

梁郸娜, 胡其靖, 曹磊, 等. 蚜虫侵染对黄瓜叶片中丙二醛含量及保护酶活性的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 278-284.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.02.007

## 蚜虫侵染对黄瓜叶片中丙二醛含量及保护酶活性的影响

梁郸娜, 胡其靖, 曹磊, 宋琳琳, 徐强, 齐晓花, 周福才, 陈学好  
(扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:** 为了研究黄瓜抗蚜性与丙二醛(MDA)含量及保护酶活性的关系, 选用抗蚜黄瓜品系 EP6392 和感蚜品系 JY30 为试验材料, 在第1片真叶展平时, 在每株的第1片真叶背面接种5头无翅成蚜作为处理, 不接蚜虫的植株作为对照, 测定黄瓜叶片中MDA含量和保护酶活性。结果表明: 蚜虫接种后两品系的MDA含量和过氧化物酶(POD)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)的活性显著高于对照。感蚜品系的MDA含量始终极显著高于抗蚜品系; 蚜虫侵染后, 抗蚜品系POD活性较感蚜品系上升迅速, 抗蚜品系PAL的活性极显著高于感蚜品系。因此, MDA、POD和PAL参与了黄瓜对蚜虫侵染的防御调控。

**关键词:** 黄瓜; 蚜虫; 丙二醛; 保护酶

**中图分类号:** S436.421.2<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)02-0278-07

## Effects of aphid (*Aphis gossypii* Glover) infestation on MDA content and protective enzymes activities in cucumber

LIANG Dan-na, HU Qi-jing, CAO Lei, SONG Lin-lin, XU Qiang, QI Xiao-hua, ZHOU Fu-cai, CHEN Xue-hao

(College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** To analyse the defensive role of MDA and protective enzymes against aphid in cucumber, cucumber lines EP6392 (resistant) and JY30 (susceptible) were measured for their MDA content and protective enzymes activities. Five apterous adult aphids were transferred to the back of the first true leaf of each cucumber plant as treatment and the seedling without aphids was set as control. After the inoculation, MDA content, and peroxidase (POD), phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activities in cucumber seedlings were boosted in both lines. The MDA content in the susceptible line was significantly higher than that in the resistant line. POD activity of the resistant line was increased more rapidly than that in susceptible line. PAL activity in the resistant line was much higher than that in susceptible line after aphid infection. Therefore, MDA, POD and PAL may participate in the cucumber defense regulation against aphid infection.

**Key words:** cucumber; aphid; malondialdehyde; protective enzyme

收稿日期: 2015-08-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目  
(2012CB113900)

作者简介: 梁郸娜(1987-), 女, 四川江油人, 博士研究生, 主要从事黄瓜抗蚜性研究。(E-mail) liangdanna121423@163.com

通讯作者: 陈学好, (E-mail) xhchen@yzu.edu.cn

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是中国广为栽培的主要蔬菜之一, 2011年中国黄瓜栽培总面积达 $1.111 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>, 年产量达 $4.736 \times 10^7$  t, 分别占世界总量的53.2%和75.6%。瓜蚜(*Aphis gossypii* Glover)是中国黄瓜生产中的主要害虫之一, 属于同翅目(Homoptera)的蚜科(Aphididae), 多聚集在黄瓜的嫩茎、

叶背、幼芽和花器官等部位上,以刺吸式口器吸取汁液,影响黄瓜的生长发育、开花结实和产量。蚜虫还能大量排泄蜜露,影响正常的光合作用,并引起煤污病,此外,蚜虫还是多种植物病毒病的传播介体,传播植物病毒(如黄瓜花叶病毒等),造成植物的间接受害,降低黄瓜的产量和品质<sup>[1]</sup>。

