

不同光质对樱桃番茄幼苗生理与光合特性的影响

董飞¹, 王传增², 张现征¹, 秦瑜¹, 刘世琦^{1,*}

¹山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室/农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 山东泰安271018; ²山东省果树研究所, 山东泰安271000

摘要: 以樱桃番茄(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)品种‘Micro Tom’为试材, 利用LED精量调制光源, 设白光、红/蓝光(1:1)、红/蓝光(3:1)、红/蓝光(5:1)、红/蓝光(7:1)五个处理, 以白光为对照, 测定樱桃番茄幼苗株高, 茎粗, 壮苗指数, 根系活力, 可溶性糖、可溶性蛋白、叶绿素含量, 光合、荧光参数, 叶片结构等, 研究300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 光强下不同光质处理对樱桃番茄幼苗形态、生理、光合、荧光特性及叶片结构的影响。结果表明: 红/蓝(7:1)处理的比叶面积最大; 红/蓝(3:1)处理的壮苗指数最高, 最有利于壮苗的培育; 红/蓝(3:1)处理的樱桃番茄幼苗可溶性糖、可溶性蛋白含量和根系活力均最高, 并且与其他处理之间差异显著; 红/蓝(1:1)处理的叶绿素含量最高; 红/蓝(3:1)处理的净光合速率最高, 红/蓝(1:1)最低; 红/蓝(3:1)处理的光系统II (PSII)单位反应中心(RC)吸收、捕获、电子传递能量的能力最强, 较对照差异极显著; 红/蓝(3:1)处理的栅栏组织和海绵组织细胞长度最大。因此, 红/蓝(3:1)处理最有利于壮苗培育, 处理后樱桃番茄品质较高, 光合、荧光特性较强, 叶片厚度较大。

关键词: 樱桃番茄; 光合特性; 光质; 叶片结构

光作为主要的能源, 是影响植物生理生化过程的重要因素之一(Pérez-Balibrea等2008)。虽然人们普遍认为光强可以影响植物生物物质的积累(Li和Kubota 2009; Vergeer等1995), 但是光质的影响更为复杂。光质不仅在形态发生和光合作用中起着重要作用(Hoenecke等1992; Sæbø等1995), 而且还影响叶绿素吸收光的方式(Tennessen等1994; Tripathy和Brown 1995), 例如红光能够提高大果越橘(*Vaccinium macrocarpon*)果实的花青苷含量(Zhou和Singh 2002), 蓝光可以提高番茄(*Solanum lycopersicum*)的花青素含量(Giliberto等2005)和咖啡(*Coffea* sp.)的类胡萝卜素含量(Ramalho等2002), 但是小麦(*Triticum aestivum*)对蓝光诱导却不敏感。此外, 红/蓝/白LED光源与红/蓝光源相比在提高农作物的产量和生菜(*Lactuca sativa*)、番茄的品质方面更有效(Lin等2013)。

育苗便于创造幼苗生长发育适宜的环境条件, 可防止自然灾害和不良环境的影响, 有利于培育壮苗。据研究, 秧苗素质对早期产量和总产量的影响达30%~50%。壮苗是早熟、丰产的基础, 培育壮苗在生产中的重要性已为人们熟知(韩素芹等2014)。本研究旨在探明不同光质对樱桃番茄幼苗壮苗指数、品质、光合特性、光系统II (photosystem II, PSII)单位反应中心(reaction center, RC)吸收、捕获、电子传递及热耗散能量的影响, 以期找到适于樱桃番茄幼苗生长的最佳红蓝光的配比, 为丰富和提升设施育苗, 发展设施蔬菜栽培提供依据。

材料与方 法

1 实验材料

本实验以樱桃番茄(*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)品种‘Micro Tom’为试材, 待种子发芽后播种于含蛭石和草炭(1:2, V/V)的混和基质中, 待二叶一心时转入营养钵(10 cm×8 cm), 选取长势一致的幼苗移入光质实验室。

2 实验设计

实验在山东农业大学科技创新园及智能人工气候室进行, LED光源由广东纯英光电科技有限公司提供, 光照培养架为钢架结构, 光源置于顶部, 培养架外层为银色遮光布, 以保证LED光源为植株生长的唯一光源。实验设5个处理: 红/蓝光(1:1)、红/蓝光(3:1)、红/蓝光(5:1)、红/蓝光(7:1), 以白光为对照。每个处理50株, 3次重复, 随机排列。距离光源50 cm处的光子通量密度均为300 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光周期为12 h·d⁻¹, 白天温度28°C, 夜间温度18°C, 湿度为(70±10)%。

