

LED补光对薄皮甜瓜幼苗生长及果实品质的影响

崔晓辉, 郭小鸥, 孙天宇, 齐红岩*

沈阳农业大学园艺学院, 设施园艺省部共建教育部重点实验室, 环渤海湾地区设施蔬菜优质高效生产协同创新中心, 沈阳110866

摘要: 本文以薄皮甜瓜‘玉美人’为试材, 研究LED补光对薄皮甜瓜幼苗生长及果实品质的影响, 以期筛选出较优的补光光质。幼苗于三叶一心时开始补光, 共设5种光质(红光、蓝光、红蓝3:1、红蓝6:1、红蓝8:1)处理, 连续补光2周后测定其生长情况、壮苗指数及光合指标。果期在甜瓜花后10 d开始补光, 设3种光质(红、蓝、红蓝6:1)处理, 光照处理5、10、15和20 d后测定果实品质相关指标。结果显示, 红光下幼苗植株最高, 其次是红蓝6:1、8:1、3:1和蓝光; 蓝光及红蓝6:1处理下茎粗及叶面积最大, 其次是红蓝8:1、3:1和红光; 红蓝6:1处理的幼苗干重和鲜重及壮苗指数最大; 红蓝6:1及蓝光处理下叶绿素b含量最高, 而叶绿素a在各处理间无显著差异; 红蓝6:1处理下净光合速率及胞间CO₂浓度最大。果期同一补光时间内, 红蓝6:1处理的甜瓜果实糖和酯类物质含量高于红光及蓝光, 而其他物质无显著差异。这些结果表明, LED补光能促进甜瓜幼苗生长, 提高壮苗指数, 有效提高果实产量以及糖和香气物质的含量, 红蓝6:1是薄皮甜瓜最佳的补光光质。

关键词: LED补光; 光质; 薄皮甜瓜; 壮苗指数; 果实品质

薄皮甜瓜为葫芦科甜瓜属一年生蔓性草本植物, 在中国有着悠久的栽培历史, 深受消费者喜爱。甜瓜是喜光作物, 对光强和光质有较高的要求(郝东川和司雨2012)。然而, 在设施栽培条件下, 由于棚膜老化、污染及骨架材料遮阴等, 致使设施内光照不足, 严重影响甜瓜的生长发育及产量和品质(李承志等2001)。因此, 如果能在甜瓜育苗及果实生长发育的关键时期应用人工补光技术, 必将对甜瓜培育壮苗及产量和品质有积极作用。发光二极管(light emitting diode, LED)作为一种新型人工光源, 具有节能环保、寿命长、体积小、安全稳定、易于组合安装等许多其他光源不具备的特点(崔瑾等2008)。世界上最早将LED用于植物栽培的是日本三菱公司, 1982年用波长650 nm红色LED进行温室番茄补光(杨其长和张成波2005)。随后, 利用LED补光陆续在不同作物上应用, 均取得了较好的效果。对莴苣上的研究表明, 波长660 nm的红色LED与蓝色荧光灯组合较单色光下的叶面积显著提高(许莉等2007); 在红蓝11:1处理下其净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)及蒸腾速率(T_r)最大, 利于莴苣生长(Borowski等2015)。在黄瓜上的研究表明, 蓝光处理能够促进幼苗干物质的积累, 增加幼苗的叶面积(唐大为等2007); LED光照下植株生长速率高于其他处理(徐文栋等2015); 不同红蓝比例LED光质处理的黄瓜幼苗中, 100%红光处理下叶绿素含量、干物质质量均显著高于其他处理, 是黄瓜幼苗生长的最佳光质(Hernández和Kubota 2014); 但也有研究认为, 纯红光处理

不利于黄瓜幼苗的光合系统, 进而影响幼苗生长发育(Trouwborst等2016)。Hovi和Tahvonen (2008)的研究发现, 红蓝7:3 LED处理的黄瓜幼苗中叶绿素含量和干物质质量均显著高于对照, 是黄瓜幼苗生长的最佳红蓝光配比。

在对蔬菜品质影响方面, 闻婧等(2009)发现, 红蓝比为8:1时, 有利于莴苣叶片中类胡萝卜素的积累, 并有效降低莴苣叶片中硝酸盐含量, 增加维生素C (vitamin C, Vc)含量。与对照荧光灯相比, 单独红光会降低莴苣中Vc和粗蛋白质含量, 蓝光和复合光质(R:B:UV-B=20:5:1)能提高两者含量(Tsormpatsidis等2008)。红光与蓝光有利于黄瓜果实Vc与还原糖含量的提高, 蓝光能促进黄瓜果实蛋白质的形成(吴根良等2014)。研究还发现, 影响樱桃番茄果实营养品质的最佳光源中红蓝光比例存在一个阈值, 在一定范围内, 不同红蓝光比值对其影响无质的差异, 当蓝光所占比例较大时, 有利于营养物质的积累, 而蓝光比例为60%的红蓝组合光可能是樱桃番茄果实品质相对较好的光源(刘晓英等2010)。

综上所述, 不同蔬菜无论苗期还是果期采用LED补光均有较好的效果, 但不同蔬菜补光适宜的光质存在差异。目前在日光温室甜瓜栽培中, 还未

收稿 2016-12-29 修定 2017-04-14

资助 现代农业产业技术体系国家西甜瓜产业技术体系(CARS-26)和辽宁省高校创新团队计划(LZ2015025)。

* 通讯作者(E-mail: hyqiaaa@126.com)。

见LED补光方面的研究报道。因此, 本文通过对甜瓜苗期及果期进行LED补光, 研究不同光质LED对甜瓜幼苗生长及果实品质的影响, 以期为设施甜瓜培育壮苗和高品质栽培提供理论和实践指导。

材料与方 法

1 试验材料与处理

试验于2015年春季在沈阳农业大学园艺学院蔬菜科研基地进行。供试品种为薄皮甜瓜(*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino) ‘玉美人’。光源采用国光绿能(北京)科技有限公司提供的LED灯条, 灯条功率为15 W, 试验中红光的波长为630 nm, 蓝光为460 nm。分别在薄皮甜瓜苗期和果期进行2次独立的补光试验。

1.1 幼苗补光试验

在日光温室内, 待幼苗长出3片真叶后转移至小拱棚内(遮阳网覆盖)开始LED补光, 以小拱棚内自然光(光强 $100\sim 300\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)为对照, 设5种补光处理: 在自然光基础上分别补充红光($175\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蓝光($185\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、红蓝3:1 ($170\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、红蓝6:1 ($180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和红蓝8:1 ($182\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 不同处理之间光强差异较小, 光源距幼苗50 cm左右。补光时间为8:00~18:00, 补光2周。育苗温度及空气相对湿度分别为: 白天 $20\sim 26^\circ\text{C}$, 40%~50%; 夜间 $10\sim 15^\circ\text{C}$, 80%~90%。补光7 d和补光结束后测定各项指标。

