

夜间补光对黄瓜幼苗形态的调节与补光方式的确定*

申宝营 丁为民 惠娜 李洁

(南京农业大学江苏省现代设施农业技术与装备工程实验室, 南京 210031)

摘要: 为确定光质夜间延时补光对不同生长阶段黄瓜幼苗形态的影响, 制定黄瓜育苗夜间延时补光模式, 对 LED 夜间延时补光对黄瓜幼苗形态发育的影响进行了试验研究。选取“津春四号”黄瓜为试材, 以下胚轴长、子叶面积、茎粗、叶面积、节长、干物质量、叶绿素含量以及壮苗指数为指标, 研究使用红光 (R, 630 nm) 和红蓝混合光 (RB, 630 nm: 660 nm = 8: 2) 两种 LED 光源夜间延时补光 4 h 对不同生长阶段黄瓜幼苗形态的影响, 利用 Logistic 曲线对叶面积增长速率进行拟合。结果表明: 子叶期红光延时补光幼苗子叶面积和茎粗最大, 分别比对照组提高了 61.60% 和 19.55%; 一叶期红光延时补光幼苗叶面积和茎粗最大, 分别比对照组提高了 25.11% 和 14.72%; 成苗期红蓝光延时补光幼苗叶面积、茎粗、干物质量、叶绿素含量和壮苗指数最大, 分别比对照组提高了 41.92%、17.75%、45.45%、21.92%、200.00%。利用红光夜间延时补光能够促进前期 (子叶期和一叶期) 黄瓜幼苗的生长, 红蓝混合光夜间延时补光可促进后期 (二叶期至成苗期) 黄瓜幼苗的生长、提高幼苗壮苗指数。

关键词: 黄瓜 壮苗指数 夜间补光 光形态 光形态调控

中图分类号: S625.5⁺1; S642.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0296-07

引言

光照是植物生命密不可分的环境因子之一, 不但为植物光合作用提供能量源, 同时也作为信号源调节形态建成和控制生长过程^[1-2]。设施种植中光环境对蔬菜的生长有着重要影响, 调节好光环境是实现蔬菜优质高产的首要条件^[3]。育苗是蔬菜栽培中的重要环节, 由于幼苗的形态建成是一个不可逆的过程, 其质量直接影响蔬菜生长、花芽分化以及果实发育, 最终影响产量和品质^[4]。

现代农业的大力发展使得蔬菜育苗向着规模化集中育苗的方向发展^[5]。在工厂化育苗条件下, 由于高温、弱光等不良天气条件以及环境调控不当等因素会造成蔬菜幼苗生长不良、徒长和品质下降^[6]。而徒长苗会造成黄瓜前期产量的减少, 并影响果实产量和品质^[7]。利用光形态调控技术培育壮苗是一项节能环保、经济有效且简便易行的方法^[8]。补光可以提高作物光合作用速率, 增加叶面积, 提高幼苗壮苗指数, 改善幼苗质量^[9]。补光光强、补光光质以及补光时长都会对黄瓜幼苗质量起到调控的作用^[10-11]。补光光强主要通过影响光合的方式调控幼苗质量, 而光质和光照时长则主要以

光形态的方式调控幼苗质量。光质对蔬菜幼苗的叶面积扩展、干物质积累、茎粗增长、叶绿素含量以及壮苗指数都存在影响^[12-13], 光照时长对幼苗的生长也存在影响^[14]。有报道指出红光^[15-16]、红蓝混合光^[17-22]以及夜间延时补光^[14, 23-24]对蔬菜幼苗的生长发育、茎的伸长、叶面积的扩展、色素含量、壮苗指数、根系生长、光合速率等均有影响。黄瓜苗期可以分为发芽期、子叶期、一叶期和成苗期等几个生长阶段^[25], 光照对蔬菜幼苗不同生长阶段的生长发育的影响存在差异, 苗期弱光条件导致番茄幼苗徒长、可溶性糖和可溶性蛋白下降、坐果率增加, 而开花坐果期弱光使 POD 酶活性和可溶性蛋白含量增加、坐果率下降^[26]; 不同叶龄的叶片光合速率会有差异^[14], 不同生长阶段使用红光或红蓝混合光可改变生菜生长速度和花青素含量^[27], 紫外线 UV-B 对不同苗龄黄瓜幼苗代谢物含量的影响差异显著^[28]。而利用红光和红蓝混合光进行夜间延时补光调节黄瓜幼苗不同生长阶段形态、调控幼苗徒长的报道较少。为此, 本文利用红光和红蓝混合光 LED 光源对黄瓜幼苗进行夜间延时补光, 研究红光和红蓝混合光对不同生长阶段黄瓜幼苗形态的影响, 探讨夜间补光对幼苗徒长的调控作用, 以寻找一种有利于培育壮苗

