

孟力力,柳 军,皮 杰,等. 不同光质 LED 光源对彩叶草生长及叶绿素荧光参数的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(20):161-164.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.041

# 不同光质 LED 光源对彩叶草生长及叶绿素荧光参数的影响

孟力力,柳 军,皮 杰,刘建龙,余 刚,夏礼如

(江苏省农业科学院农业设施与装备研究所/农业部长江中下游设施农业工程重点实验室,江苏南京 210014)

**摘要:**以彩叶草为试验材料,白色荧光灯为对照,探讨不同光质 LED 光源对盆栽彩叶草株高、最大叶面积、茎粗、色素含量和叶绿素荧光参数的影响。结果表明,在保证株高及最大叶面积增长的前提下,红蓝光比红光更有利于植株茎粗的增大;红光有利于叶片类胡萝卜素和花色素苷的生成,但添加部分蓝光可促进叶片中叶绿素含量的增加。红蓝黄光和红蓝光处理下叶片 PS II 反应中心活性及电子传递速率都优于其他处理。因此红蓝光更有利于彩叶草植株生长、光合色素的合成与植株色彩的表达。

**关键词:**LED;光质;彩叶草;叶绿素;荧光参数

**中图分类号:**S682.360.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)20-0161-04

光质是植物生长发育过程中重要的环境因子,对植物的生长发育、形态建成、物质生理代谢、光合作用、抗逆性、果实品质以及基因表达等有广泛的调节作用。研究发现,红蓝光可以显著提高番茄幼苗茎粗、干鲜样质量、壮苗指数及可溶性糖含量<sup>[1-2]</sup>,并对水稻苗茎伸长和根系盘结有促进作用<sup>[3]</sup>,还可以显著提高生菜地上部花青素含量<sup>[4]</sup>;红光处理可提高豌豆芽苗菜产量及可溶性糖蛋白含量<sup>[5]</sup>,并有利于提高草莓叶片的净光合速率与蒸腾速率<sup>[6]</sup>;蓝光处理可提高草莓叶片的气孔导度与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[6]</sup>,但会降低生菜地上部花青素含量<sup>[4]</sup>;光质还会对离体诱导棕色棉纤维基因表达产生影响<sup>[7]</sup>,目前关于不同光质对彩叶观赏植物影响的研究较少。彩叶草(*Plectranthus scutellarioides*)为唇形科鞘蕊花属多年生常绿草本植物,叶片对生、卵形,因叶面具有黄、红、紫等斑点而得名<sup>[8-9]</sup>,观赏价值高。同时,彩叶草也是改善环境的植物,具有消毒杀菌的作用<sup>[10]</sup>,其应用范围较广泛。

本研究旨在探索不同光质对彩叶草幼苗生长指标、色素含量、叶绿素荧光特性的影响,探索找出适合幼苗健壮生长的光谱,以期对彩叶植物培育人工光源光质的选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试彩叶草品种为航路晚霞色。于 2016 年 5 月在江苏省农业科学院现代智能温室内用育苗盘育苗,上覆无纺布保

温保湿,待出苗后揭去并正常养护管理,每 5 d 浇 1 次营养液。待幼苗长至 2 叶 1 心时,选取长势健壮一致、无病虫害的幼苗移栽于 24 cm×18 cm(上口直径×高度)的塑料花盆内,栽培基质是泥炭白珍珠岩以 3:1 的体积比混合而成。将盆栽放置于组培室进行不同光质处理,每个处理 10 株,重复 3 次。组培室环境:光周期为 8 h/d,温度为 26 ℃/18 ℃(白天/夜间)。

