

# 桃小食心虫危害对苹果果实蛋白质含量及防御酶活性的影响

张顺益<sup>1,2</sup> 秦华伟<sup>1</sup> 门兴元<sup>1</sup> 陈珍珍<sup>2</sup> 于毅<sup>1</sup> 许永玉<sup>2\*</sup> 李丽莉<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>山东省农业科学院植物保护研究所, 山东省植物病毒学重点实验室, 济南 250100; <sup>2</sup>山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

**摘要** 为探明桃小食心虫取食危害对不同品种苹果果实蛋白质含量和防御酶活性的影响, 田间条件下采用人工接虫和针刺模拟危害苹果果实, 处理 12 d 后调查果实受害程度并测定蛋白质含量及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性, 分析了果实蛀孔数与可溶性蛋白质和防御性酶活性的关系。结果表明: 人工接虫后, “嘎啦”的蛀孔数显著多于“乔纳金”和“金帅”。桃小食心虫危害后苹果果实蛋白质含量变化不大, 均显著低于针刺模拟处理; SOD 活性显著高于针刺模拟处理 ( $P < 0.05$ ); POD 活性都显著增加, “乔纳金”、“金帅”的变化显著大于“嘎啦”; CAT 活性都与对照相比无显著变化, 均高于针刺模拟处理, CAT 酶活性与苹果蛀孔数呈显著正相关。桃小食心虫危害可以诱导寄主产生一系列反应, 蛋白质含量和应激防御酶活性均发生了变化, 其中, 防御性酶可能在苹果防御桃小食心虫危害中发挥着重要作用。

**关键词** 桃小食心虫; 针刺模拟; 危害; 防御酶

**Effects of the damage by *Carposina sasakii* Matsumura on soluble protein content and defensive enzyme activities in apple fruits.** ZHANG Shun-yi<sup>1,2</sup>, QIN Hua-wei<sup>1</sup>, MEN Xing-yuan<sup>1</sup>, CHEN Zhen-zhen<sup>2</sup>, YU Yi<sup>1</sup>, XU Yong-yu<sup>2\*</sup>, LI Li-li<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>Key Laboratory for Plant Virology of Shandong, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; <sup>2</sup>College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China).

**Abstract:** To clarify the effects of the damage by *Carposina sasakii* Matsumura on soluble protein content and defensive enzyme activities in fruits of various apple cultivars, the damage degree, soluble protein content, and SOD, POD and CAT activities in apple fruits treated with *C. sasakii* inoculation or artificial needling were measured after 12 days. The relationships between wormholes and the soluble protein content or defensive enzyme activities were also analyzed. The results showed that cultivar ‘Gala’ had more wormholes than cultivars ‘Jonagold’ and ‘Golden Delicious’ after *C. sasakii* inoculation. The protein contents induced by *C. sasakii* damage in all 3 cultivars were significantly lower than those by artificial needling, but there was no significant difference between the control group and the group treated by *C. sasakii*. The SOD activities induced by *C. sasakii* damage were significantly higher than those by artificial needling. The activities of POD were increased significantly, and the increments in ‘Jonagold’ and ‘Golden Delicious’ were significantly higher than those in ‘Gala’. There was no significant difference between the CAT activities in fruits damaged by *C. sasakii* and the control group, while both of them were higher than those by artificial needling. The CAT activities were positively associated with wormhole numbers of apple fruits. The damage by *C. sasakii* could induce biochemical reactions in host-

苹果化肥农药减施增效技术集成研究与示范(2016YFD0201107)、山东省农业科学院重大科技成果培育计划和山东省现代产业技术水果体系创新团队项目资助。

收稿日期: 2016-02-25 接受日期: 2016-07-06

\* 通讯作者 E-mail: zbsli3@163.com; xuyy@sdaa.edu.cn

plants, for example, the change of the protein contents and defensive enzymes, and the defensive enzymes in apple fruits might play an important role in defending the damage by *C. sasakii*.

