

日光温室立体A字架光照分布及其对草莓生产的影响

张倩, 崔洪博, 韩青妍, 刘燕妮, 王秀峰, 王剑锋*

(吉林省蔬菜花卉科学研究所/吉林省设施蔬菜重点实验室, 长春 130119)

摘要:为了探究日光温室中立体A字架种植模式对草莓生产的影响,从不同层种植槽的光谱特征、草莓叶片的吸光度和净光合速率、果实的产量和品质三个层面开展研究。试验采用立体A字架种植模式,在9:30、12:00和14:30三个时间段进行观测,研究不同层种植槽(上层、中层、下层)的光谱特征、草莓叶片的吸光度和净光合速率。结果表明,在三个时间段上层(U)栽培槽光照强度均高于其他层;东侧中层栽培槽(EM)和西侧中层栽培槽(WM)光照强度相近,处于中间水平;东侧下层栽培槽(EB)和西侧下层栽培槽(WB)光照强度最弱。上层(U)草莓叶片在三个时间段的净光合速率均超过 $12.23 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;东侧中层(EM)在9:30和12:00时间段的净光合速率为 $11.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $13.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在14:30时间段下降到 $3.68 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,西侧中层(WM)与东侧中层(EM)相反,在14:30时间段为 $12.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;下层(EB和WB)在9:30和14:30时间段的净光合速率均低于 $8.81 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。上层(U)草莓叶片在450~800 nm波段的吸光度最高,中层(EM和WM)略低于上层,下层(EB和WB)吸光度最低,各层叶片的吸收谷和吸收峰所处波长位置相同,分别为554 nm、677 nm。上层(U)草莓果实的平均产量为325.51 g/株,可溶性固形物含量为12.61%,硬度为 $1.62 \text{ kg}/\text{cm}^2$,中层和下层的产量、可溶性固形物含量及硬度均低于上层。本研究为日光温室中立体A字架种植模式在设施草莓生产中的应用提供了重要的理论依据。

关键词:光谱特征;吸光度;净光合速率;产量;品质

中图分类号:S668.4

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)06-0121-04

Light Distribution of Three-Dimensional Culture System in Solar Greenhouses and Their Effects on Strawberry Production

ZHANG Qian, CUI Hongbo, HAN Qingyan, LIU Yanni, WANG Xiufeng, WANG Jianfeng*

(Jilin Academy of Vegetable and Flower Sciences/Jilin Provincial Key Laboratory of Facility Vegetable, Changchun 130119, China)

Abstract: This study aims to explore the impact of adopting three-dimensional A word hanging culture system on strawberry production in solar greenhouses. The research focuses on three aspects: the spectral characteristics of planting troughs at different layers, the light absorption and net photosynthetic rates of strawberry leaves, and the yield and quality of the fruits. The three-dimensional A word hanging culture system was used to grow strawberries, and the spectral characteristics, light absorption, and net photosynthetic rates of strawberry leaves at different layers were analyzed at three time points: 9:30, 12:00 and 14:30. The experimental results showed that the light intensity of the upper cultivation tank (U) was higher than that of the other layers at 9:30, 12:00 and 14:30, the light intensity of the eastern middle cultivation tank (EM) and the western middle cultivation tank (WM) was similar at the middle level, and the light intensity of the eastern bottom cultivation tank (EB) and the western bottom cultivation tank (WB) was the lowest. The net photosynthetic rate of strawberry leaves in the U exceeded $12.23 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ at all three times, while that of the EM was $11.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ and $13.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ at 9:30 and 12:00, but significantly decreased to $3.68 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ at 14:30. The WM, in contrast to the EM, was $12.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ at 14:30, and the net photosynthetic rate of the EB and WB was lower than $8.81 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ in both the 9:30 and 14:30. The absorbance of strawberry leaves in the U was the highest in the 450-800 nm band, the EM and WM was slightly lower

收稿日期:2023-06-08

基金项目:吉林省财政专项(20221019);国家现代农业产业技术体系项目(CARS24)

作者简介:张倩(1985-),女,研究实习员,主要从事设施蔬菜种植技术研究。

通讯作者:王剑锋,男,博士,副研究员,E-mail: hortwjf@163.com

than the upper layer, and the EB and WB was the lowest, and the absorption valleys and peaks of the absorption of the leaves of the layers were located at the same wavelengths of 554 nm, and 677 nm respectively. The average yield of strawberry fruits in the U was 325.51 g/plant, and the soluble solids content was 12.61% and hardness of 1.62 kg/cm², while the yield, soluble solids content and hardness of the middle and lower layers were lower than that of the upper layer. This study provides important scientific evidence for the application of the three-dimensional A word hanging culture system in strawberry production within solar greenhouses.

