

薛晓萍,李楠,张继波,等.寡照对温室黄瓜花果期生长及产量品质影响研究[J].海洋气象学报,2020,40(3):77-83.
XUE Xiaoping, LI Nan, ZHANG Jibo, et al. Effects of sparse sunlight on the growth in the flowering and fruit set stage and the fruit quality of cucumber in solar greenhouse[J].Journal of Marine Meteorology, 2020, 40(3): 77-83. DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2020.03.008. (in Chinese)

寡照对温室黄瓜花果期生长及产量品质影响研究

薛晓萍¹,李楠¹,张继波¹,熊宇²

(1.山东省气候中心,山东 济南 250031;2.江苏省苏州环境监测中心,江苏 苏州 215008)

摘要: 为了探讨寡照对日光温室黄瓜花果期生长发育、产量和品质的影响,以黄瓜品种“德瑞特 L108”(Cucumis sativus L. cv. Derit L108)为试材,通过不同遮阴日数(1 d、3 d、5 d、7 d、9 d)及恢复控制试验,研究寡照对日光温室黄瓜生长及果实品质的影响。结果表明:1)持续寡照日数超过 5 d,黄瓜株高和茎粗生长受到显著影响,尤其是茎粗存在变细现象,7 d 以上对植株生长影响不可逆。2)黄瓜果实横径、长度生长速率和果重受寡照影响程度存在一定差异,果实上下两端横径长势对寡照较为敏感,连续寡照 3 d 时影响即达显著水平,可导致上端横径生长速率降低 $0.87 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,下端为 $0.73 \sim 0.99 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;果实中部横径和长度增长速率在寡照 5 d 以上时影响达显著水平,生长速率降低 $0.88 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.87 \sim 1.00 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$;与对照(以 CK 表示)相比,寡照 3 d 的单果重降低 18.7 g,寡照日数每延长 1 d,单果重降低 2~3 g。3)果实的外观等级受寡照影响较大,1~5 d 寡照,特级果比例降低 9.4%~43.0%;持续寡照 5 d 以上二级果和坏果比例明显升高,连续寡照 9 d,二级果和坏果比例达到 20%和 25%;寡照 3 d 以上,果实含水率与 CK 差异即达到显著性差异;维生素含量对寡照影响反映敏感,1~5 d 寡照,果实维生素含量降低 6%左右,7 d 以上的寡照日数,则降低 10%~13%;寡照持续日数超过 5 d,花青素和有机酸含量影响较大;持续寡照日低于 7 d 时,可溶性糖含量对寡照影响敏感度相对较低,超过 7 d 其含量达到显著性差异,且寡照日每延长 1 d,其含量降低 4%。

关键词: 寡照;日光温室;黄瓜;花果期;产量;品质

中图分类号: P49 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2020)03-0077-07

DOI: 10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2020.03.008

Effects of sparse sunlight on the growth in the flowering and fruit set stage and the fruit quality of cucumber in solar greenhouse

XUE Xiaoping¹, LI Nan¹, ZHANG Jibo¹, XIONG Yu²

(1. Shandong Climate Center, Jinan 250031, China; 2. Suzhou Environmental Monitoring Center of Jiangsu Province, Suzhou 215008, China)

Abstract In order to investigate the effects of sparse sunlight on the growth, yield, and quality of cucumber in solar greenhouse, the variety of cucumber *Cucumis sativus* L. cv. Derit L108 is chosen as an experimental material to examine the effects of different shading treatments (1 d, 3 d, 5 d, 7 d, and 9 d) on the growth and fruit quality of cucumber in solar greenhouse during the flowering and fruit set stage. The results are shown below. 1) The plant height and stem diameter of cucumber are significantly

收稿日期:2020-04-03; 修订日期:2020-05-04

基金项目:中国气象局业务建设项目“国内外农作物产量气象预报专项”;十三五山东重大气象工程项目(鲁发改农经[2017]97号);山东省气象局科研项目(2016sdqxm03)

