

doi:10.11937/bfyy.20181481

基于叶位和时段光合特性的 番茄补光技术研究

郭 锐, 华明艳, 仝雅娜, 杨小玲

(天津市农业科学院, 天津 300192)

摘 要:以越冬设施番茄为试材,采用叶片全波段光吸收分析和光合生理分析方法,研究番茄补光所需的光质、合理补光部位与合理时段,以期提高番茄工人补光效率。结果表明:补光不会改变番茄光吸收特性和吸收值大小,在红光区的光吸收峰值所对应的波长为666~664 nm,蓝光区的光吸收峰值所对应的波长为434~432 nm。不同部位叶片的2个光吸收峰值达到了显著差别,其中,上部叶片在664 nm光吸收值分别是中、下部叶片的1.51倍和3.23倍,在432 nm光吸收值分别是中、下部叶片的1.96倍和4.35倍。17:00—20:00番茄光合作用的光补偿点和暗呼吸率较低,分别为06:00—09:00的光补偿点和暗呼吸率的33.7%和45.3%。因此,建议番茄人工补光使用666~664 nm红光和434~432 nm蓝光的红蓝补光灯,补光部位以上、中部叶片为主,补光时段为17:00—20:00。

关键词:番茄;光吸收;光补偿点;暗呼吸率;补光

中图分类号:S 641.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2018)24-0070-05

设施越冬种植果类蔬菜可获得较好的效益,但我国冬季光照强度一般在3万lx以内,温室由于结构、覆盖材料等因素的影响,光照强度仅为露地的50%~70%,有些甚至低于50%^[1],这与果类蔬菜生长发育所需的光饱和点(番茄7万lx,黄瓜5.5万lx)相差甚远,因此,光是设施越冬生产的主要限制因子之一。近年来,连阴(霾)气候频发且时长延长的气象灾害给越冬果类蔬菜生产增

加了更大的种植风险,设施栽培领域的补光技术引起了全球的重视,我国设施蔬菜种植户对人工补光的需求也呈上升趋势。

关于补光对蔬菜种苗质量,植株生长发育、果实成熟期、产量和品质和提高作物抗逆性等方面的影响已有研究报道^[2-5]。随着LED补光灯的发展,国内外十分重视补光灯的红蓝光比例^[6],而往往忽略光吸收峰值所对应的波长。同时,合理补光时段和不同补光灯合理放置位置等的应用技术鲜见报道,用户在生产中应用模式多种多样,导致补光效率相差很大。现通过研究番茄光吸收特性和不同时段的光合生理特性,探讨番茄补光所需的合理光质、合理补光部位及合理时段,以期生产提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为荷兰凯德系列“6810”硬粉番茄,购于北京鑫福农业科技发展有限公司。

第一作者简介:郭锐(1977-),男,天津人,硕士,助理研究员,现主要从事设施蔬菜栽培技术等研究工作。E-mail:1162925092@qq.com.

责任作者:杨小玲(1968-),女,福建三明人,博士,研究员,现主要从事设施蔬菜栽培技术等研究工作。E-mail:1162925092@qq.com.

基金项目:天津市蔬菜产业体系创新团队专项资助项目(ITTVRS2017019);天津市科技计划资助项目(17YFYZCG00020);天津市农业科学院院长基金资助项目(16011)。

收稿日期:2018-06-30

1.2 试验方法

试验在天津市武清区现代农业创新基地日光温室进行,前茬作物为黄瓜。整地前每 667 m² 施袋装商品有机肥 2.5 t。2017 年 10 月 18 日定植,行、株距 90 cm×45 cm,留果 5~6 穗,2018 年 3 月 23 日始收,4 月上旬拉秧。

田间设置处理 1(安装 6 盏 135 W LED 红蓝补光灯)、处理 2(不补光,对照)2 个处理,每处理重复 2 次,每个处理小区面积 6.8 m×3.6 m,2 个处理之间用相同的小区面积作为自然隔离。11 月 1 日开始补光(植株第 3 穗花蕾刚露头)。