1.2 果期补光试验

以日光温室内自然光($300\sim 600\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)为对照, 设3种LED光质补光处理, 分别在自然光基础上补充红光($175\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蓝光($185\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、红蓝组合光(光质比为6:1, $180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), 划分12个小区, 3次重复。花后10 d开始补光, 补光时间为上午6:00~10:00和下午16:00~20:00两个时间段。温室内温度及空气相对湿度分别为: 白天 $20\sim 28^\circ\text{C}$, 30%~40%; 夜间 $10\sim 15^\circ\text{C}$, 80%~90%。分别于连续补光5、10、15和20 d后取样, 随机选取同一节位、无病虫害、无机械损伤、果形端正、大小均一的果实。

2 测定项目与方法

2.1 生长及光合指标

用直尺测量株高, 游标卡尺测量茎粗, 便携式叶面积仪测叶面积, 地上部和地下部鲜重及干重

(幼苗 80°C 烘干24 h后称量)用电子天平测定。壮苗指数=茎粗/株高 \times 全株干质量。便携式光合仪(GFS-3000)测定各处理幼苗 P_n 、 T_r 、 G_s 及胞间 CO_2 浓度(C_i)。

2.2 叶绿素含量

取苗期功能叶片, 采用乙醇-丙酮浸提法(张宪政1986)测定叶绿素含量。

2.3 可溶性糖含量

取1 g样品果实放入试管, 加入80%乙醇浸没样品约1 cm, 80°C 水浴1 h冷却后封存。测定前倒出乙醇提取液, 再向试管中加入80%乙醇浸没样品约1 cm, 80°C 水浴1 h, 如此反复提取3次, 合并提取液, 转入蒸发皿中蒸干, 之后用1 mL超纯水溶解, 上清液经 $0.45\ \mu\text{m}$ 滤膜过滤后进行高效液相色谱测定。测定方法及色谱条件为: Waters e2695高效液相色谱, 氨基柱, 柱温 35°C , 蒸发光散射检测器, 流动相比为80%乙腈:20%超纯水, 流速为 $1\ \text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。糖的标样为果糖、葡萄糖和蔗糖, 根据保留时间的不同来区分不同糖, 用Waters Millennium软件控制及数据处理。

2.4 香气物质

参照李岩(2012)的方法并略有改动。将新鲜果实样品冲洗干净后留赤道处去皮、去瓢, 按四分法切分果肉, 取约200 g果肉并滤取果汁。将10 mL所滤得的果汁加入到20 mL顶空瓶中(顶空瓶中预先加入3.5 g分析纯NaCl), 再用移液枪加入50 μL 的 $59.5\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 正辛醇, 迅速扣紧盖子后振荡使其混合均匀, 将老化后的固相微萃取针头(PDMS涂层厚度为100 μm)插入到顶空瓶, 与液面保持0.5 cm, 将瓶身置于 40°C 水浴锅中, 萃取30 min, 使用气质联用仪(ITQ 900)进行香气成分的测定及分析, 重复3次。

3 数据处理和分析

所有测试指标均3次重复, 随机取样。运用Microsoft Excel应用程序和DPS软件进行数据处理和分析。

实验结果

1 不同LED光质处理后甜瓜幼苗植株的表型

由图1可知, 经LED补光7 d后, 植株表型并无显著差异; 但处理14 d后, 各处理植株株高、叶面积等均高于对照, 不同处理之间存在一定差异, 从植株表型来看, 红蓝6:1处理幼苗长势最好。



图1 不同LED光质处理7和14 d后甜瓜幼苗植株表型

Fig.1 The phenotype of oriental melon seedlings after different LED light treatments for 7 and 14 days

2 不同LED光质处理对甜瓜幼苗株高、茎粗和叶面积的影响

由图2可以看出, 随补光时间增加, 各处理下甜瓜幼苗株高、茎粗和叶面积均呈现递增的趋势。补光7 d后, 各处理下的生长指标均比对照显著提高, 但各处理之间差异不显著; 处理14 d后, 红光处理下甜瓜幼苗株高最大, 蓝光及红蓝6:1处理

下幼苗茎粗以及叶面积均高于其他处理, 且差异显著。说明LED补光能在一定程度上促进甜瓜幼苗的生长, 其中蓝光及红蓝6:1组合光能提高甜瓜幼苗的叶面积和茎粗。

3 不同LED光质处理对甜瓜幼苗鲜重和干重的影响

由图3可以看出, 随补光时间增加, 各处理下甜瓜幼苗的鲜重和干重相应提高。补光7 d后, 各

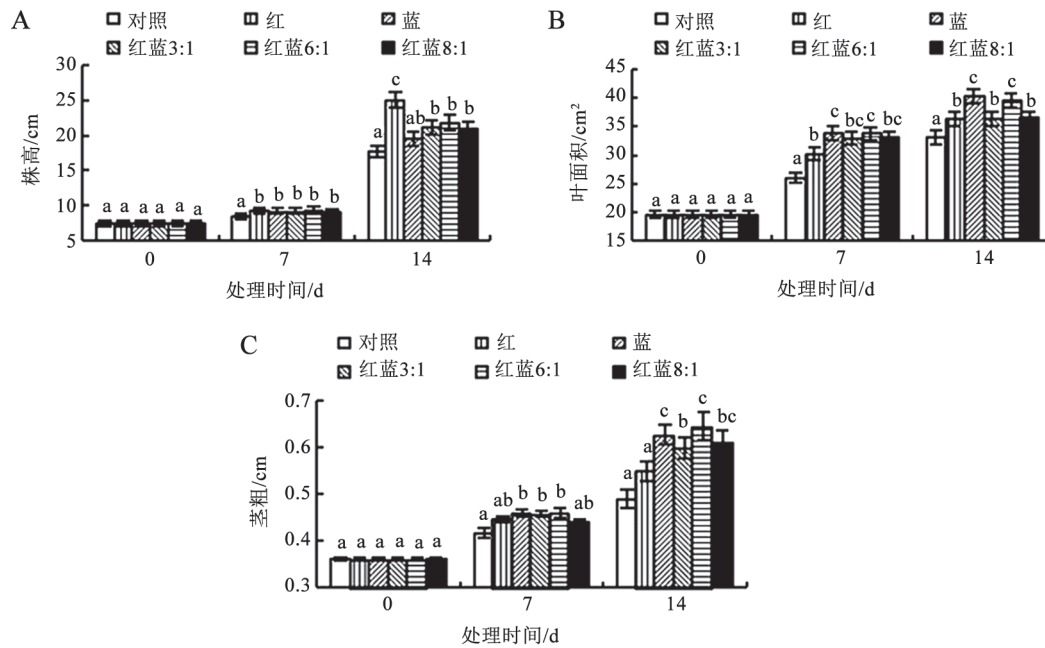


图2 不同LED光质处理对甜瓜幼苗株高、茎粗及叶面积的影响

Fig.2 Effects of different LED light treatments on plant height, stem diameter and leaf area of oriental melon seedlings
不同小写字母表示同一时间不同处理在 $P<0.05$ 水平上差异显著; 下同。

