

弱光区提高番茄产量和品质的栽培措施

王玉琪^{1,2,3}, 梁颖^{1,2}, 张泽锦^{1,2}, 唐丽^{1,2}, 黄长征⁴, 杨柳永⁵, 左晓梅⁵

(1. 蔬菜种质与品种创新四川省重点实验室·四川省农业科学院园艺研究所 成都 610066; 2. 四川省蔬菜工程技术研究中心 四川彭州 611934; 3. 四川师范大学地理与资源科学学院 成都 610066; 4. 四川省眉山市东坡区岷江现代农业示范园区管理委员会 四川眉山 620000; 5. 凯盛浩丰(德州)智慧农业有限公司 山东德州 253000)

摘要:为探讨弱光区提高番茄产量和品质的栽培措施,以番茄品种心里红为试验材料,在椰糠栽培条件下设置6种不同处理,分别为对照(CK)、不同施肥水平(T1、T2和T3)、顶补光(T4)和单杆整枝(T5),研究水肥管理、补光措施、整枝方式对番茄产量和品质的影响。结果表明,番茄的单穗果质量在不同施肥处理(T1、T2和T3)下没有显著差异,说明氮肥和钾肥的施用量在常规施用范围内变化不影响番茄产量,但适宜的低施氮量时果实的糖酸比更大,口感更佳;T4、T5处理与CK处理相比番茄品质无显著差异,但T4处理的单位面积产量($7.39 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$)显著高于CK处理($6.93 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$),说明补光能有效地提高番茄产量。综上所述,补光是弱光区栽培提高番茄产量的有效措施。

关键词:弱光区;补光;养分管理;栽培模式;番茄产量;番茄品质

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)05-059-07

Cultivation measures to improve tomato yield and quality in low light environment

WANG Yuqi^{1,2,3}, LIANG Ying^{1,2}, ZHANG Zejin^{1,2}, TANG Li^{1,2}, HUANG Changzheng⁴, YANG Liuyong⁵, ZUO Xiaomei⁵

(1. Vegetable Germplasm Innovation and Variety Improvement Key Laboratory of Sichuan Province/Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, Sichuan, China; 2. Sichuan Province Engineering Technology Research Center of Vegetables, Pengzhou 611934, Sichuan, China; 3. School of Geography and Resource Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, Sichuan, China; 4. Administrative Committee of Minjiang Modern Agriculture Demonstration Park, Dongpo District, Meishan City, Sichuan Province, Meishan 620000, Sichuan, China; 5. Triumph Haofeng (Dezhou) Intelligence Agriculture Co., Ltd., Dezhou 253000, Shandong, China)

Abstract: To improve the yield and quality of tomato in low-light areas, the effect of different cultivation measures including fertilization, supplemental lighting and pruning methods were evaluated in the sunlight greenhouse of Minjiang Modern Agriculture Demonstration Park. Tomato (*Solanum lycopersicum* L., cv Xinlihong) grown in the coconut bran was used as the material. Six different treatments were set up, including control (CK), different nitrogen and potassium fertilizer application rates (T1, T2 and T3), top supplemental lighting (T4), and single stem pruning (T5). The results showed that there were no significant differences in tomato per panicle fruit weight among different fertilization treatments (T1, T2 and T3), which indicated that the variation of nitrogen and potassium application rates in the conventional application range was not the main factor affecting the yield of tomato. However, the sugar-to-acid ratio of the fruit was increased in T1 treatment, suggesting decreased the input of nitrogen could improve the favor of tomato fruit. Compared to the control (CK), supplemental light treatment (T4) and single stem pruning treatment (T5) had no effect on fruit quality. Fruit yield per unit area of the supplemental light treatment (T4) ($7.39 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) was significantly higher than that of the control treatment (CK) ($6.93 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$), indicating that supplemental light can effectively improve tomato yield. In summary, proper supplementary light during tomato growth is the most effective measure to improve tomato yield in low-light areas.

Key words: Low light environment; Supplemental light; Nutrient management; Cultivation model; Tomato yield; Tomato quality

收稿日期:2022-11-16;修回日期:2023-02-22

基金项目:“十四五”四川省蔬菜育种攻关项目(2021YFYZ0022);国家现代农业产业技术体系四川蔬菜创新团队[川农函(2019)427号];农业农村部现代农业产业技术体系专项资金项目(CARS-23-G32)

作者简介:王玉琪,女,在读硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培。E-mail:yuqiwang0331@163.com

通信作者:梁颖,女,助理研究员,研究方向为物营养学、蔬菜栽培。E-mail:liangashuang@outlook.com

张泽锦,男,副研究员,研究方向为设施园艺。E-mail:zhangzj127@163.com

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)是一种在全球范围内广泛种植、消费量巨大的蔬菜作物。中国是世界最大的番茄生产和消费国家之一,根据联合国粮农组织(FAO)统计,2020年中国番茄的种植面积达 $1.11 \times 10^6 \text{ hm}^2$,年产量 $6.49 \times 10^7 \text{ t}^{[1]}$ 。自20世纪80年代开始大力推广高效节能温室配套栽培技术以来,我国设施温室建设不断发展,设施温室番茄栽培技术也不断提高^[2-3]。

