

黄瓜花期高温热害对叶片光合特性和果实品质的影响

薛思嘉¹, 杨再强¹, 李 军²

(1. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044; 2. 上海市气候中心, 上海 200030)

摘 要:以“南杂系列二号”黄瓜为试材,于2014—2015年在南京信息工程大学农业气象试验站开展控制试验,设计3个日最高气温处理(36、39、42℃),以最高温度25℃为对照(CK),所有处理日最低气温设计18℃;不同处理设计持续时间1、3、5、7 d;研究黄瓜花期高温对叶片光合特性以及果实外观品质和内在品质的影响。结果表明:各处理黄瓜叶片的光饱和点、最大光合速率、表观量子效率,以日最高气温42℃处理7 d最低,分别较CK减少了59.6%、72.5%、70.1%,光补偿点则呈相反的趋势;在日最高气温36~42℃内,随高温胁迫程度的增加黄瓜的果质量、最小果径、最大果径、含水率均呈减小的趋势,39℃处理7 d对果实外在品质影响最为严重,分别较CK减小了24.2%、20.9%、32.4%、1.4%;花期高温胁迫下,果实维生素C含量随胁迫程度的增加呈降低的趋势,39℃处理7 d较CK减少了11.3%;可溶性糖含量则随胁迫程度的增加呈先升高后降低的趋势;果实可溶性蛋白质含量随处理温度升高和持续时间延长呈现出降低趋势;研究认为高温胁迫下黄瓜花期植株叶片光合能力降低,且随着高温胁迫加剧和时间的延长,其降低幅度逐渐增大,果实质量变小,果实可溶性糖含量升高,短期高温胁迫促进果实可溶性蛋白质含量的合成,随胁迫时间延长,可溶性蛋白质含量减少;该研究结果可为设施黄瓜的气温调控提供参考依据。

关键词:高温;黄瓜;光合作用;果实品质

中图分类号:S 642.201 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0001-07

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是我国设施栽培主要作物之一^[1],光合作用是绿色植物将光能转换为可用于生命过程的化学能并进行有机物合成的生物过程^[2]。温度是限制光合作用顺利进行的重要因素,高温是设施黄瓜主要气象灾害之一,研究高温对设施黄瓜光合特性及果实品质的影响是揭示高温危害机理和确定设施黄瓜灾害指标的前提,对设施环境优化调控及高温灾害防御具有重要意义。

前人研究表明,不同的高温处理对黄瓜的生长发育^[3]、生理特性^[4]、种子萌发^[5]、抗氧化酶活性^[6]有重要的影响,而关于高温对黄瓜的光合特性和果实品质的影响报道不多。HAMERLYNCK等^[7]报道指出,高温条件下叶片气孔逐渐关闭,气孔导度降低,导致净光合速率减小。BARNABAS等^[8]的研究认为,在同样的高温处理下,耐热性不同的水稻的光合速率具有不同的变化趋势,升高相同温度后,强耐热性品种光合速率的降低小于弱耐热性品种,并且在高温条件下,水稻光合速率与其耐热性呈正相关。据有关报道,高温逆境主要破坏植物叶片叶绿体类囊体薄膜PSII反应中心,从而对叶片光合性能产生严重影响^[9-10]。高温胁迫使光合电子传递受阻,导致同化力的合成受阻,进而影响暗反应CO₂的固定与同化^[11]。根据赵森等^[12]的研究,在相同的高温胁迫下,强耐热性爪哇稻剑叶的可溶性糖和可溶性蛋白质含量的减少幅度小于弱耐热性品种。白鹏威等^[13]

第一作者简介:薛思嘉(1992-),女,辽宁朝阳人,硕士研究生,研究方向为设施作物气象灾害。E-mail: bpxsj5367829@163.com.

责任作者:杨再强(1967-),男,四川安岳人,博士,教授,博士生导师,现主要从事农业气象灾害预警等研究工作。E-mail: yzq@nuist.edu.cn.

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2014BAD10B07)。

收稿日期:2016-12-06

的研究结果表明,在自然温度条件下轻度升温(如温度升高 3~5 °C)有助于番茄果实内可溶性糖的积累,从而提高果实品质。高温胁迫下果实内糖含量的升高也可能由于热胁迫下韧皮部覆盖在筛板上的胼胝层增厚,阻塞了筛孔,因而韧皮部运输阻力增大,以致光合产物不能及时向外运输,导致糖的积累^[14-15]。在高温胁迫的前期,黄瓜果实徒长、早熟,后期产量低、早衰、维生素 C 含量减少^[16]。