植物在受到害虫危害或机械损伤后,体内活性氧代谢系统的平衡受到影响,膜脂过氧化和膜脂脱脂作用启动,从而破坏膜结构<sup>[2]</sup>。丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量是植物细胞膜脂过氧化的一个重要指标<sup>[3]</sup>。当MDA含量大量增加时,表明体内细胞受到较严重的破坏<sup>[2]</sup>。黄伟等研究结果表明,蚜虫侵染胁迫后苜蓿高感品种和高抗品种叶内MDA含量都有所增加,说明细胞膜系统受到不同程度的损坏;同时高感品种高峰出现早,且峰值较大,说明其细胞膜系统较高抗品种受到更为严重的损坏<sup>[4]</sup>。超氧化物歧化酶(SOD)能有效抑制活性氧自由基对机体的伤害,催化超氧自由基产生歧化反应,生成毒性较小的 $H_2O_2$ 和 $O_2$ <sup>[5]</sup>。张金锋等认为植物受害虫危害胁迫后SOD活性迅速上升,从而有效地抑制活性氧自由基的产生,提高植物的抗逆能力<sup>[6]</sup>。过氧化酶(POD)是植物抗逆反应过程中的关键酶之一,是普遍存在于植物组织中的一种氧化还原酶。张丽等研究结果表明,瓜蚜侵染后各基因型高粱的POD活性都有明显的增加<sup>[7]</sup>。过氧化氢酶(CAT)存在于红细胞及某些组织内的过氧化体中,它的主要作用就是催化 $H_2O_2$ 分解为 $H_2O$ 与 $O_2$ ,使得 $H_2O_2$ 不与 $O_2$ 在铁螯合物作用下反应生成非常有害的-OH<sup>[8]</sup>。过氧化氢酶活性在抗虫品种水稻植株体内明显受抑制,在感虫品种水稻植株体内CAT的活性略有提高<sup>[2]</sup>。在植物抗蚜反应中,苯丙烷类代谢是重要的代谢途径之一。苯丙氨酸解氨酶(PAL)是催化苯丙烷类代谢途径第一步反应的酶,也是这一途径的关键酶和限速酶<sup>[8-10]</sup>。许宁等研究发现在抗蚜性强的茶树品种中PAL活性高于抗蚜性弱的品种<sup>[11]</sup>。李润植等在研究棉花和棉蚜的互作关系时发现,不同类型品种棉花在棉蚜为害胁迫下,PAL活性均有上升,且抗蚜品种上升速率更快,表明防御反应更及时<sup>[12]</sup>。多酚氧化酶(PPO)是一类广泛分布于植物体内能催化多酚氧化成醌的质体金属酶,能直接以 $O_2$ 为氧化底物将酚氧化成醌,以抑制病虫害的侵染,在植物的抗病虫防御过程中起

着重要的保护作用<sup>[13-14]</sup>。PPO在植物中的过量表达对害虫的生长发育和存活率具有负面效应<sup>[13,15-17]</sup>。

抗虫品种的利用是最经济有效的植物虫害控制途径。然而迄今为止,关于黄瓜品种对蚜虫抗性机制的研究尚不多见。本试验针对抗、感蚜黄瓜品系受蚜虫侵染前后体内丙二醛(MDA)含量及保护酶(SOD、POD、CAT、PAL和PPO)活性的变化进行比较研究,以此探讨黄瓜植株在蚜虫侵染后所产生的生理变化,进一步为黄瓜品系抗、感蚜的鉴定提供依据,并且在理论上对其与黄瓜抗蚜虫之间关系进行分析,初步探索黄瓜抗蚜虫机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试黄瓜品系

研究采用由本实验室多年纯化、对瓜蚜抗性差异显著的黄瓜品系EP6392(抗蚜品系)和JY30(感蚜品系)为试验材料。将种子播种于装满蚯蚓粪的有机基质(扬州市扬子蔬菜科技发展有限公司产品,氮、磷、钾总养分含量4%~6%,腐殖物总量≥35%,酸碱度6.5~7.5)的50穴穴盘中,播种后将其置于1.7 m×1.3 m×1.3 m(长×宽×高)的防虫网罩内,放置于大棚内。

### 1.2 供试虫源与侵染

2012年秋,供试虫源采自扬州大学园艺与植物保护学院蔬菜试验基地黄瓜植株上自然发生的瓜蚜,移接1头于专门用于虫源培养的感蚜品系夏丰上,在RXZ-300B型智能人工气候箱内进行续代繁殖(超过10代),后代用于试验,人工气候箱光照度为12 000 lx,温度25℃/18℃(白天/黑夜),光照时间18 h/6 h,湿度为60%/50%。接虫前7 d将虫源移至大棚内的防虫网中培育。第1片真叶展平时,每株植株第1片真叶背面接5头无翅成蚜,以不接虫的植株作为对照。蚜虫侵染后0 d、2 d、4 d、6 d、8 d分别从对照和接虫植株中选取20株,计数蚜虫数量,从植株上取等量第1片真叶混合,重复取样3次,用毛笔移除蚜虫,清水洗净、沥干,液氮速冻后放入超低温冰箱保存备用。