番茄是一种喜肥植物,施用不同浓度的肥料会对番茄的生长发育过程产生影响,进而影响番茄的产量和品质。无土栽培中营养全部来自营养液,营养液配方中氮素和钾素的含量对作物的产量和品质有很大影响。目前番茄无土栽培营养液配方大多改良自山崎营养液配方或者霍格兰营养液配方,大量元素氮和钾的用量变化较大,其中氮素的浓度范围为 $6\sim 20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,钾素的浓度范围为 $3\sim 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[4]。番茄生产中营养液EC(电导率)值一般控制在 $1.6\sim 5.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ^[5],根际EC值过高会对气孔导度和叶面积产生负面影响,从而影响植物光合速率、水分和营养吸收、干物质积累以及果实发育和品质^[6-7]。弱光条件下营养液的氮肥和钾肥的浓度以及营养液的EC值对番茄产量和品质的影响有待进一步研究。

光照是影响番茄生长发育的重要环境因子之一^[8],在四川地区,由于冬季白天日照时间短,使得番茄植株常在弱光环境下生长,导致番茄产量受到严重影响^[9]。通过补光提升番茄产量和品质的技术措施在设施番茄种植中广泛应用,大量研究表明,不同的光质、补光时间以及不同类型的光源均会影响番茄的产量和品质。陈鹏涛等^[10]研究表明,弱光条件下补充不同的光对番茄幼苗生长有影响,补充红光和蓝光有助于番茄幼苗根系的生长和生物量的积累,红蓝组合补光下幼苗干物质含量最高。李军等^[11]研究发现,红光和蓝光均能抑制番茄茎伸长,促进茎增粗,使植株更加强壮,增加叶绿素含量,促进光合作用,但红光处理下番茄总叶绿素含量显著高于蓝光处理。卢纯等^[12]、孙娜等^[13]的研究表明,补充红光和蓝光均有助于提高番茄产量,但纯红光处理下番茄产量最高。补充红光和蓝光还可以提高番茄果实中番茄红素、可溶性固形物、可溶性糖、有机酸、可溶性蛋白含量及糖酸比^[14-16]。张洋等^[17]、柳帆红等^[18]、魏守辉等^[19]均对不同补光时段对番茄产量和品质的影响进行了研究,结果表明,揭帘前5 h进行补光效果最好。钱舒婷^[20]研究

了高压钠灯(HPS)、不同红蓝光配比的LED灯、荧光灯等不同类型的补光光源对设施番茄光合、生长和产量的影响,发现红、蓝光光强配比为4.9:1的LED灯对提高番茄产量最有效果。

番茄整枝方式会影响植株的光吸收效率,进而影响植株的光合作用,最终影响番茄的产量和品质。王慧茹等^[21]以不同的整枝方式进行试验,发现五秆整枝更利于樱桃番茄香妃3号果实产量的提高。杨圆圆等^[22]、潘德怀等^[23]研究表明,双秆整枝比单秆整枝更显著提高番茄产量。

大量研究表明,水肥管理^[6]、补光措施^[9]、整枝方式^[22]均会影响番茄的产量和品质,但在弱光环境下何种农艺措施对番茄产量和品质的影响更为显著还鲜有报道。因此,笔者以番茄品种心里红为研究材料,研究四川冬季弱光条件下不同水肥管理、补光措施、整枝方式对番茄产量和品质的影响,探究提高弱光区温室栽培番茄产量的措施,为今后弱光区温室越冬番茄高产高质栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验地点为四川省眉山岷江现代农业示范区文洛型智慧温室,采用椰糠条栽培。供试的番茄品种为心里红,中型粉果,购自瑞克斯旺种子有限公司(中国)。供试的LED光源为扬州中科,高压钠灯光源为美光原(Megaphoton,荷兰),补光方式为顶补光。

1.2 试验设计

番茄的定植时间为2021年9月28日。试验共设置6个处理:对照(CK,常规施肥)、不同施肥处理(T1、T2和T3)、顶补光处理(T4)、单秆整枝处理(T5),其中除了T5处理的整枝方式为单秆整枝,其他处理均为双秆整枝,所有处理均采用椰糠条栽培。顶补光处理的补光方式为高压钠灯加红蓝LED灯(光源光谱见图1),其中LED灯红光和蓝光的光照度比例为4:1,补光时间为10:00—15:00,整个试验过程的补光时间为2021年11月15日至2022年2月21日,番茄补光株间总光照度增加 $130 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光合有效辐射增加 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (表1)。营养液配方参考山崎营养液和霍格兰营养液,大量元素配方见表2,其中CK、T4和T5为同一种营养液配方,T1、T2和T3使用不同的营养液配方(氮肥和钾肥的施用量以及比例