1.3 项目测定

番茄光吸收特性与补光对光吸收的影响:番茄定植 25 d 后(第一果穗开花),随机采集番茄叶片,将叶片错开叶脉剪成 1 cm×1 cm 小片,称量 1 g 放入试管中,加入 95% 酒精 15 mL,放置黑暗中浸泡 24 h^[7-8]。吸取浸出液 1 mL,加入 3 mL 95% 酒精稀释,置于普析 TU-1900 双光束紫外可见分光光度计,用 362~700 nm 的波长扫描液体的光吸收值。

不同部位叶片光吸收特性:定植 50 d 后分别采集番茄上部(最上面的完全展开叶,为第三穗花上面的第一叶或下部的第一叶)、中部(第一果穗上部的第二叶)和下部叶片(第一果穗下部的第二叶),用 95% 酒精浸提叶绿素,分析 362~700 nm 的波长光吸收值。

不同时段番茄光合特性:3 月 8—10 日,在温室盖住保温被的情况下于 06:00—09:00 以及 16:30—20:30,用 LI-6400 便携式光合作用测量系统活体测定番茄中上部叶片分别在 2 000、1 500、1 200、1 000、750、500、250、200、150、100、80、60、20、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 光量子密度下的光合速率,通过 photosyn 光合计算程序计算不同时段的光饱和点、最大光合速率、光补偿点、暗呼吸率。

1.4 数据分析

运用 Photosyn 软件计算光合参数,采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行数据作图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 番茄叶片光吸收特性与补光对光吸收特性的影响

绿色植株的光合作用是以红、蓝光为主要能

源,将 CO₂ 和 H₂O 转化为有机物。不同植物在红、蓝光区的光吸收峰值所对应的波长不同,从图 1 可以看出,番茄红光区吸收峰值的波长范围为 662~666 nm,其中 666 nm 的光吸收值是 664 nm 的 98.96%,662 nm 的光吸收值是 664 nm 的 96.32%;蓝光区吸光峰值的波长范围为 430~436 nm,其中,436 nm 与 434 nm 的光吸收值近似度为 99.28%,2 个波段的光吸收值的平均值为 432 nm 的 98.98%,430 nm 的光吸收值为 432 nm 光吸收值的 97.45%。因此,为提高补光灯的光效率,使 LED 补光灯发出的光质吻合植物的光吸收特性,可将番茄 LED 补光灯的红光区光谱峰值设定为 666~664 nm,蓝光区光谱峰值设定为 434~432 nm。

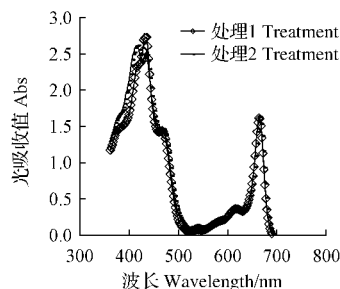


图1 番茄的光吸收特性与补光对光吸收的影响

Fig. 1 Light absorption characteristic and effect of supplemental light on light absorption in tomato

从图 1 还可以看出,补光与对照 2 个处理的番茄叶片光吸收图谱高度一致,不仅吸收峰值的波长相同,而且峰值大小也相同,因此,补光没有改变番茄的光吸收特性和光吸收值大小。

2.2 不同部位的叶片光吸收值

在光饱和点内,植物所吸收的大部分光能用于光化学反应,少部分光能通过非光化合过程耗散。一般植物吸收的光能越多,用于光合作用的光能越高。从图 2 可以看出,不同部位的番茄叶片光吸收图谱相似,但光吸收值的大小不同。表 1 表明,不同部位的 2 个光吸收峰值达到了显著差别,其中,上部叶片对波长 664 nm 的光吸收值分别是中、下部叶片的 1.51 倍和 3.23 倍,对波长 432 nm 的光吸收值分别是中、下部叶片的 1.96 倍和 4.35 倍。不同部位叶片对绿光(500~600 nm)的吸收差异较小。因此,在补光位置上,推荐对番茄的上、中部的叶片进行补光。