### 1.3 试验方法

1.3.1 SOD活性测定 采用SOD测试盒(南京建成生物工程研究所生产)分别测定蚜虫侵染的黄瓜叶片和对照黄瓜叶片中的SOD活性。先准确称取一

定质量的黄瓜鲜叶,按质量(g):体积(ml)=1:4的比例,加入4倍体积的匀浆介质(0.1 mol/L磷酸盐缓冲液,pH 7.0~7.4),冰水浴条件下机械匀浆,制备成20%的组织匀浆,3 500 r/min离心10 min,取上清液按照试剂盒操作要求进行测定。

**1.3.2 POD、CAT 活性和 MDA 含量测定** 采用 POD 测试盒(南京建成生物工程研究所生产)分别测定蚜虫侵染的黄瓜叶片和对照黄瓜叶片中的 POD 活性。先准确称取一定质量的黄瓜鲜叶,按质量(g):体积(ml)=1:9的比例,加入9倍体积的匀浆介质(0.1 mol/L磷酸盐缓冲液,pH 7.0~7.4),冰水浴条件下机械匀浆,制备成10%的组织匀浆,3 500 r/min离心10 min,取上清液按照试剂盒操作要求进行测定。采用 CAT 测试盒和 MDA 测试盒(南京建成生物工程研究所生产)分别测定蚜虫侵染的黄瓜叶片和对照黄瓜叶片中的 CAT 活性和 MDA 含量。样品制作同 POD 活性测定时所用方法,然后按照试剂盒操作要求进行测定。

**1.3.3 PAL 活性测定** 精密称取0.2 g黄瓜鲜叶,研钵预冷,加0.1 mol/L硼酸缓冲液(pH 8.8)1 ml和PVP(聚乙烯吡咯烷酮)0.02 g,其中缓冲液内含有5 mmol/L巯基乙醇、1 mmol/L EDTA,冰浴研磨成匀浆,4℃条件下10 000 r/min离心15 min,上清液即为粗酶液。2 ml 硼酸缓冲液(pH 8.8)、0.02 mol/L L-苯丙氨酸0.8 ml、0.2 ml 粗酶液混合,对照不加酶液,改加0.2 ml 蒸馏水。30℃下水浴30 min后,加入6 mol/L盐酸0.2 ml 终止反应,于290 nm 波长下测 OD 值。酶活性单位定义为 OD<sub>290</sub>改变

0.01 为1个比活性单位 U,用U/(mg·h)表示酶活性。计算公式:酶的比活性=( $\Delta A \times D$ )/(0.01×W×T),式中, $\Delta A$ 为反应时间内光密度的变化,W为样品鲜质量,T为反应时间,D为稀释倍数<sup>[18]</sup>。

**1.3.4 PPO 活性测定** 精密取0.2 g黄瓜鲜叶,加入预冷的0.05 mol/L、pH为6.8的磷酸缓冲液(含1% PVP)1 ml,研磨成匀浆,4℃下5 000 r/min离心10 min,收集上清液,上清液为酶粗提液。在试管中依次加入0.02 mol/L邻苯二酚1.5 ml、0.05 mol/L磷酸缓冲液(pH 6.8)1.5 ml、酶液10 μl,对照只加前2种溶液,不加酶液,以蒸馏水代替。在30℃恒温水浴中反应2 min,在398 nm 波长下测定 OD 值,酶的比活性计算同方法1.3.3。

#### 1.4 数据处理

采用 DPS 软件进行方差分析,用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 抗、感蚜虫黄瓜品系单株蚜虫数量的比较

表1显示,在一定时期内,黄瓜植株上蚜虫数量随着黄瓜的生长持续增加,感蚜品系 JY30 上蚜虫数量增长速度比抗蚜品系 EP6392 上的快,同一时间点上前者单株蚜虫平均数量大于后者;接虫后第8 d JY30 和 EP6392 植株上的单株平均蚜虫数量分别为544.60头和172.00头,前者是后者的3.16倍;接种后同一调查时间点上两品系植株上的单株蚜虫数量存在着极显著差异,抗蚜品系 EP6392 表现出良好的抗蚜特性。