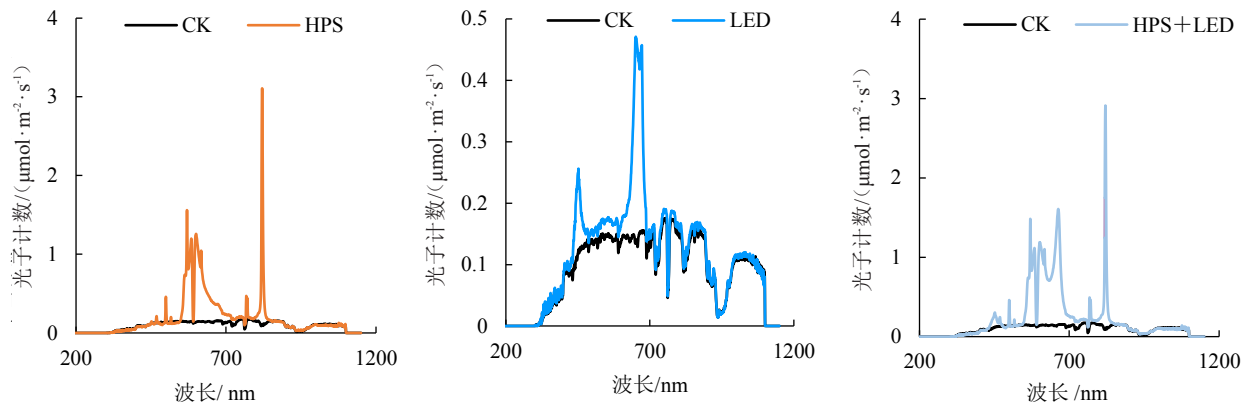


图1 番茄补光光谱

不同),番茄种植营养液 EC 值为 2.0~3.0 mS·cm⁻¹,所有处理营养液中铁和微量元素含量均相同,参考山崎营养液配方配制^[24],水源为雨水,使用磷酸或氢氧化钠调节营养液 pH 至 5.6~6.0。营养液以滴灌的形式进行灌溉,每个椰糠条(1.2 m 长)布置 5 根滴灌头,种植 3 棵番茄。营养液灌溉时间为 09:00-17:00,每 1 h 灌溉 5 min,滴头出水量为 20 mL·min⁻¹。

表1 番茄补光株间光照度

处理	光照度/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	
	全波长(300~1100 nm)	PAR(380~710 nm)
CK	85.76	41.46
HPS	179.04	109.89
LED	107.87	62.30
LED&HPS	213.05	139.43

注:光照度于 2022 年 11 月 15 日测定,测定位置为补光灯下方 2 株植株中间,从上至下第 3 片完全展开叶所在的高度。PAR(photosynthetically active radiation)为光合有效辐射。

表2 不同处理的营养液配方

处理	c(大量元素)/(mmol·L ⁻¹)			EC 值/(mS·cm ⁻¹)
	N	P	K	
CK	20.46	1.32	7.93	3.0
T1	12.00	1.50	7.50	2.0
T2	16.00	1.50	9.50	2.3
T3	18.00	1.50	9.50	2.5
T4	20.46	1.32	7.93	3.0
T5	20.46	1.32	7.93	3.0

注:CK 为对照处理,T1、T2 和 T3 为不同施肥处理,T4 为顶补光处理,T5 为单秆整枝处理。

1.3 测定项目与方法

在番茄破色期或成熟期测定果实质量,番茄的第 4、6、8 穗果取样时间为分别为 2022 年 1 月 6 日、1 月 24 日和 2 月 21 日,每个处理每个时间点随机选取 40 个果实使用游标卡尺测定横径和纵径

(每个处理共计 120 个样本),用 aHD² 估测^[25]番茄果实质量,其中 D 表示番茄果实横径,H 表示番茄果实纵径,a 为拟合系数,笔者根据实际质量进行拟合 a = 0.075 2,单穗果质量用第 4、6、8 穗果的平均质量表示,并根据第 4、6、8 穗果的总质量计算单位面积产量。对第 4 穗番茄成熟果实进行品质(糖度和酸度)测定,每个处理 6 个重复,利用爱拓糖酸度计(ATAGO, PAL-BX/ACID F5, 广州)测定番茄果实的可溶性固形物、可滴定酸含量;用直尺测定果实上方的单节茎秆的长度和果柄长度,游标卡尺测定果实上方茎秆的直径和果柄直径。用光谱仪(Avaspec-2048-USB2-UA, Avantes B.V., 荷兰)测定补光灯光谱,豪根道传感器(Hoogendoorn, 荷兰)收集温室光辐射、温度、湿度以及 CO₂ 浓度等环境数据。

