

高温胁迫对不同耐热性菜心材料 生理特性的差异研究

李荣华¹, 郭培国¹, 张 华², 黄红弟², 郑岩松², 夏岩石¹

(1. 广州大学 生命科学院, 广东 广州 510006; 2. 广州市农业科学研究院, 广东 广州 510308)

摘 要:以 4 个耐热性存在差异的菜心品种(系)为试材, 研究持续高温胁迫对菜心叶片中渗透调节物质、电解质渗漏率、活性氧的产生与清除的影响。结果表明:短期(1 d)高温胁迫下, 除过氧化氢酶(CAT)酶活性在耐热性弱的菜心材料中急剧增加, 且达到活力最高值外, 其它性状如脯氨酸和甜菜碱含量、电解质渗漏率、丙二醛(MDA)含量、 O_2^- 产生速率、 H_2O_2 含量、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)酶活性出现小幅度增加, 且这些性状的值在 4 个菜心材料间差异不大; 随着高温胁迫处理时间的延长(3~7 d), 生理指标在 4 个材料中呈现不同程度的增加, 表现出耐热性强的材料的甜菜碱含量、SOD、POD 和 CAT 酶活性均明显高于耐热性弱的材料, 电解质渗漏率、MDA 含量、 O_2^- 产生速率、 H_2O_2 含量则明显低于耐热性弱的材料; 而脯氨酸含量的高低则未表现出与菜心耐热性强弱的对应关系。

关键词:菜心; 高温胁迫; 渗透调节物质; 活性氧; 清除

中图分类号:S 634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)01-0001-06

菜心 (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee) 属十字花科芸薹属白菜亚种中以花薹为产品的一个变种, 又称菜薹, 属于较不耐热喜冷凉的蔬菜作物, 是我国华南地区种植面积最大的特色蔬菜之一^[1]。近几十年来全球温室效应增强, 气候逐渐变暖, 造成夏季的炎热期延长, 极端高温、热浪等事件频发, 加剧了农作物产量的损失^[2]。对华南地区的菜心生产来讲, 盛夏秋初常常遇到持续高温天气, 严重影响菜心的生长发育, 造成菜薹细小产量明显下降的现象^[1,3]。认识和了解菜心高温胁迫生理, 有助于采取措施提高抗逆性, 并可为耐高温品种的筛选提供生理指标。但与其它蔬菜作物如黄瓜、番茄等相比, 高温胁迫对菜心生理特性的影响及其适应性机理等方面的研究报道很少; 到目前为止, 只有 6 篇论文报道此方面的研究, 其中主要是以菜心子叶期幼苗、茎尖培养再生苗和愈伤组织为材料, 探讨高温胁迫下其游离脯氨酸含量的变化及与耐热性的关系, 并表明脯氨酸的积累可以提高菜心的耐热性^[3-8]。该试验在持续高温胁迫下对 4 个在耐热性上具

有明显差异的菜心品种(系)叶片的渗透性调节物质、活性氧的产生与保护性酶活性、电解质渗漏率和丙二醛含量等进行了研究, 以期的菜心耐热育种和夏季高产栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以广州市农业科学院提供的 4 个菜心品种(系) (“油绿 501”、“四九-19 号菜心”、“3T6”和“太油 50-1”)为试材, 其中“油绿 501”和“四九-19 号菜心”为广州市农业科学院选育出的耐热性强菜心品种, “3T6”和“太油 50-1”为耐热性弱的稳定的菜心品系。

1.2 试验方法

1.2.1 田间种植试验 田间试验安排在广州大学作物种植试验站进行, 7 月上旬播种。试验采用随机区组排列设计, 每小区面积为 10 m², 3 次重复, 共 12 个小区。播后用遮阳网覆盖畦面, 出苗后随即揭开遮阳网进行疏苗。播前施足基肥, 然后精细整地, 开沟, 行播, 行距约 15 cm。幼苗具 3 片真叶时进行间苗和定苗, 每小区定苗数基本一致, 按常规措施进行田间管理。在菜心采收期分别测定生物量和产量。

