

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.17

阿维菌素对半闭弯尾姬蜂保护酶系和解毒酶系的影响

贾变桃, 洪珊珊, 张雨超, 曹永伟

(山西农业大学农学院, 山西太谷 030801)

摘要: 为明确阿维菌素对半闭弯尾姬蜂保护酶系和解毒酶系的影响, 采用试管药膜法以阿维菌素亚致死浓度 (LC_{10} 和 LC_{25}) 处理半闭弯尾姬蜂成虫, 分别于处理后 1、12、24 和 48 h 测定其体内保护酶和解毒酶活性变化。结果表明, 阿维菌素亚致死浓度处理后, 随着时间的延长, 对寄生蜂体内超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性总体表现为诱导作用; 对过氧化氢酶 (CAT) 活性表现为先抑制后诱导作用; 对酯酶 (EST)、谷胱甘肽 S-转移酶 (GST) 和多功能氧化酶 (MFO) 具有显著的抑制作用。研究结果为深入了解半闭弯尾姬蜂对阿维菌素的防御机理提供了一定的理论基础。

关键词: 阿维菌素; 半闭弯尾姬蜂; 保护酶; 解毒酶

中图分类号: Q965; S476

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-0990-06

Effect of sublethal concentrations of abamectin on protective and detoxifying enzymes in *Diadegma semiclausum*

JIA Bian-Tao, HONG Shan-Shan, ZHANG Yu-Chao, CAO Yong-Wei (College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi Province, China)

Abstract: To explore the effect of abamectin on protective and detoxifying enzymes of *Diadegma semiclausum* Hellen, a larval parasitoid of diamondback moth, the activities of protective and detoxifying enzymes were determined after treatment of *D. semiclausum* adults for 1, 12, 24 and 48 hours with LC_{10} and LC_{25} concentrations of abamectin using residual film method. The results showed that the activities of superoxidase dismutase (SOD) and peroxidase (POD) were significantly promoted with increasing treatment time and the catalase (CAT) activity was firstly inhibited then promoted by sublethal concentrations of abamectin. At the same time, abamectin exposure inhibited the activities of detoxifying enzymes significantly at most of treatment time. The results provide some theory basis for further understanding defense mechanisms of *D. semiclausum* against abamectin.

Key words: Abamectin; *Diadegma semiclausum*; protective enzymes; detoxifying enzymes

小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 是一种重要的蔬菜害虫, 其幼虫以十字花科蔬菜为食 (牟芳等, 2015)。在蔬菜生产中, 小菜蛾的治理主要以化学防治为主, 然而, 由于杀虫剂的大量使用, 使小菜蛾对多种药剂产生了抗药性 (Guo *et al.*, 2013), 农药的有效性大大降低。半闭弯尾姬蜂

Diadegma semiclausum Hellen (Hym. Ichneumonidae) 是小菜蛾幼虫期的一种主要寄生蜂。该蜂起源于欧洲, 被许多国家和地区引进用于小菜蛾的防治 (Talerkar and Shelton, 1993; 陈宗麒等, 2003), 其控害作用十分有效。现已证明, 这一寄生蜂在我国北方地区广泛分布 (刘树生等, 2004)。利用天

基金项目: 山西省自然科学基金项目 (2012011035-3); 山西农业大学引进人才科研启动基金项目 (XB2007008); 山西省研究生创新项目 (20143091); 山西省大学生创新项目 (2014097)

作者简介: 贾变桃, 女, 1971 年生, 山西祁县人, 副教授, 研究方向为农药毒理与害虫抗药性, E-mail: jiabtao@foxmail.com

收稿日期 Received: 2015-11-10; 接受日期 Accepted: 2016-02-01

敌进行生物防治,可降低化学杀虫剂的使用量,延缓小菜蛾的抗药性。然而,杀虫剂的使用会降低生物防治的效果。因此,了解杀虫剂对天敌的影响,协调化学防治和生物防治的关系,是制定小菜蛾综合治理措施的关键。

