

# LED 光质补光对番茄幼苗生长及光合特性和抗氧化酶的影响

邬奇, 苏娜娜, 崔瑾

(南京农业大学 生命科学院, 江苏 南京 210095)

**摘 要:**以“合作 903”番茄为试材, 采用发光二极管(LED)精确调制光质组成, 研究不同光质补光对番茄幼苗生长、光合特性和抗氧化酶活性的影响, 以期番茄工厂化育苗的光环境调控提供理论依据。结果表明:与单色光质补光相比, 红蓝复合光质补光处理显著提高了幼苗的干物质积累量、壮苗指数和净光合速率, 其中红:蓝(2:1)补光显著增加了幼苗的叶面积、干鲜重量、可溶性糖和可溶性蛋白质的含量, 提高了幼苗的 CAT 活性、壮苗指数、根系活力和净光合速率, 是番茄工厂化设施育苗过程可供参考的适宜补光光质。

**关键词:**番茄幼苗; 补光; LED; 生长; 光合特性

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)21-0059-05

光质不仅影响种子的萌发<sup>[1]</sup>、根、茎和叶的生长<sup>[2]</sup>及作物开花<sup>[3]</sup>, 还影响内源性激素的变化<sup>[4]</sup>和基因的表达<sup>[5]</sup>等。不同光质环境对黄瓜<sup>[6]</sup>、莴苣<sup>[7]</sup>、萝卜<sup>[8]</sup>等幼苗的生长和物质代谢存在密切的关系, 并对菠菜<sup>[9]</sup>、彩色甜椒<sup>[10]</sup>、豇豆<sup>[11]</sup>、叶用莴苣<sup>[12]</sup>幼苗的光合特性产生影响, 已有研究结果显示经过 4 h 红光、蓝光补光后的番茄幼苗物质积累增多, 生长速率增加, 壮苗指数明显提高, 显著促进幼苗生长, 表明不同光质对蔬菜幼苗光形态建成和光合作用具有显著效应<sup>[13]</sup>。

新型半导体光源发光二极管(LED)具有体积小、寿命长、耗能低、低发热并能精确配置光谱的组成等特点<sup>[14]</sup>, 其出现使光环境调控技术在设施栽培中的应用成为可能<sup>[15]</sup>。育苗是设施栽培的关键环节, 工厂化育苗中常因幼苗拥挤和光照时间不足引起植株的徒长, 在育苗期对幼苗进行补光可以减轻或避免徒长现象的发生<sup>[16]</sup>, 且补光相比于完全人工光源培养更符合生产实际并节省能源。近年来使用不同光质培养植物幼苗并研究光质对其生长的影响多见报道, 研究光质补光对植物生长影响的相对较少, 而系统的研究 LED 单色光质和复合光质补光对番茄幼苗生长的影响鲜见报道。该试验旨

在前期试验的基础上, 研究 LED 不同单色光质和复合光质补光对番茄幼苗生长的影响, 探究光质引起番茄幼苗生长差异的生理机制, 以期筛选出更为理想的光质补光条件, 为番茄育苗过程中的补光提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill)品种“合作 903”购于南京农业大学神州种业公司; LED 冷光源培养箱由宁波赛福实验仪器厂生产。

### 1.2 试验方法

1.2.1 培养条件 种子经过 4 h 浸种后置于 25℃ 培养箱中催芽, 待种子发芽后播种于蛭石:草炭=1:1 的基质中, 在荧光灯和 LED 灯下进行补光育苗, 每组处理培养幼苗 30 株, 调节电流以及光源和植株的距离, 使光照强度均为  $(50 \pm 3) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 培养箱内的相对湿度为  $(75 \pm 5)\%$ , 培养温度  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 光照时间为 16 h/d。培养周期为 35 d, 培育至幼苗第 5 片真叶长出时进行指标的测定。

1.2.2 光质处理 LED 冷光源培养箱的光谱能量分布主要技术参数见表 1。各补光处理组按 12 h/d 荧光+4 h/d 不同光质补光培养。设置红光、蓝光以及复合光质进行补光, 共设 7 个处理组, 在 12 h/d 荧光培养后, 分别补充 4 h/d 的 R(红光)、B(蓝光)、R/B=1:2(红光/蓝光=1:2)、R/B=1:1(红光/蓝光=1:1)、R/B=2:1(红光/蓝光=2:1)、R/B=7:1(红光/蓝光=7:1)、R/Fr=1:2(红光/远红光=1:2)。

**第一作者简介:**邬奇(1989-), 男, 安徽六安人, 硕士研究生, 研究方向为植物光生物学。E-mail:2010116012@njau.edu.cn.

**责任作者:**崔瑾(1974-), 女, 江苏镇江人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为植物发育生物学与光生物学。E-mail:cuijin@njau.edu.cn.