3 测定项目与方法

光质实验室培养30 d后, 取第三片完全伸展叶进行测定。形态指标为10株平均值, 随机取样。植株叶面积用叶面积仪CI-202测定; 壮苗指数=茎粗/株高×全株干重(张振贤和程智慧2008); 比叶面

收稿 2017-02-22 修定 2017-03-29

资助 国家公益性行业(农业)科研专项(201303108)。

* 通讯作者(E-mail: liusq99@sdau.edu.cn)。

积=叶面积(单面)/叶干重(Fan等2013); 根系活力以及叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白含量均参考赵世杰(2002)的方法; 光量子通量密度用3415FX光度计(Spectrum Technologies, 美国)测定; 用CI-RAS-3光合仪测定叶片光合参数, 测定时间为上午9:00~11:00, 测定光强为 $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, CO_2 浓度为 $480 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 叶温为 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$; 叶绿素荧光参数用FMS-2便携调制式荧光仪测定; 叶绿素快速荧光诱导动力学曲线用连续激发式荧光仪Handy PEA测定。

4 数据处理

采用DPS v14.10统计软件对数据进行方差分析, 采用Duncan新复极差法进行多重比较($\alpha=0.05$), 用Microsoft Excel 2010作图。

实验结果

1 不同光质对樱桃番茄幼苗形态指标的影响

由表1可以看出, 不同光质下樱桃番茄幼苗的株高差异明显, 依次为红/蓝(7:1)>红/蓝(5:1)>红/蓝(3:1)>对照>红/蓝(1:1)。当红蓝光比例为3:1时, 植株的茎粗、单株鲜重、单株干重达到最大值。不同处理之间比叶面积差异极显著, 其中红/蓝(7:1)时比叶面积最大, 但是植株有些徒长, 长势较弱。红/蓝(3:1)时壮苗指数明显高于其他处理。由此可见, 红光虽能提高植株的株高和比叶面积, 但是红光比例过高会使植株徒长, 因此, 红/蓝(3:1)最有利于壮苗的培育。

2 不同光质对樱桃番茄幼苗生理特性的影响

由表2可以看出, 红/蓝(3:1)处理的樱桃番茄幼

表1 不同光质对樱桃番茄幼苗形态的影响

Table 1 Effects of different light qualities on morphology of cherry tomato seedlings

处理	株高/cm	茎粗/mm	单株鲜重/g	单株干重/g	比叶面积/ $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$	壮苗指数
对照	11.97±0.15 ^{cdCD}	2.80±0.79 ^{aA}	6.80±0.03 ^{cC}	0.74±0.04 ^{abA}	394.12±4.56 ^{cC}	0.173±0.002 ^{abA}
红/蓝(1:1)	10.60±0.95 ^{dD}	3.11±0.14 ^{aA}	5.28±0.07 ^{eE}	0.49±0.02 ^{bA}	371.79±3.67 ^{dD}	0.144±0.006 ^{bbB}
红/蓝(3:1)	13.20±0.77 ^{bcBC}	3.73±0.27 ^{aA}	8.14±0.09 ^{aA}	0.85±0.03 ^{aA}	315.88±5.78 ^{eE}	0.188±0.003 ^{aA}
红/蓝(5:1)	14.53±0.26 ^{abAB}	3.42±0.21 ^{aA}	6.00±0.06 ^{dD}	0.63±0.05 ^{abA}	449.05±6.52 ^{bbB}	0.174±0.003 ^{abA}
红/蓝(7:1)	15.61±0.85 ^{aA}	3.54±0.44 ^{aA}	7.19±0.07 ^{bbB}	0.74±0.06 ^{abA}	482.96±7.45 ^{aA}	0.170±0.005 ^{abA}

同一指标数据用不同小写字母标识表示差异显著($P<0.05$), 用不同大写字母标识表示差异极显著($P<0.01$), 下表同。

表2 不同光质对樱桃番茄幼苗生理特性的影响

Table 2 Effects of different light qualities on physiologic characteristics of cherry tomato seedlings

