

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.18

不同诱导处理番茄植株对西花蓟马 保护酶活性的影响

蒲恒许^{1,2}, 鄧军锐^{1*}, 曾 广¹

(1. 贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州省林业厅, 贵阳 550001)

摘要: 研究了西花蓟马取食茉莉酸、水杨酸甲酯、机械损伤、虫伤处理诱导的番茄植株对其虫体保护酶活性的影响。研究发现, 不同处理的番茄植株对西花蓟马过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 3 种保护酶的活性有明显的影响。只有西花蓟马取食茉莉酸处理的番茄植株 24 h, POD 活性明显升高, 取食其它处理及在其它时间下, POD 活性与对照没有明显的变化或活性受到抑制。取食水杨酸甲酯处理的番茄植株 6 h 和 24 h, 西花蓟马 CAT 活性均受到激发; 取食虫害植株的 3 个时间段下, 西花蓟马酶活性一直受到抑制; 西花蓟马取食茉莉酸处理及机械损伤处理番茄植株, CAT 酶活性在任何时间下都没有明显的变化或受到抑制。取食水杨酸诱导处理的番茄植株, 西花蓟马 SOD 活性在 6 h 和 24 h 明显升高, 36 h 明显下降; 但取食其它处理的 SOD 酶活性均在 36 h 明显升高。结果说明西花蓟马 3 种保护酶活性在取食不同处理诱导的番茄植株的不同时间下各不相同, 说明保护酶活性的变化与不同诱导处理及时间密切相关。

关键词: 西花蓟马; 保护酶; 茉莉酸; 水杨酸甲酯; 番茄

中图分类号: Q963; S433.89

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-0996-07

Effects of different inducing treatments of tomato plants on protective enzymes activities of *Frankliniella occidentalis* (Pergande)

PU Heng-Hu^{1,2}, ZHI Jun-Rui^{1*}, ZENG Guang¹ (1. Institute of Entomology, Guizhou University, Guizhou Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region, Guiyang 550025, China; 2. Forestry Department of Guizhou Province, Guiyang 550001, China)

Abstract: The activities of protective enzymes in *Frankliniella occidentalis* after feeding tomato plants treated with jasmonic acid (JA) induction, methyl salicylate (MeSA), mechanical wounding (MD) and damage by thrips feeding (DTF), respectively, were detected. The results showed that different treatments of tomato plants could induce change of activities of peroxidase (POD), catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) in *F. occidentalis*. POD activity increased significantly at 24 h after feeding tomato plant by JA induction, while activities of POD were not significant different or lower than the control induced by other treatments and at different feeding times. The CAT activity increased at 6 h and 24 h after feeding the tomato plant by MeSA induced. The activities of CAT induced by DTF were suppressed under the different feeding times. The enzyme activities of thrips feeding JA induction or MD plant were not significant different compared with the control or lower than control at each time. The SOD activities induced by MeSA were higher than that of control at 6 h and 24 h, and were inhibited at 36 h, while the activities of SOD rose at 36 h when *F. occidentalis* feeding other treated tomato. The results indicated that the activities of protective

基金项目: 贵州省国际合作项目 (黔科合外 G 字 [2011] 7002 号); 农业昆虫与害虫防治贵州省研究生卓越人才计划 (黔教研合 ZYRC 字 [2013] 010)

作者简介: 蒲恒许, 男, 1984 年生, 在读博士, 研究方向为害虫综合治理, E-mail: 377607801@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhijunrui@126.com

收稿日期 Received: 2015-10-08; 接受日期 Accepted: 2015-11-20

enzymes were closely related to the different induction treatments and times.

Key words: *Frankliniella occidentalis*; protective enzyme; Jasmonic acid; methyl salicylate; tomato

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) 是昆虫体内 3 种重要的保护酶, 可以保护昆虫避免自由基的伤害, 减少不利环境对昆虫体内细胞的影响, 在维持昆虫正常的生理生化代谢方面具有重要作用 (李周直等, 1994; Lozinskaya *et al.*, 2004; 徐艳聆等, 2006; 蒋晴等, 2013), 而昆虫对寄主植物的适应差异与保护酶的活性改变有关 (Ashida *et al.*, 1990; Zhu-Salzman *et al.*, 2003; 毕明娟等, 2010)。

