

牛萍娟,李艳艳,田会娟,等. 基于 LabVIEW 的智能 LED 植物补光照明系统设计[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):394-398.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.115

基于 LabVIEW 的智能 LED 植物补光照明系统设计

牛萍娟^{1,2}, 李艳艳^{1,2}, 田会娟^{1,2}, 苏政晓², 柳建新², 张浩伟²

(1. 天津工业大学电气工程与自动化学院, 天津 300387; 2. 大功率半导体照明应用系统教育部工程研究中心, 天津 300387)

摘要: 基于植物对光和温湿度的需求, 系统利用 RRGB 芯片配光设计开发了 LED 光源模块, 若干个光源模块组成 LED 阵列平面光源模组, 基于 LabVIEW 的上位机与控制器相结合的系统实现对温室或园艺植物的智能补光照明。控制器实时检测红绿蓝三色波段的光量子通量密度(PFD)和温湿度值, 并将检测信息显示在上位机界面, 通过控制器对脉宽调制(PWM)信号进行动态调节, 以保持照射到植物的红、绿、蓝 PFD 值随环境光照改变而保持恒定不变, 实现照明系统结合环境光照的智能补光。同时, 系统也实现了对温湿度阈值范围的智能调节。该智能补光照明系统根据不同植物或同一植物不同生长阶段对 PFD、光质比例补光需求的不同, 通过上位机设置红、绿、蓝三色波段光不同的 PFD 值和温湿度范围, 下位机按照设置完成环境调控, 既满足了植物对补光环境的要求, 又大大节省了能源。

关键词: LED 植物补光照明; LabVIEW; 脉宽调制; 光量子通量密度; 光质比例

中图分类号: TM923; S24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0394-04

在雾霾天气日益严重的环境下, 冬春季节太阳光无法满足温室及园艺植物生长, 人工补光对于温室植物生长尤为重要。光强和光质对植物的光合作用、物质代谢和形态建成等具有重要作用^[1]。380~760 nm 可见光光谱波段是植物光合作用主要吸收的光波段, 其中, 吸收峰值在红蓝光波段^[2], 加入一定比例的绿光可促进植物生长^[3]。LED 作为新型光源应用于植物照明, 较传统光源不仅具有可靠性强、寿命长、体积小、发热少、能耗低等优点, 而且由于可发出单波长光, 还能根据植物的需要进行光谱的精确配置^[4]。

单颗超高亮 LED 还未能提供足够的光量供温室植物正常生长, 但多颗 LED 通过组装设计能满足植物补光需要^[5-8]。传统的补光照明一般采用定光照、定光质的补光方式^[9-11], 照射到植物的光会随外界环境光照的改变而变化, 不仅无法满足不同植物或同一植物在不同生长阶段对光量子通量密度(PFD)和光质比的差异性需求^[1,12], 也浪费了能源, 提高了成本。本研究的智能补光照明系统设计了 PFD 均匀分布的红绿蓝 LED 光源模块, 利用上位机实时监控或设置环境的光强和温湿度, 控制器根据光强变化动态调节 PWM 信号, 从而控制 LED 红绿蓝光源模组的输出, 精确保持设定的 PFD 和光质比例, 满足植物需求的同时降低成本。

1 LED 光源模块

小功率芯片组合设计与大功率芯片组合设计相比, 不同光谱光量子通量密度混合更均匀, 散热更少, 功耗更低, 用于

近距离照射植物。本试验选用 0.2 W 贴片型 RRGB 灯珠用于研究, 由杭州远方光电生产的 HAAS-2000 高精度快速光谱辐射计和 0.5 m 小积分球测得单颗 RRGB 灯珠中 R、G、B 光量子流和电流的关系见图 1。