1.2.2 高温胁迫处理试验 将菜心种子播种于盛有混合基质的育苗盘中, 盘中穴孔为 6 cm(长)×6 cm(宽)×7 cm(深), 置于设定白天 28℃(光强为 5 000 lx)/12 h、夜间 20℃/12 h 光暗交替的智能化微电脑控制人工气候箱 MGC-350HP 中; 出苗后进行疏苗, 每穴保留 1 株幼苗, 待幼苗长至 3 叶 1 心时, 取出部分材料到另一人工气

第一作者简介:李荣华(1966-), 女, 硕士, 实验师, 现从事作物逆境生物学和分子育种的研究工作。E-mail: ronghua@gzhu.edu.cn。

责任作者:郭培国(1963-), 男, 博士, 教授, 现从事作物逆境生物学和分子育种的教学和研究工作。E-mail: guopg@gzhu.edu.cn; guopg@yahoo.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30871526); 广州市科技支撑计划资助项目(2009Z1-E801)。

收稿日期:2011-09-29

候箱进行高温胁迫处理,其余保留在原人工气候箱作对照。高温胁迫的条件按李植良等^[9]模拟广州7、8月份田间高温和光照条件,稍作修改;每天6:00~8:00:30℃、2 600 lx;8:00~10:00:32℃、5 300 lx;10:00~12:00:35℃、8 000 lx;12:00~15:00:38℃、8 000 lx;15:00~16:00:36℃、8 000 lx;16:00~18:00:34℃、5 300 lx;18:00~20:00:32℃、2 600 lx;20:00至翌日6:00:28℃、黑暗。人工气候箱内的相对湿度控制在70%~80%。在高温胁迫处理的0、1、3、5和7 d随机选择5株取样,测定和分析处理与对照材料相关的生理生化指标,每个指标测定3次。鉴于在对照条件下各时间点所测生理指标数据与高温胁迫处理前(即0 d)数据未出现显著的差异,故结果未在文中列出。

1.3 指标测定

电解质渗漏率的测定依据 Mishra 等^[10]利用电导率仪测定的方法来判断细胞质膜的受损情况,并计算得出电解质渗漏率;丙二醛含量的测定采用郝再彬等^[11]的硫代巴比妥酸法;超氧化物阴离子(O_2^-)的测定按王爱国等^[12]的方法进行测定; H_2O_2 含量的测定按郭培国等^[13]的方法进行测定;蛋白质含量的测定按 Bradford^[14]的考马斯亮蓝 G250 比色法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定按 Giannopolitis 和 Ries^[15]的方法,以抑制 NBT(氯化硝基四氮唑蓝)光化还原 50%作为 1 个酶活力单位;过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性测定按郭培国等^[13]的方法测定;脯氨酸含量的测定按李合生^[16]酸性茚三酮显色法测定;甜菜碱含量按郭培国等^[17]的方法进行测定。

1.4 数据分析

运用 Genstat 7.1 统计分析软件对数据进行统计分析,在 Excel 2003 中绘制数据图。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫对菜心产量的影响

在盛夏高温田间种植情况下,4个菜心材料的产量存在着一定的差异,以“四九-19号菜心”最高(14.95 t/hm²),“油绿 501”其次(13.71 t/hm²),二者之间的差异较小,未达到显著差异水平,但均显著的高于“太油 50-1”的 6.31 t/hm² 和“3T6”的 3.21 t/hm² 的产量(图 1)。此结果进一步验证了广东省农业科学院研究得出的“四九-19号菜心”和“油绿 501”的耐热性明显高于“太油 50-1”和“3T6”的结论。

2.2 高温胁迫对电解质渗漏率和丙二醛含量的影响

高温对植物伤害的特征之一是增加了质膜透性^[18]。该研究发现 4 个菜心材料在高温胁迫下电解质渗漏率均出现增加,且有随着胁迫时间的延长,4 个菜心材料的电解质渗漏率均出现逐渐增加的趋势,但 4 个菜心品种(系)的增加趋势具有明显的差异(图 2A)。耐热材料“四