作者简介:薛晓萍,女,博士,研究员级高级工程师,主要从事农业气象监测预报预警研究与服务工作,xypdhy@163.com。

influenced by continuous sparse sunlight over 5 d and especially the stem diameter would get thin. The influence of continuous sparse sunlight over 7 d is irreversible. 2) The effects of sparse sunlight on the diameter, growth rate of length, and weight of cucumber fruit are different. The growth trend of the upper and lower diameter of cucumber fruit is more sensitive to sparse sunlight and the effect reaches a significant level in 3 d of continuous sparse sunlight, which is manifested as the growth rate of upper diameter decreasing by $0.87 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ and the growth of lower diameter decreasing by a rate between $0.73 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $0.99 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. For the growth trend of the middle diameter and length of cucumber fruit, the effect reaches a significant level by continuous sparse sunlight over 5 d, which is manifested as the growth rate of lower diameter decreasing by $0.88 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ and the growth of length decreasing by a rate between $0.87 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $1.00 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$. Compared with CK (control check), the weight of single cucumber fruit decreases by 18.7 g in 3 d of continuous sparse sunlight, and decreases by a range between 2 g and 3 g for 1 more d of sparse sunlight. 3) The appearance grade of cucumber fruit is greatly affected by sparse sunlight. By continuous sparse sunlight between 1 d and 5 d, the proportion of super class fruit decreases by a range between 9.4% and 43.0%; by continuous sparse sunlight over 5 d, the proportion of second class and bad fruit increases significantly, and the proportion in 9 d of continuous sparse sunlight reaches 20% and 25%, respectively. The difference of water content between the experiment of shading treatment (over 3 d) and CK is significant. The vitamin content is sensitive to sparse sunlight. The vitamin content decreases by about 6% by continuous sparse sunlight between 1 d and 5 d and decreases by a range between 10% and 13% by continuous sparse sunlight over 7 d. The influence of continuous sparse sunlight over 5 d on the content of anthocyanin and organic acid is great. The sensitivity of soluble sugar content to continuous sparse sunlight less than 7 d is low, while the sensitivity to sparse sunlight over 7 d is significant, and the soluble sugar content decreases by 4% for 1 more d of sparse sunlight.

Key words sparse sunlight; solar greenhouse; cucumber; flowering and fruit set stage; yield; fruit quality

引言

植物生长发育的干物质积累主要来源于光合产物,光合作用除了受环境温度、湿度、土壤水分及养分影响外,光照是主要制约因子。关于光照不足对作物的影响,国内外学者已做了大量研究,结果表明,寡照条件下,植物将通过调整叶绿素含量、降低光饱和点与补偿点等生理特性以适应环境^[1-5],由此导致作物光合作用能力降低,植株生长变慢,根冠比、比叶面积以及根茎叶形态结构等生态特性发生改变,造成产量下降,品质降低^[6-9]。

黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 属葫芦科甜瓜属植物,喜温喜光,是我国北方秋冬季反季节生产主要蔬菜之一。由于秋、冬季属于寡照多发季节,持续寡照也是温室黄瓜生产的主要气象灾害。关于寡照对黄瓜生长发育影响的研究表明,弱光条件下黄瓜叶片净光合速率降低^[10-12],光合产物运输减缓,植株生长缓慢、茎蔓细弱、坐果率降低、产量下降等^[13-19]。但相关研究以人工气候箱模拟弱光影响

为主,模拟试验过程中黄瓜生长的温度和湿度条件基本恒定不变,而用于种植黄瓜的温室内温度和湿度是动态变化的要素,二者环境条件存在较大差异,导致相关研究结果无法直接用于指导生产管理。另外,受人工气候箱空间所限,前人的研究大多是以幼苗期为主,以日光温室花果期黄瓜为研究对象,针对持续寡照的影响,迄今为止尚未见报道。本文拟通过采用遮阴方式,在植有黄瓜的日光温室中模拟持续寡照环境,探明寡照对黄瓜花果期生长发育影响,确定寡照灾害天气对产量品质形成的影响量化指标,为温室黄瓜生产管理、灾害防御和灾损评估提供技术支撑与依据。

