

5种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力及其生理酶活性的影响

樊宗芳¹, 宋洁蕾¹, 桂富荣^{1,2}, 和淑琪^{1*}

¹云南农业大学植物保护学院, 云南省生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南 昆明 650201;

²云南省高原特色农业产业研究院, 云南 昆明 650201

摘要:【目的】探究不同杀虫剂对重要入侵害虫西花蓟马及其本地近缘种花蓟马的毒力及对保护酶和解毒酶活性的影响, 为进一步研究2种害虫的抗性管理提供依据。【方法】采用浸渍法测定5种田间常用杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力, 并测定杀虫剂亚致死浓度(LC₂₅)下2种蓟马体内保护酶和解毒酶活性的差异。【结果】不同杀虫剂对2种蓟马的毒力依次为: 乙基多杀菌素>甲维盐>阿维菌素>吡虫啉>噻虫嗪, 乙基多杀菌素对西花蓟马和花蓟马的LC₅₀分别为0.28和0.03 mg·L⁻¹。不同药剂的亚致死剂量(LC₂₅)对西花蓟马和花蓟马体内保护酶和解毒酶活性普遍具有诱导作用。其中, 阿维菌素对西花蓟马超氧化物歧化酶(SOD)活性诱导作用最强, 为326.40 U·mg⁻¹, 是对照的9.37倍, 而乙基多杀菌素对花蓟马SOD活性诱导作用最强, 为245.35 U·mg⁻¹, 是对照的9.32倍; 吡虫啉对西花蓟马和花蓟马过氧化物酶(POD)诱导作用最强, 分别为298.67和246.79 U·mg⁻¹, 是对照的37.10和20.57倍; 阿维菌素对西花蓟马和花蓟马过氧化氢酶(CAT)和羧酸酯酶(CarE)诱导作用最强, 分别为298.67、246.79 U·mg⁻¹(CAT活性)和12.53、11.99 U·mg⁻¹(CarE活性); 乙基多杀菌素对西花蓟马和花蓟马谷胱甘肽转移酶(GST)和乙酰胆碱酯酶(AChE)诱导作用最强, 分别为77527.59、66927.39 U·mg⁻¹(GST活性)和2.34、2.22 U·mg⁻¹(AChE活性)。【结论】5种杀虫剂中, 乙基多杀菌素对2种蓟马的毒力最强; 西花蓟马对杀虫剂的解毒代谢能力强于花蓟马。

关键词: 西花蓟马; 花蓟马; 毒力; 保护酶; 解毒酶



开放科学标识码
(OSID 码)

Effect of five insecticides on toxicity and physiological enzyme activities of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa*

FAN Zongfang¹, SONG Jielei¹, GUI Furong^{1,2}, HE Shuqi^{1*},

¹College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, State Key Laboratory of Conservation and Utilization of Biological

Resources of Yunnan, Kunming, Yunnan 650201, China; ²Yunnan Plateau Characteristic Agriculture

Industry Research Institute, Kunming, Yunnan 650201, China

Abstract: 【Aim】 To explore the effect of five insecticides on toxicity and activities of protective and detoxifying enzymes of *Frankliniella occidentalis* and closely-related species *F. intonsa*, which provides basic information for further studies on pest resistance management. 【Method】 The toxicity of five insecticides to *F. occidentalis* and *F. intonsa* was determined using the dipping method, and the activities of protective and detoxifying enzymes were measured after treatment with sublethal concentrations (LC₂₅) of each insecticide. 【Result】 The toxicities of the five insecticides to *F. occidentalis* and *F. intonsa* were spinetoram>emamectin benzoate> avermectin>imidacloprid>thiamethoxam. The LC₅₀ values to spinetoram in *F. occidentalis* and *F. intonsa* were 0.28 and 0.03 mg·L⁻¹, respectively. The activities of protective and detoxifying enzymes in *F. occidentalis* and *F. intonsa* were induced after LC₂₅ treatment. Avermectin had the strongest induction effect on superoxide dismutase (SOD) activity of *F. occidentalis* at 326.40 U·mg⁻¹, which was 9.37 times that of the control. Spinetoram had the strongest induction effect on SOD activity of *F. intonsa* at 245.35 U·mg⁻¹, which was 9.32 times that of the control. Imidacloprid had the strongest induction effect on peroxidase (POD) in both *F. oc-*