**Key words:** *Carposina sasakii*; artificial needling; damage; defensive enzyme.

桃小食心虫 (*Carposina sasakii* Matsumura), 属于鳞翅目 (Lepidoptera), 蛀果蛾科 (Carposinidae), 是中国北方果树生产中危害最大、发生最普遍的食心虫类害虫, 可危害苹果、枣、梨等 10 多种果树 (徐邵, 1989)。因其个体小, 危害隐蔽, 一直是果业害虫防治中的重大难题。目前有关桃小食心虫的防治主要集中在化学防治和生物防治的研究上 (李捷等, 2012; 李丽莉等, 2013; 赵楠等, 2014), 关于苹果树本身应对桃小食心虫危害的化学防御鲜见报道。

植物和害虫的互作关系是当今生态学的研究热点, 也是害虫可持续控制途径的基础 (戈峰等, 2011)。植物与昆虫在长期的协同进化中, 形成了一种微妙而复杂的关系, 植物受到害虫胁迫后, 积极主动地调整生理代谢, 增加抗逆性, 寻求最适的生存对策 (Bristow, 1989; 娄永根等, 1997; Tscharnitke *et al.*, 2001), 形成有效的防御体系 (娄永根等, 1997; Boughton *et al.*, 2006; Abe *et al.*, 2009)。目前, 有关昆虫取食对寄主植物生理代谢影响的研究均发现, 蛋白质含量、酶活性的升降都是植物应对昆虫取食的一种防御反应。小菜蛾 (*Plutella xylostella* L.) 危害后, 不同寄主表现不同, 菜心的蛋白质含量显著升高, 而芥菜、白菜和芥蓝的蛋白质含量则显著下降 (尹飞等, 2012)。绿盲蝽 (*Apolygus lucorum* Meyer-Dür) 危害大豆、绿豆、Bt 棉、苜蓿、甜叶菊 5 种寄主植物后, 植物体内超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶 (peroxidase, POD) 和过氧化氢酶 (catalase, CAT) 的活性有增有减, 但活性变化与绿盲蝽对寄主植物的偏好程度呈正相关 (魏书艳等, 2010)。此外, 机械损伤与昆虫取食一样也可以刺激植物产生相应的防御反应, 西花蓟马 (*Frankliniella occidentalis* Pergande) 危害和机械损伤处理均能明显提高菜豆叶片内 POD 酶的活性 (从春蕾等, 2014)。富士苹果从高处跌至大理石地面损伤后果实内 SOD、POD 和 CAT 酶的活性显著提高 (马海军等, 2010)。

随着人民生活水平的不断提高, 消费者对苹果口味需求的多样化, 当前苹果主推品种红富士已不能满足消费者的需求, 部分老品种又重新引起人们的青睐。本研究选取了济南当地 3 个具有丰产、优

质特性的苹果品种“嘎啦 (Gala)”、“乔纳金 (Jonagold)”、“金帅 (Golden Delicious)”, 调查人工接种桃小食心虫后不同苹果果实的蛀孔数量, 测定了桃小食心虫危害和机械损伤后苹果果实中蛋白质含量及防御酶活性的变化 (SOD、POD 和 CAT), 分析化学防御反应与蛀孔数的关系, 为桃小食心虫的可持续治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间与地点

接虫试验于 2014 年 6 月在山东省济南市仲宫镇西峪村的苹果园中进行, 蛋白质含量和防御酶活性的测定于山东省农业科学院植物保护研究所实验室内完成。

### 1.2 供试昆虫

桃小食心虫为本实验室长期饲养的品系, 已连续饲养 6 代, 饲养条件为温度 ( $25 \pm 1$ ) °C, 光周期 L : D = 13.5 : 10.5, 湿度  $75\% \pm 5\%$ , 试验所用虫卵为同一批次, 同一天产的健康卵。

### 1.3 材料采集与处理

#### 1.3.1 桃小食心虫对不同品种苹果果实的危害

桃小食心虫接虫处理 (记为 CD): 在苹果园中选取树形均匀一致的“嘎啦”、“乔纳金”、“金帅”8 年生苹果树, 然后选取形状、大小、色泽均匀一致的健康苹果果实用于接虫, 每棵苹果树选择 8 个健康果实, 每个果实接 5 粒桃小食心虫黑头卵, 接卵前, 打开果袋, 将黑头卵放于果实梗洼处, 用保鲜膜固定好后, 重新套上果袋, 并做标记, 每品种选 5 棵果树。

1.3.2 针刺模拟危害 人工针刺模拟危害处理 (AN): 在接桃小食心虫卵的果树上另选 5 个健康果实用消毒牙签扎洞, 每个果实扎 1 个洞, 模拟机械损伤。

以同一果树上未经处理的 5 个健康果实做空白对照 (CK)。

接虫 12 d 后采集处理的苹果果实及对照苹果做好标签放入冰盒中, 带回实验室调查记录每个苹果的蛀孔数, 然后将苹果样品保存在  $-20$  °C 冰箱中待测。