阿维菌素 (abamectin) 是土壤链霉菌的天然发酵产物,作用于昆虫神经元突触或神经肌肉突触的 γ -氨基丁酸 (GABA) 门控氯离子通道和谷氨酸盐门控氯离子通道,具有高效、广谱、低残留等特点,是当前防治小菜蛾等害虫害螨的当家农药产品 (刘开林等, 2007)。尽管已有研究报道了阿维菌素对半闭弯尾姬蜂的毒力及安全性 (缪森等, 2000; 吴国星等, 2008; 尹艳琼等, 2010; 洪珊珊等, 2015; 贾变桃等, 2015), 但关于阿维菌素对半闭弯尾姬蜂保护酶和解毒酶活性的影响还未见报道。与害虫一样,半闭弯尾姬蜂体内存在的保护酶系和解毒酶系在杀虫剂代谢和寄生蜂抗 (耐) 药性等方面起着非常重要的作用,通过研究其活性变化,可以为深入了解半闭弯尾姬蜂对阿维菌素的防御机理,协调小菜蛾的生物防治和化学防治等提供理论依据。因此,作者研究了阿维菌素亚致死浓度对半闭弯尾姬蜂成虫体内保护酶系和解毒酶系活性的影响。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试昆虫: 半闭弯尾姬蜂于 2013 年 4 月采集于山西农业大学农作站未施药的甘蓝田,以室内未接触药剂饲养的小菜蛾 3 龄幼虫供其寄生,饲养条件为温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度约 70%,光周期 14L:10D。

供试药剂: 1.8% 阿维菌素 EC (爱诺虫清,华北制药集团爱诺有限公司)。

生化试剂: 超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶 (peroxidase, POD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT) 和谷胱甘肽 S-转移酶 (glutathione-S-transferase, GST) 试剂盒,购自南京建成生物研究所; 苯硫脲 (phenylthiourea, PTU), 上海蓝季科技发展有限公司生产; 乙二胺四乙酸 (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)、二硫苏糖醇 (dithiothreitol, DTT)、苯甲磺酰氟 (phenylmethanesulfonyl fluoride, PMSF)、牛血清蛋白 (bovine albumin, BSA), 美

国 Amresco 公司生产; 十二烷基硫酸钠 (sodium dodecylsulfate, SDS) 等其他试剂均为国产分析纯。

主要仪器: Sorvall ST16R 台式冷冻离心机、Thermo Scientific 酶标仪, 美国 Thermo Fisher Scientific; MGC-300 光照培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫的生物测定

采用试管药膜法 (洪珊珊等, 2015) 进行测定。

1.2.2 半闭弯尾姬蜂保护酶活性测定

酶液制备: 根据毒力测定结果以阿维菌素 LC_{10} 和 LC_{25} 作为亚致死浓度,以含 0.02% 的 Triton X-100 的清水作对照,共 3 个处理。寄生蜂成蜂的处理方法同 1.2.1。分别于处理后 1、12、24 和 48 h 取存活幼虫冻存于 -20°C 冰箱备用。取处理后的寄生蜂成虫 40 头,置于预冷的 3 mL 玻璃匀浆器中,加入 1.5 mL 0.05 mol/L pH7.0 磷酸缓冲液,冰浴研磨,将提取液转入 2 mL 离心管中,于 4°C 、12000 rpm,冷冻离心 20 min,将上清液稀释 2 倍作为酶活性测定液,重复 3 次。

SOD、POD 和 CAT 活性测定方法参照试剂盒说明书进行。SOD 活性单位定义为每毫克组织蛋白在 1 mL 反应液中抑制率为 50% 时所需的酶量为一个酶活力单位 (U)。POD 活性单位定义为每毫克组织蛋白每分钟催化 $1\text{ }\mu\text{g}$ 底物的酶量为一个酶活力单位 (U)。CAT 活性单位定义为 1 mg 组织蛋白每秒分解 $1\text{ }\mu\text{mol}$ H_2O_2 酶量为一个活力单位 (U)。

1.2.3 半闭弯尾姬蜂解毒酶活性测定

酯酶 (esterase, EST) 活性测定: 取不同处理半闭弯尾姬蜂成虫 40 头置于 3 mL 玻璃匀浆器中,加入预冷的 1.5 mL 0.05 mol/L pH7.5 磷酸缓冲液,冰浴研磨,将提取液转入 2 mL 离心管中,于 4°C 、12000 rpm,冷冻离心 20 min,将上清液稀释 2 倍即为酶活性测定液,重复 3 次。

