

几种瓜类作物对根际高温胁迫的生理响应

郝婷^{1,2}, 丁小涛¹, 张红梅¹, 金海军¹, 余纪柱^{1*}, 朱月林²

¹上海市农业科学院园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海201403; ²南京农业大学园艺学院, 南京210095

摘要: 以黑籽南瓜、‘春秋王2号’黄瓜、‘傲美’苦瓜、‘兴蔬’丝瓜、‘五叶香’丝瓜为试材, 采用营养液栽培法, 研究了这几种瓜类作物在根际35 °C高温处理下的生长量、光合参数及地上部、地下部的渗透胁迫物质的变化。结果显示: 处理5 d后, 两种丝瓜幼苗的株高、茎粗、叶面积、根长、地上干重及地下干重, 叶片相对叶绿素含量、净光合速率(P_n), 气孔导度(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)与对照相比变化均不大, 而另外三种瓜类的以上指标均受到明显的抑制; 高温使得黑籽南瓜及黄瓜叶片和根系中都积累了大量的膜脂过氧化产物丙二醛(MDA), 渗透调节物质脯氨酸和可溶性蛋白含量在叶片中增大, 但在根系中却减小, 而处理下‘五叶香’丝瓜的MDA含量与对照差异不显著, 且两种渗透调节物质表现为叶片中减小根系中增大; 处理下‘兴蔬’丝瓜根系中MDA的减少量及可溶性蛋白的增加量都大于‘傲美’苦瓜。结果表明, 根际高温下两个丝瓜品种, 特别是‘五叶香’丝瓜有较高的耐受力, 通过提高根系中的渗透调节物质含量来降低根际高温对植株整体造成的伤害。

关键词: 瓜类作物; 根际高温胁迫; 生长; 光合参数; 渗透调节物质

Growth and Physiological Reaction of Different Cucurbit Crops in the High Root-Zone Temperature Stress

HAO Ting^{1,2}, DING Xiao-Tao¹, ZHANG Hong-Mei¹, JIN Hai-Jun¹, YU Ji-Zhu^{1*}, ZHU Yue-Lin²

¹Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology, Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; ²College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: The fig-leaf gourd (*Cucurbita ficifolia* Bouché), cucumber cultivar Chunqiuwang No.2 (*Cucumis sativus* L. cv. Chunqiuwang No. 2), Aomei bitter gourd (*Momordica charantia* L. cv. Aomei), Xingshu and Wuyexiang towel gourd (*Luffa cylindrica* Roem. cv. Xingshu and cv. Wuyexiang) were used as test materials to investigate the effects of 35 °C root-zone temperature on the growth, photosynthesis parameters and osmotic regulation substances of the above cucurbit crop seedlings under hydroponic cultivation. The results showed that differences of growth, relative chlorophyll content and gas exchange parameters in leaves between controlled towel gourd and check ones were not significant, while the other cucurbit crops had a reverse trend. The content of malondialdehyde (MDA), a lipid peroxidation, was accumulated in leaves and roots and the contents of proline and soluble protein, two osmotic regulation substances, were increased in the leaves and decreased in the roots at fig-leaf gourd and cucumber seedlings when they were treated, while Wuyexiang towel gourd showed a contrary tendency and there was no differences compared with the control at MDA. The decrement of MDA and the increment of soluble protein in Xingshu towel gourd were higher than those in Aomei bitter gourd. The results indicated that the two towel gourd, especially Wuyexiang, depressed the damage to the whole plant resulting from high root-zone temperature by increasing the contents of osmotic regulation substances of root, the high temperature working part directly.

Key words: cucurbit crops; high root-zone temperature stress; growth; photosynthesis parameters; osmotic regulation substances

黑籽南瓜、黄瓜、苦瓜、丝瓜为栽培上重要的瓜类作物, 但由于起源地不同, 对温度的敏感程度各异。在生产实践中, 夏秋季栽培特别是密闭的棚室栽培, 午后气温经常超过40 °C, 地温也会高于30 °C, 甚至超过32 °C (Matsuoka和Suhardiyanto

