

邱兆美, 马延武, 于瑞锋, 等. 动态调控决策下人工光环境中冬季辣椒幼苗生长特性分析[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 202–206.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.052

动态调控决策下人工光环境中冬季 辣椒幼苗生长特性分析

邱兆美¹, 马延武¹, 于瑞锋², 张 伏¹, 王 俊¹, 毛鹏军¹, 张海峰¹

(1. 河南科技大学农业装备工程学院, 河南洛阳 471003; 2. 商丘工学院土木工程学院, 河南商丘 476000)

摘要:为解决辣椒传统育苗方式及冬季气候条件下育苗安全性差、育苗难度大以及育苗环境所需配套设施不足等问题, 基于温室环境无线网络监控系统和反馈机制, 结合无模型自适应控制算法提出一种动态调控决策方法, 并在该动态调控决策方法下实现 LED 光的自适应调节控制。通过配色调整, 采用红: 蓝 = 3: 1 配比混合光源对辣椒幼苗进行不同光照条件处理, 并对幼苗生长特性进行分析, 发现在不同光照度和光照时间下, 辣椒幼苗在株高、株径、叶绿素含量、叶面积方面存在一定差异, 并从经济节能、增产增收以及缩短辣椒育苗周期等方面考虑, 在进行辣椒育苗时可以将光照度设置在 $160 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 到 $220 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间, 且每天光照时间 20 h 为最佳。

关键词: 动态调控; 辣椒育苗; 生长特性; MFAC; 光照条件; WSN; 环境监控

中图分类号: S641.304⁺.3; S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0202-05

辣椒作为我国重要的经济作物之一, 不仅具有食用价值, 在药用价值上也有诸多优点, 而且品种分类多^[1-2]。近年来, 随着我国辣椒栽培面积不断扩大, 利用大棚等农业设施进行反季节栽培, 可以提早或延迟辣椒上市时间, 提高经济效益^[3]。育苗是辣椒生产栽培过程中的关键环节^[2], 对温湿度和光照等因素要求比较严格, 育苗质量的好坏将直接影响到蔬菜的早熟性、丰产性及经济效益^[4-6]。

温室具有与外部环境相隔离的特殊内部小气候环境, 是强非线性、慢时变、强耦合、大滞后复杂系统, 决定了温室控制因素的多样性^[7]。在进行辣椒育苗时, 传统的育苗方法育苗质量低、成苗率低、土传病害严重、育苗成本高及运输不便等弊端越来越明显^[8-10], 加上环境污染严重, 冬季雨雪雾等天气状况, 大气透明度低, 以及薄膜透光率和灰尘覆盖等造成光环境差异等^[11], 使产业化育苗面临着育苗安全性等诸多难题^[12]。LED 光源应用于植物产品生长领域, 包括温室补光、植物组培与育苗工厂、植物工厂、食用菌等, 可以根据不同植物品种而任意选择光质和光照度, 为植物提供最适宜的光环境参数, 有效提高作物光能利用率^[9,13-14]; 组培育苗是现代高效农业的支柱之一, 研究植物组织培养技术对于加快种苗培育具有重要意义^[15]; 水肥一体循环利用系统提高了水分利用

率^[16]。现有关于温室环境监测控制的研究广泛^[17-19], 但春茬果菜生产育苗时间正值冬季, 给育苗带来许多不利影响^[20], 育苗缺失配套环境与配套设施, 忽视环境控制设备, 育苗监测系统仅能满足监测要求^[21-22], 对控制系统的研究也是采用现代测控仪表监测, 设定阈值或者人为调控, 其环境调控精度不能满足育苗过程所需要指标^[4,23]。关于 LED 植物生长及控制系统研究及光源优化设计, 所采用 LED 不适用于温室补光光源的功率要求, 光源系统也未针对植株或育苗进行生长照射试验^[24-27]。

针对以上情况, 本研究基于现有的温室环境监控系统和 WSN 技术^[17-19]设计一种育苗环境动态调控系统, 包括协调节点、监测节点和调控节点, 各节点采用 CC2530 作为核心处理模块, 加入反馈控制的动态调控决策, 在该动态调控决策下进行人工光源的自适应调节, 并对辣椒幼苗进行不同光照度和光照时间下的生长特性分析。该决策和系统可以为育苗工作的进行提供一个安全可靠的环境。