### 1.2 LED 光处理

组培架为角钢结构,高度可调,光源设置于顶部,组培架各区域采用镀铝反光膜隔开,外部是黑色遮光布。试验用 LED 光源(深圳市四海新宇照明科技有限公司出品)有 3 种不同光质:红光(R),波峰为 636 nm;蓝光(B),波峰为 458 nm;黄光(Y),波峰为 592 nm。本试验共设 5 个 LED 光质配比组合,分别是红光(R)、蓝光(B)、黄光(Y)、红蓝组合光(RB)(其组合比例为 R:B=8:1)、红蓝黄组合光(RBY)(其组合比例为 R:B:Y=8:1:1)。以白色荧光灯管作对照将植物盆栽置于灯架下,通过调节高度,使各处理光照度控制在 85~90 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。光照波峰和组合比例使用 AvaSpec 光纤光谱仪测定,光照度使用 Li-250A 光照计进行测定。

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 植株形态指标动态测定** 分别于处理 10、15、20、25、30 d 时,每个处理选取有代表性的 3 株,采用钢尺测量株高,采用手持活体叶面积仪 YMJ-D(浙江托普仪器有限公司)测量最大叶面积,采用精度为 0.1 mm 的游标卡尺测量茎粗。

**1.3.2 叶片色素含量动态测定** 选取顶部以下第 2 对完全展开叶分别于处理 30 d 时参照李合生的方法<sup>[11]</sup>,测定叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量,并计算叶绿素 a/叶绿素 b;花色素苷含量的测定参照马志本等的方法<sup>[12]</sup>。

**1.3.3 叶绿素荧光参数动态测定** 采用 Handy PEA 连续激发式荧光仪(英国汉莎科学仪器有限公司)测定叶片的快速荧光诱导动力学曲线,并通过 JIP-test 分析得到一系列的叶

收稿日期:2017-06-05

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(16)1002]。

作者简介:孟力力(1982—),女,山西晋中人,硕士,助理研究员,主要从事设施结构环境调控与设施栽培技术研究。E-mail:menglili90@163.com。

通信作者:夏礼如,硕士,研究员,主要从事设施农业、农业设施与装备、农业科技管理等研究。E-mail:xljraas@126.com。

绿素荧光参数指标。

#### 1.4 数据统计分析

本试验中的各处理均随机选 3 株为测定样本,每次均取 3 次测定值,数据取其平均值。采用 DPS 软件进行显著性分析,通过 Turkey 法进行多重比较,使用 Excel 2010 进行数据整理与绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光质对彩叶草幼苗生长的影响

由图 1-a 可以看出,不同处理下的株高、茎粗、最大叶面积随着处理时间的延长呈现整体增加的趋势。在处理 10 d 时,各处理的株高与 CK 之间无显著差异;在处理 15 d 时,各处理与 CK 差异逐渐显现,其中 Y 处理、RBY 处理、R 处理、RB 处理的株高分别比 CK 高 35.4%、40.2%、80.3%、32.8%,且差异均达显著水平( $P < 0.05$ ),B 处理比 CK 高 5.9%,差异不显著;生长后期 R 处理的株高显著高于其他处理( $P < 0.05$ )。

叶片最大叶面积反映了面积的整体变化趋势。由图 1-b 可以看出,在处理 10 d 时,彩叶草最大叶面积变化不大;在处理 15 d 时,RB 处理、RBY 处理、R 处理、RBY 处理的最大叶面积与 CK 差异显著( $P < 0.05$ );随着处理时间的延长,R 处理、RB 处理的增幅远远超过其他处理,其中 R 处理的最大叶面积在 15、20、25、30 d 时分别比 CK 大 156.0%、186.0%、170.0%、159.0%;RB 处理在 15、20、25、30 d 时分别比 CK 大 88.9%、150.0%、130.0%、114.0%。说明不同的光质对彩叶草幼苗叶片的扩展有显著的影响,影响程度排列依次为红、红蓝、红蓝黄;B 处理的最大叶面积变化不大,与 CK 差异不显著;Y 处理的最大叶面积增速最慢,在 15 d 已显著低于 CK 并一直维持该趋势,幼苗后期出现“僵苗”现象。