收稿日期: 2013-12-09 修回日期: 2014-02-13

* 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2012AA101904) 和江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目 (CXZZ12-0272)

作者简介: 申宝营, 博士生, 主要从事农业生物环境模拟与控制研究, E-mail: shenby889@foxmail.com

通讯作者: 丁为民, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生物环境控制与模拟研究, E-mail: wmding@njau.edu.cn

的光形态调节模式。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以津春 4 号黄瓜为试材,育苗基质为腐熟牛粪:珍珠岩:蛭石 = 2: 1: 1 的混合基质。试验装置为长 1 200 mm、宽 600 mm、高 1 200 mm 的钢架,光源设于顶部,整个装置用遮光布遮盖,不同光源间悬挂遮光板,以避免外界光源和不同光源间的影响。

试验光源为 LED 植物生长灯,购于深圳联邦重科电子科技有限公司,每盏灯由 225 个超高亮度红色(波长 630 nm)或蓝色(波长 460 nm)灯珠组成,光照面积为 300 mm × 300 mm。试验 1 选取红光(R)、红蓝混合光(7R3B、8R2B、9R1B)和蓝光(B)5 种 LED 光源,试验 2 选取 R 和红蓝混合光(8R2B,光强比 R: B = 8: 2)2 种 LED 光源。调整光源高度使各处理幼苗接收的光照强度均为 35 μmol/(m²·s),使用 GLZ—C 型光量子计(浙江托普有限公司)测量光照强度。

1.2 试验设计

试验 1、2 分别于 2012 年 4 月—6 月和 2012 年 10 月—11 月在南京农业大学工学院试验用 Venlo 型玻璃温室中进行。试验 1 设对照组(CK)和 R、7R3B、8R2B、9R1B、B 补光各 4 h 共 6 个处理;试验 2 设对照组(CK)和 R、8R2B 各补光 4 h 共 3 个处理,每处理 3 次重复,每重复 15 株幼苗。

黄瓜分别在 4 月 28 日和 10 月 14 日播种于育苗钵中(上口径 70 mm、高 100 mm),子叶展平后(5 月 13 日和 10 月 20 日)开始处理,浇灌 Hoagland 营养液对幼苗进行培养,待幼苗全部长至 3 叶 1 心时(6 月 4 日和 11 月 19 日)结束处理。试验期间白天(7:00—19:00)将幼苗放在温室内培养,晚上移入试验装置中进行 4 h(19:00—23:00)补光处理,

CK 幼苗不作补光处理,其他与处理组相同。

1.3 测试指标与方法

在子叶期测定下胚轴长、子叶面积和茎粗;分别于一叶期(一叶一心)、二叶期(二叶一心)、成苗期(所有幼苗三叶一心时)测定子叶面积和茎粗;处理结束后测定幼苗根、茎、叶干鲜质量和叶片叶绿素含量。每处理随机选取 6 株幼苗,用直尺测量下胚轴长度、节间长度、株高、子叶长和宽以及真叶长和宽,用游标卡尺测茎粗,用电子天平称量根、茎、叶干鲜质量,使用 80% 丙酮浸取法^[29]测定叶绿素含量,3 次重复。子叶面积和叶面积分别按长宽法进行计算:子叶面积等于 0.051 的子叶长乘子叶宽,总叶面积等于 0.745 单叶长乘单叶宽之和;壮苗指数依张振贤等^[30]的方法计算:壮苗指数等于茎粗和株高之商乘以全株干质量,根冠比等于地下部干质量与地上部干质量之比;根(茎、叶)分配率等于根(茎、叶)干质量与全株干质量之比。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2003 软件对数据进行处理与作图,利用 SPSS-Statistics 20.0 软件和 Matlab 2010a 统计工具箱对数据进行显著性分析,采用 Tukey HSD 方法进行多重比较(α = 0.05)。

2 结果与分析

2.1 夜间延时补光光质选择

试验 1 不同光质 LED 光源夜间延时补光对黄瓜幼苗形态发育的影响如表 1 所示。不同光质夜间延时补光均能显著缩短幼苗下胚轴长度,红蓝混合光 and 红光延时补光均能够促进幼苗茎粗的增加,而蓝光夜间延时补光的黄瓜幼苗茎粗、苗高、叶面积、全株干质量、叶绿素含量以及壮苗指数都和对照组无显著差异。红蓝混合光中以 8R2B 补光对黄瓜幼苗形态调控的效果最为显著。

表 1 不同光质补光对黄瓜幼苗形态指标的影响

Tab.1 Morphology of cucumber seedling at young plant stage under LED night lighting