1992), 这对瓜类作物的生产极为不利, 且由大气

收稿 2013-11-28 修定 2014-02-17

资助 上海市科委重大项目(13231204200)和国家科技支撑项目(2011BAD43B02)。

* 通讯作者(E-mail: yy2@saas.sh.cn; Tel: 021-52235451)。

CO₂浓度增高引起的全球气候变暖问题已日益严重(高春娟等2012)。高温对植物造成的伤害是多方面的, 高温不仅影响植物体内保护酶活性及渗透胁迫物质的含量(李健健等2007; 孙艳和徐伟军2007; 田婧和郭世荣2012), 还对光合机构造成伤害(马德华等1997; Moon等2007); 根际高温也会对植物造成影响, 如抑制黄瓜植株的生长, 增大叶片中脱落酸的含量, 降低叶片气孔导度、叶片含水量及根系中细胞分裂素等(Nada等2003; Moon等2007; Zhang等2007), 但关于根际高温对其他瓜类作物生长的影响及根际高温处理下不同瓜类作物的叶绿素含量、光合作用以及地上部、地下部膜脂过氧化产物丙二醛(malondialdehyde, MDA)、渗透调节物质含量的影响, 还尚未见报道。本试验以常见的几种瓜类作物为材料, 就以上问题做了详细的研究, 旨在探明敏感性不同的几种瓜类作物对根际高温的生理响应, 明确根际温度对蔬菜生长的重要作用, 为瓜类作物耐高温材料的鉴定及耐高温砧木的筛选提供一定的理论依据。

材料与amp;方法

1 材料

黑籽南瓜(*Cucurbita ficifolia* Bouché)、‘春秋王2号’黄瓜(*Cucumis sativus* L. cv. Chunqiuwang No. 2)、‘傲美’苦瓜(*Momordica charantia* L. cv. Aomei)、‘兴蔬’丝瓜及‘五叶香’丝瓜(*Luffa cylindrica* Roem. cv. Xingshu and cv. Wuyexiang), 五种瓜类作物均由上海市农业科学院园艺研究所提供。水培通气泵(RESUN AIR PUMP), 购自于广东日生集团有限公司。水培根部加热棒为艾柯电子显示加热棒(功率100 W), 购自于新加坡仟湖集团(上海)国际贸易有限公司。

2 方法

试验于2013年上海农业科学院庄行综合试验站玻璃温室进行。3月22日将黑籽南瓜、‘春秋王2号’黄瓜、‘傲美’苦瓜、‘兴蔬’丝瓜、‘五叶香’丝瓜干种子消毒、浸种催芽后播种, 待两片子叶完全展平后即可移苗, 选取长势一致的健壮幼苗将其移栽到嵌有小孔的大小约为37.5×24.5×3 cm (长×宽×高)的泡沫板上, 进行水培, 幼苗用岩棉固定于泡沫板上, 根系浸入容积约38×25×20 cm (长×宽×

高)装有栽培液的塑料盆中, 每盆一板。营养液采用山崎配方, 调节电导率在2.3~2.5 mS·cm⁻¹ (电导率仪型号DDB-303A, 上海镭磁公司)每隔5 d换一次营养液, 定期测定栽培液的pH值及电导率, 栽培期间用通气泵24 h连续通气。

4月23日进行根际35 °C高温处理(H), 此时黑籽南瓜、黄瓜各为4片真叶, 苦瓜为6片真叶, 丝瓜为3片真叶, 试验以根际25 °C为对照(CK)。试验中的五个瓜类品种, 分别记为黑籽南瓜C.f、‘春秋王2号’黄瓜C.s、‘傲美’苦瓜M.c、‘兴蔬’丝瓜L.cx、‘五叶香’丝瓜L.cw; 每个品种2个处理, 每处理3盆, 作为3次重复, 每盆8株, 盆底各放一个加热棒, 调节到相应温度即可进行加热, 达到设定温度后仪器自动停止加热并维持水温恒定。处理5 d后测定幼苗的生长量及光合参数, 并剪取每株的3~4片真叶及根系, 去除主脉、主根, 分别剪碎各自混合后贮藏于-80 °C的冰箱中用于叶片和根系生理生化指标的测定。

