

卢 纯,张亚红,李 青. LED 不同光质补光对日光温室冬春茬番茄生长及光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(8):127-134.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.08.023

LED 不同光质补光对日光温室冬春茬番茄生长及光合特性的影响

卢 纯,张亚红,李 青

(宁夏大学农学院,宁夏银川 750001)

摘要:以番茄品种巴菲亚特为材料,研究不同 LED 光质(红光、蓝光、红蓝 5:1、红蓝 7:1)补光对冬春季温室番茄生长指标及光合作用的影响。结果表明:番茄幼苗期到盛果期,蓝光补光可有效促进番茄生长,不同光质在番茄生长期、坐果期对叶绿素合成具有一定的影响。在生长期,蓝光、红光补光处理可有效增强番茄的光合作用;在开花期,红光、红蓝 7:1 补光处理可有效增强番茄的光合作用;在坐果期,红光、红蓝 5:1 补光处理可有效增强番茄光合作用;番茄生长期、开花期、坐果期各补光处理在 14:00—16:00 光合作用最为活跃;红光在开花期净光合效率最大,红光、红蓝 5:1 在结果期净光合效率最大。番茄盛果后期在 PS II 反应中心开放程度依次是红蓝 7:1>红蓝 5:1>红光>蓝光>CK,红蓝 7:1 在盛果后期更有利于电子传递。番茄不同补光处理下产量排序是红光>红蓝 5:1>红蓝 7:1>蓝光>CK。总体上本研究结果可为温室冬春季番茄种植的光调控提供参考。

关键词:LED 光质;番茄;生长指标;光合作用

中图分类号:S641.201;Q945.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)08-0127-08

光是促进植物生长发育进行光合作用、新陈代谢、基因表达和其他生理反应的重要能源。光在高等植物中表达可分为 2 个方面:(1)利用光信号提供植物光合作用,调节生长、分化和新陈代谢;(2)不同光照度和光质对植物生长、生物累积量、开花及功能性化合物的调控作用。光质是影响植物光合作用的重要因素之一,由不同辐射光谱组合而

成,即使在同样的可见光颜色下,其光谱的构成也有差异,光感受蛋白可以在特殊光谱波长范围内促使小辅因子和发色团改变光感受器的调控,从而引起植物的生理响应^[1]。不同光质对于植物不同生长发育期通过叶片光感色素接收光感信号的强度不同^[2]。红光和蓝光是植物叶片光感色素吸收和利用最多和最重要的有效光源^[3-4]。红光通过刺激与调控植物光敏色素和光合器官,以此促进胚胎发育和植物化学物质合成^[5]。蓝光有助于叶绿体的形成、气孔开闭以及叶绿素、花青素的生物合成^[6]。研究表明,蓝光可促进拟南芥幼苗茎的伸长同时降

收稿日期:2019-03-19

基金项目:宁夏回族自治区重点研发计划(编号:2016BZ0901)。

作者简介:卢 纯(1986—),男,宁夏银川人,硕士,研究方向为蔬菜学。E-mail:917998377@qq.com。

[3]肖 寒,欧阳志云,赵景柱,等.海南岛景观空间结构分析[J].生态学报,2001,21(1):20-27.

[4]傅伯杰,陈利顶.景观多样性的类型及其生态意义[J].地理学报,1996,51(5):454-462.

[5]黄传煌.浅谈城市景观生态规划与评价[J].林业勘察设计,2005(2):45-48.

[6]刘 英,张建林.乡村绿道规划策略研究——以自贡釜溪河绿道乡村段为例[J].西南师范大学学报(自然科学版),2017(1):103-108.

[7]李卫锋,王仰麟,蒋依依,等.城市地域生态调控的空间途径——以深圳市为例[J].生态学报,2003,23(9):1823-1831.

[8]曹 慧,胡 锋,李辉信,等.南京市城市生态系统可持续发展评价研究[J].生态学报,2002,22(5):787-792.

[9]张 毅,邱 建.新津宝墩考古遗址公园景观规划理念的探讨[J].西南大学学报(自然科学版),2017(7):155-160.

[10]张 诚,李钰婷,戴丽媛.基于生态理论的瓦东干渠景观规划[J].长春工业大学学报,2017(4):410-416.

[11]熊 星,唐晓岚,周明峰,等.基于绿道理论的江河洲岛滨江景观重构策略——以南京江心洲为例[J].江苏农业科学,2016,44(3):210-215.

[12]黄凤茹.城市景观和城市规划新思路[J].城市规划汇刊,1998(1):52-58.

[13]俞孔坚,叶 正,李迪华,等.论城市景观生态过程与格局的连续性——以中山市为例[J].城市规划,1998(4):14-17.

[14]王明成.保护芦苇湿地自然资源实现生态可持续发展[J].黑龙江水产,2007(3):45-48.