酯酶活性测定参照 Hama and Hosoda (1983) 的方法: 在试管中加入 5 mL $6 \times 10^{-4}\text{ mol/L}$ α -乙酸萘酯,0.1 mL 酶液,充分混匀, 30°C 恒温水浴反应 30 min 后,加入 1 mL 显色剂 (1% 固兰 RR 盐和 5% SDS 以 2:5 (v/v) 临用前混合而成)。稳定 30 min 后,在酶标仪上测定波长为 600 nm 处 OD 值。由 α -萘酚标准曲线求出生成 α -萘酚的量 (mmol/L)。测定酶液中蛋白质含量,计算酯酶活性,单位为 ($\mu\text{mol/mg pro} \cdot 30\text{ min}$)。

GST 活性测定: 酶液制备方法同酯酶。酶活性的测定参照试剂盒说明书进行。GST 活性单位定义为每毫克蛋白在 37℃ 反应 1 min 使反应体系中的 GSH 降低 1 $\mu\text{mol/L}$ 为一个活力单位 (U)。

多功能氧化酶 (mixed function oxidase, MFO) O-脱甲基活性测定: 参考谢苗等 (2011) 方法, 并稍有改动, 取 20 头半闭弯尾姬蜂成虫, 置于 3 mL 匀浆器中, 加入预冷的 0.1 mol/L pH7.8 磷酸缓冲液 (含有 1 mmol/L EDTA、1 mmol/L DTT、1 mmol/L PTU、1 mmol/L PMSF 和 10% 甘油) 1.5 mL, 冰浴上充分匀浆, 将匀浆液转入 2 mL 离心管中, 于 4℃、10000 rpm, 冷冻离心 20 min, 取上清液在 15000 rpm、4℃ 下再离心 20 min, 所得上清液即为酶活性测定液, 重复 3 次。

以对硝基苯甲醚为底物, 在 MFO 的作用下生成对硝基苯酚钠, 在 405 nm 处测定其吸光值。反应体系: 在试管中加入酶液 0.1 mL, pH7.8 磷酸缓冲液 1.7 mL, 4 mmol/L 对硝基苯甲醚 0.2 mL, 0.5 mmol/L NADPH 1 mL。将反应液充分混匀后置于 37℃ 恒温水浴锅内 30 min, 加入 1 mL 1 mol/L HCl 终止反应。加入 5 mL 氯仿萃取 10 min, 取氯仿萃取液 (下层) 3.5 mL 于另一试管, 加入 3.5 mL 浓度为 0.5 mol/L NaOH 溶液萃取 10 min, 取上层溶液加入 96 孔酶标板, 于酶标仪上测定光密度值。根据光密度值从对硝基苯酚标准曲线上求出对硝基苯酚生成量 (nmol/mL)。测定酶液中蛋白含量, 计算 MFO 活性, 单位为 (nmol/mg pro · 30 min)。

1.2.4 蛋白质含量测定

以牛血清蛋白为标准蛋白制作标准曲线。蛋白含量测定参照 Bradford (1976) 考马斯亮蓝法: 取 1 支具塞试管, 加入 0.1 mL 酶液, 0.9 mL 蒸馏水, 5 mL 考马斯亮蓝 G-250 试剂, 充分混合, 放置 2 min 后, 在酶标仪 595 nm 波长下测定吸光度值。根据上述标准曲线求出对应的蛋白含量。

1.3 数据处理

生物测定结果用 Polo Plus 1.0 软件计算毒力回归方程的斜率 $\pm$ 标准误、 LC_{10} 、 LC_{25} 及其 95% 置信限。不同处理酶活性数据采用 SPSS 17.0 软件进行分析比较。

2 结果与分析

2.1 阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫的毒力

阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫 LC_{10} 、 LC_{25} 和

LC_{50} 值及其 95% 置信限分别为 1.330 (0.361 – 2.315)、2.715 (1.229 – 4.036) 和 6.003 (4.039 – 8.896) mg/L, 其 LC_{50} 值与吴国星等 (2008) 测定的 LC_{50} 值 (6.036 mg/L) 相当。本研究选择 LC_{10} (1.330 mg/L) 和 LC_{25} (2.715 mg/L) 处理半闭弯尾姬蜂成虫。

