设计依然采用了红蓝光组合的方法来对植物进行补光。

在检测环境因子方面,传感器至关重要。普通的光照传感器虽然可以对红蓝光组合进行检测,但是无法区分红光和蓝光在补光中单独能起到的作用。本设计采用单色光照传感器分别独立测量光照环境中的红光和蓝光强度。该传感器实际上就是正常的光照传感器加载滤光镜片,而滤光镜片可通过光的波长范围,就是该光照传感器可测量的光照范围。

2 补光决策与算法

本设计采用双线间接调光法,是由于该方法分两级调节光照强度,可使能够反应植物光合作用能力的 ΦPSII 和能够反应光照条件的光照传感器反馈结果同时参与最终的调光决策。其原理如图1所示。

首先,该系统会设定一个单色光光照强度的大小作为阈值,这个值是一个略低于饱和光照强度的经验值。以单片机为核心的PWM会把LED灯光照强度

收稿日期: 2014-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(60974113);辽宁省自然科学基金项目(201102191);辽宁省教育厅科研项目(L2011112)

作者简介: 李征明(1977-),男,河北玉田人,讲师,硕士,(E-mail)bw-clzm@163.com。

通讯作者: 纪建伟(1963-),男,辽宁锦州人,教授,博士生导师,(E-mail)jianweiji7879@hotmail.com。

逐渐地调节到设定的阈值附近,这是下级直接调节; MINI-PAM 系统会检测植物叶片的叶绿素荧光参数,并把该值返回到上位机储存分析。当作物的荧光参数偏离上位机内记录的正常光照下的参数值时,上位机会发出指令通过 RS232 串行口通信连接单片机。单片机接收到调节指令后重新调节内置阈值,进一步会调节 LED 的光照强度,最终使得光照回归到植物所需的正常水平,这是上级间接调节。这种调节方法弥补了传统两大类调光方法的缺点,同时兼顾了植物的光照条件和生长状况之间的相互影响,做到了动态调节。

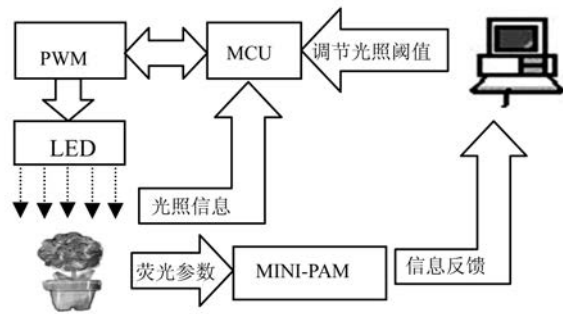


图1 系统工作流程图

Fig. 1 Flow-chart of working system

3 动态补光系统的设计

根据以上方法设计了一套完整的调光系统。该系统的下级调节系统是以单片机为核心的 PWM 调光系统,上级以计算机和 MINIPAM 为核心,通过测量计算调节下级调光系统内的阈值。

3.1 PWM 下级调光系统

本系统使用的单片机是 PIC16F1503 其管脚连接方式,如图 2 所示。其编程代码略。

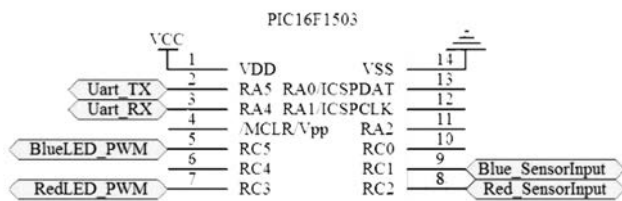


图2 PIC16F1503 管脚及连接情况

Fig. 2 Connction and pin of PIC16F1503

设计中把 PWM 的频率设置为 30kHz,每个脉冲占空比分为 100 级,这种频率下噪音非常小。每隔 10ms 检测一次光照传感器电压,并与设定值做比较。如果光照传感器电压小于设定值,则增加 PWM 占空比 1%;相反,如果光照传感器大于等于设定值,那么减少 PWM 占空比 1%。其流程如图 3 所示。