低生物量各项指标^[7],红光可促进植物茎叶生长并提高作物产量^[8]。针对于红蓝光质配比的研究表明,在光质中加入红蓝配比甚至加入一些绿光可以有效促进植物生长^[9]。

近年来,不同 LED 配比的人工光源在农业生产中推广使用,LED 光质、光照度和光周期及其对植物的影响被广泛研究和探讨。国内外学者研究了 LED 不同光质、光照度、光周期对番茄生长发育^[10-11]、产量、品质^[12]、叶绿素荧光动力学参数^[13]和果实品质^[14]的影响,但对于冬季日光温室 LED 不同光质对番茄光合特性的影响少见报道。因此,本试验以番茄为试验材料,探究 LED 红蓝光质及其不同配比对番茄生长期、开花期、坐果期、盛果期生长指标和光合特性的影响并模拟光合速率曲线,以期为 LED 补光灯在冬季日光温室栽培管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设备

试验补光材料采用深圳市一宸华节能照明有限公司订做的 LED 植物生长光源,红光与蓝光比值分别为 5 : 1 和 7 : 1(红蓝 LED 灯珠个数比),由波

长为 630 nm 的红色发光二极管与 460 nm 的蓝色发光二极管组成,以自然光为对照。

1.2 试验设计

试验在宁夏园艺产业园科研示范基地(106°19'4.25"E,38°34'41.63"N)日光温室大棚内进行。供试番茄品种为巴菲亚特。2017 年 9 月 20 日育苗,10 月 20 日 4 叶 1 心时定植。试验设计为无补光、红蓝 7 : 1、红蓝 5 : 1、蓝光、红光共 5 个处理(表 1、图 1),其中无补光作为对照(CK),具体每个处理种植 5 畦,3 次重复,常规管理。定植后开始补光处理,随植株生长实时调整补光灯高度,使到达叶片的光和光量子通量为 80 μmol/(m² · s),各补光处理间用反光幕隔断,每天分别在揭苫前和放苫后各补光 3 h(07:00—10:00、18:00—21:00),从幼苗至拉秧持续补光。

表 1 试验设计

处理	光质	早上补光时间	晚上补光时间
1	红光	07:00—10:00	18:00—21:00
2	红蓝 7 : 1	07:00—10:00	18:00—21:00
3	红蓝 5 : 1	07:00—10:00	18:00—21:00
4	蓝光	07:00—10:00	18:00—21:00
5	CK(无补光)	07:00—10:00	18:00—21:00

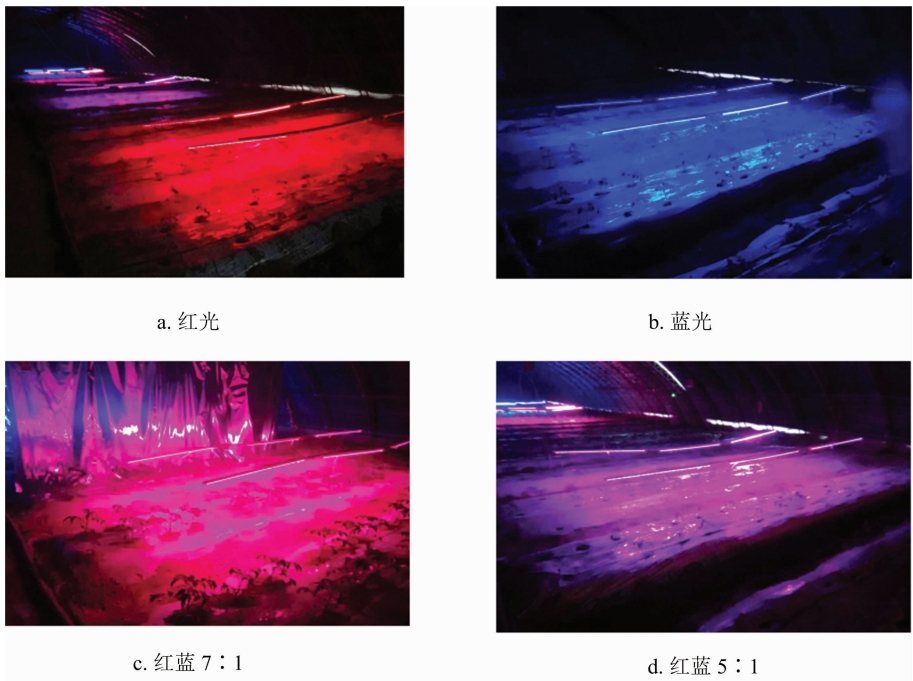


图1 不同 LED 光质补光图示

分别于幼苗期(2017 年 10 月 29 日)、生长期(2017 年 11 月 15 日)、开花期(2017 年 11 月 22 日)、坐果期(2017 年 12 月 20 日)、盛果期(2018 年

1 月 5 日)进行指标测定。

1.3 测试内容

1.3.1 生长指标的测定 每处理选取 6 株代表性

植物挂牌标记,分别于番茄各生长阶段测定株高、茎粗、叶绿素含量,叶面积参考文献[15]计算。每个处理测定 4 株,每株测定 3 张叶片。

1.3.2 光合特性的测定 主要包括光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和气孔导度(G_s)的测定。净光合速率的测定从 10:00 升棉被开始,整点时刻每隔 2 h 测定 1 次,至 18:00 降棉被结束,获得 LED 不同光质补光对冬春温室番茄不同生长阶段净光合速率日变化规律,采用 Li-6400 便携式光合作用测定仪测定。番茄叶绿素荧光参数[在光适应下 PS II 反应中心的光化学效率 $Y(II)$ 、光化学猝灭系数 q_p 、非光化学猝灭系数 NPQ 、电子传递速率、 ETR]使用便携式光合仪测定。