2.2 阿维菌素对寄生蜂成虫体内保护酶活性的影响

阿维菌素处理后 1 h, 寄生蜂体内 SOD 活性与对照相比无显著差异; 处理后 12、24 和 48 h, LC_{25} 处理寄生蜂体内 SOD 活性升高, 显著大于对照; 但到 48 h, LC_{10} 处理 SOD 活性显著升高, 显著大于对照和 LC_{25} 处理 (表 1)。表明阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫体内 SOD 活性具有显著诱导作用。

阿维菌素处理后 1 h, 寄生蜂体内 POD 活性与对照相比无显著差异; 处理后 12 和 24 h, LC_{10} 和 LC_{25} 处理 POD 活性显著大于对照; 但到 48 h, LC_{10} 处理 POD 活性显著低于对照, 而 LC_{25} 处理显著高于对照 (表 1)。说明阿维菌素 LC_{10} 处理对 POD 活性具有先诱导后抑制的作用, 而 LC_{25} 处理表现为诱导作用。

阿维菌素处理后 1 h, 寄生蜂体内 CAT 活性与对照相比显著降低; 处理后 12 h, LC_{25} 浓度处理酶活性显著升高; 处理后 24–48 h, LC_{10} 和 LC_{25} 处理 CAT 活性均显著大于对照, 但二者没有显著差异 (表 1)。说明阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫体内 CAT 活性具有先抑制后诱导作用。

2.3 阿维菌素对寄生蜂成虫体内解毒酶活性的影响

阿维菌素处理后 1 h, LC_{25} 处理显著抑制酯酶活性; 12–24 h, LC_{10} 和 LC_{25} 处理显著抑制酯酶活性, 且高浓度处理抑制作用大于低浓度处理; 48 h, 两处理酯酶活性显著低于对照, 但二者之间酶活性没有显著差异 (表 2)。表明阿维菌素对寄生蜂成虫体内酯酶活性具有一定程度的抑制作用, 且浓度越高抑制作用越强。

阿维菌素处理后 1 h, GST 活性没有显著变化; 处理后 12 h, LC_{10} 和 LC_{25} 处理显著抑制 GST 活性, 且高浓度处理抑制作用更显著; 24 h, LC_{10} 处理组酶活性有所恢复, 与对照无显著差异, LC_{25} 处理显著低于对照; 处理后 48 h, 两亚致死浓度处理 GST 活性显著低于对照, 浓度越高差异越显著 (表 2)。说明阿维菌素对 GST 活性具有一定的抑制作用。

表 1 亚致死浓度阿维菌素处理半闭弯尾姬蜂成虫体内保护酶活性变化
Table 1 Dynamics of protective enzymes activities of adults in *Diadegma semiclausum* treated with sublethal concentrations of abamectin

酶 Enzyme	处理 Treatment	时间 (h) Time			
		1	12	24	48
超氧化物歧化酶 (U/mg pro) SOD	CK	102. 92 ± 1. 47 a	99. 29 ± 0. 64 b	100. 50 ± 1. 22 b	100. 21 ± 1. 86 c
	LC ₁₀	107. 35 ± 1. 21 a	103. 30 ± 1. 23 b	106. 19 ± 0. 96 b	116. 20 ± 2. 03 a
	LC ₂₅	100. 45 ± 2. 77 a	111. 71 ± 1. 45 a	112. 33 ± 2. 48 a	108. 62 ± 1. 64 b
过氧化物酶 (U/mg pro) POD	CK	8. 99 ± 0. 42 a	7. 75 ± 0. 18 b	7. 66 ± 0. 06 c	9. 22 ± 0. 46 b
	LC ₁₀	9. 74 ± 0. 28 a	10. 28 ± 0. 04 a	9. 97 ± 0. 24 b	7. 65 ± 0. 22 c
	LC ₂₅	9. 14 ± 0. 12 a	10. 50 ± 0. 21 a	11. 25 ± 0. 14 a	10. 44 ± 0. 13 a
过氧化氢酶 (U/mg pro) CAT	CK	13. 59 ± 0. 07 a	13. 46 ± 0. 46 b	13. 62 ± 0. 18 b	13. 03 ± 0. 30 b
	LC ₁₀	12. 33 ± 0. 29 b	13. 39 ± 0. 46 b	15. 20 ± 0. 14 a	16. 75 ± 0. 49 a
	LC ₂₅	12. 47 ± 0. 29 b	15. 74 ± 0. 27 a	15. 40 ± 0. 25 a	16. 86 ± 0. 33 a

