

崔世钢,陈 苗,张永立,等. 基于 LED 光源水培生菜最佳光配方的筛选[J]. 江苏农业科学,2020,48(16):152-155.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.16.028

基于 LED 光源水培生菜最佳光配方的筛选

崔世钢,陈 苗,张永立,何 林,吴兴利

(天津职业技术师范大学/天津市信息传感与智能控制重点实验室,天津 300222)

摘要:随着 LED 光源在植物工厂的广泛应用,研究培养植物的光环境参数显得尤为重要。以芭拉里娜生菜为试验材料,采用光照度梯度试验和均匀性仿真的方法,研究在植物工厂中培养芭拉里娜生菜的最佳光配方。研究结果表明,芭拉里娜生菜的最佳光配方是矩阵式排列的 LED 光源距离生菜 26 cm,幼苗期以红蓝光比例为 7:1 的复合光进行照射,生长期以红蓝光比例为 6:1 的复合光进行培养,光照度为 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光照时间均为 12 h/d。

关键词:光配方;LED 光源;矩阵式排列;均匀性;水培生菜

中图分类号: S636.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)16-0152-04

近年来,植物工厂作为一种能够完全实现人工控制、不受自然光照等条件限制的新型农业生产方式,成为广大研究人员的新宠儿。光照是农作物能量的来源,是植物光合作用、生长发育、形态建成以及物质消耗等多方面的必要条件之一。众多学者针对植物的影响因素如光质、光照时间等开展了相关研究,但是基于植物工厂发光二极管(light emitting diode,简称 LED)光源对水培生菜的光配方尚未见报道。

生菜在我国不少地区均有栽培,叶片脆嫩,营养价值高,并有保健功能,是发展前景较好的蔬菜^[1]。光配方是由飞利浦公司提出的一个概念,即在某种生长环境下,某种作物的某个生长阶段所需的光照条件^[2]。光配方包含 3 个方面:(1)光照度、光照均匀性、光质、光照时间和 LED 光源放置位置;(2)基于光配方条件下的其他环境参数,如温度、湿度等;(3)其他效果,如节能效果。

LED 是一种具有 PN 结的发光二极管,它凭借耗能低、控制简单、使用时间长、小巧轻便等诸多优点,已经在植物工厂中得到了广泛的应用。

光照度(E)是指物体光照接收面在单位面积(S)内所接收到的光通量大小(φ),计算方法如公式(1)所示。在 LED 人工光源下,光照度随电源电压

的调节而变化,该值可由光分度计进行测试。

$$E = \frac{\varphi}{S} \quad (1)$$

光照均匀度(U_0)指的是在一定的照射面积内,光照接收面光照度最小值(E_{\min})与所有光照度平均值(E_{av})的比值,计算方法如公式(2)所示。光照均匀度的值为(0,1),数值越接近于 1,生菜接收的光线越均匀,整体生长情况越好。

$$U_0 = E_{\min}/E_{\text{av}} \quad (2)$$

生菜培育分为 3 个阶段,分别是播种期、幼苗期和生长期,培养周期约 90 d。播种期不需要光照处理,幼苗期调配红蓝光比例为 7:1 的复合光,生长期调配红蓝光比例为 6:1 的复合光^[3]。幼苗期、生长期光照时间均在 12 h 为宜。通常将 LED 光源等间距放置,光源的排布方式也将影响生菜接收光照的均匀性。本试验针对 LED 光源的不同光照度和排布方式进行研究。

1 光照度梯度试验

1.1 试验材料

试验材料为 2018 年 9 月 1 日播种于天津职业技术师范大学植物工厂重点实验室水培植物生长架,2018 年 9 月 10 日出芽的芭拉里娜生菜幼苗。

1.2 试验环境

LED 光源选取市场上常用的深圳慧盈生态科技有限公司合鸣 LED 植物灯。环境温度为 20°C ,湿度为 70%~80%,光照时间为 12 h/d,LED 光源距离生菜 26 cm。

收稿日期:2019-08-07

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFB0403904)。

作者简介:崔世钢(1963 年—),男,天津人,博士,教授,主要从事机器人控制、人工智能研究。E-mail:cuishg@163.com。

通信作者:陈 苗,硕士研究生,主要从事智能控制研究。E-mail:954315190@qq.com。

1.3 试验设计

为明确不同光照度对芭拉里娜生菜生长的影响,随机选取 32 株芭拉里娜生菜幼苗,以每 8 株为 1 组分别放置在 4 组光强条件下。光照度分别设置为 200、300、400、500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