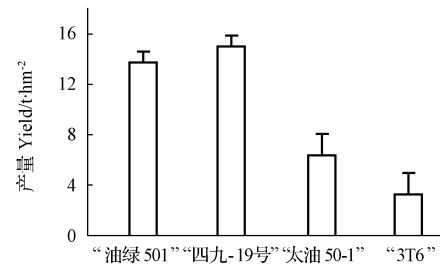


图 1 高温对 4 个菜心材料产量的影响

Fig. 1 Effect of high temperature on the yield of four flowing Chinese cabbage genotypes

九-19号菜心”和“油绿 501”的变化趋势基本一致,在胁迫处理的第 3 天电解质渗漏率增加幅度较大,但其后随着胁迫时间的延长,增加的幅度较小,基本上保持在一个相对稳定的水平;而耐热性弱的“太油 50-1”和“3T6”的电解质渗漏率在遭受高温胁迫的第 1 天与耐热性强的材料间无明显的差异,但随着高温胁迫时间的逐渐增加,电解质渗漏率出现快速增加的趋势,且其值远远高于 2 个耐热性强的菜心材料。该结果表明高温胁迫可造成细胞膜系统的损伤,耐热性弱的菜心材料损伤程度远远大于耐热性强的菜心材料。

丙二醛含量是膜脂遭受氧自由基攻击产生过氧化作用的最终产物,遭受胁迫后叶片中丙二醛含量的高低可反应膜脂过氧化程度大小。从图 2B 可见,短期的高温胁迫(1 d),4 个菜心材料叶片中的丙二醛含量增加不显著,且各材料之间的差异不大;但随着高温胁迫时间的延长,2 个耐热性弱的材料的丙二醛含量具有呈直线上升的趋势,明显高于 2 个耐热性强的材料;而耐热性强的菜心材料的丙二醛含量在整个胁迫处理的前 3 d 增加较少,在胁迫处理的 3 d 后丙二醛含量才呈明显上升的趋势。这个结果表明,耐热性强的菜心材料在高温胁迫下所受到活性氧的攻击较少,膜脂受损程度较低。

2.3 高温胁迫对甜菜碱和脯氨酸含量的影响

甜菜碱是某些植物在应对环境胁迫时所产生的主要渗透调节物质^[19]。在非胁迫条件下,4 个菜心材料叶片中甜菜碱含量基本保持在一个较低的水平,为 120~140 ng/g FW 之间,且各材料间没有表现出明显的差异(图 3A)。持续高温胁迫下,耐热性强与耐热性弱材料的甜菜碱含量出现明显变化,表现在耐热性强的“四九-19号菜心”和“油绿 501”叶片中甜菜碱含量快速直线上升,而 2 个耐热性弱的菜心材料小幅平缓地上升;在胁迫的第 1 天,“四九-19号菜心”和“油绿 501”的甜菜碱含量就已显著高于“太油 50-1”和“3T6”;胁迫第 7 天,“四九-19号菜心”和“油绿 501”的叶片中的甜菜碱含量分别高达 351 和 332 ng/g FW,分别是高温胁迫前的 2.9 和 2.4 倍;而“太油 50-1”和“3T6”分别为 185 和 201 ng/g FW,均为胁迫处理前的 1.5 倍。此结果表明,甜菜碱含量的高低

与菜心耐热性强弱有较为密切的关系。

从图 3B 可看出,高温胁迫下 4 个菜心材料叶片中游离脯氨酸含量随胁迫时间的增加而逐渐增加,但不同菜心材料间增加的幅度具有一定差异。7 d 的高温胁迫处理,“3T6”脯氨酸含量最高且增加的幅度较大,“油绿 501”与“太油 50-1”之间的脯氨酸含量差异不大,其增幅基本一致,而耐热性强的“四九-19 号菜心”脯氨酸含量最低,增加的幅度最少。胁迫第 7 天,“四九-19 号菜心”、“油绿 501”、“太油 50-1”和“3T6”脯氨酸含量与高温胁迫前相比分别增加了 25.5%、40.3%、38% 和 40.8%。此结果表明,高温胁迫可以诱导菜心叶片中游离脯氨酸含量的累积,对菜心具有一定的保护作用,但其含量的高低与菜心耐热性强弱没有表现出对应关系。