注：表中数据为平均数 ± 标准差。同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下表同。Note: Data are mean ± SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level. The same for the following table.

阿维菌素 LC₁₀ 和 LC₂₅ 处理后各时间段，MFO 活性均显著低于对照，但两处理间差异不大，仅在处理后 12 h，LC₂₅ 处理酶活性大于 LC₁₀ 处理 1. 92 nmol/mg pro 30 min，处理后 48 h，LC₂₅ 处理酶活性低于 LC₁₀ 处理 3. 26 nmol/mg pro 30 min（表 2）。说明阿维菌素对 MFO 具有显著的抑制作用。

表 2 亚致死浓度阿维菌素处理半闭弯尾姬蜂成虫体内解毒酶活性变化
Table 2 Dynamics of detoxifying enzymes activities of adults in *Diadegma semiclausum* treated with sublethal concentrations of abamectin

酶 Enzyme	处理 Treatment	时间 (h) Time			
		1	12	24	48
酯酶 (μmol/mg pro 30 min) EST	CK	3. 30 ± 0. 03 a	3. 31 ± 0. 03 a	3. 78 ± 0. 04 a	3. 81 ± 0. 06 a
	LC ₁₀	3. 22 ± 0. 03 a	3. 05 ± 0. 06 b	3. 49 ± 0. 05 b	3. 25 ± 0. 02 b
	LC ₂₅	2. 88 ± 0. 08 b	2. 42 ± 0. 04 c	2. 44 ± 0. 02 c	3. 07 ± 0. 03 b
谷胱甘肽-S-转移酶 (U/mg pro) GST	CK	100. 45 ± 2. 71 a	99. 80 ± 3. 66 a	98. 45 ± 3. 73 a	104. 44 ± 4. 69 a
	LC ₁₀	97. 60 ± 2. 12 a	77. 64 ± 3. 24 b	96. 52 ± 1. 79 a	99. 78 ± 2. 34 b
	LC ₂₅	98. 66 ± 1. 27 a	64. 78 ± 2. 64 c	70. 41 ± 2. 37 b	88. 44 ± 1. 27 c
多功能氧化酶 (nmol/mg pro 30 min) MFO	CK	35. 28 ± 0. 43 a	36. 05 ± 0. 46 a	37. 27 ± 0. 36 a	33. 60 ± 0. 88 a
	LC ₁₀	32. 70 ± 0. 65 b	30. 01 ± 0. 04 c	31. 80 ± 0. 62 b	31. 21 ± 0. 25 b
	LC ₂₅	31. 25 ± 0. 34 b	31. 93 ± 0. 77 b	30. 40 ± 0. 54 b	27. 95 ± 0. 14 c

3 结论与讨论

昆虫体内的保护酶 SOD、POD 和 CAT 相互作用，清除昆虫体内的活性氧或过氧化物自由基，防御其对生物体的毒害，一旦保护酶系遭到

破坏，生物体内氧自由基浓度过高，将对细胞功能产生伤害作用（李周直等，1994；张友军等，2003）。昆虫体内保护酶活性与外界刺激物的强度、昆虫的耐药性、抗逆性有关（王宏民等，2013）。杨琼等（2015）报道 LC₁₀ 和 LC₂₀ 浓度的阿维菌素可促进异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 3 龄幼虫

和成虫体内 SOD 活性升高,但对 POD 和 CAT 作用不明显。朱先志等 (2015) 报道烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* 成虫对不同浓度吡虫啉具有不同程度的应激反应,对 SOD 表现为先抑制后激活,对 POD、CAT 总体表现为先激活后抑制的作用。本研究结果表明,阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫体内 SOD 活性具有诱导作用,对 POD 活性总体表现为诱导作用,对 CAT 活性表现为先抑制后诱导作用。这表明半闭弯尾姬蜂成虫可通过提高其体内保护酶活性,抵御阿维菌素对自身的不利影响,提高其耐药性。