处理	下胚轴长/cm	茎粗/mm	苗高/cm	全株干质量/g	叶绿素含量/(mg·g ⁻¹)	壮苗指数
7R3B	6.43 ± 0.44 ^e	3.27 ± 0.2 ^{ab}	12.10 ± 0.14 ^e	0.49 ± 0.10 ^{bc}	1.83 ± 0.05 ^e	0.14 ± 0.04 ^b
8R2B	5.24 ± 0.31 ^a	4.03 ± 0.13 ^c	9.44 ± 0.50 ^a	0.52 ± 0.12 ^c	2.03 ± 0.16 ^d	0.21 ± 0.06 ^c
9R1B	5.78 ± 0.28 ^{ab}	3.55 ± 0.21 ^{bc}	10.82 ± 0.31 ^b	0.36 ± 0.05 ^{ab}	1.67 ± 0.04 ^{ab}	0.12 ± 0.02 ^{ab}
R	5.68 ± 0.23 ^{ab}	3.48 ± 0.47 ^{bc}	11.00 ± 0.81 ^b	0.43 ± 0.04 ^{bc}	1.71 ± 0.06 ^{abc}	0.14 ± 0.01 ^b
B	6.04 ± 0.12 ^{bc}	2.87 ± 0.25 ^a	10.84 ± 0.00 ^b	0.26 ± 0.04 ^a	1.56 ± 0.07 ^a	0.07 ± 0.02 ^a
CK	7.00 ± 0.32 ^d	2.83 ± 0.38 ^a	11.58 ± 0.88 ^{bc}	0.36 ± 0.08 ^{ab}	1.73 ± 0.01 ^{bc}	0.09 ± 0.03 ^a

注:表中数据为同一处理的均值 ± 标准误差;同列数据后不同字母表示在 0.05 水平下的差异显著。下同。

红光、蓝光以及红蓝混合光对黄瓜幼苗叶面积增长的调节如图 1 所示。蓝光夜间延时补光对黄瓜幼苗叶面积增长的影响与 CK 无差异,而红光和红

蓝混合光对黄瓜幼苗叶面积增长的促进作用显著大于对照和蓝光补光,且红光延时补光在黄瓜幼苗生长前期对叶面积增长的促进作用较大,而红蓝混合

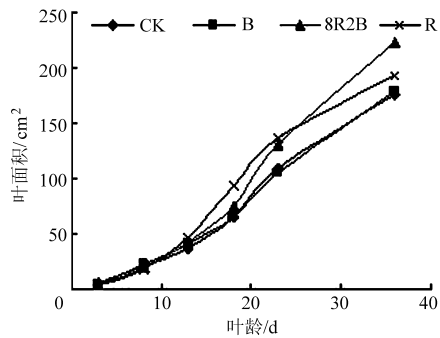


图1 不同光质夜间延时补光下黄瓜幼苗叶面积生长变化

Fig. 1 Leaf area of cucumber seedlings under LED night lighting of different light quality

光在幼苗生长后期对叶面积增长的促进作用较大。由表1和图1可知,蓝光夜间延时补光对黄瓜幼苗形态生长发育的影响与对照无显著差异,而红蓝混合光中以8R2B调节效果显著,因此在试验2中选取R、8R2B两种LED光质作为夜间延时补光光源。

2.2 夜间延时补光对子叶期幼苗形态的影响

子叶期下胚轴长度、茎粗和子叶面积是反映幼苗表观生长状况的指标,R和8R2B光质夜间延时补光对黄瓜幼苗子叶期形态的影响见表2。由表2可以看出,R和8R2B补光的子叶期下胚轴长度分别比CK缩短了27.69%和35.00%,R补光下子叶

期茎粗和子叶面积分别比对照增加了19.55%和61.60%,差异均达到了显著水平($P < 0.05$);8R2B补光对子叶期茎粗和子叶面积的影响和CK无显著差异。子叶期R或8R2B延时补光均可缩短下胚轴长度、抑制幼苗徒长,R延时补光可增大子叶面积、促进幼苗生长。

表2 LED延时补光子叶期黄瓜幼苗形态

Tab. 2 Morphology of cucumber seedlings at cotyledon stage under LED night lighting

处理	下胚轴长/cm	茎粗/mm	子叶面积/cm ²
8R2B	5.07 ± 0.04 ^a	1.84 ± 0.10 ^a	2.74 ± 0.59 ^a
R	5.64 ± 0.19 ^b	2.14 ± 0.21 ^b	4.25 ± 0.70 ^b
CK	7.80 ± 0.30 ^c	1.79 ± 0.30 ^a	2.63 ± 0.57 ^a

2.3 夜间延时补光对一叶期幼苗形态的影响

幼苗一叶期叶面积和茎粗反映了幼苗在这一时期的生长状态和健壮程度。R和8R2B光质夜间延时补光对幼苗一叶期形态的影响见表3。由表3可以看出R延时补光下4 d、6 d、10 d叶龄幼苗叶面积和茎粗分别比CK高17.75%、15.18%、25.11%和19.55%、17.22%、14.72%,其差异均达到了显著水平($P < 0.05$);8R2B补光对一叶期各叶龄形态的影响和对照无显著差异。R补光对一叶期叶面积的影响存在长期效应而对茎粗影响的短期效应明显。

