

# 光质配比和营养液耦合对番茄生长的影响

蔡 华<sup>1,2</sup>, 杨振超<sup>1,2,3</sup>, 王达菲<sup>1,3</sup>, 王晓旭<sup>1,3</sup>, 何 蔚<sup>1,3</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业部西北设施园艺工程重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 陕西省设施农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:**以番茄品种“金鹏 1 号”为试材, 设 3 个水平红蓝光质配比  $R/B=7:1$ 、 $R/B=3:1$ 、 $R/B=1:1$ , 2 种营养液分别为山崎番茄配方和霍格兰番茄配方, 以气候箱处理为对照。用波长为 660 nm 红色 LED 光源和 450 nm 蓝色 LED 光源, 研究不同红蓝光质配比和营养液耦合下番茄生长的差异, 探索人工可控条件下适宜番茄生长的光质配比和营养液组合。结果表明: 霍格兰营养液各处理随红光比例增加, 株高、茎粗、干鲜重有增大的趋势; 气候箱对照各光合色素含量较高; 红蓝光处理可以显著增大潜在光化学活性( $F_v/F_o$ )和最大光能转化效率( $F_v/F_m$ ); 霍格兰营养液,  $R/B=7:1$  处理光合速率较高。综上所述, 采用霍格兰营养液,  $R/B=7:1$  时有助于番茄苗期株高以及生物量的增加, 是适宜番茄苗期生长的较优组合。

**关键词:** LED; 光质配比; 营养液; 番茄

**中图分类号:** S 641.206<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)10-0010-04

光对植物的形态建成、生理代谢、光合特性、产量品质均有广泛的调控作用, 利用光质调控植株形态建成和生长发育是植物工厂中一项重要技术<sup>[1]</sup>。国内外就不同光质组合对作物的生长、品质、产量的影响已经做了大量的研究<sup>[2]</sup>。比如在苗期补充照射红光 LED 灯或红蓝光组合光 LED 灯, 使黄瓜、辣椒和番茄幼苗茎粗、干鲜质量、壮苗指数均显著高于自然光对照处理<sup>[3]</sup>; 与白光荧光灯相比, 红光 LED 灯处理下萝卜芽苗菜<sup>[4]</sup>、香椿苗<sup>[5]</sup>下胚轴长、子叶面积、植株干鲜质量均达到最大值。但其中大部分研究集中在温室补光或人工光源对植物组织培养和植物幼苗的影响上, 探讨光质和营养液耦合对作物生长影响的研究还很少见。该试验研究营养液和光质耦合对番茄生长的影响, 以期为人造光环境下栽培番茄提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

LED 光板及控制器由陕西金诺光电公司提供, 光板

规格 60 cm×60 cm, 主要由红、蓝、远红和白光 4 种颜色的光源组成, 每种颜色 LED 光源的发光强度均单独可控, 全开情况光谱如图 1 所示。

供试植物为番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 品种“金鹏 1 号”由西安金鹏种苗有限公司 1999 年选育, 是设施栽培主要品种之一。

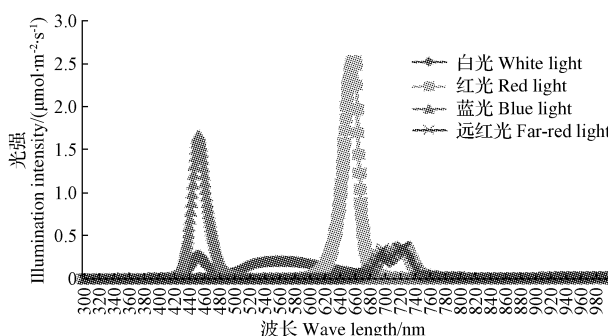


图 1 试验光板的光谱分布特点

Fig. 1 The spectral distribution characteristics of test plate

### 1.2 试验方法

**1.2.1 试验设计** 试验设置不同红蓝光配比与不同营养液配方 2 个因素耦合对番茄幼苗生长发育的影响。设定 3 种不同配比 LED 红蓝光强比为 7:1、3:1、1:1, 营养液选用霍格兰 (Hoagland) 番茄营养液和山崎 (Yamazaki) 番茄营养液 2 种配方, 对照放于人工气候箱中 (红蓝光配比为 2:3), 详细试验处理见表 1。