迄今,国内外关于高温胁迫对黄瓜影响的研究多侧重于不同品种对高温耐热性能、生理性能和叶片营养物质含量等方面,关于不同高温强度及持续时间对设施黄瓜光合及品质影响的研究不多,为此,该研究利用环境控制试验研究不同温度、不同处理时间条件下黄瓜叶片光合参数的变化,以及果实营养物质包括可溶性蛋白质、可溶性糖、维生素 C 含量的变化,以期对设施黄瓜高温灾害的防御及生产环境调控决策提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜品种为“南杂系列二号”。

1.2 试验方法

试验于 2014 年 11 月至 2015 年 10 月在南京信息工程大学农业气象试验站进行,当黄瓜幼苗株高长至

7~8 cm 时选取长势一致的植株定植到营养盆(直径 30 cm,高 25 cm)中,并在开花期(苗高约 70 cm,叶片为 10~12 叶)移至人工气候箱(TPG-2009,Australian)中,相对湿度控制在 $(75 \pm 5)\%$,在 06:00—18:00 设置光合有效辐射为 $800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,其它时间设为 0,试验设 3 个日最高气温处理:36、39、42 °C,以日最高气温 25 °C 为对照(CK),日最低气温设为 18 °C,不同温度处理的持续时间分别设 1、3、5、7 d。每个处理 10 株,设置 3 次重复,每处理水肥条件均控制在正常范围。分别在每个处理的持续时间结束的第 2 天(即处理后第 2、4、6、8 天)09:00—11:00 测定叶片光合参数,处理结束后将黄瓜植株移至可控玻璃温室适宜环境中生长,待长至果实成熟分别测量果实可溶性蛋白质、可溶性糖和维生素 C 含量。

1.3 项目测定

1.3.1 温室气象数据测定 玻璃温室内气象数据由数据采集器(WatchDog2000,USA)自动采集,采集温室内 1.5 m 高处空气温度、相对湿度和冠层上方 1.5 m 处的太阳辐射。采集频率为 10 s,存储每 30 min 的平均值。处理后苗木放入可控玻璃温室期间(2015 年 11 月 1 日至 12 月 31 日)所测日平均空气温度、相对湿度和太阳辐射日变化过程见图 1。

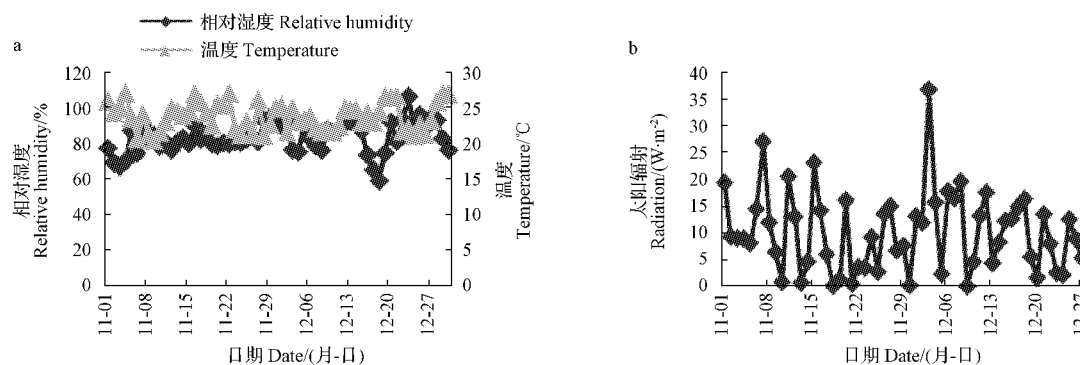


图 1 试验期间相对湿度、日平均温度(a)和太阳辐射(b)日变化

Fig. 1 Change of relative humidity, average daily temperature(a) and radiation(b) during the test

1.3.2 光合参数测定 光合参数测定采用 LI-6400 便携式光合作用测定系统(LI-COR Biosciences Inc., USA)测定黄瓜叶片光合参数。选取黄瓜顶端以下 4~7 片长势良好的功能叶片,于处理后第 2、4、6、8 天 09:00—11:00 测定光合参数,每个测量 3 次重复。光合参数测定时,控制叶室中 CO_2 浓度为 $380 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,温度设置为该处理所对应的温度。光合有效辐射(PAR, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)设置为 0、50、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 400、

1 600 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,共 12 个水平,分别测定不同高温处理、不同光合有效辐射下净光合速率(net photosynthetic rate, Pn),利用 SPSS 软件对光响应曲线进行拟合,得到光饱和点(light saturation point, LSP)、光补偿点(light compensation point, LCP)和表观量子效率(apparent quantum yield, AQE)。

1.3.3 果实品质的测定 果实可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝比色法^[17]。取 0.5 g 混合鲜样加 5 mL pH 7.8 的磷酸缓冲液研磨后离心制得酶