3 测量项目与方法

株高及根长用尺子测量, 株高为子叶到生长点的高度, 根长以最长须根为准; 用游标卡尺测定上胚轴的茎粗; 用蒸馏水冲洗植株, 从子叶节处截断, 放于烘箱中105 °C杀青30 min, 80 °C条件下烘干至恒重, 称量其地上干重、地下干重; 叶面积的测定方法按照苑克俊等(2006)的方法; 用LI-6400型光合仪(美国LI-COR公司生产)测定净光合速率(P_n), 气孔导度(G_s)、胞间CO₂浓度(C_i)与蒸腾速率(T_r), 测量的光强均设置为600 μmol·m⁻²·s⁻¹, CO₂浓度为(400±10) μL·L⁻¹。相对叶绿素含量采用SPAD (Soil and Plant Analyzer Development) 502型手提式叶绿素计进行测定(日本美能达有限公司生产)。脯氨酸含量采取磺基水杨酸提取法测定(王学奎2000), 可溶性蛋白(Bradford 1976)、MDA (Heath和Packer 1968)分别按照所给文献方法测定。

4 数据处理及分析

试验数据用Microsoft Excel绘图, 采用SAS统计软件对试验数据进行方差分析和Tucky’s多重比较。

实验结果

1 根际高温对几种瓜类作物生长的影响

由表1可知, 根际高温处理5 d后, 黑籽南瓜和

表1 根际高温对几种瓜类作物生长的影响
Table 1 Effects of high root-zone temperature stress on the growth of five cucurbit crops

作物	处理	株高/cm	茎粗/cm	叶面积/cm ²	根长/cm	地上干重/g	地下干重/g
C.f	CK	35.83±0.76 ^a	0.83±0.03 ^a	1 047.37±6.51 ^a	46.57±0.40 ^a	5.29±0.45 ^a	0.64±0.02 ^a
	H	18.50±0.50 ^b	0.71±0.04 ^b	638.05±6.73 ^b	31.17±0.76 ^b	2.73±0.12 ^b	0.37±0.06 ^b
C.s	CK	12.33±0.29 ^a	0.57±0.03 ^a	366.97±4.03 ^a	23.17±0.76 ^a	1.63±0.15 ^a	0.36±0.01 ^a
	H	9.33±0.12 ^b	0.51±0.02 ^b	282.02±3.48 ^b	12.10±0.36 ^b	1.00±0.07 ^b	0.10±0.01 ^b
M.c	CK	38.17±0.76 ^a	0.33±0.03 ^a	460.50±7.62 ^a	28.17±0.76 ^a	1.43±0.03 ^a	0.24±0.01 ^a
	H	31.67±0.76 ^b	0.30±0.04 ^a	345.53±7.61 ^b	26.83±0.76 ^a	0.99±0.03 ^b	0.20±0.01 ^b
L.cx	CK	23.63±0.32 ^a	0.35±0.03 ^a	407.45±4.08 ^b	19.17±0.29 ^b	1.87±0.02 ^a	0.23±0.01 ^a
	H	23.83±0.76 ^a	0.34±0.02 ^a	465.47±6.38 ^a	22.33±0.58 ^a	1.73±0.02 ^b	0.19±0.02 ^b
L.cw	CK	31.47±0.93 ^a	0.38±0.02 ^a	454.40±9.03 ^a	27.17±0.76 ^a	1.71±0.03 ^a	0.37±0.04 ^a
	H	30.68±0.78 ^a	0.37±0.03 ^a	454.22±4.83 ^a	28.10±0.85 ^a	1.41±0.07 ^a	0.31±0.03 ^a

CK表示25 °C对照; H表示35 °C根际高温处理; C.f代表黑籽南瓜, C.s代表‘春秋王2号’黄瓜, M.c代表‘傲美’苦瓜, L.cx代表‘兴蔬’丝瓜, L.cw代表‘五叶香’丝瓜; 同一作物同一指标所标的不同小写字母表示差异达5%的显著水平, 下同。