Key words: Spectral characteristics; Absorbance; Net photosynthetic rate; Yield and quality

在日光温室中越冬是吉林省草莓生产的主要种植方式之一^[1-3]。为提高日光温室单位面积的利用率,采用立体A字架种植草莓是近年来的一种新型栽培模式^[4-6]。可大幅度提升单位面积的种植株数^[7],有效避免土传病害的侵染,而且结合水肥一体化技术可有效调控草莓根部的营养环境^[8-9]。同时,立体栽培改善了生产者的作业姿势,降低了劳动强度,提升了工作效率。虽然A字架具有上述优点,但由于结构特点,除上层种植槽外,中下层种植槽存在遮光的问题。光照条件的改变不仅会影响草莓植株生长发育,同时也会对草莓叶片的光合作用、果实的产量和品质造成影响^[10-12]。目前针对A字种植架种植槽对光能的利用和越冬草莓产量以及品质的影响研究较少。本研究从A字架不同层种植槽在不同时间的光照特征、草莓叶片对光的吸收能力和净光合速率、果实产量和品质三个层面开展研究,为吉林省日光温室草莓生产提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验条件

本试验于2020年9月至2021年5月,在吉林省长春市净月区吉林省蔬菜花卉科学研究所的日光温室内进行。日光温室方位角为南偏西10°、长64.8 m、宽9.0 m、高4.4 m,温室内最低温度为8℃、最高温度为25℃。A字架长6.0 m、高1.2 m,分为上、中、下三层,分别距地面1.0 m、0.7 m、0.4 m,每个A字架安装有上层(U)、东侧中层(EM)、西侧中层(WM)、东侧下层(EB)、西侧下层(WB)5个种植槽,种植槽宽度为0.3 m,A字架间隔0.7 m。

1.2 试验材料

试验草莓品种选择“红颜”,种植行距20 cm,株距18 cm,定植时间2020年9月7日。种植基质为草炭、蛭石、珍珠岩按体积比2:1:1混合。营养液按照山崎草莓营养液配方配制。

1.3 测定方法

2020年12月随机选择一个晴天,选取A字架

各层中间位置,在9:30、12:00、14:30三个时间段测定光照强度、光谱组成。2021年1月至2021年5月,记录不同处理条件下的草莓单株产量。2021年2月测定草莓果实的可溶性固形物含量和硬度。

草莓叶片吸光度采用光纤光谱仪(AvaSpec-ULS2048XL-EVO,荷兰)测定,测定波长450~800 nm,步长1 nm。每个试验区取5片发育成熟的叶片,每个叶片沿主叶脉两侧各测试2次,取平均值^[13]。净光合速率采用便携式光合作用测量系统(Li-6800)测定,光照强度设置为800 μmol/(m²·s),CO₂浓度为400 μmol/(m²·s)。

每个试验区随机选取8个草莓果实,在果实中间部位,用水果硬度计(FT-02)测定果实硬度。每个试验区随机选取8个草莓果实,用数显折光仪(PAL-1)测定草莓果实可溶性固形物含量。

1.4 试验数据处理

采用Origin 8.1进行图形绘制,SPSS 17.0进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同层种植槽光谱特征的日变化

由图1可知,9:30、12:00、14:30三个时间段栽培架不同层日光辐射强度呈现不同的变化趋势。各时间段U的日光辐射强度均高于其他层。在9:30时间段EM、WM、EB、WB的日光辐射强度为U的89.16%、11.75%、72.14%、11.04%。这是由于该时间段日光从东方照射入温室,栽培架东侧会接收到更多的日光。在12:00时间段,U、EM、WM日光辐射强度差异较小,EB和WB相对较低,为上层的96.28%、95.84%。该时间段日光接近垂直射入,栽培架各层之间接收到的光照接近。在14:30时间段,WM的日光辐射强度显著高于EM,分别为U的89.57%、13.85%。WB的日光辐射强度显著高于EB,分别为U的80.25%、7.96%。该时间段日光从西方射入,且温室方位角为南偏西10°,因此西侧会接收到更多的日光。