由图 1-c 可以看出,各处理的茎粗变化趋势复杂,在处理 10 d 时,RB 处理的茎粗显著高于 CK,且随着处理时间的延长,RB 处理的茎粗一直维持最大,其次为 RBY 处理、B 处理。其中 B 处理下茎粗的增长呈现先快后慢的趋势,在 10、15 d 时显著高于 CK( $P < 0.05$ ),但随着处理时间的延长,B 处理的茎粗与 CK 的差异不显著;Y 处理与 CK 在处理 10 d 时茎粗差异不显著,当处理 20、25、30 d 时,Y 处理的茎粗显著低于 CK 的茎粗,并一直保持该趋势,后期长势明显停滞;R 处理茎粗在 10、15 d 时与 CK 差异不显著,随着处理时间延长,20 d 之后,R 处理茎粗显著低于 CK( $P < 0.05$ ),30 d 时 R 处理茎粗显著低于 RB 处理、RBY 处理、BY 处理、CK( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同光质对彩叶草色素含量的影响

由表 1 可知,彩叶草叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)含量均以 RB 处理为最高,分别比 CK 显著高 282.0%、285.0%、283.0%,其次为 R 处理、B 处理、RBY 处理;Y 处理叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素(a+b)含量分别比 CK 低 43.4%、23.7%、39.4%;叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量以 R 处理最高,比 CK 高 22.6%,其次为 RBY 处理、B 处理、RB 处理,而 Y 处理叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量比 CK 低 22.3%;类胡萝卜素含量以 R 处理最高,比 CK 显著高 281.0%,其次为 RB 处理、B 处理、RBY 处理,Y 处理的类胡萝卜素含量比

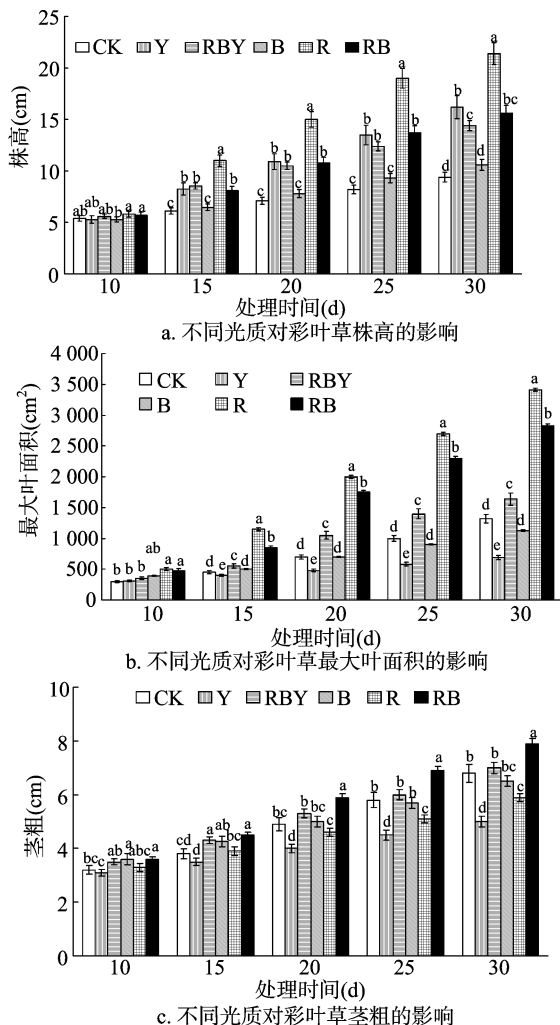


图1 不同光质对彩叶草株高、最大叶面积、茎粗的影响

CK 低 41.8%; 花色素苷 a 含量/叶绿素 b 含量以 R 处理最高,比 CK 显著增加 121.6%,其后依次为 RB 处理、RBY 处理、B 处理,Y 处理比 CK 显著减少 63.0%。