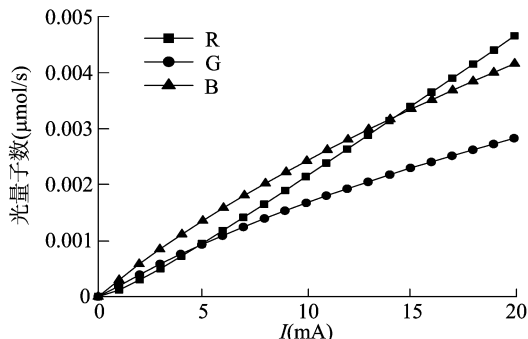


图1 电流与光量子数的关系

对数据进行线性拟合得到电流与光量子数的关系式:

$$\begin{cases} y_R = 0.0002x_R, r^2 = 0.9925 \\ y_B = 0.0002x_B, r^2 = 0.9754 \\ y_G = 0.0002x_G, r^2 = 0.9714 \end{cases} \quad (1)$$

式中: y_R 、 y_B 、 y_G 为红、蓝、绿光量子数, x_R 、 x_B 、 x_G 为通过红、蓝、绿芯片电流。拟合优度 r^2 接近于 1, 所以, 红绿蓝 LED 光源的电流与光量子数基本成正比例关系。

参考文献[4]中, 生菜和茼蒿植物被种植在 70% 红光, 20% 绿光和 10% 蓝光光照条件下时, 光量子通量密度为 $220 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 比 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下光系统 II (PS II) 功能更有效。

因此, 若确定光质比例为 R : B : G = 7 : 1 : 2, 由光质比例及光源的额定电流确定仿真时单颗灯珠 R、G、B 的电流大小, 分别为 20、20、16、6 mA。LED 光源单元模块在照明参考平面内的照明面积计算公式^[7-8]如下:

$$S = [7L + 2h \tan(\frac{13.2\pi}{180})]^2 \quad (2)$$

收稿日期: 2015-08-15

基金项目: 国家火炬计划(编号: 2013GH580096)。

作者简介: 牛萍娟(1973—), 女, 博士, 教授, 主要从事新型半导体发光器件、LED 驱动电路和半导体照明应用系统等研究。E-mail: nping_tjpu@163.com。

通信作者: 李艳艳, 硕士研究生, 主要从事半导体照明智能控制研究。

E-mail: li_yanyan@126.com。

式中: L 为光源间距; h 为灯板离照射面的距离。植物照明较普通照明有所区别,目前,评价植物光照效果的基本测量方法常用的有光合有效辐射能量(PAR)法和光合光子流量法2种。PAR法即用辐照度表示 1 m^2 上促进光合作用的辐射功率,进而表示植物被照射的程度。光合光子流量法,即 1 s 照射到单位区域面积上的光子数^[6,13]。在光学软件TracePro仿真里用辐照度表示光照大小,实际温室环境下用光量子通量密度值来表示植物光照,但二者之间可以实现转化。定义LED的辐照度均匀度为照明面上各点辐照度的平均值 E_{ave} 与最大辐照度 E_{max} 的比值,以此来计算各模块在TracePro仿真环境下的总辐射照度均匀度。

$$U_e = \frac{E_{\text{ave}}}{E_{\text{max}}} \times 100\%。$$

(3)

TracePro 分别仿真灯珠间隔 L 为 0.5、1、1.5 cm 时,距离照射面高度 15 cm,辐照面积 S 分别为 10.52、142、17.52 cm^2 ,81 颗灯珠排布为 9 行×9 列的方形光源模块的辐照度。不同间距的仿真结果见表 1。

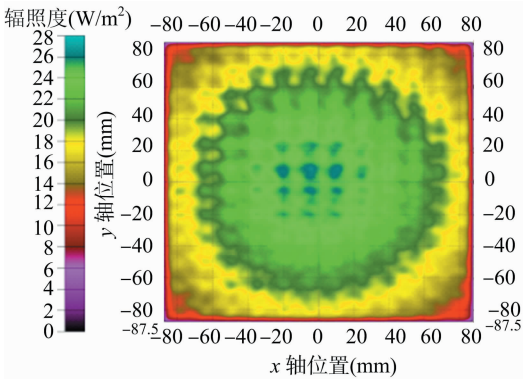


图2 TracePro 仿真的辐照度分布

表 1 不同间隔的仿真结果比较			
间距 L (cm)	辐照度平均值 (W/m^2)	均匀度 (%)	辐照面积 S (cm^2)
0.5	26.34	71.0	110.25
1.0	22.42	72.5	196.00
1.5	19.22	73.0	306.25