处理	可溶性糖含量/%	可溶性蛋白含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	根系活力/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	类胡萝卜素含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素a含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素b含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素a+b含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)
对照	3.11±0.17 ^{baB}	5.84±1.39 ^{caA}	130.97±11.63 ^{abAB}	0.289±0.059 ^{abAB}	1.267±0.286 ^{abA}	0.313±0.074 ^{abcAB}	1.580±0.360 ^{abA}
红/蓝(1:1)	2.81±0.27 ^{bcB}	7.79±0.92 ^{abA}	107.85±14.10 ^{bbB}	0.350±0.041 ^{aA}	1.593±0.119 ^{aA}	0.433±0.013 ^{aA}	2.025±0.129 ^{aA}
红/蓝(3:1)	3.76±0.37 ^{aA}	8.44±0.76 ^{aA}	161.65±24.27 ^{aA}	0.188±0.008 ^{bcAB}	0.983±0.048 ^{abA}	0.249±0.005 ^{bcAB}	1.233±0.053 ^{abA}
红/蓝(5:1)	2.61±0.27 ^{bcB}	6.27±0.76 ^{baA}	136.83±25.13 ^{abAB}	0.149±0.084 ^{cB}	0.672±0.322 ^{bA}	0.153±0.048 ^{cB}	0.825±0.370 ^{baA}
红/蓝(7:1)	2.43±0.18 ^{cB}	7.08±0.96 ^{abcA}	131.30±10.23 ^{abAB}	0.258±0.108 ^{abcAB}	1.237±0.625 ^{abA}	0.332±0.178 ^{abAB}	1.571±0.803 ^{abA}

苗可溶性糖、可溶性蛋白含量和根系活力均最高, 并且与其他处理之间差异显著。不同处理的类胡萝卜素含量差异显著, 依次为红/蓝(1:1)>对照>红/蓝(7:1)>红/蓝(3:1)>红/蓝(5:1)。红/蓝(1:1)时叶绿素含量最高, 红/蓝(5:1)时最低。

3 不同光质对樱桃番茄幼苗光合特性的影响

表3表明, 不同光质处理的樱桃番茄幼苗净光合速率差异显著, 红/蓝(3:1)处理最高, 与其他处理之间差异极显著; 红/蓝(1:1)处理最低, 仅为红/蓝

(3:1)处理的48.76%。蒸腾速率和气孔导度的变化规律与净光合速率相似, 依次为红/蓝(3:1)>红/蓝(7:1)>红/蓝(5:1)>对照>红/蓝(1:1), 说明红/蓝(3:1)处理的樱桃番茄幼苗水分代谢比较旺盛。红/蓝(7:1)处理胞间 CO_2 浓度最高, 较对照高14.46%, 并且与其他处理差异显著。

4 不同光质对樱桃番茄幼苗荧光特性的影响

由表4可见, 各处理下的樱桃番茄幼苗PSII最大光能转换效率(F_v/F_m)与对照差异显著, 并且红/

表3 不同光质对樱桃番茄幼苗光合特性的影响

Table 3 Effects of different light qualities on photosynthetic characteristics of cherry tomato seedlings

处理	净光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	蒸腾速率/ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度/ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$
对照	4.41±0.44 ^c	3.52±0.15 ^{cBC}	371.33±6.66 ^{bb}	434.67±60.93 ^{abA}
红/蓝(1:1)	4.13±0.10 ^c	2.76±0.10 ^c	288.57±3.50 ^{bb}	256.43±7.12 ^{cb}
红/蓝(3:1)	8.47±0.35 ^{aA}	10.23±2.52 ^{aA}	692.67±31.63 ^{aA}	392.33±12.66 ^{baB}
红/蓝(5:1)	5.26±0.14 ^{bb}	6.17±0.07 ^{bb}	406.54±3.01 ^{bb}	357.42±2.98 ^{baB}
红/蓝(7:1)	5.45±0.25 ^{bb}	9.95±0.35 ^{aA}	456.43±35.23 ^{aA}	497.51±103.50 ^{aA}

表4 不同光质对樱桃番茄幼苗荧光参数的影响

Table 4 Effects of different light qualities on fluorescence parameters of cherry tomato seedlings