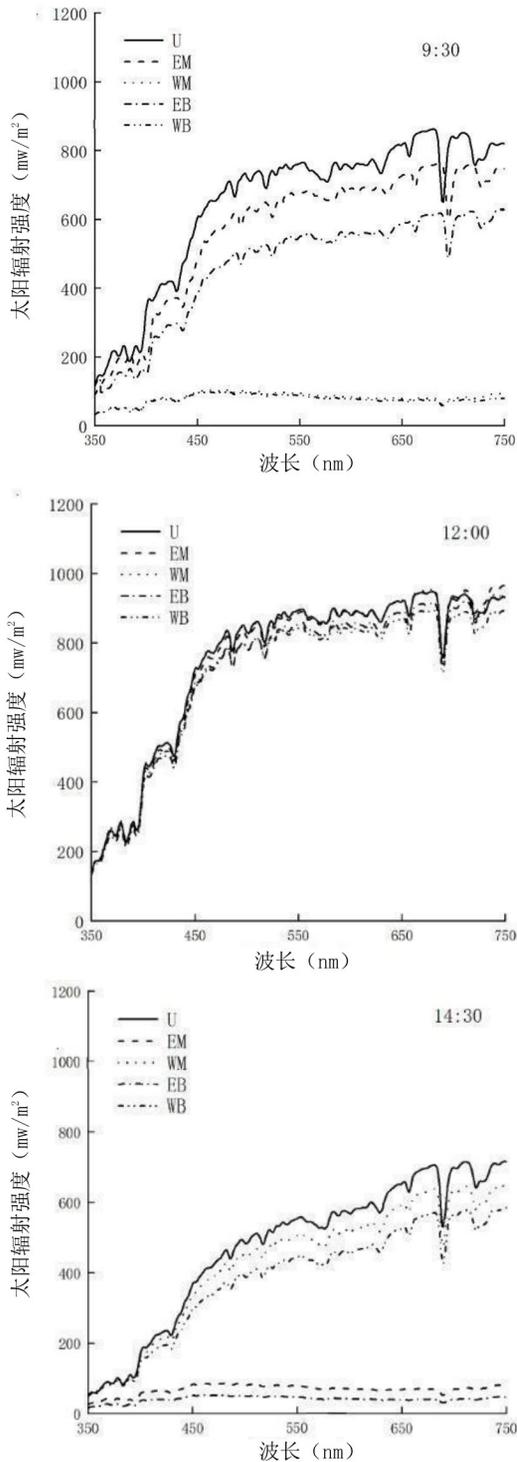


图1 A字架日光辐射强度的日变化

由于互相遮挡的原因,中层和下层栽培架的光谱组成随时间发生了变化。在9:30时间段,350~400 nm波段占光照强度的组成比例,U、EM和EB为3.61%~3.72%,WM和WB为6.98%~7.28%。而14:30时间段,350~400 nm波段占光照强度的组成比例,U、EM和EB为2.17%~2.57%,WM和EM为6.47%~6.89%。400~780 nm波段占光照强度的组成比例,不同层栽培架在不同时间光

谱组成也都有不同的变化。

2.2 草莓叶片对光的吸收

吸光度是衡量草莓叶片对光吸收能力和生长发育状态的重要参数。由图2可知,在450~800 nm波段,U的草莓叶片吸光度最高,其次是EM和WM,EB和WB吸光度最低。不同层栽培槽草莓叶片500~600 nm波段的吸收谷均处于554 nm,600~700 nm波段的吸收峰均处于677 nm,这体现了草莓叶片对光吸收固有的特性。在554 nm吸收谷处,U的草莓叶片吸光度达到了1.03,高于其他层叶片。在677 nm吸收峰处,U的草莓叶片吸光度为1.77,虽然也高于其他层叶片,但不同处理之间的差异小于吸收谷处。700~800 nm波段的近红外区域,吸光度曲线趋于平直,这一波段主要与草莓叶片组织结构和营养成分相关,U的草莓叶片吸光度仍为最高,WM次之,但均高于其他层。整体来看,上层的草莓叶片吸收光能力最强,这可能是由于叶片长期处于理想光照条件下,生长发育状态良好。其他层叶片由于遮光的原因,光吸收能力和生长发育均受到不同程度的影响。