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

1.1.1 试验地点与温室环境

试验于2016年2—4月进行,试验地点为山东临沂设施农业气象试验基地(117.95°N , 32.25°E),用于试验的温室长、宽和高度分别为68.0、10.0和

4.6 m;聚乙烯无滴膜覆盖,厚度 0.6 mm,透光率 75%。供试黄瓜品种为“德瑞特 L108”,于 2015 年 12 月 25 日移栽,行株间距为 50 cm×30 cm。温室黄瓜于 2016 年 2 月 20 日进入花果期,21 日开始遮阴控制试验。试验期间,温室内气温、空气相对湿度、光合有效辐射、10 cm 地温等小气候要素统计情况见表 1。根据实际观测数据表明,非寡照(晴好)天气条件下,温室内的光合有效辐射一般在 400~900 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间;阴雨(雪)天气条件下,温室内

的光合有效辐射一般在 100~200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,正午前后在 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,为此,本试验设计依据天气条件采用不同层次遮阳网遮光方式,将正午前后光照强度控制在 200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,其他时间遵循其固有的变化规律,以模拟寡照天气条件下温室内的光照环境,对照采用正常或补光方式保持正常光照强度;试验期间,温室通风及黄瓜栽培管理按当地高产水平进行,温室内气温保持在 18~28 $^{\circ}\text{C}$ 之间。

表 1 试验期间小气候要素统计结果

Table 1 Statistical results of microclimate factors during the experiment

月份	气温/ $^{\circ}\text{C}$	空气相对湿度/(%)	最大光合有效辐射/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	10 cm 地温/ $^{\circ}\text{C}$
2 月	16.2	82.8	467.8	16.1
3 月	19.5	69.2	598.5	18.4
4 月	19.1	57.2	679.2	18.1

1.1.2 遮阴设计

遮阴控制试验设 6 个处理小区,每个小区植有 5 垄,约 150 株,设计 1、3、5、7、9 d(分别以 T1、T3、T5、T7、T9 表示)5 个遮阴处理水平,1 个无遮阴处理为对照(以 CK 表示),每个处理遮阴结束当天测定各项生理指标;遮阴处理结束后,进行光照恢复。根据前人研究结果,短期持续寡照对设施作物生长发育产生一定影响,光照恢复后各项生理生态指标能在一周左右恢复,为此,本试验恢复期设定为 9 d,之后除了测定产量外,其他生理生态指标不再测定,产量测定期为持续 1 个月。

1.2 测定内容和方法

每个处理选定 3 株有代表性植株,每 3 d 进行一次叶片取样,测定叶面积和比叶重;每个遮阴处理小区内选取 3 株长势均匀植株,按照大、中和小将黄瓜果实分为 3 类,每株每类形态的果实各选一个进行挂牌标记,遮阴结束后每 4 d 测定一次果实的上、中、下部直径和果实长度,生长速率取 3 个标记果实的平均值;遮阴处理之日起,在各处理中选取长势有代表性的植株 10 株,每隔 3 d 采收一次果实,统计产量及相关参数,包括单株果实重、果实数、单果纵横径、次病果数等;参照农业行业标准 NY/T 1587—2008《黄瓜等级规格》^[20] 规定的黄瓜等级与规格的要求,将果实的外观品质分为特级、一级和二级 3 个等级;随机抽取各处理的成熟果实,分别进行花青素、维生素 C、有机酸和可溶性糖等品质指标测定。

1.3 数据处理

利用 Microsoft Excel 和 SPSS 软件,进行相关试验数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 寡照对温室黄瓜叶片长势的影响

2.1.1 寡照对叶面积的影响

进入花果期后,单株叶面积仍处于快速增长阶段,光照不足,单株叶面积生长受到制约,由图 1 可见,各寡照处理条件下的植株叶面积增长速率缓慢,且随着寡照持续日数的增加,与 CK 的差距增大。恢复正常光照后,各处理黄瓜植株的叶面积增长速率均得到了提升,T1、T3、T5、T7 单株叶面积在恢复期内能接近 CK 的水平,T9 则无法恢复至 CK 水平。