处理	F_o	F_v/F_m	F_v'/F_m'	Φ_{PSII}	q_p	NPQ
对照	121.34±10.54 ^{abAB}	0.786±0.016 ^{abAB}	0.746±0.038 ^{abAB}	0.528±0.017 ^{abABC}	0.711±0.019 ^{baB}	2.024±0.011 ^{bb}
红/蓝(1:1)	119.28±7.23 ^{abAB}	0.792±0.009 ^{ba}	0.740±0.039 ^{abAB}	0.452±0.029 ^c	0.611±0.018 ^{cb}	2.103±0.022 ^{aA}
红/蓝(3:1)	110.75±4.73 ^{bcAB}	0.817±0.012 ^{aA}	0.779±0.028 ^{aA}	0.593±0.032 ^{aA}	0.816±0.007 ^{aA}	1.971±0.024 ^{cb}
红/蓝(5:1)	100.63±10.01 ^{cb}	0.750±0.011 ^{cb}	0.740±0.028 ^{abAB}	0.464±0.065 ^{bcBC}	0.626±0.067 ^{cb}	2.033±0.039 ^{bb}
红/蓝(7:1)	127.42±5.19 ^{aA}	0.754±0.014 ^{bc}	0.681±0.014 ^{bb}	0.554±0.015 ^{aAB}	0.764±0.067 ^{baA}	1.998±0.021 ^{bcB}

F_o : 初始荧光。

蓝(3:1)处理的 F_v/F_m 值最高, 较对照高3.94%。红/蓝(1:1)、红/蓝(3:1)、红/蓝(5:1)、红/蓝(7:1)处理下的樱桃番茄幼苗的PSII有效光化学量子产量(F_v'/F_m')与对照无显著差异。考察不同光质处理下PSII实际光化学速率(Φ_{PSII}), 红/蓝(1:1)显著低于对照, 较对照低14.39%。不同处理的樱桃番茄幼苗光化学淬灭系数(photochemical quenching coefficient, q_p)差异显著, 依次为红/蓝(3:1)>红/蓝(7:1)>对照>红/蓝(5:1)>红/蓝(1:1)。各处理间以红/蓝(1:1)非光化学淬灭系数(non-photochemical quenching coefficient, NPQ)值最大, 红/蓝(3:1) NPQ值最小。

5 不同光质对樱桃番茄幼苗叶绿素快速荧光诱导动力学曲线的影响

经暗适应的绿色植物突然照光后, 其体内叶绿素荧光强度会随时间产生有规律的变化, 这种动态变化所描绘出的曲线称为叶绿素荧光诱导曲线, 主要反映PSII的原初光化学反应的光合机构电子传递状态等过程的变化(Krause等1991; Strasser等1995, 2004)。其中O点是PSII作用中心完全开放时的荧光, J点是PSII的电子受体 Q_A 第一次处于瞬时最大程度还原态时的荧光, I点主要反映快还原型质体醌(plastoquinone, PQ)库和慢还原型PQ库的大小, P点是PSII的电子受体处于最大程度还原态的荧光(Govindjee等1995)。由图1可知, 不同处理在

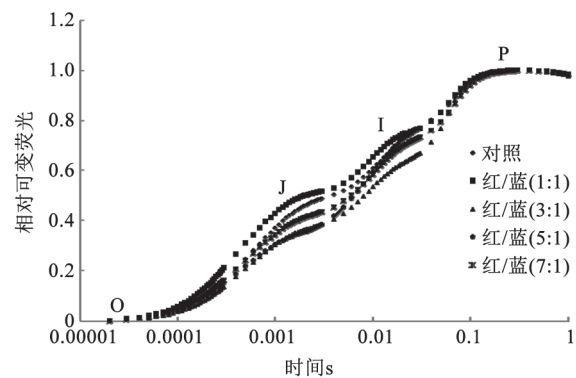


图1 不同光质对樱桃番茄幼苗O-J-I-P荧光诱导曲线的影响

Fig.1 Effects of different light qualities on the fluorescence curve O-J-I-P of cherry tomato seedlings