2.4 高温胁迫对菜心叶片中 O_2^- 的生成速率和 H_2O_2 含量的影响

高温胁迫下,4 个菜心材料叶片中 O_2^- 的产生速率基本上随着胁迫时间的延长而加快(图 4A)。较短时间(1~3 d)的高温处理,4 个菜心材料叶片中的 O_2^- 生成速度缓慢增加,除“太油 50-1”在胁迫第 3 天 O_2^- 的产生速率略高于其它几个菜心材料外,其它各材料间的差异不很显著;但随着高温胁迫时间的延长, O_2^- 的生成速度明显加快,且耐热性弱的 2 个材料的 O_2^- 生成速度明显高于耐热性强的材料。胁迫第 7 天,“四九-19 号菜心”、“油绿 501”、“太油 50-1”和“3T6”的 O_2^- 的生成速度分别增加了 63%、68.5%、114.6% 和 129.6%,表现出耐热性弱的材料其 O_2^- 生成速率远远高于耐热性强的材料。

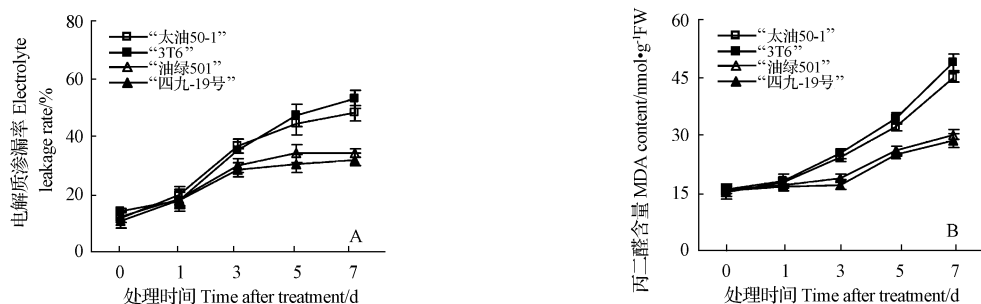


图 2 高温胁迫对菜心叶片的电解质渗漏率(A)及丙二醛含量(B)的影响

Fig. 2 Effect of heat stress on electrolyte leakage rate and malondialdehyde (MDA) content in the leaves of flowering Chinese cabbage



图 3 高温胁迫对菜心叶片中甜菜碱(A)和脯氨酸(B)含量的影响

Fig. 3 Effect of heat stress on the contents of betaine (A) and proline (B) in the leaves of flowering Chinese cabbage

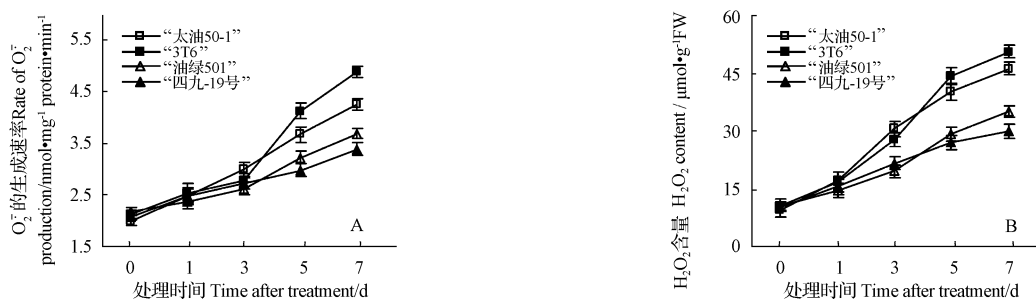


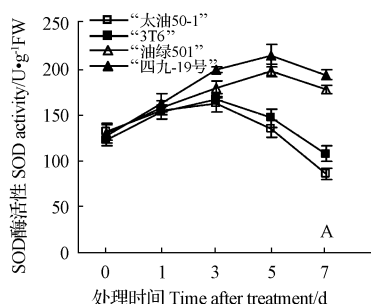
图 4 高温胁迫对菜心叶片中 O_2^- 的生成速度和 H_2O_2 含量的影响

Fig. 4 Effect of heat stress on rate of O_2^- production (A) and H_2O_2 content (B) in the leaves of flowering Chinese cabbage