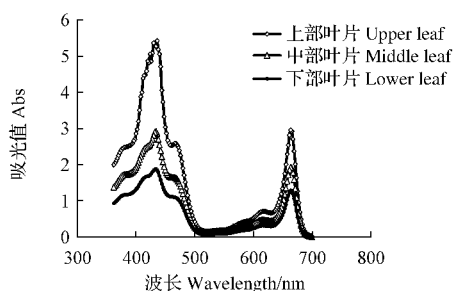


图2 番茄不同部位叶片的光吸收特性

Fig.2 Light absorption characteristic in different position leaves in tomato

表1 不同部位番茄叶片的光吸收峰值

Table 1 Light absorption peak value in different position leaves in tomato

叶片部位 Position of leaf	波长 Wavelength/nm	
	664	432
上部 Upper	2.812±0.193a	5.538±0.259a
中部 Middle	1.867±0.0787b	2.828±0.091b
下部 Lower	0.871±0.584c	1.273±0.841c

注:不同小写字母表示5%的显著差异。

Note: The different lowercase letters indicate a significant difference of 5%.

2.3 不同时段番茄的光合生理特性

从表2可知,早上随着时间推移,相同光照强度下光合速率增加较快,06:00—07:00要获得正光合速率的光照强度为 $250\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,08:00—09:00获得正光合速率的光照强度降为 $150\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。晚上随着时间推移,相同光照强度下光合速率下降但降幅较小,17:00—20:00获得正光合速率所需的光照强度为 $60\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,远低于早上所需的光照强度。

表3表明,番茄晚上的光饱和点、最大光合速度、光补偿点和暗呼吸率均低于早上,但前二者与早上相比,差异不显著,而后二者达到了极显著水平,晚上的光补偿点和暗呼吸率分别为早上的33.7%和45.3%,表明了番茄晚上消耗的呼吸产物较少,从而进一步证明了傍晚产生正光合产物所需的光强更低。因此,越冬番茄生产中采用延时补光,建议补光时间放在傍晚盖上保温被后17:00—20:00进行。

表2 番茄在不同时段不同光照强度下的光合速率

Table 2 Photosynthetic rate in different light intensity and during different times in tomato

光量子密度 Optical quantum density /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	时刻 Time					
	06:00—07:00	07:00—08:00	08:00—09:00	17:00—18:00	18:00—19:00	19:00—20:00
2 000	7.87	17.47	20.063	14.29	14.31	12.62
1 500	8.21	17.28	19.34	14.11	14.20	12.36
1 200	7.83	16.71	19.06	14.02	13.84	12.03
1 000	7.26	15.64	17.86	13.91	13.75	12.03
750	6.59	13.91	16.51	13.41	13.20	11.57
500	5.09	10.41	13.05	12.54	11.74	10.46
250	0.82	3.11	5.88	8.50	7.43	7.25
200	-0.51	1.88	4.21	7.16	6.19	5.99
150	-2.17	-0.26	2.35	5.43	4.50	4.93
100	-4.68	-2.54	-0.29	3.70	2.70	3.11
80	-5.37	-3.21	-1.05	3.03	2.18	2.59
60	-6.96	-4.36	-2.52	2.14	1.27	1.87
20	-10.27	-7.53	-5.74	-0.86	-1.70	-0.26
0	-11.44	-8.61	-6.86	-2.43	-2.52	-1.71

表3 不同时段番茄光合生理特性

Table 3 Photosynthetic physiological characteristics during different times

时刻 Time	光饱和点 Light saturation point	最大光合速率 Maximum photosynthetic rate	光补偿点 Light compensation point	暗呼吸率 Dark respiration rate
	/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	/($\text{CO}_2\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
06:00—09:00	1 906.7±300.55	18.87±2.40	161.52±12.99a	8.28±0.74b
16:30—20:30	1 606.9±249.57	15.86±0.92	54.43±19.22b	3.75±1.20a

注:不同小写字母表示达到0.01水平的显著差异。

Note: The different lowercase letters indicate a significant difference of 1%.