由表 1 看出,随光源间距 L 的增加,辐照度平均值减小,均匀度增加,辐照面积也增加。在满足辐照度大小的基础上,选择光源间距为 1.5 cm,因为其不仅均匀度高,而且辐照面积广。光源间隔为 1.5 cm 时,TracePro 仿真的辐照度分布如图 2 所示。按照仿真设计出的光源排布开发 LED 光源模块,若干光源模块组成用于植物照明的 LED 光源模组。

2 系统硬件设计

系统采用模块化设计,包括检测模块、控制模块、驱动电源模块、LED 光源模块、上位机控制模块,系统原理见图 3。

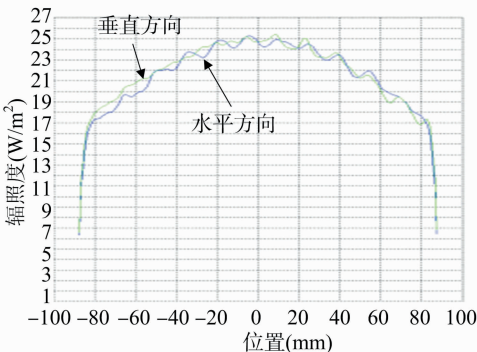


图3 系统原理

2.1 检测模块

检测模块实时检测环境中的红、绿、蓝光照度和温湿度,将检测信号传入单片机,完成数据采集。具体方案:由于LED光源全部点亮时,环境中同时存在红绿蓝三波段光谱,为了分别检测红绿蓝光强,光照先经过透光率为 90%,波长波段范围分别为 420~480、500~580、625~700 nm 的蓝光、绿光、红光带通滤光片预处理^[14-15],处理后的红绿蓝光透过光照度传感器 BH1750FVI 的光敏二极管检测,并将光信号转换为数字信号传入单片机 P2 口,光照度检测信号以 IIC 总线方式接

入。同理,温湿度传感器 DHT11 将温湿度的模拟信号转换为数字信号,从而实现温湿度的检测。

2.2 控制模块

系统采用单片机 STC89C52RC 作为控制器,外部晶振 11.059 2 M,输出波形频率为 1 000 Hz。与检测部分的连接采用定时器 0 计数,P1 口接入检测传感器,P1.0 口连接温湿度传感器 DHT11,P1.1~P1.6 口连接 3 个光照度传感器,分别检测红、绿、蓝三色的光照度,P1.1、P1.3、P1.5 连接光照度传感器的 IIC 时钟引脚 SCL,P1.2、P1.4、P1.6 连接 IIC 数据

引脚 SDA。单片机通过软件编程方式实现 PWM 信号输出,使用定时器 1,工作方式 0,通过 P0.0、P0.1、P0.2 口输出三路 PWM 信号到电源驱动模块,分别调节红、绿、蓝 LED 光源的

光量子通量密度。控制器电路图如图 4 所示,单片机 STC89C52RC 通过 RS-232 接口与上位机连接,用电压为 5 V、电流为 1 A 的电源为其供电。