黄瓜的株高、茎粗、地上干重及地下干重均显著低于对照, 而两种丝瓜的株高、茎粗差异不显著; ‘五叶香’丝瓜植株经根际高温处理后叶面积和地下干重均略微降低, 但差异不显著, 而‘兴蔬’丝瓜处理后的叶面积显著高于对照, 其他瓜类植株的叶面积和地下干重则表现为显著低于对照, 特别是黑籽南瓜和黄瓜, 其叶面积分别比对照下降39%和23%, 地下干重分别比对照下降43%和73%; 处理后黑籽南瓜、黄瓜、‘傲美’苦瓜的根长均小于对照, ‘兴蔬’丝瓜及‘五叶香’丝瓜的根长均大于对照, 且根长在‘傲美’苦瓜与‘五叶香’丝瓜的处理组和对照之间差异不显著, 其余瓜类作物差异显著; 五种瓜类作物的地上干重在处理5 d后都有所降低, 且显著低于对照(‘五叶香’丝瓜除外)。

2 根际高温对几种瓜类作物相对叶绿素含量的影响

由图1可知, 处理5 d后黑籽南瓜、黄瓜、‘傲

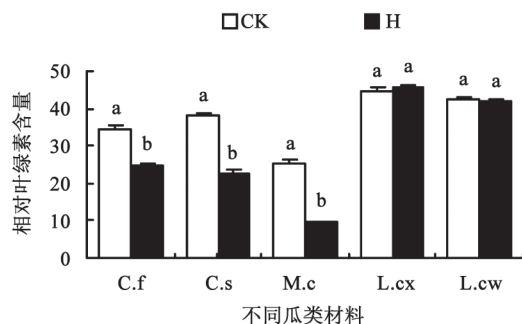


图1 根际高温对几种瓜类作物叶片相对叶绿素含量的影响
Fig.1 Effects of high root-zone temperature on relative chlorophyll content in the leaves of five cucurbit crops

美’苦瓜的相对叶绿素含量均显著降低, 且分别比对照下降了28%、41%、62%, ‘傲美’苦瓜下降尤为明显, 叶片失绿变黄, 植株生长较弱; 处理后‘兴蔬’丝瓜的相对叶绿素含量略微升高, 而‘五叶香’丝瓜则有些许的降低, 但与对照相比, 二者变化差异均不显著。

3 根际高温对几种瓜类作物叶片光合参数的影响

由图2-A可知, 两种丝瓜在处理5 d后叶片 P_n 没有下降, 反而升高, 但与对照相比差异不显著, 黑籽南瓜、黄瓜、‘傲美’苦瓜 P_n 均显著低于对照, 分别比对照下降84.3%、74.4%、44.8%; 五种瓜类作物处理后 C_i 、 G_s 、 T_r 均低于对照, 且差异达显著水平(‘傲美’苦瓜 C_i 与‘五叶香’丝瓜 T_r 除外), 其中黑籽南瓜、黄瓜下降最为明显, ‘傲美’苦瓜次之, 两种丝瓜与对照相比略微下降(图2-B~D)。

4 根际高温对几种瓜类作物地上部及地下部MDA、脯氨酸及可溶性蛋白含量的影响

如图3-A和B所示, 处理5 d后黑籽南瓜和黄瓜叶片、根系中的MDA含量均显著升高, 分别是对照的2.5倍、1.5倍和1.75倍、1.28倍; 处理后‘傲美’苦瓜与‘兴蔬’丝瓜叶片中MDA含量均显著高于对照, 但在根系中表现则相反; ‘五叶香’丝瓜处理后叶片MDA含量略微升高, 根系中MDA有所下降, 且差异均不显著。

‘五叶香’丝瓜叶片中的脯氨酸在处理5 d后显著低于对照, 根系中则显著高于对照, 而黑籽南瓜、黄瓜、‘傲美’苦瓜和‘兴蔬’丝瓜叶片与根系中的脯氨酸变化情况与‘五叶香’丝瓜相反, 表现为处理后