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 又称苜蓿蓟马, 属缨翅目 Thysanoptera 蓟马科 Thripidae, 是对蔬菜、花卉等多种农作物具有毁灭性危害的世界性入侵害虫 (Kirk and Terry, 2003)。近年来, 国内对西花蓟马生物学特性、种群动态以及与寄主植物的相互关系做了许多研究 (鄧军锐等, 2010; 蒋兴川等, 2011; 盖海涛等, 2012; 张治军等, 2012; 从春蕾等, 2013b; 王慧等, 2014; 张玉秀等, 2014; 王春等, 2015; 张彬等, 2015)。袁成明等 (2011) 认为黄瓜、四季豆等是西花蓟马的适宜寄主, 番茄、辣椒等茄科植物是西花蓟马的非适宜寄主。水杨酸甲酯 (MeSA) 及茉莉酸 (JA) 是植物诱导防御信号途径中的一类重要信号物质, 也可作为外源因子诱导植物产生防御物质, 有研究表明菜豆受到茉莉酸、水杨酸甲酯、机械损伤、西花蓟马取食等诱导后, 会产生一系列的防御反应 (从春蕾等, 2013a; 2014), 并且西花蓟马会对各种诱导处理的菜豆产生不同的反应, 如张骏等 (2015) 认为外源茉莉酸与水杨酸甲酯诱导的菜豆对西花蓟马有明显的驱避作用, 健康菜豆和机械损伤菜豆对西花蓟马的吸引作用增强。牟峰等 (2014) 发现茉莉酸、水杨酸甲酯和西花蓟马取食诱导处理的菜豆植株明显延长西花蓟马未成熟期的发育时间, 并降低西花蓟马的存活率。田甜等 (2014) 研究发现西花蓟马取食受到二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 危害诱导后的菜豆, 保护酶会发生变化以适应寄主的防御反应。刘建业等 (2014) 认为西花蓟马成虫可能通过改变体内保护酶的活性来适应高浓度 CO₂ 的环境。上述研究在一定程度上反映了适宜寄主对西花蓟马的防御反应以及西花蓟马在取

食被诱导的植株和外界环境变化后虫体的一系列生理变化。但当西花蓟马取食受到各种诱导的非嗜好寄主后, 虫体保护酶会产生什么变化还没有研究。因此, 本文以茉莉酸、水杨酸甲酯、机械损伤、西花蓟马取食等作为诱导因子诱导番茄植株产生防御反应, 然后研究西花蓟马取食受诱导的番茄植株不同时间后, 其体内保护酶活性的变化, 明确西花蓟马保护酶对非嗜好寄主番茄植株防御反应的适应性。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫和供试植物

1.1.1 供试昆虫

西花蓟马: 采自贵州省贵阳市花溪区平桥菜地豆科植物上, 带回试验室后在人工气候室内用新鲜的菜豆 *Phaseolus vulgaris* Linn 豆荚饲养纯化 3 代以上备用。

1.1.2 供试植物

健康番茄: 选取番茄 *Lycopersicon esculentum* Miller 品种为合作 903 (上海番茄研究所), 将番茄种子播种于温室大棚花盆中, 待植株长为 9 片真叶时作为供试植物。

1.2 试验方法

1.2.1 番茄的诱导处理方法

对照处理: 选用健康番茄植株作为对照。

茉莉酸诱导处理: 在健康番茄植株上, 喷洒浓度为 1.0 mmol/L 茉莉酸, 喷至叶片全湿为准。

水杨酸甲酯诱导处理: 在健康番茄植株上, 喷洒浓度为 5.0 mmol/L 水杨酸甲酯, 喷至叶片全湿为准。

机械损伤: 在健康番茄植株上, 每叶用针头打孔 5 孔/叶。

虫伤处理: 在健康番茄植株上, 每叶接 10 头虫龄一致西花蓟马 2 龄若虫, 接虫 1 d 后剔除若虫。

1.2.2 酶源制备

在不同处理的番茄植株上分别接入西花蓟马 2 龄若虫 100 头, 在其分别取食 6 h、24 h、36 h 时进行取样, 每个处理重复 4 次, 分别取取食不同处理的西花蓟马 2 龄若虫 50 头, 加入 300 μ L 的

生理盐水, 在冰浴条件下匀浆, 再将匀浆液置于 4℃, 2500 转/分离心 10 min, 取上清液为酶源液 (田甜, 2014)。POD、CAT、SOD 保护酶活力测定按南京建成生物工程研究所生产的试剂盒说明进行。

1.3 数据处理

试验数据均采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行分析。采用 Tukey 检验法分析不同处理间差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同诱导处理的番茄植株对西花蓟马 POD 酶活性的影响