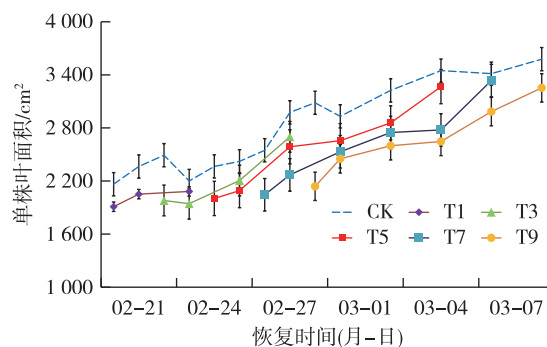


图 1 不同寡照处理温室黄瓜单株叶面积变化图
Fig.1 Effect of different sparse sunlight treatments on leaf area per plant of cucumber in solar greenhouse

2.1.2 寡照对叶片比叶重的影响

图2为不同寡照处理条件下温室黄瓜叶片比叶重对比图,由图可见,随着寡照日数增加,叶片的比叶重呈下降趋势,其中T7和T9比叶重较CK分别低38.3%和41.4%。寡照处理结束后,T1、T3、T5比叶重在恢复期内均能达到CK水平;T7和T9无法恢复至正常水平,较CK分别低13.4%和21.3%。

2.2 寡照对温室黄瓜长势的影响

2.2.1 寡照对黄瓜植株长势的影响

由图3可见,寡照对黄瓜株高和茎粗生长均存在制约,与CK相比,二者表现为相同的变化特征,即CK>T1>T3>T5>T7>T9,但在寡照处理期间,株高仍有明显增长,其中T1、T3和T5株高与CK差异不大,而茎粗随着寡照日数的延长出现变细现象。恢

复光照后,恢复期内,各处理水平的黄瓜株高基本都能达到正常水平,但T7、T9的茎粗无法恢复至正常水平。

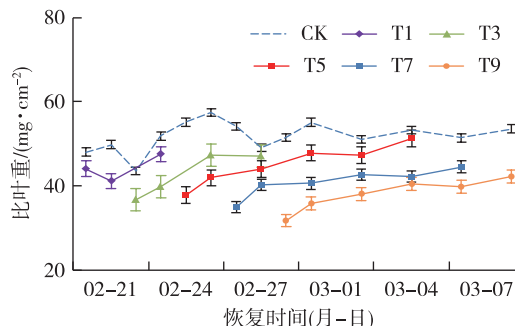


图2 不同寡照处理温室黄瓜叶片比叶重变化图
Fig.2 Effect of different sparse sunlight treatments on specific leaf mass of cucumber in solar greenhouse

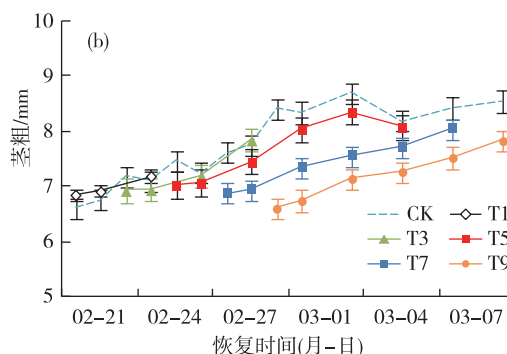
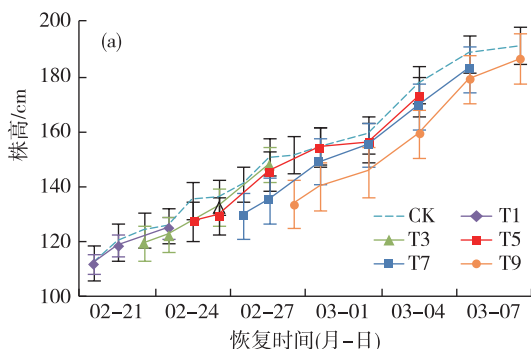