**第一作者简介:** 蔡华 (1990-), 男, 辽宁大连人, 硕士研究生, 研究方向为设施农业光环境。E-mail: 449032165@qq.com.

**责任作者:** 杨振超 (1976-), 男, 天津人, 博士, 副教授, 现主要从事设施农业光环境和有机栽培等方面研究工作。E-mail: yangzhenchao@nwsuaf.edu.cn.

**基金项目:** 国家“863”计划资助项目 (2013AA103004); 陕西省科技攻关资助项目 (2015NY076)。

**收稿日期:** 2016-02-15

表 1 试验光质处理

Table 1 Treatment for experiment light  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

处理 Treatment	红蓝光比 Red blue light ratio	营养液 Nutrient solution	蓝光 Blue light	绿光 Green light	红光 Red light	远红光 Far-red light	光合有效辐射 PAR	总辐射 PFD
T1	7 : 1	山崎	8±1.2	16±1.7	58±3.6	12±2.0	82±6.4	97±8.9
T2	3 : 1	山崎	16±4.1	16±0.9	50±2.0	12±1.1	82±5.1	97±5.7
T3	1 : 1	山崎	33±5.1	16±2.4	33±6.6	12±2.4	82±7.2	97±8.5
T4	7 : 1	霍格兰	8±1.9	16±3.0	58±4.5	12±1.6	82±9.1	97±10.8
T5	3 : 1	霍格兰	16±3.2	16±1.9	50±3.1	12±1.8	82±8.7	97±7.6
T6	1 : 1	霍格兰	33±2.2	16±1.2	33±2.0	12±1.3	82±4.2	97±5.0
T7	2 : 3	山崎	18±4.5	20±3.3	12±2.1	1±0.1	50±4.4	51±4.5
T8	2 : 3	霍格兰	18±4.5	20±3.3	12±2.1	1±0.1	50±4.4	51±4.5

1.2.2 试验处理 采用基质育苗,待幼苗长到第 6 片真叶展平后选取长势均一的幼苗进行定植,采用珍珠岩盆栽,放置在培养架中,LED 灯设于植株顶部且高度可调,钢架外围有遮光材料,内侧贴有反光膜。随幼苗生长调节灯板高度以确保灯板距离幼苗生长点 20 cm。试验 8 个处理分别为 3 种光质和 2 种营养液的 6 种组合以及 2 组对照,每种处理有 8 株幼苗,对照组放于人工气候箱中培植。营养液 pH 调至  $6.5 \pm 0.5$ ,缓苗期采用 1/2 倍浓度营养液,定植后第 7 天换成标准营养液,每天浇灌等量营养液。栽培条件:光周期为 12 h/12h,白天温度为  $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,夜间温度为  $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,湿度为 60%~80%。30 d 后进行相关指标的测定。

1.3 项目测定

每 5 d 用直尺测量株高(植株基部到生长点)、数显游标卡尺测量子叶上方茎粗;栽培 30 d 后用 T200 电子天平称量植株全株干、鲜重,光合指标(光合速率、气孔导度、胞间  $\text{CO}_2$  浓度、蒸腾速率)采用 LI-6400XT 光合仪测定,荧光指标(潜在光化学活性、最大光能转化效率)采用 PAM2500 便携式荧光仪测定,光合色素(叶绿素、叶绿素 b、类胡萝卜素)含量的测定采用 95%乙醇提取法<sup>[6]</sup>。

表 2 不同光质和营养液对番茄幼苗生长的影响

Table 2 Effect of different lights and nutrient solutions on tomato seedling growth

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	真叶数 True leaf number	全株鲜重 Plant fresh weight/g	全株干重 Plant dry weight/g
T1	93.81±6.28ab	4.82±0.23bc	13.25±0.71d	68.14±6.56bc	4.80±0.59cd
T2	98.21±7.00a	4.84±0.22bc	13.25±0.46d	70.08±4.26bc	4.83±0.41cd
T3	90.49±5.31b	4.56±0.18c	13.50±0.76cd	65.76±3.67bc	4.64±0.41cd
T4	98.00±9.56a	5.04±0.21ab	13.88±0.99bcd	79.61±12.3a	5.53±0.96c
T5	96.66±6.29ab	4.77±0.27bc	14.38±0.52ab	74.39±9.85ab	5.33±0.79cd
T6	90.96±2.63b	4.75±0.28bc	14.75±0.71a	56.26±5.60d	4.42±0.49d
T7	43.93±1.50c	5.13±0.30a	14.00±0.53bc	63.26±9.79cd	6.57±1.17b
T8	45.30±2.39c	5.27±0.39a	14.38±0.52ab	70.11±9.94bc	7.59±1.33a

注:数据为平均值±标准差。同列不同小写字母表示差异达显著( $P<0.05$ )水平。以下同。

Note: Values are the means±SD. The same small letters indicate the significant differences at  $P<0.05$ . The same as below.