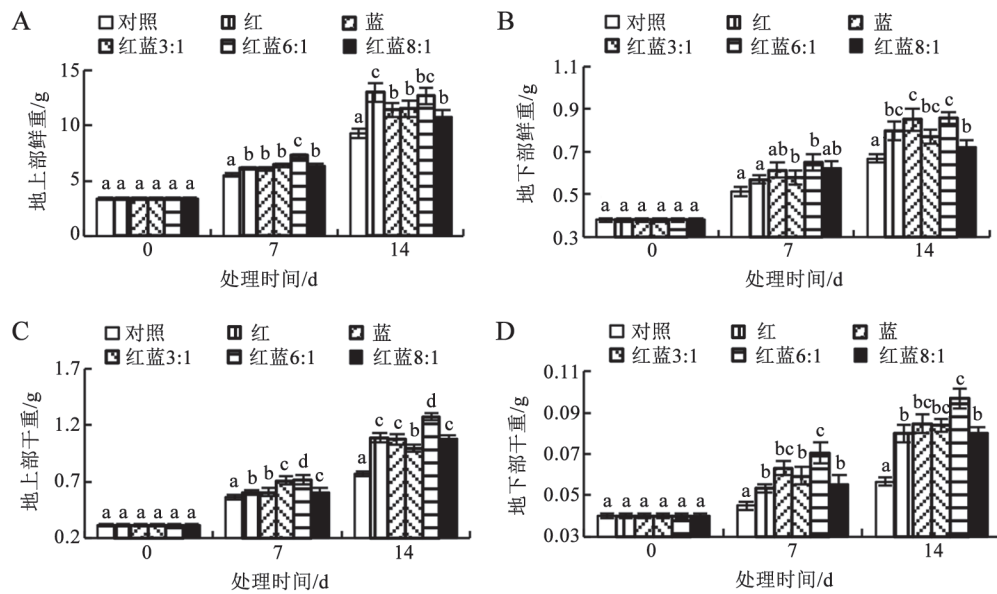


图3 不同LED光质处理对甜瓜幼苗鲜重和干重的影响

Fig.3 Effects of different LED light treatments on fresh and dry weights of oriental melon seedlings

处理幼苗出现一定差异,红蓝6:1处理的鲜重和干重高于其他处理及对照;处理14 d后,蓝光及红蓝6:1处理下的甜瓜幼苗鲜重比其他处理高,红蓝6:1处理下的干重高于其他处理,且均显著高于对照。因此,LED补光能有效提高甜瓜幼苗的生物量,其中红蓝6:1处理的效果最显著。

4 不同LED光质处理对甜瓜幼苗壮苗指数的影响

由图4可以看出,随补光时间的增加,各处理下甜瓜幼苗壮苗指数相应提高。在红蓝6:1处理下甜瓜幼苗的壮苗指数显著高于对照和其他处理,其次是蓝光、红蓝3:1、红蓝8:1及红光。表明LED补光能有效提高甜瓜幼苗的壮苗指数,其中红蓝6:1处理效果最佳。

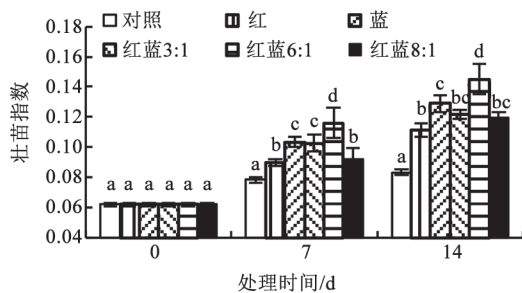


图4 不同LED光质处理对甜瓜幼苗壮苗指数的影响

Fig.4 Effects of different LED light treatments on vigorous seedling index of oriental melon seedlings

5 不同LED光质处理对甜瓜幼苗叶绿素含量的影响

由图5可以看出,随补光时间增加,各处理甜瓜幼苗中叶绿素含量相应提高,各处理的叶绿素a含量无显著差异,但均显著高于对照;红蓝6:1处理下的叶绿素b以及叶绿素a+b含量均显著高于其他处理,其他处理间差异不显著,但均显著高于对照。

6 不同LED光质处理对甜瓜幼苗光合特性的影响

从图6可以看出,随补光时间增加,各处理下甜瓜幼苗的 P_n 、 T_r 、 G_s 及 C_i 相应提高。补光7 d后,各处理的光合指标均显著高于对照;补光14 d后,红蓝6:1及蓝光处理的 P_n 、 T_r 及 C_i 显著高于其他处理,蓝光、红蓝3:1、红蓝6:1处理的 G_s 显著高于其他处理。

7 不同LED光质处理对成熟甜瓜单果重及大小的影响

从表1可以看出,经3种光质处理的成熟甜瓜单果重及横径和纵径均显著高于对照,其中,红蓝6:1组合光处理的最大,显著高于蓝光和红光单独处理及对照。

8 不同LED光质处理对甜瓜果实中可溶性糖含量的影响

由图7可知,随着果实的发育和补光时间的增加,葡萄糖、果糖、蔗糖及可溶性固形物含量均相应增加,补光20 d时,已经是果实开花后30 d,即

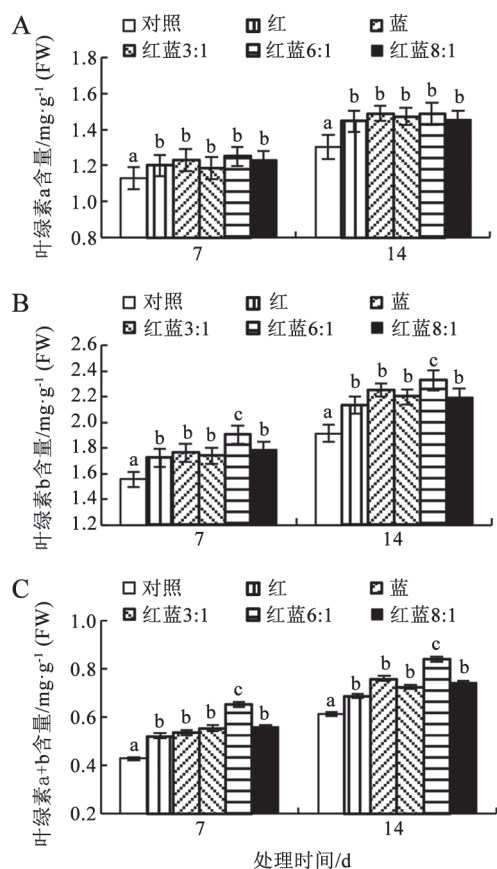


图5 不同LED光质处理对甜瓜幼苗叶绿素含量的影响
Fig.5 Effects of different LED light treatments on chlorophyll content in oriental melon seedlings