1.4 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件整理数据,采用 SPSS 26.0 软件进行相关统计分析,采用 GraphPad Prism 9 软件作图,采用 Adobe Illustrator 对图片进行编辑。

2 结果与分析

2.1 番茄生长期环境数据分析

番茄生长期间温室外光辐射,温室内温度、湿度和 CO₂ 浓度如图 2 所示,从 2021 年 10 月开始温室外的辐照累计量开始降低,一直到 2022 年 2 月整个试验结束时,辐照累计量均低于 2021 年 9 月,说明眉山市冬季的光辐射量偏低,属于弱光区。温室玻璃对可见光的透射率为 80%左右,会进一步降低光照度。在整个试验期内温室内的日均温和夜均温均大于 10 °C,空气相对湿度约为 80%,CO₂ 平均质量浓度为 778 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$,适宜番茄的生长。

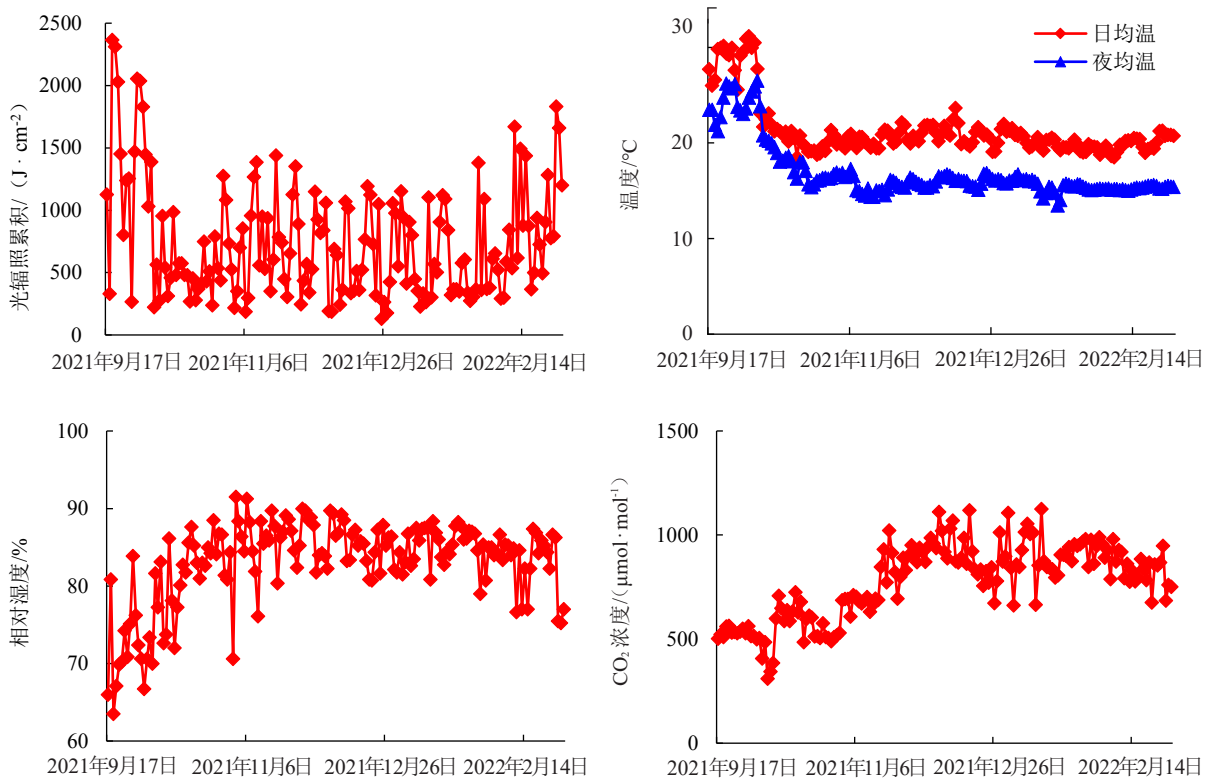


图2 番茄生长期内温室外光辐射、温室内温度、湿度和CO₂浓度

2.2 不同处理方式对番茄产量和品质的影响

2.2.1 不同施肥处理对番茄产量和品质的影响 从表3可以看出,T2处理番茄茎秆长度显著高于CK、T1和T3处理,T1和T3处理茎秆长度与CK相比有增长的趋势,但差异不显著;CK处理茎秆直

径显著高于T1、T2和T3处理;CK果柄长度大于其他3个处理,T2处理果柄最短,显著小于CK,但与T1及T3处理无显著差异;T2处理果柄直径最小,4个处理无显著差异;T3处理单穗果质量最大,T2处理单穗果质量最小,4个处理没有显著差异。