1.4 生理指标的测定

1.4.1 蛋白质含量的测定 采用 Bradford 法进行蛋白质含量的测定,参考杨宇晖等(2013)的方法,从每棵树采摘的每个处理的苹果样品中随机取出 4 个苹果作为一组,测定时称取定量去皮的苹果果肉进行处理测定,每组各取 1 次,共取 5 次。具体方法参见 Bradford 蛋白质定量试剂盒说明书(天根科技生化有限公司,北京)。

1.4.2 防御酶活性的测定 测定时,从每棵树采摘的每个处理的苹果样品中随机取出 4 个苹果作为一组,每组各取 1 次,共取 5 次。测定时称取 0.4 g 去皮的苹果果肉,放入预冷的 2 mL 的离心管中,加入 200  $\mu$ L 的过磷酸缓冲液,冰浴研磨。于 4  $^{\circ}$ C 下 10000 r  $\cdot$  min<sup>-1</sup> 离心 20 min,所得上清液即为酶提取液。SOD 活性测定采用氮蓝四唑法;POD 活性测定采用采用过氧化物酶催化双氧水氧化特定底物,在 470 nm 有特征光吸收法进行测定;CAT 活性测定钼酸氨比色法测定。SOD、POD 和 CAT 活性采用试剂盒进行测定(南京建成生物技术研究所以生产,南京),测定方法及计算方法均根据试剂盒说明书进行,用酶标仪(BIO RAD 公司)进行测定。

1.5 数据处理

采用 SPSS 17.0 进行双因素方差分析,采用 Tukey 法进行多重比较。采用线性回归法进行不同品种苹果果实的蛀孔数与蛋白质含量和防御酶活性的相关性分析。所获数据以平均值 $\pm$ 标准误来表示,显著水平设置为  $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 桃小食心虫对不同品种苹果果实的危害

人工接桃小食心虫黑头卵后,不同品种苹果果实的受害程度显著不同( $F=11.92, P<0.05$ ),其中嘎啦受害最为严重,蛀孔数最多,而乔纳金和金帅的蛀孔数没有差异(表 1)。

2.2 不同处理对苹果果实中蛋白质含量的影响

结果表明,不同品种苹果果实的蛋白质含量没

有显著差异( $F=0.31, P>0.05$ ),而不同处理对苹果果实蛋白质含量有显著影响( $F=50.02, P<0.05$ ),不同品种和不同处理对苹果果实蛋白质含量无显著交互作用( $F=1.69, P>0.05$ )。与对照和桃小食心虫危害相比,人工针刺处理可以诱导苹果果实产生更多的蛋白质,与对照相比嘎啦的蛋白质含量增加 9.38%,乔纳金的蛋白质含量增加 5.64%,金帅的蛋白质含量增加 9.62%(表 2)。

苹果蛀孔数与蛋白质含量( $r=-0.119, P=0.672$ )及变化率( $r=0.051, P=0.790$ )之间均无相关性。

2.3 不同处理对苹果果实中保护酶活性的影响

方差分析结果表明,不同品种苹果果实的 SOD 活性有显著差异( $F=33.18, P<0.05$ ),不同处理对苹果果实 SOD 活性有显著影响( $F=16.99, P<0.05$ ),并且不同品种和不同处理对苹果果实 SOD 活性有显著交互作用( $F=5.50, P<0.05$ )。桃小食心虫危害后,乔纳金的 SOD 活性降低了 3.81%,与对照相比差异显著。针刺模拟诱导后乔纳金和金帅的 SOD 活性分别下降了 7.50%、5.31%,均显著低于对照及桃小食心虫危害后的 SOD 活性(表 3)。

苹果蛀孔数与 SOD 活性( $r=0.473, P=0.075$ )及变化率( $r=0.020, P=0.916$ )之间均无相关性。

方差分析结果表明,不同品种苹果果实的 POD 活性有显著差异( $F=17.15, P<0.05$ ),不同处理对苹果果实 POD 活性有显著影响( $F=21.92, P<0.05$ ),

表 2 不同处理对 3 种苹果蛋白质含量的影响 (mg  $\cdot$  g<sup>-1</sup>)  
Table 2 Effects of different treatments on protein content in 3 apple varieties

处理	蛋白质含量		
	嘎啦	乔纳金	金帅
对照 CK	0.341 $\pm$ 0.003 Ba	0.344 $\pm$ 0.002 Ba	0.339 $\pm$ 0.003 Ba
桃小食心虫危害 CD	0.347 $\pm$ 0.003 Ba	0.350 $\pm$ 0.004 Ba	0.342 $\pm$ 0.005 Ba
人工针刺 AN	0.373 $\pm$ 0.003 Aa	0.363 $\pm$ 0.003 Ab	0.372 $\pm$ 0.002 Aa