O点和P点无显著差异, 在J点处差异明显, 依次为红/蓝(1:1)>对照>红/蓝(7:1)>红/蓝(5:1)>红/蓝(3:1)。J点主要反映 Q_A 被还原的速率, 说明红/蓝(3:1)处理 Q_A 被还原的速率最高, 电子从 Q_A 向 Q_B 传递顺畅。在I点各处理除红/蓝(1:1)外, 其他处理均低于对照, 说明红/蓝(7:1)、红/蓝(5:1)、红/蓝(3:1)三个处理慢还原型PQ的比例较对照均有不同程度的减少。

6 不同光质对樱桃番茄幼苗电子传递能力的影响

ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 和 DI_o/RC 分别代表PSII的RC吸收、捕获、电子传递和热耗散能量

表5 不同光质对樱桃番茄幼苗电子传递能力的影响

Table 5 Effects of different light qualities on the electron transfer ability of cherry tomato seedlings

处理	ABS/RC	TR _o /RC	ET _o /RC	DI _o /RC
对照	1.57±0.01 ^{bcA}	1.22±0.05 ^{bA}	0.64±0.06 ^{cB}	0.34±0.07 ^{aA}
红/蓝(1:1)	1.56±0.12 ^{cA}	1.31±0.01 ^{abA}	0.73±0.09 ^{bcB}	0.32±0.01 ^{abA}
红/蓝(3:1)	1.86±0.19 ^{aA}	1.49±0.16 ^{aA}	0.95±0.08 ^{aAB}	0.26±0.01 ^{bA}
红/蓝(5:1)	1.72±0.02 ^{abcA}	1.39±0.03 ^{abA}	0.81±0.08 ^{bAB}	0.37±0.03 ^{aA}
红/蓝(7:1)	1.81±0.17 ^{abA}	1.48±0.13 ^{aA}	0.83±0.01 ^{abA}	0.32±0.04 ^{abA}

的能力(李鹏民2006)。由表5可知,红/蓝(3:1) RC吸收的能量(ABS/RC)最高,较对照高18.47%。各处理下RC捕获能量(TR_o/RC)及电子传递能量(ET_o/RC)变化规律相似,均比对照高。RC热耗散的能量(DI_o/RC)以红/蓝(5:1)最多,红/蓝(3:1)最少。

7 不同光质对樱桃番茄幼苗叶片结构的影响

由图2和表6可知,光质对樱桃番茄叶片结构有显著影响。红/蓝(3:1)、红/蓝(5:1)、红/蓝(7:1)处理的栅栏细胞排列较对照紧密,并且海绵组织排列较对照间隙小。红/蓝(3:1)处理的栅栏细胞和

海绵细胞长度以及叶片厚度值最大,并且与其他处理差异极显著。栅栏细胞长度和叶片厚度变化规律相似,依次为:红/蓝(3:1)>红/蓝(1:1)>对照>红/蓝(5:1)>红/蓝(7:1)。

讨 论

目前关于不同光质LED光源的研究主要集中在单色光或者红蓝不同比例对植物生理和光合特性以及碳氮代谢等方面(周成波等2015)。徐文栋等研究发现,红蓝比为3:1的LED复合光可作为