1.3.3 番茄产量的测定 采收时按每小区称质量,以 3 次重复的平均值代表该处理的平均产量。

1.4 数据统计与分析方法

采用 DPS 进行统计分析,用 Excel 2007 进行数据整理和作图。

2 结果与分析

2.1 不同光质补光对番茄生长发育的影响

由图 2-A 可见,蓝光处理过的番茄株高最高,在生长期、开花期、坐果期、盛果期分别高于 CK 14%、5%、21%、18%,尤其在生长期、坐果期和盛果期与其他 4 个处理相比基本差异达显著($P < 0.05$)。

由图 2-B 可见,蓝光处理在番茄生长期的茎粗显著高于 CK($P < 0.05$)。在幼苗期、开花期、坐果期、盛果期各补光处理茎粗差异不显著。

由图 2-C 可见,蓝光处理在生长期、开花期、坐果期、盛果期番茄叶面积高于其他处理,红蓝 5:1 处理在幼苗期、生长期、开花期、坐果期、盛果期均低于其他处理。

由图 2-D 可见,红光处理叶绿素含量仅在坐果期显著高于 CK;5 个处理叶绿素含量在幼苗期、开花期、盛果期差异不显著,而在生长期、坐果期有一定差异,说明不同光质在番茄生长期、坐果期对叶绿素合成具有一定影响。

2.2 不同光质补光对番茄叶片光合特性日变化的影响

由图 3-A 可知,生长期番茄叶片各光照处理下净光合速率均大于 CK,其中蓝光处理呈“双峰”值,分别在 14:00 和 18:00 达到峰值,表明蓝光处理

下番茄叶片光合有效时间得到延长。由图 3-B 可知,各处理气孔导度呈先下降后上升的趋势。由图 3-C 可知,各光照处理的蒸腾速率在午间 12:00 均达到最大值且大于 CK,16:00 之后均小于 CK。由图 3-D 可知,胞间 CO_2 浓度呈下降趋势。

由图 4-A 可知,开花期番茄叶片各处理下净光合速率在 14:00—16:00 达到峰值,表明番茄开花期净光合速率在日间光照度最大时最为活跃。由图 4-B 可知,各处理气孔导度呈先升后降的趋势,且在 14:00—16:00 达到峰值,表明番茄花期生殖生长期间须要通过光合作用积累更多的能量促进开花。由图 4-C 可知,红光处理的蒸腾速率在 16:00 达到峰值,其余各光质补光处理在 14:00 达到峰值,且 14:00 时所有光质处理的蒸腾速率均小于 CK,表明在 14:00 时番茄叶片大量吸收有机物和矿物质确保其生殖生长的进行。由图 4-D 可知,各处理的番茄胞间 CO_2 浓度在 12:00 时明显低于 CK,表明在此期间各处理气孔完全关闭。

由图 5-A 可知,番茄叶片在各光照处理下净光合速率均在 14:00 时达到最大值。由图 5-B 可知,各处理气孔导度呈先降后升的趋势。由图 5-C 可知,各光照处理蒸腾速率呈“双峰”变化,且在 14:00 显著低于 CK,说明在 14:00 时光合作用最强。由图 5-D 可知,番茄胞间 CO_2 浓度呈先降后升再降的趋势,各处理间差异不明显。

2.3 不同光质补光对番茄净光合速率峰值的对比分析

为了更好地比较番茄不同生长阶段各光照处理净光合速率活跃程度,选取 14:00—16:00 光合作用活跃阶段的净光合速率平均值进行比较,具体见图 6。其中,在番茄不同生长发育时期,各光照处理总体大于 CK,表明不同 LED 光质处理均不同程度地增强了番茄的净光合速率。红光处理在开花期净光合速率最大,蓝光、红蓝 5:1 处理在坐果期净光合速率最大。

2.4 补光对番茄果实产量和荧光特性的影响

2.4.1 LED 不同光质补光对番茄果实产量的影响

由表 2 可知,蓝光、红蓝 7:1、红蓝 5:1、红光处理下的番茄平均单果质量显著高于 CK,红蓝 5:1 处理的果型指数最优。产量排序是红光 > 红蓝 5:1 > 红蓝 7:1 > 蓝光 > CK。