表中数据为平均值 $\pm$ 标准误。同行数据后的不同小写字母表示不同苹果品种间差异显著( $P<0.05$ )。同列数据后的不同大写字母表示同一品种苹果不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

表 3 不同处理对 3 种苹果 SOD 活性的影响  
Table 3 Effects of different treatments on SOD activity in 3 apple varieties

处理	SOD 活性		
	嘎啦	乔纳金	金帅
对照 CK	371.97 $\pm$ 3.71 Bb	418.42 $\pm$ 3.27 Aa	382.38 $\pm$ 2.39 Ab
桃小食心虫危害 CD	389.33 $\pm$ 7.73 Aa	402.49 $\pm$ 4.44 Ba	387.54 $\pm$ 3.67 Aa
人工针刺 AN	374.11 $\pm$ 3.65 Bb	387.02 $\pm$ 4.22 Ca	362.07 $\pm$ 3.42 Bb

表 1 桃小食心虫危害后苹果果实的蛀孔数  
Table 1 Wormhole numbers of apple fruits damaged by *Carposina sasakii*

品种	蛀孔数(个 $\cdot$ 果 <sup>-1</sup> )
嘎啦	2.00 $\pm$ 0.38 a
乔纳金	0.43 $\pm$ 0.30 b
金帅	0.14 $\pm$ 0.14 b

表中数据为平均值 $\pm$ 标准误,数据后不同小写字母表示不同品种间差异显著( $P<0.05$ , Tukey 测验)。



表 4 不同处理对 3 种苹果 POD 活性的影响  
Table 4 Effects of different treatments on POD activity in 3 apple varieties

处理	POD 活性		
	嘎啦	乔纳金	金帅
对照 CK	32.78±1.04 Bb	38.88±2.32 Ba	27.95±1.67 Bb
桃小食心虫危害 CD	39.74±1.73 Ab	50.26±1.75 Aa	38.78±2.82 Ab
人工针刺 AN	36.46±2.38 ABb	45.17±2.24 Aa	43.97±0.93 Aa

表 5 不同处理对 3 种苹果 CAT 活性的影响  
Table 5 Effects of different treatments on CAT activity in 3 apple varieties

处理	CAT 活性		
	嘎啦	乔纳金	金帅
对照 CK	236.73±2.37 Aa	223.30±4.32 Ab	209.83±4.33 Ac
桃小食心虫危害 CD	236.82±4.62 Aa	224.40±5.38 Ab	205.77±5.29 Ac
人工针刺 AN	220.84±3.37 Ba	209.13±2.46 Bb	174.00±1.34 Bc

不同品种和不同处理对苹果果实的 POD 活性有显著交互作用 ( $F=3.35, P<0.05$ )。桃小食心虫危害后嘎啦果实的 POD 活性增加了 21.24%, 乔纳金果实的 POD 活性增加了 29.25%, 金帅果实的 POD 活性增加了 38.73%, 与对照相比均达到显著水平。针刺模拟诱导后苹果果实的 POD 活性与对照相比亦有不同程度的增加, 金帅的 POD 活性增加了 57.33%, 与对照差异显著 (表 4)。

苹果中 POD 活性与蛀孔数之间无相关性 ( $r=0.102, P=0.717$ ), 变化率与蛀孔数之间也无相关性 ( $r=0.236, P=0.209$ )。

方差分析结果表明, 不同品种苹果果实的 CAT 活性有显著差异 ( $F=60.04, P<0.05$ ), 不同处理对果实 CAT 活性有显著影响 ( $F=29.54, P<0.05$ ), 而不同品种和不同处理对苹果果实的 CAT 活性无显著交互作用 ( $F=2.55, P>0.05$ )。不同处理下嘎啦的 CAT 活性始终大于其他品种。不同品种针刺模拟诱导后显著低于对照及桃小食心虫危害 (表 5)。

苹果蛀孔数与果实内的 CAT 活性 ( $r=0.737, P=0.002$ ) 呈显著正相关, 与变化率之间无相关性 ( $r=0.050, P=0.795$ )。

### 3 讨论

同样条件下人工接桃小食心虫黑头卵后, 3 个苹果品种的果实受害程度不同, 嘎啦的果实蛀孔数最高, 乔纳金和金帅次之。这可能与苹果的果皮差异有关 (张乃鑫等, 1977)。