表3 夜间延时补光下不同叶龄一叶期幼苗叶面积和茎粗

Tab. 3 Leaf area and stem diameter of different leaf age cucumber seedlings at one leaf stage under LED night lighting

处理	叶面积/cm ²			茎粗/mm		
	4 d 叶龄	6 d 叶龄	10 d 叶龄	4 d 叶龄	6 d 叶龄	10 d 叶龄
8R2B	13.52 ± 1.47 ^a	20.23 ± 1.20 ^a	25.77 ± 2.86 ^a	1.84 ± 0.10 ^a	2.13 ± 0.14 ^a	2.26 ± 0.13 ^a
R	16.23 ± 2.15 ^a	25.72 ± 5.25 ^b	33.08 ± 6.13 ^b	2.14 ± 0.21 ^b	2.45 ± 0.28 ^b	2.65 ± 0.29 ^b
CK	14.68 ± 2.56 ^a	22.33 ± 3.56 ^{ab}	26.44 ± 3.32 ^a	1.79 ± 0.30 ^a	2.09 ± 0.16 ^a	2.31 ± 0.15 ^a

2.4 夜间延时补光对成苗期幼苗形态的影响

成苗期的形态指标能够表观此时期幼苗的质量,色素含量能够体现幼苗的光合能力。R和8R2B夜间延时补光对幼苗成苗期生长发育的影响见表4。由表4可以看出,R和8R2B延时补光对成苗期幼苗茎粗、总叶面积、干重、叶绿素含量、壮苗指数分别比CK高11.83%、11.88%、14.55%、11.64%、87.50%和17.75%、41.92%、45.45%、21.92%、200.00%,差异均达到了显著水平($P < 0.05$);R和8R2B补光节长分别比CK缩短了10.44%和25.82%。R补光成苗期第1片真叶面积比CK大35.28%,差异显著($P < 0.05$);8R2B补光下成苗期第2、3片真叶分别比CK大13.95%和102.05%,差异显著($P < 0.05$);且8R2B补光下幼苗叶片数为4片而CK为3片;R补光下第2、3片真叶面积和CK无显著差异。

根、茎、叶干物质分配率体现了夜间补光对幼苗干物质分配的影响,根冠比反映了植物地下部分与地上部分的相关性。R和8R2B夜间延时补光对黄瓜幼苗干物质分配的影响见表5。由表5可以看出,夜间延时补光对根分配率的影响差异不显著,8R2B补光下茎分配率比CK小11.45%,叶分配率比CK大8.32%,差异显著($P < 0.05$);而R补光下茎分配率和页分配率与CK差异不显著。

2.5 夜间延时补光黄瓜幼苗叶面积和茎粗生长变化

叶面积和茎粗的生长变化可以反映出LED夜间补光对黄瓜幼苗生长的影响,夜间延时补光下黄瓜幼苗叶面积和茎粗的变化见图2。由图2可以看出,R延时补光可增大幼苗第1片真叶叶面积,10 d叶龄前R和8R2B夜间延时补光对第2片真叶的生长无显著影响,而10 d叶龄后8R2B夜间可增大

表 4 LED 延时补光对黄瓜幼苗形态的影响

Tab.4 Morphology of cucumber seedling at young plant stage under LED night lighting										
处理	茎粗 /mm	节长 /cm	干质量 /g	叶绿素含量 /(mg·g ⁻¹)	壮苗 指数	总叶 面积/cm ²	第 1 叶 面积/cm ²	第 2 叶 面积/cm ²	第 3 叶 面积/cm ²	第 4 叶 面积/cm ²
8R2B	3.98±0.27 ^b	2.70±0.29 ^c	0.80±0.03 ^c	1.78±0.02 ^c	0.48±0.05 ^c	155.36±18.25 ^b	28.11±2.52 ^a	65.34±7.87 ^b	46.23±5.89 ^b	15.68±3.55
R	3.78±0.22 ^b	3.26±0.25 ^b	0.63±0.02 ^b	1.63±0.09 ^b	0.30±0.40 ^b	122.48±31.24 ^a	39.57±7.35 ^b	53.68±4.40 ^a	24.12±2.47 ^a	5.11
CK	3.38±0.23 ^a	3.64±0.24 ^a	0.45±0.03 ^a	1.46±0.02 ^a	0.16±0.39 ^a	109.47±18.32 ^a	29.25±3.10 ^a	57.34±7.23 ^a	22.88±6.82 ^a	—