1 环境因子对辣椒育苗状况的影响分析

1.1 光源对育苗状况的影响

光能是植物进行光合作用的能量来源, 除此之外还影响植物许多生理反应, 因此植株育苗需要选择在阳光充足的地方^[9,28-30]。研究发现, 不同波段光对植物的生长影响不同(表 1)^[31-32]。植物在生长过程中会吸收特定波长的光进行光合作用, 主要集中在 420~480 nm 的蓝光和 610~700 nm 的红光^[25]。实际应用中, 需要根据育苗不同时期所需目标光值进行动态调控, 实现育苗过程按需调光。

1.2 温湿度对辣椒育苗状况的影响

植物生长需要特定的温湿度环境(表 2)。温度影响代谢活动中酶的活性, 影响植株生长; 植株茎叶表面和周围环境的湿度影响植物的蒸腾作用^[31], 在辣椒育苗过程中极易造成因湿度过大或放风不及时而发生茎基腐病或早疫病^[33]。因此,

收稿日期: 2016-09-10

基金项目: 河南省科技攻关项目(编号: 162102210202); 河南省“三区”人才支持计划项目(编号: 2015SQ040); 河南省高等学校重点科研项目(编号: 17A416002); 河南省产学研合作项目(编号: 162107000026); 河南科技大学高级别项目培育基金项目(编号: 2015GJB008)。

作者简介: 邱兆美(1979—), 女, 河北秦皇岛人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事智能农业装备方向的研究。E-mail: qzm381@126.com。

通信作者: 马延武, 硕士研究生, 主要从事智能农业装备方向的研究。E-mail: qzm381@126.com。

表 1 不同波段光对植物的影响

波长 (nm)	对植物生长的影响
280 ~ <315	对植物生理过程和形态影响较小
315 ~ <400	影响光周期效应,阻止植物茎的伸长
400 ~ <520	对光合作用影响最大,叶绿素吸收比例很大
520 ~ <610	植物对光的吸收率不高
610 ~ <700	对光合作用和光周期有显著影响
700 ~ <1 000	刺激细胞延长,对种子发芽和开花有影响
>1 000	吸收转化为热能

进行辣椒育苗时,将温室环境参数严格控制在一定范围内,对育苗十分重要。育苗过程采用穴盘育苗和滴灌技术,穴盘滴灌技术采取地下供水方式,能在保证作物生长所需水分和营养条件的同时,降低作物地上部分和生长环境的湿度,在一定程度上有效缓解苗床表面土壤板结现象,增强作物根部氧气流通性能,有助于预防因湿度过大而引起的苗期病害,有利于实现育苗基质见干见湿状态。同时利用滴灌系统的特点,定时定期把作物苗期生长所需的营养肥加入到滴灌系统中,有

表 2 辣椒育苗温湿度要求

项目	生长要求
温度	苗床出苗前保证在昼夜 25 ~ 28 ℃ 之间,出苗后白天保持在 25 ~ 28 ℃、夜间 15 ~ 18 ℃ 之间
湿度	播种至出苗基质含水量保持 85% ~ 90%,2 叶 1 心时基质含水量保持 65% ~ 70%,3 叶 1 心至成苗基质含水量保持 60% ~ 65%

助于实现水肥一体化管理^[16,33]。

2 系统结构与组成

系统由协调器节点、监测节点和调控节点组成,现场通过 ZigBee 进行通信,并能实现 Internet 远程传输,便于远程监测控制。整个网络采用树状拓扑结构,监测节点作为路由节点,完成空气温湿度和土壤湿度与光合有效量子通量密度值的采集;协调节点作为根节点,完成环境实时参数和目标光值的计算;调控节点作为叶子节点,完成命令的执行,实现温湿度和调光控制。系统结构组成如图 1 所示。