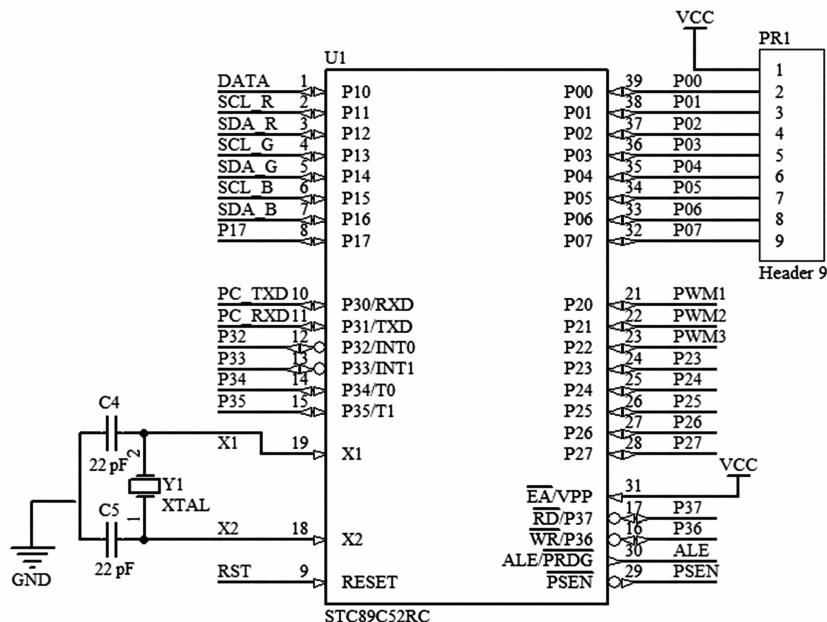


图4 控制模块电路原理

2.3 电源驱动模块

本系统选用基于 XL6009 升压型直流电源变换器芯片设计的 DC-DC 升压 LED 调光模块。在 XL6009 芯片的 PWM 调光输入引脚上加载脉宽可变的 PWM 信号,通过调节 LED 的驱动电流继而调节 LED 灯的亮度。R、G、B 等 3 路 LED 驱动电源在 PWM 调光信号调节下输出电流的变化曲线,如图 5 所示。占空比为 100% 时,驱动输出电流为 LED 光源模块的额定电流,R、G、B 额定电流分别为 360、180、180 mA,绿光光源的变化曲线与蓝光基本重合。由图 5 可看出,占空比与输出电流不成正比例关系,因此,本系统提出了不断反馈与调整 PWM 占空比,从而改变驱动电流调节光照度的补光方法。

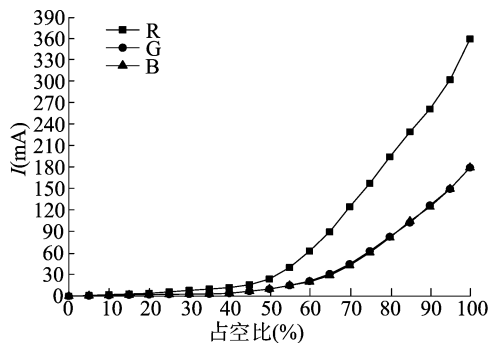


图5 LED驱动输出电流随PWM占空比变化曲线

2.4 上位机模块

系统采用虚拟仪器(VI)领域中最具有代表性的图形化编程开发平台 LabVIEW 作为上位机开发软件。单片机控制器与 LabVIEW 通过 VISA 函数实现串口通信,上位机向下位机发送设定参数数据,下位机将采集的光照和温湿度数据传送给上位机。

LabVIEW 程序分为前面板和程序框图 2 个部分,如图 6 所示。其中,前面板是 VI 的代码接口,是用户交互界面,能实时直观地观察到 R、G、B 的光量子通量密度和温湿度的变化曲线,通过点击相应按键或直接输入,设定相应的光量子通量密度值和温湿度的上下限阈值,超出阈值范围则警报提醒。由于光照传感器检测的光信号以光照度表示,所以需要通过换算关系式(4)实现光照度与光量子通量密度之间的转换。

光量子通量密度与光照度的关系^[7]:

$$U = \beta E;$$

$$\beta = \frac{\sum_{400}^{700} \lambda \varphi_e(\lambda) \Delta \lambda}{81755.1 \sum_{380}^{780} \varphi_e(\lambda) V(\lambda) \Delta \lambda} \quad (4)$$

式中: U 表示光合有效量子通量密度, E 为光照度, β 为光谱相对功率密度, $V(\lambda)$ 为人眼视觉函数。

3 系统软件设计

系统软件设计主要包括上位机界面的软件设计和下位机控制部分的软件设计。LabVIEW 采用图形化语言(G 语言)编程实现上位机界面的软件设计,程序图见图 6,上位机界面设定了植物需要的光量子通量密度值和温湿度的上下限值,其中光量子通量密度与光照度经关系式(4)实现参数的转换。对红、绿、蓝 3 种光质的光的恒光模式调节是补光系统的主要部分。系统恒光模式调节的软件流程图如图 7 所示。控制器启动后,先进行系统初始化,然后实时采集环境光照度值,并判断与设定值的关系。若光照度不等于设定值,由于 LED 驱动电流与占空比不成正比例关系,所以,需要通过不断反馈与调整 PWM 占空比改变驱动电流,从而实现光照度调节。若光照度小于设定值, PWM 占空比增加,光照度大于