液。取 20 μL 酶液加入 3 mL 考马斯亮兰 G-250 反应液放置 2 min 后在 595 nm 下比色。可溶性蛋白质含量 $= (C \times V/V_a) / W$, W -样质量(g), V -样液总体积(mL), V_a -测定时酶液用量(mL)。可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[18]。取 0.05 g 干样于离心管中加 5~6 mL 水,沸水浴 30 min,然后 4 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取上清液倒入 25 mL 容量瓶中,3 次重复,定容至 25 mL,制得提取液。吸取提取液 0.1 mL,加 3.0 mL 蒽酮试剂,90 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min,620 nm 波长下比色。维生素 C 含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚法^[19]。取样品加入 2% 草酸溶液研磨,定容至 100 mL,取 10 mL 放入 100 mL 锥形瓶中,用 0.1% 2,6-二氯酚靛酚溶液滴定至淡红色,并保持 15 s 不褪色,即为滴定终点。记录下所用 0.1% 2,6-二氯酚靛酚溶液的体积,计算出果

实中可滴定总酸的含量。

1.4 数据分析

试验数据均为 3 次重复平均值。利用 SPSS 软件对光响应曲线进行拟合,采用 Microsoft Office Excel 2010 对试验数据进行处理,并绘图。

2 结果与分析

2.1 高温对黄瓜光合参数的影响

由表 1 可知,黄瓜叶片的光饱和点(light saturation point, LSP)在日最高气温 36~42 $^{\circ}\text{C}$ 内,随高温处理时间的增加总体呈下降趋势,温度越高、光饱和点越低,黄瓜叶片的光饱和点由大到小的日最高温度顺序为:CK>36 $^{\circ}\text{C}$ >39 $^{\circ}\text{C}$ >42 $^{\circ}\text{C}$ 。可见高温胁迫可使叶片光饱和点降低,且随着胁迫时间增加,光饱和点降低越多,从而影响黄瓜叶片光合性能。

表 1 黄瓜花期不同高温处理对黄瓜叶片光合参数的影响

Table 1 Effect of different heat treatments at florescence on photosynthetic parameters of cucumber

处理		最大光合速率	光饱和点	光补偿点	表观量子效率
Treatment		Maximum photosynthetic	Light saturation point	Light compensation point	AQE
		$/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
1 d	CK	13.48a±0.14	1 107.2a±0.8	22.4d±0.4	0.059a±0.002
	36 ℃	12.00b±0.06	982.4b±0.9	25.6c±0.7	0.055a±0.004
	39 ℃	10.43c±0.10	729.6c±1.0	28.8b±0.6	0.049b±0.002
	42 ℃	9.07d±0.10	688.0d±1.0	32.0a±0.7	0.045b±0.002
3 d	CK	13.86a±0.50	1 052.8a±1.1	9.6d±0.2	0.071a±0.001
	36 ℃	10.18b±0.06	819.2b±0.6	28.8c±0.7	0.053b±0.003
	39 ℃	8.35c±0.15	633.6c±1.3	38.4b±0.3	0.045c±0.002
	42 ℃	6.11d±0.09	502.4d±0.5	41.6a±0.6	0.040d±0.003
5 d	CK	13.01a±0.10	902.4a±1.0	12.8d±0.8	0.071a±0.002
	36 ℃	9.10b±0.09	752.0b±1.0	32.0c±0.5	0.050b±0.004
	39 ℃	5.88c±0.15	518.4c±1.1	51.2b±1.2	0.033c±0.002
	42 ℃	4.41d±0.09	457.6d±0.5	60.8a±0.6	0.031c±0.003
7 d	CK	13.33a±0.50	985.6a±0.3	12.8d±0.2	0.067a±0.003
	36 ℃	7.49b±0.06	643.2b±1.4	38.4c±0.8	0.046b±0.002
	39 ℃	4.73c±0.10	435.2c±2.1	67.2b±0.3	0.029c±0.003
	42 ℃	3.67d±0.10	398.0d±0.8	76.8a±0.7	0.020d±0.003

注:同列数据后同一天不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: The different letters in the same column on the same day indicate significant difference at 0.05 level.