每天记载其株高、叶长、叶宽和鲜质量。培养至 90 d 时,生菜成熟。





1.4 结果与分析

培养至 90 d 时的生菜生长情况见表 1,生菜株高见图 1,生菜叶长见图 2,生菜叶宽见图 3。

从表 1 可以看出,不同光照度条件下的生菜生长情况差异明显。在植物形态方面,每组的生菜叶片均嫩绿且饱满,但在 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照培养条件下的生菜叶片数量明显少于前 3 组。在干物质积累方面,以培养至 90 d 时生菜鲜质量为依据,400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照度下的生菜生物量积累得最多,比 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 培养条件下增产 62%,比 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照条件下增产 50%,比 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照处理下增产 233%。试验结果表明,400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照度更适合水培生菜生长。

从图 1、图 2、图 3 可以看出,随着光照培养时间的增加,芭拉里娜生菜的株高、叶长、叶宽都呈现出

表 1 不同光照度条件下的生菜生长情况

光照度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	生菜鲜质量 (g)	生菜生长状况
200	185	
300	200	
400	300	
500	90	

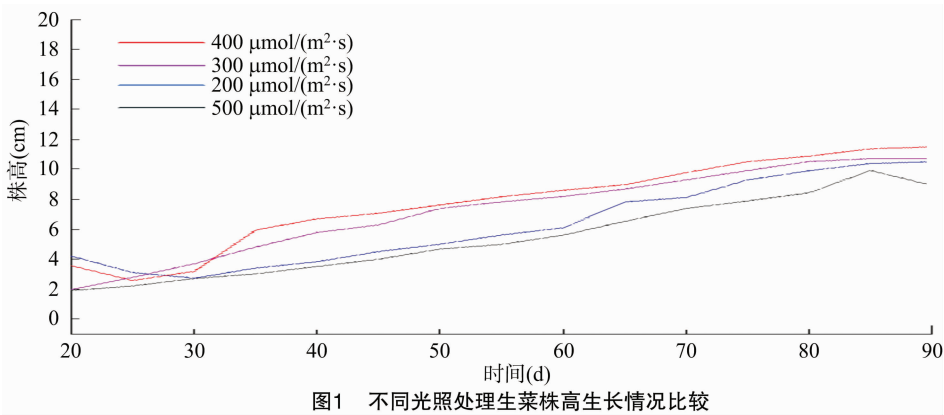


图1 不同光照处理生菜株高生长情况比较

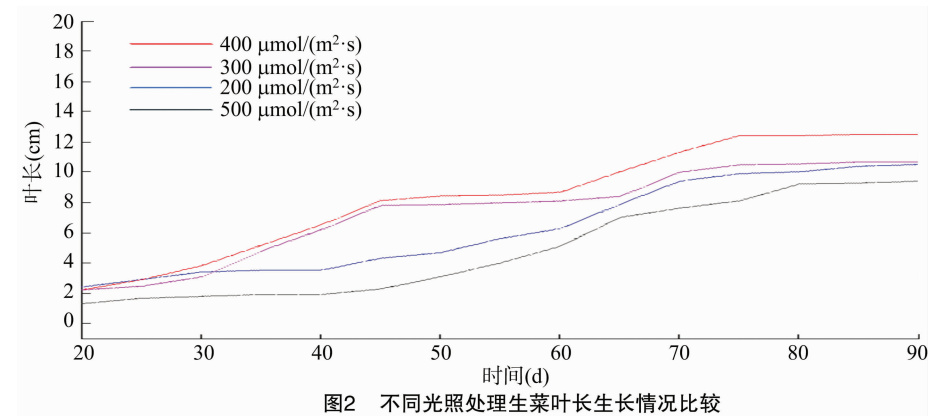


图2 不同光照处理生菜叶长生长情况比较

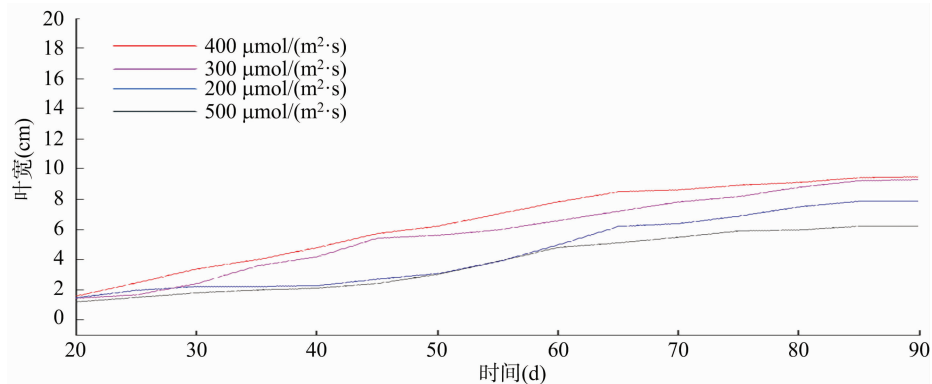


图3 不同光照处理生菜叶宽生长情况比较

上升的趋势,表明本次光照度梯度试验设置较为合理。在不同生长指标中,各组处理生菜生长情况均表现为 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 处理组 > 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 处理组 > 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 处理组 > 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 处理组。试验结果表明,当光照度设置在 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下时,逐步增加光照度可以促进生菜的生长;当光照度达到 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,再增加光照度则抑制生菜的生长。原因可能是由于高光照度的灯板产生的热量高,导致植物缺水。试验结果表明,400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照度更适合水培生菜的生长。