表3 施肥对番茄产量和品质的影响

处理	茎秆长度/cm	茎秆直径/mm	果柄长度/cm	果柄直径/mm	单穗果质量/g	w(可溶性固形物)/%	w(可滴定酸)/%	糖酸比
CK	9.59±0.19 b	11.45±0.10 a	6.00±0.17 a	4.89±0.05 a	385.19±5.21 a	4.46±0.12 a	0.65±0.03 a	7.04±0.24 b
T1	9.90±0.22 b	10.99±0.09 b	5.57±0.15 ab	4.90±0.09 a	382.88±6.61 a	4.23±0.05 a	0.65±0.03 a	6.61±0.30 b
T2	10.56±0.21 a	10.34±0.08 c	5.19±0.15 b	4.67±0.08 a	379.27±7.17 a	4.46±0.10 a	0.56±0.03 b	8.01±0.32 a
T3	9.72±0.23 b	10.72±0.11 b	5.63±0.18 ab	4.70±0.08 a	392.53±6.12 a	4.28±0.15 a	0.58±0.02 ab	7.35±0.26 ab

注:同列数字后不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著(性状和产量指标n=40,番茄品质指标n=6)。下同。

不同施肥处理间番茄可溶性固形物含量无显著差异,但番茄可滴定酸存在一定差异,CK和降低氮、钾肥的投入(T1)番茄可滴定酸含量显著高于T2处理;T2处理的糖酸比显著高于CK和T1处理。

从整个数据分析的结果可以看出,不同施肥处理下,番茄的单穗果质量不存在显著差异,表明此

试验中氮肥和钾肥的施用量在常规施用范围内变化对番茄产量没有显著的影响。而通过调控营养液氮钾比例,在降低氮肥投入的同时提升钾肥投入,有助于提升番茄的糖酸比,从而改善番茄口感。

2.2.2 补光和整枝方式对番茄产量和品质的影响 从表4可以看出,T4处理茎秆直径、果柄长度、

表4 补光和整枝方式对番茄产量和品质的影响

处理	茎秆长度/cm	茎秆直径/mm	果柄长度/cm	果柄直径/mm	单穗果质量/g	产量/(kg·m ²)	w(可溶性固形物)/%	w(可滴定酸)/%	糖酸比
CK	9.59±0.19 b	11.45±0.10 b	6.00±0.17 b	4.89±0.05 b	385.19±5.21 c	6.93±0.00 b	4.46±0.12 a	0.63±0.01 a	7.04±0.24 a
T4	10.55±0.21 a	11.61±0.10 b	6.10±0.16 b	4.77±0.05 b	410.54±4.32 b	7.39±0.00 a	4.66±0.08 a	0.65±0.03 a	7.18±0.35 a
T5	9.11±0.17 b	13.04±0.11 a	7.10±0.18 a	5.72±0.05 a	614.34±11.78 a	5.53±0.00 c	4.44±0.11 a	0.62±0.03 a	7.22±0.25 a

可溶性固形物含量、可滴定酸含量、糖酸比与 CK 相比均有增加,但差异不显著;茎秆长度、单穗果质量、单位面积产量均显著高于 CK。T5 处理单穗果质量、茎秆直径、果柄长度、果柄直径均显著高于 CK;然而单位面积产量($5.53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$)显著低于 CK($6.93 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$);可溶性固形物含量、可滴定酸含量和糖酸比与对照处理无显著差异。以上结果表明,补光可以有效提高番茄产量,但是对番茄品质没有显著影响。

2.3 番茄生长性状与果实质量的相关性分析

采用主成分分析法(PCA)研究番茄生长性状与果实质量之间的关系及其对不同处理的响应。由图 3-A 可以看出,在不同施肥处理下,PC1 和 PC2 两个主成分可以解释总方差的 76.56%,且箭头对应

的原始变量投影到水平方向的值均大于投影到垂直方向的值,说明原始变量与第一主成分的相关性更强,PC1(+)主要包括果柄直径、单穗果质量、果柄长度、茎秆直径,PC1(-)主要包括茎秆长度,说明除茎秆长度与第一主成分呈负相关外,其余变量均与第一主成分呈正相关。以上结果表明,在不同施肥处理下,番茄单穗果质量与果柄直径、果柄长度、茎秆直径呈正相关,与茎秆长度呈负相关。

由图 3-B 可以看出,在 CK、T4 和 T5 处理下,PC1 和 PC2 2 个主成分可以解释总方差的 77.12%,且箭头对应的原始变量投影到水平方向的值均大于投影到垂直方向的值,说明原始变量与第一主成分的相关性更强,PC1(+)主要包括茎秆长度,PC1(-)主要包括果柄直径、单穗果质量、果柄长度、茎