图3 不同寡照处理温室黄瓜株高和茎粗变化图

Fig.3 Effect of different sparse sunlight treatments on height and stem diameter of cucumber in solar greenhouse

2.2.2 寡照对温室黄瓜果实生长的影响

图4为不同寡照胁迫条件下黄瓜果实生长速率和果重的变化情况,由图可见,随寡照天数的增加,黄瓜果实的长度和果径生长率均减小,且显著小于

CK ($P < 0.05$),寡照持续时间越长,果实生长受影响越大。持续寡照5 d以上,果实长度与CK达到显著差异,T5、T7处理黄瓜长度生长速率较CK降低 $0.87 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$,T9处理生长速率显著降低,较CK降

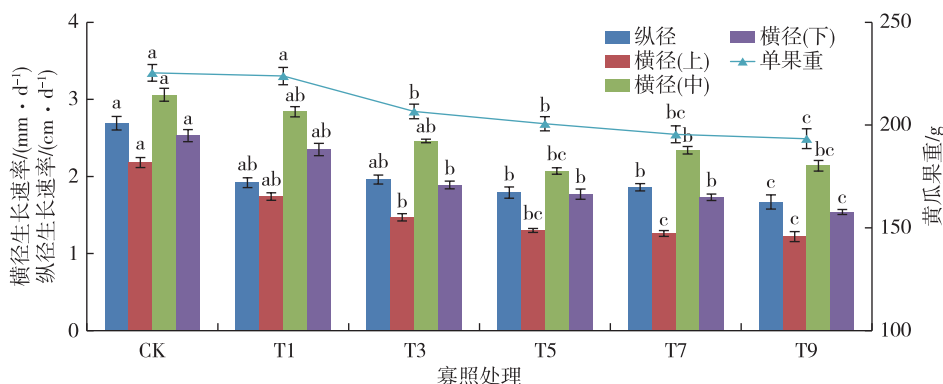


图4 不同寡照处理温室黄瓜果实生长速率(纵径生长速率,单位: $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$;横径生长速率,单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)和果重(单位:g)对比图(a、b、c表示不同遮阴天数间在0.05水平上的差异显著性)

Fig.4 Variation of growth rate (growth rate of vertical diameter, units: $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$; growth rate of transverse diameter, units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and weight (units: g) of cucumber in solar greenhouse by different sparse sunlight treatments (a, b, and c indicate the significant difference between different shading treatments at 0.05 level)

低 $1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上;对黄瓜横径的影响,表现为对果实上下两端的影响大于中部,果实上下部的横径增长速率在寡照 3 d 即表现为与 CK 显著差异,其中黄瓜上端横径增长速率较 CK 降低 $0.87 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, T1、T3、T5、T7 处理果实下端横径增长速率平均较 CK 低 $0.73 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, T9 果实增长速率较 CK 降低 $0.99 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; T5、T7、T9 果实中部横径增长速率与 CK 差异达到显著,平均降低 $0.88 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

分析各寡照处理水平单果重, T1 与 CK 无显著差异,其他处理均存在显著性差异,其中 T3、T5、T7 寡照处理间无差异,与 CK 相比,单果重分别降低 18.73、24.76、29.90 g; T9 与 T7 差异不明显,但与 T3 和 T5 显著性差异,单果重较 CK 低 30.96 g 左右。

2.3 寡照对温室黄瓜品质的影响

2.3.1 寡照对黄瓜果实外观品质的影响

图 5 为不同寡照处理水平下黄瓜果实外观品质等级分布。由图 5 可见,CK 处理的特级、一级、二级和坏果比例分别为 88.0%、8.0%、4.0% 和 0.0%,随着寡照持续日数的延长,特级果比例降低,与 CK 相比,各处理水平分别降低了 9.4%、13.0%、18.0%、29.7% 和 43.0%;寡照 5 d 以上,导致二级果和坏果比例明显升高,寡照每增加 1 d,分别增加 4.0% 和 5.0%,连续寡照 9 d,二级果和坏果可达到 20% 和 25%。