2.2 不同光质和营养液对番茄幼苗光合色素含量及荧光特性的影响

光合色素是作物光合作用的基础。由表 3 可知,T8

1.4 数据分析

试验数据采用 DPS 7.05 数据处理软件进行方差分析,不同处理间的多重比较采用 Duncan 新复极差法;采用 Excel 进行图形的绘制。

2 结果与分析

2.1 不同光质和营养液对番茄幼苗生长的影响

由表 2 可知,T2、T4 处理株高最高且显著高于 T3、T6、T7、T8 处理,红光比例增大时株高较高;T3 处理茎粗最小,其它各处理差异不显著。除 T7、T8 处理外,各处理株高和茎粗呈正相关,即株高越高茎粗越大,说明红光有利于株高的增加。T7、T8 处理株高显著低于其它处理,茎粗最大且显著高于其它处理,说明气候箱中植株矮化,茎粗增加。T6 处理叶片数最多,T1、T2 处理叶片数最少,相同光质下,霍格兰营养液各处理叶片数均大于山崎营养液各处理,说明霍格兰营养液有助于叶片数的增加。T4 处理鲜重最大且与其余处理差异显著;除 T7、T8 处理外,T4 处理干重最大,T6 处理干、鲜重均最小;由全株干鲜重变化规律可知红光有利于植株干鲜重的增加。

处理叶绿素 a 含量最高且与其它处理差异显著,T4 处理次之,T2、T6 处理最低;T5、T8 处理叶绿素 b 含量最高且显著高于 T2、T7 处理,其余处理间差异不显著;T8 处

理类胡萝卜素含量最高且显著高于其它处理,其余各处理间差异不显著。T3、T4 处理 Fv/Fo 和 Fv/Fm 较大,

T7、T8 处理最低,Fv/Fo 和 Fv/Fm 变化规律与光合速率基本一致。

表 3 不同光质和营养液对番茄幼苗光合色素含量及荧光特性的影响

Table 3 Effects of different lights and nutrient solutions on photosynthetic pigment content and fluorescence characteristics of tomato seedlings

处理 Treatment	叶绿素 a 含量 Content of chlorophyll a/(mg · g <sup>-1</sup> FW)	叶绿素 b 含量 Content of chlorophyll b/(mg · g <sup>-1</sup> FW)	类胡萝卜素含量 Content of carotenoids/(mg · g <sup>-1</sup> FW)	潜在光化学活性 Fv/Fo	最大光能转化效率 Fv/Fm
T1	1.46±0.22bc	0.69±0.16ab	0.221±0.03ab	3.95±0.34ab	0.798±0.017ab
T2	1.35±0.11c	0.60±0.08b	0.221±0.01ab	3.80±0.15abc	0.785±0.008abc
T3	1.42±0.10bc	0.67±0.13ab	0.217±0.01b	4.00±0.18a	0.800±0.008a
T4	1.50±0.03b	0.63±0.02ab	0.220±0.01ab	4.03±0.12a	0.801±0.006a
T5	1.49±0.16b	0.72±0.13a	0.223±0.02ab	3.65±0.04bcd	0.785±0.002abc
T6	1.33±0.10c	0.63±0.09ab	0.201±0.04b	3.83±0.16abc	0.793±0.007ab
T7	1.49±0.22b	0.60±0.09b	0.215±0.04b	3.39±0.15d	0.771±0.006c
T8	1.67±0.03a	0.72±0.14a	0.247±0.04a	3.45±0.08d	0.775±0.003c

### 2.3 不同光质和营养液对番茄幼苗光合指标的影响

由表 4 可知,T7、T8 处理各光合指标均低于其余各处理且差异较显著。T4 处理光合速率最大,T3 处理其次,T2 处理较低;T1、T2、T3 处理气孔导度显著高于 T4、T5、T6 处理,但同一种营养液下各处理之间气孔导度差异不显著,这可能是由气孔导度影响的。T2 处理

胞间 CO<sub>2</sub> 浓度最大且显著高于其它处理,除 T7、T8 外其余各光质处理之间无显著性差异,但是 T2 处理光合速率较低,在 T2 处理气孔导度较高的情况下,可能是由非气孔因素影响的。T3 处理蒸腾速率最高,T4、T7、T8 处理较低,这解释了 T4 处理干、鲜重高于 T3 处理的现象。