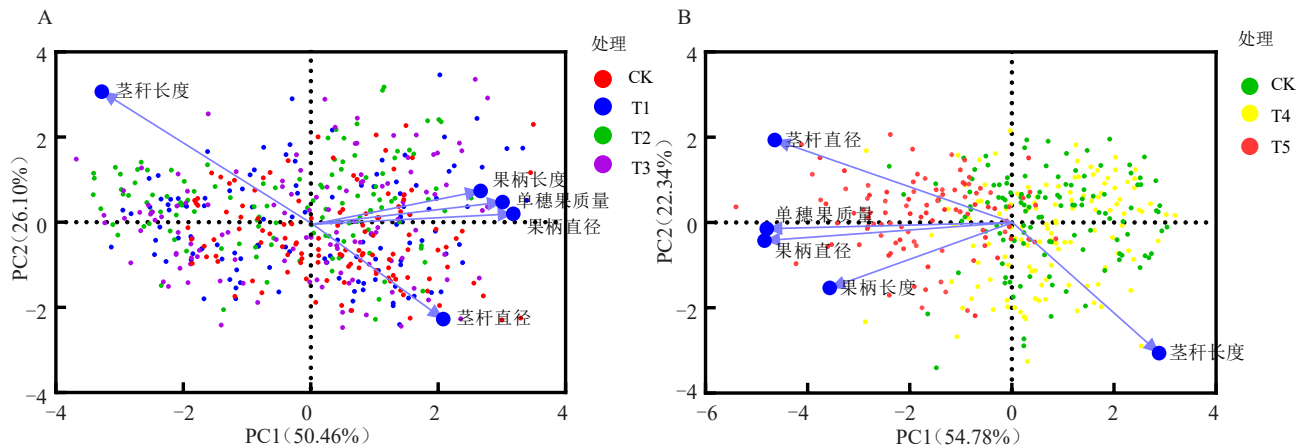


图3 不同处理下番茄生长性状与果实质量的主成分分析

秆直径,说明除茎秆长度与第一主成分呈正相关外,其余变量均与第一主成分呈负相关。以上结果表明,在采取补光措施和不同整枝方式下,番茄果实质量与果柄直径、果柄长度、茎秆直径呈正相关,与茎秆长度呈负相关。

3 讨论与结论

番茄是一种喜水喜肥的蔬菜作物,施肥量不足会影响番茄的正常生长发育,而过度施肥亦会降低肥料利用率,并且降低番茄果实品质^[26-27]。氮素和钾素是调控番茄产量和品质的主要营养元素^[28],在笔者的研究中,不同施肥处理(T1、T2 和 T3)番茄植株长势良好,单穗果质量与 CK 相比没有显著的差异。与对照相比,降低氮肥投入 41%(T1),营养液 EC 值降低、磷钾比例增加,果实质量并没有显著下降,说明弱光条件下适当减少氮肥的施用量并不会

对番茄产量造成明显影响,是减少肥料投入量、增加肥料利用效率的有效措施^[29]。

光合作用是植物生产力的基础,受到诸多生物因素和非生物因素的限制,在影响植物光合作用的各种非生物因素中,光是驱动植物碳代谢、支持地球生命的重要因素。光质、光强和光周期会引起植物生理和生化水平的变化,从而影响植物形态和功能。四川盆地冬季弱光,2021 年 10 月至 2022 年 2 月,温室外太阳的辐射值低于 $1000 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$,而番茄栽培高产实践证明,外界太阳辐射值应在 $1000 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以上才能满足番茄植株的正常生长。当光照不足的情况下,采取补光措施能够有效降低光照对植物的胁迫^[30-31]。高压钠灯(HPS)是第 3 代照明光源,以高压钠灯作为光源对植物进行补光,能促进植物的光合作用,从而提高果实品质和产量^[32-33]。叶绿素、类胡萝卜素和花青素是高等植物中 3 种主要的光

吸收色素,主要吸收红光(600~700 nm)和蓝光(400~500 nm),红光和蓝光对植物种子的萌发、开花、叶片生长以及体内化合物的生物合成等各方面都有重要的作用^[34-35]。前人研究发现,红光可以提高番茄果实产量,蓝光可以提升番茄果实品质,红光和蓝光的组合可以提高氮代谢相关酶的转录水平和该途径中一些关键酶的活性,促进总碳水化合物、淀粉和蔗糖的积累从而提升番茄产量^[36-38]。HPS的光谱主要集中在可见光的长波光(500~700 nm)区域,光合利用效率较低,而LED技术的发展实现了通过操纵光特性实现光合优化和植物生理的调节,因此红蓝LED作为有效的光源在园艺研究中被广泛使用^[39-40]。前人的研究结果表明,温室大棚中使用LED红蓝光光源补光,可以显著提升番茄产量^[41-42]。虽然LED相比于高压钠灯具有光谱可调性、不会大量发热影响棚内温度、安全性高的优点,但是其使用成本高的缺点亦需要在实际生产中考虑。HPS和LED配合使用是当前最为经济有效的补光方式^[43],大量研究结果表明,HPS与LED混合补光可以显著提高番茄和黄瓜的产量^[44-46]。在笔者试验中采用HPS+LED混合补光的补光措施来对番茄进行顶部光处理,试验结果表明,顶补光处理(T4)在与CK相同的施肥水平下,番茄的单位面积产量显著提高,与前人的研究结果一致,说明在弱光区采用HPS+LED混合补光的方式,可以有效提高番茄产量。