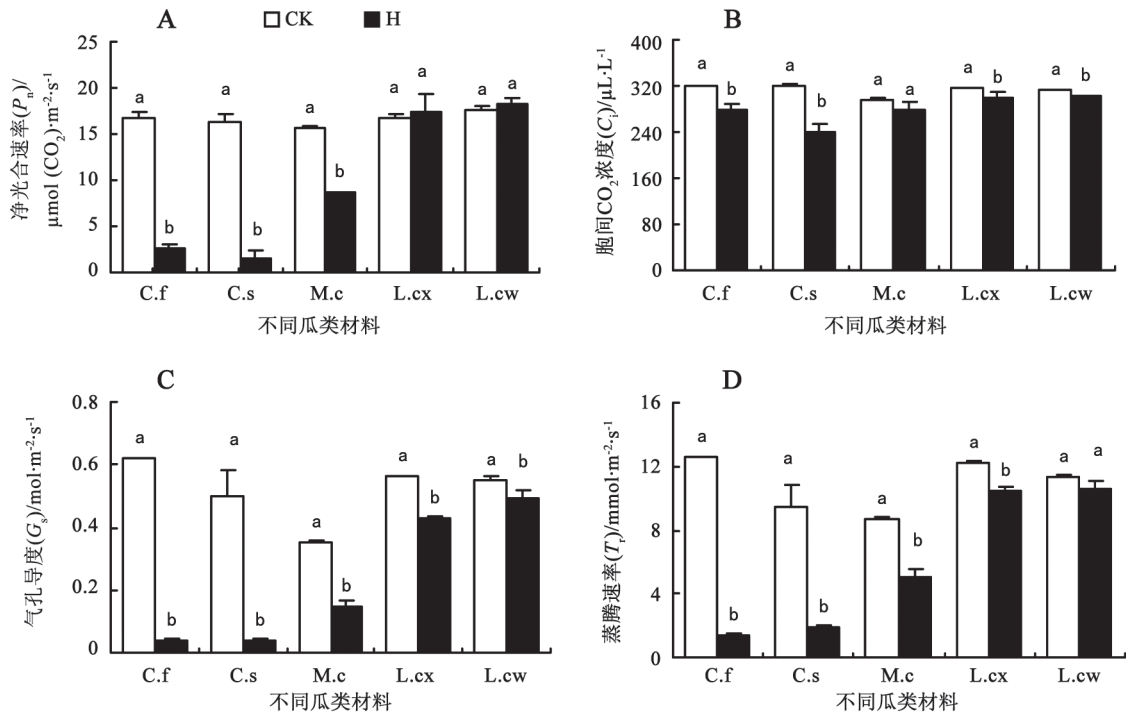


图2 根际高温对几种瓜类作物叶片 P_n (A)、 C_i (B)、 G_s (C)和 T_i (D)的影响

Fig.2 Effects of high root-zone temperature on P_n (A), C_i (B), G_s (C) and T_i (D) in the leaves of five cucurbit crops

叶片中脯氨酸含量均显著高于对照,且分别是对照的1.2倍、4.8倍、1.8倍和2倍,而根系脯氨酸含量均显著低于对照(‘傲美’苦瓜差异不显著),分别比对照降低了52.7%、25.8%、13.1%和44.6%(图3-C和D)。

由图3-E和F可知,处理后可溶性蛋白含量在黑籽南瓜、黄瓜、‘傲美’苦瓜叶片中都有所升高,但在根系中则下降,而另外两种丝瓜则表现为相反的趋势,即叶片中的可溶性蛋白含量下降,根系中则升高,且差异均达显著水平。

讨 论

虽然植物地上部和地下部都同时会受到高温胁迫的影响,但很多研究表明,过高的根际温度与高温相比,对植物地上部和根系造成的影响更大(Moon等2007; Tahir等2008)。本试验中根际高温处理5 d后,黑籽南瓜和黄瓜的生长量都显著减小,这与前人的研究结果一致(Wang和Tachibana 1996; 张永平2007),‘傲美’苦瓜次之,‘兴蔬’丝瓜及‘五叶香’丝瓜表现最好,高温对其根长及地下干重影响不大,说明根系还可以正常的吸收水分和养