可溶性蛋白质是植物生长发育必须的营养物

质。当植物处于逆境胁迫时, 植物自身的营养物质呈现出最适需要范围以外的增、减变化, 这种变化被看作是一种潜在的抗性 (李奕震等, 2006; 李艳艳等, 2013; 刘建新等, 2015)。徐伟 (2006) 研究发现, 兴安落叶松在剪叶损伤处理后可溶性蛋白含量迅速增加, 马尾松毛虫取食和人工剪叶后蛋白质含量也始终比未受害的含量高 (王燕等, 2000)。本试验中, 桃小食心虫危害后 3 个品种苹果果实内的蛋白质含量与对照相比也升高, 但没有显著差异, 相关性分析结果表明, 苹果果实的蛀孔数与苹果内蛋白质的含量及其蛋白质的变化无相关性, 说明蛋白质的含量与苹果对桃小食心虫的抗性没有明显关系, 这与高勇等 (2012) 的试验结果相一致, 绿盲蝽危害枣、樱桃和葡萄树后叶片中蛋白质含量变化与绿盲蝽危害无关。

当植物处于逆境胁迫时, 其体内由 SOD、CAT 和 POD 等保护酶组成的活性氧清除系统的产生与清除作用受到影响, 结果造成大量活性氧的积累, SOD、CAT 和 POD 可以相互协调清除过剩的自由基, 从而提高植物的抗逆性 (梁艳荣等, 2003; 张兴群等, 2009; 马怀宇等, 2012)。本试验中, 桃小食心虫危害苹果果实后嘎啦和金帅的 SOD 活性增加, 乔纳金的 SOD 活性显著降低; POD 活性都显著增加, 乔纳金和金帅的变化率大于嘎啦; 嘎啦和乔纳金 CAT 酶活性增加, 金帅的活性降低。相关性分析结果表明, 苹果蛀孔数与 SOD、POD 活性及其变化率均无相关性, 与 CAT 活性呈显著正相关。这与高勇等 (2012) 和魏书艳等 (2010) 的研究结果一致, 说明不同品种苹果受到桃小食心虫危害胁迫后果实内 3 种保护酶的活性变化存在差异, 处于一个动态变化的过程, 防御性酶可能在苹果防御桃小食心虫危害中发挥着重要作用, 但其调控的分子机制还需要进一步研究。

有研究表明, 植食性昆虫唾液酶分泌到植物组织可以帮助昆虫进行体外消化 (Cooper *et al.*, 2011); 微注射实验也发现, 昆虫唾液酶聚半乳糖醛酸酶 (PGs) 对植物组织的化学危害强于盲蝽穿刺植物组织的机械损伤 (Shackel *et al.*, 2005)。本试验中, 桃小食心虫危害后苹果果实的 POD、SOD 和 CAT 活性都显著高于针刺模拟诱导产生的酶活性, 表明在相同机械损伤下, 桃小食心虫危害引起的植物应激防御酶活性更强, 这与从春蕾等 (2013) 及李林懋等 (2014) 研究的结论一致, 这可能是桃小食心