表1 接虫后抗、感蚜虫黄瓜品系间单株蚜虫数量的比较

Table 1 The number of aphids per plant in two cucumber lines after aphid infestation

黄瓜品系	蚜虫侵染胁迫时间(d)			
	2	4	6	8
JY30	39.00±2.30aA	81.20±3.02aA	179.40±6.39aA	544.60±12.73aA
EP6392	27.60±2.29bB	59.20±2.69bB	79.60±3.46bB	172.00±8.01bB

不同小写和大写字母分别表示品系间在0.05和0.01水平差异显著。

### 2.2 蚜虫侵染对黄瓜叶片 MDA 含量的影响

品系和接虫时间的二因素方差分析结果表明:抗蚜品系 EP6392 对照 MDA 含量极显著低于感蚜品系 JY30 对照,接种蚜虫后两品系 MDA 含量均极显著高于其对照,且抗蚜品系 MDA 含量极显著低于感蚜品系(表2)。由图1可知:接种蚜虫前感蚜

品系 JY30 植株叶片内 MDA 含量高于抗蚜品系 EP6392,且两品系间差异极显著。接种蚜虫后,两品系 MDA 含量随受害胁迫的加剧都有不同程度的上升,均在第2 d 出现高峰,感蚜品系峰值为5.09 nmol/mg,抗蚜品系峰值为4.22 nmol/mg,感蚜品系峰值大于抗蚜品系,之后逐渐下降,第6 d 后,MDA

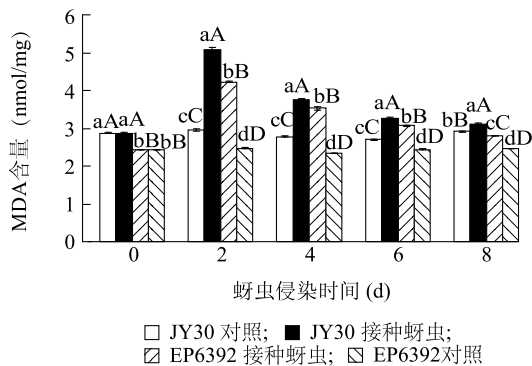
含量均趋于稳定,两品系对照变化不明显。在蚜虫为害胁迫的 8 d 内,感蚜品系的 MDA 含量始终显著高于抗蚜品系,且接种蚜虫的两品系 MDA 含量始终显著高于其对照。

表 2 接种蚜虫前后黄瓜叶片 MDA 含量和保护酶活性的变化

Table 2 The changes of MDA content and protective enzymes activities in cucumber after aphid infestation

处 理	MDA 含量 (nmol/mg)	POD 活性 (U/mg)	SOD 活性 (U/mg)	CAT 活性 (U/mg)	PAL 活性 [U/(g·min)]	PPO 活性 [U/(g·min)]
EP6392 接种蚜虫	3.21±0.09bB	18.65±1.12aA	76.66±2.18aA	39.26±1.53aA	16.90±0.76aA	9.07±0.75aA
JY30 接种蚜虫	3.62±0.11aA	17.81±0.49aA	71.05±1.24bB	31.01±0.83bB	11.65±0.46bB	5.61±0.38bB
EP6392 对照	2.43±0.01dD	9.23±0.31cC	63.98±0.94dD	28.97±0.62dC	11.49±0.37bB	2.92±0.16dD
JY30 对照	2.85±0.02cC	15.91±0.24bB	67.80±0.81cC	30.05±0.30cBC	10.11±0.34cC	4.22±0.17cC

不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 水平显著。



不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

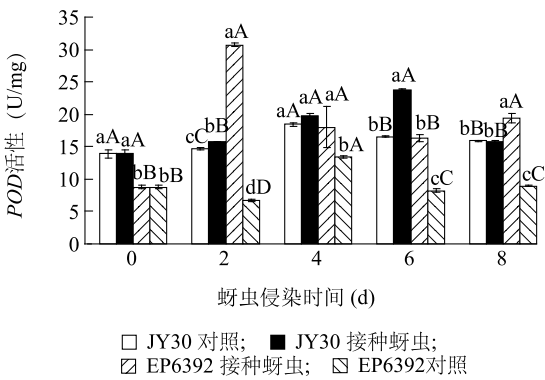
图 1 蚜虫侵染后抗、感蚜虫黄瓜品系间 MDA 含量的比较

Fig.1 The comparison of MDA content between two cucumber lines after aphid infestation