EST、GST 和 MFO 是昆虫体内的主要解毒酶系,可代谢各种内源和外源有毒物质 (如杀虫剂、植物次生物质等),提高昆虫对杀虫剂的耐药性,解毒酶活性增强是昆虫对杀虫剂产生抗药性的机制之一。研究表明,杀虫剂可诱导昆虫体内解毒酶活性升高,提高虫体对杀虫剂的解毒代谢能力,如阿维菌素和高效氯氟菊酯可诱导小菜蛾体内 GST 活性升高 (梁沛等,2003);阿维菌素亚致死剂量可提高 2 种色型豌豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 体内 GST 和 MFO 的活性 (王小强和刘长仲,2014)。但也有杀虫剂通过抑制昆虫体内相关解毒酶活性从而达到杀虫效果,如马拉硫磷可抑制东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 体内乙酰胆碱酯酶、全酯酶和 GST 的活性 (赵霞等,2013);甲胺磷可抑制菜蛾绒茧蜂 *Cotesia plutellae* 体内乙酰胆碱酯酶、羧酸酯酶和 GST 的活性 (吴刚等,2002)。本研究也表明阿维菌素亚致死浓度可显著抑制半闭弯尾姬蜂体内 EST、GST 和 MFO 的活性,使其降解杀虫剂的能力下降,从而增强了对寄生蜂的毒力。

Wu and Jiang (2004) 认为菜蛾绒茧蜂对甲胺磷、呋喃丹、氰戊菊酯、氯菊酯、阿维菌素和氟虫腈的耐药性可能与羧酸酯酶、GST 和 MFO 有关。Chiang and Sun (1991) 曾试图研究菜蛾绒茧蜂和半闭弯尾姬蜂体内解毒酶活性与它们对某些杀虫剂敏感性之间的关系,但没有发现二者具有明显的相关性,尽管 2 种寄生蜂羧酸酯酶、GST 和 MFO 活性比其寄主小菜蛾更低。植食性昆虫对杀虫剂的耐药性可能来源于对寄主植物次生代谢物的解毒,解毒酶活性可被寄主植物的次生代谢物所诱导 (Terriere, 1984)。由于没有寄主植物次生代谢物的选择压力,寄生蜂的解毒酶活性可能比其植食性寄主更低。尽管如此,寄生蜂与害虫一样,在长期杀虫剂的选择压下,其体内解毒酶活性会升高,对杀虫剂产生抗药性。李元喜等

(2002) 通过施药于体内有寄生蜂的小菜蛾幼虫获得了对氰戊菊酯具有抗性的菜蛾绒茧蜂,其抗性与 MFO 活性升高有关。但本研究仅测定了阿维菌素对半闭弯尾姬蜂成虫体内解毒酶的短期影响,在长期阿维菌素的选择压力下,其体内解毒酶活性是否会升高还有待于进一步研究。

本研究结果为探明半闭弯尾姬蜂对阿维菌素的防御反应提供了一定的理论依据,但是要明确其中的机制及保护酶和解毒酶的作用方式还有待于深入研究。

参考文献 (References)