收稿日期(Received): 2021-01-14 接受日期(Accepted): 2021-03-09

基金项目: 国家自然科学基金(31960565); 中国烟草总公司云南省公司科技计划项目(2019530000241009)

作者简介: 樊宗芳, 女, 硕士研究生。研究方向: 农业昆虫与害虫防治。E-mail: 18699089650@163.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: 44994604@qq.com

occidentalis (298.67 U · mg⁻¹) and *F. intonsa* (246.79 U · mg⁻¹), which were 37.10 and 20.57 times those of the control, respectively. Avermectin had the strongest induction effect on catalase (CAT) and carboxylesterase (CarE) of both thrips species, at 298.67, and 246.79 U · mg⁻¹ (CAT activity) and 12.53, and 11.99 U · mg⁻¹ (CarE activity), respectively. Spinetoram had the strongest induction effect on glutathione S-transferase (GST) at 77527.59, 66927.39 U · mg⁻¹ (GST activity) and also for acetylcholine esterase (AChE), at 2.34, and 2.22 U · mg⁻¹ (AChE activity), respectively. 【Conclusion】 Among the five insecticides tested, spinetoram showed the strongest toxicity against both thrips. The detoxification ability of *F. occidentalis* was better than that of *F. intonsa*.

Key words: *Frankliniella occidentalis*; *Frankliniella intonsa*; toxicity; protective enzymes; detoxifying enzymes

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 又称苜蓿蓟马, 属缨翅目 Thysanoptera 蓟马科 Thripidae 花蓟马属 (张桂芬等, 2011), 是一种全球性外来入侵物种, 具有寄主范围广、生活场所隐秘、个体小、生殖力强、生长发育快、易对农药产生抗性等特点, 会对蔬菜、花卉等造成毁灭性危害 (Reitz *et al.*, 2020, 2011)。花蓟马 *F. intonsa* (Trybom) 是西花蓟马的本地近缘种, 在云南广泛分布, 可危害花卉、蔬菜、水稻等作物 (Qian *et al.*, 2017)。除直接取食危害外, 西花蓟马和花蓟马均是番茄斑萎病毒属病毒的主要传播媒介 (Jones, 2005; Ullman *et al.*, 2002; Whitfield *et al.*, 2005), 并且所致损失远远超过直接取食危害 (Reitz, 2009; Zhang *et al.*, 2019)。

目前, 蓟马类害虫的防治仍以化学防治为主, 混配杀虫剂的大量使用加速了蓟马类害虫的抗性发展, 致使常用药剂效果显著下降, 防治困难加剧 (付步礼等, 2014)。研究表明, 西花蓟马较花蓟马对高浓度 CO₂、药剂胁迫适应能力更强 (胡昌雄等, 2018; 刘建业等, 2017; He *et al.*, 2017)。充分了解西花蓟马与本地近缘种花蓟马对常用杀虫剂的敏感性差异, 有利于诠释入侵蓟马种类与本地蓟马种类之间的种群动态关系, 因地制宜选择合适的杀虫剂, 延缓抗性发展速度。

外界环境变化时昆虫体内酶系会被各种外源或内源化合物诱导, 使昆虫能够迅速找到最适的生存对策 (李灿等, 2007)。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, 昆虫可通过改变体内保护酶的活性增强其耐药性和抗逆性 (贾变桃等, 2016)。此外, 羧酸酯酶 (carboxylesterase, CarE)、谷胱甘肽转移酶 (glutathione S-transferase, GST) 和乙酰胆碱酯酶 (acetylcholine esterase, AChE) 是昆虫体内 3 种重要的代谢酶系, 能够代谢大量的外源毒素, 是昆