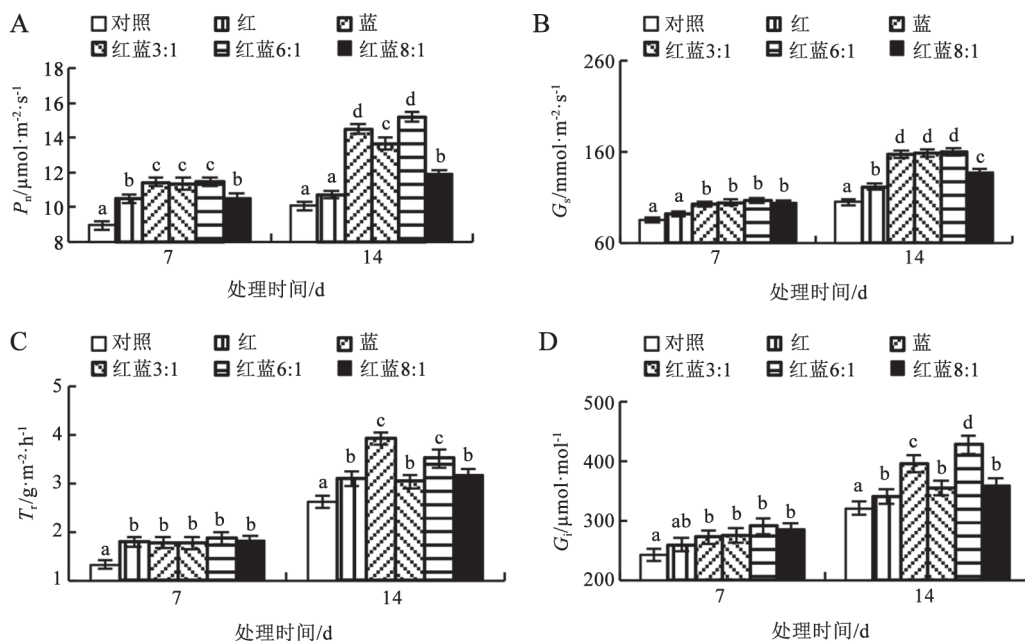


图6 不同LED光质处理对甜瓜幼苗光合特性的影响
Fig.6 Effects of different LED light treatments on photosynthetic characteristics of oriental melon seedlings

将达到果实商品成熟。因此,补光时间越长,各处理间的糖含量差异越显著,且均高于对照。其中,在同一补光时间内,经红蓝6:1组合光处理的甜瓜果实糖含量最高,其次是蓝光和红光。结果表明,LED补光能有效提高甜瓜果实糖含量,且红蓝6:1处理效果较好。

9 不同LED光质处理对甜瓜果实中4类香气物质含量的影响

由图8可知,随果实的发育和补光时间的增加,经3种光质处理的甜瓜果实中酯类及酸类物质含量总体呈现增高的趋势,醛类物质呈降低趋势,醇类物质无明显变化。其中,不同光质处理的果实中酯类物质含量在处理10 d后差异显著,在同一补光时间内,红蓝6:1组合光处理的酯类物质含量最高,且显著高于对照,其次是蓝光和红光。而各处理下的甜瓜果实中醇、酸、醛的含量并无显著差异。结果表明,LED补光能有效提高甜瓜果实香气物质中酯类含量,红蓝6:1处理效果最佳。

10 不同LED光质处理对甜瓜果实中几种主要酯类物质含量的影响

选取甜瓜果实中含量较高的5种酯类物质进行比较,结果显示,经补光处理15及20 d,各处理的酯类物质含量均显著高于对照,其中,红蓝6:1组合光处理的乙酸乙酯、乙酸异丁酯、乙酸苄酯含量

表1 不同LED光质处理对成熟甜瓜单果重及大小的影响

Table 1 Effects of different LED light treatments on single fruit weight and size of ripened melon

光照处理	单果重/g	横径/cm	纵径/cm
对照	431.80±1.54 ^a	83.50±0.97 ^a	110.25±1.32 ^a
红	444.30±1.98 ^b	86.72±0.85 ^a	113.53±1.06 ^b
蓝	449.50±1.69 ^b	90.56±1.12 ^b	116.80±0.92 ^b
红蓝6:1	461.30±2.03 ^c	96.80±1.35 ^c	128.05±1.10 ^c

表中同列数据不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

最高, 蓝光及红蓝6:1处理的乙酸己酯、2-甲基丁基乙酸酯含量相对其他较高(图9)。结果表明, LED补光能提高甜瓜果实香气物质中酯类物质的含量, 尤以红蓝6:1处理的效果最佳, 其次是蓝光。