2.3 蚜虫侵染对黄瓜叶片 POD 活性的影响

抗蚜品系 EP6392 对照 POD 活性极显著低于感蚜品系 JY30 对照,接种蚜虫后两品系 POD 活性均极显著高于其对照(表 2)。通过分别对接种蚜虫后 0 d、2 d、4 d、6 d、8 d 两品系及对照 POD 活性分析发现:接种蚜虫后,两品系 POD 活性随为害胁迫的加剧均有不同程度的上升,其中抗蚜黄瓜品系上升较快,第 2 d 出现高峰,而感蚜品系上升较慢,到第 6 d 才出现高峰,抗蚜品系峰值为 30.71 U/mg,感蚜品系峰值为 23.83 U/mg,抗蚜品系峰值大于感蚜品系,两品系对照的 POD 活性在第 4 d 均有小幅度的升高,但仍然低于其接种蚜虫植株的 POD 活性。接种蚜虫第 2 d 和第 8 d 抗蚜品系 POD 活性极显著大于感蚜品系,到第 6 d 感蚜品系的 POD 活性极显著大于抗蚜品系;抗蚜品系的 POD 活性始终显著高于其对照,感蚜品系的 POD 活性在第 2 d 和第 6 d 极

显著高于其对照,第 4 d 和第 8 d 与其对照没有显著差异(图 2)。



不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

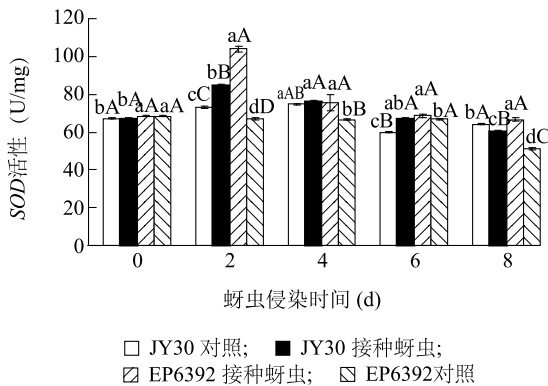
图 2 蚜虫侵染后抗、感蚜虫黄瓜品系间 POD 活性的比较

Fig.2 The comparison of POD activity between two cucumber lines after aphid infestation

2.4 蚜虫侵染对黄瓜叶片 SOD 活性的影响

抗蚜品系 EP6392 对照 SOD 活性极显著低于感蚜品系 JY30 对照,接种蚜虫后两品系 SOD 活性均极显著高于其对照,且抗蚜品系 SOD 活性极显著高于感蚜品系(表 2)。接种蚜虫后,两品系 SOD 活性均迅速上升,均在第 2 d 出现高峰,抗蚜品系峰值为 103.98 U/mg,感蚜品系峰值为 84.73 U/mg,抗蚜品系峰值大于感蚜品系,之后逐渐下降,第 6 d 开始, SOD 活性均趋于稳定。在蚜虫为害胁迫的 8 d 内,抗蚜品系 SOD 活性显著高于其对照,但感蚜品系 SOD 活性变化规律性不强;蚜虫侵染后第 2 d 和第 8 d 抗蚜品系 SOD 活性极显著高于感蚜品系,其他时间两品系 SOD 活性差异不显著(图 3)。





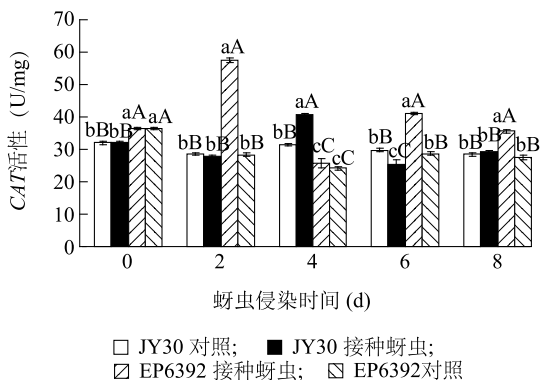
不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

图 3 蚜虫侵染后抗、感蚜虫黄瓜品系间 SOD 活性的比较

Fig.3 The comparison of SOD activity between two cucumber lines after aphid infestation