分以供植物体地上部的生长和利用,这从相对叶绿素含量、叶面积及地上干重的变化可以看出,两种丝瓜在根际高温下,地上部和地下部的生长与对照相比变化均不大,显示出了较好的耐热能力。叶绿素含量即可以反映植物的光合能力,又可以作为衡量植物抗逆性的指标(Patel和Hemantaranjian 2012)。黑籽南瓜、黄瓜、‘傲美’苦瓜在处理5 d后, P_n 、 G_s 、 T_i 都明显下降,且 C_i 也在下降,据Farquhar和Sharkey (1982)对引起光合速率下降的因素进行分析,得知此时抑制光合的原因主要是气孔因素,叶片光合参数通常是植物外部环境因子和内部生理反应综合作用的结果(尹贇鹏等2011),试验中黄瓜 P_n 的降低可能是根际高温下叶片中脱落酸含量增加,使得叶片气孔关闭, G_s 下降,造成核酮糖-1, 5-二磷酸羧化酶(Rubisco)活性降低(Nada等2003),导致光合作用的降低,其他两种瓜类 P_n 的下降可能也有类似的原因;根系是植物吸收水分和营养的主要器官,它的发育既受生长环境的影响,也受地上部分光合产物的影响(王鹏等2011),两种丝瓜在处理5 d后 P_n 高于对照,根系生长受到的影响也较小, C_i 的略微降低可能是由于 G_s 减小