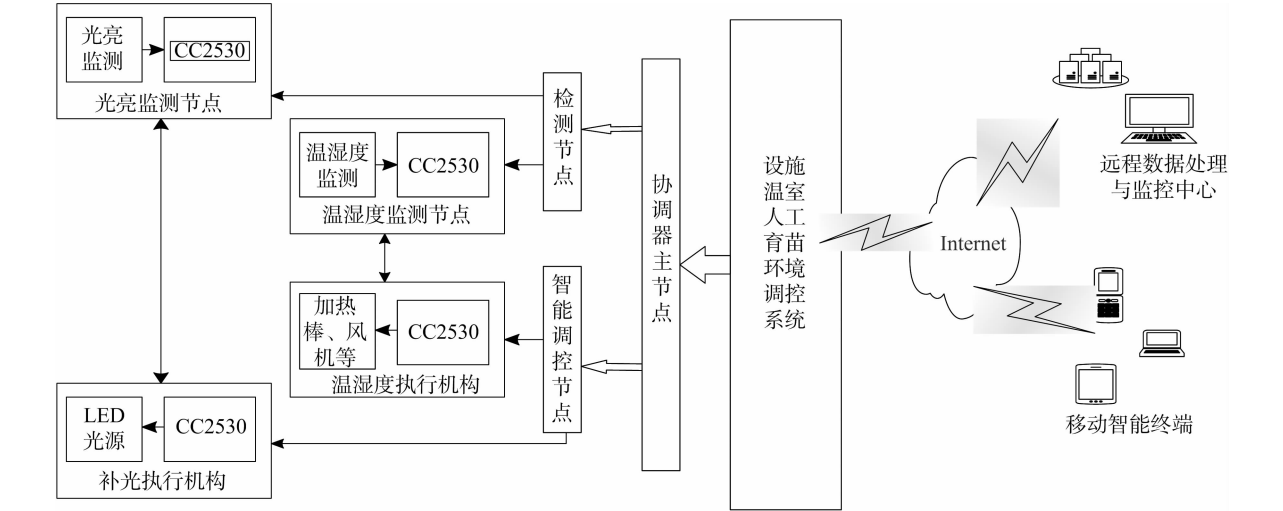


图1 系统结构组成示意

2.1 协调节点和监测节点设计

协调节点以 CC2530 芯片为核心进行模块化设计,具有环境信息实时汇聚、调光量计算、无线通信以及调光命令发送等功能。能在不同模式下运行,可分为 CPU 及相关存储器模块、时钟和外设及能耗管理模块、无线通信模块 3 部分。

监测节点主要包括电源模块、时钟模块、光监测模块(主要是光量子传感器)、温湿度(包括土壤湿度)监测模块。实现环境参数的采集、处理和发送。温湿度监测模块采用传感器 DHT11,温度测量范围 0 ~ 50 ℃,精度 ± 1 ℃;湿度测量范围 20% ~ 90%,精度 ± 5%。

2.2 调控节点设计

调控节点利用 CC2530 接收协调节点发出的控制信号,转化为 2 路 PWM 信号后通过功率驱动芯片调控通过 LED 电流,实现光质调节。采集的环境温湿度信息以及土壤含水率,并与系统初始设定值进行差值比较,经过动态调控决策算法控制执行机构输出功率,控制加热棒、风机或穴盘滴灌装置等,实现温室环境控制功能。调控节点包括电源模块、

CC2530 处理模块、功率驱动芯片、LED 光源、加热棒、风机及穴盘滴灌装置,其结构原理图如图 2 所示。

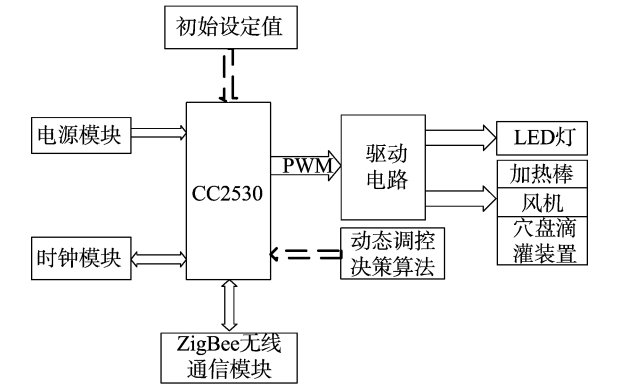


图2 调控节点结构原理

3 动态调控决策

植物的生长发育所需要的环境有一个较宽的范围,只

要将环境参数控制在一定的范围内即可满足植物的生长需要。在动态调控决策下,调控节点可以接受协调节点的命令,通过算法处理下的数字信号,输出宽度可调的 PWM 方波,改变执行机构的输出功率,完成温室内部加热、除湿、通风降温及 LED 光质调节等功能,达到控制温室内部环境参数的目的,实现智能调控育苗环境。