2.4.2 不同光质补光对番茄花期和果期荧光特性的影响 由图 7-A、图 7-B 可见,随不同 LED 光

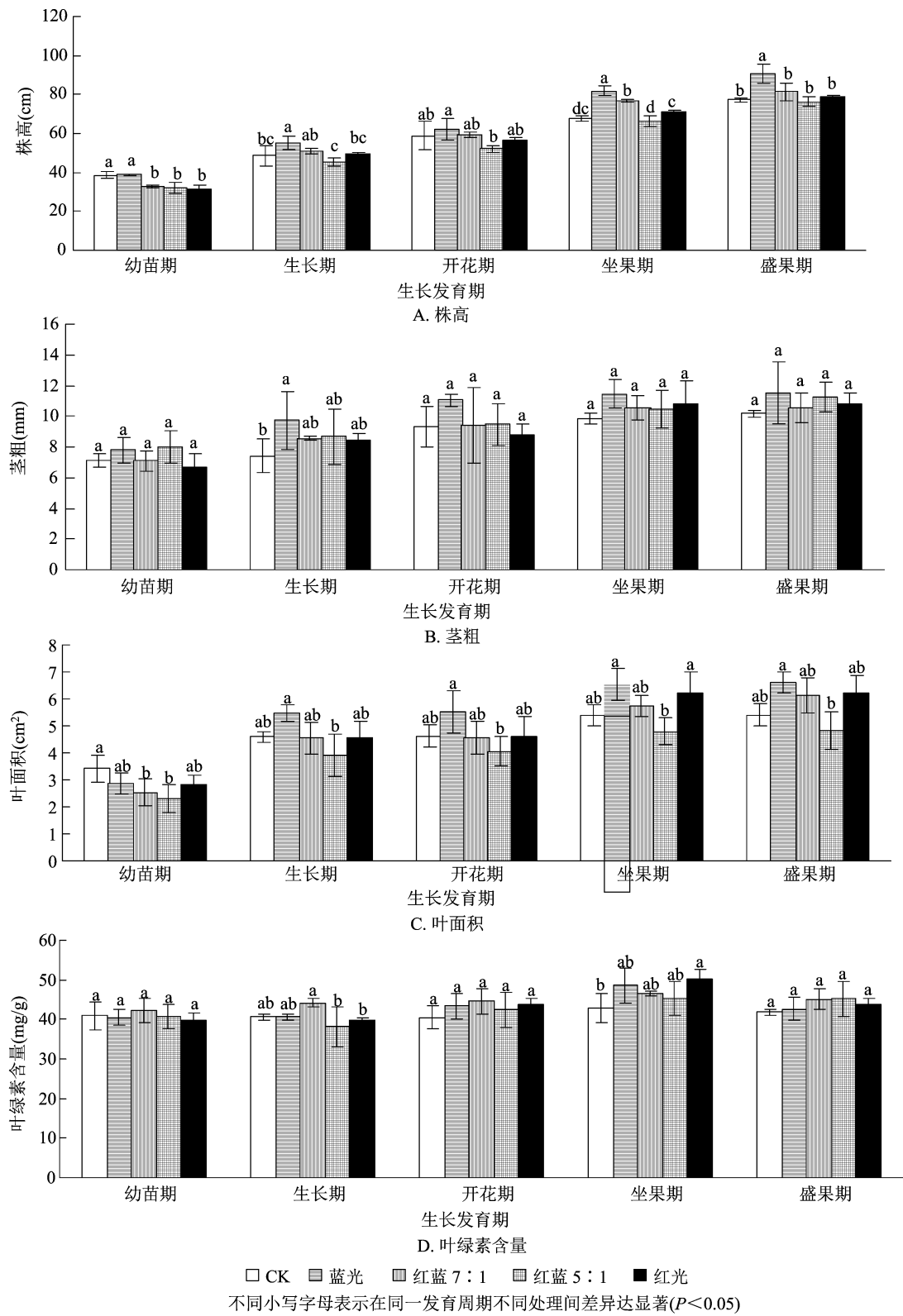


图2 不同光质补光对番茄生长发育的影响

源照射时间的延长,实际光化学效率、光化学猝灭系数变化各不相同,总体呈先降后升的趋势。盛果后期,红光、红蓝 5:1、红蓝 7:1 光化学猝灭系数明

显高于其他处理,表明番茄盛果后期在红光、红蓝 5:1、红蓝 7:1 处理下具有更高的实际光化学效率和更高比例还原态的电子受体体质体醌A,番茄开花