黄瓜叶片光补偿点(light compensation point, LCP)随高温处理时间的增加呈升高趋势,42 $^{\circ}\text{C}$ 处理下第 7 天光补偿点较 CK 增加 500%。可见高温胁迫使黄瓜叶片光补偿点升高,温度越高,光补偿点升高越多。每个处理时间各温度间差异显著,光补偿点对照最小,随着温度的升高,叶片光补偿点上升趋势愈加明显。39 $^{\circ}\text{C}$ 处理 3 d,叶片光补偿点较 CK 升高 300%,而 39 $^{\circ}\text{C}$ 处理 7 d,光补偿点较 CK 升高 425%。可见,高温胁迫时间越长,对叶片光补偿点影响越大。

从表 1 还可以看出,花期不同高温处理下表观

量子效率(apparent quantum efficiency, AQE)随高温处理时间的增加而降低,与 39、42 $^{\circ}\text{C}$ 相比,36 $^{\circ}\text{C}$ 处理下表观量子效率随处理时间的增加下降趋势不显著,处理 1、3、5、7 d 时表观量子效率分别较 CK 下降 6.8%、25.4%、29.6%、31.3%。42 $^{\circ}\text{C}$ 处理下表观量子效率随处理时间增加下降趋势最显著,处理 1、3、5、7 d 时表观量子效率分别较 CK 下降 23.7%、43.7%、56.3%、70.1%。各处理中对照表观量子效率最高,最高随温度的升高呈降低趋势。

随着高温处理时间的延长,各高温下黄瓜叶片最大光合速率(Pmax)均呈下降的趋势,其中 36 $^{\circ}\text{C}$ 处

理下降趋势最不显著,处理 1、3、5、7 d 后最大光合速率分别较 CK 下降 11.0%、26.6%、30.1%、43.8%。42℃处理下降趋势最显著,1、3、5、7 d 后分别较 CK 下降 32.7%、55.9%、66.1%、72.5%。每个处理时段 CK 最大光合速率最高,随着温度的升高黄瓜叶片最大光合速率降低,可见高温胁迫影响黄瓜叶片光合性能,并且随着胁迫时间的延长,影响效果愈加显著。

2.2 花期高温处理对黄瓜果实外观品质的影响

不同高温处理对黄瓜果实质量影响见图 2(a),在日最高气温 36~42℃内,随着温度的升高,黄瓜果质量呈降低趋势。不同温度处理 1 d 的黄瓜果质量差异不明显,处理 3 d 后,36、39、42℃处理之间果质量分别比对照低 36.4%、17.9%、16.5%。处理 7 d 时,36、39℃分别较对照低 6.7%、24.2%。42℃处理 7 d 植株无果实。

不同高温处理下,黄瓜果实最小果径和最大果径分别见图 2(b)、(c),随着温度的升高,最小果径和

最大果径呈减小的趋势,高温处理 1、3、5、7 d 的最小果径分别较对照减小了 0.5.7%、6.9%、6.9%、12.1%。39℃处理 1、3、5 d 分别较 CK 减小了 11.3%、11.3%、12.1%。42℃处理 3、5、7 d 黄瓜最大果径分别较 CK 减小了 17.9%、29.2%、32.4%。42℃在各处理时段黄瓜最大果径均最小,随着处理时间的增加,最大果径逐渐降低。表明随着处理温度的升高和时间的延长,果径减小的趋势愈明显。

图 2(d)为黄瓜花期不同高温处理下果实含水率的变化情况,可以看出各处理中对照含水率随着处理温度的升高,黄瓜含水率呈降低趋势。其中 36℃处理与 CK 差异最不显著,高温处理 1、3、5、7 d 后分别较 CK 减小了 0.4%、0.2%、0.7%、0.3%。39℃处理 1 d 果实含水率开始减小较明显,并随着处理时间的增加,减小趋势愈加明显,处理 7 d 时,较 CK 减小了 1.4%。42℃在各组处理中果实含水量最低,处理 3、5 d 分别比对照低 1.3%、2.0%。