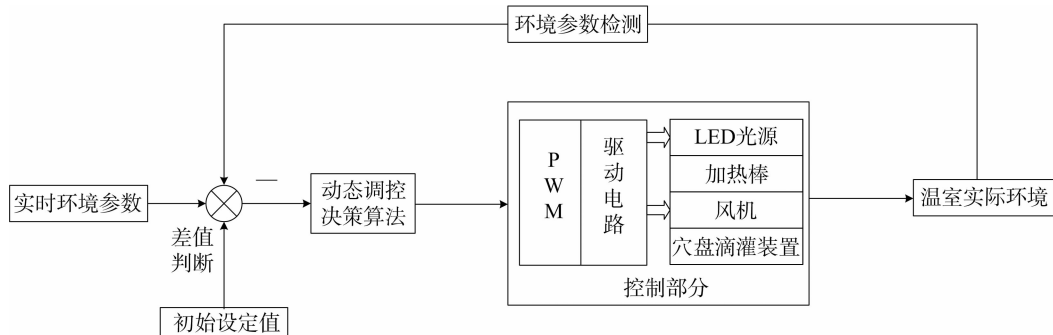


图3 动态调控机制

3.2 调控量的确定

由温湿度传感器及光量子传感器等现代检测设备,检测当前育苗温室实时环境参数,判断是否在初始设定值范围内,如果实时环境参数大于设定目标值,则启动执行机构降低相关参数或停止调控,反之,根据调控量公式(1)^[34]确定补给量。如果系统处于调控状态下,可以根据公式差额计算下一时刻调控量。

$$Amount_{need} = Amount_{set} - Amount_{real} \quad (1)$$

式中: $Amount_{need}$ 为需要补给量; $Amount_{set}$ 为初始设定的目标值; $Amount_{real}$ 为实时监测的环境参数值。

根据公式(1)计算得到的偏差量作为调控量,在动态调控决策下调节执行机构,动态实时调整满足植株生理需求,实现精确调控。

3.3 动态调控决策算法

本研究动态调控决策算法采用无模型自适应控制算法 MFAC, MFAC 作为一种数据驱动控制算法,只需用到控制系统输入、输出数据,具有在线调整参数少、成本低廉、设计简单、易于实现、扰动下调整速度快及超调小等优点。其主要思想是利用新引入的伪偏导数和伪阶数,在被控系统轨线附近用动态线性时变模型来代替一般非线性系统,利用被控系统的输入输出数据在线估计系统的伪梯度向量,从而实现非线性系统的自适应控制^[7]。分为紧格式动态线性调整和全格式动态线性调整,全格式线性化控制器各方面性能较优,但设计复杂,计算量大。这里采用紧格式动态线性化控制器,输入控制准则函数为:

$$J[u(k)] = [y^*(k+1) - y(k+1)]^2 + \lambda [u(k) - u(k-1)]^2 \quad (2)$$

式中: λ 为权重系数; $y^*(k+1)$ 为期望输出。

为解决参数估计值变化问题应用极小化方法得到伪偏导数估计算法:

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\eta_k \Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} [\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1) \Delta u(k-1)] \quad (3)$$

式中: μ 是权重因子, η_k 为步长因子。

3.1 动态调控决策原理

动态调控决策方法的原理是根据用户预先设定的初始目标值,动态采集 4 类环境参数实时信息,利用反馈信息计算当前值与目标值的偏差,通过动态调控决策算法控制调控量的输出,实现以初始设定值为目标动态调控功能。控制逻辑如图 3 所示。

由此可以得到紧格式动态线性化无模型自适应控制算法如下:

$$\hat{\phi} = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\eta_k \Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} [\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1) \Delta u(k-1)] \quad (4)$$

3.4 动态调控决策下的 LED 自适应调光系统

LED 具有谱线窄、响应速度快和体积小的优点,且在工作电压范围内发光亮度与正向电流近似成正比,控制部分利用这一点设计了 LED 自适应调光系统(图 4),使电压基本固定,通过电流调节实现 LED 不同配色。系统所用 LED 发光模块各单元均包括 1 只红色 LED、1 只绿色 LED、1 只蓝色 LED,通过对发光单元的排布实现配色调整^[35]。

