

植物工厂人工环境控制栽培室的设计研究

龙智强¹, 周增产^{1,2}, 卜云龙^{1,2}, 张晓慧¹, 商守海¹

(1. 北京京鹏环球科技有限公司 北京 100094 2. 北京农业机械研究所 北京 100096)

摘要: 研究设计了植物工厂人工环境控制栽培室。该栽培生产车间内部布置3组4层栽培架, 每层栽培架装有人工补光灯组和分段式栽培槽。整个内部系统采用PLC控制原理对设施内的各种环境因子, 包括温度、相对湿度、光照、CO₂浓度、营养液循环等进行自动控制和调节, 使植物生长完全处于人工可控的状态下, 不受外界环境的影响。在精确可控环境下, 植物生长周期缩短, 植物生长外观及品质整齐一致, 同时可减少病虫害的发生。

关键词: 植物工厂; 人工光源; 栽培车间

中图分类号: S 220.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2010)15-0085-04

随着我国经济的发展, 现代化农业设施与农业环境控制技术越来越受到重视。在遇到连绵阴雨天及冬季傍晚的时候, 温室内的光照强度往往不能满足作物生长发育的需要, 导致作物生长缓慢。尤其是在农作物商品化生产中, 光照不足会影响到作物的产量及品质, 从而影响到农产品的经济价值, 因此人工补光尤为显的重要。除此之外, 温室内的其它环境因子如温度、湿度、CO₂浓度等也会因为地域、气候的差异而影响到作物自身的生长。所以, 通常需要创造作物正常生长的环境载体, 通过配套设备或设施分别调控各个环境因子, 给作物提供最佳的适宜的生长环境, 实现农业工厂化、专业化生产, 做到蔬菜、水果、种苗长期均衡的周年供应, 以满足人们日益增长的生活水平的需要, 从而实现更高的经济价值。因此, 研究和掌握农业设施环境要素的变化特点及相关调控和应用技术, 具有重要现实意义^[1-4]。人工环境控制栽培室采用全封闭结构, 植物生长光源大部分采用荧光灯, 有2个生长架分别采用LED灯和荧光灯。主要特点是, 植物生长的任何环境因子都是人工精确化模拟创造的, 不受外界任何因素的影响, 植物生长于一个数字化可控化, 可精确计算与估计的环境内, 就如工厂一样生产出外观形态及品质一致符合标准的农产品。在精确可控环境下, 植物对各种环境因子的需求也是稳定的, 植物的收获期是确定的, 人们生产操作模

式简单化, 采用水培灌溉模式。

1 人工环境控制栽培室的设计

人工环境控制栽培室是在全人工模拟环境下, 可连续进行生产。其内部设计了立体多层次栽培架, 使空间得以充分利用。除此之外还结合了人工光源和空调设备, 采用智能控制技术使系统内的生态因子稳定性较好。

1.1 整体设计

人工环境控制栽培室长为11.2 m, 宽为6.15 m, 总面积约68.8 m²。围护结构采用聚苯乙烯泡沫夹芯彩钢板作为围护结构材料, 以减少热量的传递, 围护结构材料厚度为 $\delta=100$ mm。内部布置9 100 m \times 1 120 m \times 2 700 mm规格的4层式栽培架3组, 共安装40 W植物生长荧光灯308支, CTG 12型LED补光灯板50块, 补光功率 $308\times 0.04+50\times 0.045=14.57$ kW。

1.2 多层次栽培架设计

人工环境控制栽培室栽培架共有4层, 床架总高度为2 700 mm, 长为9 100 mm, 宽为1 120 mm。由于幼苗与叶菜类生长的高度为100~300 mm, 光源与植物顶端的距离约50~200 mm, 所以苗床每层高度设定为600 mm(图1)。

每层栽培架均布置栽培槽, 栽培槽分为3段, 分别为供水段、循环中间段、回水段。栽培槽回水段尾部设有2个下凹的池形结构作为营养液回流池, 池形结构的底面还装有营养液回流阀, 池形结构的上方覆盖有栅状过滤网壳。循环中间段用于连接供水段与回水段。供水段与供水管道相连接, 用于供给营养液和水。如图2所示, 由左向右分别是回水段、中间段和供水段。