单色光照传感器选择用 HA2003 光照传感器外加单色滤光镜片。HA2003 量程为 200 ~ 200 000Lux,光

谱范围 400 ~ 700nm (可见光),误差 $\pm 7\%$,工作电压 12 ~ 24V,输出信号 0 ~ 2V。蓝色滤光镜片透光光谱范围为 400 ~ 540nm,红色滤光镜片透光光谱范围为 590 ~ 720nm,滤光镜片可以吸收可透光以外所有的光波。这样,即使在红蓝光混合区或者自然光中,仍然可以测得红光和蓝光单色光的光照强度。互相独立的响应系统避免了红光和蓝光比例的硬性设置,更方便于单独讨论红光或者蓝光单独对植物的作用。

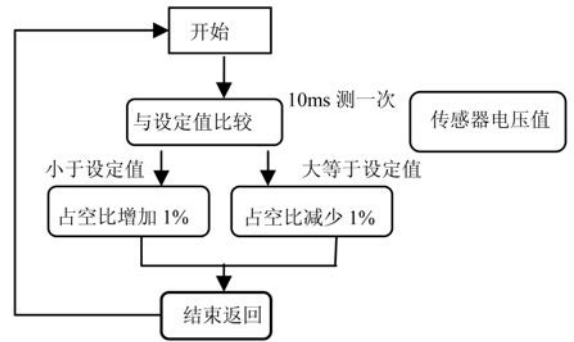


图3 PWM 流程图

Fig. 3 Flow-chart of PWM

本设计采用的 LED 是飞利浦公司的 Luxeon Rebel 型红光和蓝光超高亮度 LED,该 LED 灯的半值角度为 625°,方向性较强。红光 LED 发光波长为 650nm,波长宽度为 40nm,最小光通量为 40lm,工作电流为 350mA。蓝光 LED 发光波长为 460nm,波长宽度为 50nm,最小光通量为 30lm,工作电流为 350mA。

由于本试验中有多个 LED 串联,电压约达到 110V,电流达到 350mA,且实际上所有的 LED 灯都是闪烁的,频率较快,因而控制开关使用可控硅 BT169B。该型号的控制触发电流是 0.05mA,电流为 0.8A,电压为 100 ~ 240V,工作温度 125℃,完全符合使用需求。开关控制电路如图 4 所示。

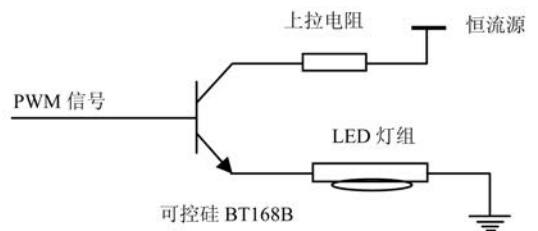


图4 可控硅开关控制电路

Fig. 4 Circuit diagram of switch

在此需要说明的是,PWM 调节方式的下限是占空比为零,这个时候的脉冲没有高电位信号,由于可控硅开关关闭,LED 是不发光的。PWM 调节的上限是占空比为 100%,这时脉冲一直输出高电位信号,LED 持续照明,是光照强度的最高值。经测得在某晴天下午 2 时(在沈阳地区光照强度最强),在自然光条件下,其

红光光照强度略微高于 4 000Lux, 蓝光光照强度大约为 2 500Lux。但是在上午 10 时, 光饱和的情况出现时, 红光光照强度仅为 1 600Lux 左右, 蓝光光照强度为 700Lux 左右, 即植物需求的光照强度远远低于自然光提供的最大光照强度。综上考虑, 在实验中的使用 LED 阵列满占空比时, 红光光照强度为 4 000Lux, 蓝光光照强度 1 500Lux, 既节约能源, 又能够满足植物生长需求。

3.2 MINI-PAM 控制模块

MINI-PAM 荧光是用来测试植物叶绿素荧光参数的仪器, 该仪器是可编程的, 可实时与上位机进行协同工作。MINI-PAM 内置上位机数据通信控制指令, 外置有 RS232 串行通信接口。MINI-PAM 中在软件编写中用到的常用代码如表 1 所示。