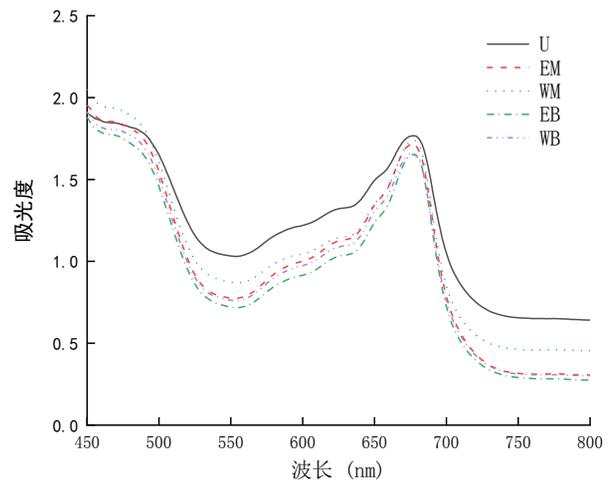


图2 草莓叶片对光的吸收

2.3 净光合速率

由表1可知,不同位置的草莓叶片有不同的光合速率变化模式。在9:30、12:00和14:30三个时间段,上层架草莓叶片净光合速率始终处于较高水平,超过了 $12.23 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。EM和WM的净光合速率表现出明显的差异。上午时段EM较高,达到了 $11.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,下午时段WM较高,达到了 $12.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。这与光合有效辐射的日变化规律一致,随着太阳的运动,东侧在上午接受到更多的光照,而西侧在下午接受到更多的光照。

表1 草莓叶片的净光合速率 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

处理	时间		
	9: 30	12: 00	14: 30
U	12.23±1.15a	14.15±1.05a	12.69±1.19a
EM	11.25±1.03a	13.01±1.21b	3.68±0.25c
WM	3.91±0.35c	13.21±0.98b	12.01±1.04a
EB	8.81±0.67b	11.60±1.02c	3.35±0.29c
WB	2.32±0.19d	10.22±0.87c	7.97±0.66b

注:表中所列数值为“平均值±标准偏差”,同列中小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

EB和WB的净光合速率也有类似的变化,但差异更明显。同时可以看出在12:00时间段,每个栽培架上的草莓叶片均达到了光合速率的高峰,中层东西两侧的净光合速率差异不显著,下层东西两侧趋势相同。

2.4 产量和品质

由表2可知,U具有最高的产量,平均为325.51 g/株。EM和WM的产量略低,分别为上层的88.34%和94.08%。EB和WB的产量最低,分别为上层的49.22%和53.97%。

表2 草莓果实的产量和品质

处理	产量(g/株)	可溶性固形物含量(%)	硬度(kg/cm ²)
U	325.51±20.55a	12.61±0.99a	1.62±1.15a
EM	287.56±25.65c	10.56±1.12b	1.35±1.31b
WM	306.25±28.54b	10.88±0.87b	1.41±1.18b
EB	160.21±14.22d	9.05±0.65c	1.12±0.95c
WB	175.68±13.25d	9.22±0.88c	1.23±1.05c

U的草莓可溶性固形物含量最高,达到了12.61%。EM和WM的可溶性固形物含量略低,分别为上层的83.74%和86.28%。EB和WB的可溶性固形物含量最低,分别为上层的71.77%和73.12%。

U的草莓果实硬度最大,达到了1.62 kg/cm²。EM和WM的硬度略低,分别为1.35 kg/cm²和1.41 kg/cm²。EB和WB的硬度最低,分别为上层的69.14%和75.93%。这表明栽培位置对草莓果实生长和品质方面具有重要的作用。上层由于光照充足,促进了糖类积累和果实发育,从而提升了草莓果实的产量和品质。