第一作者简介: 龙智强(1973-), 男, 工程师, 现主要从事农业工程方面研究工作。

基金项目: 北京市科技计划资助项目(D08060500450000)。

收稿日期: 2010-04-10

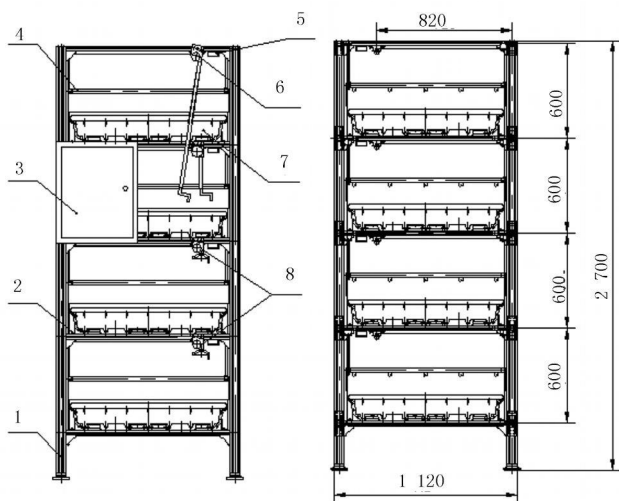


图1 人工光栽培架侧视图

注: 1. 立柱 2. 栽培槽定位挡板; 3. 配电箱; 4. 灯组灯架组合体; 5. 线槽 6. 滑轮支撑组合体; 7. 栽培槽; 8. 手轮组合体

Fig. 1 The side view of artificial light cultivation rack

Note: 1. Column; 2. Cultivation tank positioning panels; 3. Distribution boxes; 4. Lanterns and lighthouse combinations; 5. Trunking; 6. Pulley support combinations; 7. Cultivation tank; 8. Hand wheel combination

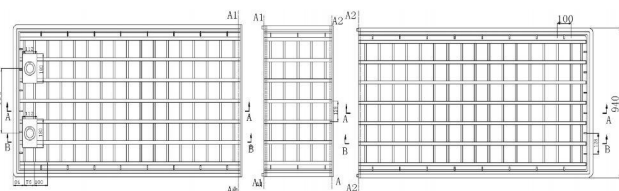


图2 分段式栽培床床面简图

Fig. 2 The bed diagram of sectional cultivation bed

2 人工光源光谱的选择及升降补光装置的设计

2.1 人工光源光谱的选择

在光源的可见光光谱中,植物吸收的光能约占生理辐射光能的60%~65%,其中主要是610~720 nm的红、橙光辐射,红、橙光能被叶绿素强烈吸收,光合作用最强,显著加速植物的发育,其中660 nm为吸收波峰。其次是波长400~510 nm的蓝、紫光辐射,蓝、紫光被植物叶绿素吸收最多,表现为强的光合作用和形态建成作用,其中450 nm为吸收波峰。因此在人工光源系统中,选择660 nm红光和450 nm蓝光作为搭配组合的2种光源^[5-8]。

采用2种人工光源,一种是灯管主波长为425~475 nm蓝光及波长为600~675 nm红光的40 W荧光灯;一种为45 W LED灯。栽培架2层和3层采用LED灯进行补光,1层和4层采用荧光灯进行补光,荧光灯蓝

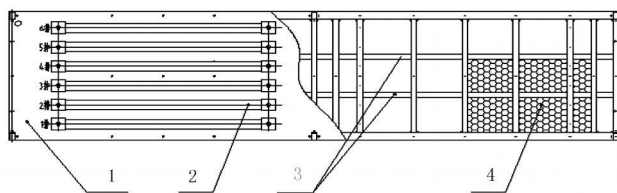


图3 栽培架荧光灯分布示意图

Fig. 3 The diagram of lamps distributing of cultivation racks

注: 1. 顶部反光铝板; 2. 荧光灯; 3. 线槽; 4. 阻燃苯板

Note: 1. Top reflective aluminum sheet; 2. Fluorescent; 3. Trunking;