虫适应逆境胁迫及植物防御的重要方式 (Tiwari *et al.*, 2011)。

本研究测定了 5 种不同作用机理的杀虫剂对入侵物种西花蓟马及本地近缘种花蓟马的室内毒力, 比较了 2 种蓟马体内保护酶和解毒酶的活性差异, 旨在为合理选择高效杀虫剂, 科学防治该类害虫及进一步研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

西花蓟马和花蓟马均采自云南省昆明市呈贡县斗南镇花卉苗圃培育基地 (102°46′56.15″E, 24°54′14.63″N)。四季豆 *Phaseolus vulgaris* L. (种子购于南京金盛达种子有限公司) 置于室内八角瓶中种植。饲养条件: 人工气候箱温度 (25±1) °C、相对湿度 65%±5%、光周期 16 L : 8 D, 连续饲养 30 代以上, 期间未接触任何杀虫剂。

1.2 供试药剂及试剂盒

60 g · L⁻¹ 乙基多杀菌素悬浮剂 (美国陶氏益农公司)、70% 吡虫啉水分散粒剂 (江苏东宝农化股份有限公司)、5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂 (甲维盐, 深圳诺普信农化股份有限公司)、1.8% 阿维菌素乳油 (河北威远生化农药有限公司)、25% 噻虫嗪水分散粒剂 [先正达 (中国) 投资有限公司]。

保护酶及解毒酶活性测定试剂盒均购于南京建成生物工程公司。

1.3 试验方法

1.3.1 5 种药剂对西花蓟马和花蓟马的毒力测定

参照 NY/T 1154.16-2013《农药室内生物测定试验准则》, 将供试药剂按等差或等比数列稀释成 5 个浓度, 每个浓度 4 个重复, 以清水为对照。采用浸渍法进行毒力测定: 培养皿 ($d=9$ cm) 用不同浓度的药液浸泡 1 h, 自然晾干; 四季豆豆荚 (长度 5 cm) 用药液浸泡 30 s, 自然晾干后放入对应浓度的培养皿内, 每皿 1 根, 并分别接入羽化 2 d 的西花蓟

马或花蓟马成虫各 50 头,培养皿用保鲜膜封口,用昆虫针在保鲜膜上扎 40~50 个孔,以保证气体流通,置于人工气候箱中。48 h 后记录试虫死亡数(用毛笔轻触虫体无反应记为死亡)。

1.3.2 酶源制备 取羽化 2 d 的西花蓟马和花蓟马成虫,分别用 5 种杀虫剂的亚致死浓度(LC₂₅)处理 48 h,收集处理后存活的西花蓟马和花蓟马各 0.2000 g (约 12500 头),加入 9 倍量生理盐水,在冰浴条件下匀浆,将匀浆液于 4 ℃、7500 r·min⁻¹离心 10 min,取上清液为 SOD、POD、CAT、GST 和 AChE 的测定酶源;收集处理后存活的西花蓟马和花蓟马各 0.2000 g (约 12500 头),加入 2 mL 试剂盒中的试剂一,在冰浴条件下匀浆,将匀浆液置于 4 ℃、12000 r·min⁻¹离心 30 min,取上清液为 CarE 测定酶源。

1.3.3 酶活性测定 SOD、POD、CAT、GST、AChE 和 CarE 活性测定参照检测试剂盒说明书进行。每个处理重复 4 次。

1.4 数据处理

采用 SPSS 25.0 软件 Probit 模块拟合毒力回归方程,并计算杀虫剂亚致死浓度(LC₂₅)和致死中浓

度(LC₅₀),同一药剂对 2 种蓟马的毒力比值(西花蓟马 LC₅₀/花蓟马 LC₅₀)采用 TDR (toxicity difference ratio)表示(Lu & Gao, 2009);采用独立样本 *t* 检验(*t*-test)分析同一药剂处理不同物种以及处理和对照的差异显著性;采用 one-way ANOVA (Duncan's)分析不同药剂处理同一物种的差异显著性,显著水平设定为 *P*=0.05。