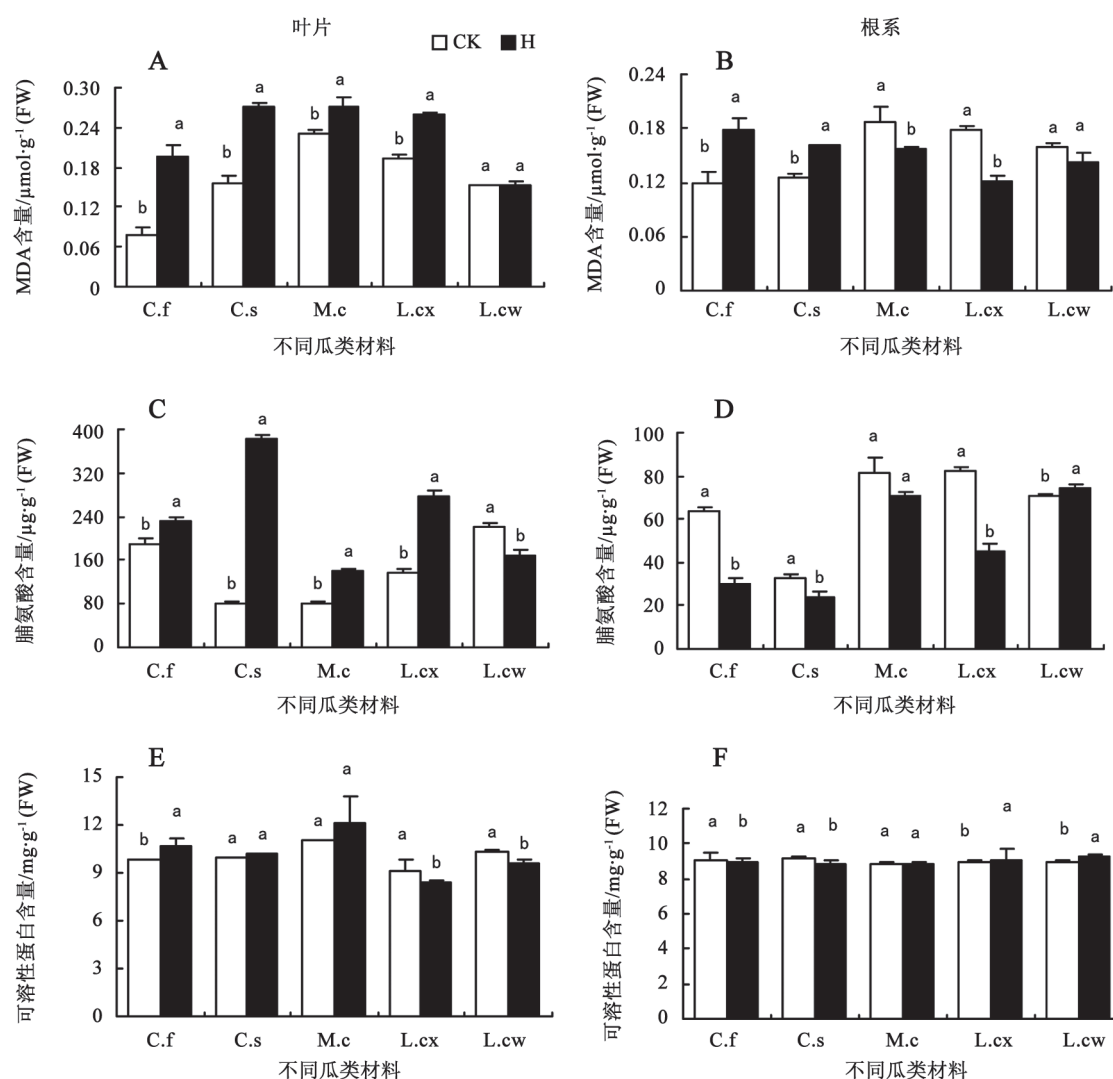


图3 根际高温对几种瓜类作物叶片(A、C、E)和根系(B、D、F)中MDA、脯氨酸、可溶性蛋白含量的影响
Fig.3 Effects of high root-zone temperature on MDA, proline and soluble protein content in leaves (A, C, E) and roots (B, D, F) of five cucurbit crops

或 P_n 升高引起,且高根际温度对二者 T_r 的影响也较小,说明根际高温对两种丝瓜的气体交换参数影响不大,这可能与丝瓜具有较高的光合电子传递能力和较强光呼吸热耗散能力(张永平2007)有关。

植物细胞膜结构和功能的稳定性是植物抵抗温度胁迫必不可少的条件,高温首先破坏细胞膜的结构,导致细胞液外渗,膜脂过氧化产物MDA含量增多(Zhao等2011),本试验黑籽南瓜及黄瓜叶片和根系中MDA的大量产生说明细胞膜的稳定性在根际高温处理下遭到破坏,引起膜脂过氧化程度加剧,这在‘傲美’苦瓜及‘兴蔬’丝瓜的叶片中也有

类似情况,而‘五叶香’丝瓜根系中MDA含量小于对照,说明根系细胞膜在处理下没有遭到破坏,这可能是高温直接作用部位的抗氧化酶系统发挥了作用,有待进一步研究。植物细胞在逆境下能主动形成渗透调节物质,提高细胞液的浓度,以利于从外界获得水分,适应逆境胁迫。脯氨酸合成于植物的叶绿体和细胞质中(谢虹等2011),能增加蛋白质分子的水合度并保护蛋白质分子,维持光合活性,而且是目前唯一可作为活性氧清除剂的可溶性渗透调节物质(王丽媛等2010),处理下‘五叶香’丝瓜高温直接作用部位——根系中脯氨酸含量

的升高,说明植物对根际高温的胁迫是主动应对的,通过增加根系中脯氨酸的含量来降低根系水势,以利根系能更好的吸收水分、养分;处理下叶片中脯氨酸含量表现为小于对照,可能是根际高温使得叶片合成的脯氨酸被运输到了根系中发挥保护作用,但该结论有待进一步验证。可溶性蛋白的增加能提高细胞的持水能力,关于高温下植物体内可溶性蛋白含量的变化,前人的研究结果不一致(马德华等1999;冯兆忠等2005),但有研究表明逆境下热激蛋白的产生是存在的,并提出它能提高植物对高温的耐受性(Wang和Luthe 2003),处理下两种丝瓜体内的可溶性蛋白含量变化表现为叶片中下降,根系中升高,这可能与高温下热激蛋白的产生或可溶性蛋白在植物体内的运输有关。

综上所述,高根际温度抑制了黑籽南瓜、黄瓜、‘傲美’苦瓜幼苗的生长,导致叶片中叶绿素含量减少,光合能力下降,而另外两种丝瓜,特别是‘五叶香’丝瓜,通过增加高温直接作用部位的渗透调节物质的含量,降低MDA的累积,使得根系在根际高温下的生长受到保护,能顺利地吸收水分和营养,以利植株地上部的光合同化及生长,保持了良好的整体长势,进一步提高了植株对根际高温的耐受力,试验中‘五叶香’丝瓜的耐高温特性为其作为瓜类作物耐高温砧木奠定了一定的理论基础。