2.3.2 寡照对黄瓜果实营养品质的影响

图 6 为不同寡照处理黄瓜果实的营养品质指标变化情况。由图 6 可见,持续寡照对果实含水量、维生素 C、花青素、可溶性糖和有机酸等指标均有影响,随着寡照时间的延长,有机酸含量增加,其他品

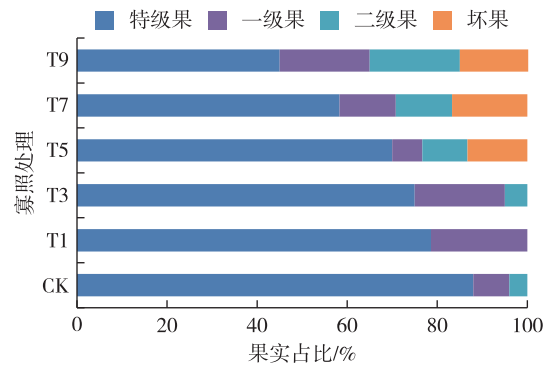


图 5 不同寡照处理温室黄瓜果实外观品质的比较

Fig.5 Effect of different sparse sunlight treatments on appearance grade of cucumber in solar greenhouse

质指标均降低。与 CK 相比, T3、T5、T7、T9 果实含水量差异达显著水平,寡照每增加 1 d,含水量降低 0.19%。寡照对果实维生素含量影响明显,各寡照处理水平与 CK 均达到显著性差异,较 CK 分别降低 5.57、6.00、6.85、10.14、13.43 $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$; T5、T7、T9 处理果实花青素含量较 CK 差异显著,其中 T5、T7 处理较 CK 平均降低 $0.27 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, T9 则低 $0.45 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$;可溶性糖, T1、T3、T5 与 CK 差异不明显,较 CK 分别低 1.14%、1.34%、1.26%, T7、T9 差异显著,较 CK 分别低 3.40% 和 8.01%;有机酸含量,各处理水平较 CK 增加 0.04%、0.11%、0.14%、0.20%、0.25%, T5、T7、T9 与 CK 差异达显著水平。

3 讨论与结论

1) 黄瓜在进入花果期的初期,叶片和植株仍处于快速生长阶段,此阶段遭遇持续寡照天气,将导

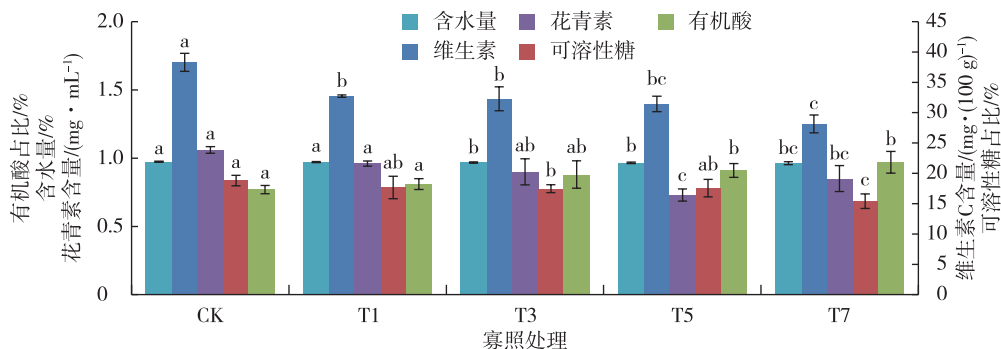


图 6 不同寡照处理温室黄瓜果实品质指标 (含水量, 单位: %; 花青素含量, 单位: $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; 有机酸占比, 单位: %; 维生素 C 含量, 单位: $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$; 可溶性糖占比, 单位: %) 的平均值比较 (a、b、c 表示不同遮阴天数间在 0.05 水平上的差异显著性)