4. Retardant polystyrene board

光与红光比例为5:1(图3)。

2.2 升降补光装置的设计

升降补光装置是通过一手动升降装置可以随意调整补光灯的升降高度,适应植物不同生长时期对光照量的要求。升降补光装置是由固定于温室骨架上的换向轮支座管、一组换向轮、带有一组补光灯的补光灯吊杆及带有手柄的升降器^[9]。

其工作原理是:通过摇动摇柄转动小型卷膜器,带动传动轴及固定在其上面的绕线器转动,实现收放钢丝绳的目的,吊挂补光灯钢丝绳通过多组换向轮与升降器的绕线轮连接。从而达到了调整补光灯高低的效果。通过小型卷膜器的自锁和加强定位销同时作用,实现补光灯在不同高度的锁定功能(图4)。

3 人工环境控制栽培室环境控制系统

人工环境控制栽培室的环境控制系统主要控制植物生长发育的温度、相对湿度、光照、CO₂浓度、营养液以及自然风。因此人工环境控制栽培室的环境控制系统的硬件组成主要包括CO₂气瓶、营养液循环系统、换气空调机组和PLC控制显示器。

系统利用PLC控制原理对设施内的各种环境因子,包括温度、相对湿度、光照、CO₂浓度等进行自动控制和调节是人工环境控制栽培室的关键。根据不同作物具有不同生长习性,调控出适宜作物生长的最佳环境是系统控制的核心(图5)。

温度控制:采用温度传感器进行温度检测,系统采用一套恒温恒湿可调节式空调机组进行温度调节。通过对叶菜类栽培的研究,以20~25℃上下限区间控制的生长促进比恒温20℃情况下要好,把这种区间控制技术用在温度调控上可以实现智能调节,更加节能。

光照控制:光照供给系统包括光源和电控箱,采用定时分档控制。按照明时间10、12、24 h的三域值,可根据作物生长的需要分别调控,光照时间越长生长促进越

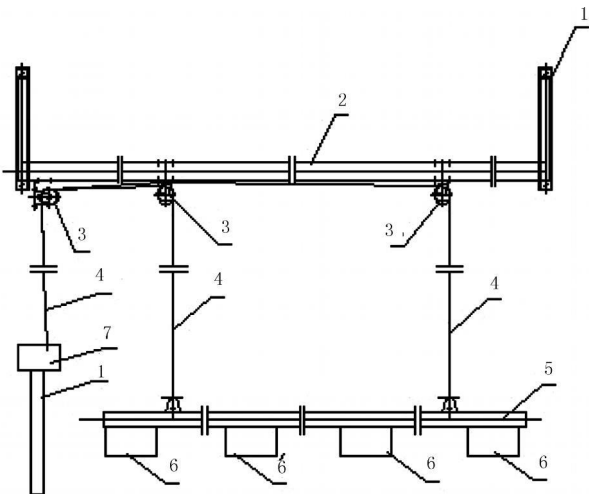


图 4 升降补光装置示意图

Fig. 4 The diagram of the lifting device for supplemental lighting

注: 1. 栽培架; 2. 换向轮支座管; 3. 换向轮; 4. 钢丝绳; 5. 补光灯吊杆; 6. 补光灯; 7. 升降器。

Notes: 1. Cultivation frame; 2. Support tube of direction changing wheel; 3. Direction changing wheel; 4. Wire rope; 5. Suspend of supplementing light lamp; 6. Supplementing light lamp; 7. Lifter.