4个菜心材料在高温胁迫下叶片中的 H_2O_2 含量均出现逐渐升高的趋势(图 4B)。短期高温胁迫(1 d)4个菜心材料叶片中 H_2O_2 的含量没有明显的差异,但随着胁迫时间的延长,耐热性强和耐热性弱的菜心材料间出现差异,表现在耐热性强的菜心材料叶片中 H_2O_2 含量增加的幅度明显小于耐热性弱的材料。胁迫第 7 天,“四九-19 号菜心”、“油绿 501”、“太油 50-1”和“3T6”的 H_2O_2 含量分别增加了 195.2%、229.9%、370.4% 和 380.6%,此结果表明,4个菜心材料中均出现了高含量的 H_2O_2 状态。

2.5 高温胁迫 SOD、POD 和 CAT 酶活性的影响

连续高温胁迫下,4个菜心材料的 SOD 酶活性均出现先升后降的现象(图 5A)。就出现下降的时间来看,耐热性强的“四九-19 号菜心”和“油绿 501”在胁迫第 5 天开始下降;而耐热性弱的“太油 50-1”和“3T6”则在胁迫第 3 天就出现下降,且胁迫第 7 天其酶活性就低于起始对照值;从酶活性来看,胁迫初期(1 d)各菜心材料基本一致,但随着胁迫时间的延长,酶活性在各菜心材料间出现了明显的差异,SOD 酶活从高到低依次是“四九-19 号菜心”、“油绿 501”、“3T6”和“太油 50-1”。



4个菜心材料叶片中 POD 酶活性在持续高温胁迫条件下亦出现先上升后下降的趋势(图 5B),但耐热性强的“四九-19 号菜心”和“油绿 501”酶活性上升持续的时间较长且增加的幅度较大,胁迫第 5 天为其峰值,此时 POD 酶活性较未胁迫处理时分别增加了 102.2% 和 89%;而耐热性弱的“太油 50-1”和“3T6”的酶活性在胁迫第 1 天出现明显上升,胁迫第 3 天酶活性基本保持在胁迫第 1 天的水平,之后则随着胁迫时间的增加酶活性反而下降;胁迫第 7 天,“太油 50-1”和“3T6”叶片中 POD 酶活性只有高温胁迫处理前的 73.8% 和 89.7%。

与 SOD 和 POD 酶活性对高温胁迫的反应相似,4个菜心材料遭受持续高温胁迫后叶片中 CAT 酶活性均呈现先增后降的现象,但不同的菜心材料间存在差异(图 6)。“四九-19 号菜心”和“油绿 501”在高温胁迫第 1 天 CAT 酶活性增幅很小,胁迫第 3 天酶活性急剧升高,随后酶活性出现逐渐下降的趋势;而耐热性弱的“太油 50-1”和“3T6”在高温胁迫第 1 天叶片中 CAT 酶活性就出现急剧升高的现象,之后随着胁迫时间的增加酶活性出现逐渐下降的趋势,并且其下降的幅度大于耐热性强的“四九-19 号菜心”和“油绿 501”。

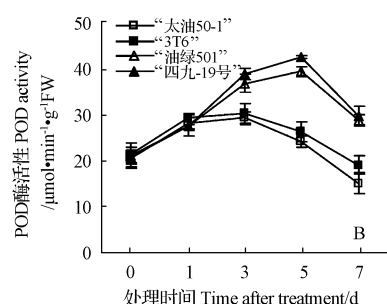


图 5 高温胁迫对菜心叶片 SOD(A)和 POD(B)酶活性的影响

Fig. 5 Effect of heat stress on the activities of SOD (A) and POD (B) in the leaves of flowering Chinese cabbage

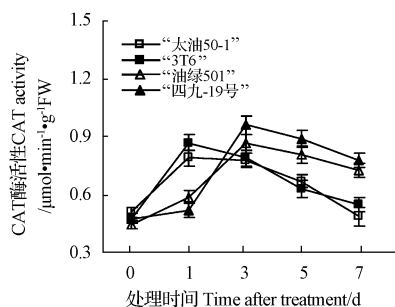


图 6 高温胁迫对菜心叶片中 CAT 酶活性的影响

Fig. 6 Effect of heat stress on CAT activity in the leaves of flowering Chinese cabbage