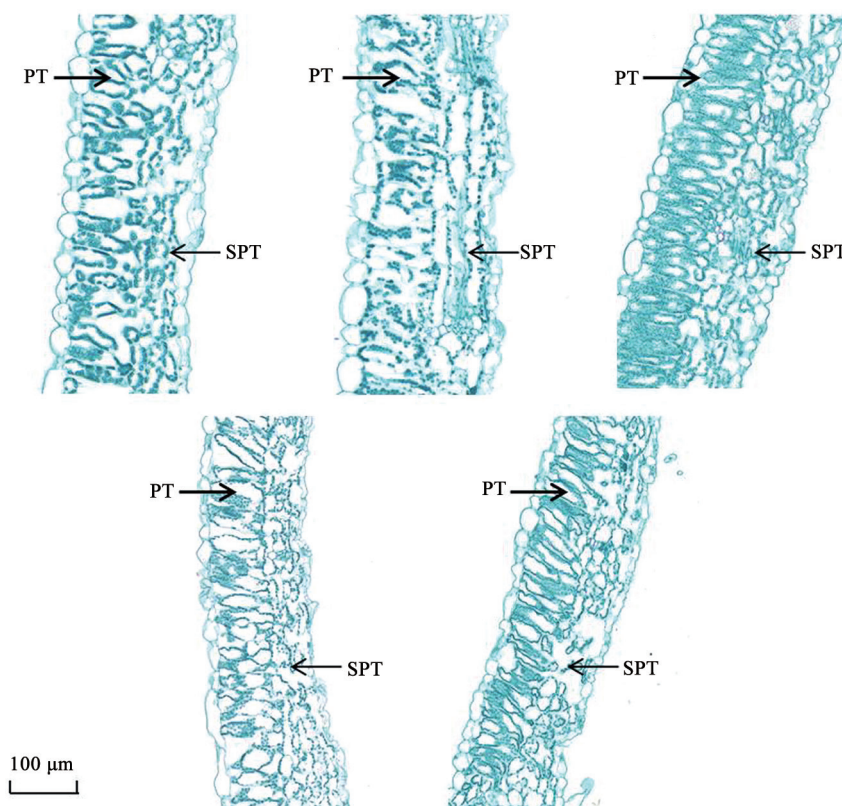


图2 不同光质对樱桃番茄幼苗叶片结构的影响

Fig.2 Effects of different light qualities on anatomical structure in cherry tomato seedling leaves
A: 对照; B: 红/蓝光(1:1); C: 红/蓝光(3:1); D: 红/蓝光(5:1); E: 红/蓝光(7:1)。PT: 栅栏组织; SPT: 海绵组织。

表6 不同光质对樱桃番茄幼苗叶片结构的影响

Table 6 Effects of different light qualities on structure in cherry tomato seedling leaves

处理	栅栏细胞长度/ μm	海绵细胞长度/ μm	叶片厚度/ μm
对照	53.81 \pm 0.14 ^{cb}	49.69 \pm 0.23 ^{cc}	115.56 \pm 0.28 ^{cc}
红/蓝(1:1)	54.24 \pm 0.09 ^{bb}	49.68 \pm 0.22 ^{bb}	123.67 \pm 0.11 ^{bb}
红/蓝(3:1)	59.55 \pm 0.24 ^{aa}	60.79 \pm 0.17 ^{aa}	143.69 \pm 0.22 ^{aa}
红/蓝(5:1)	52.56 \pm 0.22 ^{dc}	41.65 \pm 0.32 ^{dd}	108.67 \pm 0.29 ^{dd}
红/蓝(7:1)	51.36 \pm 0.28 ^{cd}	40.73 \pm 0.23 ^{de}	106.63 \pm 0.17 ^{de}

设施培育黄瓜(*Cucumis sativus*)幼苗的最适光源; 刘建福(2014)认为当红光比例为70%时最有利于姜黄(*Curcuma longa*)次生代谢产物的生成; 曹刚(2013)研究表明, 只有适宜比例的红蓝组合光(4:1)才会增加黄瓜幼苗的株高, 壮苗指数最大。本研究表明, 红/蓝(3:1)最有利于樱桃番茄壮苗培育。

叶绿素是光合作用的基础, 体现植物对光能的利用和调节能力(Tholen等2007; 张秋英等2005; 杨富军等2013)。陈颖(2013)研究表明, 不同比例光质对红掌(*Anthurium andraeanum*)叶片叶绿素含量影响不同, 红/蓝(1:1)处理的叶绿素 a 和叶绿素 $a+b$ 含量以及叶绿素 a/b 值最大; 周成波(2015)认为白+红+蓝处理下, 生菜叶绿素 a 、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量显著大于其他处理。本研究表明, 红/蓝(1:1)处理的叶绿素含量最高, 但是红/蓝(1:1)的净光合速率低于对照, 说明叶片的光合作用受诸多因素影响, 叶绿素含量高低并不能完全反映光合能力强弱。

PSII反应中心处于“完全开放”状态, 此时样品受光后发射的荧光最小, 处于初始相“O”(F_0), PSII反应中心完全关闭, 不再接受光量子, 荧光产量最高, 出现P点。快速叶绿素荧光诱导动力学曲线就是从O点到P点的荧光变化过程, 主要反映PSII的原初光化学反应的光合机构电子传递状态等过程的变化(Krause等1991; Strasser等1995, 2004)。红/蓝(3:1)处理的ABS/RC、 TR_0/RC 、 ET_0/RC 值最大, 说明其PSII的RC吸收、捕获、电子传递能量的能力最强, PSII活性最高。