西花蓟马取食不同处理的番茄, POD 酶活性有明显的变化 (表 1)。取食不同处理番茄 6 h 时 POD 酶活性的变化不同, 除取食茉莉酸处理与对

照没有显著差异外, 其它处理与对照相比均受到显著抑制, 其中取食虫伤处理的 POD 酶活性降低最为明显, 减少了 66.85%。取食不同处理番茄 24 h 时, 取食茉莉酸处理的 POD 酶比对照的提高了 26.74%, 取食水杨酸甲酯处理比对照降低了 24.05%, 取食机械损伤和虫伤处理的 POD 则无明显变化。取食不同处理番茄 36 h 时, 西花蓟马取食各种处理的 POD 酶活性均低于对照, 其中水杨酸甲酯处理的虫体 POD 酶活性比对照降低了 50.83%, 受到的抑制最严重。

西花蓟马取食茉莉酸处理和水杨酸处理的番茄, POD 酶活性在不同时间下的变化类似, 均是在 6 h 时最高, 随后开始降低, 并且 24 h 和 36 h 时 POD 酶活性没有差异。虫伤处理的酶活性在 6 h 和 24 h 时没有区别, 36 h 的虫体 POD 酶活性较 6 h 明显上升。取食机械损伤处理的 POD 酶活性则随时间无显著变化。

表 1 不同诱导处理的番茄植株对西花蓟马 POD 酶活性的影响 (U/mgprot)

Table 1 Changes of POD activity in *Frankliniella occidentalis* feeding tomato plants induced by different treatments

处理时间 (h) Treating time	对照 CK	茉莉酸 JA	水杨酸甲酯 MeSA	机械损伤 MD	虫伤 DTF
6	16.17 ± 1.6 Aa	16.09 ± 1.92 Aa	6.72 ± 1.6 Abc	7.12 ± 0.96 Ab	5.36 ± 0.64 Bc
24	6.32 ± 1.28 Cb	8.01 ± 0.96 Ba	4.80 ± 1.28 Bc	7.69 ± 2.24 Aab	5.60 ± 0.96 Bbc
36	10.25 ± 1.60 Ba	6.80 ± 0.96 Bb	5.04 ± 0.64 Bc	8.01 ± 2.24 Ab	7.69 ± 1.28 Ab

注: 表中数据为平均值 ± 标准误差, 同一列数据后标注的不同大写字母表示同一处理不同时间差异显著, 同一行数据后标注的不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著 ($P < 0.05$, Tukey 检验)。表 2, 表 3 同。Note: The data in the table are the mean ± SE. Different capital letters in the same column indicate significant differences at the 0.05 level among different time at the same treatment, different lowercase letters in the same line indicate significant differences at the 0.05 level among different treatments at the same time (Tukey's test). The same for table 2 and table 3.

2.2 不同诱导处理的番茄植株对西花蓟马 CAT 酶活性的影响

取食不同处理番茄 6 h 时, 水杨酸甲酯处理的西花蓟马 CAT 酶活性迅速受到激活, 比对照升高了近 2/3; 取食虫伤处理和茉莉酸处理的 CAT 酶活性则受到抑制, 前者酶活性较对照降低幅度最大, 减少了 74.01%。取食不同处理番茄 24 h 时, 取食水杨酸甲酯处理的 CAT 酶活性同 6 h, 也是显著上升, 其他处理的酶活性均被抑制, 取食机械损伤和虫害处理的受到的抑制作用最显著。取食不同处理番茄 36 h 时, 只有取食虫伤处理番茄的

CAT 酶活性被抑制, 取食其它处理与对照的则差异不显著 (表 2)。

西花蓟马取食同一处理的番茄, CAT 酶活性在不同时间下变化不同。对照和茉莉酸处理的 CAT 酶活性在各时间段均无明显变化。取食水杨酸甲酯处理的 CAT 酶活性随着时间的增加不断降低, 受到明显抑制。西花蓟马取食机械损伤处理的 CAT 酶在 24 h 时活性迅速降低, 但 36 h 后酶活性又升高。而取食虫伤处理的 CAT 酶活性随时间迅速升高, 到 24 h 后开始趋于平稳。

表 2 不同诱导处理的番茄植株对西花蓟马虫体 CAT 酶活性的影响 (U/mgprot)
Table 2 Changes of CAT activity in *Frankliniella occidentalis* feeding tomato plants induced by different treatments