3 讨论与结论

A字架由于其三层结构,存在互相遮光的问题,不同层光照强度、光谱组成差异较大。上层的光照强度最高,中、下层则受到遮挡的影响。随着太阳的运动及日光温室方位角的影响,东西

侧的光照分布也存在显著差异,东侧在上午接收到更多的光照,而西侧在下午接收到更多的光照。因此,低光照强度和光谱组成的变化,共同影响了中、下层草莓的产量和品质。光照是影响植物光合作用、生长发育、果实产量及品质的关键因素^[14-16]。本试验结果表明,光照对不同层草莓叶片光的吸收和净光合作用起到决定性的作用。相对其他层,上层栽培槽由于光照条件较好,草莓的叶片光合结构得到了良好的发育,这不仅使得草莓叶片能够捕获更多的光能,还显著提高了净光合速率,这种优越的光合特性进一步促进了糖类的积累,从而有效提升了草莓的产量和品质。

在光照强度不足和光谱组成变化双重不利条件的影响下,中、下层草莓的产量和品质产生了不同程度的下降,这不利于A字架在实际生产中的应用。采用补光技术提升草莓植株生长发育、提高草莓产量和品质是一个有效的技术手段^[17-20]。应用补光技术是否能够提升A字架中、下层草莓产量和品质有待进一步研究。

本研究深入探讨了A字架种植草莓的光照特征及其对草莓生长发育和品质的影响,为设施农业的草莓栽培提供了重要的科学依据。

参考文献:

- [1] 张学明,陈玉波,姚环宇,等.公主岭设施草莓品种引种试验[J].东北农业科学,2023,48(5):112-116.
- [2] 付羽佳,白晶晶,孙丹丹,等.29个草莓品种对灰霉病的抗性评价及叶片生理指标差异[J].东北农业科学,2022,47(2):82-87.
- [3] 程嘉惠,张梅丽,王超,等.低温胁迫对4个草莓品种生理指标的影响[J].东北农业科学,2021,46(1):85-88,113.
- [4] 张豫超,杨肖芳,苗立祥,等.三种草莓立体栽培架型及生产性能比较[J].浙江农业学报,2013,25(6):1288-1292.
- [5] 陈玉波,张学明,张鹏,等.日光温室光温条件对立体栽培草莓的影响[J].中国果树,2017(5):49-51,57.
- [6] 陈玉波,张学明,姚环宇,等.8个草莓品种在日光温室立体栽培的引种表现[J].东北农业科学,2016,41(6):97-99.
- [7] 林晓,罗赞,王红清.草莓日光温室立体栽培的光温效应及其影响分析[J].中国农业大学学报,2014,19(2):67-73.
- [8] 杨维杰,沈岚,斯双双.草莓新品种引种及高架基质栽培[J].浙江农业科学,2021,62(7):1341-1342,1345.
- [9] 赵凯丽,刘瑜,颜芳,等.北京地区基于控释肥和水肥一体化管理的草莓基质栽培技术[J].北方园艺,2023(13):153-156.
- [10] Shao W L, Li Y L, Gao S, et al. Effects of Light Intensity on the Fruit Coloration and Anthocyanin Biosynthesis in *Fragaria × ananassa* Duch. 'Benihoppe' and the Possible Molecular Mechanism[J]. Bulletin of Botanical Research, 2018, 38(5): 661-668.

(下转第144页)

3 讨论与结论

本试验建立了UPLC法同时测定辣椒素和二氢辣椒素2种指标成分的方法,并对京椒一号不同生长期胎座部分进行辣椒素和二氢辣椒素含量的测定。由于采用1.8 μm 的AgiLent EcLipse XDB-C₁₈色谱柱,具有较高的分析通量,良好的准确度、精密度和可靠性,方法简便,分析时间短,全部出峰时间仅为5 min,相比普通高效液相色谱法而言,每个样品节约10 min,提高了测定效率,在大批量的样品分析中能节省大量的时间和成本,具有较强实际应用价值。同时溶剂消耗少,不仅适用于园艺作物次生代谢物检测,在中药复方多指标成分的定量检测方面也有较好应用^[9]。