Fig.6 Comparison between mean indexes of fruit quality of cucumber in solar greenhouse by different sparse sunlight treatments (water content, units: %; content of anthocyanin, units: $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$; proportion of organic acid, units: %; Vitamin C content, units: $\text{mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$; proportion of soluble sugar, units: %; a, b, and c indicate the significant difference between different shading treatments at 0.05 level)

致叶面积增长缓慢,比叶重降低,低于5 d的寡照,株高和茎粗影响不大,但5 d以上株高和茎粗生长受到影响,尤其是茎粗存在变细现象;前人研究结果^[21-22]表明,短期遮阴对设施作物的影响在恢复正常光照条件后能迅速恢复,一周内基本能够恢复到正常水平。本研究的恢复光照后研究表明,7 d以上的寡照将对黄瓜植株生长造成不可逆的损伤,不利于形成壮苗,将影响黄瓜后期产量提升,因此,阴雨寡照灾害的影响存在延续性。

2)连续5 d以上的寡照天气将对黄瓜长度造成显著影响,5~7 d寡照,黄瓜长度生长速率降低 $0.87 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$,9 d以上寡照导致速率降低超过 $1 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$;对黄瓜横径的影响主要表现在果实上下两端,寡照3 d以上影响达到显著水平,上端横径增长速率降低 $0.87 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,下端横径在寡照时间1~7 d时,横径增长速率降低 $0.73 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,寡照日数超过9 d,增长速率降低至 $0.99 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上。

3)持续寡照3~7 d,寡照日数每延长1 d,果重降低4.89 g;寡照日数超过7 d时,每延长1 d,果重较CK降低16.01 g。寡照对黄瓜果实特级果比例影响较大,1~5 d寡照,特级果比例降低9.4%~43.0%;持续寡照5 d以上二级果和坏果比例明显升高,连续寡照9 d,二级果和坏果比例达到20%和25%;寡照3 d以上,果实含水率与CK差异即达到显著性差异;维生素含量对寡照影响反映敏感,1~5 d的寡照,果实维生素含量降低6%左右,7 d以上的寡照日数,则降低10%~13%;寡照5 d以上,花青素和有机酸含量与CK差异达到显著;与上述指标相比,可溶性糖含量对寡照影响敏感度相对要低,寡照日数超过7 d时其含量方达到显著性差异,寡照7 d较CK降低3.4%,之后寡照日数每增加1 d,可溶性糖含量将降低4%左右。

4)本研究结果表明,持续寡照下黄瓜生长、产量和品质均受到不同程度影响。其影响机理表现为寡照下植株的叶片生长量减小,光合作用减弱,光合产物的运输速度也相应减慢,进而使叶片供给到果实的同化物减少,导致果实发育不良^[23];赵玉萍等^[24]、李益清和李天来^[25]在研究中发现,在相同温度条件下,番茄果实中的维生素C、可溶性糖、可溶性固性物含量和糖酸比随着光照的增强而增加,寡照下各指标值显著低于自然光下,这与本研究的结论相似。

5)由于本研究主要目的是获取不同寡照持续时间的的影响指标,试验期间重点进行植株和果实生

长速率进行测定,产量测定期仅为持续1个月。关于持续寡照对后期黄瓜总产量的变化规律影响,本研究并未涉及到,需要在未来研究中补充完善。

参考文献:

- [1] SHEN H H, TANG Y H, MURAOKA H, et al. Characteristics of leaf photosynthesis and simulated individual carbon budget in *Primula nutans* under contrasting light and temperature conditions [J]. *J Plant Res*, 2008, 121(2): 191-200.
- [2] VIEIRA S, CALADO R, COELHO H, et al. Effects of light exposure on the retention of kleptoplastic photosynthetic activity in the sacoglossan mollusc *Elysia viridis* [J]. *Mar Biol*, 2009, 156(5): 1007-1020.
- [3] KIRSCHBAUM M U F, OHLEMACHER C, KÜPPERS M. Loss of quantum yield in extremely low light [J]. *Planta*, 2004, 218(6): 1046-1053.
- [4] YAMAZAKI J Y. Is light quality involved in the regulation of the photosynthetic apparatus in attached rice leaves [J]. *Photosynth Res*, 2010, 5(1): 63-71.
- [5] ROSSA M M, DE OLIVEIRA M C, OKAMOTO O K, et al. Effect of visible light on superoxide dismutase (SOD) activity in the red alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariiales, Rhodophyta) [J]. *J Appl Phycol*, 2002, 14(3): 151-157.
- [6] KNOX J, MORRIS J, HESS T. Identifying future risks to UK agricultural crop production: Putting climate change in context [J]. *Outlook Agric*, 2010, 39(4): 249-256.
- [7] 艾希珍, 马兴庄, 于立明, 等. 弱光下长期亚适温和短期低温对黄瓜生长及光合作用的影响 [J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2091-2094.
- [8] 仲启铖, 王江涛, 周剑虹, 等. 水位调控对崇明东滩围垦区滩涂湿地芦苇和白茅光合、形态及生长的影响 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 408-418.
- [9] 崔海岩, 靳立斌, 李波, 等. 遮阴对夏玉米干物质积累及养分吸收的影响 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(11): 3099-3105.
- [10] HOU J L, LI W D, ZHENG Q Y, et al. Effect of low light intensity on growth and accumulation of secondary metabolites in roots of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2010, 38(2): 160-168.
- [11] BALTZER J L, THOMAS S C. Physiological and morphological correlates of whole-plant light compensation point in temperate deciduous tree seedlings [J]. *Oecologia*, 2007, 153(2): 209-223.
- [12] 裴孝伯, 李世诚, 蔡润. 连续弱光处理对黄瓜生育及光合速率的影响 [J]. *安徽农业大学学报*, 2005, 32(3): 373-376.

- [13] 李春,郭晶.2013—2014年冬季天津地区连续雾霾天气对设施农业生产的影响[J].天津农业科技,2014(3):36-37.
- [14] LIDON F C, LOUREIRO A S, VIEIRA D E, et al. Photoinhibition in chilling stressed wheat and maize[J]. *Photosynthetica*,2001,39(2):161-166.
- [15] 毛艺林.雾霾环境对设施农业的影响及应对策略[J].河南农业科学,2014,43(7):76-79.
- [16] 朱艳蕾,陈梅,艾山江,等.成株期弱光对不同品种黄瓜生长发育的影响[J].北方园艺,2008,32(9):4-7.
- [17] 王兴银,张福漫.弱光对日光温室黄瓜光合产物分配的影响[J].中国农业大学学报,2000,5(5):36-41.
- [18] 李伟,黄金丽,睦晓蕾,等.黄瓜幼苗光合及荧光特性对弱光的响应[J].园艺学报,2008,35(1):119-122.
- [19] 姜振升,孙晓琦,艾希珍,等.低温弱光对黄瓜幼苗 Rubisco 与 Rubisco 活化酶的影响[J].应用生态学报,2010,21(8):2045-2050.
- [20] 任华中,张振贤,高丽红,等.黄瓜等级规格:NY/T 1587—2008[S].北京:中国农业出版社,2008.
- [21] YANG Z Q, YUAN C H, HAN W, et al. Effects of low irradiation on photosynthesis and antioxidant enzyme activities in cucumber during ripening stage[J]. *Photosynthetic*,2016,54(2):251-258.
- [22] 张继波,薛晓萍,李楠,等.寡照对北方日光温室黄瓜光合、形态及产量的影响研究[J].山东气象,2016,36(1):23-26,68.
- [23] JACKSON J E, PALMER J W. Effects of shade on the growth and cropping of apple trees [J]. *J Horti Sci Biotech*,1977,52(2):245-252.
- [24] 赵玉萍,邹志荣,杨振超,等.不同温度和光照对温室番茄光合作用及果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(5):125-130.
- [25] 李益清,李天来.钙对弱光胁迫下番茄生长发育及产量和品质的影响[J].沈阳农业大学学报,2010,41(5):526-530.