处理时间 (h) Treating time	对照 CK	茉莉酸 JA	水杨酸甲酯 MeSA	机械损伤 MD	虫伤 DTF
6	33. 32 ± 5. 5 Ab	25. 77 ± 3. 91 Ac	54. 60 ± 4. 67Aa	35. 47 ± 3. 65Ab	8. 66 ± 1. 82 Bd
24	31. 63 ± 2. 86 Ab	27. 07 ± 6. 77 Ac	36. 12 ± 5. 21Ba	17. 44 ± 3. 64 Cd	18. 29 ± 2. 6 Ad
36	30. 52 ± 2. 60 Aa	27. 53 ± 4. 69 Aa	27. 20 ± 5. 73Ca	29. 02 ± 5. 21 Ba	18. 61 ± 2. 86 Ab

2.3 不同诱导处理的番茄植株对西花蓟马 SOD 酶活性的影响

西花蓟马取食不同处理番茄植株 6 h 的时候, 只有水杨酸甲酯处理的 SOD 保护酶活性比对照升高 59. 98%, 其余处理均无明显差异。取食不同处理番茄 24 h 时, 取食水杨酸甲酯处理的 SOD 保护酶活性同样受到激发, 比对照升高了 29. 14%, 取食虫伤处理的 SOD 的酶活性则受到抑制, 取食机械损伤和茉莉酸处理的 SOD 酶活性无明显变化。在取食 36 h 时, 取食水杨酸甲酯处理的番茄, 西花蓟马 SOD 酶活性在 36 h 的时候比对照降低了 15. 46%, 而取食茉莉酸、机械损伤和虫伤处理的

SOD 酶活性均受到激发, 分别比对照上升了 37. 38%、25. 99% 和 10. 53% (表 3)。

西花蓟马取食同一处理的番茄, SOD 酶活性在不同时间下变化不同。取食茉莉酸处理的 SOD 酶活性直到 36 h 以后才受到激发。取食水杨酸甲酯处理的 SOD 酶活性随时间呈下降趋势。取食机械损伤处理的 SOD 酶活性变化与水杨酸甲酯处理相反, 随时间逐渐升高, 36 h 达到活性高峰。虫伤处理的 SOD 酶活性为先降低后升高的趋势, 24 h 的酶活性低于 6 h, 明显受到抑制, 而 36 h 后酶活性迅速上扬, 达到数值最高峰 (见表 3)。

表 3 不同诱导处理的番茄植株对西花蓟马 SOD 酶活性的影响 (U/mgprot)
Table 3 Changes of SOD activity in *Frankliniella occidentalis* feeding tomato plants induced by different treatments

处理时间 (h) Treating time	对照 CK	茉莉酸 JA	水杨酸甲酯 MeSA	机械损伤 MD	虫伤 DTF
6	24. 86 ± 4. 32 Ab	23. 78 ± 4. 32 Bb	39. 77 ± 3. 46 Aa	24. 42 ± 4. 32 Cb	23. 56 ± 4. 32 Bb
24	25. 94 ± 2. 59 Ab	24. 64 ± 4. 32 Bb	33. 50 ± 2. 59 Ba	27. 24 ± 2. 59 Bb	20. 10 ± 3. 46 Cc
36	26. 59 ± 2. 59 Ad	36. 53 ± 2. 59 Aa	22. 48 ± 2. 59 Ce	33. 50 ± 0. 86 Ab	29. 39 ± 2. 59 Ac

3 结论与讨论

本研究发现西花蓟马取食虫伤处理诱导的番茄植株后, 虫体的 POD 酶活性仅在 24 h 的时候与对照无显著差异, 在 6 h 和 36 h 均受到抑制, CAT 酶活性在各时间段始终低于健康处理。上述结果说明西花蓟马取食非嗜好寄主番茄植株后, 可能会使植物产生明显的防御反应, 对之后取食植株的西花蓟马保护酶造成明显的抑制, 而机械损伤处理的番茄植株对之后取食的西花蓟马保护酶造成的影响较小, 这可能是由于机械损伤对番茄植株刺激的时间短, 产生的诱导作用有限而导致。

当西花蓟马取食水杨酸甲酯处理诱导的番茄

植株后, 不论何种时间下 POD 酶始终受到抑制, 而 CAT 酶和 SOD 酶的变化在 6 h 和 24 h 时相同, 均受到激发, 高于对照, 在 36 h 的时候, 西花蓟马 CAT 酶和 SOD 酶的变化不同, 分别与对照酶活性无显著差异和受到抑制。