表 4 不同光质和营养液对番茄幼苗光合的影响

Table 4 Effect of different lights and nutrient solutions on photosynthesis of tomato seedlings

处理 Treatment	光合速率 Pn/(μmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )	气孔导度 Gs/(mol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Ci/(μmol · mol <sup>-1</sup> )	蒸腾速率 Tr/(mmol · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )
T1	10.77±0.77ab	0.19±0.06a	314.56±20.84b	3.33±0.68ab
T2	7.51±2.04cd	0.16±0.08a	415.06±22.01a	3.18±1.14ab
T3	11.85±0.09a	0.17±0.03a	288.37±26.48b	3.52±0.44a
T4	12.08±1.18a	0.08±0.01bc	301.02±35.63b	1.73±0.36c
T5	9.20±1.32bc	0.12±0.04b	291.62±39.79b	2.65±0.75b
T6	9.88±0.82b	0.12±0.03b	294.84±30.45b	2.85±0.64ab
T7	6.28±2.56d	0.05±0.02c	236.25±23.79c	1.25±0.56c
T8	6.42±3.57d	0.05±0.03c	224.36±23.87c	1.26±0.75c

### 3 结论与讨论

前人研究结果表明,红光有利于植株高度的增加,这是因为红光可以增加植物光合速率,促进光敏素和隐花素的合成以此诱导茎的伸长。蓝光有抑制茎生长的作用,主要通过提高吲哚乙酸氧化酶活性,使得促进茎伸长的生长素浓度降低,达到矮化植株的效果。该研究中随红光比例增加,株高均有所提高并且显著高于对照,这与对生菜<sup>[7]</sup>、黄瓜<sup>[8]</sup>、韭菜<sup>[9]</sup>等作物的研究结果一致。还有研究发现较低的光强会减弱 ALH1 基因的表达,促进叶片中乙烯的合成,促进生长素向茎的极性运输<sup>[10]</sup>,即光质光强共同调节茎的生长。刘少梅等<sup>[11]</sup>研究表明,随红光比例增加植株干、鲜重呈增加趋势;常宏等<sup>[12]</sup>研究表明,马铃薯脱毒试管苗在壮苗阶段的红光处理生物量积累最高,这与该试验结果吻合。

叶绿素在植物光合作用中主要起吸收光能的作用,而类胡萝卜素还有防护叶绿素免受多余光照伤害的功能<sup>[1]</sup>。LEFSRUD 等<sup>[13]</sup>利用不同光质改善羽衣甘蓝次级代谢,红光增加了叶绿素 a、b 和叶黄素;而蓝光下的类

胡萝卜素含量最高。对大多数作物而言,红光有利于提高叶绿素含量,而蓝光降低其含量<sup>[14-15]</sup>。该研究中 T7、T8 处理叶绿素 a、叶绿素 b 含量较高,这可能与 T7、T8 处理光合速率低但是干物质积累多的现象有关。前人研究表明,不同光质处理对不同作物的叶绿素含量的影响存在很大差异,这可能与光质的实现条件不同有关。

叶绿素荧光参数用来描述植物光合作用机理状况,被视为研究植物光合作用与环境关系的内在探针。Fv/Fo 代表 PSII 潜在光化学活性,Fv/Fm 反映 PSII 反应中心的最大光能转化效率,有研究发现,红蓝混合光处理能显著提高叶用莴苣<sup>[16]</sup>和葡萄试管苗<sup>[17]</sup>的 Fv/Fm 值,表明混合光处理叶片 PSII 反应中心的开放程度较大,吸收并能运用于光合作用的光能较多,这与该试验研究结果一致,说明红蓝光处理可以显著提高光能转化效率。

光谱影响叶片气孔的结构和特性,对作物的气孔开闭具有重要的调节作用。研究表明,不同光谱可以诱导保卫细胞中的隐花色素和光敏色素,从而感应光质以调

节气孔导度<sup>[18]</sup>。气孔既是光合作用吸收 CO<sub>2</sub> 的入口,也是水蒸气逸出叶片的出口,因此气孔导度对作物的蒸腾速率和光合速率具有重要影响<sup>[12]</sup>,该试验各处理间光合速率、蒸腾速率与气孔导度变化趋势基本一致,验证了这一结论。光质对光合系统II(PSII)和光合系统I(PSI)的活性也有调控作用。PSII的活性受光敏素和隐花素的协同调节,且该活性与作物叶片感受的红光与蓝光的比值呈正相关。蓝光处理的叶片 PSII活性最低,但 PSI活性却高于白光和红光处理的叶片<sup>[19]</sup>。因此,光合速率的大小受众多因素共同影响。