## 2.5 蚜虫侵染对黄瓜叶片 CAT 活性的影响

抗蚜品系 EP6392 对照 CAT 活性显著低于感蚜品系 JY30 对照,接种蚜虫后两品系 CAT 活性均极显著高于其对照,且抗蚜品系 CAT 活性极显著高于感蚜品系(表 2)。在蚜虫为害胁迫后,抗蚜和感蚜品系的 CAT 活性均表现为波动性变化,抗蚜品系为上升、下降、上升、下降,感蚜品系与之相反。在蚜虫为害胁迫的 8 d 内,抗蚜品系 CAT 活性高于对照,但感蚜品系 CAT 活性在第 4 d、8 d 高于其对照,第 2 d、6 d 低于其对照(图 4)。



不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

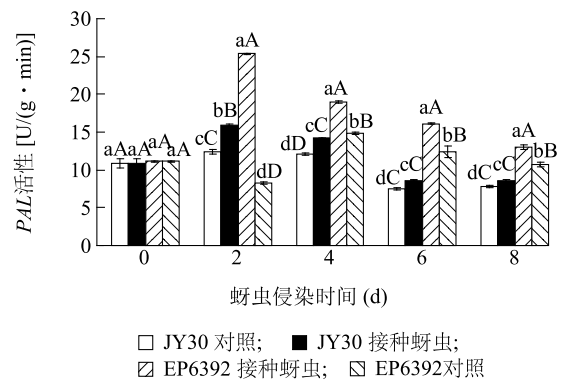
图 4 蚜虫侵染后抗、感蚜虫黄瓜品系间 CAT 活性的比较

Fig.4 The comparison of CAT activity between two cucumber lines after aphid infestation

## 2.6 蚜虫侵染对黄瓜叶片 PAL 活性的影响

抗蚜品系 EP6392 对照 PAL 活性极显著高于感

蚜品系 JY30 对照,接种蚜虫后两品系 PAL 活性均极显著高于其对照,且抗蚜品系 PAL 活性极显著高于感蚜品系(表 2)。由图 5 可知:接种蚜虫前抗蚜品系 PAL 活性略高于感蚜品系,但两品系间差异不显著。接种蚜虫后,两品系 PAL 活性均迅速上升,均在第 2 d 出现高峰,抗蚜品系峰值为 25.34 U/(g · min),感蚜品系峰值为 15.98 U/(g · min),抗蚜品系峰值大于感蚜品系,之后逐渐下降并趋于稳定;在蚜虫为害胁迫的 8 d 内,抗蚜品系 PAL 活性始终高于其对照及感蚜品系,且差异均为极显著,感蚜品系在第 2 d、4 d 极显著高于对照,第 6 d、8 d 显著高于对照。



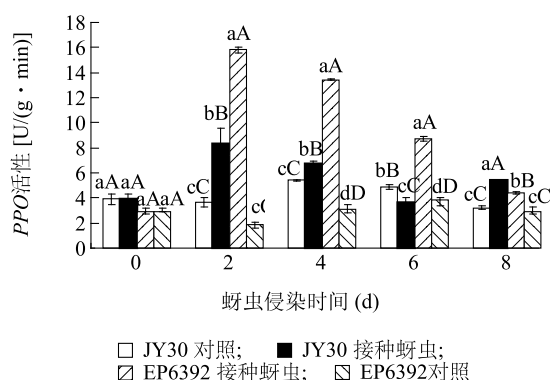
不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

图 5 蚜虫侵染后抗、感蚜虫黄瓜品系间 PAL 活性的比较

Fig.5 The comparison of PAL activity between two cucumber lines after aphid infestation

## 2.7 蚜虫侵染对黄瓜叶片 PPO 活性的影响

抗蚜品系 EP6392 对照 PPO 活性极显著低于感蚜品系 JY30 对照,接种蚜虫后两品系 PPO 活性均极显著高于其对照,且抗蚜品系 PPO 活性极显著高于感蚜品系(表 2)。图 6 显示:接种蚜虫前抗蚜品系 PPO 活性低于感蚜品系,但两品系间差异不显著。接种蚜虫后,两品系 PPO 活性均迅速上升,均在第 2 d 出现高峰,抗蚜品系峰值为 15.81 U/(g · min),感蚜品系峰值为 8.31 U/(g · min),抗蚜品系峰值大于感蚜品系,之后逐渐逐渐下降并趋于稳定,且极显著大于对照;两品系对照 PPO 活性先降低后升高再降低,但变化幅度不大。在蚜虫为害胁迫的 8 d 内,抗蚜品系 PPO 活性极显著高于其对照,感蚜品系 PPO 活性变化规律性不强。