- Bradford MM. A rapid sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein - dye binding [J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72 (1/2): 248 - 254.
- Chen ZQ, Miao S, Yang CX, et al. Introduction of a larval parasitoid *Diadegma semiclausum* Hellen and evaluation of its potency of controlling *Plutella xylostella* L. [J]. *Plant Protection*, 2003, 29 (1): 22 - 24. 陈宗麒, 廖森, 杨翠仙, 等. 小菜蛾弯尾姬蜂引进及控害潜能评价 [J]. 植物保护, 2003, 29 (1): 22 - 24
- Chiang FM, Sun CN. Detoxifying enzymes and susceptibility to several insecticides of *Apanteles plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) and *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae), parasitoids of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae [J]. *environmental Entomology*, 1991, 20 (6): 1687 - 1690.
- Guo L, Desneux N, Sonoda S, et al. Sublethal and transgenerational effects of chlorantraniliprole on biological traits of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. [J]. *Crop Protection*, 2013, 48: 29 - 34.
- Hama H, Hosoda A. High aliesterase activity and low acetylcholinesterase sensitivity involved in organophosphorus and carbamate resistance of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal (Homoptera: Delphacidae) [J]. *Applied of Entomology and Zoology*, 1983, 18 (4): 475 - 485.
- Hong SS, Jia BT, Zhang YC, et al. Selective toxicities of 12 insecticides to *Plutella xylostella* and *Diadegma semiclausum* [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University* (Natural Science Edition), 2015, 35 (5): 490 - 494. 洪珊珊, 贾变桃, 张雨超, 等. 12 种杀虫剂对小菜蛾及半闭弯尾姬蜂的选择毒力 [J]. 山西农业大学学报 (自然科学版), 2015, 35 (5): 490 - 494
- Iqbal M, Wright DJ. Host resistance to insecticides can confer protection to endo - larval parasitoids [J]. *Bulletin of Entomological Research*, 1996, 86: 721 - 723.
- Jia BT, Hong SS, Zhang YC, et al. Toxicity and safety of 12 insecticides to *Diadegma slecluausum* [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2015, 43 (8): 999 - 1002, 1012. 贾变桃, 洪珊珊, 张宇超, 等. 12 种杀虫剂对半闭弯尾姬蜂蛹和成虫的毒性及安全性 [J]. 山西农业科学, 2015, 43 (8): 999 - 1002, 1012