当西花蓟马取食茉莉酸处理诱导的番茄植株后, 其不同的保护酶在不同的时间段受到的影响不一样, 无明显的变化规律, 但也只有 POD 活性在 24 h 和 SOD 在 36 h 显著提高, 其余时间下和对照差异不显著或活性受到抑制。

在植物与昆虫的长期协同进化过程中, 植物可以产生一些次生物质防御植食性昆虫 (秦秋菊和高希武, 2005), 如有些植物受到昆虫取食后, 会通过增加酚类化合物的含量, 抵御昆虫的为害

(戈峰等, 1997); 受瓜蚜侵染诱导后, 黄瓜叶片次生代谢物质含量也会上升(季春梅, 2011), 这些植物的生理变化可能会对昆虫产生防御反应, 从而使虫体内的保护酶受到抑制。田甜(2014)发现西花蓟马取食叶螨为害菜豆 18 h 时, 2 龄若虫体内 SOD 的活性显著降低。Ding 等(2001)发现美国白蛾 *Hyphantria cunea* 幼虫取食转抗虫基因的白杨, 虫体 SOD 和 POD 酶活性会出现先升高后降低的情况。徐艳聆等(2006)发现亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 幼虫在取食转 Bt 基因抗虫玉米 48 h 后, 虫体保护酶受到明显抑制, 这与本研究中西花蓟马取食虫伤处理诱导的番茄植株后, 其 CAT 酶受到抑制的结果类似。但是植食性昆虫也可以对植物的防御产生一定的适应能力, 利用体内的保护酶对植物的次生生物物质进行解毒和排毒, 使虫体内的自由基维持在一个低水平, 比如取食 B 型烟粉虱前侵染的烟草能使 B 型烟粉虱和烟蚜体内保护酶在某个时间段有不同程度的增加(毕明娟等, 2010)。抗性无性系美洲黑杨对分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* 幼虫体内的 SOD 和 CAT 酶活性有明显激活作用(方杰等, 2007), 分月扇舟蛾幼虫取食浸染苦豆草总碱及苦参碱的杨树叶片后, 虫体 SOD 酶活性升高(杨振德等, 2006), 稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 幼虫取食转 Cry1 Ab/Cry1Ac 基因水稻的叶片 4 h 后, 幼虫体内 SOD 酶活性明显升高(张巍等, 2008), 这与本研究中西花蓟马取食水杨酸甲酯处理诱导的番茄植株后, 其体内 CAT 酶和 SOD 酶活性在 6 h 和 24 h 受到激发的结果类似, 但取食其它处理 SOD 的活性 36 h 才被激活, 也说明水杨酸甲酯处理的番茄对西花蓟马的诱导作用快于茉莉酸诱导和虫害。

有研究表明昆虫对植物防御反应的适应性会影响它们对寄主植物的选择(Peter, 2011; 曹宇等, 2012), 尹娇等(2012)发现取食非适宜寄主植物时的草地螟 *Loxostege sticticalis* 幼虫中肠解毒酶活力在初期明显低于取食适宜寄主植物, 刘玉坤等(2011)发现取食非嗜好水稻品种 120 h 后, 褐飞虱成虫 POD 酶活性显著下调。本研究也发现, 取食被诱导的非嗜好寄主番茄植株后, 西花蓟马的 CAT 与 SOD 酶活性在各时间段均低于取食被同样诱导的适宜寄主菜豆的虫体酶活性(牟峰, 2015)。而且, 除茉莉酸处理外, 当西花蓟马取食受到上述诱导的非嗜好寄主番茄后, 虫体 POD 酶活性在 6 h 与对照相比会受到严重抑制, 难以快速

有效的对植物的防御反应产生适应, 而牟峰(2015)研究发现取食受诱导的适宜寄主菜豆植株后, 西花蓟马 POD 酶活性在 6 h 会迅速受到激发。另外, 保护酶中的 SOD 具有清除 O_2^- 并转化成 H_2O_2 的功能, 而 CAT 可以进一步催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2 , POD 也具有分解 H_2O_2 的能力, 上述酶共同作用能使细胞内的活性氧自由基处于一种动态平衡状态(李会平等, 2006)。而西花蓟马取食虫伤处理的番茄, 其 SOD 酶活性在取食初期与对照无显著差异或受到抑制, 不能有效清除虫体内过多的活性氧, 36 h 的时候才被激活, 将活性氧转化为大量 H_2O_2 , 但是由于虫体的 POD 和 CAT 酶活性受到抑制, 无法及时分解 H_2O_2 , 从而对虫体造成伤害。这说明西花蓟马在取食非嗜好寄主番茄植株后, 可能会使番茄植株产生强烈的防御反应, 抑制虫体保护酶活性, 以阻止西花蓟马的进一步危害, 进而导致西花蓟马对寄主生理适应性的差异。但是不同的诱导会导致番茄植株产生如何的防御反应还不得而知, 什么情况会诱导虫体保护酶活性的抑制或激发也需要进一步的研究, 其变化趋势很可能是受多种因素综合影响的结果。所以进一步研究西花蓟马保护酶活性变化与寄主植物防御反应的相互关系, 是深入了解西花蓟马与寄主适合度差异机制的一条重要途径。