讨论

近年来, 随着自然条件的恶化及极端天气的出现, 设施栽培中的人工控光技术已经成为现代

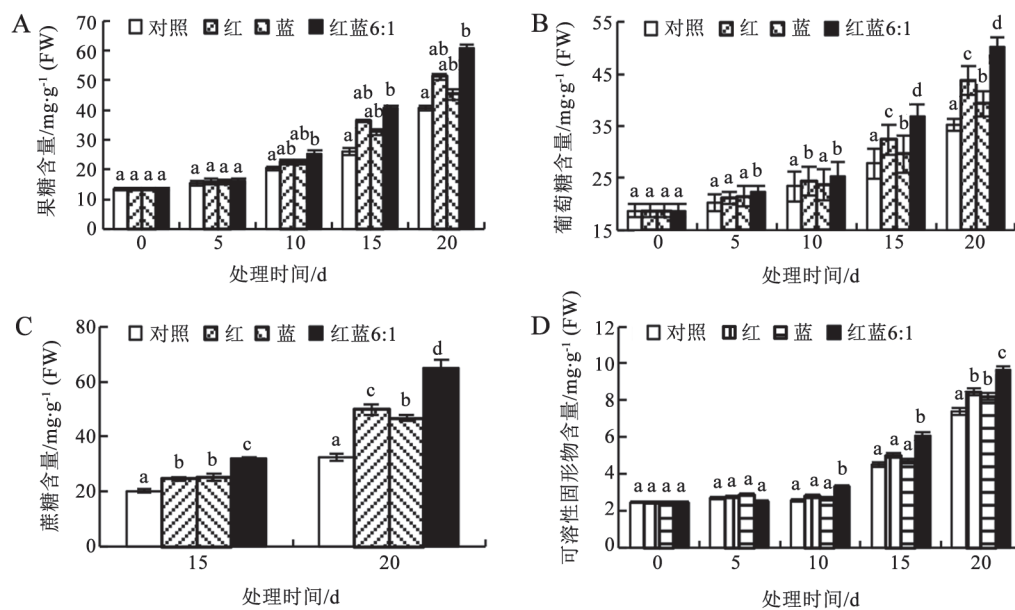


图7 不同LED光质处理对甜瓜果实中可溶性糖含量的影响

Fig. 7 Effects of different LED light treatments on soluble sugar content in oriental melon fruit

高效农业生产的重要保障手段, LED光源的应用更是现代园艺中具有里程碑意义的进步(魏灵玲等2007)。而光质是光环境的重要因子, 蔬菜的种类和品种对不同光质的响应也不同。红光处理有利于植株根系生长, 而蓝光处理有利于茎和叶柄的伸长生长(曲溪等2008)。

1 LED补光对蔬菜幼苗生长的影响

许大全等(2015)报道, 植物对光谱的吸收具有特异性, 红光和蓝光能形成与植物光合作用的形态建成基本相同的光谱, 对植物生长发育具有最显著的影响。另外, 波长640~660 nm为红光区, 叶绿素a有一个吸收峰值; 波长430~450 nm为蓝光区, 叶绿素b有一个吸收峰值(Hogewoning等2010)。红光和蓝光通过调节植物体内激素的分配影响植

物生长发育, 红光促进赤霉素在茎叶中的积累, 抑制生长素的生成, 从而增加了顶端优势, 促进茎叶伸长; 蓝光促进茎中细胞分裂素和生长素的积累, 增加茎粗(王婷婷等2016)。陈祥伟等(2013)在研究不同LED对小白菜生长及品质的影响中发现, 红蓝7:1处理下小白菜植株茎粗、叶宽、叶面积及根系长度均显著高于其他处理。陈星星等(2015)在研究LED光源不同光质比对白掌组培苗生长的影响中发现, 红蓝4:1处理下组培苗的叶长、叶幅、整株鲜重、地上部和地下部鲜重均达到最大值。本试验中, 相比对照及其他4个处理, 红蓝6:1处理的甜瓜幼苗拥有较高的株高、茎粗、叶面积及鲜重, 并且壮苗指数显著高于其他处理, 说明其综合了红光和蓝光的特性, 更适用于生产应用。同时, 该

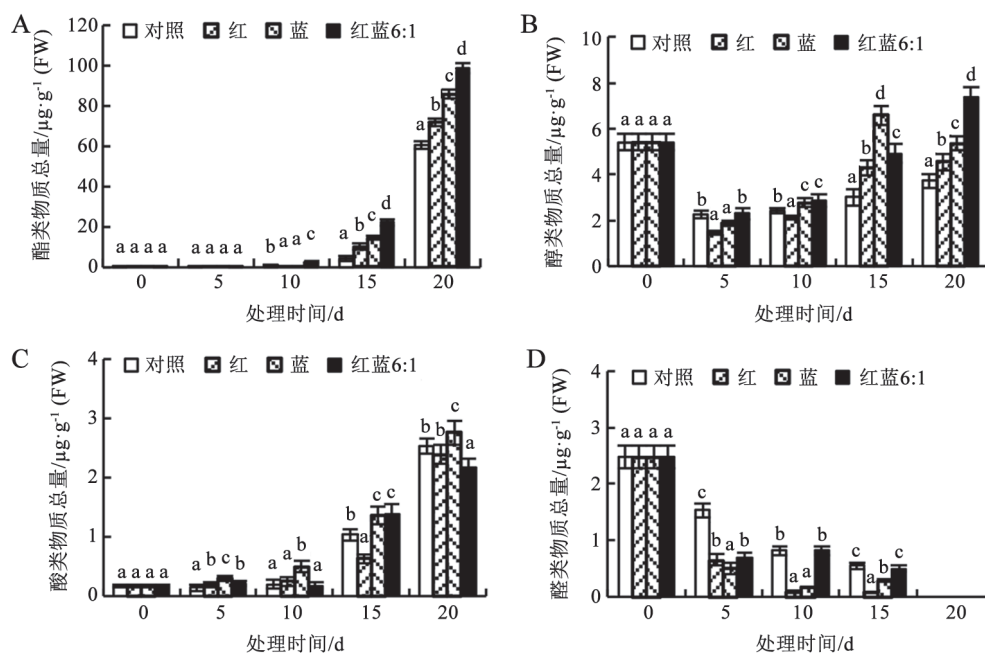


图8 不同LED光质处理对甜瓜果实中4类香气物质含量的影响

Fig.8 Effects of different LED light treatments on four volatile compound contents in oriental melon fruit