- Li YX, Liu SS, Tang ZH. The effect of host insecticide resistance on the development of resistance to fenvalerate in *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (5): 597–602. [李元喜, 刘树生, 唐振华. 寄主抗性对菜蛾绒茧蜂抗性发展的影响 [J]. 昆虫学报, 2002, 45 (5): 597–602]
- 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, 沈慧娟, 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]
- Liang P, Xia B, Shi T, et al. Effect of sublethal doses of abamectin and β -cypermethrin on glutathione S-transferases in diamondback moth *Plutella xylostella* L. [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8 (3): 65–68. [梁沛, 夏冰, 石泰, 等. 阿维菌素和高效氯氰菊酯亚致死剂量对小菜蛾谷胱甘肽 S-转移酶的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2003, 8 (3): 65–68]
- Liu KL, He L, Wang JJ, et al. Advances in the research on the pest resistance to avermectins [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (2): 194–200. [刘开林, 何林, 王进军, 等. 害虫及害螨对阿维菌素抗性研究进展 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (2): 194–200]
- Liu SS, Zhou HW, Liu YQ, et al. An investigation of geographic distribution of *Diadegma semiclausum*, a major parasitoid of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in China [J]. *Journal of Plant Protection*, 2004, 31 (1): 13–20. [刘树生, 周华伟, 刘银泉, 等. 小菜蛾重要寄生蜂一半闭弯尾姬蜂在中国的地理分布 [J]. 植物保护学报, 2004, 31 (1): 13–20]
- Miu S, Chen ZQ, Luo KJ, et al. Toxicity of several pesticides to adults of *Diadegma semiclausum* [J]. *Plant Protection*, 2000, 26 (5): 27–28. [廖森, 陈宗麒, 罗开珺, 等. 几种农药对小菜蛾弯尾姬蜂成虫毒性的测定 [J]. 植物保护, 2000, 26 (5): 27–28]
- Mu F, Sun LJ, Duan FM, et al. Influences of three host plants on the traits of experimental population of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42 (3): 289–296. [牟芳, 孙丽娟, 段方猛, 等. 三种寄主植物对小菜蛾实验种群特征的影响 [J]. 植物保护学报, 2015, 42 (3): 289–296]
- Talekar NS, Shelton AM. Biology, ecology, and management of the diamondback moth [J]. *Annual Review of Entomology*, 1993, 38 (1): 275–301.
- Terriere LC. Induction of detoxification enzymes in insects [J]. *Annual Review of Entomology*, 1984, 29: 71–88.
- Wang HM, Zhang H, Hao C, et al. effects of *Isaria fumosorosea* infection on different enzyme activities in the larvae of *Plutella xylostella* [J]. *Mycosystema*, 2013, 32 (2): 269–276. [汪宏民, 张奂, 郝赤, 等. 玫瑰色棒束孢对小菜蛾幼虫体内不同酶活性的影响 [J]. 菌物学报, 2013, 32 (2): 269–276]
- Wang XQ, Liu CZ. Detoxification enzymes activities in two color morphs of pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*) treated with different sub-lethal concentrations of avermectins [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22 (6): 675–681. [汪小强, 刘长仲. 阿维菌素亚致死剂量下 2 种色型豌豆蚜解毒酶活力的研究 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22 (6): 675–681]
- Wu GX, Gao X, Wang HN, et al. Study on virulence of fipronil and avermectins to *Plutella xylostella* and its parasite *Diadegma semiclausum* [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2008, 20 (5): 46–48. [吴国星, 高熹, 王海宁, 等. 氟虫腈和阿维菌素对小菜蛾及其寄生蜂半闭弯尾姬蜂的毒力研究 [J]. 江西农业学报, 2008, 20 (5): 46–48]
- Wu G, Jiang SR. Susceptibility to insecticides and enzymatic characteristics in the parasitoid *Apanteles plutellae* Kurdj. (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2004, 47 (1): 25–32.
- Wu G, You MS, Zhao SX, et al. Monitoring of susceptibility to organophosphates and analysis of toxicological mechanism in *A. plutellae* Kurdj [J]. *Journal of Plant Protection*, 2002, 29 (2): 168–172. [吴刚, 尤明生, 赵士熙, 等. 田间菜蛾绒茧蜂对有机磷敏感性监测及毒理机制分析 [J]. 植物保护学报, 2002, 29 (2): 168–172]
- Xie M, You MS. Effects of fipronil on detoxifying enzymes activities in *Plutella xylostella* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (6): 1728–1733. [谢苗, 尤民生. 氟虫腈对小菜蛾幼虫体内解毒酶的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (6): 1728–1733]
- Yang Q, Wang SH, Zhang WH, et al. Toxicity of commonly used insecticides and their influences on protective enzyme of multicolored Asian lady beetle *Harmonia axyridis* (Pallas) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015, 42 (2): 258–263. [杨琼, 王淑会, 张文慧, 等. 常用杀虫剂对异色瓢虫的毒力及其保护酶的影响 [J]. 植物保护学报, 2015, 42 (2): 258–263]
- Yin YQ, Li XY, Chen ZQ, et al. Toxicity of commonly used insecticides against adults and pupae of *Diadegma semiclausum* [J]. *Plant Protection*, 2010, 36 (3): 169–171. [尹艳琼, 李向永, 陈宗麒, 等. 常用杀虫剂对半闭弯尾姬蜂成虫和蛹的安全性 [J]. 植物保护, 2010, 36 (3): 169–171]
- Zhang YJ, Wang GF, Wu QJ, et al. The toxicity of spinosad to beet armyworm and its effect on endogenous enzymes of protective system [J]. *Chinese Journal of Pesticides Science*, 2003, 5 (3): 31–38. [张友军, 王光锋, 吴青君, 等. 多杀菌素不同发育阶段甜菜夜蛾的毒力及其体内超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶的影响 [J]. 农药学报, 2003, 5 (3): 31–38]
- Zhao X, Jia M, Wang L, et al. Influence of malathion on detoxification enzymes of *Locusta migratoria manilensis*, Meyen [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2013, 35 (2): 165–170. [赵霞, 贾苗, 王磊, 等. 马拉硫磷对东亚飞蝗解毒酶活性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2013, 35 (2): 165–170]
- Zhu XZ, Liu Y, Tian L, et al. Effects of conventional insecticides on *Aphis gifuensis* Ashmead and its protective enzymes in tobacco fields [J]. *Chinese Tobacco Science*, 2015, 36 (3): 72–76. [朱先志, 刘勇, 田雷, 等. 烟台常用杀虫剂对烟蚜茧蜂的毒力及其保护酶的影响 [J]. 中国烟草科学, 2015, 36 (3): 72–76]