整枝方式对番茄的产量和生长性状也会产生影响,笔者研究中除T5为单秆整枝外,其余处理均为双秆整枝,单秆整枝处理(T5)与对照处理(CK)相比,单穗果质量、茎秆直径、果柄长度和果柄直径均显著提高,但是单位面积产量显著降低,表明单秆整枝比双秆整枝更有利于番茄植株的生长,番茄单穗果产量显著提升,而番茄单位面积产量会受到影响。上述结果与马国治等^[47]、贺雪峰等^[48]的研究结论一致,可能是由于单秆整枝番茄植株的生长空间大,得到的光照更加充足,养分供应充足,所以茎秆较粗、果实更重、果柄更长、果柄直径更大,但是在种植密度相同的情况下,双秆整枝在单位土地面积上的有效结果枝秆更多,单株的果穗数也更多,因此双秆整枝的单位面积产量更高,相应地总产量也提高^[49-51]。

此外,果实质量与果柄直径、果柄长度、茎秆直径呈正相关,与茎秆长度呈负相关,原因可能是茎秆在自身伸长生长的过程中,与果实存在养分竞

争,果实生长受限导致果实质量减小,研究结果可为实际生产中种植者通过测定茎秆直径和长度等指标来推断番茄产量提供依据。在四川地区,在冬季弱光生长环境下,适当减少番茄氮肥投入、增加钾肥和磷肥的比例对番茄果实产量没有显著影响,但番茄口感可以得到明显的提升,HPS+LED补光措施可以显著提高该地区冬季番茄产量。

参考文献

- [1] FAO. FAOSTAT Database: Agriculture Production[EB/OL]. (2020- 10- 20) [2022- 11- 16]. <https://www.fao.org/faostat/zh/#home>.
- [2] 李君明,项朝阳,王孝宣,等.“十三五”我国番茄产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021(2):13-20.
- [3] 霍建勇.中国番茄产业现状及安全防范[J].蔬菜,2016(6):1-4.
- [4] 刘士哲.现代实用无土栽培技术[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [5] DORAI M, PAPADOPOULOS A P, GOSSELIN A. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality[J]. Agronomie, 2001, 21(4):367-383.
- [6] ROMERO- ARANDA R, SORIA T, CUARTERO J. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions[J]. Plant Science, 2001, 160(2):265-272.
- [7] DE PASCALE S, MAGGIO A, ORSINI F, et al. Growth response and radiation use efficiency in tomato exposed to short-term and long-term salinized soils[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 189:139-149.
- [8] 夏密林.番茄生长习性及其施肥技术[J].农业与技术,2018,38(22):66.
- [9] 梁玉莲,韩明臣,白龙,等.中国近30年农业气候资源时空变化特征[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):259-267.
- [10] 陈鹏涛,夏木凤,申宝营.弱光下补充红蓝光对番茄幼苗生长及叶绿素荧光参数的影响[J].亚热带农业研究,2018,14(2):122-127.
- [11] 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):339-343.
- [12] 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.
- [13] 孙娜,李岩,魏珉,等.补光对日光温室越冬番茄生长及产量品质的影响[J].天津农业科学,2014,20(3):91-93.
- [14] 蒲高斌,刘世琦,杜洪涛,等.光质对番茄果实转色期品质变化的影响[J].中国农学通报,2005,21(4):176-178.
- [15] 樊小雪,凌丹丹,徐刚,等.不同LED光照对番茄果实品质和糖类物质含量的影响[J].江苏农业学报,2021,37(4):944-948.
- [16] 陈强,刘世琦,张自坤,等.不同LED光源对番茄果实转色期品质的影响[J].农业工程学报,2009,25(5):156-161.
- [17] 张洋,郁继华,唐中祺,等.不同时段株间补光对日光温室番茄产量及品质的影响[J].江苏农业学报,2020,36(2):430-437.