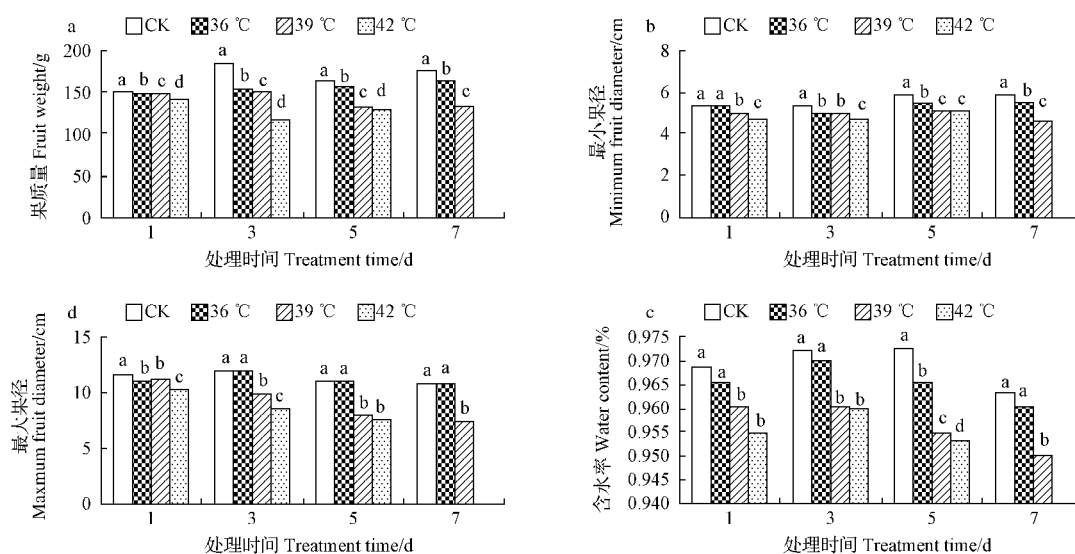


图 2 黄瓜花期不同高温处理对果实外在品质的影响

Fig. 2 Effect of different heat treatments at florescence on external quality of cucumber

2.3 花期高温处理对黄瓜果实内在品质的影响

植株在遭受逆境胁迫时,体内会积累可溶性还原糖,以增加细胞液的粘稠度,增强其对外界环境的抵抗能力^[20]。黄瓜花期高温处理果实可溶性糖含量见图 3。可知处理 1、3、5、7 d 果实可溶性糖含量都符合 42℃<CK<36℃<39℃,36℃处理果实的可溶性糖含量在 1、3、5、7 d 处理后分别较对照增加了 13.3%、15.4%、3.9%、27.7%。

黄瓜花期不同高温处理下果实维生素 C 含量变

化情况见图 4。可以看出,处理 1、3、5 d 时,各处理时段中 CK 的维生素 C 含量最高,随处理温度的升高维生素 C 含量减少。1 d 时各高温处理下果实维生素 C 含量与 CK 差异最不明显,36、39、42℃分别较 CK 减少了 9.0%、23.0%、30.0%。36℃处理 1、3、5 d 果实维生素 C 含量较 CK 分别减少了 9.0%、4.9%、1.5%,处理 7 d 较 CK 增加了 5.4%。42℃处理 1、3、5 d 分别较 CK 减少了 30.0%、31.2%、31.7%。

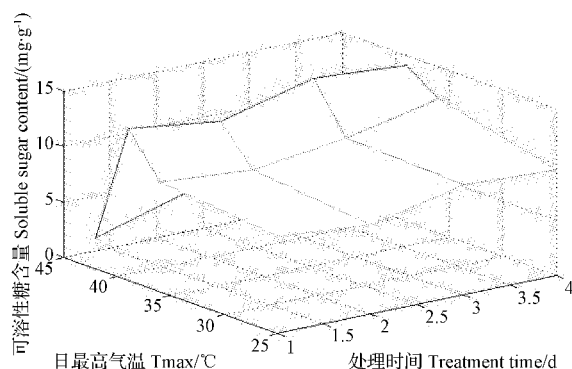


图3 黄瓜花期不同高温处理对果实可溶性糖含量的影响
Fig. 3 Effect of different heat treatments at florescence on soluble sugar content of cucumber

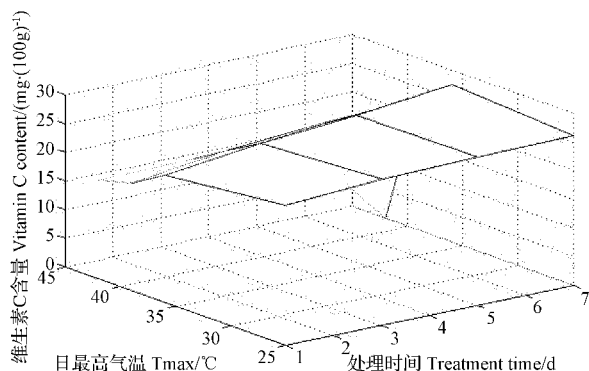


图4 黄瓜花期不同高温处理对果实维生素C含量的影响
Fig. 4 Effect of different heat treatments at florescence on vitamin C content of cucumber

可溶性蛋白质是重要的渗透调节物质和营养物质,其增加和积累能提高细胞的保水能力,对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用,因此经常用作筛选抗性的指标之一。由黄瓜花期不同高温处理下果实可溶性蛋白质含量变化情况见图5。可以看出,高温处理1 d时,36、39、42 °C可溶性蛋白质含量分别较CK增加了1.7%、16.0%、28.0%。高温处理5、7 d,黄瓜果实可溶性蛋白质含量都符合CK>36 °C>39 °C>42 °C,处理5 d时,36、39、42 °C可溶性蛋白质含量分别较CK减少18.7%、20.4%、21.2%;处理7 d时,36、39 °C可溶性蛋白质含量分别较CK减少17.0%、25.6%。