**基金项目:**江苏省自然科学基金资助项目(Q201024)。

**收稿日期:**2013-06-19

表 1 不同 LED 光谱能量分布的主要技术参数

Table 1 Major technique parameters of light spectral energy distribution under LEDs

光质	光谱能量分布	峰值波长 $\lambda_p$	波长半宽 $\Delta\lambda$	光照强度
Light qualities	Light spectral energy distribution	Peak wavelength/nm	Spectral half width/nm	Light intensity/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
F	荧光 Fluorescent	380~750	—	50±3
R	100%红 100%R	658	5	50±3
B	100%蓝 100%B	460	5	50±3
R:B(1:2)	红/蓝(1:2)R/B(1:2)	658/460	5	50±3
R:B(1:1)	红/蓝(1:1)R/B(1:1)	658/460	5	50±3
R:B(2:1)	红/蓝(2:1)R/B(2:1)	658/460	5	50±3
R:B(7:1)	红/蓝(7:1)R/B(7:1)	658/460	5	50±3
R:FR(1:2)	红/远红(1:2)R/FR(1:2)	658/715	5	50±3

## 1.3 项目测定

用直尺测量株高,用游标卡尺测量子叶下端的茎粗。叶面积使用叶面积仪 Li-3000C(Gene company limited)测量。干鲜重用电子天平(精确度为 0.001)称重;壮苗指数=茎粗/株高 $\times$ 全株干物质质量<sup>[17]</sup>;G 值=苗样干重/育苗天数。

叶绿素含量测定采用无水乙醇:丙酮=1:1 溶液提取<sup>[18]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性测定采用紫外吸收法;MDA 含量测定采用 TBA 显色反应法;根系活力测定采用 TTC 法;可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法;可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝比色法<sup>[19]</sup>;光合参数(净光合速率  $P_n$ 、气孔导度  $GS$ 、胞间  $CO_2$  浓度、蒸腾速率)使用

Li-6400 型光合仪(美国 LI-COR)测量。随机取样,所有指标测定均重复 3 次。

## 1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析,Duncan 新复极差法进行显著性分析, $P<0.05$ 。

## 2 结果与分析

## 2.1 LED 光质补光对番茄幼苗生长的影响

从表 2 和图 1 可以看出,红蓝复合光质补光下幼苗的叶面积和壮苗指数值均显著高于单色光质补光处理组。红/蓝(2:1)补光下的幼苗茎粗、叶面积、植株鲜干重、壮苗指数和 G 值均显著高于单色补光处理组。红/蓝(7:1)补光下的叶面积显著低于其它 3 种红蓝复合光。红/远红(1:2)补光也显著低于 3 种红蓝复合光,不利于培育壮苗。

表 2 LED 光质补光对番茄幼苗生长的影响

Table 2 Effects of supplemental lighting with LED light quality on the growth of tomato seedlings

光质	株高	茎粗	叶面积	真叶数	植株鲜重	植株干重	壮苗指数	G 值
Light quality	Plant height/cm	Stem diameter/cm	Leaf area/cm <sup>2</sup>	Leaf number	Fresh weight/g	Dry weight/g	Healthy index	G value
R	10.93±0.57a	3.43±0.32c	45.84±5.95c	4.33±0.58ab	2.34±0.20bc	0.14±0.01bc	0.73±0.12bcd	0.004±0.0002bc
B	9.83±0.55a	2.51±0.27d	25.80±2.34d	4.00±1.00b	1.14±0.13d	0.07±0.01c	0.29±0.05d	0.002±0.0001c
R:B=1:2	11.11±0.60a	4.11±0.24b	108.45±8.22a	5.67±0.58a	4.06±0.48ab	0.27±0.03b	1.51±0.25b	0.008±0.0002b
R:B=1:1	10.67±0.46a	4.00±0.20b	100.04±15.02a	5.67±1.15a	3.59±0.85b	0.26±0.05b	1.34±0.26bc	0.007±0.0050b
R:B=2:1	10.65±1.07a	4.83±0.31a	122.40±17.83a	5.33±0.58ab	5.67±2.41a	0.42±0.19a	2.55±0.96a	0.012±0.0020a
R:B=7:1	9.67±0.84a	3.59±0.47bc	70.73±14.06b	5.33±0.58ab	2.94±0.78bc	0.24±0.06b	1.10±0.38bc	0.006±0.0001bc
R:FR=1:2	8.33±0.93b	3.15±0.35c	42.78±3.78c	4.67±0.58ab	1.57±0.11c	0.09±0.01c	0.60±0.07cd	0.003±0.0002c