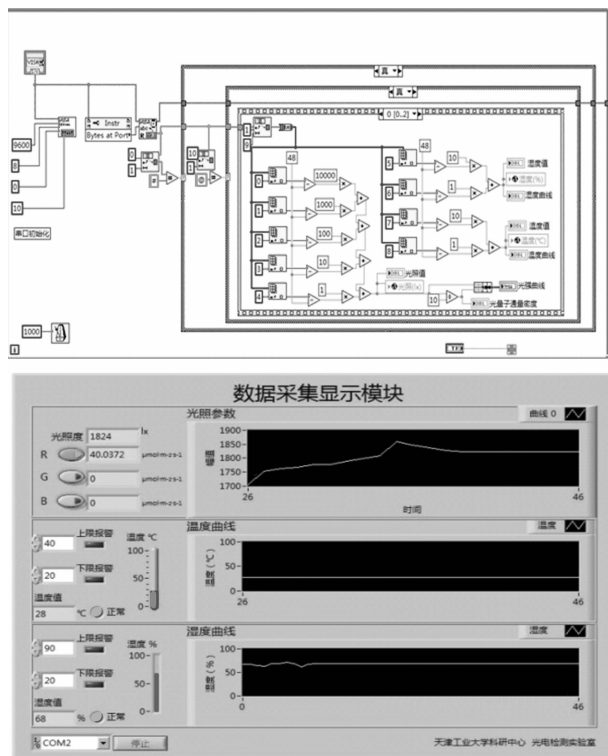


图6 LabVIEW 上位机的程序图和前面板

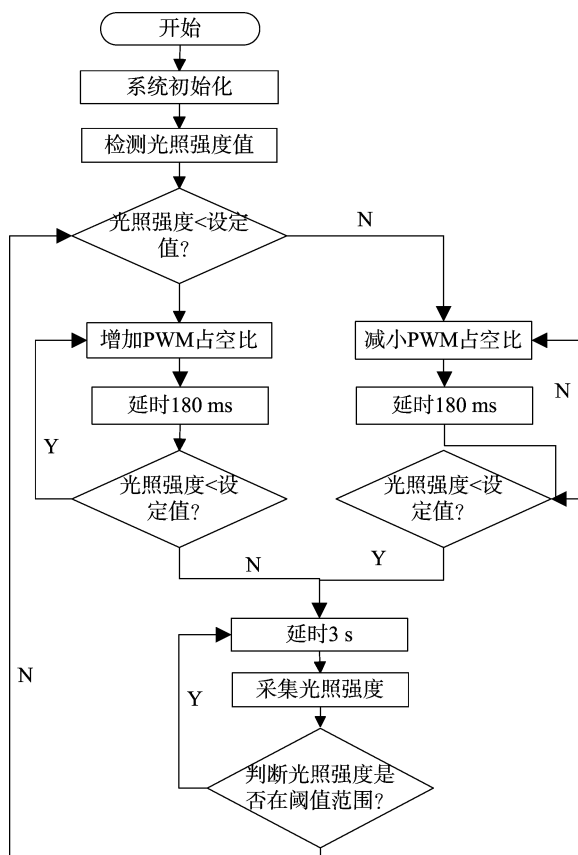


图7 系统恒光模式调节的软件流程

设定值, PWM 占空比减小。延时一段时间再次比较, 如果增加 PWM 占空比没有超出设定值, 则继续增加 PWM 占空比, 反之则延时一段时间后再次采集光照度, 判断环境光照强度值是

否在阈值范围。若在则执行底部循环; 若不在阈值范围或外界环境光照度发生变化超出阈值范围, 则返回调节 PWM 占空比, 使光照度值恒定在阈值范围内。减小 PWM 占空比同理。