注：在调查样本中未全部出现第 4 片真叶，“—”表示植株未长出第 4 片真叶。

表 5 夜间延时补光对黄瓜幼苗干物质分配率的影响

Tab.5 Effect of night lighting on dry matter distribution index of cucumber seedlings				
处理	根分配率/%	茎分配率/%	叶分配率/%	根冠比
8R2B	11.58 ^a	27.37 ^a	61.05 ^b	0.13 ^a
R	11.84 ^a	30.27 ^b	57.89 ^a	0.13 ^a
CK	12.73 ^a	30.91 ^b	56.36 ^a	0.15 ^a

第 2 片真叶叶面积。总叶面积和茎粗在 20 d 叶龄前以 R 延时补光下最大,20 d 叶龄之后以 8R2B 延时补光为最大。R 和 8R2B 夜间延时补光对幼苗生长的影响在不同生长时期存在差异。

2.6 夜间延时补光对黄瓜幼苗叶面积增长的影响

植物生长曲线和生长速率曲线是对植物总体生长的描述,反映了植物在某特定时刻下的生长状态。

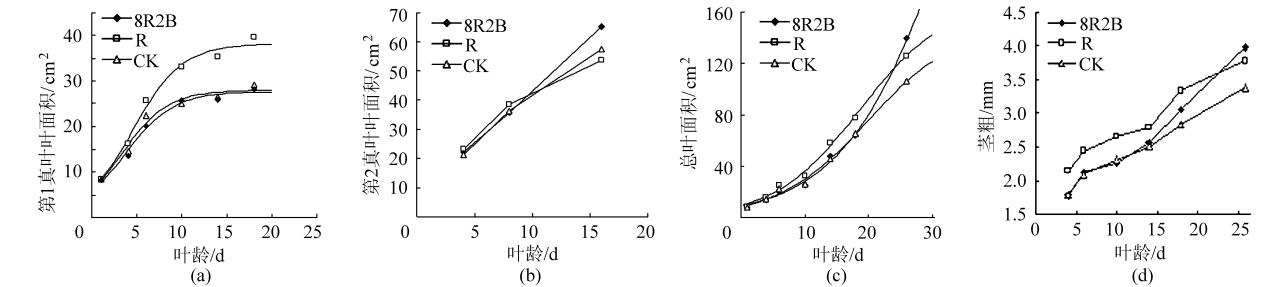


图 2 夜间延时补光下黄瓜幼苗叶面积和茎粗生长变化

Fig.2 Leaf area and stem diameter of cucumber seedlings under LED night lighting

表 6 不同光质 LED 延时补光黄瓜幼苗叶面积

生长 Logistic 曲线拟合参数

Tab.6 Parameter of Logistic curve for growth of cucumber seedlings leaf area under different LED night lighting					
	处理	A ₀ /cm ²	k	t _m /d	R ²
第 1 真叶面积	8R2B	27.67	0.369	3.65	0.997
	R	38.18	0.364	4.50	0.996
	CK	27.97	0.389	3.31	0.996
幼苗总叶面积	8R2B	484.17	0.117	33.81	0.997
	R	168.19	0.150	18.67	0.996
	CK	151.16	0.141	19.94	0.996

拟合结果表明,R、8R2B 和 CK 光质延时补光调控和 CK 下的黄瓜幼苗第 1 真叶的生长速率分别在 4.50、3.65 和 3.31 d 叶龄期达到最大,最大生长速率分别为 3.47、2.55 和 2.72 cm²/d;黄瓜幼苗叶面

利用 Logistic 曲线对夜间延时补光下黄瓜幼苗叶面积增长曲线(式 1)进行分析,分别可得到不同光质延时补光调控黄瓜幼苗叶片面积生长曲线,并可求出其生长速率曲线(式 2)。叶面积变化曲线拟合参数见表 6。

$$A = \frac{A_0}{1 + \exp(-k(t - t_m))} \tag{1}$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{A_0 k \exp(-k(t - t_m))}{[1 + \exp(-k(t - t_m))]^2} \tag{2}$$

式中 A——叶面积,cm² t——叶龄,d
dA/dt ——增长速率,cm²/d
A₀——生长潜力,cm²
k——生长系数
t_m——最大生长速率时的叶龄,d

积生长速率分别在 19.94、18.67 和 33.81d 叶龄期达到最大,分别为 6.31、14.16 和 5.33 cm²/d。依据黄瓜叶面积生长曲线和生长速率曲线,可得到黄瓜叶面积累积生长量、生长速率、平均生长速率以及相对生长速率曲线,如图 3 所示。由图 3 可知,8R2B 光质延时补光调控下的黄瓜幼苗叶面积累积生长量、叶面积增长速率、叶面积平均增长速率和叶面积相对增长速率分别在 24 d、17 d、24 d 和 13 d 叶龄后大于 R 光质延时补光组黄瓜幼苗。由于光质对植物的影响在不同时期存在差异,依据生长曲线参数值可以制定黄瓜幼苗夜间延时补光策略:幼苗子叶期和一叶期(13d 叶龄前)使用 R 光质延时补光,在第 2 片真叶展平后改用 8R2B 光质进行延时补光,可更显著地促进幼苗生长,提高幼苗健壮程度,缩短育苗周期。