参考文献 (References)

- Ashida M, Kinoshita K, Brey PT. Studies on prophenoloxidase activation in the mosquito *Aedes aegypti* L. [J]. *European Journal of Biochemistry*, 1990, 188 (3): 507–515.
- Bi MJ, Xue M, Li QL, et al. effects of feeding on tobacco plants preinfested by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) B-biotype on activities of protective enzymes and digestive enzymes in *B. tabaci* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (2): 139–146. [毕明娟, 薛明, 李庆亮, 等. 取食 B 型烟粉虱前侵染的烟草对 B 型烟粉虱和烟蚜体内保护酶和消化酶活性的影响 [J]. 昆虫学报, 2010, 53 (2): 139–146]
- Cao Y, Zhi JR, Cong CL, et al. Relationships between host plant selection of *Frankliniella occidentalis* and physical characteristics and secondary plant compounds of host foliage [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (4): 27–32. [曹宇, 鄧军锐, 从春蕾, 等. 西花蓟马寄主选择性与寄主物理性状及次生物质的关系 [J]. 植物保护, 2012, 38 (4): 27–32]
- Cong CL, Zhi JR, Liao QR, et al. effects of *Frankliniella occidentalis* feeding and mechanical damage on the antioxidant system in bean leaves [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013a, 50 (6): 1586–1593. [从春蕾, 鄧军锐, 廖启荣, 等. 西花