3 结论与讨论

盛夏高温胁迫总体趋势是影响菜心的生产,减少菜心的产量;在此生长条件下“四九-19 号菜心”和“油绿 501”的产量显著高于“太油 50-1”和“3T6”,其中以“3T6”

的最低;该试验结果进一步证实了“四九-19 号菜心”和“油绿 501”的耐热性强、“太油 50-1”和“3T6”的耐热性弱。

高温胁迫影响植物正常生理活动的因素较多,其中活性氧代谢失调是植物在逆境中受到伤害的主要特征之一,因为过剩的自由基对生物大分子起不同程度的破坏作用^[20-21]。在短期高温胁迫下,4个菜心材料的 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量增加,而清除活性氧的酶类如 SOD、POD 和 CAT 的活性在短期胁迫内也随之增加,此阶段,活性氧的生成和清除的速率达到动态平衡,细胞可以抵御活性氧的攻击,其正常生理活动未受影响,故此时细胞中的丙二醛含量未见明显增加;因此,短时间的高温胁迫不足以对植物体造成伤害,在这一时期,耐热性强和耐热性弱的菜心材料之间,就活性氧的生成和清除及丙二醛积累方面没有表现出明显的差异。但随着高温胁迫时间的延长,活性氧大量产生,而 SOD、POD

和 CAT 酶活性增加的幅度较小,甚至出现不同程度的下降,此时,活性氧的清除和产生之间的动态平衡被打破,不耐热材料细胞中的活性氧大量积累并与膜脂产生反应,导致最终的产物丙二醛的含量在细胞内急剧上升并积累;而耐热性强的菜心材料的活性氧虽有上升,但幅度平缓,加上保护酶的活性在胁迫的中后期一直高于耐热性弱的材料,因此,丙二醛在耐热性强的材料中只出现平缓和小幅的上升。该研究结果与李敏等^[22]在菠菜和贾志银等^[23]在辣椒研究中得出耐热性强的品种具有高的保护酶活性和低的丙二醛含量基本一致,因此丙二醛含量可考虑作为菜心耐热性强弱的生理指标之一。

高温胁迫对生物膜体系的伤害主要表现在膜结构的直接破坏和过氧化伤害,从而引发了膜透性增大,细胞内电解质外渗^[21,24];但细胞膜系统的热稳定性存在显著的基因型差异,细胞内电解质渗漏率高低可较好地反映植物的耐热性强弱^[25]。该研究中发现短期高温胁迫 4 个菜心材料间的电解质渗漏率较低,且没有显著差异,这与高温胁迫初期各材料中活性氧的产生和消除动态平衡的关系基本一致;但随着胁迫时间的持续增加,耐热性强的菜心材料维持电解质渗漏率在一个较低且较稳定的水平,表现出了一定的高温适应性;而耐热性弱的菜心材料,电解质的渗透率值出现持续上升的趋势。曹毅等^[3]和李敏等^[22]在高温胁迫下亦得出耐热性强的菜心和菠菜品种其电解质渗漏率低的结果,说明电解质渗透性率的大小可以考虑作为评价菜心耐热性强弱的一个生理指标。

渗透调节被认为是植物忍耐和抵御高温胁迫的重要生理机制之一,其中甜菜碱、脯氨酸等有机物备受关注^[20,26]。持续高温胁迫下,4 个菜心品种(系)的甜菜碱含量出现逐渐上升的趋势,其中耐热性强的 2 个菜心材料叶片中的甜菜碱含量增加的幅度明显高于耐热性弱的 2 个菜心材料,这与在不同种类植物上试验所得的结果一致^[20,27];因此,叶片中甜菜碱含量可考虑作为鉴别菜心耐热性强弱的生理指标。菜心叶片中游离脯氨酸含量亦有随高温胁迫时间增加而逐渐增加的趋势,这与廖飞雄和潘瑞炽^[5-8]和曹毅等^[3]研究报道的结果一致,但未呈现出耐热性强的菜心品种游离脯氨酸含量显著高于耐热性弱的菜心品系的现象;如在高温胁迫第 7 天,耐热性弱的“3T6”脯氨酸含量最高,其次为耐热性强的“油绿 501”和耐热性弱的“太油 50-1”,耐热性强的“四九-19 号菜心”最小,显示出脯氨酸积累的高低与耐热性强弱无明显的关系。这与曹毅等^[3]得出所有耐热性强的菜心品种脯氨酸含量高且与耐热性弱的菜心品种间存在显著差异的结果有差异,与耶兴元等^[28]报道耐热性弱的植物材料游离脯氨酸积累量高于耐热性强的材料也有不同。该试验结果表明,高温胁迫下脯氨酸的积累只