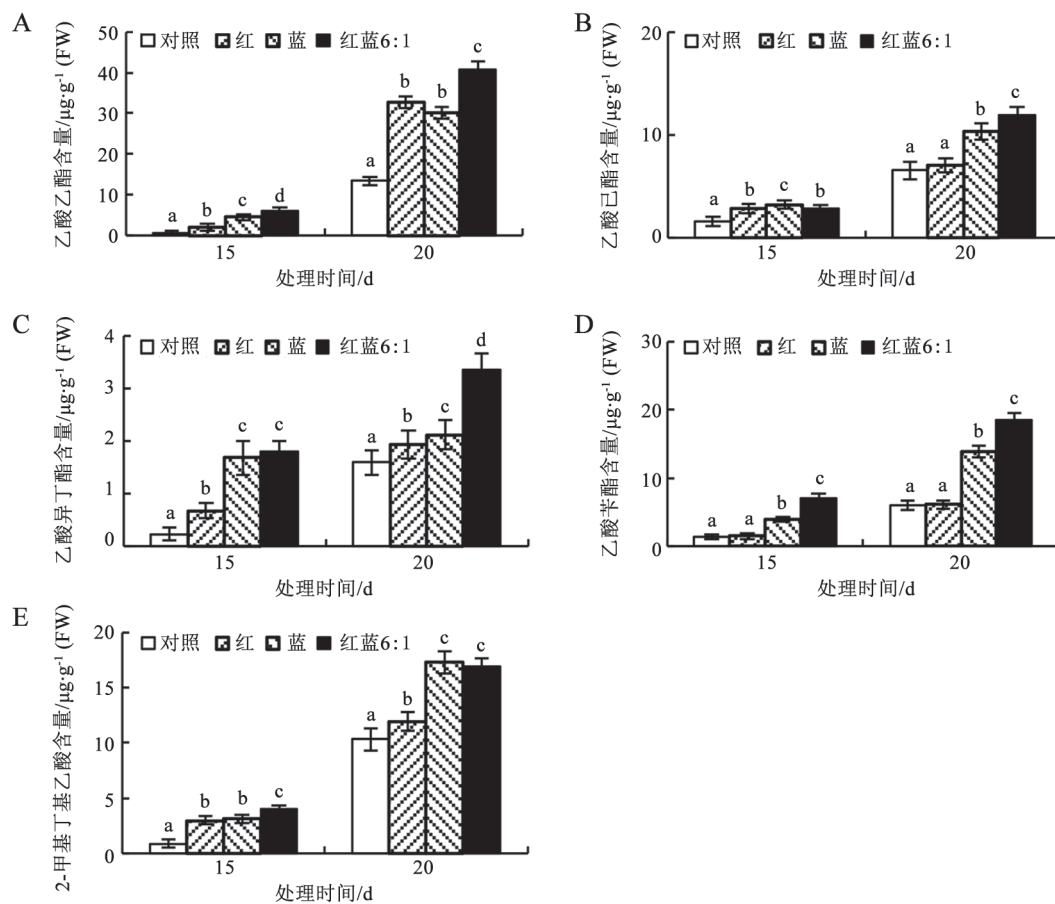


图9 不同LED光质处理对甜瓜果实中酯类物质含量的影响

Fig.9 Effects of different LED light treatments on ester contents in oriental melon fruit

处理下幼苗叶绿素b及叶绿素总量最高,有利于光合作用的提高。

光合色素是光合作用的基础, G_s 影响光合作用中 CO_2 的传导,光质直接影响着色素的合成,对气孔大小、数目、开闭有调节作用, G_s 越大,植物 P_n 越大,植物对 CO_2 的吸收越多(郑洁等2008)。周成波等(2015)在研究补光光质对叶用莴苣光合特性的影响中发现,白+蓝(WB)处理下 P_n 相对对照提高21.7%。黄丹丹等(2014)在研究LED补光对番茄光合特性的影响中发现,LED光源对番茄光合速率的影响因光质而异,红灯和蓝灯的光合速率显著大于绿灯。本试验中,相对对照,蓝光、红蓝3:1、红蓝6:1、红蓝8:1处理下的甜瓜幼苗 P_n 、 G_s 显著提高,蓝光及红蓝6:1处理下的 T_i 和 C_i 最高。说明不同光质处理对甜瓜幼苗光合特性作用效果不同。但是在本研究中红蓝6:1处理下甜瓜幼苗的光合特性高于红蓝8:1,说明 P_n 增加与蓝光比例的增加不呈正相关的关系,超过阈值反而会使光合速率下降,其具体临界值有待进一步研究。

2 LED补光对果实品质的影响

在蔬菜品质方面,目前比较一致的研究结果是:红光可以促进糖类物质的积累,蓝光有利于氨基酸、蛋白质、Vc和黄酮的积累(陈祥伟等2014)。高波等(2015)在研究3种不同LED光质对比芹菜生长和品质的影响中发现,红蓝3:1处理的可溶性糖含量显著高于其他处理,更有利于芹菜品质的提高。李海达等(2014)在研究不同LED补光光源对樱桃番茄产量和品质的影响中发现,LED补光处理能显著提高樱桃番茄果实的品质指标,Vc、可溶性蛋白、可溶性糖和蔗糖含量均显著高于对照。陈强等(2009)在研究不同LED光源对番茄果实转色期品质的影响中发现,红蓝组合光处理番茄果实Vc含量与对照差异不明显,但可溶性蛋白的含量显著提高。红光和红蓝组合光处理能够显著提高番茄果实中糖和酸含量。本研究中,在同一补光时间内,相对对照,经不同光质处理的甜瓜果实中可溶性固形物和糖含量较高,其中红蓝光处理效果更为显著。有研究表明,不同LED光质处理对番茄品质的影响不同,原因可能是光质对高等植物的碳水化合物和蛋白质代谢有调节作用。光质对植物可溶性糖的含量有重要影响,通

常红光下生长的植物中碳水化合物含量较高(Javanmardi和Emami 2013)。而本试验中,红光处理下甜瓜果实糖含量较蓝光更高,与前人研究结果一致,而红蓝光处理较红光处理的更高,说明在红光的基础上添加一定比例的蓝光更能促进甜瓜果实中糖的合成。光质影响可溶性糖含量的原因可能是由于光质的改变诱导了光敏色素对蔗糖代谢酶的调控,使光合产物更多分配到番茄果实中,也可能是不同光质影响碳水化合物的合成及运转,从而改变果实中可溶性糖的含量,其具体原因和机理有待于进一步探究。本试验中,尽管补光时间有一定延长,但由于光强较弱,延长时间较短,对甜瓜生长发育及品质影响不明显。

香气是评价甜瓜果实风味品质的重要指标,本研究结果表明LED光照处理能够显著促进酯类物质的生成,并且在红蓝组合光处理下甜瓜果实中酯类物质总量最高。果实成熟后期差异较为显著,在几个具有代表性的酯类物质中,仍然是经红蓝光处理后含量最高,其次是蓝光。然而在其他香气物质(醇、醛、酸)中,不同处理之间并无显著差异。香气的种类和含量与甜瓜果实内物质降解有关,不同光质可能通过调节某些酶的活性调控体内物质的代谢,从而影响着香气物质的种类与含量。

总之,日光温室内在自然光基础上对甜瓜幼苗期及果期进行LED补光,能有效提高甜瓜幼苗质量及果实品质,尤其是在阴雨或雾霾天气等弱光条件下补光效果更显著。不同光质处理效果存在差异,综合苗期和果期补光来看,红蓝6:1是设施甜瓜补光较为适宜的补光光谱。