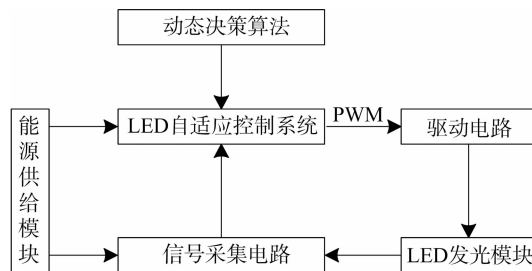


图4 动态调控决策下 LED 自适应调光系统

同时,根据 PWM 调光技术,脉冲宽度调制最重要的就是导通与关断时间的控制^[36]。系统由脉宽调制控制电路对模块产生的信号进行逻辑运算处理,由 RS 触发器来完成 PWM 脉冲宽度调制信号的产生。关断时间控制模块在检测到谷底信号时,将输出相应的信号到 R 端,从而控制功率管的打开;S 端输入为功率管导通时间控制模块与过温、过压和过流模块的共同作用结果,控制功率管的关断。通过镜像电流的变化改变电容充电速度,输入基准电压 VREF1、VREF2 及误差放大器 VEA-OUT 的电压的变化改变充电电压值,实现对电容充放电时间的改变,完成对开关管导通关断时间的控制。

4 结果与分析

本研究基于动态调控决策,对辣椒人工育苗环境进行育

苗环境智能调控。通过 LED 配色调整,采用红:蓝=3:1 配比混合光源对辣椒幼苗进行照射,来进行辣椒幼苗的生长特性分析,得到不同光照度和不同光照时间下辣椒幼苗生长的各项指标,分析结果如下。

4.1 不同光照度下辣椒幼苗生长特性分析

通过改变光照度,使光照度分别达 100、160、220、280 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。每天的光照时间为 08:00—22:00,持续

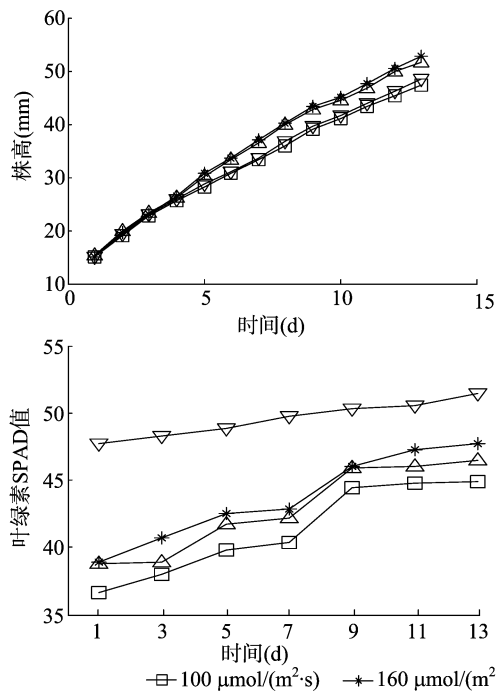
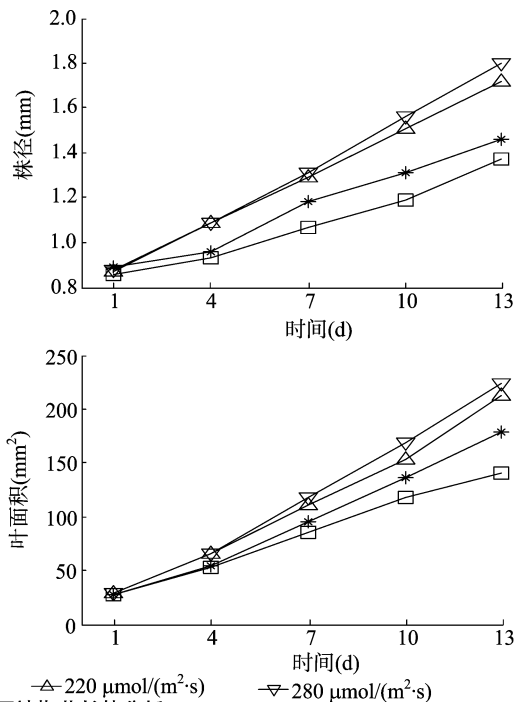


图5 不同光强下辣椒苗长势分析

光照 14 h,对辣椒株高、株径、叶绿素含量和叶面积进行测量绘制表格,并进行方差分析,分析结果绘制成曲线图(图5)。随着光照度的增加,辣椒幼苗经历着长势由劣到优的变化。光照度较低,作物的生长发育较缓,不利于作物的增产增收;光照度较高,有利于达到壮苗的作用,但是较前光度值没有显著的差异。因此,从经济以及作物的增产增收考虑,可以将光源的光照度设置在 160~220 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间。