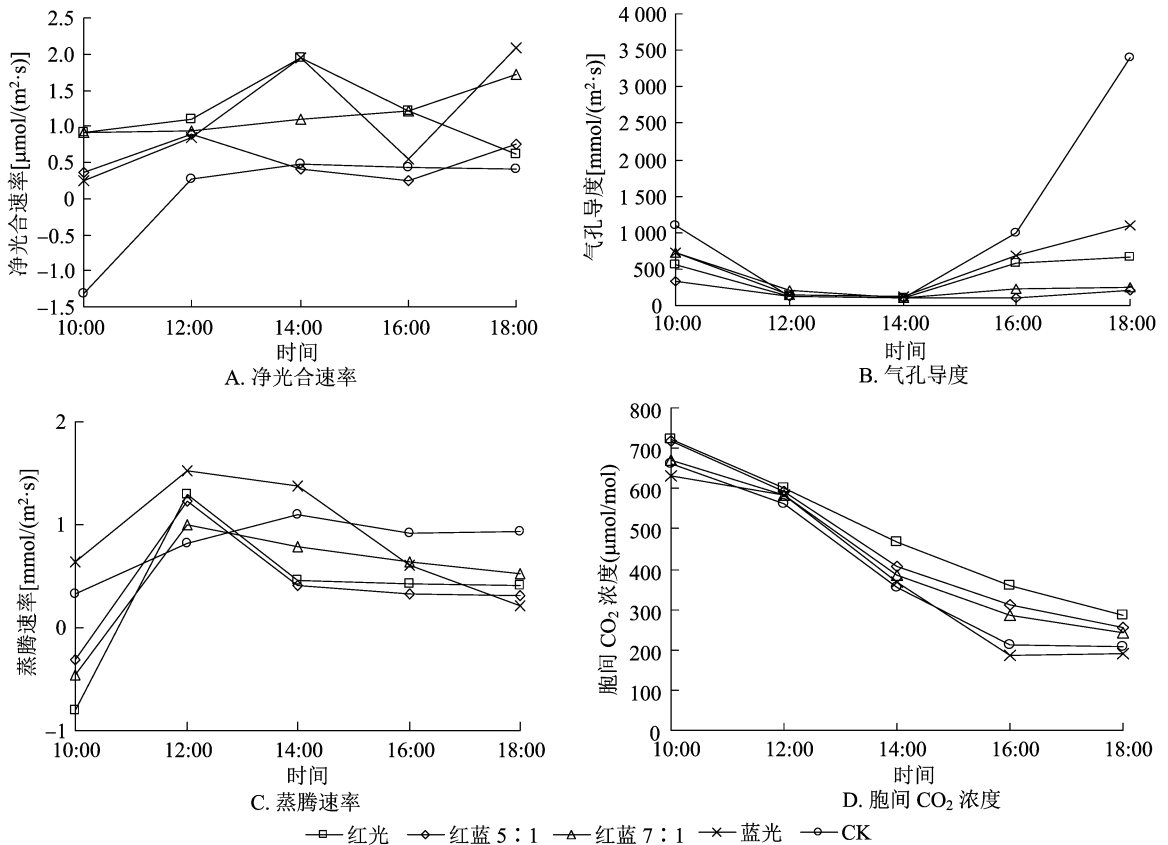


图3 生长期补光对番茄叶片光合特性日变化的影响

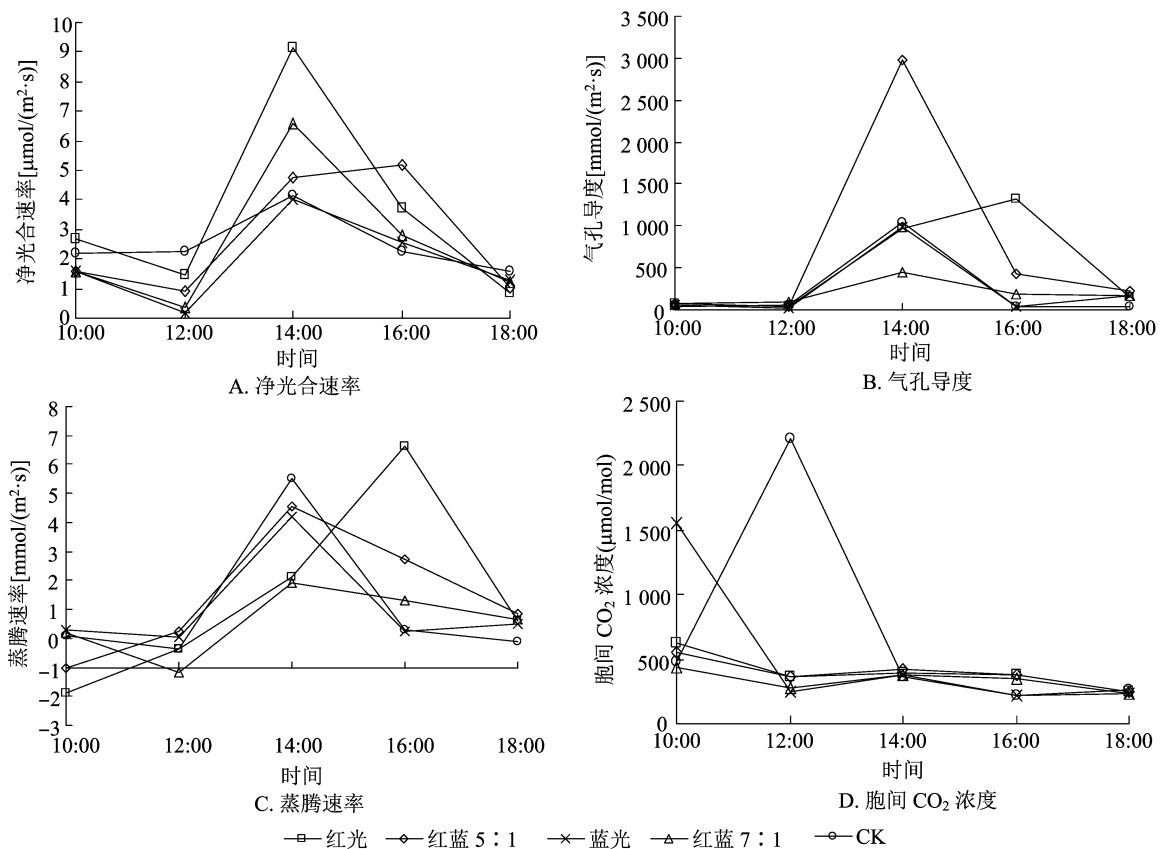


图4 开花期补光对番茄叶片光合特性日变化的影响

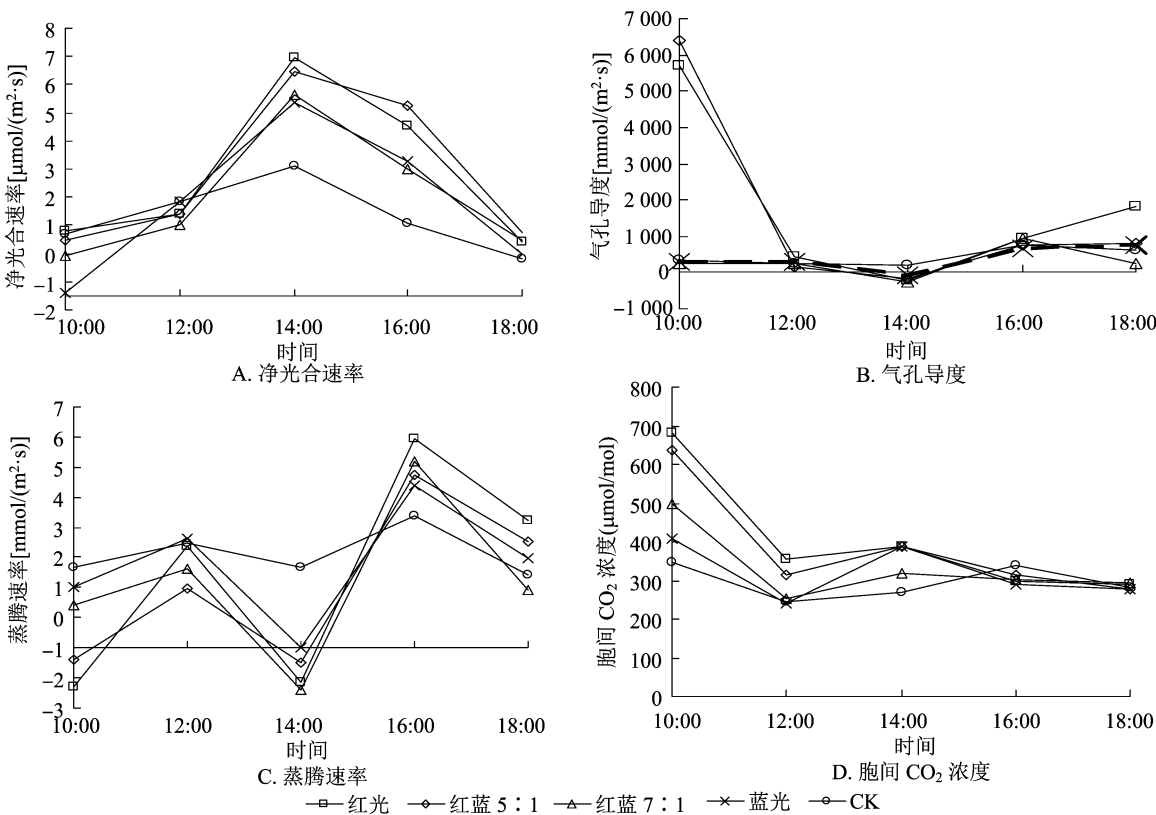


图5 坐果期补光对番茄叶片光合特性日变化的影响

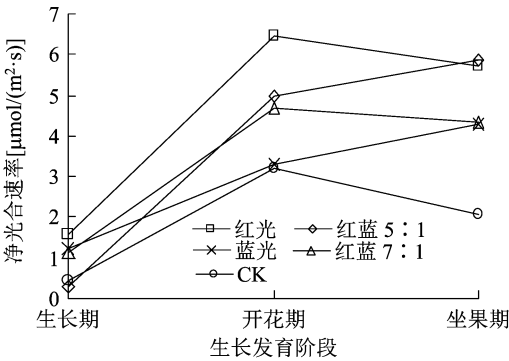


图6 番茄不同生长阶段 14:00—16:00 净光合速率比较

期、坐果期、盛果期光化学猝灭系数均无显著差异,盛果后期各处理光化学猝灭系数差异显著,其在 PS II 反应中心开放程度依次是红蓝 7:1 > 红蓝

5:1 > 红光 > 蓝光 > CK。

由图 7 - C、图 7 - D 可见,不同光质补光 ETR 和 NPQ 在番茄花期、果期表现均有不同,红蓝 7:1 在盛果后期更有利于番茄的电子传递,且使其热耗散水平更高。

3 结论与讨论

3.1 讨论

光是日光温室内冬春番茄生长发育的重要组成部分,一方面促进植物有机物和干物质的积累,另一方面均衡调控植物营养生长、生殖生长、器官分化的周期,使能量得到有效积累和释放。在冬季温室低温寡照的条件下,LED 补光延长了光合速率