### 2.3 不同光质对彩叶草幼苗叶绿素荧光参数的影响

**2.3.1 不同光质对彩叶草叶片  $F_0$ 、 $F_v/F_m$  的影响** 初始荧光( $F_0$ )、光系统 II (PS II) 反应中心处于完全开放状态时的荧光产量,与 PS II 反应中心活性相关<sup>[13]</sup>。如图 2-A 所示,随着处理时间的延长,B 处理、Y 处理下的  $F_0$  逐渐增大,明显高于其他处理,说明蓝光和黄光处理会引起叶片 PS II 反应中心失活,发生了可逆或不可逆伤害;其他处理间差异不明显。最大光化学效率( $F_v/F_m$ )是指开放的 PS II 反应中心捕获激发能的效率,在发生光抑制时会降低。由图 2-B 可知 Y 处理在 15 d 时明显下降,20 d 时有所回升,但最终呈现下降趋势;B 处理始终为缓慢下降趋势,R 处理、RB 处理、RBY 处理、CK 之间差异不明显。表明蓝光和黄光处理降低了叶片 PS II 原初光能转化效率,红光、红蓝光和红蓝黄光对 PS II 反应中心影响很小,且随着处理时间的延长,反应中心的活性得到一定程度的恢复和提升,说明彩叶草叶片 PS II 光反应中心对不同光质处理有一个响应与适应过程,在生长初期对光环境逆境有一定的适应能力。

### 2.3.2 不同光质对彩叶草叶片 PS II 供体和受体侧参数的影

表 1 不同光质对彩叶草叶片色素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素 (a + b) 含量 (mg/g)	叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量	类胡萝卜素含量 (mg/g)	花色素苷含量 ( $\mu\text{mol/g}$ )
CK	0.141 4 $\pm$ 0.054 2c	0.035 8 $\pm$ 0.012 5cd	0.177 2 $\pm$ 0.066 6c	3.931 3 $\pm$ 0.293 0ab	0.037 3 $\pm$ 0.003 6de	1 150.79 $\pm$ 129.13c
Y	0.080 0 $\pm$ 0.020 9c	0.027 3 $\pm$ 0.010 1d	0.107 3 $\pm$ 0.031 0c	3.052 8 $\pm$ 0.488 4b	0.021 7 $\pm$ 0.006 8e	426.19 $\pm$ 9.71d
RB	0.123 7 $\pm$ 0.007 9c	0.027 7 $\pm$ 0.006 1d	0.151 4 $\pm$ 0.013 7c	4.574 8 $\pm$ 0.750 8a	0.061 5 $\pm$ 0.013 8cd	1 246.83 $\pm$ 173.74bc
B	0.290 2 $\pm$ 0.036 8b	0.067 4 $\pm$ 0.005 5bc	0.357 7 $\pm$ 0.040 9b	4.302 9 $\pm$ 0.388 4ab	0.072 9 $\pm$ 0.014 9bc	1 004.04 $\pm$ 38.90c
R	0.356 8 $\pm$ 0.032 1b	0.075 1 $\pm$ 0.012 5b	0.432 0 $\pm$ 0.040 0b	4.821 4 $\pm$ 0.764 1a	0.142 1 $\pm$ 0.016 5a	2 549.93 $\pm$ 249.61a
RB	0.540 3 $\pm$ 0.102 9a	0.137 9 $\pm$ 0.026 3a	0.678 2 $\pm$ 0.128 3a	3.922 6 $\pm$ 0.246 9ab	0.094 9 $\pm$ 0.011 2b	1 718.33 $\pm$ 335.81b