- 蓟马取食与机械损伤对菜豆叶片抗氧化系统的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2013a, 50 (6): 1586–1593]
- Cong CL, Zhi JR, Xie LF, *et al.* Effects of *Frankliniella occidentalis* feeding on the chlorophyll and nutrients in the leaves of *Phaseolus vulgaris* [J]. *Plant Protection*, 2013b, 39 (2): 20–24. [从春蕾, 邹军锐, 谢路飞, 等. 西花蓟马为害对菜豆叶绿素及营养物质含量的影响 [J]. 植物保护, 2013b, 39 (2): 20–24.]
- Cong CL, Zhi JR, Liao QR, *et al.* effects of thrips feeding, mechanical wounding, and exogenous methyl salicylate and jasmonic acid on defense enzyme activities in kidney bean leaf [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (5): 564–571. [从春蕾, 邹军锐, 廖启荣, 等. 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 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (5): 564–571]
- Ding SY, Li HY, Li XF. Effects of two kinds of transgenic poplar on protective enzymes system in the midgut of larvae of American white moth [J]. *Journal of Forestry Research*, 2001, 12 (2): 119–122.
- Fang J, Zhao BG, Yang ZD, *et al.* effects of 18 clones of *Populus deltoides* on the activities of digestive and protective enzymes in larva of *Clostera anastomosis* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Sciences Edition), 2007, 31 (2): 127–129. [方杰, 赵博光, 杨振德, 等. 美洲黑杨对分月扇舟蛾幼虫体内酶活性的影响 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2007, 31 (2): 127–129]
- Gai HT, Zhi JR, Yue Z. Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* on pepper [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25 (1): 337–339. [盖海涛, 邹军锐, 岳臻. 西花蓟马和花蓟马在辣椒上的种群动态 [J]. 西南农业学报, 2012, 25 (1): 337–339]
- Ge F, Li DM, Qiu YX, *et al.* Pine trees suffer after some changes in concentrations of chemicals and its influence of *Dendrolimus punctatus* population parameter [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1997, 4: 337–342. [戈峰, 李典谟, 邱业先, 等. 松树受害后一些化学物质含量的变化及其对马尾松毛虫种群参数的影响 [J]. 昆虫学报, 1997, 4: 337–342]
- Ji CM. Effect of Infection on the Secondary Metabolism of *Aphis gossypii* in Cucumberleaf Material and Related Enzyme Activities [D]. Shandong: Shandong Agricultural University, 2011. [季春梅. 瓜蚜侵染对黄瓜叶片次生代谢物质及相关酶活性的影响 [D]. 山东: 山东农业大学, 2011]
- Jiang Q, Su HH, Yang YZ. Relationship between midgut proteinases, detoxification enzymes, protective enzymes in insect and the resistance to Bt [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (1): 95–101. [蒋晴, 苏宏华, 杨益众. 昆虫对 Bt 毒素的抗性中肠蛋白酶、解毒酶以及保护酶活性的关系 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (1): 95–101]
- Jiang XC, Zhang Y, Gui FR, *et al.* Population dynamic and spatial distribution of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in different period of pepper [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2011, 26 (4): 465–471. [蒋兴川, 张勇, 桂富荣, 等. 辣椒植株上西花蓟马的种群动态和空间分布 [J]. 云南农业大学学报, 2011, 26 (4): 465–471]
- Kirkd J, Terry TL. The spread of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2003, 5: 301–310.
- Li HP, Huang DZ, Gao J, *et al.* The change of activities of protective enzymes in interaction of *Apriona germari* and different resistant populus [J]. *Acta Sericologica Sinica*, 2006, 32 (4): 578–581. [李会平, 黄大庄, 高洁, 等. 保护酶在桑天牛与不同抗性杨树之间的互作过程 [J]. 蚕业科学, 2006, 32 (4): 578–581]
- Li ZZ, Shen HJ, Jiang QG, *et al.* A study on the activities of endogenous enzymes of protective system in some insects [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1994, 37 (4): 399–403. [李周直, 沈惠娟, 蒋巧根, 等. 几种昆虫体内保护酶系统活力的研究 [J]. 昆虫学报, 1994, 37 (4): 399–403]
- Liu JY, Qian L, Jiang XC, *et al.* effects of elevated CO₂ concentration on the activities of detoxifying enzymes and protective enzymes in adults of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (7): 754–761. [刘建业, 钱蕾, 蒋兴川, 等. CO₂ 浓度升高对西花蓟马和花蓟马成虫体内解毒酶和保护酶活性的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (7): 754–761]
- Liu YK, Wang WX, Fu Q, *et al.* effects of host plants on activities of detoxification and protective enzymes in three rice planthoppers [J]. *Chin. J. Rice Sci.*, 2011, 25 (6): 659–666. [刘玉坤, 王渭霞, 傅强, 等. 寄主植物对 3 种稻飞虱解毒酶和保护酶活性的影响 [J]. 中国水稻科学, 2011, 25 (6): 659–666]
- Lozinskaya YL, Slepneva IA, Khramtsov VV. Changes of the antioxidant status and system of generation of free radicals in hemolymph of *Galleria mellonella* larvae at microsporidiosis [J]. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2004, 40 (2): 119–125.
- Mou F. Effect of Different Treatments of Bean Plants on Development and Enzyme Activities of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) [D]. Guizhou: Guizhou University, 2015. [牟峰. 不同处理菜豆植株对西花蓟马生长发育和酶活性的影响 [D]. 贵州: 贵州大学, 2015]
- Mou F, Zhi JR, Cong CL, *et al.* Effects of exogenous jasmonic acid and methyl salicylate on developmental duration and population dynamics of *Frankliniella occidentalis* [J]. *Plant Protection*, 2014, 40 (6): 70–74. [牟峰, 邹军锐, 从春蕾, 等. 外源茉莉酸和水杨酸甲酯对西花蓟马生长发育和种群动态的影响 [J]. 植物保护, 2014, 40 (6): 70–74]
- Peter H. Insect cytochromes P450: Topology of structural elements predicted to govern catalytic versatility [J]. *J. Inorg. Biochem.*, 2011, 105 (10): 1354–1364.
- Qin QJ, Gao XW. Plant defense responses induced by insect herbivory [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48 (1): 125–134. [秦秋菊, 高希武. 昆虫取食诱导的植物防御反应 [J]. 昆虫学报, 2005, 48 (1): 125–134]
- Tian T. Interactions between *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and