表 2 LED 不同光质补光对番茄果实产量的影响

光质处理	果实纵径 (cm)	果实横径 (cm)	果型指数	平均单果质量 (g)	产量 (kg/hm ²)
红光	60.64b	77.98a	0.78b	188.82a	638.72a
红蓝 7:1	57.72bc	75.34a	0.77b	172.17a	530.67a
红蓝 5:1	67.14a	75.20a	0.89a	179.86a	561.88a
蓝光	55.04bc	73.26a	0.75b	163.64a	518.66a
CK	53.076c	64.47b	0.82ab	121.45b	345.77b

注:同列数据后不同写字母表示在同一发育期不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

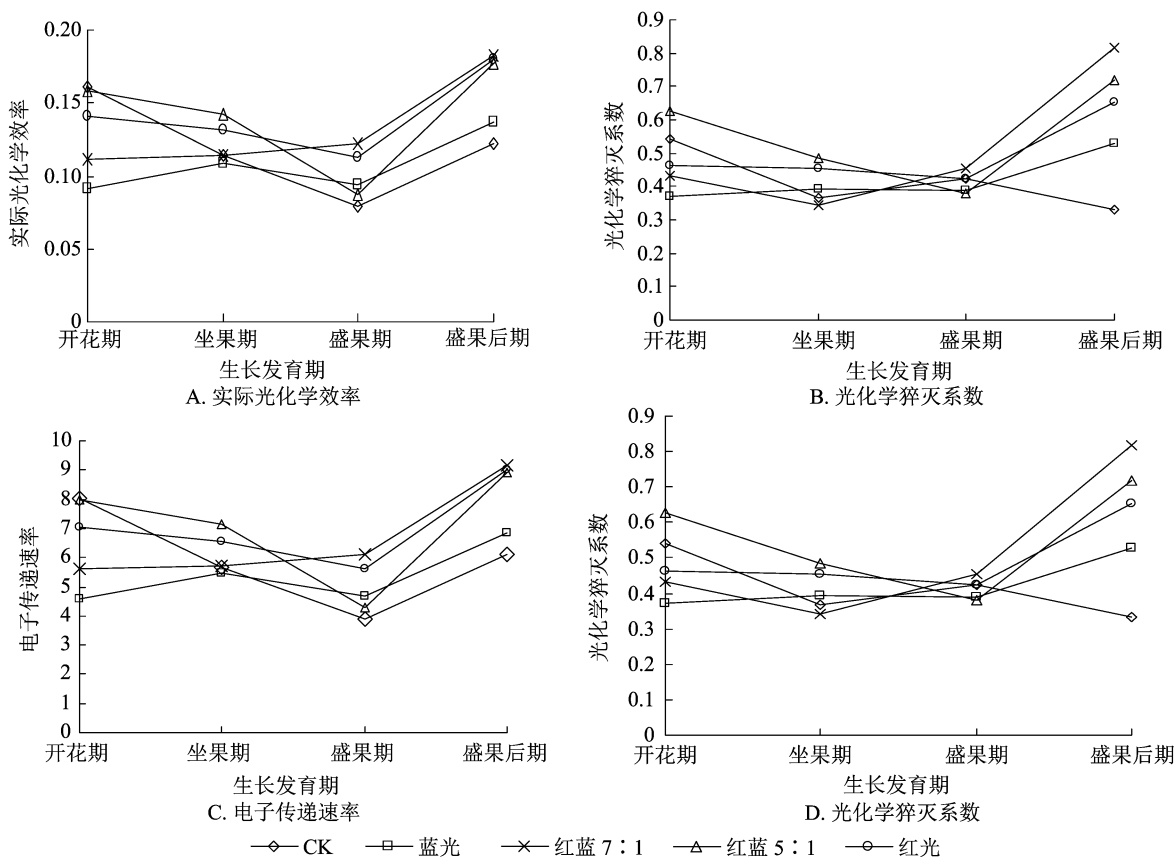


图7 LED不同光质对番茄花期、果期的荧光特性的影响

有效时间,促进植物生理代谢,为植物的正常生长发育提供有利条件。本研究表明,番茄在不同生长阶段对光质的要求不同,LED光对植物生理发育的影响与日光照射有着明显的差异。光合作用的光源主要依靠可见光,蓝光和红光充当植物光合作用的独立光反应者和光接收者,一些研究表明,植物体内的光接受器可能与植物的生理反应有关,而蓝光和红光在植物生理机能响应与信号传导之间也会有干扰^[16],这也充分说明该试验不同补光处理在番茄不同生长阶段和日间不同时段的增长和光合特性不同。

番茄是在果实成熟后持续采收的作物,在其果实成熟期,叶绿素含量逐渐下降,类胡萝卜素逐渐合成,尤其是番茄红素是其果实转色表达的重要环节^[17]。植物利用光能进行光合作用,并通过调节不同光质改善植物生长周期和果实产量品质^[18]。红光和蓝光在番茄采收期果实生理代谢和生物色素合成起到了至关重要的作用,红光和蓝光也影响果实大小和产量^[14]。番茄花期果期补光处理下,各光照处理均不同程度对番茄产量和荧光特性产生了积极的影响。单色光谱(红光、蓝光)和混合光谱