图 1 LED 光质补光对番茄幼苗生长的影响

Fig. 1 Effects of supplemental lighting with LED light quality on the growth of tomato seedlings

## 2.2 LED 光质补光对番茄幼苗生理特性的影响

由表 3 可知,红/蓝(1:1)、红/蓝(2:1)和红/蓝(1:2)补光下幼苗的 CAT 活性均高于单色补光处理,其中红/蓝(1:1)、红/蓝(2:1)上升显著;其中红/蓝(1:1)和红/蓝(1:2)补光下幼苗的 SOD 活性均显著高于单色补光处理。红/蓝(1:1)补光下的幼苗的可溶性

糖含量、可溶性蛋白质含量以及根系活力均极显著高于单色补光处理;红/蓝(2:1)补光下幼苗的可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量、根系活力均显著高于单色补光处理;红/蓝(1:2、1:1、2:1)补光下幼苗的 MDA 含量较单色光补光处理组显著降低;红光补光处理下的 MDA 含量显著高于其它处理组。

表 3 LED 光质补光对番茄幼苗生理特性的影响

Table 3 Effects of supplemental lighting with LED light quality on the physiological characteristics of tomato seedlings

光质 Light quality	SOD 活性 SOD activity / $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	POD 活性 POD activity / $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	CAT 活性 CAT activity / $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	MDA 含量 MDA content / $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	可溶性糖含量 Soluble sugars content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	可溶性蛋白质含量 Soluble proteins content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	游离氨基酸含量 Free amino acid content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	根系活力 Root activity / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
R	143.15±1.69c	0.74±0.07bcd	0.48±0.01c	0.80±0.08a	23.20±6.62b	13.76±0.10d	17.10±1.03c	44.21±0.88b
B	142.57±1.68c	0.81±0.10ab	0.53±0.02bc	0.59±0.07b	19.19±1.04b	13.91±0.15cd	19.97±0.19abc	38.51±0.51c
R:B=1:2	151.03±4.57b	0.61±0.08d	0.57±0.02b	0.48±0.03cd	25.99±2.66b	13.82±0.16d	23.78±0.76a	43.88±2.38b
R:B=1:1	173.45±4.88a	0.75±0.03bc	0.67±0.01a	0.44±0.03cd	45.66±5.21a	14.31±0.17b	23.56±1.17a	49.86±1.59a
R:B=2:1	143.59±5.26c	0.68±0.08cd	0.66±0.03a	0.40±0.01d	49.04±6.66a	14.64±0.07a	19.96±7.24abc	54.78±6.60a
R:B=7:1	127.69±0.18d	0.69±0.02bcd	0.51±0.01bc	0.59±0.16b	43.90±2.88a	14.19±0.26bc	20.76±0.87abc	35.37±1.42cd
R:FR=1:2	121.27±3.54e	0.89±0.05a	0.52±0.02bc	0.52±0.01bc	24.06±2.29b	14.05±0.14bcd	18.15±1.10bc	31.77±1.89d

## 2.3 LED 光质补光对番茄幼苗光合特性的影响

从表 4 可以看出,红/蓝(1:1)补光下的幼苗叶片中叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总量和类胡萝卜素含量达到最大值且显著高于蓝光补光处理;红光补光

有利于幼苗叶绿素 b 和类胡萝卜素含量的提高;与红蓝复合光质补光处理组相比,红/远红(1:2)补光下幼苗的叶绿素 a 含量、叶绿素总量均显著降低。

表 4 LED 光质补光对番茄幼苗叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Table 4 Effects of supplemental lighting with LED light quality on the pigment contents of tomato seedling leaves