2 结果与分析

2.1 5 种农药对西花蓟马及花蓟马的室内毒力

由表 1 可知,乙基多杀菌素、甲维盐、吡虫啉和噻虫嗪对西花蓟马的毒力均低于花蓟马(乙基多杀菌素:*t*=5.712, *P*<0.05;甲维盐:*t*=6.137, *P*<0.01;吡虫啉:*t*=3.874, *P*<0.05;噻虫嗪:*t*=12.866, *P*<0.001),毒力差异比(TDR)均大于 2.0,其中乙基多杀菌素对 2 种蓟马的 TDR 最高,达 9.66。相反,阿维菌素对西花蓟马的毒力显著高于花蓟马(*t*=-6.295, *P*<0.05),TDR 为 0.03。此外,5 种杀虫剂对同一种蓟马的毒力也存在一定差异,5 种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力大小依次为:乙基多杀菌素>甲维盐>阿维菌素>吡虫啉>噻虫嗪。

表 1 5 种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马的毒力

Table 1 Toxicity of five insecticides against *F. occidentalis* and *F. intonsa*

杀虫剂 Insecticide	种 Species	毒力回归方程 Toxicity regression equation	致死中浓度 LC ₅₀ / (mg·L ⁻¹)	亚致死浓度 LC ₂₅ / (mg·L ⁻¹)	相关系数 related coefficient (<i>R</i>)	卡方值 Chi-square value (χ ²)	毒力差异比 Toxicity difference ratio
乙基多杀菌素 Spinetoram	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	$Y=0.5283X+4.7998$	0.280±0.044c*	0.13	0.94	1.51	9.66
	花蓟马 <i>F. intonsa</i>	$Y=5.9299X+14.4300$	0.029±0.002c	0.02	0.99	5.70	1.00
甲维盐 Emamectin benzoate	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	$Y=1.0705X+4.9674$	1.327±0.106c*	0.25	0.99	0.53	6.74
	花蓟马 <i>F. intonsa</i>	$Y=0.6366X+5.1931$	0.197±0.150c	0.04	0.90	1.73	1.00
阿维菌素 Avermectin	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	$Y=1.5223X+3.9994$	1.692±0.204c	0.25	0.94	0.35	0.03
	花蓟马 <i>F. intonsa</i>	$Y=0.6956X+3.8281$	63.122±9.756b*	5.19	0.98	0.43	1.00
吡虫啉 Imidacloprid	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	$Y=6.6156X-11.1760$	479.003±65.825b*	220.39	0.99	0.27	2.40
	花蓟马 <i>F. intonsa</i>	$Y=2.1644X+0.3195$	199.871±29.295a	70.93	0.90	38.24	1.00
噻虫嗪 Thiamethoxam	西花蓟马 <i>F. occidentalis</i>	$Y=1.7894X-0.0480$	671.147±30.194a*	278.04	0.99	0.19	3.25
	花蓟马 <i>F. intonsa</i>	$Y=1.4412X+1.5761$	206.611±19.797a	80.85	0.99	0.77	1.00

数据为平均值±标准差,*表示同种农药处理不同蓟马的差异显著(*P*<0.05),不同小写字母表示不同农药处理同种蓟马差异显著(*P*<0.05)。

The data in the table are mean±standard error. * indicates significant differences between the two thrips species (*P*<0.05); and different lower-case letters indicate significant differences among pesticides (*P*<0.05).

2.2 5 种杀虫剂对西花蓟马与花蓟马保护酶活性的影响

清水对照的西花蓟马 SOD 活性显著高于花蓟马 SOD 活性,且是花蓟马的 1.32 倍(图 1A)。5 种

杀虫剂的亚致死剂量(LC₂₅)对西花蓟马 SOD 活性均呈显著诱导作用。其中,阿维菌素对西花蓟马 SOD 活性诱导作用最强,为 326.40 U·mg⁻¹,是对照的 9.37 倍;而对于花蓟马,乙基多杀菌素、甲维盐