(红蓝 5:1、红蓝 7:1)对番茄不同花期和果期各阶段的作用也不同。

3.2 结论

本试验用不同 LED 光质(红光、蓝光、红蓝 5:1、红蓝 7:1)补光处理冬春季温室番茄,研究其生长指标及光合作用。结果表明,不同 LED 光质处理对番茄生长特性具有不同的影响。从幼苗期到盛果期,蓝光对番茄生长发育起到了至关重要的作用,蓝光补光可有效促进番茄生长,且不同光质在番茄生长期、坐果期对叶绿素合成具有一定的影响。从不同 LED 光质处理对番茄光合特性的影响可知,番茄不同生长阶段对光源补光的需求不同,各补光处理相比 CK 都能不同程度地提高番茄的净光合速率。其中,生长期蓝光、红光补光处理可有效提高番茄的净光合速率;开花期红光、红蓝 7:1 补光处理可有效提高番茄的净光合速率;坐果期红光、红蓝 5:1 补光处理可有效提高番茄的净光合速率;番茄生长期、开花期、坐果期补光处理在 14:00—16:00 光合作用最为活跃。说明不同 LED 光质处理在不同生长发育时期均不同程度地提高番茄的净光合速率,其中,红光在开花期净光合速

率最大,蓝光、红蓝 5 : 1 在结果期的净光合速率最大。番茄不同补光处理下产量排序是红光 > 红蓝 5 : 1 > 红蓝 7 : 1 > 蓝光 > CK。番茄盛果后期在红光、红蓝 5 : 1、红蓝 7 : 1 处理下具有更高的实际光化学效率和更高比例还原态的电子受体质体醌 A, 其在 PS II 反应中心开放程度依次是红蓝 7 : 1 > 红蓝 5 : 1 > 红光 > 蓝光 > CK, 红蓝 7 : 1 在盛果后期更有利于番茄的电子传递。

参考文献:

- [1] Shcherbakova D M, Verkhusha V V. Chromophore chemistry of fluorescent proteins controlled by light [J]. *Current Opinion in Chemical Biology*, 2014, 20: 60 – 68.
- [2] Chen X L, Yang Q C, Song W P, et al. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 223 (15): 44 – 52.
- [3] Abidi F, Girault T, Douillet O, et al. Blue light effects on rose photosynthesis and photomorphogenesis [J]. *Plant Biology*, 2013, 15 (1): 67 – 74.
- [4] Massa G D, Kim H H, Wheeler R M, et al. Plant productivity in response to LED lighting [J]. *HortScience*, 2008, 43 (7): 1951 – 1956.
- [5] Choi H G, Moon B Y, Kang N J. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 189 (25): 22 – 31.
- [6] Li Q, Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 67 (1): 59 – 64.
- [7] Folta K M. Green light stimulates early stem elongation, antagonizing light – mediated growth inhibition [J]. *Plant Physiology*, 2004, 135 (3): 1407 – 1416.
- [8] Zhang Y T, Zhang Y Q, Yang Q C, et al. Overhead supplemental far – red light stimulates tomato growth under intra – canopy lighting with LEDs [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18 (1): 62 – 69.
- [9] Kim H H, Goins G D, Wheeler R M, et al. Stomatal conductance of lettuce grown under or exposed to different light qualities [J]. *Annals of Botany*, 2004, 94 (5): 691 – 697.
- [10] 何蔚, 陈丹艳, 胡晓婷, 等. 不同光周期与光质对比对番茄植株生长发育的影响 [J]. *西北农业学报*, 2018, 27 (4): 116 – 124.
- [11] 何伟明, 刘庞源, 武占会, 等. 不同光强与光质处理下对番茄幼苗生长的影响 [J]. *北方园艺*, 2017 (19): 72 – 75.
- [12] 钱舒婷. 不同补光灯对设施草莓、番茄光合生长及产量品质的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [13] 谢鑫, 王俊玲, 段立肖, 等. 光质对番茄叶片叶绿素荧光动力学参数的影响 [J]. *河北农业大学学报*, 2013, 36 (6): 48 – 51, 88.
- [14] Nájera C, Guil – Guerrero J L, Enríquez L J, et al. LED – enhanced dietary and organoleptic qualities in postharvest tomato fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 145: 151 – 156.
- [15] 吴远藩. 量叶片的长和宽计算番茄叶面积 [J]. *农业科技通讯*, 1980 (12): 20 – 21.
- [16] Chen X L, Yang Q C, Song W P, et al. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 223 (15): 44 – 52.
- [17] Liu L H, Zabarás D, Bennett L E, et al. Effects of UV – C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post – harvest storage [J]. *Food Chemistry*, 2009, 115 (2): 495 – 500.
- [18] Wang Y, Folta K M. Contributions of green light to plant growth and development [J]. *American Journal of Botany*, 2013, 100 (1): 70 – 78.