光质 Light quality	叶绿素 a 含量 Chl a content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$	叶绿素 b 含量 Chl b content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$	叶绿素总量 Chl a+b content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$	叶绿素 a/b Chl a/b	类胡萝卜素含量 Carotenoid content/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$
R	1.76±0.09bc	0.75±0.06a	2.52±0.07ab	2.33±0.25ab	0.33±0.03a
B	1.53±0.09c	0.61±0.01b	2.14±0.09cd	2.53±0.11ab	0.26±0.01b
R:B=1:2	1.67±0.07bc	0.64±0.03ab	2.32±0.10bc	2.61±0.05ab	0.28±0.02ab
R:B=1:1	2.03±0.20a	0.76±0.11a	2.79±0.31a	2.68±0.10a	0.33±0.02a
R:B=2:1	1.84±0.06ab	0.70±0.04ab	2.54±0.10ab	2.62±0.10ab	0.29±0.04ab
R:B=7:1	1.67±0.18bc	0.62±0.07b	2.29±0.24bc	2.69±0.09a	0.24±0.05bc
R:FR=1:2	1.28±0.14d	0.58±0.11b	1.85±0.18d	2.26±0.45b	0.19±0.05c

从表 5 可以看出,红/蓝(2:1、7:1、1:2)补光组的幼苗叶片的净光合速率(Pn)均显著高于单色光质补光组;红/蓝(2:1)补光下的幼苗的气孔导度(Gs)和蒸腾

速率均显著高于蓝光补光组。与单色光补光相比,红蓝复合光质补光下的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度在数值上与其无显著性差异,但显著低于红/远红(1:2)补光处理组。

表 5 LED 光质补光对番茄幼苗叶片光合特征参数的影响

Table 5 Effects of supplemental lighting with LED light quality on the photosynthetic characteristics of tomato seedling leaves

光质 Light quality	净光合速率 Pn / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 Gs / $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Ci / $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$	蒸腾速率 Tr / $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
R	2.16±1.19b	0.032±0.017ab	304.33±7.51ab	0.76±0.38ab
B	1.54±0.51b	0.017±0.001b	281.67±37.07ab	0.42±0.03b
R:B=1:2	3.55±0.50a	0.034±0.016ab	219.67±78.42b	0.81±0.37ab
R:B=1:1	2.81±0.86ab	0.027±0.017ab	234.67±54.10b	0.63±0.39ab
R:B=2:1	4.05±0.63a	0.051±0.010a	223.67±37.81b	1.17±0.19a
R:B=7:1	3.64±0.62a	0.034±0.012ab	255.67±35.73b	0.78±0.25ab
R:FR=1:2	1.94±0.33b	0.036±0.011ab	346.00±22.11a	0.81±0.24ab



### 3 讨论

补光育苗技术是目前培育植物壮苗时广泛应用的一项技术<sup>[20]</sup>,在蔬菜育苗中,延长光照时间可以促进黄瓜<sup>[21]</sup>、茄子<sup>[22]</sup>和西葫芦<sup>[23]</sup>幼苗的生长。近年来,随着LED光源的利用和普及,设施蔬菜育苗过程中不再局限于只使用传统光源(荧光灯、高压钠灯等)进行补光,红、蓝、黄等LED单色光及其组合光源也被越来越多地利用到设施栽培中,以期更好地促进蔬菜幼苗的生长。该试验结果表明,不同光质补光对番茄幼苗生长有显著影响。单色光质补光时,红光比蓝光更利于促进番茄幼苗的生长,表现为叶面积和鲜重的显著增加。与红、蓝单色光质相比,红、蓝组合光更利于番茄幼苗形态建成,这与Kim等<sup>[24]</sup>、邸秀茹等<sup>[25]</sup>、崔瑾等<sup>[26]</sup>在莴苣、冬青、黄瓜等植物上的研究结果一致。

唐大为等<sup>[27]</sup>研究发现,红/蓝(7:3)处理下黄瓜幼苗壮苗指数和生物量均达到最大。该试验结果表明,随着红光比例的不断增大,番茄幼苗的形态特征呈现先升高后降低的趋势,其中红/蓝(2:1)补光下的幼苗茎粗、根长、植株鲜干重均显著高于单色补光处理组且达到最大值,这些形态指标的变化也使红/蓝(2:1)补光下的幼苗壮苗指数达到最大,且显著高于其它处理。说明幼苗的壮苗指数和生物量积累并不是随着红光比例的增加一直增加,不同植株类型之间存在很大差异。

有研究表明红光利于诱导叶片的伸长和扩展<sup>[28]</sup>,蓝光则有抑制叶片扩大的作用<sup>[7]</sup>,增加红光比例对叶面积的增加有一定的促进作用<sup>[29]</sup>。该试验中,红/蓝(2:1)补光条件下的叶面积值最大,但红/蓝(7:1)补光条件下的叶面积值在红蓝复合光中相对较小(表2),表明红光比例的增加只能在一定范围内促进叶生长。