和阿维菌素对其 SOD 活性有显著诱导作用,吡虫啉和噻虫嗪对 SOD 活性影响不显著,其中,乙基多杀菌素对花蓟马 SOD 活性诱导作用最强,为 $245.35 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$,是对照的 9.32 倍。阿维菌素、吡虫啉和噻虫嗪处理后西花蓟马 SOD 活性高于花蓟马 SOD 活性($P < 0.05$),分别是花蓟马的 1.53、1.73 和 1.49 倍;乙基多杀菌素和甲维盐处理后,西花蓟马体内 SOD 活性则显著低于花蓟马 SOD 活性。

清水处理的西花蓟马体内 POD 活性略低于花蓟马 POD 活性($P > 0.05$),是花蓟马的 0.67 倍(图 1B)。乙基多杀菌素、甲维盐、阿维菌素和吡虫啉对西花蓟马和花蓟马 POD 活性呈显著诱导作用,其中,吡虫啉对西花蓟马和花蓟马诱导作用最强,分别为 298.67 和 $246.79 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$,是对照的 37.10 和 20.57 倍;噻虫嗪对西花蓟马 POD 活性呈诱导作用,而对花蓟马 POD 活性呈抑制作用($P > 0.05$)。而经甲维盐和阿维菌素处理后,2 个物种之间 POD 活性差异不显著;乙基多杀菌素、吡虫啉和噻虫嗪

处理后西花蓟马体内 POD 活性显著高于花蓟马 POD 活性,分别为花蓟马 POD 活性的 1.34、1.21 和 2.55 倍。

清水对照的西花蓟马体内 CAT 活性显著低于花蓟马 CAT 活性,是花蓟马的 0.70 倍(图 1C)。阿维菌素和噻虫嗪对西花蓟马体内 CAT 活性有显著诱导作用,而甲维盐对西花蓟马体内 CAT 活性有显著抑制作用,乙基多杀菌素和吡虫啉对其没有显著影响;对于花蓟马,阿维菌素对 CAT 活性有显著的诱导作用,而吡虫啉和噻虫嗪则显著抑制 CAT 活性,乙基多杀菌素和甲维盐对其没有显著影响;其中阿维菌素对西花蓟马和花蓟马 CAT 活性诱导作用最强,分别为 22.69 和 $38.56 \text{ U} \cdot \text{mg}^{-1}$,是对照的 1.42 和 1.69 倍。甲维盐和阿维菌素处理后,西花蓟马 CAT 活性显著低于花蓟马 CAT 活性,仅为花蓟马 CAT 的 0.58、0.34 和 0.59 倍,吡虫啉和噻虫嗪处理的西花蓟马 CAT 活性显著高于花蓟马 CAT 活性,分别是花蓟马的 5.20 和 2.57 倍。