- Tetranychus urticae* Koch [D]. Guizhou: Guizhou University, 2014. [田甜. 西花蓟马与二斑叶螨互作关系研究 [D]. 贵州: 贵州大学, 2014]
- Wang C, Cao Y, Liu Y, *et al.* The preference of *Frankliniella occidentalis* to different horticultural host [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44 (3): 83–87. [王春, 曹宇, 刘燕, 等. 西花蓟马对 4 种花卉寄主的偏好性研究 [J]. 河南农业科学, 2015, 44 (3): 83–87]
- Wang H, Xue JP, Liu L, *et al.* Species of thrips and seasonal population dynamics of western flower thrips on chrysanthemum seedling [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2014, 29 (4): 494–499. [王慧, 薛建平, 刘浪, 等. 菊花种苗蓟马种类和西花蓟马种群季节动态 [J]. 云南农业大学学报, 2014, 29 (4): 494–499]
- Xu YL, Wang ZY, He KL, *et al.* Effects of transgenic Bt corn expressing Cry1Ab toxin on activities of some enzymes in larvae of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49 (4): 562–567. [徐艳玲, 王振营, 何康来, 等. 转 Bt 基因抗虫玉米对亚洲玉米螟幼虫几种主要酶系活性的影响 [J]. 昆虫学报, 2006, 49 (4): 562–567]
- Yang ZD, Zhu L, Zhao BG, *et al.* effects of alkaloids from *Sophora alopecuroides* on the activities of digestive and protective enzymes in *Closteria anastomosis* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28 (1): 80–83. [杨振德, 朱麟, 赵博光, 等. 苦豆草生物碱对分月扇舟蛾体内消化酶和保护酶活性的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2006, 28 (1): 80–83]
- Yin J, Feng HL, Li KB, *et al.* Effects of host plants on the activities of some detoxification enzymes and protective enzymes in the meadow moth [J]. *Plant Protection*, 2012, 38 (1): 35–39. [尹皎, 冯红林, 李克斌, 等. 寄主植物对草地螟中肠解毒酶及保护性酶活性的影响 [J]. 植物保护, 2012, 38 (1): 35–39]
- Yuan CM, Zhi JR, Cao Y, *et al.* Selectivity of *Frankliniella occidentalis* to vegetable hosts [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31 (6): 1720–1726. [袁成明, 鄧军锐, 曹宇, 等. 西花蓟马对蔬菜寄主的选择性 [J]. 生态学报, 2011, 31 (6): 1720–1726]
- Zhang B, Zheng CY. Life tables of laboratory population of *Frankliniella occidentalis* on different peanut varieties [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 13: 80–83. [张彬, 郑长英. 西花蓟马在不同花生品种间的实验种群生命表 [J]. 广东农业科学, 2015, 13: 80–83]
- Zhang J, Zhi JR, Yang GM. Behavioral responses of *Frankliniella occidentalis* to kidney bean plants and their volatiles under different treatments [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34 (2): 425–430. [张骏, 鄧军锐, 杨广明. 西花蓟马对不同处理菜豆及其挥发物的行为反应 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 (2): 425–430]
- Zhang W, Zhang ZG, Fu XQ, *et al.* Effects of transgenic Bt rice on the activities of three protective enzymes in larvae of the rice leaf older, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (10): 1022–1027. [张巍, 张志罡, 付秀芹, 等. 转 Bt 基因水稻对稻纵卷叶螟幼虫体内三种保护酶活性的影响 [J]. 昆虫学报, 2008, 51 (10): 1022–1027]
- Zhang YX, Zhang ZJ, Lv YB. Analysis of the feeding behavior of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on four host plants by electrical penetration graph [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2014, 26 (3): 714–721. [张玉秀, 张治军, 吕要斌. 利用 EPG 技术分析西花蓟马在 4 种寄主植物上的取食行为 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26 (3): 714–721]
- Zhang ZJ, Zhang YJ, Xu BY, *et al.* Effects of temperature on development, reproduction and population growth of the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2012, 55 (11): 1168–1177. [张治军, 张友军, 徐宝云, 等. 温度对西花蓟马生长发育、繁殖和种群增长的影响 [J]. 昆虫学报, 2012, 55 (11): 1168–1177]
- Zhi JR, Li JZ, Gai HT. Life table for experimental population *Frankliniella occidentalis* feeding on leguminous vegetables [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2010, 47 (2): 313–317. [鄧军锐, 李景柱, 盖海涛. 西花蓟马取食不同豆科蔬菜的实验种群生命表 [J]. 昆虫知识, 2010, 47 (2): 313–317]
- Zhu-Salzman K, Koiwa H, Salzman RA. Cowpea bruchid *Callosobruchus maculatus* uses a three-component strategy to overcome a plant defensive cysteine protease inhibitor [J]. *Insect Molecular Biology*, 2003, 12 (2): 135–145.