不同小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平。

图 6 蚜虫侵染后抗、感蚜虫黄瓜品系间 *PPO* 活性的比较

Fig.6 The comparison of *PPO* activity between two cucumber lines after aphid infestation

### 3 讨论

抗蚜品系 EP6392 和感蚜品系 JY30 对蚜虫的抗性差异极显著,从接虫后第 2 d 到试验结束,抗蚜品系的单株蚜虫平均数量始终极显著小于感蚜品系,表明在抗蚜品系上瓜蚜繁殖率低,抗蚜品系不适于瓜蚜生长繁殖,可能与其内部结构、营养成分、次生代谢物质、挥发性物质等有关。

MDA 能与细胞内各种成分发生反应,从而引起各种物质和膜脂分子的氧化损伤,引起寄主体内一系列防御反应。本试验结果表明,蚜虫为害胁迫后感蚜品系 (JY30) 和抗蚜品系 (EP6392) 叶片内的 MDA 含量都有所增加,说明细胞膜系统受到了不同程度的损坏;感蚜品系的峰值极显著大于抗蚜品系,与抗蚜品系相比感蚜品系的峰值及峰值相对于对照的变化幅度[感蚜品系峰值相对于对照的变化幅度 (2.13 nmol/mg) > 抗蚜品系峰值相对于对照的变化幅度 (1.75 nmol/mg)] 均较大,说明其细胞膜系统较抗蚜品系受到更为严重的损坏,这与黄伟等<sup>[4]</sup> 研究结果一致。

正常状态下,生物细胞代谢产生的活性氧并不对生物体造成严重危害,但在逆境条件下,可造成危害。活性氧清除系统 3 种主要酶 (*SOD*、*POD* 和 *CAT*) 能有效抑制活性氧自由基对机体的伤害,这 3 种酶的彼此协调、相互作用,使细胞内的自由基保持正常水平,减轻自由基对生物体造成的毒害,提高生物体抗逆能力。植物受害虫为害胁迫后 *SOD* 和 *POD* 活性会上升<sup>[4, 6]</sup>,这可能是由于植物体对逆境

的一种代谢性调节作用。因为植物在遭受逆境胁迫时,产生的活性氧自由基数量增多,为了抵抗逆境对植物体造成的伤害,*SOD* 和 *POD* 酶活性增加,以便清除活性氧自由基,减少膜脂过氧化作用。本研究结果表明,黄瓜抗蚜和感蚜品系在蚜虫为害胁迫后,*SOD* 和 *POD* 酶活性均呈上升趋势,且抗蚜品系 *SOD* 活性极显著高于感蚜品系,但感蚜品系 *SOD* 活性变化规律性不强,其活性变化与黄瓜抗蚜性的关系有待进一步研究。蚜虫侵染后,两品系 *POD* 活性均显著高于其对照,且抗蚜品系 *POD* 活性较感蚜品系上升迅速,较早达到峰值,这说明抗蚜品系可以对蚜虫的为害胁迫敏感地作出反应,并且清除活性氧的能力较强,说明黄瓜抗蚜性与 *POD* 活性密切相关,这与黄伟等<sup>[4]</sup> 的研究结果相似。蚜虫侵染后 *CAT* 活性变化规律性不强,其活性变化与黄瓜抗蚜性的关系有待进一步研究。

植物受害虫为害胁迫后会增加抗、感品种苯丙氨酸解氨酶的活性<sup>[2, 4, 12]</sup>。本试验结果表明,抗蚜品系 EP6392 对照 *PAL* 活性极显著高于感蚜品系 JY30 对照,且蚜虫侵染后抗蚜品系 *PAL* 活性比感蚜品系上升的幅度更大,*PAL* 在黄瓜抗蚜性中可能具有重要的作用。*PPO* 是苯丙烷代谢途径中重要的氧化酶,其活性的增加可加速植株中酚类物质的氧化,而酚类物质氧化产物的毒性可增强寄主的抗病虫反应。徐小明等的研究结果表明抗线虫茄子 *PPO* 活性接种线虫前后分别比不抗品种高 23%~28% 和 23%~44%<sup>[19]</sup>。陈青等研究发现接种蚜虫后 *PPO* 活性升高<sup>[20]</sup>。本试验结果表明:蚜虫侵染后,两黄瓜品系 *PPO* 活性均迅速上升,但感蚜品系 *PPO* 活性变化规律性不强。