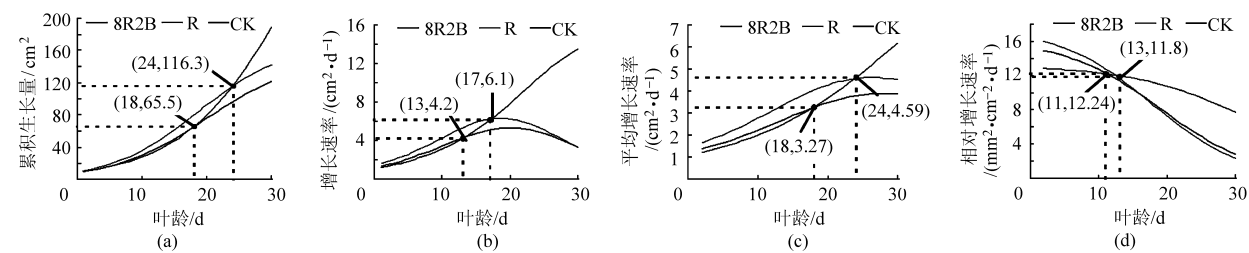


图3 夜间延时补光下黄瓜幼苗叶面积生长曲线

Fig.3 Leaf area growth curves of cucumber seedlings under LED night lighting

3 讨论

夜间补光有利于促进黄瓜幼苗的生长和干物质积累,有助于提高壮苗指数,可以改变黄瓜幼苗叶片内生长素(IAA)、赤霉素(GA)、玉米素(ZR)以及脱落酸(ABA)的含量,进而调节黄瓜幼苗的生长发育^[24]。本试验利用红光对黄瓜幼苗进行夜间延时补光,能够有效降低幼苗下胚轴长,抑制子叶期幼苗徒长,显著提高子叶期和一叶期黄瓜幼苗子叶面积和茎粗。这是因为红光能够促进植物子叶伸长,并可通过降低植物体内GA的含量抑制茎的过度生长^[31]。蓝光可以促进茎叶细胞分裂素累积,提高IAA氧化酶的活性,降低IAA的水平而促进茎粗的增加抑制植物的伸长生长^[31]。本试验中利用红蓝混合光夜间延时补光可以促进成苗期黄瓜幼苗叶面积、茎粗、壮苗指数、生物量、叶片数以及叶绿素含量的增加,可以降低节间长度和株高。

夜间延时补光对黄瓜幼苗的影响通过光受体影响幼苗形态而非直接影响光合作用调节幼苗生长,这是因为夜间延时补光光照强度为35 μmol/(m²·s),低于黄瓜幼苗光补偿点。红蓝光质不同比例对黄瓜幼苗生长发育的影响存在差异,红蓝混合光相对于单一光质补光对黄瓜幼苗的促进作用更好。不同红蓝光质比例下黄瓜幼苗叶绿素含量、叶面积、干物质积累以及可溶性糖含量均会存在差异^[22]。本试验

中红蓝混合光以R:B=8:2比例延时补光的黄瓜幼苗生长最佳,能够显著促进黄瓜幼苗生长。

光质对植物生长的影响具有阶段性,光敏色素和蓝光受体的基因表达具有特定的时间顺序和空间位置效应,使红光和蓝光在促进叶片生长的过程中有不同的效应^[32]。本试验中子叶期和一叶期红光促进幼苗生长的作用显著,红蓝光对成苗期幼苗的生长的促进作用效果显著。幼苗前期红蓝光补光的黄瓜幼苗生长速率小于红光补光,而后期红蓝光补光对幼苗生长的促进作用增大,说明红、红蓝光对黄瓜幼苗形态和生长的影响在不同的生长时期存在差异。

4 结束语

红光LED延时补光可促进黄瓜幼苗早期的生长发育,促进子叶期和一叶期幼苗的生长。随着幼苗的生长,红光补光对黄瓜幼苗生长的促进作用逐渐减弱,而红蓝光延时补光对黄瓜幼苗生长发育的促进作用在其生长前期不显著,二叶期之后红蓝光的促进作用增强,能够显著提高壮苗指数,控制幼苗徒长。根据不同生长时期黄瓜幼苗对LED光源延时补光的响应特性,制定黄瓜幼苗延时补光策略为:生长前期(子叶期和一叶期)采用红光LED对黄瓜幼苗进行延时补光,后期(二叶期以后)采用红蓝LED混合光进行延时补光。优化调控幼苗生长的补光条件,可促进黄瓜幼苗生长发育。

参 考 文 献

1 马承伟, 苗香雯. 农业生物环境工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005:144.