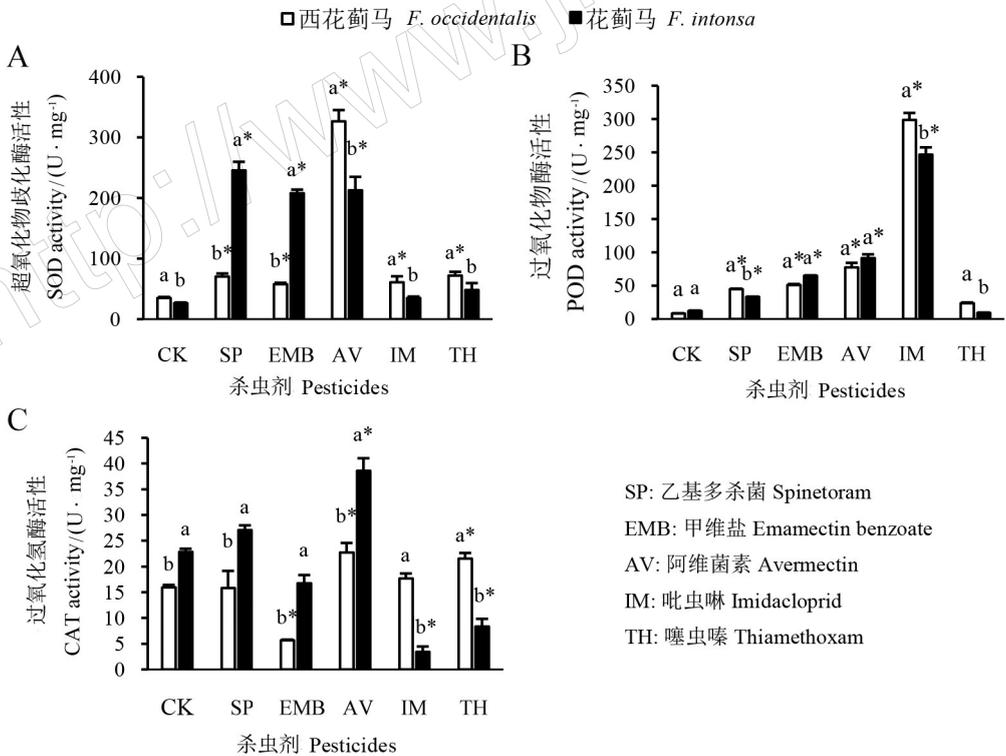


图 1 5 种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马体内保护酶活性的影响

Fig.1 Effects of five insecticides on the activities of superoxide dismutase (A), peroxidase (B), catalase (C) in *F. occidentalis* and *F. intonsa*

2.3 5 种杀虫剂对西花蓟马与花蓟马解毒酶活性的影响

清水处理的西花蓟马体内 CarE 活性略低于花

蓟马 CarE 活性($P > 0.05$),仅为花蓟马的 0.97 倍(图 2A)。乙基多杀菌素、甲维盐、阿维菌素和吡虫啉对西花蓟马和花蓟马体内 CarE 活性均呈显著诱

导作用,而噻虫嗪对 2 种蓟马的 CarE 活性没有显著影响,其中,阿维菌素对西花蓟马和花蓟马 CarE 活性诱导作用最强,分别为 12.53 和 11.99 U · mg⁻¹,是对照的 3.61 和 3.37 倍。乙基多杀菌素、甲维盐和阿维菌素处理后西花蓟马体内 CarE 活性略高于花蓟马 CarE 活性,分别是花蓟马的 1.05、1.10 和 1.05 倍;而吡虫啉处理后西花蓟马 CarE 活性略低于花蓟马 CarE 活性($P>0.05$)。

清水处理的西花蓟马体内 GST 活性略低于花蓟马 GST 活性($P>0.05$),仅为花蓟马的 0.93 倍(图 2B)。乙基多杀菌素、甲维盐和阿维菌素对西花蓟马和花蓟马体内 GST 活性均呈显著诱导作用,而吡虫啉和噻虫嗪对 2 种 GST 活性没有显著影响,其中,乙基多杀菌素对西花蓟马和花蓟马的 GST 活性诱导作用最强,分别为 77527.59 和 66927.39 U

· mg⁻¹,是对照的 1.56 和 1.26 倍。5 种杀虫剂处理后西花蓟马 GST 活性均高于花蓟马 GST 活性($P>0.05$)。

清水处理的西花蓟马体内 AChE 活性略低于花蓟马 AChE 活性($P>0.05$),是花蓟马的 0.88 倍(图 2C)。乙基多杀菌素、吡虫啉和噻虫嗪对 2 种蓟马 AChE 活性均呈显著诱导作用,而甲维盐和阿维菌素对两种蓟马 AChE 活性没有显著影响,其中,乙基多杀菌素对西花蓟马和花蓟马 AChE 诱导作用最强,分别为 2.34 和 2.22 U · mg⁻¹,是对照的 3.44 和 2.88 倍。乙基多杀菌素、阿维菌素和吡虫啉处理的西花蓟马 AChE 活性均高于花蓟马 AChE 活性,分别是花蓟马的 1.05、1.49 和 1.54 倍,而噻虫嗪处理的西花蓟马 AChE 活性略低于花蓟马 AChE 活性($P>0.05$),仅为花蓟马的 0.90 倍。