### 参考文献:

- [1] 朱铨培,周福才,陈学好,等. 不同品种黄瓜对蚜虫抗性的研究初报[J]. 扬州大学学报:农业与生命科学版, 2011, 32(3): 65-69.
- [2] 刘裕强,江玲,孙立宏,等. 褐飞虱刺吸诱导的水稻一些防御性酶活性的变化[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(6): 643-650.
- [3] BAILLY C, BENAMAR A, CORBINEAU F, et al. Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seed as related to deterioration during accelerated aging [J]. Plant Physiology, 1996, 97: 104-110.
- [4] 黄伟,贾志宽,韩清芳. 蚜虫危害胁迫对不同苜蓿品种体内

- 丙二醛含量及防御性酶活性的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2177-2183.
- [5] 黄伟. 不同紫花苜蓿品种抗蚜性鉴定及抗性机理初步研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007: 9-10.
- [6] 张金锋, 薛庆中. 稻飞虱危害胁迫对水稻植株内主要保护酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1487-1491.
- [7] 张丽, 常金华, 罗耀武. 不同高粱基因型感蚜虫前后 PPO、POD、PAL 酶活性变化分析[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 40-42.
- [8] 王敬文, 薛应龙. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究 II. 苯丙氨酸解氨酶在抗马铃薯晚疫病中的作用[J]. 植物生理学报, 1982, 8(1): 35-43.
- [9] 薛应龙, 欧阳光察, 澳绍根. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究 IV. 水稻幼苗中 PAL 活性的动态变化[J]. 植物生理学报, 1983, 9(3): 301-305.
- [10] MAUCH-MANI B, SLUSARENKO A J. Production of salicylic acid precursors is a major function of phenylalanine ammonia-lyase in the resistance of *Arabidopsis* to *Peronospora parasitica*[J]. The Plant Cell, 1996, 8(2): 203-212.
- [11] 许宁, 陈雪芬, 陈华才. 茶树品种抗茶橙瘿螨的形态与生化特征[J]. 茶叶科学, 1996, 16(2): 125-130.
- [12] 李润植, 毛雪, 李彩霞, 等. 棉花诱导抗蚜性及次生代谢相关酶活性的关系[J]. 山西农业大学学报, 1998, 18(2): 165-168.
- [13] BHONWONG A, STOUT M J, ATTAJARUSIT J, et al. Defensive role of tomato polyphenol oxidases against cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*) and beet armyworm (*Spodoptera exigua*) [J]. Journal of Chemical Ecology, 2009, 35(1): 28-38.
- [14] RAJ S N, SAROSH B R, SHETTY H S. Induction and accumulation of polyphenol oxidase activities as implicated in development of resistance against pearl millet downy mildew disease[J]. Functional Plant Biology, 2006, 33(6): 563-571.
- [15] REN F, LU Y T. Overexpression of tobacco hydroxyproline-rich glycopeptide systemin precursor a gene in transgenic tobacco enhances resistance against *Helicoverpa armigera* larvae [J]. Plant Science, 2006, 171: 286-292.
- [16] MAHANIL S, ATTAJARUSIT J, STOUT M J, et al. Overexpression of tomato polyphenol oxidase increases resistance to common cutworm[J]. Plant Science, 2008, 174(4): 456-466.
- [17] YANG Z W, DUAN X N, JIN S, et al. Regurgitant derived from the tea geometrid *Ectropis obliqua* Suppresses wound-induced polyphenol oxidases activity in tea plants[J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39: 744-751.
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000: 194-196.
- [19] 徐小明, 于芹, 张晓艳. 茄子砧木根系苯丙烷类代谢与抗南方根结线虫水平的关系[J]. 植物保护学报, 2008, 35(1): 43-46.
- [20] 陈青, 张银东. 3种氧化酶与辣椒抗蚜性的相关性[J]. 热带作物学报, 2004, 25(3): 42-46.

(责任编辑: 张震林)