是菜心在高温逆境下适应性的一个积极的反应,其积累量多少与其抗逆性强弱无关^[19]。

参考文献

- [1] 张华,刘自珠.菜薹(菜心)的市场需求与育种现状[J].中国蔬菜,2010(3):10-12.
- [2] Lobell D B, Asner G P. Climate and management contributions to recent trends in U. S. agricultural yields [J]. Science,2003,299(5609):1032
- [3] 曹毅,李春梅,邓燊,等.不同菜心品种耐热性研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2010,35(5):128-131.
- [4] 何晓明,潘瑞炽,廖飞雄.菜心耐热变异体离体筛选研究[J].广东农业科学,1999(5):17-18.
- [5] 廖飞雄,潘瑞炽.热胁迫下菜心脯氨酸含量变化及其在耐热中的作用[J].华南师范大学学报(自然科学版),2001(2):45-48.
- [6] 廖飞雄,潘瑞炽.菜心耐羟脯氨酸变异筛选方法的研究[J].江西农业大学学报,2003,25(6):875-878.
- [7] 廖飞雄,潘瑞炽.菜心耐羟脯氨酸初选系的耐热性[J].热带亚热带植物学报,2004,12(4):359-362.
- [8] 廖飞雄,潘瑞炽.羟脯氨酸对离体培养的菜薹幼苗、茎尖和愈伤组织的生理效应[J].植物生理学通讯,2004,40(1):56.
- [9] 李植良,孙保娟,罗少波,等.高温胁迫下华南茄子的耐热性表现及其鉴定指标的筛选 [J].植物遗传资源学报,2009,10(2):244-248.
- [10] Mishra V, Srivastava G, Prasad S M. Antioxidant response of bitter melon (*Momordica charantia* L.) seedlings to interactive effect of dimethoate and UV-B irradiation [J]. Scientia Horticulturae,2009,120:373-378.
- [11] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验技术[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:101-116.
- [12] 王爱国,罗广华.植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J].植物生理学通讯,1990,39(6):55-57.
- [13] 郭培国,李荣华.夜间高温胁迫下对水稻叶片光合机构的影响[J].植物学报,2000,47(7):13-18.
- [14] Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. Anal Biochem,1976,72:248-254.
- [15] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutase . I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol,1977,59:309-314.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:25-28.
- [17] 郭培国,宋波龙,许兰桂,等.光谱法测定植物组织中甜菜碱含量方法的改良[J].广州大学学报(自然科学版),2011,10(3):32-36.
- [18] Martineau J R, Specht J E, Williams J H, et al. Temperature tolerance in soybeans. I. Evaluation of a technique for assessing cellular membrane thermostability [J]. Crop Science,1979,19:75-78.
- [19] Guo P, Baum M, Grando S, et al. Differentially expressed genes between drought-tolerant and drought-sensitive barley genotypes in response to drought stress during the reproductive stage[J]. Journal of Experimental Botany,2009,60(12):3531-3544.
- [20] Wahid A, Gelani S, Ashraf M, et al. Heat Tolerance in plants: An overview[J]. Environmental and Experimental Botany,2007,61:199-223.
- [21] Essemine J, Ammar S, Bouzid S. Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defence [J]. Journal of Biological Sciences,2010,10(6):565-572.
- [22] 李敏,王维华,王然,等.高温胁迫对菠菜叶片保护酶活性和膜透性的影响[J].园艺学报,2004,31(1):99-100.