综上所述, 红/蓝(3:1)不仅有利于樱桃番茄幼苗壮苗培育, 而且有利于提高PSII活性, 进而提高光合性能。

参考文献

- Cao G, Zhang GB, Yu JH, Ma YX (2013). Effects of different LED light qualities on cucumber seedling growth and chlorophyll fluorescence parameters. *Sci Agr Sin*, 46 (6): 1297–1304 (in Chinese with English abstract) [曹刚, 张国斌, 郁继华, 马彦霞 (2013). 不同光质 LED 光源对黄瓜苗期生长及叶绿素荧光参数的影响. *中国农业科学*, 46 (6): 1297–1304]
- Chen Y, Wang Z, Ji SY, He SL, Xia YL (2013). Effects of different light quality ratios of light emitting diode (LED) on the growth of *Anthurium andraeanum* plantlets in vitro. *Acta Agr Univ Jiangxi*, 35 (2): 375–380 (in Chinese with English abstract) [陈颖, 王政, 纪思羽, 何松林, 夏玉玲(2013). LED光源不同光质比例对红掌试管苗生长的影响. *江西农业大学学报*, 35 (2): 375–380]
- Fan XX, Xu ZG, Liu XY, Tang CM, Wang LW, Han XL (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Sci Hortic*, 153: 50–55
- Gilberto L, Perrotta G, Pallara P, Weller JL, Fraser PD, Bramley PM, Fiore A, Tavazza M, Giuliano G (2005). Manipulation of the blue light photoreceptor cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. *Plant Physiol*, 137:199–208
- Govindjee (1995). Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. *Aust J Plant Physiol*, 22 (2): 131–160
- Han SQ, Wang XF, Wei M, Li Y (2004). Study of plug seedling index of sweet pepper and relationship between seeding index and characters. *J Shandong Agr Univ-Nat Sci*, 35 (2): 187–190 (in Chinese with English abstract) [韩素芹, 王秀峰, 魏珉, 李杨 (2004). 甜椒穴盘苗壮苗指数及其与苗期性状的相关性研究. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 35 (2): 187–190]
- Hoenecke M, Bula RJ, Tibbitts TW (1992). Importance of ‘blue’ photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes. *HortScience*, 27 (5): 427–430
- Krause GH, Weis E (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 42: 313–349
- Li P (2006). Application of chlorophyll a fluorescence transient in study of plant physiology under stress conditions (PhD thesis). Taian: Shandong Agricultural University (in Chinese with English abstract) [李鹏民(2006). 快速叶绿素荧光诱导动力学在植物逆境生理研究中的应用(博士论文). 泰安: 山东农业大学]
- Li Q, Kubota C (2009). Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ Exp Bot*, 67: 59–64
- Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW, Yang CM (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Sci Hortic*, 150 (2): 86–91
- Liu JF, Wang MY, Tang YJ, Fan YP, Zhong SC, Chen Q (2014). Effects of light qualities on physiological characteristics and accumulation of secondary metabolites in rhizomes of *Curuma*