综上所述,采用霍格兰营养液,R/B=7:1时番茄植株株高以及生物量达到最大,且叶绿素 a 含量、Fv/Fo、Fv/Fm 以及光合速率较高,因此霍格兰营养液,R/B=7:1是适宜番茄苗期生长的较优光质配比和营养液的组合。

### 参考文献

- [1] 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(6):1743-1750.
- [2] 谢景,刘厚诚,宋世威,等.光源及光质调控在温室蔬菜生产中的应用研究进展[J].中国蔬菜,2012(2):1-7.
- [3] 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.
- [4] 张欢,徐志刚,崔瑾,等.不同光质对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响[J].中国蔬菜,2009(10):28-32.
- [5] 张立伟,刘世琦,张自坤,等.不同光质下香椿苗的生长动态[J].西北农业学报,2010(6):115-119.
- [6] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:74-77.
- [7] 陈文昊,徐志刚,刘晓英,等.LED 光源对不同品种生菜生长和品质的影响[J].西北植物学报,2011(7):1434-1440.
- [8] 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(1):44-48.
- [9] 陈娟,刘世琦,孟凡鲁,等.不同光质对韭菜生长及光合特性的影响[J].中国蔬菜,2012(8):45-50.
- [10] VANDENBUSSCHE F, VRIEZEN W H, SMALLE J, et al. Ethylene and auxin control the *Arabidopsis* response to decreased light intensity[J]. Plant Physiology, 2003, 133(2):517-527.
- [11] 刘少梅,王丽娟,切岩祥和.不同比例红蓝光对樱桃番茄幼苗生长的影响[J].天津农学院学报,2015(1):33-35.
- [12] 常宏,王玉萍,王蒂,等.光质对马铃薯试管薯形成的影响[J].应用生态学报,2009,20(8):1891-1895.
- [13] LEFSRUD M G, KOPSELL D A, SAMS C E. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale[J]. Hort Sci, 2008, 43(7):2243-2244.
- [14] 童哲,赵玉锦,王台,等.植物的光受体和光控发育研究[J].植物学报,2000(2):111-115.
- [15] 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.
- [16] 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(1):47-51,115.
- [17] 马绍英,李胜,牛俊义,等.LED 不同光质对葡萄砧木试管苗生理生化特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2010(5):56-62.
- [18] 陈倩倩,范阳阳,郝影宾,等.不同土壤水分含量对玉米气孔发育过程和蒸腾耗水量的影响[J].干旱地区农业研究,2011(3):75-79,95.
- [19] 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,2009,30(4):296-303.

## Effect of Different Light Quality Ratio and Nutrient Solutions on the Growth of Tomato

CAI Hua<sup>1,2</sup>, YANG Zhenchao<sup>1,2,3</sup>, WANG Dafei<sup>1,3</sup>, WANG Xiaoxu<sup>1,3</sup>, HE Wei<sup>1,3</sup>

(1. College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. The Key Laboratory of Northwest Facilities Horticulture Engineering, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Facilities Agricultural Engineering Technology Research Center in Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** 'Jinpeng No. 1' was selected as test materials, under three light levels, R/B=7:1, R/B=3:1 R/B=1:1 and two kinds of nutrient solutions, Yamasaki and Hoagland were carried out. The control groups were treated in climate chamber. The 660 nm-wavelength red LED and 450 nm-wavelength blue LED were adopted as the light sources to explore the difference of tomato seedlings' growth, yield and quality respectively under circumstances proportioned with different light and nutrient solutions, thus to find out an appropriate match of light quality and nutrient solution for growing high-quality tomatoes under artificial controlled environment. The results showed that with Hoagland, the plant height, stem diameter and dry fresh weight ascended as the ratio of red light increasing. The contents of photosynthetic pigment in the climate chamber were relatively higher; red and blue light treatment could notably built up Fv/Fo and Fv/Fm; seedlings gained higher photosynthetic rate under light level R/B=7:1 with Hoagland. A conclusion could be drawn from the foregoing analyses, Hoagland nutrient solution combining R/B=7:1 light level was a better match for improving the quality of tomato seedlings and its fruits under artificial controlled environment.

**Keywords:** LED; light quality ratio; nutrient solutions; tomato