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著( $P < 0.05$ )。

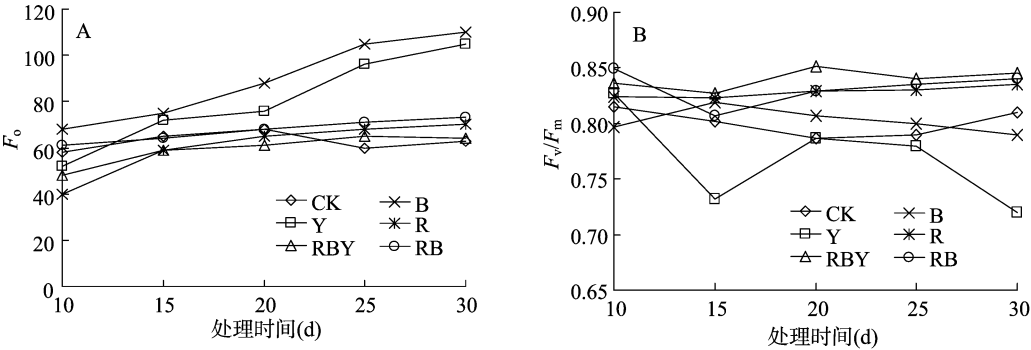


图 2 不同光质对彩叶草叶绿素荧光参数  $F_0$ 、 $F_v/F_m$  的影响

响  $M_0$ 。代表荧光动力学曲线从初始点 O 到最高峰 P 的过程中初级醌受体  $Q_A$  被还原的速率,其大小表示电子传递被抑制的程度。由图 3 - A 可知,B 处理、Y 处理随着处理时间的延长呈现不断升高的趋势,与其他处理差异明显,表明蓝光和黄光对叶片的电子传递影响较大;R 处理、RB 处理、RBY 处理均与 CK 差异不明显,表明红蓝和红蓝黄对电子传递抑制的程度最轻。

$S_m$  表示 PS II 受体侧的电子受体库的容量,其大小可以影响电子传递的速率,由图 3 - B 可知,B 处理、Y 处理呈下降

趋势,与其他处理差异明显;RB 处理在处理期间比 RBY 处理、R 处理、CK 处理略高;R 处理在 20 d 之后明显低于 RBY 处理、CK 处理,表明红蓝光下的电子传递速率最大,纯红光在处理后期的电子传递速率有所下降。

$\psi_o$  表示的是反应中心能量对初级醌受体  $Q_A$  下游电子传递的推动量子产额。由图 3 - C 可知,RB 处理呈现比较平稳的上升趋势,后期略高于其他处理(R 处理除外);RBY 处理、CK 处理在 15 d 时有短暂下降,后又逐步上升,B 处理、Y 处理呈现整体下降趋势,且与其他处理差异明显。