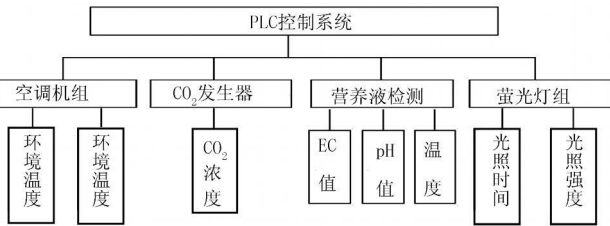


图 5 PLC 控制示意图

Fig. 5 The diagram of PLC control

快,但从节能角度来说,以深夜电力充足时,照明 12 h 最为节能。湿度控制:采用温度传感器进行湿度检测,系统采用一套恒温恒湿可调节式空调机组进行湿度调节。湿度范围应控制在 60%~85%,在这种湿度范围内,可有效地防止病虫害的发生。

CO₂ 浓度:CO₂ 的控制主要由 CO₂ 钢瓶、减压阀、流量计、电磁阀、供所管道和 CO₂ 浓度传感器组成。因为植物只有在光照下进行光合作用才需要 CO₂ 气体,所以需要与光照系统同时控制,即只有在光照开启状态下,同时启动 CO₂ 气体控制系统,这样既可以满足光期植物光合作用对 CO₂ 气体的需求,同时以不至于造成暗期时施放 CO₂ 气体的损失。CO₂ 气体由钢瓶经减压恒流阀、流量计、电磁阀,施放在送风管道中,最后由送风机将气体送入密闭式系统内。CO₂ 浓度一般控制在 1 000~1 500 mL/L^[19]。

4 人工环境控制栽培室营养液循环再利用系统

营养液循环再利用装备是由营养液循环系统、操作控制系统和紫外消毒系统。

4.1 营养液循环系统

营养液循环系统主要由栽培床、营养液池、供液管道系统、回流管道系统、自动灌溉施肥机组组成。栽培床用于盛放营养液,给作物提供营养和水分。营养液池是贮存和供应栽培床营养液的容器。母液罐、酸罐、碱罐和清水罐中的溶液在电磁阀门的控制下流入营养液池。供液管道系统将贮液池中的营养液界首到栽培床中供作物需求,它主要由供液管道、调节流量的阀门等部分组成;而回流管道系统是将栽培床内的营养液回流至贮液池中,主要包括回流管道和栽培床中的回流装置 2 个部分。自动灌溉施肥机与供液管道系统相连,用于营养液的自动配比混合并传输给供液管道系统,它主要包括一套文丘里型肥料泵,肥料泵装置上同时也包括电动控制肥料阀门,肥料流量调节器,聚乙烯装配件;一个专用电动水泵,用于通过旁通管维持文丘里肥料泵运行所必须的水压差。

贮液池设在地面以下,以便让栽培床中流出的营养液回流到贮液池中。贮液池容积应保证植株足够的供水和循环流动的需要。

供液管道是指从地下贮液池经由水泵然后通向各个栽培床。所有的管道均需采用塑料管,勿用镀锌水管或其它金属管,因营养液会腐蚀金属管道。

4.2 操作控制系统

操作控制系统由软件程序来控制水流和各阀的营养配比。整套系统是由软件、硬件、传输设备、传感器、环境控制、灌溉控制及营养控制组成。

该系统通过施肥泵精确控制水和肥液的比例,以实现精确控制肥料浓度的目的。其工作原理是:控制器通过采集电子水表信号计算出水流量,通过程序判断实际的水流是否达到设定量,当灌溉水量达到设定值时就自动切断电磁阀,从而实现自动控制灌溉水量。肥料箱安装有液位传感器,通过测量水位电阻的变化来自动检测水位。当肥料用尽时,电阻值就会很大,传感器检测到阻值变化信号后传送给控制器,控制器驱动报警器发出报警声音,并切断进水口的电磁阀,施肥机自动停止工作。

为了能检测 pH 值和 EC 值,系统设计的传感器接口可以采集传感器模拟量,并将数值显示在液晶上,通过人机交互界面,可以随时查看系统工作时的 pH 值和 EC 值,并且数据可以自动保存,可以查看历史数据文