参考文献

- Borowski E, Michalek S, Rubinowska K, Hawrylak-Nowak B, Grudziński W (2015). The effects of light quality on photosynthetic parameters and yield of lettuce plants. *Acta Sci Pol-Hortoru*, 14 (5): 177-188
- Chen Q, Liu SQ, Zhang ZK, Cui HR, Hao SQ, Liu ZL (2009). Effects of different light emitting diode sources on tomato fruit quality during color-changed period. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 25 (5): 156-161 (in Chinese with English abstract) [陈强,刘世琦,张自坤,崔慧茹,郝树芹,刘忠良(2009).不同LED光源对番茄果实转色期品质的影响. *农业工程学报*, 25 (5): 156-161]
- Chen XW, Liu SQ, Cheng B, Liu Q, Ma GQ (2013). Effects of different LED light sources on growth and nutritional quality of pak-

- choi. J Changjiang Veget, (16): 36–40 (in Chinese with English abstract) [陈祥伟, 刘世琦, 成波, 刘庆, 马桂芹(2013). 不同LED光源对小白菜生长及品质的影响. 长江蔬菜, (16): 36–40]
- Chen XW, Liu SQ, Wang Y, Liu JK, Feng L (2014). Effects of different LED light qualities on growth, photosynthetic characteristics and nutritional quality of savoy. Chin J Appl Ecol, 25 (7): 1955–1962 (in Chinese with English abstract) [陈祥伟, 刘世琦, 王越, 刘景凯, 冯磊(2014). 不同LED光源对乌塌菜生长、光合特性及营养品质的影响. 应用生态学报, 25 (7): 1955–1962]
- Chen XX, Shao XL, He SL (2015). Effect of different light quality ratios of LED on growth of *Spathiphyllum in vitro*. Nor Hortic, (6): 86–89 (in Chinese with English abstract) [陈星星, 邵秀丽, 何松林(2015). LED光源不同光质对白掌组培苗生长的影响. 北方园艺, (6): 86–89]
- Gao B, Yang ZC, Li WQ, Wang XX, Ding JJ, Geng FZ, Cai H, Wang DF (2015). Effects of three different red and blue LED light ratio on growth and quality of celery. Acta Agric Boreal-Occid Sin, 24 (12): 125–132 (in Chinese with English abstract) [高波, 杨振超, 李万青, 王晓旭, 丁娟娟, 耿凤展, 蔡华, 王达菲(2015). 3种不同LED光质配比对芹菜生长和品质的影响. 西北农业学报, 24 (12): 125–132]
- Hao DC, Si Y (2012). Effects of LED lights on yield of melon and fruit vegetables in protected cultivation. J Changjiang Veget, (18): 58–60 (in Chinese with English abstract) [郝东川, 司雨(2012). LED灯对设施栽培瓜果类蔬菜产量的影响. 长江蔬菜, (18): 58–60]
- Hernández R, Kubota C (2014). Growth and morphological response of cucumber seedlings to supplemental red and blue photon flux ratios under varied solar daily light integrals. Sci Hortic, 173: 92–99
- Hogewoning SW, Trouwborst G, Maljaars H, Poorter H, van Ieperen W, Harbinson J (2010). Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. J Exp Bot, 61 (11): 3107–3117
- Hovi T, Tahvonon R (2008). Effects of interlighting on yield and external fruit quality in year-round cultivated cucumber. Sci Hortic, 116: 152–161
- Huang DD, Zhang SX, Jia SX, Zhang XP, Xiao Y, Zhou GY, Chen XW (2014). Influence of illumination supplement used LED light on photosynthesis of tomato. Chin Agric Sci Bull, 30 (22): 102–108 (in Chinese with English abstract) [黄丹丹, 张士秀, 贾淑霞, 张晓平, 肖雨, 周桂玉, 陈学文(2014). LED补光对番茄光合特性的影响. 中国农学通报, 30 (22): 102–108]
- Javanmardi J, Emami S (2013). Response of tomato and pepper transplants to light spectra provided by light emitting diodes. Int J Veget Sci, 19 (2): 138–139
- Li CZ, Lian SX, Zhang HJ, Shi PT, Yang HD (2001). Cultivation experiments of photosynthetic bionic film. Hunan Agric Sci, 18 (5): 22–23 (in Chinese with English abstract) [李承志, 廉世勋, 张华京, 石鹏途, 杨焕栋(2001). 光合仿生农膜的作物栽培试验. 湖南农业科学, 18 (5): 22–23]
- Li HD, Ji JZ, Zheng GJ, Liu HC, Lei BF (2014). Effects of different LED light-supplement on the yield and quality of cherry tomato. Guangdong Agric Sci, (14): 37–46 (in Chinese with English abstract) [李海达, 吉家曾, 郑桂建, 刘厚诚, 雷炳富(2014). 不同LED补光光源对樱桃番茄产量和品质的影响. 广东农业科学, (14): 37–46]
- Li Y (2012). Effect and regulation of ethylene in the biosynthesis of aroma volatiles in oriental sweet melon (dissertation). Shenyang: Shenyang Agric Univ (in Chinese with English abstract) [李岩(2012). 乙烯在薄皮甜瓜果实香气物质合成中的作用与调控(学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学]
- Liu XY, Chang TT, Guo SR, Xu ZG, Chen WH (2010). Effects of irradiation with blue and red LED on fruit quality of cherry tomato during growth period. China Veget, (22): 21–27 (in Chinese with English abstract) [刘晓英, 常涛涛, 郭世荣, 徐志刚, 陈文昊(2010). 红蓝LED光全生育期照射对樱桃番茄果实品质的影响. 中国蔬菜, (22): 21–27]
- Qu X, Ye FM, Song JQ, Gu LL, Chen T, Chen DH (2008). The research on the effects of LED in the realm of supplementary lighting on plants. Lamps Lighting, 32 (2): 41–45 (in Chinese with English abstract) [曲溪, 叶方铭, 宋杰琼, 顾玲玲, 方圆, 陈涛, 陈大华(2008). LED灯在植物补光领域的效用探究. 灯与照明, 32 (2): 41–45]
- Tang DW, Zhang GB, Zhang F, Pan XM, Yu JH (2011). Effects of different LED light qualities on growth on physiological and biochemical characteristics of cucumber seedlings. J Gansu Agric Univ, 46 (1): 44–48 (in Chinese with English abstract) [唐大为, 张国斌, 张帆, 潘香梅, 郁继华(2011). LED光源不同光质对黄瓜幼苗生长及生理生化特性的影响. 甘肃农业大学学报, 46 (1): 44–48]
- Trouwborst G, Hogewoning SW, van Kooten O, Harbinson J, van Ieperen W (2016). Plasticity of photosynthesis after the ‘red light syndrome’ in cucumber. Environ Exp Bot, 121: 75–82
- Tsormpatsidis E, Henbest RGC, Davis FJ, Battey NH, Hadley P, Wagstaffe A (2008). UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce ‘Revolution’ grown under polyethylene films. Environ Exp Bot, 63: 232–239
- Wang TT, Yu SJ, Li XL, Liu XR, Jin XY (2016). Effects of LED light source on plant physiology and biochemistry and quality. Nor Hortic, (2): 189–193 (in Chinese with English abstract) [王婷婷, 俞少娟, 李鑫磊, 刘夏荣, 金心怡(2016). LED光源对植物生理生化及品质影响研究进展. 北方园艺, (2): 189–193]
- Wei LL, Yang QC, Liu SL (2007). Review on research and developing trends of light-emitting diode in plant factory. China Agricul Sci Bull, 23 (11): 408–411 (in Chinese with English abstract) [魏玲玲, 杨其长, 刘水丽(2007). LED在植物工厂中的研究现状与应用前景. 农业工程科学, 23 (11): 408–411]
- Wen J, Bao SS, Yang QC, Cui HX (2009). Influence of R/B ratio in LED lighting on physiology and quality of lettuce. China J Agrometeorol, 30 (3): 413–416 (in Chinese with English abstract) [闻婧, 鲍顺淑, 杨其长, 崔海信(2009). LED光源R/B对叶用莴苣生理性状及品质的影响. 中国农业气象, 30 (3): 413–416]
- Wu GL, Zheng JR, Li XK (2014). Effects of different LED sources on the quality and yield of overwintering pepper in the greenhouse. J Zhejiang A & F Univ, 31 (2): 246–253 (in Chinese with En-