3 结论与讨论

研究表明,植物叶绿素 a、b 对红光区(640~660 nm)和蓝光区(430~450 nm)有 2 个最强吸收峰^[9-10],而且这 2 个吸收峰所对应的红光和蓝光已被证明对多种作物的生长发育有效^[11-12],这也是近十几年来,国内外常用红、蓝 LED 补光灯作为种植补光的原因之一^[13-14]。然而资料所表明的 2 个最强光吸收峰值所对应的波长域值较宽泛(达 20 nm)。相对某一作物而言,光吸收峰值的波长域值较窄,该研究测定的番茄吸收峰波长域值仅有 4~6 nm。同时,不同作物光吸收峰值所对应的波长不同。据不完全统计,目前用于农业生产的红、蓝 LED 补灯光谱峰值所对应的波长多数分别为 635~648 nm 与 440~455 nm,与该研究结果番茄光吸收 2 个峰值所对应的主波长精准值红光 666~664 nm 和蓝光 434~432 nm 有一定的差距。因此,建议分别研究不同作物光吸收峰所对应的波长,通过定制精准 LED 补光灯进行补光,以提高人工补光效率。

果类蔬菜属于蔓生植物,上部叶片对中下部叶片具有遮阴、截留光线的作用,补光灯安装的位置是当前人工补光在实际应用时有争议的问题。目前常用的补光灯安装位置有 3 种,即顶部、行间冠层和底部。传统光源一般安装在作物的正上方进行顶部补光^[1]。一些研究表明,LED 株间补光可以提高叶片质量、光合作用和果实品质^[15]。针对蔓生作物,在相同数量补光灯的情况下,一部分通过顶部补光,另一部分采用行间冠层补光比完全顶部补光所获得的产量高、品质更好^[16-17]。该研究表明,番茄顶部叶片的光吸收能力最强,其次为中部叶片。由于顶部叶片多为不完全叶,需要较多的光合产物用于自身生长,因此,笔者认为,顶部与中部叶位相结合的补光更有利于植株的生长发育。比较不同灯源的特点,由于传统光源产热较多,通过顶部补光既可减少补光灯对植株的热伤害,也可使植株吸收的光量达到最大;LED 补灯光量子密度较低,其散发的热量较少,与植物近距离接触不会对植株产生热伤害,适合中部叶片的行间补光。因此,生产上可将传统补光灯安装于顶部,配合红蓝光 LED 灯行间给中部叶位补光可获得较好的效果。

京津及以北地区温室果菜生产中常常在 08:30—09:00 打开保温被,16:30 前后放下保温被,一天中的光照时间不超过 8 h。阴天则不仅光照强度低,而且保温被遮盖时间更长。因此,补光包括晴天延时补光及阴天全天补光。然而在延时补光方面,延时补光的适宜时段存在争议。程瑞锋等^[18]认为早上提前补光的叶片光合启动时间比晚上长,但最终稳定时的净光合速率比晚上大。刘文科^[19]报道红蓝光 LED 灯晚上补光处理所获得的番茄产量大于早上补光所获得的产量,但二者之间没有达到显著差别。李梅等^[20]认为上半夜温度为 14 ℃,黎明前温度为 16 ℃条件下最有利于番茄苗期叶片进行光合作用;而结果期则是上半夜 16 ℃,黎明前温度 14 ℃最有利于番茄叶片的光合作用。该试验通过研究早上和晚上番茄叶片的光合生理,认为 17:00—20:00 的补光光合效率大于 06:00—09:00 的补光光合效率。同时,深冬季节北方地区许多温室早上的温度低于 10 ℃,光合作用的羧化酶活性低,不利于形成光合产物,因此建议延时补光的时段为 17:00—20:00。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张彩虹,于秀针,马彩雯,等.升降式系统补光对弱光条件下日光温室番茄生产及产量品质的影响[J].中国农机化学报,2017,38(7):54-58.
- [3] KIM E Y, PARK S A, PARK B J, et al. Growth and antioxidant phenolic compounds in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light-emitting diodes[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2014, 55(6):506-513.
- [4] XU H L, XU Q C, LI F L, et al. Applications of xerophytophysiology in plant production-LED blue light as a stimulus improved the tomato crop[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 148:190-196.
- [5] 李军,刘凤军,徐君.不同发光二极管(LED)光源补光对大棚秋番茄植株生长及果实产量和品质的影响[J].江苏农业学报,2011,27(6):1339-1343.
- [6] 王丽伟,李岩,辛国凤,等.不同比例红蓝光对番茄幼苗生长和光合作用的影响[J].应用生态学报,2017,28(5):1959-1602.
- [7] 徐新娟,李勇超,张尚攀,等.两种叶绿素提取方法的比较[J].湖北农业科学,2013,53(21):5303-5304.
- [8] 张辉,张凤良,李小琴,等.琴叶风吹捕叶绿素提取方法比较[J].热带农业科技,2017,40(3):24-29.