- [23] 贾志银, 巩振辉, 许红娟, 等. 高温胁迫对辣椒幼苗生长及生理性状的影响[J]. 北方园艺, 2010(12): 5-8.
- [24] Savchenko G E, Klyuchareva E A, Abrabchik L M, et al. Effect of periodic heat shock on the membrane system of etioplasts[J]. Russ J Plant Physiol, 2002, 49: 349-359.
- [25] Fokar M, Nguyen H T, Blum A. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and heritability[J]. Euphytica, 1998, 104: 1-8.
- [26] Hasan M A, Ahmed J U, Bahadur M M, et al. Effect of late planting heat stress on membrane thermostability, proline content and heat susceptibility index of different wheat cultivars[J]. J. NatnScLFoundation Sri Lanka, 2007, 35(2): 109-117.
- [27] Wahid A, Close T J. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves[J]. Biol Plant, 2007, 51: 104-109.
- [28] 耶兴元, 马锋旺, 王顺才, 等. 高温胁迫对猕猴桃幼苗叶片某些生理效应的影响[J]. 西北农业大学学报(自然科学版), 2004, 32(12): 33-37.

Effects of Heat Stress on Several Physiological Traits in Heat-tolerant and Heat-Sensitive Genotypes of Flowering Chinese Cabbage

LI Rong-hua¹, GUO Pei-guo¹, ZHANG Hua², HUANG Hong-di², ZHENG Yan-song², XIA Yan-shi¹

(1. College of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006; 2. Guangzhou Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, Guangdong 510308)

Abstract: Four flowering Chinese cabbage were selected as material, electrolytic leakage rate and the production and scavenging of active oxygen in the leaves of heat-tolerant and heat-sensitive genotypes of flowering Chinese cabbage under heat stress were studied. The results showed that most of traits including the contents of proline and betaine, electrolytic leakage rate, malondialdehyde (MDA) content, O_2^- producing rate, H_2O_2 content, activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) increased slightly and were not significant differences under the short (1 d) period of heat stress in four genotypes of flowering Chinese cabbage, except catalase (CAT) which its activity rapidly increased and reached the peak in two heat-sensitive genotypes under 1 d of heat stress. The values of these physiological traits continuously increased with different degree in four genotypes with stress time (3~7 d), and showed that the betaine content, the activities of SOD, POD and CAT in heat-tolerant genotypes were significant higher than that in heat-sensitive genotypes, electrolytic leakage rate, MDA content, O_2^- producing rate and H_2O_2 content were significant lower than that in sensitive genotypes, while proline accumulation was not related to heat tolerance or heat sensitive in flowering Chinese cabbage under heat stress condition.

Key words: flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis* Tsen et Lee); heat stress; osmolyte; active oxygen; scavenging

春耕选用复混肥重要效果

有机无机复混肥料是指含有机物质和无机营养的复混肥料。有机物质大都采用加工的有机肥料(如畜禽粪便、秸秆等),以及含有机质的物质(草炭、风化煤、腐殖酸等),有的还加入微生物菌剂和刺激生长的物质;无机营养部分主要是化学肥料。

目前大多数有机无机复混肥料中的有机部分含量在 50% 左右。若以 50% 计, 667 m² 施 200 kg, 施入的有机物质只有 100 kg。许多试验表明, 每 667 m² 施入有机肥 1 500 kg 才有效。由此可见, 随有机无机复混肥料施入的有机物质能起到的肥效是有限的。

微生物在一定环境下才有活性, 环境要求比较高。化学肥料大多数是盐类, 溶解度很高, 对微生物的活性会起到杀灭或抑制作用。

有机无机复混肥料是复混肥料的一个品种, 对于大多数农作物来讲, 每 667 m² 施用氮磷钾配比 10:6:9 的复混肥料 100 kg 就能够满足高产水平的需要了, 而此时的有机物质每 667 m² 仅有 50 kg。可想而知, 如果没有肥料中的无机化肥的作用, 有机部分的量是没什么作用的。所以, 在施用有机无机复混肥料时, 首先要注意肥料中的养分含量和比例, 同时考虑价格以及施用效果。