- glish abstract) [吴根良, 郑积荣, 李许可(2014). 不同LED光源对设施越冬辣椒果实品质和产量的影响. 浙江农林大学学报, 31 (2): 246–253]
- Xu DQ, Gao W, Ruan J (2015). Effects of light quality on plant growth and development. *Plant Physiol J*, 51 (8): 1217–1234 (in Chinese with English abstract) [许大全, 高伟, 阮军(2015). 光质对植物生长发育的影响. 植物生理学报, 51 (8): 1217–1234]
- Xu L, Liu SQ, Qi LD, Liang QL, Yu WY (2007). Effects of light quality on leaf lettuce photosynthesis and chlorophyll fluorescence. *China Agric Sci Bull*, 23 (1): 96–100 (in Chinese with English abstract) [许莉, 刘世琦, 齐连东, 梁庆玲, 于文艳(2007). 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响. 中国农学通报, 23 (1): 96–100]
- Xu WD, Liu XY, Jiao XL, Xu ZG (2015). Different ratio of red and blue LED regulation growth and development of cucumber seedlings. *Plant Physiol J*, 51 (8): 1273–1279 (in Chinese with English abstract) [徐文栋, 刘晓英, 焦学磊, 徐志刚(2015). 不同红蓝配比的LED光调控黄瓜幼苗的生长. 植物生理学报, 51 (8): 1273–1279]
- Yang QC, Zhang CB (2005). *An Introduction to Plant Factory*. Beijing: China Agric Sci Tech Press, 144–149 [杨其长, 张成波(2005). 植物工厂概论. 北京: 中国农业科学技术出版社, 144–149]
- Zhang XZ (1986). Determination of chlorophyll content in plants-acetone ethanol mixed solution method. *Liaoning Agric Sci*, (3): 26–28 [张宪政(1986). 植物叶绿素含量测定-丙酮乙醇混合液法. 辽宁农业科学, (3): 26–28]
- Zheng J, Hu MJ, Guo YP (2008). Regulation of photosynthesis by light quality and its mechanism in plants. *Chin J Appl Ecol*, 19 (7): 1619–1642 (in Chinese with English abstract) [郑洁, 胡美君, 郭延平(2008). 光质对植物光合作用的调控及其机理. 应用生态学报, 19 (7): 1619–1642]
- Zhou CB, Zhang X, Liu BB, Ai XZ, Bi HG, Li QM (2015). The effect of supplementary light quality on physiological characteristics of lettuce. *Plant Physiol J*, 51 (12): 2255–2262 (in Chinese with English abstract) [周成波, 张旭, 刘彬彬, 艾希珍, 毕焕改, 李清明(2015). 补光光质对叶用莴苣光合特性的影响. 植物生理学报, 51 (12): 2255–2262]

Effects of LED supplementary lighting on seedling growth and fruit quality of oriental melon

CUI Xiao-Hui, GUO Xiao-Ou, SUN Tian-Yu, QI Hong-Yan*

College of Horticulture, Shenyang Agricultural University/Key Laboratory of Protected Horticulture of Education Ministry and Liaoning Province/Collaborative Innovation Center of Protected Vegetable Surround Bohai Gulf Region, Shenyang 110866, China

Abstract: The effects of LED supplementary lighting on seedling growth and fruit quality of oriental melon (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino) were conducted to select the optimal light quality with cultivar 'Yumeiren' as experimental material. The seedlings were light treated for 2 weeks under 5 kinds of light quality (red, blue, and the ratio of red and blue 3:1, 6:1 and 8:1) treatments at the three-leaf stage, then the growth, vigorous seedling index and photosynthetic indexes were determined. The melon fruit were treated at 10 days after anthesis for 5, 10, 15 and 20 days under 3 kinds of light quality (red, blue, and red and blue 6:1) treatments, respectively. And the quality indexes of fruit were measured at different days. The results showed that plant height of oriental melon seedling was the maximum under the red light treatment, and followed by red and blue 6:1, 8:1 and 3:1 and blue treatments. The stem diameter of blue light, and red and blue 6:1 treatments were the thickest and leaf area were the largest, and followed by red and blue 8:1 and 3:1, and red treatments. The fresh and dry weights and seedling index of oriental melon seedlings were the highest under red and blue 6:1 treatment. Meanwhile, the chlorophyll b content was the highest under the blue light, and red and blue 6:1 treatments but there was no significant difference in chlorophyll a content among different treatments. The net photosynthetic rate and intercellular CO₂ concentration reached the maximum under red and blue 6:1 treatment. What is more, the soluble sugar and ester content of red and blue 6:1 treatment were higher than those under red and blue light treatments at the same time in fruit, but no significant differences were found in other substances. Collectively, these results suggest that LED lighting can promote the seedling growth of oriental melon, and improve the fruit yield, and sugar and volatile compound contents, and the ratio of red and blue 6:1 light is the best light recipe for oriental melon.

Key words: LED supplementary lighting; light quality; oriental melon; vigorous seedling index; fruit quality

Received 2016-12-29 Accepted 2017-04-14

This work was supported by the China Agriculture Research System of Industry Watermelon and Melon (Grant No. CARS-26) and the Liaoning Innovative Research Team in University (Grant No. LZ2015025).

*Corresponding author (E-mail: hyqiaaa@126.com).