- [9] 刘彤,刘雯,马建设.可调红蓝光子比例的LED植物光源配光设计方法[J].农业工程学报,2014,30(1):154-159.
- [10] 王伟伟,马俊贵.设施温室补光灯的应用[J].农业工程,2014,4(6):47-50.
- [11] 张珂嘉,邹志荣,杨俊伟,等.不同比例红蓝光对奶油生菜生长、光合特性及品质的影响[J].蔬菜,2018(2):7-12.
- [12] 刘文科,杨其长,魏灵玲.LED光源及其设施园艺应用[M].北京:中国农业科学技术出版社,2012.
- [13] JOHKKAN M,SHOJI K,GOTO F,et al. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce[J]. Hort Science, 2010,45:1809-1814.
- [14] KIM H H,GOINS G D,WHEELER R M,et al. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red and blue light-emitting diodes[J]. Hort Science,2004,39(7):16.
- [15] 丁小涛,姜玉萍,王虹,等.LED株间补光对番茄生长和果实品质的影响[J].上海农业学报,2016,32(6):48-51.
- [16] GUNNLAUGSSON B,ADALSTEINSSON S. Interlight and plant density in year-round production of tomato at northern Latitudes[C]. International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture,2006:71-76.
- [17] HENUVELINK E,BAKKER M J,HOGENDONK L,et al. Horticultural lighting in the Netherlands; New developments[J]. Acta Hort,2006,711:25-33.
- [18] 程瑞锋,邹志荣,王军.外源补光状态下温室黄瓜光合作用的研究[J].陕西农业科学,2004(3):17-18.
- [19] 刘文科.LED补光对日光温室生长和产量的影响[J].农业工程技术,2016(4):40-41.
- [20] 李梅,须晖,李天来,等.不同夜温对番茄叶片呼吸及光合启动时间的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2006,24(2):201-204.

Study on the Supplemental Lighting in Tomato Based on Characteristics of Photosynthetic Physiological in Different Position of Leaves and Time

GUO Rui, HUA Mingyan, TONG Yana, YANG Xiaoling
(Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300192)

Abstract: Tomato cultivated over-winter in greenhouse was used as tested material, and characteristics of light absorption in different position and photosynthetic physiological in different time were adopted to study light quality, suitable position and suitable time for supplemental lighting to enhance utilization of lighting. The results showed that peak wavelength of light absorption were in 666—664 nm of red light district and in 434—432 nm of the blue light district. The maximum light absorption was appeared in the upper leaves, which was 1.51 times and 3.23 times in 664 nm wavelength, and 1.96 times and 4.35 times in 432 nm wavelength that of the middle and the lower leaves respectively. The light compensation point and dark respiration rate during the 17:00—20:00 in the night were significantly lower than that during the 06:00—09:00 in the morning. So supplemental lighting(666—664 nm red light and 434—432 nm blue light) to upper and middle leaves and during the 17:00—20:00 was recommended.

Keywords: tomato; light absorption; the light compensation point; dark respiration rate; supplemental lighting