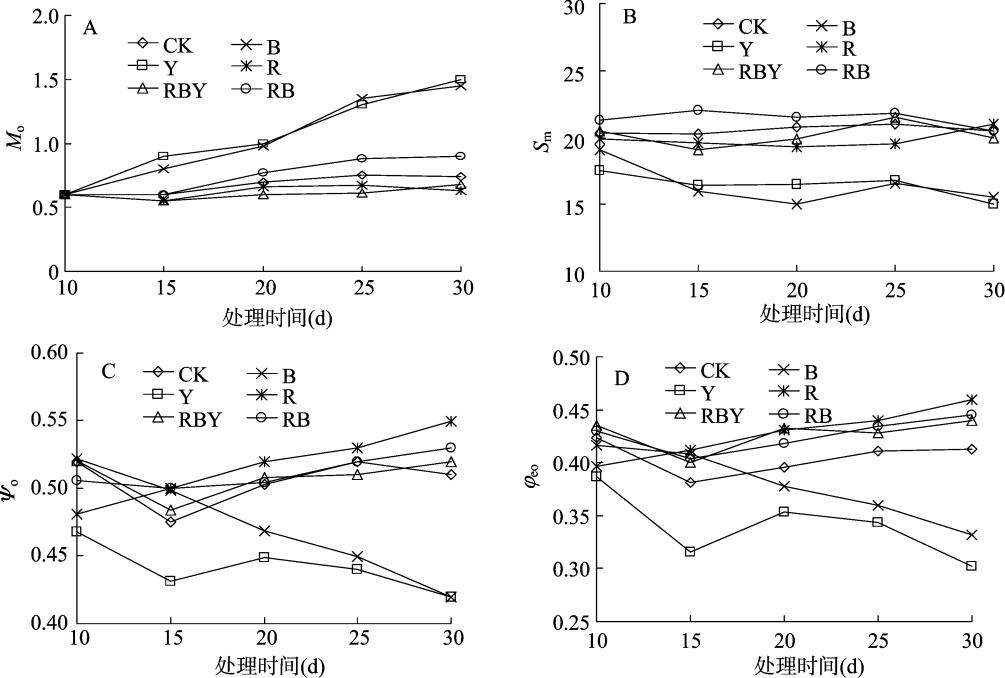


图 3 不同光质对彩叶草叶绿素荧光参数  $M_0$ 、 $S_m$ 、 $\psi_o$ 、 $\phi_{eo}$  的影响

$\varphi_{\infty}$ 代表用于电子传递的量子产额,可以表征 PS II 反应中心的活跃程度。由图 3-D 可知,Y 处理在 15 d 时明显低于其他处理,后又缓慢上升再下降;B 处理一直呈现下降趋势;其他处理保持缓慢上升趋势,25 d 之后,R 处理、RB 处理、RBY 处理高于 B 处理、Y 处理。

### 3 结论与讨论

光是植物生长发育的基本环境因素,不仅是光合作用的基本能源,而且是植物生长发育的重要调节因子,其中光质条件对植物影响尤为重要。从本试验的结果看,黄光处理 20 d 后的植株最大叶面积和茎粗显著低于对照,植株整体徒长明显,长势较弱,这与蒲高斌等的研究结果<sup>[1]</sup>一致;而单一的红光或蓝光都不能有效地促进植株的生长,蓝光对株高有一定的抑制作用,可有效防止植株徒长,但植株弱小;复合光红蓝黄、红蓝光可以显著提高植株的生长各项指标,这与烤烟<sup>[14]</sup>、黄瓜、辣椒、番茄<sup>[2]</sup>的研究结果基本一致。

叶绿素是用于植物光合作用的色素,可以吸收和传递光量子,可用来衡量植物对光能利用能力的高低,叶绿素含量的变化反映了叶片生理活性的状态<sup>[15-16]</sup>。随着光质的变化,植物为更好地利用现有环境光能,光合色素含量会有一些应激反应。本试验中,红光、蓝光、红蓝光下的色素含量都比对照显著增加,与叶绿素 a 吸收红光,叶绿素 b 吸收蓝光的理论相辅相成;且红蓝光下叶片叶绿素(a+b)含量最高,这与植物的生长指标所呈现的结果类似,并且显著高于红光、红蓝黄光下叶绿素(a+b)含量,表明红蓝组合光最有利促进叶绿素的合成。叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量反映光色素复合体 II 在所有叶绿素的结构中所占比例,该比值高说明捕光能力强,红光和红蓝光都有高于对照荧光灯的捕光能力。

花色素苷是一类重要的天然色素物质,是植物主要呈色物质之一,受外界温度、湿度、光质及栽培措施等影响<sup>[17]</sup>,其中光质是影响植物叶片花色素苷合成的关键环境因子之一,且不同光质对彩叶草叶片的花色素苷含量影响不尽一致。本试验中,红光和红蓝光可以比对照显著增加叶片的花色素苷含量,这与前人在葡萄皮<sup>[18-19]</sup>、马铃薯<sup>[17]</sup>上的研究结果一致。