2 张海辉, 胡瑾, 杨青, 等. 设施农业可调光质精确补光系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(3): 181-186.

Zhang Haihui, Hu Jin, Yang Qing, et al. Realization of light quality adjustable precise light compensating method in greenhouse agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3): 181-186. (in Chinese)

3 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.

Cui Jin, Xu Zhigang, Di Xiuru. Applications and prospects of light emitting diode in plant protected culture[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8):249-253. (in Chinese)

4 苏娜娜, 邬奇, 崔瑾. LED光质补光对黄瓜幼苗生长和光合特性的影响[J]. 中国蔬菜, 2012(24): 48-54.

Su Nana, Wu Qi, Cui Jin. Effects of supplemental lighting with LED light quality on growth and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings[J]. China Vegetables, 2012(24):48-54. (in Chinese)

5 赵有生. 蔬菜工厂化育苗的智能管理与综合评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.

6 战吉成, 黄卫东, 王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. 植物学通报, 2003, 20(1):43-50.

Zhan Jicheng, Huang Weidong, Wang Lijun. Research of weak light stress physiology in plants[J]. Chinese Bulletin of Botany,

- 2003, 20(1):43–50. (in Chinese)
- 7 明村豪, 蒋芳龄, 胡宏敏, 等. 幼苗徒长程度对黄瓜植株生长发育及产量品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(4): 29–34. Ming Cunhao, Jiang Fangling, Hu Hongmin, et al. Effects of different leggy extent seedlings on cucumber growth, yield and quality[J]. China Vegetables, 2011(4):29–34. (in Chinese)
- 8 Hogewoning S W, Trouwborst G, Maljaars H, et al. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(11): 3107–3117.
- 9 倪纪恒, 陈学好, 陈春宏, 等. 补充不同光质对温室黄瓜生长发育、光合和前期产量的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(7):2615–2623. Ni Jiheng, Chen Xuehao, Chen Chunhong, et al. Effects of supplemental different light qualities on growth, photosynthesis, biomass partition and early yield of greenhouse cucumber[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(7):2615–2623. (in Chinese)
- 10 王惠哲, 庞金安, 李淑菊, 等. 弱光处理对春季温室不同品种黄瓜生长发育的影响[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(2): 156–160. Wang Huizhe, Pang Jin'an, Li Shuju, et al. Effects of weak light treatment on growth and development of different varieties of *Cucumis sativus* L. in spring greenhouse[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2006, 40(2): 156–160. (in Chinese)
- 11 胡阳, 江莎, 李洁, 等. 光强和光质对植物生长发育的影响[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2009, 30(4): 296–303. Hu Yang, Jiang Sha, Li Jie, et al. Effect of the light intensity and quality of plant growth and development[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2009, 30(4): 296–303. (in Chinese)
- 12 崔瑾, 马志虎, 徐志刚, 等. 不同光质补光对黄瓜、辣椒和番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(5): 663–670. Cui Jin, Ma Zhihu, Xu Zhigang, et al. Effects of supplemental lighting with different light qualities on growth and physiological characteristics of cucumber, pepper and tomato seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(5):663–670. (in Chinese)
- 13 陈强, 刘世琦, 张自坤, 等. 不同 LED 光源对番茄果实转色期品质的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 156–161. Chen Qiang, Liu Shiqi, Zhang Zikun, et al. Effect of different light emitting diode sources on tomato fruit quality during color-changed period[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5): 156–161. (in Chinese)
- 14 Pettersen R I, Torre S, Gislerd H R. Effects of leaf aging and light duration on photosynthetic characteristics in a cucumber canopy [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 125(2):82–87.
- 15 余新, 杨振超, 曹凯, 等. 红光暗期多点打断对黄瓜和番茄幼苗生长发育及光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(5): 121–126. She Xin, Yang Zhenchao, Cao Kai, et al. Effects of red light night multi-break on growth and photosynthetic characteristics of cucumber and tomato seedlings[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2013, 41(5): 121–126. (in Chinese)
- 16 郭银生, 谷艾素, 崔瑾. 光质对水稻幼苗生长及生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6):1485–1492. Guo Yinsheng, Gu Aisu, Cui Jin. Effects of light quality on rice seedlings growth and physiological characteristics [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(6):1485–1492. (in Chinese)
- 17 Li Q, Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67(1): 59–64.
- 18 Savvides A, Fanourakis D, Wim van Ieperen. Co-ordination of hydraulic and stomatal conductances across light qualities in cucumber leaves[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(3): 1135–1143.
- 19 Chen C, Xiao Y G, Li X, et al. Light-regulated stomatal aperture in Arabidopsis [J]. Molecular Plant, 2012, 5(3):40–46.
- 20 Kim S J, Hahn E J, Heo J W, et al. Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 101(1–2): 143–151.
- 21 Andrea F M, Marcos Vinícius L C, Eliana S T, et al. The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze [J]. Environmental and Experimental Botany, 2011, 70: 43–50.
- 22 王绍辉, 孔云, 程继鸿, 等. 补充单色光对日光温室黄瓜光合特性及光合产物分配的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9):203–206. Wang Shaohui, Kong Yun, Cheng Jihong, et al. Effects of supplied light on photosynthetic characteristics and translocation of ¹⁴C-assimilates of cucumber growing under solar greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 203–206. (in Chinese)
- 23 李海云, 韩国徽, 任秋萍, 等. 不同光周期对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(3): 201–203. Li Haiyun, Han Guohui, Ren Qiuping, et al. The effect of different photoperiod on growth of cucumber seedling[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2009, 18(3): 201–203. (in Chinese)
- 24 李海云, 刘焕红. 夜间补光对黄瓜幼苗激素含量及养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(16):74–78. Li Haiyun, Liu Huanhong. Effects of supplementary illumination at night on hormones content and nutrient absorption of cucumber seedlings[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(16):74–78. (in Chinese)
- 25 程琳, 赵立群, 吴新新, 等. 不同苗龄期黄瓜根系生理生化及形态指标的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(1): 181–186.