利用处理数据得到各项内在品质指标与日最高温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 、持续处理时间 $t(\text{d})$ 的关系:维生素C含量 $= 37.64 - 0.62 \times t - 0.50 \times T + 0.036 \times t \times T$, $R^2 = 0.73$, $se = 0.038 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$;可溶性糖含量(soluble sugar) $= 2.01 + 0.68t + 0.15T$, $R^2 = 0.41$, $se = 0.062 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$;可溶性蛋白质含量(soluble proteins) $= 29.54 + 9.0 \times t + 1.1 \times T - 0.35 \times t \times T$,

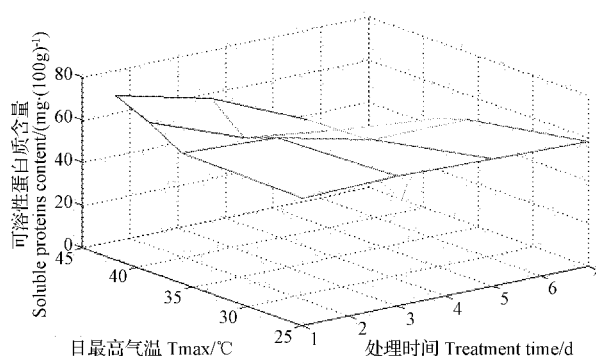


图5 黄瓜花期不同高温处理对果实可溶性蛋白含量的影响
Fig. 5 Effect of different heat treatments at florescence on soluble proteins content of cucumber

$R^2 = 0.838$, $se = 0.081 \text{ mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$;可以看出,维生素C含量及可溶性蛋白质含量与处理日最高气温和持续时间的拟合方程的决定系数最高,分别为0.734和0.838, se 分别为0.038 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$ 和0.081 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$,而可溶性糖含量与处理日最高气温和持续时间的拟合方程决定系数最低,仅为0.41, se 为0.062 $\text{mg} \cdot (100\text{g})^{-1}$ 。

3 结论与讨论

作物高产优质不仅要求有较强的光合能力,更要有较高的光合产物转化能力将营养物质输送到果实等器官。黄瓜中可溶性糖含量是决定其风味品质的重要指标之一。水苏糖、棉子糖为主要的转运光合产物,进入果实的糖主要为蔗糖、果糖、葡萄糖^[21]。该研究表明,黄瓜花期高温胁迫使黄瓜果实可溶性糖含量升高,并且随胁迫程度的增加,可溶性糖含量呈减少的趋势。这与有关研究结果一致,如随高温胁迫程度的增加,水稻剑叶可溶性糖含量呈增加趋势。高温胁迫导致黄姜不同居群可溶性糖含量在0~4 h胁迫处理后逐步升高^[22]。这可能由于高温胁迫促进了植物体内其它成分向可溶性糖转化的机制,如与对照相比高温处理促进了桃休眠芽中淀粉向可溶性糖的转化^[23],这可能由于高温促进了呼吸作用使淀粉得到分解,也减小了淀粉积累对叶绿体的伤害^[24]。该研究表明,在42 °C处理下可溶性糖含量又大为减少,这可能由于高温胁迫下,光合作用的关键酶 Rubisco(核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶)活化酶失活,致使光合产物减少^[25]。

就维生素C而言,大部分在学者认为高温胁迫下,植物体内维生素C含量呈下降的趋势。如孟令波等^[26]对多个黄瓜品种进行了品质比对,发现高温下维生素C含量呈下降趋势,但高温对不同品种的

可溶性固形物含量的影响不一致,例如‘653-2’等品种可溶性固形物含量增加,‘631’等品种含量下降。该试验研究表明,随着花期高温胁迫使黄瓜果实维生素 C 含量减少,并且随着胁迫程度的增加,减小的趋势愈加显著。在高温 36℃处理 3 d 时果实维生素 C 含量开始与 CK 呈显著性差异,说明花期在该高温胁迫下开始对果实有影响。关于高等植物维生素 C 的合成,SMIRNOFF 等^[27]先后提出过碳链倒位途径、邻酮醛糖途径、L-半乳糖途径和糖醛酸途径等学说。其中受到广泛认可的是 L-半乳糖途径,即以 D-果糖-6-磷酸为起始原料,在相关酶的作用下经过催化反应,最终生成维生素 C^[28]。花期高温胁迫可能使植物体内某种酶或反应物的活性降低,致使植物体内乃至果实维生素 C 含量减少。

温度是影响植物光合作用的重要因子之一,有关研究表明,高温胁迫下使温室黄瓜光合性能受到影响,最大光合速率、光饱和点、表观量子效率均降低,光补偿点升高^[29],这与该研究结果一致。高温使叶片光合性能降低主要是非气孔因素的原因,如高温致使 Rubisco 活化酶失去活性,叶绿素含量降低^[30]。也有研究表明,高温使叶绿体的双层膜受到破坏,基粒片层松散,叶绿体内出现数目多、体积大的质体球,淀粉粒的数目明显减少,同时由于基质大量外流,部分叶绿体内出现了空洞^[31]。