- longa* L. Plant Physiol J, 50 (12): 1871–1879 (in Chinese with English abstract) [刘建福, 王明元, 唐源江, 范燕萍, 钟书淳, 陈钦(2014). 光质对姜黄生理特性及根茎次生代谢的影响. 植物生理学报, 50 (12): 1871–1879]
- Pérez-Balibrea S, Moreno DA, García-Viguera C (2008). Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. J Sci Food Agr, 88 (5): 904–910
- Ramalho JC, Marques NC, Semedo JN, Matos MC, Quartin VL (2002). Photosynthetic performance and pigment composition of leaves from two tropical species is determined by light quality. Plant Biology, 4: 112–120
- Sæbø A, Krekling T, Appelgren M (1995). Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets *in vitro*. Plant Cell Tissue Organ Cult, 41 (2): 177–185
- Strasser RJ, Srivastava A, Govindjee (1995). Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria. Photochem Photobiol, 61: 32–42
- Strasser RJ, Tsimill-Michael M, Srivastava A (2004). Analysis of the fluorescence transient. In: Papageorgiou G, Govindjee (eds). Advances in Photosynthesis and Respiration. Netherlands: KAP Press, 1–42
- Tennessen DJ, Singaas EL, Sharkey TD (1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. Photosynth Res, 39: 85–92
- Tholen D, Pons TL, Voeselek LACJ, Poorter H (2007). Ethylene insensitivity results in down-regulation of rubisco expression and photosynthetic capacity in tobacco. Plant Physiol, 144 (3): 1305–1315
- Tripathy BC, Brown CS (1995). Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light. Plant Physiol, 107 (2): 407–411
- Vergeer LHT, Aarts T, de Groot JD (1995). The ‘wasting disease’ and the effect of abiotic factors (light intensity, temperature, salinity) and infection with *Labyrinthula zosterae* on the phenolic content of *Zostera marina* shoots. Aquat Bot, 52: 35–44
- Xu WD, Liu SQ, 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 FJ, Zhao CX, Yan MM, Wang YF, Wang ML (2013). Effects of different cultivation modes on the leaf photosynthetic characteristics and yield of summer-sowing peanut. Chin J Appl Ecol, 24 (3): 747–752 (in Chinese with English abstract) [杨富军, 赵长星, 闫萌萌, 王月福, 王铭伦(2013). 栽培方式对夏直播花生叶片光合特性及产量的影响. 应用生态学报, 24 (3): 747–752]
- Zhang QY, Li FD, Liu MY (2005). Changing laws of chlorophyll content and photosynthetic rate in winter wheat leaves. Chin J Eco-Agr, 13 (3): 95–98 (in Chinese with English abstract) [张秋英, 李发东, 刘孟雨(2005). 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究. 中国生态农业学报, 13 (3): 95–98]
- Zhang Z, Chen Z (2008). Advanced Vegetable Physiology. Beijing: China Agriculture University Press (in Chinese) [张振贤, 程智慧(2008). 高级蔬菜生理学. 北京: 中国农业大学出版社]
- Zhao S, Shi G, Dong X (2002). Techniques of Plant Physiological Experiment. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese) [赵世杰, 史国安, 董新纯(2002). 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社]
- 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]
- Zhou Y, Singh BR (2002). Red light stimulates flowering and anthocyanin biosynthesis in American cranberry. Plant Growth Regul, 38 (2): 165–171

Effects of different light qualities on physiological and photosynthetic characteristics of cherry tomato seedlings

DONG Fei¹, WANG Chuan-Zeng², ZHANG Xian-Zheng¹, QIN Yu¹, LIU Shi-Qi^{1*}

¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University / State Key Laboratory of Crop Biology / Ministry of Agriculture Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops in Huanghuai Region, Taian, Shandong 271018, China; ²Shandong Institute of Pomology, Taian, Shandong 271000, China

Abstract: Taking ‘Micro Tom’ cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) as material, full white light, red/blue light (1:1), red/blue light (3:1), red/blue light (5:1), red/blue light (7:1), generated by light emitting diode (LED), were applied to accurately modulate with white light as control. Plant height, stem diameter, health index, root activity, contents of soluble sugar, soluble protein and chlorophyll, and photosynthetic and fluorescence parameters of cherry tomato seedling were studied in five treatments. We investigated the effects of different light qualities under the same photosynthetic photon flux density ($300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) on cherry tomato seedling morphological, physiological and photosynthetic characteristics and the influence of the fluorescence properties. The results show that specific leaf area of red/blue light (7:1) is the maximal. The red/blue light (3:1) had the highest health index, and is the most suitable for cultivating strong seedling. The red/blue light (3:1) on cherry tomato seedling resulted in the highest contents of soluble sugar and soluble protein and root activity, and had significant difference with other treatments. The red/blue light (1:1) had the highest chlorophyll content. The red/blue light (3:1) had the highest net photosynthetic rate, and the red/blue light (1:1) had the lowest. ABS/RC , TR_0/RC and ET_0/RC were highest under red/blue light (3:1), which was extremely significant difference compared to the control. Therefore, the red/blue light (3:1) treatment was more beneficial to the increase of photosynthetic and fluorescence characteristics and some qualities of cherry tomato seedlings.

Key words: cherry tomato; photosynthetic characteristic; light quality; leaf structure

Received 2017-02-22 Accepted 2017-03-29

This work was supported by Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (Grant No. 201303108).

*Corresponding author (E-mail: liusq99@sdau.edu.cn).