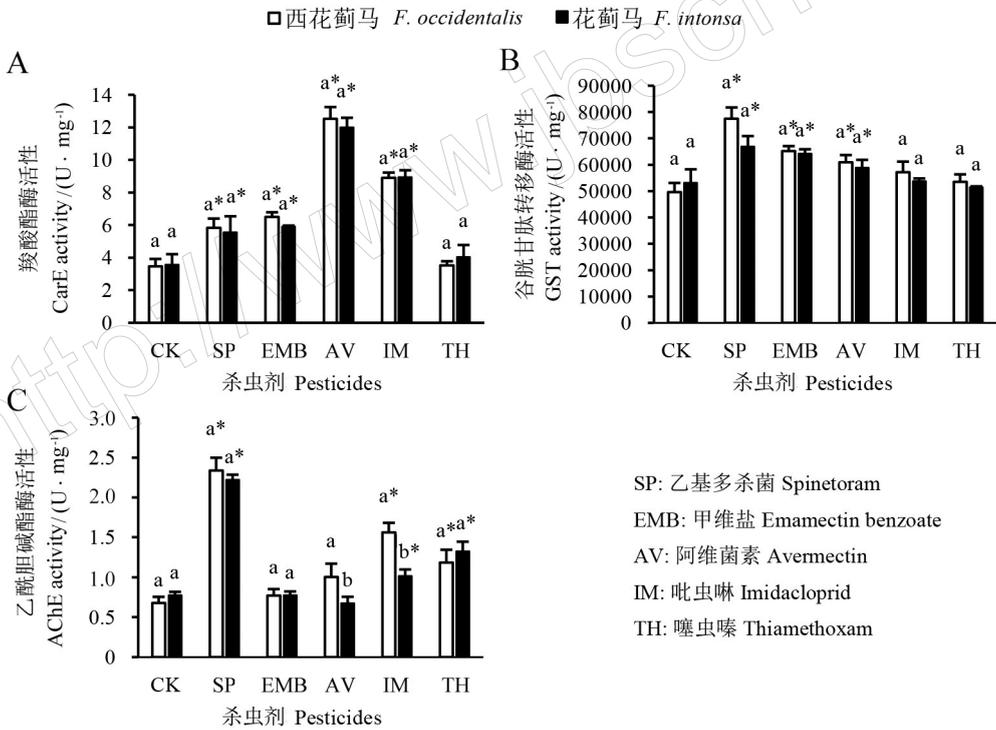


图 2 5 种杀虫剂对西花蓟马和花蓟马体内 CarE (A)、GST (B)、AChE (C) 活性的影响
 Fig.2 Effects of five insecticides on the activities of carboxylesterase (A), glutathion-S-transferase (B), and acetylcholin-esterase (C) in *F. occidentalis* and *F. intonsa*

本研究结果表明,不同杀虫剂对不同蓟马体内保护酶(SOD、POD、CAT)和解毒酶(CarE、GST、AChE)活性的诱导或抑制作用不同。乙基多杀菌素仅抑制西花蓟马的 CAT 活性,对其他酶活性均呈显著诱导作用,但对花蓟马体内的保护酶和解毒酶均呈诱导作用。甲维盐抑制 2 种蓟马的 CAT 活

性,但对其他酶活性均有诱导作用。阿维菌素、吡虫啉和噻虫嗪对西花蓟马体内保护酶和解毒酶活性均有诱导作用;而阿维菌素抑制花蓟马体内 AChE 活性,吡虫啉抑制花蓟马体内 CAT 活性,噻虫嗪对花蓟马体内 POD、CAT 和 GST 活性具有抑制作用。

3 讨论

外来物种成功入侵新的栖境后,往往较本地物种具有明显的生理或生态优势(Qian *et al.*, 2018),能够更快适应不良的环境变化(如提高农药的耐受性等),从而占据更多的可利用资源,并在与本地物种的竞争中获胜(Byers, 2002; Petchey *et al.*, 1999)。本研究在室内测定了不同药剂对入侵种西花蓟马和本地近缘种花蓟马成虫的毒力,结果表明:乙基多杀菌素对西花蓟马的毒力最高($LC_{50} = 0.28 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),与张治科等(2019)所测结果类似。乙基多杀菌素是微生物源杀虫剂,对环境友好,可将其作为防治蓟马的优先选择药剂。西花蓟马对5种杀虫剂的敏感性普遍低于花蓟马,表明西花蓟马较花蓟马具有更强的耐药性。Zhao *et al.* (2017)和Reitz *et al.* (2020)研究表明,经杀虫剂介导后,西花蓟马较本地蓟马表现出更强的种间竞争优势。