2 光照均匀度仿真试验

2.1 试验设计

通常 LED 光源的排布有矩阵式、三角形和圆形排列。为了探究何种排列方式的 LED 光源光照均匀性更好,基于 TracePro 软件光学仿真和 Matlab 软件三维构图,对比分析 3 种布局方法的优劣。

2.1.1 基于 TracePro 软件试验方法 在 TracePro 光学仿真环境下,选取 16 颗相同的 LED 灯珠依次以矩阵式、三角形和圆形式排列,间距设置为 4 cm,光源距离生菜 26 cm,植物工厂重点实验室的其他环境参数设置完毕后,运行软件导出仿真图。

2.1.2 基于 Matlab 软件试验方法 基于 Matlab 软件,以采集的光照度数据构建三维立体图。试验步骤是将 LED 光源间距 4 cm 依次以矩阵式、三角形、圆形式的排布方式固定在灯架上,光源距离坐标纸 26 cm。坐标纸规格为 100 cm \times 100 cm,由 1 cm \times 1 cm 的小方格组成。准备就绪后,用光照度传感器依次测量每个小方格处的光照度,最终汇总数据形成三维图。

2.2 结果与分析

2.2.1 基于 TracePro 软件的仿真结果与分析 从

图 4、图 5、图 6 可以看出,3 种排列方式均显示出光照接收面中间区域较明亮、四周逐渐变暗的光照分布特点。其中,LED 光源矩阵式排布的整体亮度明显优于三角形式、圆形式排布。考量光照均匀度的指标是光照度均匀性。由仿真结果可知,矩阵式的光照均匀性为 80.2% (图 4),三角形的光照均匀性为 70.50% (图 5),圆形式的光照均匀性为 78.5% (图 6)。由此可知,在 TracePro 光学仿真软件下,矩阵式的 LED 光源排列方式为最佳排列方式。