虫唾液中含有的化学物质,增强了植物应激防御酶活性。

## 参考文献

- 从春蕾, 鄧军锐, 廖启荣, 等. 2013. 西花蓟马取食与机械损伤对菜豆叶片抗氧化系统的影响. 应用昆虫学报, **50**(6): 1586-1593.
- 从春蕾, 鄧军锐, 廖启荣, 等. 2014. 蓟马取食、机械损伤以及外源水杨酸甲酯和茉莉酸对菜豆叶片防御酶活性的影响. 昆虫学报, **57**(5): 564-571.
- 高勇, 门兴元, 于毅, 等. 2012. 绿盲蝽危害后枣、桃、樱桃、葡萄叶片生理代谢指标的变化. 中国农业科学, **45**(22): 4627-4634.
- 戈峰, 吴孔明, 陈学新. 2011. 植物-害虫-天敌互作机制研究前沿. 应用昆虫学报, **48**(1): 1-6.
- 李捷, 朱永敏, 薛皎亮, 等. 2012. 五株病原真菌对桃小食心虫的致病力. 植物保护学报, **39**(6): 549-555.
- 李丽莉, 张思聪, 张安盛, 等. 2013. 球孢白僵菌筛选及其对桃小食心虫越冬幼虫致病力研究. 中国生物防治学报, **29**(2): 318-323.
- 李林懋, 门兴元, 叶保华, 等. 2014. 不同生长时期冬枣受绿盲蝽危害后应激防御酶活性的变化. 中国农业科学, **47**(1): 191-198.
- 李艳艳, 周晓榕, 庞保平, 等. 2013. 瓜蚜为害对寄主植物主要营养物质和次生物质的影响. 环境昆虫学报, **35**(1): 49-54.
- 李奕震, 郑柱龙, 谢治芳. 2006. 板栗芽内化学物质与抗栗瘿蜂的关系. 华东昆虫学报, **15**(1): 13-16.
- 梁艳荣, 胡晓红, 张颖力, 等. 2003. 植物过氧化物酶生理功能研究进展. 内蒙古农业大学学报, **24**(2): 110-113.
- 刘建新, 王金成, 王瑞娟, 等. 2015. 燕麦幼苗对盐胁迫的响应及过氧化氢对响应的调节. 生态学杂志, **34**(9): 2506-2511.
- 娄永根, 程家安. 1997. 植物的诱导抗虫性. 昆虫学报, **40**(3): 320-331.
- 马海军, 郑彩霞, 李猛, 等. 2010. 碰伤富士苹果果实内源茉莉酸和主要保护酶活性的变化. 西北植物学报, **30**(10): 2002-2009.
- 马怀宇, 吕德国, 刘国成, 等. 2012. 不同灌水方式对‘寒富’苹果叶片光合功能和抗氧化酶活性的影响. 生态学杂志, **31**(10): 2534-2540.
- 王燕, 李镇宇, 戈峰. 2000. 马尾松受害诱导的化学物质滞后变化. 昆虫学报, **43**(3): 291-296.
- 魏书艳, 肖留斌, 谭永安, 等. 2010. 不同寄主受绿盲蝽危害后生理代谢指标的变化. 植物保护学报, **37**(4): 359-364.
- 徐邵. 1989. 桃小食心虫防治研究. 河北农业大学学报, **12**(1): 88-93.
- 徐伟. 2006. 兴安落叶松诱导抗虫性研究(博士学位论文). 哈尔滨: 东北林业大学.
- 杨宇晖, 张青文, 刘小侠. 2013. 棉花营养物质和单宁含量与其对绿盲蝽抗性的关系. 中国农业科学, **46**(22): 4688-4697.
- 尹飞, 冯夏, 张德雍, 等. 2012. 小菜蛾取食对寄主植物蛋白质和糖含量影响研究. 环境昆虫学报, **34**(2): 168-173.
- 张乃鑫, 张领耘, 舒宗泉, 等. 1977. 桃小食心虫生物学的研究: 果实对幼虫蛀果、成活、生长发育及滞育的影响. 昆虫学报, **20**(2): 170-176.
- 张兴群, 刘双霜, 曹张军. 2009. 超氧化物歧化酶(SOD)与植物抗逆性的关系若干进展. 第六届全国SOD学术研讨会论文集. 江苏苏州: 中国药学会生化与生物技术药物专业委员会: 68-73.
- 赵楠, 于毅, 张安盛, 等. 2014. 莱芜地区桃小食心虫发生规律及药剂防治效果. 植物保护, **40**(1): 169-172.
- Abe H, Shimoda T, Ohnishi J, et al. 2009. Jasmonate-dependent plant defense restricts thrips performance and preference. *BMC Plant Biology*, **9**: 97.
- Boughton AJ, Hoover K, Felton GW. 2006. Impact of chemical elicitor applications on greenhouse tomato plants and population growth of the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **120**: 175-188.
- Bristow CM. 1989. Host development offers new insight into insect-plant interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, **4**: 123-124.
- Cooper WR, Nicholson SJ, Puterka GJ. 2011. Salivary proteins of *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae). *Annals of the Entomological Society of America*, **106**: 86-92.
- Shackel KA, Maria DLPC, Hamid A, et al. 2005. Micro-injection of lygus salivary gland proteins to simulate feeding damage in alfalfa and cotton flowers and dagger. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, **58**: 69-83.
- Tschamtk T, Thiessen S, Dolch R, et al. 2001. Herbivory, induced resistance, and interplant signal transfer in *Alnus glutinosa*. *Biochemical Systematics and Ecology*, **29**: 1025-1047.

作者简介 张顺益,男,1988年生,硕士研究生,主要从事害虫综合治理研究。E-mail: 462472281@qq.com  
责任编辑 李凤芹