植物体内可溶性蛋白质多为功能蛋白,如执行各种生理功能的酶和运输蛋白^[12]。高温可使酶的活性降低甚至使酶失活,该试验研究表明,短期花期高温处理使果实可溶性蛋白质含量升高,随胁迫程度的增加其含量逐渐降低,这与有关研究结果一致。如可溶性蛋白质在高温胁迫初期含量上升,随着胁迫时间的延长,可溶性蛋白质含量逐渐降低,这可能由于 Rubisco 羧化酶等表达增强引起可溶性蛋白质含量增加,随着高温程度的加剧,Rubisco 羧化酶活性下降,净光合速率减少,导致可溶性蛋白质含量下降^[32],Rubisco 羧化酶是光合作用碳代谢中的重要调节酶,主要存在于叶绿体的可溶部分,占植物叶片可溶性蛋白的一半以上。也有研究结果表明,高温胁迫使耐热和热敏感爪哇稻品种可溶性蛋白质含量降低,且随着胁迫时间的延长而加剧^[12]。可溶性蛋白质含量降低主要是由 Rubisco 羧化酶含量下降引起的,同时高温胁迫造成 Rubisco 羧化酶失活甚至变性,最终导致净光合速率降低^[33]。

有关研究表明,高温促使果实成熟期提前,且成熟时果实果径变小,平均单果质量减小^[34]。该试验研究表明,花期高温处理使黄瓜果实质量、最小果

径、最大果径、含水率分别减小,随着胁迫程度的增加,减小的趋势愈加明显。这与有关高温下植物生长发育的结果一致,如高温胁迫使葡萄果实质量、横径、纵径均减小^[35]。

参考文献

- [1] 田婧,郭世荣. 黄瓜的高温胁迫伤害及其耐热性研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(18):43-52.
- [2] 叶子飘. 光合作用对光合 CO₂ 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报,2010,34(6):727-740.
- [3] 聂文娟. 黄瓜耐热性形态学鉴定技术研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [4] 杨寅贵. 黄瓜耐热性及热胁迫响应基因研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.
- [5] 钱春梅,伍进贤,陈玲,等. 高温胁迫对番茄种子萌发的影响[J]. 种子杂志,2002,125(5):20-21.
- [6] 李健建. 高温胁迫对黄瓜幼苗生理生化特性影响及其生理机制的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2006.
- [7] HAMERLYNCK E, KNAPP A K. Photosynthetic and stomatal responses to high temperature and light in two oaks at the western limit of their range[J]. Tree Physiology,1996,16(6):557-565.
- [8] BARNABAS B, GAGER K, FEHER A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals[J]. Plant Cell Environ, 2008,31:11-38.
- [9] YAMASAKI T, YAMAKAWA T, YAMANE Y, et al. Temperature acclimation of photosynthesis and related changes in photosystem II electron transport in winter wheat[J]. Plant Physiol, 2002, 128: 1087-1097.
- [10] HE J X, WANG J, LIANG H G. Effects of water on photochemical function and protein metabolism of photosystem II in wheat leaves[J]. Physiol Plant, 1995, 93: 771-777.
- [11] PARIDA A K, DAS A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3):324-349.
- [12] 赵森,于江辉,肖国樱. 高温胁迫对爪哇稻剑叶光合特性和渗透调节物质的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(1):110-115.
- [13] 白鹏威,邹志荣,杨振超,等. 不同温度和光照处理对番茄果实不同部位糖含量的影响[J]. 西北农业学报,2010,19(3):184-187.
- [14] Mc NAIRN R B. Phloem translocation and heat-induced callose formation in field-grown *Gossypia hirsutum* L. [J]. Plant Physiol, 1972,50:366-370.
- [15] DINAR M, RUDICH J, ZANSKI E. Effect of heat stress on carbon transport from tomato leaves[J]. Ann Bot,1985,51:97-103.
- [16] 孟令波,秦智伟,李淑敏,等. 高温胁迫对黄瓜产量及品质的影响[J]. 中国蔬菜,2005(5):4-6.
- [17] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007.
- [18] 赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004.
- [19] 庄学平,张雯,郑彩霞,等. 3 种物质对番茄果实中番茄红素合成量的影响[J]. 安徽农业科学,2007,35(19):54-60.
- [20] 王绍辉,张福漫. 不同土壤含水量对日光温室黄瓜生理特性的影响[J]. 中国蔬菜,2000(增刊):26-29.
- [21] GROSS K C, PHARR D M. A potential pathway for galactose me-

tabolism in *Cucumis sativus* L., a stachose transporting species[J]. Plant Physiol, 1989, 69: 117-121.