2.2.2 基于 Matlab 仿真结果与分析 构建的三维

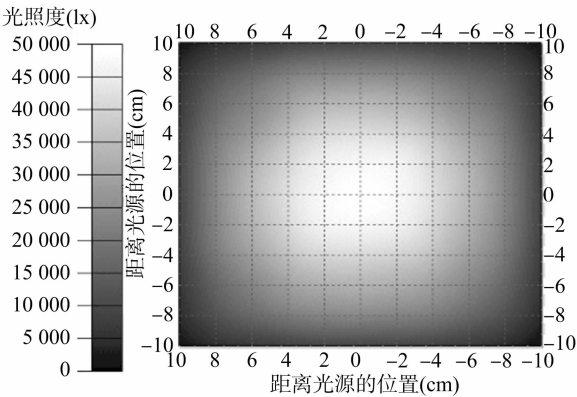


图4 矩阵式光照度分布

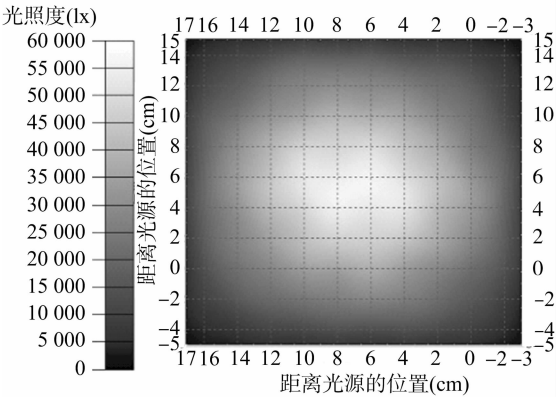


图5 三角形光照度分布

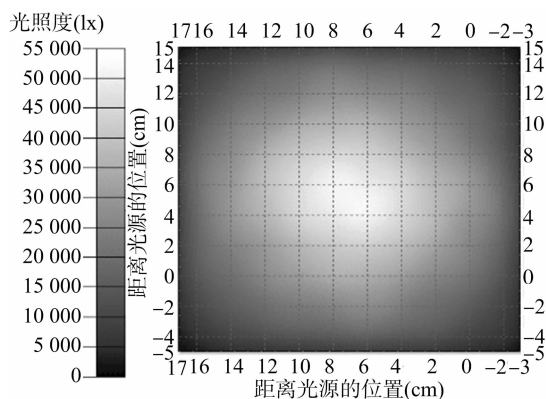


图6 圆形光照度分布

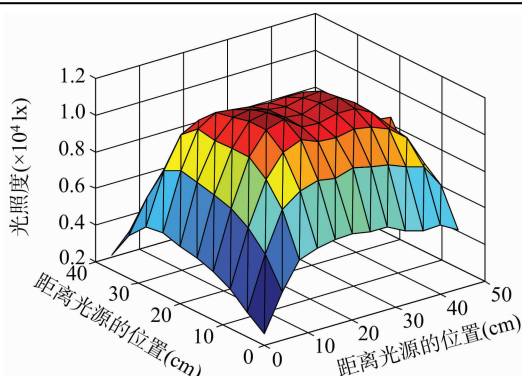


图9 圆形光照度分布

立体图中,不同颜色代表光照接收面的光照度不同。若邻近区域颜色越接近或者波峰位置平面面积越大,说明其接收到的光照度相差较小,均匀性较高。图7、图8和图9的中间区域均呈现出红色、暗红色、橙色等相近颜色,图7、图9中间区域相近颜色多于图8。比较图7、图9,在波峰位置均具有一定的平面面积,图7中的平面面积明显多于图9。表明基于实测光照度数据下,矩阵式排列方式为最佳排列方式。

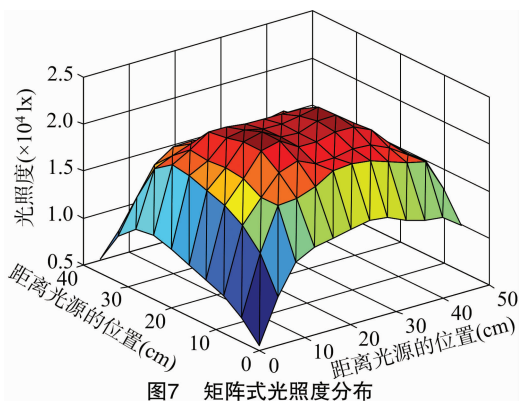


图7 矩阵式光照度分布

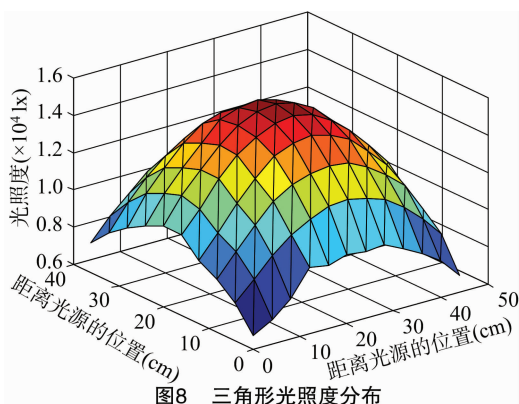


图8 三角形光照度分布

光照均匀性、光质、光照时间等组成。众多学者针对其中的部分因素开展了研究,李东星等指出,采用16 h连续光照的生菜生长态势总体优于采用16 h间歇光照的生菜生长情况^[4];丁娟娟探究了LED不同占空比对生菜生长、产量、品质及光合特性的影响^[5]。光照度和植物接收光的均匀性同样也是组成芭拉里娜生菜光配方不可或缺的部分。

本研究通过对光照度设置梯度试验,结果表明,在 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的光照度下生菜的生长情况明显优于其他3种光照度。TracePro软件、Matlab软件的仿真结果表明,相对于三角形和圆形式排布,矩阵式LED光源排布方式的均匀性最高。本试验结果表明,适合植物工厂条件下芭拉里娜生菜的最佳光配方是环境温度为 20°C ,湿度为70%~80%,矩阵式排列的LED光源距离生菜26 cm,幼苗期以红蓝光比例为7:1的复合光进行照射,生长期以红蓝光比例为6:1的复合光进行培养,光照度为 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光照时间均为12 h/d。

该光配方可作为植物工厂大规模培育芭拉里娜生菜的通用方案,也可以为其他品种生菜的培养提供参考依据,对于推进植物工厂生菜培养,具有一定的实际意义。在今后的研究中,可以考虑将光照度梯度设置小一些,使试验结果更准确。

参考文献:

- [1]方舒玲,胡笑涛,冉辉,等. 光强和营养液对水培生菜光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 北方园艺,2018(11):15-21.
- [2]刘文科,刘义飞. LED智能植物工厂光配方构建与应用[J]. 中国照明电器,2017(10):1-3.
- [3]王海鸥,李广安. 认识照明LED[J]. 中国照明电器,2004(2):2-4.
- [4]李东星,商守海,周增产,等. 植物工厂不同光源和光照方式对生菜生长的影响[J]. 长江蔬菜,2012(24):50-52.
- [5]丁娟娟. LED不同占空比对生菜生长、产量、品质及光合特性的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2014.

3 讨论与结论

培养植物的光环境参数主要由光源、光照度、