在样品取样方面,因辣椒胎座维管束中含有大量粗纤维,如果取样时粗纤维比例较多,对检测结果会有影响。本研究结果表明,在辣椒生长发育过程中,辣椒素和二氢辣椒素含量变化差异较大,前期含量低,后期含量较高,特别是开花后25、30、35、40、45、50 d,表现出抛物线状变化趋势,在40 d含量达到最高峰。对辣椒素和二氢辣椒素含量的动态变化分析为后续辣椒素代谢机制调控研究奠定了良好基础。

参考文献:

- [1] 李倩. 辣椒酰基辅酶A合成酶基因的挖掘及其与辣椒素合成关系的研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [2] Estrada B, Bernal M A, Diaz J, et al. Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annum* L. in relation to fruiting[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50: 1188-1191.
- [3] 毛光志, 刘彦珍, 李奇阳. 激素和外植体对辣椒愈伤组织诱导的影响[J]. 东北农业科学, 2013, 38(1): 72-74.
- [4] 张晶, 孙长波, 石磊岭, 等. RP-HPLC法测定辣椒中辣椒素、二氢辣椒素和降二氢辣椒素含量[J]. 药物分析杂志, 2011, 31(2): 244-247.
- [5] 崔桂娟, 谢秋涛, 张群, 等. 辣椒中辣椒素提取方法与应用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(13): 306-311.
- [6] 李小沛, 张亚玉, 赵立春, 等. 正交试验优选白花延龄草薯蓣皂苷元提取工艺研究[J]. 东北农业科学, 2018, 43(3): 56-60.
- [7] 刘洁, 周梦鸽, 文甜甜. UPLC法测定加味逍遥提取物及制剂中柴胡皂苷b₂含量研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2019, 21(10): 68-71.
- [8] 韩燕全, 洪燕, 高家荣, 等. 基于UPLC特征指纹图谱和指标成分定量测定研究炮姜的炮制工艺[J]. 中草药, 2013, 44(1): 42-47.
- [9] 侯晓芳, 施迎娣, 王嗣岑. 中药及保健品中非法添加物的分析技术研究进展[J]. 中国药科大学学报, 2019, 50(1): 33-40.

(责任编辑: 王昱)

(上接第124页)

- [11] Tang Y L, Ma X, Li M, et al. The effect of temperature and light on strawberry production in a solar greenhouse[J]. Solar Energy, 2020, 195: 318-328.
- [12] Rachael W, Wu B S, Sarah M, et al. A review of strawberry photobiology and fruit flavonoids in controlled environments[J]. Frontiers in Plant Science, 2021: 611893.
- [13] 郭宏亮, 黄帅, 聂楚楚, 等. 基于分光吸收特性的辣椒叶片叶绿素含量测量方法研究[J]. 东北农业科学, 2021, 46(5): 82-86.
- [14] Mikko T, Michele G, Markus N, et al. Regulation of the photosynthetic apparatus under fluctuating growth light[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2012, 367(1608): 3486-3493.
- [15] Wang X Y, Xu X M, Cui J. The importance of blue light for leaf area expansion, development of photosynthetic apparatus, and chloroplast ultrastructure of *Cucumis sativus* grown under weak

light[J]. Photosynthetica, 2015, 53(2): 213-222.

- [16] Kochetova G V, Avercheva O V, Bassarskaya E M, et al. Light quality as a driver of photosynthetic apparatus development[J]. Biophysical Reviews, 2022, 14(4): 779-803.
- [17] 吴鹏飞, 王丽娟, 刘昭, 等. LED补光对设施草莓生长及果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2016(21): 48-50.
- [18] 岳高峰, 王丽萍, 韩志强. 不同补光时长对草莓开花及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 144-148.
- [19] 杨肖芳, 张豫超, 苗立祥, 等. LED补光对不同设施栽培草莓品种营养生长与果实品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(4): 864-869.
- [20] Smith B J, Stafne E T, Sakhanokho H F, et al. Intensity of Supplemental Greenhouse Lighting Affects Strawberry Plant Growth, Anthracnose Infection Response, and Colletotrichum Pathogen Development in Culture[J]. HortScience, 2023, 58(1): 127-133.

(责任编辑: 范杰英)