参考文献

- 冯兆忠,周华英,冯宗炜,王效科(2005). 高温胁迫下三唑酮对黄瓜幼苗某些生理性质的影响. 西北植物学报, 25 (1): 170~173
- 高春娟,夏晓剑,师恺,周艳虹,喻景权(2012). 植物气孔对全球环境变化的响应及其调控防御机制. 植物生理学报, 48 (1): 19~28
- 李建设,郁继华,常雅君,徐晓昀,聂书明(2007). 高温胁迫对黄瓜幼苗叶片质膜透性及保护酶活性的影响. 长江蔬菜, (9): 59~61
- 马德华,庞金安,霍振荣,李淑菊(1999). 黄瓜对不同温度逆境的抗性研究. 中国农业科学, 32 (5): 28~35
- 马德华,庞金安,李淑菊(1997). 高温对黄瓜幼苗叶片光合作用及呼吸作用的影响. 天津农业科学, 3: 38~40
- 孙艳,徐伟君(2007). 高温胁迫对不同黄瓜品种幼苗中抗坏血酸代谢的影响. 西北农业学报, 16 (6): 164~169
- 田婧,郭世荣(2012). 黄瓜的高温胁迫伤害及其耐热性研究进展. 中国蔬菜, (18): 43~52
- 王丽媛,丁国华,黎莉(2010). 脯氨酸代谢的研究进展. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 26 (2): 84~89
- 王鹏,杨迎霞,宋建,张越,陈受宜,王景安,刘仲齐(2011). 烟草 *NTHK1* 基因提高杨树根系的耐盐性. 植物生理学报, 47 (12): 1155~1160
- 王学奎(2000). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 278~279
- 谢虹,杨兰,李忠光(2011). 脯氨酸在植物非生物胁迫耐性形成中的作用. 生物技术通报, (2): 23~27, 60
- 尹颢鹏,刘雪梅,商志伟,任静,宋兴舜(2011). 不同干旱胁迫下欧李光合及叶绿素荧光参数的响应. 植物生理学报, 47 (5): 452~458
- 苑克俊,刘庆忠,李圣龙,陈秀霞(2006). 利用数码相机测定果树叶面积的新方法. 园艺学报, 33 (4): 829~832
- 张永平(2007). 瓜类作物对温、光环境变化的响应: 光能利用与活性氧代谢[学位论文]. 杭州: 浙江大学
- Bradford MM (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem, 72: 248~254
- Farquhar GD, Sharkey TD (1982). Stomatal conductance and photosynthesis. Annu Rev Plant Physiol, 33: 317~345
- Heath RL, Packer L (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Arch Biochem Biophys, 125: 189~198
- Matsuoka T, Suhardiyanto H (1992). Thermal and flowing aspects of growing petty tomato in cooled NFT solution during summer. Environ Control Biol, 30 (3): 119~125
- Moon JH, Boo HO, Jang IO (2007). Effect of root-zone temperature on water relations and hormone contents in cucumber. Hort Environ Biotechnol, 48 (5): 257~264
- Nada K, He LX, Tachibana S (2003). Impaired photosynthesis in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by high root-zone temperature involves ABA-induced stomatal closure and reduction in ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity. J Japan Soc Hort Sci, 72 (6): 504~510
- Patel PK, Hemantaranjan A (2012). Salicylic acid induced alteration in dry matter partitioning, antioxidant defence system and yield in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Asian J Crop Sci, 4 (3): 86~102
- Tahir ISA, Nakata N, Yamaguchi T, Nakano J, Ali AM (2008). Influence of high shoot and root-zone temperatures on growth of three wheat genotypes during early vegetative stages. J Agron Crop Sci, 194: 141~151
- Wang DF, Luthe DS (2003). Heat sensitivity in a bent grass variant failure to accumulate a chloroplast heat shock protein isoform implicated in heat tolerance. Plant Physiol, 133: 319~327
- Wang YH, Tachibana SJ (1996). Growth and mineral nutrition of cucumber seeding as affected by elevated air and root-zone temperatures. J Japan Soc Hort Sci, 64 (4): 845~852
- Zhang YP, Zhang YL, Zhou YH, Yu JQ (2007). Adaptation of cucurbit species to changes in substrate temperature: Root growth, antioxidants, and peroxidation. J Plant Biol, 50 (5): 527~532
- Zhao XH, Nishimura Y, Fukumoto Y, Li JC (2011). Effect of high temperature on active oxygen species, senescence and photosynthetic properties in cucumber leaves. Environ Exp Bot, 70: 212~216