SOD、POD、CAT作为植物体内重要的保护酶类,可通过协同作用不断的清除细胞产生的活性氧,减少膜脂过氧化物的发生<sup>[30]</sup>。单色红光补光下的番茄幼苗的3种抗氧化酶活性相对较低,MDA含量相对较高,这可能与红光处理降低了植物体内的抗氧化酶活性及基因的表达有关<sup>[31]</sup>,而适当增加蓝光则能提高抗氧化酶的活性,降低MDA含量。该试验中SOD和CAT等抗氧化酶类活性随着红光比例的增大呈现先增加后降低的趋势,红/蓝(2:1)补光下幼苗的SOD活性下降,且MDA含量降至最低。这与Pastori等<sup>[32]</sup>在豌豆幼苗上的研究结论相似。

光质对高等植物的碳水化合物和蛋白质代谢有调节作用,在红光下生长的作物通常碳水化合物含量较高,而在蓝光下生长的作物蛋白质含量较高<sup>[33]</sup>。该试验结果表明,组合光处理下的番茄幼苗可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量显著高于单色光,其中红/蓝(2:1)补光下的幼苗叶片中可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量

达到最大值,表明红光和蓝光共同调节番茄幼苗的碳氮代谢,并具有协同作用。

光合色素是光合作用的基础,对大多数作物而言,红光有利于提高叶片中叶绿素a(Chl a)、叶绿素b(Chl b)和总叶绿素含量,蓝光有利于提高叶片中Chl a/Chl b比值<sup>[34]</sup>。该试验结果表明,番茄幼苗叶片中叶绿素和类胡萝卜素的含量在红/蓝(1:1)和红/蓝(2:1)处理下的均达到最大,说明适当添加蓝光对番茄幼苗叶片中色素的含量起到正调节作用。光合色素含量会在一定程度上会影响光合特性,该试验结果同时显示,红/蓝(2:1)处理下的番茄幼苗叶片的净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均达到最大值。表明红/蓝(2:1)有利于气孔的开放并通过光合色素的积累促进了净光合速率的提高,净光合速率会增加植物对水分的利用率<sup>[35]</sup>,因此红/蓝(2:1)条件下番茄幼苗叶片的蒸腾速率在气孔导度和净光合速率的协同影响下表现出最大值。

综上所述,红、蓝组合光尤其是红/蓝(2:1)最有利于番茄幼苗的生长发育,对实际生产中番茄幼苗培育具有一定的指导意义。该试验研究了不同红、蓝组合光补光对番茄幼苗生长和光合特性的影响,关于光质补光引起番茄幼苗生长差异的深层次影响还有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] Dissanayake P, George D L, Gupta M. Effect of light, gibberellic acid and abscisic acid on germination of guayule (*Parthenium argentatum* Gray) seed[J]. Ind Crop Prod, 2010, 32: 111-117.
- [2] Macedo A F, Leal-Costa M V, Tavares E S, et al. The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of *Alternanthera brasiliana* Kuntze[J]. Environ Exp Bot, 2011, 70: 43-50.
- [3] Asuka Y, Takahiro T, Takuro S, et al. Red, far-red light ratio and far-red light integral promote or retard growth and flowering in *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 120 (1): 101-106.
- [4] Nick P, Furuay M. Phytochrome dependent decrease of gibberellin sensitivity[J]. Plant Grow Regulation, 2003, 12: 95-206.
- [5] Azari R, Tadmor Y, Meir A, et al. Light signaling genes and their manipulation towards modulation of phytonutrient content in tomato fruits[J]. Biotech Adv, 2010, 28: 108-118.
- [6] Ni J H, Chen X H, Chen C H, 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.
- [7] Li Q, Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce[J]. Environ Exp Bot, 2009, 67: 59-64.
- [8] Drozdova I S, Bondar V V, Bukhov N G, et al. Effects of Light Spectral Quality on Morphogenesis and Source-Sink Relations in Radish Plants[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2010, 48: 415-420.
- [9] Matsuda R, Kaneko K, Fujiwara K, et al. Effects of blue light deficiency on acclimation of light energy partitioning in PSII and CO<sub>2</sub> assimilation capacity to high irradiance in spinach leaves[J]. Plant Cell Physiology, 2008, 49 (4): 664-670.