档。外接的光照传感器和水分传感器信号采集到控制器中, 可以作为施肥灌溉程序的参考值。

4.3 紫外消毒系统

紫外线消毒器是利用波长为 225 ~ 275 nm 的紫外线对微生物的强烈杀灭的作用, 对原水中的微生物进行杀灭。其特点是: 杀菌速度快, 不改变水的物理、化学性质, 不增加水的臭味, 不产生对人体有害的卤代甲烷化合物, 无副作用; 水处理筒体采用进口优质不锈钢, 可满足 1.2 MPa 的工作压力, 具有防锈、强度高、无金属离子污染、设备表面易于清洁等优点; 紫外线灯选用国家卫生部门、防疫部门鉴定的专业新产品, 功率 30 W, 主光谱 253.7 nm, 此波长的紫外线杀菌率最高, 可达 98% 以上。

5 结语

人工环境控制栽培室的研发, 使植物生长环境免受外界因子的影响, 实现了温度、相对湿度、CO₂ 浓度、光照、营养液等因子综合调控, 而且可以精确模拟出最佳的植物生长发育环境, 使苗的生根生长与枝叶生长整齐一致, 而且生长时间可以大大缩短, 是培育壮苗与叶菜类的最佳环境。在人工可控的种植生产环境中, 生产车间尽量减少通过缝隙间的换气, 将系统内外之间的空气交换以及随着换气产生的热交换降低到最小限度, 采用热泵来进行换气通风, 从而使病虫害的入侵途径受到阻隔遏制, 可以完全生产出免化学污染的环保生态型种

苗。其实, 这种技术也是微型植物工厂的一种模式, 除了用于种苗培育生产外, 还可用于珍稀药用植物的培育, 同时也是未来家庭栽培的一个保健箱, 是未来城市农业解决蔬菜问题的一个新技术突破口。

参考文献

- [1] 贺冬仙, 朱本海, 杨珀, 等. 人工光型密闭式植物工厂的设计与环境控制[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 151-157.
- [2] 魏灵玲, 杨其长, 刘水丽, 等. 密闭式植物种苗工厂的设计及其光环境研究[J]. 中国农学通报, 2007, 32(12): 145-149.
- [3] 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]. 浙江学院学报, 2008, 25(6): 798-802.
- [4] 刘水丽. 人工光源在闭锁式植物工厂中的应用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [5] 李彦荣, 常瑛, 魏玉杰, 等. 克服弱光寡照障碍的技术研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2): 687-690.
- [6] 刘再亮, 马承伟, 杨其长. 设施环境中红光与远红光比值调控的研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 270-273.
- [7] 唐卫东, 李萍萍, 卢章平. 温室人工光源覆盖区域的可视化研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 96-100.
- [8] 崔瑾, 徐志刚, 邱秀茹. 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): 249-254.
- [9] 胡永光, 李萍萍, 邓庆安, 等. 温室人工补光效果的研究及补光光源配置设计[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版), 2001, 22(3): 37-40.
- [10] 杨其长, 刘文科, 管道平. 植物无粮组培快繁装置及其环境控制系统的研制[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(4): 79-84.

Designation of Artificial Light Cultivation Workshop in Plant Factory

LONG Zhi-qiang¹, ZHOU Zeng-dan^{1,2}, BU Yun-long^{1,2}, ZHANG Xiao-hui¹, SHANG Shou-hai¹

(1. Beijing Jingpeng International High Technology Corporation, Beijing 100094; 2. Beijing Agriculture Machinery Institute Beijing 100096)

Abstract: Research and design of artificial light cultivation workshop in plant factory, the internal layout 3 groups of four cultivation racks, each floor was equipped with artificial light cultivation light group and sectional cultivation trough. This workshop cultivation PLC internal control principle of the facilities used within the various environmental factors, including temperature, relative humidity, light, CO₂ concentration, nutrient solution, etc. automatic control and regulation, so that plants growth completely manual control of the state from the outside environment. In precision controlled environment, plant growth cycles were shortened, plant growth appearance and quality was consistent, as while as reducing the incidence of pests and diseases.

Key words: plant factory; artificial light; cultivation workshop