4 系统测试分析

这里主要测试分析了系统 LED 补光单元模块的稳定性。根据温室的实际面积确定 LED 灯组数, 上位机设定红、蓝、绿量子通量密度值分别为 $200, 30, 56 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 即光质比例为 $R : B : G = 7 : 1 : 2^{[4]}$ 。对 LED 光源单元模块正下方 15 cm , 辐照面积为 17.52 cm^2 的照明区域进行网格划分, 划分得出 25 个间隔相同的网格点, 利用 LI-250A 光照计测试系统在不同光照环境下 25 个网格点处的 PFD 值。结果表明, 太阳光较强时, 由于红、蓝、绿 PFD 值远远超出设定阈值, PWM 减为 0, 此时, 太阳光作为温室光源。阳光微弱或没有阳光照射时, 恒光模式启动, 补光系统的 PWM 占空比增加使红、蓝、绿光达到设定阈值范围, 并稳定保持在阈值范围。总的 PFD 值在辐照平面的分布图如图 8 所示。计算得到 PFD 分布的均匀度为 72.7% , 与仿真结果基本一致。

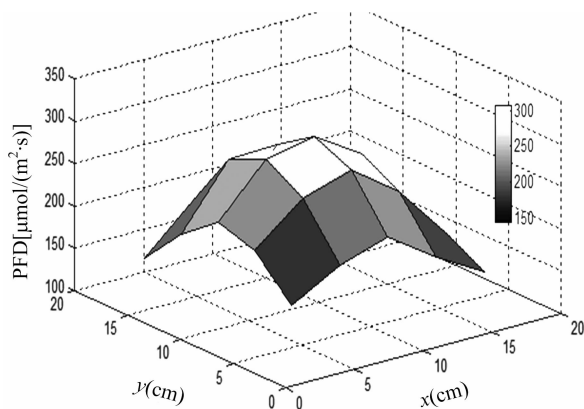


图8 PFD 在辐照平面的分布

5 结论

本研究设计了一个智能补光照明系统, 基于 LabVIEW 上位机界面实时监测并可设置温室环境参数, 通过串口模块连接下位机控制器, 下位机采集反馈环境中温湿度和光照度数据, 并通过 PWM 占空比的动态调节, 保持照射到植物的红绿蓝光波段的光照度以及光质比例恒定不变, 同时也实现温湿度在设定范围内的智能调节。光源模块由光学软件 TracePro 仿真设计, 且系统经测试分析表明 PFD 在辐照平面分布均匀且与仿真一致, 温湿度在设定范围内调节稳定, 系统误差小, 适用于温室补光照明。

参考文献:

- [1] 张 欢. 光环境调控对植物生长发育的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2010: 7.
- [2] 杨其长, 徐志刚, 陈宏达, 等. LED 光源在现代农业的应用原理与技术进展[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 37-43.
- [3] Kim H H, Goins G D, Wheeler R M, et al. Green - light supplementation for enhanced lettuce growth under red - and blue - light - emitting diodes[J]. Hort Science, 2004, 39(7): 1617-1622.

朱创录, 阴国富. 智慧温室中滴灌控制的研究与设计[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 398–401.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.116

智慧温室中滴灌控制的研究与设计

朱创录^{1,3}, 阴国富^{2,3}

(1. 渭南师范学院网络安全与信息化学院, 陕西渭南 714000; 2. 渭南师范学院大学科技园, 陕西渭南 714000

3. 渭南市智慧城市工程技术研究中心, 陕西渭南 714000)

摘要:为满足智慧温室灌溉需求,以黑盒子理论设计 1 种温室适合盆栽植物的,且在生长环境(日照、温度、相对湿度)交互作用下能满足其水分需求的滴灌控制管理系统。将温室盆栽植物在周围环境交互作用下所产生的动态蒸发散量变化看作 1 种水分需求的黑盒子,利用蒸发散量所表现的质量变化进行监测,实现植物生长过程中蒸散作用下水分需求与周围气候环境交互作用机制下所需多重传感器的控制。采用工业上普遍使用的可编程控制器研究设计能适用于西北地区半开放温室盆栽作物环境信息与滴灌管理的组合控制系统,根据不同作物能够进行灵活的参数设置,并且维修方便。通过功能测试发现,灌溉水量控制目标与参照目标的抽样均方根误差在可控范围。通过对参数的适当调整,该设计可普遍应用于智慧农业的滴灌控制。