4.2 不同光照时间下辣椒幼苗生长特性分析

根据固定光照度下混合 LED 光及不同光照度对辣椒长势影响分析结果,将光照度设置为 160 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度控制在白天 27℃、夜晚 17℃,光照时间分别设置成每天照射 12、16、20、24 h。每天 12 h 的光照时间设置为 08:00—20:00,每天光照 16 h 的时间设置为 08:00—24:00,每天光照 20 h 时间设置为 08:00 到次日 04:00,每天光照 24 h 为全天候不断电。辣椒幼苗各项生长特性如图 6 所示。随着每天光照时间的增加,辣椒苗的株高、株径、叶面积、叶绿素都有不同程度的增加。每天光照 20 h 处理下的辣椒苗较之于每天光照 12 h 和 16 h 的辣椒苗在株高、株径、叶面积、叶绿素含量方面都有较大的提升,但相比于每天光照 24 h 处理下的辣椒苗并无显著变化。因此,从经济方面以及减少辣椒育苗周期上来看,可以选择每天光照 20 h。

5 结论

本研究提出一种动态调控决策下的辣椒人工育苗系统,实现了辣椒育苗环境按需、实时的精准调控,满足植株不同生长阶段的生理需求,满足精准化调控要求,并实现调光系统下辣椒的育苗特性研究。试验表明,随着光照度和时间的增加,对辣椒幼苗的整体长势有促进作用,但从经济节能、作物增长及缩短辣椒育苗周期来看,光照度设置在 160~220 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间,每天光照时间为 20 h 最佳。

参考文献:

- [1]熊圣国. 浅谈辣椒高效高产栽培技术[J]. 农家科技(下旬刊), 2016(5):110.
- [2]王志科. 辣椒温室穴盘育苗技术[J]. 辣椒杂志,2013,11(4): 22-23.
- [3]汤彬. 辣椒大棚栽培技术[J]. 农技服务,2010,27(6):702.
- [4]张道辉,刘庆忠,王甲威,等. 半日光间歇弥雾果树育苗系统及其应用[J]. 农业工程学报,2011,27(3):266-270.
- [5]徐志刚,丁为民,丁永前,等. 规模化组培育苗设施环境与控制的研究进展[J]. 农业机械学报,2002,33(1):106-110.
- [6]潘文远. 温室大棚蔬菜育苗技术[J]. 新疆农垦科技,2013(12): 30-31.
- [7]杨晶. MFAC 与常用控制方法在温室控制中的比较研究及硬件实现[D]. 北京:北京交通大学,2015:1-66.
- [8]李金在,王占贤. 北方春露地辣椒穴盘育苗技术[J]. 北方园艺, 2016(6):210.
- [9]曹凯,于捷,叶林,等. 暗前适宜 LED 远红光光照强度促进设施番茄种苗生长发育[J]. 农业工程学报,2016,32(8): 171-176.
- [10]王文芬,王锐. 思南县蔬菜育苗现状与前景分析[J]. 现代园艺,2016(4):43-44.
- [11]胡瑾,樊宏攀,张海辉,等. 基于无线传感器网络的温室光环境调控系统设计[J]. 农业工程学报,2014,30(4):160-167.