植物本身的生理变化或者逆境胁迫等都能够直接或间接地影响植物 PS II 的功能。叶绿素荧光动力学技术是探测和分析植物光合功能的重要手段,为研究光系统对光能的吸收、传递、分配及热耗散等过程提供了丰富信息。本试验中,黄光和蓝光处理的  $F_v$  和  $M_o$  均明显升高,表明黄光和蓝光处理导致彩叶草叶片 PS II 反应中心的整体活性受到了严重影响,用于热耗散的量子产额增大;而  $F_v/F_m$ 、 $\Psi_o$ 、 $\varphi_{\infty}$  均明显下降,说明彩叶草叶片受到了一定程度的光抑制<sup>[20]</sup>,PS II 原初光能转换效率、电子传递速率及整体性能都明显下降。红光和红蓝光下的各项荧光参数均优于其他处理,这也与植株长势和色素含量的测定结果类似。

综合考虑,红蓝组合光更有利于彩叶草植株生长、光合色素的合成及花色素苷含量的增加。

### 参考文献:

- [1] 蒲高斌,刘世琦,刘磊,等. 不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响[J]. 园艺学报,2005,32(3):420-425.
- [2] 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.
- [3] 马旭,林超辉,齐龙,等. 不同光质与光照度对水稻温室立体育秧秧苗素质的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(11):228-235.
- [4] 刘文科,杨其长,邱志平,等. 不同 LED 光质对生菜生长和营养品质的影响[J]. 蔬菜,2012(11):63-65.
- [5] 刘文科,杨其长,邱志平,等. LED 光质对豌豆苗生长、光合色素和营养品质的影响[J]. 中国农业气象,2012,33(4):500-504.
- [6] 刘庆,连海峰,刘世琦,等. 不同光质 LED 光源对草莓光合特性、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1743-1750.
- [7] 陈沙沙,樊洪泓,关蕾,等. 光质对离体诱导棕色棉纤维基因表达影响的 cDNA-SRAP 分析[J]. 棉花学报,2014,26(1):34-40.
- [8] 孟力力,张俊,闻婧,等. 水肥耦合对盆栽彩叶草生物量的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):166-168.
- [9] 孟力力,张俊,闻婧. 干旱胁迫对彩叶草光合特性及叶片超微结构的影响[J]. 江苏农业学报,2015,31(1):180-185.
- [10] Meng L L, Song J F, Wen J, et al. Effects of drought stress on fluorescence characteristics of photosystem II in leaves of *Plectranthus scutellarioides* [J]. Photosynthetica, 2016, 54(3):414-421.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:186-191.
- [12] 马志本,程玉娥. 关于苹果果实表面花青素含量的化学测定方法[J]. 中国果树,1984(4):49-51.
- [13] 李鹏民,高辉远,Strasser R J. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用[J]. 植物生理与分子生物学学报,2005,31(6):559-566.
- [14] 邹焱,石俊雄,蒋卫,等. 烤烟立体育苗中不同 LED 红蓝光补光组合效果分析[J]. 中国烟草学报,2015,21(5):49-54.
- [15] 吴飞燕,伊力塔,李修鹏,等. 不同光照强度对石栎幼苗叶绿素含量及叶绿素荧光参数的影响[J]. 东北农业大学学报,2012,43(4):88-92.
- [16] 陈祥伟. 不同光质 LED 对乌塌菜生长生理特性及营养品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
- [17] 樊颖伦,孙艳茹,卞春松,等. 不同光质对紫色马铃薯薯块花青素含量的影响[J]. 聊城大学学报(自然科学版),2013,26(4):76-79.
- [18] 刘双双,王忠华. 葡萄花色素苷生物合成调控研究进展[J]. 科技创新导报,2015(2):89-92.
- [19] 刘媛,李胜,马绍英,等. 不同光质对葡萄试管苗离体培养生长发育的影响[J]. 园艺学报,2009,36(8):1105-1112.
- [20] 周艳虹,黄黎锋,喻景权. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报,2004,30(2):153-160.