关键词:智慧温室;蒸发散量;水分需求;滴灌控制;灌溉水量;目标控制;参数设置;传感器控制

中图分类号:S24 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)10-0398-04

长期以来,陕西省渭南市农业发展占全市经济比重比较大,但因受到自然条件及农业经营水平等因素的制约,农业生产的现代化水平仍然较低。2013 年,渭南市获批国家级智慧城市的试点城市后,当地政府结合秦东地区的发展特点,将智慧农业作为渭南市智慧城市建设的重点方向,2014、2015 年分别在富平、蒲城、华县进行智慧农业的试点,有力促进了农业生产的现代化、集约化、规模化。在智慧农业设施建设和试点过程中,也遇到了许多问题,因此有必要针对其中的滴灌控制问题进行研究。

1 理论背景与方法设计

1.1 土壤水分平衡控制

收稿日期:2016-04-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:11304230);渭南师范学院科研项目(编号:14YKS005;15YKF006)。

作者简介:朱创录(1977—),男,陕西兴平人,硕士,副教授,主要研究方向为智慧农业与物联网工程。Tel:(0913)2133965;E-mail:wnsyzcl@126.com。

对于水资源相对匮乏的西部地区,农业生产需要进行精确的灌溉控制以达到节约水资源的目的,精确化的灌溉管理要求对灌溉的时间及灌溉量进行精确控制,这些因素都是由农作物的需水量决定的,一般可通过直接测量和间接评估等方法获得农作物的水分需求量。直接测量通常是通过观测土壤的水分需求完成的,是由土壤的有效水分来决定的;间接评估以理论或经验公式配合气象因子进行评估,由农作物蒸发散量(ET_c)决定。在智慧农业温室中土壤水分平衡公式:

$$\Delta M = I + D - ET_c \quad (1)$$

式中: I 为灌溉水量, g; D 为根系土层与下层土壤的水分交换量(渗透量或毛管水补充), g; ET_c 为蒸发散量, g; ΔM 为土壤水分变化量, g^[1]。

在作物能正常生长的前提下,消耗水量会根据土壤表面蒸发、农作物吸收、蒸发散量及下层的水分供给来决定,而这几项因素又与农作物附近微气候环境有很大关系^[2]。智慧温室中的滴灌控制研究目标是用黑盒子理论设计 1 种能广泛应用于智慧农业温室盆栽植物在周围气候环境(光照度、温度、相对湿度)影响下能满足植物水分需求管理的滴灌控

[4] Iliana I, Tania I. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse[J]. Advances in Space Research, 2010, 46(7): 840–845.

[5] 周国泉, 徐一清, 付顺华, 等. 温室植物生产用人工光源研究进展[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(6): 798–802.

[6] 刘 彤, 刘 雯, 马建设. 可调红蓝光比例 LED 植物光源配光设计方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(1): 1002–6819.

[7] 唐晓新. 植物照明用 LED 光源研究与设计[D]. 天津: 天津工业大学, 2014: 33.

[8] 周国泉, 郑 军, 周益民, 等. 温室植物生产用 LED 组合光源的优化设计[J]. 光电子激光, 2008, 19(10): 1320–1321.

[9] 苏政晓. 智能型 LED 植物照明控制系统设计与实现[D]. 天津: 天津工业大学, 2014: 33–40.

[10] 刘晓英, 徐志刚, 焦学磊, 等. 可调 LED 光源系统及其对菠菜生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 208–212.

[11] 李先斌. 基于 LabVIEW 的精准农业实时监控系统设计与实现[D]. 河南: 郑州大学, 2013.

[12] 唐永康, 郭双生, 艾为党, 等. 不同比例红蓝 LED 光照对油麦菜生长发育的影响[J]. 航天医学与医学工程, 2010, 23(3): 206–212.

[13] 高鸿磊, 诸定昌. 人眼光度学与植物光度学的单位转换[J]. 灯与照明, 2007, 31(2): 34–36.

[14] 张 海, 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.

[15] 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.