表 1 MINI-PAM 常用指令代码

Table 1 Commonly used instructions code of MINI-PAM

指令格式	功能	详细说明
$six \leftarrow$	饱和脉冲光强度设定	测量光系统 II 在暗适应后的最大产量值所需的光强
$m1 \leftarrow / m0 \leftarrow$	检测光打开 / 关闭	$m1$ 表示打开检测光; $m0$ 表示关闭检测光
$swx \leftarrow$	设置饱和脉冲光持续时间	设定合适的持续时间, 避免光强影响番茄正常生长
$s \leftarrow$	打开饱和脉冲光	打开一个设定饱和脉冲, 对番茄进行短时间照射
$y \leftarrow$	测量 $\Phi PS II$ 值	在饱和脉冲光照射之后, 用过该指令读取所测 $\Phi PS II$ 值

3.3 上级上位机调节系统

上位机的主要任务是对叶绿素荧光信息进行采集、比较及调节单片机内光照强度的设定值。考虑到植物的对环境的适应以及反映时间, 本设计设定采集 1 次叶绿素荧光参数中的 $\Phi PS II$ 值; 当 $\Phi PS II$ 低于理想光合作用速率时, 则会调高光照强度标准值; 相反当 $\Phi PS II$ 高于理想光合作用速率时, 则会调低光照强度标准值, 并重置单片机内的光照强度标准值。单片机会根据光照强度标准值的变化来自动调节光照, 最终实现动态调光的过程。其程序流程图, 如图 5 所示。

需要说明的是, 理想光合作用速率低于光饱和时的光合作用速率, 理想光合作用速率所需要的光照也低于饱和光照。如果初始的设定值合理, 可以避免发

生由于光照过饱和而导致的光合作用速率下降, 从而调高光照强度标准的情况发生; 而且光照条件由于 PWM 光照系统的硬件设定的原因, 最强光照也要远远小于强光胁迫发生而抑制光合作用速率时的光照。所以, 该系统在任何条件下, 对作物都是安全的, 不会发生过饱和光照而抑制光合作用的情况。

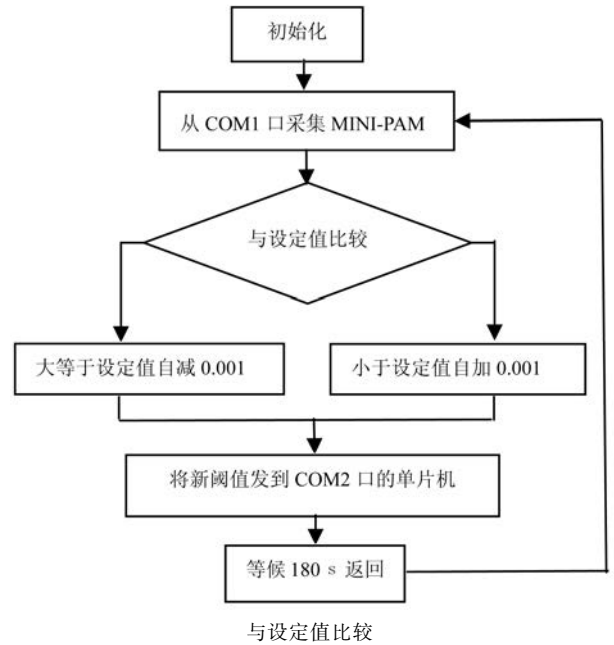


图 5 上位机程序流程图

Fig. 5 System operation interface

4 实验与结果分析

系统建成后, 于 2013 年初开始了实际生产环境验证实验。实验地点在沈阳农业大学日光温室第 29 号, 番茄样本为辽园多丽。该批次样本在为 2012 年底播种于穴盘中, 温室环境适宜番茄植株的生长, 在 2013 年 1 月底至 2 月初, 番茄长至四叶一心进行实验。从样本中选取两株生长状况较好长势基本一致的番茄幼苗, 一株在动态补光系统下测量实验, 另一株在温室内正常生长环境下进行实验, 作参照对比。

图 6 为经 VB 编程的上位机操作界面, 其红光和蓝光阈值测试时间间隔以及荧光参数标准值是可以设定的, 而荧光参数显示区则显示测得的植物 $\Phi PS II$ 。这里面红光和蓝光是相互独立的系统, 分别设置自己光照阈值, 可以随时修改。