[22] 涂三思, 秦天才. 高温胁迫对黄姜叶片脯氨酸、可溶性糖和丙二醛含量的影响[J]. 湖北农业科学, 2004, 37(4): 98-100.

[23] 王海波, 高东升, 王孝娣, 等. 短时间高温处理下桃芽淀粉和可溶性糖含量变化与自然休眠接触的关系[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 615-619.

[24] 郝婷, 丁小涛, 余纪柱, 等. 根际温度对黄瓜幼苗生长及生理生化指标的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(6): 1245-1251.

[25] CRAFTS-BRANDNER S J, SALVUCCI M E. Rubisco constrains the photosynthetic of leaves at high temperature and CO₂[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2000, 97: 13430-13435.

[26] 孟令波, 秦智伟, 刘宏宇. 高温对黄瓜不同品种产量及形态指标的影响[J]. 北方园艺, 2004(3): 52-53.

[27] SMIRNOFF N, WHEELER G L. Ascorbic acid in plants: Biosynthesis and function[J]. Crit Rev Biochem Mol, 2000, 35: 291-314.

[28] 张琳. GDP-D-甘露糖基磷酸化酶(GMPase)基因在番茄中的功

能分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.

[29] 王红彬. CO₂ 施肥条件下高温对温室黄瓜光合性能的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.

[30] 黄英金, 罗永锋, 黄兴作, 等. 水稻灌浆期耐热性的品种间差异及其与剑叶光合特性和内源多胺的关系[J]. 中国水稻科学, 1999, 13(4): 205-210.

[31] 徐晓昀. 高温胁迫对黄瓜叶片光合特性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.

[32] 张桂莲, 陈立云, 张顺堂, 等. 抽穗开花期高温对水稻剑叶理化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(7): 1345-1352.

[33] 欧志英, 林桂珠, 彭长连. 超高产杂交水稻培矮 64S/E32 和两优培九剑叶对高温的响应[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(3): 249-254.

[34] 张洁, 李天来, 徐晶. 昼间高温对日光温室番茄生长发育、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1051-1055.

[35] 张睿佳, 李瑛, 虞秀明, 等. 高温胁迫与外源油菜素对‘巨峰’葡萄叶片光合生理和果实品质的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(4): 590-596.

Effect of High Temperature Stress on Photosynthetic Characteristics and Fruit Quality of Greenhouse Cucumber Leaves in Flowering Stage

XUE Sijia¹, YANG Zaiqiang¹, LI Jun²

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Shanghai Climate Center, Shanghai 200030)

Abstract: In order to study the effects of high temperature stress on the photosynthetic characteristics and fruit quality of greenhouse cucumber crops at flowering stage, artificial environment control tests were conducted to the ‘Nan Za II’, which was chosen as the plant material in Nanjing University of Information Science and Technology from 2014 to 2015. Three high temperature treatments were designed, 36 °C (day)/18 °C (night), 39 °C/18 °C, 42 °C/18 °C, for dealing with 1 day, 3 days, 5 days, 7 days respectively, with 25 °C (day)/18 °C (night) as controls (CK). The results showed that the light saturation point, the maximum photosynthetic rate and the apparent quantum efficiency in leaves were the highest under 42 °C/18 °C treatment for 7 days than that of CK reduced 59.6%, 72.5%, 70.1%, respectively, the light compensation point of leaves under 42 °C/18 °C for 7 days showed the opposite trend. The fruit weight, the minimum fruit diameter, the maximum fruit diameter and the moisture content of cucumber decreased with the increase of high temperature stress, and the fruit external quality became the worst under 39 °C/18 °C for 7 days, and compared with CK, reduced 24.2%, 20.9%, 32.4%, 1.4%, respectively. Under different high temperature stress at flowering stage, the vitamin C content of fruit decreased with the increase of high temperature stress. The vitamin C content of fruit under 39 °C/18 °C for 7 days with the normal temperature treatment reduced 11.3%. The soluble sugar content of fruit with the increase of high temperature stress presented a trend of increasing first and then decreasing. On the first day the soluble protein content of fruit increased with the increase of the temperature, the fifth and seventh day showed the opposite trend. The study suggested that the high temperature stress at flowering stage reduced the photosynthetic performance of leaves, and the reducing amplitude increased with the extension of stress time. High temperature stress at flowering stage made fruit thinner, lighter and reduced the moisture content. Soluble sugar content of fruit increased under mild high temperature stress, and the soluble sugar content of fruit decreased with the increase of the temperature. The short-term high temperature stress at flowering stage increased the soluble protein content, soluble protein content decreased with the increase of the stress time.

Keywords: high temperature; cucumber; photosynthesis; fruit quality