Cheng Lin, Zhao Liquan, Wu Xinxin, et al. The study on root physiological and biochemical characteristics of cucumber plug seedlings in different seedling stages[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(1): 181 – 186. (in Chinese)

26 侯兴亮, 李景富, 许向阳. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(2): 123 – 127. Hou Xingliang, Li Jingfu, Xu Xiangyang. Effects of low light on morphological and physiological indexes of tomato at different growth stages[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(2): 123 – 127. (in Chinese)

27 Lee J G, Oh S S, Cha Y C, et al. Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and contents of baby leaf lettuce [J]. Journal of Bio-Environment Control, 2010, 19(4): 351 – 359.

28 Tevini M, Steinmuller D. Influence of light, UV-B radiation, and herbicides on wax biosynthesis of cucumber seedling[J]. Journal of Plant Physiology, 1987, 131(1): 111 – 121.

29 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 67 – 70.

30 张振贤, 程智慧. 高级蔬菜生理学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2008:14.

31 徐凯, 郭延平, 张上隆. 不同光质对草莓叶片光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 369 – 375.

Xu Kai, Guo Yanping, Zhang Shanglong. Effect of light quality on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in strawberry leaves[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 369 – 375. (in Chinese)

32 江明艳, 潘远智. 不同光质对盆栽一品红光合特性及生长的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(2): 338 – 343.

Jiang Mingyan, Pan Yuanzhi. Effects of light quality on the photosynthetic characteristics and growth of poinsettia[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(2): 338 – 343. (in Chinese)

Regulation of LED Night Lighting on Growth and Morphology of Cucumber Seedlings and Process of Night Lighting

Shen Baoying Ding Weimin Hui Na Li Jie

(Engineering Laboratory of Modern Facility Agricultural Technology and Equipment, Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: The effects of night lighting on growth and morphology of cucumber seedlings in different stages were investigated with different light quality to improve seedling cultivation through photomorphogenesis, and the method of night lighting for cucumber seedlings were discussed. Cucumber seedlings were irradiated with 35 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ red (R) or red and blue (RB) light from light emitting diodes (LED) for 2 hours in the night(19:00 – 21:00) at the temperature of 18 ~ 20℃. The effects of night lighting on growth, hypocotyls length, cotyledon area, stem diameter, leaf area, internodes length, dry weight, chlorophyll content and seedling index of cucumber seedlings at different stage were measured. Logistic curve was used to fitting the growth rate of leaf area. The cotyledon area and stem diameter were improved by 61.60% and 19.55% respectively compared to contrast at cotyledon stage, and leaf area and stem diameter were improved by 61.60% and 19.55% respectively compared to contrast at one leaf stage with R light night lighting. After three leaves stage, leaf area, stem diameter, dry weight, chlorophyll content and seedling index of cucumber seedlings with RB night lighting were improved by 41.92% , 17.75% , 45.45% , 21.92% , 200% compared to contrast, respectively. Night lighting could improve the growth and health index of cucumber seedlings. R light and RB light could improve the growth and health index of the earlier period (cotyledon stage and one leaf stage) and later period (after two leaves stage) cucumber seedlings, respectively. The method of using R light for early period and RB light for later period as night light could improve the quality of cucumber seedlings.

Key words: Cucumber Seedling index Night lighting Photomorphology Photo morphology regulation