- [10] 杜洪涛,刘世琦,蒲高斌. 光质对彩色甜椒幼苗生长及叶绿素荧光特性的影响[J]. 华北农学报, 2005, 14(1): 41-45.
- [11] 林碧英,张瑜,林义章. 不同光质对豇豆幼苗光合特性和若干生理生化指标的影响[J]. 热带作物学报, 2011, 32(2): 235-239.
- [12] 李雯琳,郁继华,张国斌,等. LED光源不同光质对叶用莴苣幼苗叶片气体参数和叶绿素荧光参数的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(1): 47-51.
- [13] Naoya F, Mitsuko F, Yoshitaka O, et al. Directional blue light irradiation triggers epidermal cell elongation of abaxial side resulting in inhibition of leaf epinasty in geranium under red light condition[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 115: 176-182.
- [14] Guo S, Liu X, Ai W. Development of an improved ground-based phototype of space plant-growing facility[J]. Advances in Space Research, 2008, 41(5): 736-741.
- [15] 杨其长. LED在农业与生物产业的应用于前景展望[J]. 中国农业科技导报, 2008, 10(6): 42-47.
- [16] 魏灵玲,杨其长,刘水利. 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, 23(12): 415-419.
- [17] 张振贤,王培伦,刘世琦,等. 蔬菜生理[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1993.
- [18] 郝建军,刘延吉. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学出版社, 2001: 75-86.
- [19] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 184-185.
- [20] 杨玉杰,李海云. 光周期对植物生长发育的影响研究进展[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(13): 6693-6694.
- [21] 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.
- [22] 陈敏,李海云. 不同光周期对茄子幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2010, 16(4): 53-55.
- [23] 李海云,李长新,张复君,等. 不同光周期对西葫芦幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2009, 18(5): 17-19.
- [24] 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]. Sci Hortic, 2004, 101: 143-151.
- [25] 邸秀茹,崔瑾,徐志刚,等. 不同光谱能量分布对冬青试管苗生长的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(9): 1339-1344.
- [26] 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.
- [27] 唐大为,张国斌,张帆,等. LED光源不同光质对黄瓜幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 45(1): 44-48.
- [28] Kong S S, Hosakatte N M, Jeong W H, et al. The effect of light quality on the growth and development of *in vitro* cultured Doritaenopsis plants[J]. Acta Physiol Plant, 2008, 30: 339-343.
- [29] 史宏志,韩锦峰,管春云,等. 红光和蓝光对烟叶生长碳氮代谢和品质的影响[J]. 作物学报, 1999, 25(2): 215-220.
- [30] 袁政,张大兵. 植物叶片衰老的分子机制[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(4): 417-422.
- [31] 王虹,姜玉萍,师恺,等. 光质对黄瓜叶片衰老与抗氧化酶系统的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 529-534.
- [32] Pastori G M, DelRio L A. Natural senescence of pea leaves-An activated oxygen-mediated function for peroxisomes[J]. Plant Physiology, 1997, 113: 411-418.
- [33] Kowallik W. Blue light effects on respiration[J]. Annu Rev Plant Physiology, 1998, 33: 51-72.
- [34] 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.
- [35] 尚富华,李吉跃,胡磊,等. 修枝对毛白杨无性系生长、净光合速率和蒸腾速率的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(23): 134-139.

## Effects of LED Light Quality on Growth Vitality, Photosynthetic Performance and Antioxidant Enzymatic Activity of Tomato Seedlings

WU Qi, SU Na-na, CUI Jin

(College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

**Abstract:** Taking 'Hezuo 903' tomato as material, light emitting diode (LED) was applied to accurately modulate the composition of light quality, the effects of supplemental light quality on the growth, photosynthesis and antioxidant enzyme in tomato seedlings were studied, in order to provide a theoretic reference for the commercial production of this seedling. The results showed that compared with the under monochromatic light, mixed light of red and blue obviously increased leaf area, fresh and dry weight, strong seedling index and net photosynthetic rate. Of them, the mixed light with red : blue 2 : 1 (R/B 2 : 1) was the best to improve leaf area, fresh and dry weight, soluble sugars and soluble proteins, CAT activity, strong seedling index, root activity and net photosynthetic rate. Supplemental light R/B 2 : 1 could be used in future industrialized breeding of this species owing to its function to promote seedling productivity.

**Key words:** tomato seedling; supplement lighting; LED; growth; photosynthetic characteristics