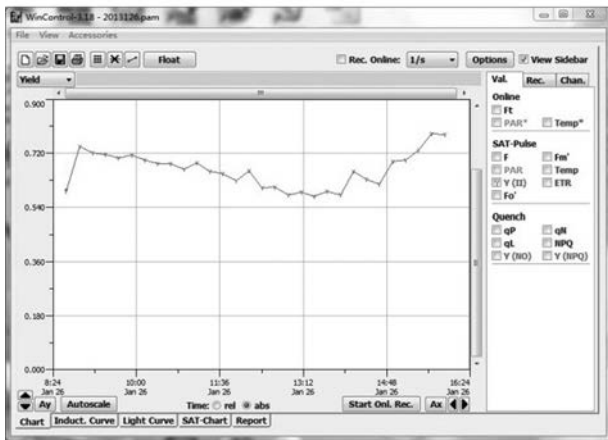
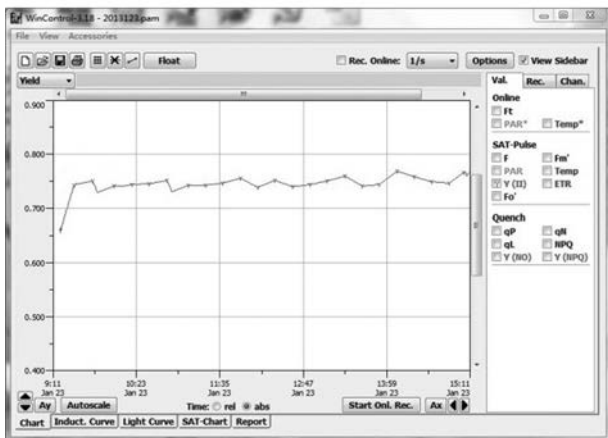
图 7、图 8 分别是两株植物在温室内和补光系统内的 $\Phi PS II$ 测量结果。由图中可以看出, 白天光照条件的巨大差异对番茄的光合作用影响非常大。随着光照的加强, 光合作用比较稳定, 从 10 时开始番茄的光合作用逐渐的降低, 在 12 时至下午 1 时半这段时间光照达到一天中最强的时间内, 番茄的光合作用能力

一直徘徊在最低点;从2时开始随着光照的减弱,光合作用能力开始逐渐的恢复,3时左右由于室外温度过低则大棚关闭,可见实际上非常有效的光合作用每天只有3~4h。在补光系统中的番茄,虽然可能受到多种光照的影响,但是最终决定补光程度的是植物本身的光合作用情况,所以 Φ PSII 可以长时间维持在一个较高的水平。



图6 系统操作界面

Fig. 6 System operation interface

图7 实验室内番茄 Φ PSII 日变化趋势图Fig. 7 Diurnal variation of tomato Φ PSII in greenhouse图8 自动补光系统的番茄 Φ PSII 值曲线Fig. 8 Φ PSII value curve of tomato under the system of supplementary lighting

实验证明,该补光方式可行。在其他环境因子适宜的情况下,可以把光照调节到番茄需要的范围内,并有效提高其光合作用能力,最终能够提高作物的干物质积累。

5 结论

在分析植物光合作用机理的基础上,提出以光合作用情况和光照强度相结合共同决策调光,将之命名为双线间接调光法。基于该方法以 PIC16F1503 单片机为核心处理模块开发了 LED 调光系统,通过 MINI-PAM 和上位机对植物光合作用情况分析,并且可以自主调节光照阈值。同时,红光蓝光各自独立成系统,摆脱了红蓝光比例设置的束缚,可以在阈值设置窗口任意地设置其光照比例。实验证明,该方法可以有效提高作物的光合作用,增加作物干物质累积,最终提高作物的产量。

参考文献:

- [1] 纪建伟,谢飞,Jeremy Harbinson. LED 激发光源叶绿素荧光参数在线监控系统[J]. 农业工程学报,2009,25(4): 145-149.
- [2] 纪建伟,徐明虎,李征明,等. 基于 LED 激发光源的叶绿素荧光强度检测与分析[J]. 农机化研究,2011,33(9): 176-180.
- [3] 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):154-156.
- [4] Govert Trouwborst, Joke Oosterkamp, Sander W. Hogewoning, Jeremy Harbinson and Wim van Ieperen. The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy [J]. Physiologia Plantarum, 2010,138:289-300.
- [5] Giedre SAMUOLIENE, Ausra BRAZAITYTE, Akvile UR-BONAVIVIUTE, et al. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries [J]. Zemdirbyste-Agriculture, 2010,7(2):99-104.
- [6] 李鹏民,高辉远,Reito J. Strasser,等. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[C]//山东农业大学,泰安;植物生理与分子生物学学报,2005,31(6): 559-566.
- [7] 周德涛,范广涵,许毅钦,等. 用于植物照明的 LED 阵列设计[J]. 光学仪器,2011,33(5):78-79.
- [8] 霍彦明,吴淑梅. 基于照明的 LED 阵列研究与仿真(英文版) [J]. 发光学报,2009(4):291-301.
- [9] 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.

(下转第45页)

论的正确性,对农业机械经济管理实践具有直接的指导意义。

参考文献:

- [1] 王福林,董国荣. 农业机械折旧中的双倍余额递减法若干问题探讨[J]. 农业机械学报,1997,28(3):71-75.
- [2] 吴锋,叶锋. 工程经济学[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [3] 张新植,乔金友,刘宏新,等. 农业机械管理[M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2008.
- [4] 韩正晟. 农业机械动态折旧的研究[J]. 农业机械学报,

- 1996,27(3):98-103.
- [5] 王福林. 农业机械折旧中的双倍余额递减法改进研究[J]. 农业机械学报,2003,34(4):66-70.
- [6] 陈亚,张卫丽,杨芳. 折旧后期双倍余额递减法转为直线法的条件[J]. 财会月刊,2008(21):55-56.
- [7] 徐宁. 拖拉机报废使用年限[EB/OL]. [2010-04-10]. <http://www.ykny.gov.cn/html/njgl/gljdVIEW/337260.html>.
- [8] 约翰迪尔 7830 拖拉机[EB/OL]. [2013-12-29]. <http://www.nongjitong.com/product/4154.html>.

Research on Problems and Improvement of Double Declining Balance Method on Agricultural Machinery Depreciation

Wang Yijiao, Qiao Jinyou, Wang Fulin, Chen Haitao

(Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Double declining balance method is often used on agricultural machinery as an accelerated depreciation model. Two problems of double declining balance methods were discussed and improved in this paper. The calculating method of turning point of the dynamic double declining balance model was improved, which avoids the phenomenon of depreciation inversion. The dynamic improved double declining balance model was put forward, which considering time value of fund, and it was more accord with the economic criterion. At last, changing tendencies of depreciation of different models were analyzed comparatively combined with the John Deere 7830 tractor, which proved the improved method is more correct and scientific.

Key words: agricultural machinery; depreciation; double declining balance method; dynamic model

(上接第33页)

Abstract ID:1003-188X(2015)03-0030-EA

Research on LED Dynamic Supplemental Light Based on Chlorophyll Fluorescence Parameters


Li Zhengming, Li Qinfu, Ji Jianwei

(College of Information and Electrical Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: With the analysis of present automatic control supplementary lighting, an original supplementary lighting method was invented, two-level indirect light-adjusting method. And the automatic control system of supplementary lighting was designed basis on the method. The system include upper control system and nether control system; the core of nether control system was MCU, which controlled PWM system to directly adjust the illumination of LED though light tested by the sensor. The upper computer adjusted the light threshold value in the MCU depend upon the chlorophyll fluorescence parameter tested by the MINI-PAM, and finally adjusted the illumination of LED indirectly. The test and compared experiments were finished after the system was accomplished, and the result was perfect.

Key words: MINIPAM; chlorophyll fluorescence parameter; dynamic light-supplementing; LED; two-level indirect light-adjusting method

基于叶绿素荧光参数的 LED 动态补光方法的研究

作者: [李征明](#), [李钦夫](#), [纪建伟](#), [Li Zhengming](#), [Li Qinfu](#), [Ji Jianwei](#)
作者单位: [沈阳农业大学 信息与电气工程学院, 沈阳, 110866](#)
刊名: [农机化研究](#) 
英文刊名: [Journal of Agricultural Mechanization Research](#)
年, 卷(期): 2015(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_njhyj201503007.aspx