- [18] 柳帆红,肖雪梅,郁继华,等.不同时段补光对日光温室番茄营养与风味品质的影响[J].西北农业学报,2020,29(4):570-578.
- [19] 魏守辉,肖雪梅,钟源,等.日光温室不同时段补光对番茄果实品质及挥发性物质的影响[J].农业工程学报,2020,36(8):188-196.
- [20] 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].陕西杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [21] 王慧茹,闫思华,高艳明,等.不同整枝方式对樱桃番茄果实商品性、营养品质及产量的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2021,47(3):347-353.
- [22] 杨圆圆,蒋丽媛,赵伟,等.不同整枝方式对番茄根系及产量的影响[J].现代园艺,2019(11):3-4.
- [23] 潘德怀,韦荣楷,蒙光炯,等.不同种植密度和整枝方式对番茄农艺性状的影响[J].蔬菜,2014(5):21-25.
- [24] 李英杰,林俊凤,辛晓菲,等.我国设施番茄基质无土栽培技术研究进展[J].中国果菜,2022,42(7):61-65.
- [25] 杨荣昌.以番茄果实的纵横径估计其体积大小[J].中国蔬菜,1991(1):56.
- [26] 宋修超,郭德杰,马艳,等.化肥施用量对基质栽培樱桃番茄产量品质的影响及基质重茬利用效果[J].江苏农业科学,2017,45(20):165-169.
- [27] 祝海燕,李婷婷.过量施肥对设施番茄影响的调查分析[J].中国瓜菜,2020,33(1):55-58.
- [28] 高新昊,张志斌,郭世荣,等.氮钾肥配施对番茄幼苗生长及前期产量构成的影响[J].土壤通报,2005(4):549-552.
- [29] 钟泽,杨云云,许飞飞,等.不同施肥量对椰糠栽培番茄生长的影响[J].中国瓜菜,2018,31(12):45-48.
- [30] SHAFIQ I, HUSSAIN S, RAZA M A, et al. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(1):4-23.
- [31] KIM H J, LIN M Y, MITCHELL C A. Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes[J]. Environmental and Experimental Botany, 2019, 157:228-240.
- [32] 陈善飞,陈晖,陈善忠,等.大棚栽培草莓高压钠灯补光效果试验[J].中国果树,2015(3):49-51.
- [33] 苗辰,耿博,尤杰,等.植物光照用LED光源与高压钠灯的性能特点[J].照明工程学报,2018,29(2):49-52.
- [34] CHEN M, CHORY J, FANKHAUSER C. Light signal transduction in higher plants[J]. Annual Review of Genetics, 2004, 38:87-117.
- [35] CHEN M, CHORY J. Phytochrome signaling mechanisms and the control of plant development[J]. Trends in Cell Biology, 2011, 21(11):664-671.
- [36] LI Y, XIN G F, WEI M, et al. Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities[J]. Scientia Horticulturae, 2017, 225:490-497.
- [37] 郑冬梅,林志斌,陈艺群,等.不同光质对樱桃番茄产量及品质的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(8):567-571.
- [38] 王丽伟,李岩,辛国凤,等.红蓝光质对番茄幼苗氮水平和代谢关键酶及基因表达的影响[J].园艺学报,2017,44(4):768-776.
- [39] ZHENG L, HE H M, SONG W T. Application of light-emitting diodes and the effect of light quality on horticultural crops: A review[J]. HortScience, 2019, 54(10):1656-1661.
- [40] MA Y C, XU A, CHENG Z M. Effects of light emitting diode lights on plant growth, development and traits a meta-analysis[J]. Horticultural Plant Journal, 2021, 7(6):552-564.
- [41] KAISER E, OUZOUNIS T, GIDAY H, et al. Adding blue to red supplemental light increases biomass and yield of greenhouse-grown tomatoes, but only to an optimum[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 9:2002.
- [42] PAUCEK I, PENNISI G, PISTILLO A, et al. Supplementary LED interlighting improves yield and precocity of greenhouse tomatoes in the mediterranean[J]. Agronomy- Basel, 2020, 10(7):1002.
- [43] 尤杰,耿博,郑梦影,等.设施园艺生产中LED灯与高压钠灯的应用差异性分析[J].农业工程技术,2018,38(7):17-21.
- [44] 黄志午,宋云鹏,杨决平,等.设施补光对苏州地区“秋延后”番茄生长的影响[J].上海农业学报,2022,38(1):41-45.
- [45] DYKO J, STANISAW K. Effects of LED and HPS lighting on the growth, seedling morphology and yield of greenhouse tomatoes and cucumbers[J]. Horticultural Science, 2021, 48(1):22-29.
- [46] DERAM P, LEFSRUD M G, ORSAT V. Supplemental lighting orientation and red-to-blue ratio of light-emitting diodes for greenhouse tomato production[J]. HortScience, 2014, 49(4):448-452.
- [47] 马国治,王惠芝,孙永峰,等.整枝方式对番茄冠层特征及产量的影响[J].农业科学研究,2017,38(2):90-93.
- [48] 贺雪峰,杨中伟,王秀云,等.不同整枝方式对露地番茄产量质量的影响[J].河南科技,2013(6):198.
- [49] 张冬梅.番茄整枝和摘心技术[J].吉林农业,2019(18):80.
- [50] 陈同强,张天柱.玻璃温室嫁接樱桃番茄苗三干与双干整枝育苗技术[J].北方园艺,2020(3):173-176.
- [51] 侯帅.整枝和滴灌对番茄栽培品质和产量的影响分析[J].广东蚕业,2021,55(1):12-13.