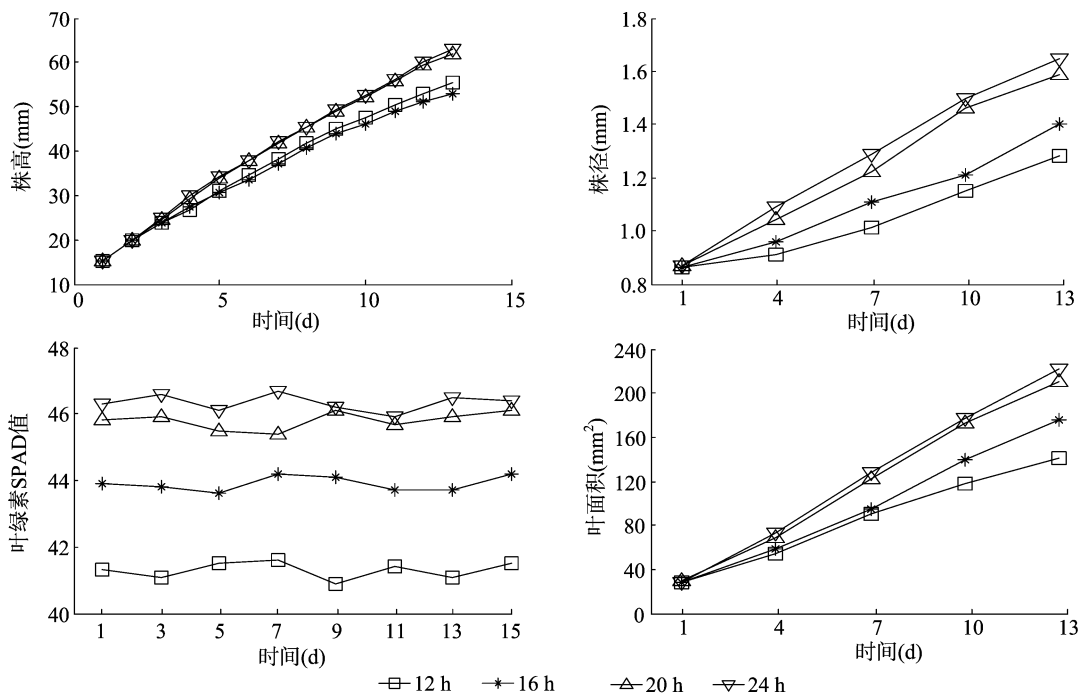


图6 不同光照时间下辣椒苗长势分析

- [12] 张培通, 卞曙光, 吴云林, 等. 苏北地区低温季节蔬菜日光温室高效育苗技术规程[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 146–147.
- [13] 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.
- [14] 邸秀茹, 焦学磊, 崔瑾, 等. 新型光源LED辐射的不同光质配比光对菊花组培苗生长的影响[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(4): 661–664.
- [15] 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.
- [16] 袁洪波, 程曼, 庞树杰, 等. 日光温室水肥一体灌溉循环系统构建及性能试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 72–78.
- [17] 许童羽, 王建东, 须晖, 等. 基于ZigBee与WiFi的北方日光温室群监控系统设计[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(1): 59–64.
- [18] 孙士尉, 刘晔, 刘海波, 等. 基于ZigBee无线传感器网络的植物工厂环境调控系统[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(4): 74–78.
- [19] 张猛, 房俊龙, 韩雨. 基于ZigBee和Internet的温室群环境远程监控系统设计[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊1): 171–176.
- [20] 陈友. 冬季日光节能温室如何育苗[J]. 北方园艺, 2002(6): 74.
- [21] 崔明玲, 印东生, 梅国宏. 辽宁省蔬菜育苗基地连栋温室建设中存在的问题与建议[J]. 辽宁农业科学, 2016(1): 65–66.
- [22] 向阳, 曾超尘, 熊瑛, 等. 基于GPRS网络的育苗温室远程监控系统研究[J]. 农机化研究, 2015(10): 228–231.
- [23] 张道辉, 崔海金, 魏海蓉, 等. 蓝莓新梢温室扦插育苗主要环境因子调控研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(11): 42–46.

- [24] 孙惠洋. 植物智能补光系统的设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [25] 江天, 张潇. 智能LED植物生长系统[J]. 照明工程学报, 2013, 24(增刊1): 168–172.
- [26] 刘淑平, 朱月贺. 智能LED植物生长灯控制系统的设计[J]. 中国照明电器, 2015(8): 32–34.
- [27] 王淑凡. LED光质对植物生长特性影响及光源优化设计[D]. 天津: 天津工业大学, 2013: 1–65.
- [28] 吐尔逊·克衣木, 早日古丽·尼亚孜. 辣椒育苗技术要点[J]. 农村科技, 2010(4): 43.
- [29] 肖婷婷, 刘广林, 张鑫, 等. 不同光照度对美国红枫幼苗生长和叶色变化的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 220–223.
- [30] 林开文, 杨白云, 姜永雷, 等. 小叶女贞秋季光合速率日变化及其与环境因子的相关性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 213–215.
- [31] 崔世钢, 王辉, 梁帆. 基于LED照明的小型温室环境控制系统[J]. 电子测量技术, 2014, 37(3): 93–96.
- [32] 刘丹, 刘晓英, 焦学磊, 等. 不同LED光源对温室黄瓜幼苗生长和生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 238–242.
- [33] 曾沂辉, 林义珍. 滴灌穴盘育苗技术研究[J]. 节水灌溉, 2016(3): 84–85.
- [34] 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.
- [35] 孙娜. 全彩LED灯自适应控制器设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010: 1–59.
- [36] 冯玲玲. 一种具有线性调光功能的LED驱动芯片的设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2015: 1–81.