昆虫体内的保护酶(SOD、CAT和POD)相互协调,参与细胞内自由基的产生与清除,其中,SOD的功能是催化超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)歧化生成过氧化氢(H_2O_2),而CAT和POD具有分解 H_2O_2 的能力(Ahmad & Pardini, 1990),3种保护酶相互协调使自由基维持在一个较低的水平,从而避免自由基毒害(李周直等,1994)。在外界刺激物(如化学农药、不良环境因素等)的作用下,昆虫体内保护酶活性会发生相应变化,从而维持正常的生理代谢(查黎春,2011)。本研究中,不同杀虫剂处理对2种蓟马体内的保护酶活性的影响不尽相同。乙基多杀菌素和甲维盐显著诱导西花蓟马和花蓟马体内SOD和POD活性,但西花蓟马体内SOD活性显著低于花蓟马体内SOD活性,说明乙基多杀菌素和甲维盐处理后西花蓟马相较于花蓟马产生更少的 H_2O_2 ,从而避免了 H_2O_2 的毒害;乙基多杀菌素处理后,西花蓟马体内POD活性显著高于花蓟马,说明西花蓟马通过诱导POD活性分解体内的 H_2O_2 ,从而降低其对机体的氧化损伤;而经甲维盐胁迫后,西花蓟马体内POD活性略低于花蓟马,推测该差异是2种蓟马本身差异造成的;经乙基多杀菌素和甲维盐处理后,2种蓟马体内CAT可能不参与对 H_2O_2 的分解。吡虫啉和噻虫嗪对西花蓟马SOD活性呈显著诱导作用,而对花蓟马SOD无显著影响,同时吡虫啉显著诱导2种蓟马POD活性,且西花

蓟马POD活性显著高于花蓟马POD活性,而噻虫嗪对2种蓟马POD活性无显著影响;吡虫啉和噻虫嗪均对西花蓟马CAT活性有诱导作用,但显著抑制花蓟马的CAT活性,说明西花蓟马通过升高体内POD和CAT活性来分解体内大量 H_2O_2 ,从而减轻其毒害作用。阿维菌素对2种蓟马体内保护酶活性均呈显著诱导作用,且西花蓟马SOD活性显著高于花蓟马SOD活性,但西花蓟马体内POD和CAT活性低于花蓟马,说明阿维菌素对西花蓟马的氧化损伤高于花蓟马,这可能是西花蓟马对阿维菌素的敏感性强于花蓟马的原因之一。

昆虫的解毒酶系(AChE、CarE和GST)在对农药的代谢中起重要作用,解毒能力增强是昆虫对农药产生抗性的主要原因之一(杨慧等,2020);昆虫解毒酶系的活性可以被各种外源、内源化合物诱导,这使得昆虫在受到环境胁迫时体内酶能迅速作出反应,从而存活下来(王智卿和刘长明,2010)。本研究中,对照西花蓟马解毒酶(CarE、AChE、GST)活性略低于花蓟马解毒酶活性,而经乙基多杀菌素、甲维盐和阿维菌素处理后,西花蓟马CarE活性则略高于花蓟马CarE活性;经5种杀虫剂胁迫后,西花蓟马GST活性均高于花蓟马;乙基多杀菌素、阿维菌素和吡虫啉处理后,西花蓟马AChE活性高于花蓟马AChE活性,说明西花蓟马可通过升高体内解毒酶活性来应对杀虫剂胁迫,也说明入侵种西花蓟马较本地种花蓟马具有更强的解毒代谢能力。

昆虫受到化学药剂胁迫后,体内酶活性的变化是一个复杂的过程,受不同药剂类型、药剂处理浓度和时间、昆虫龄期等因素的影响(何发林等,2019;张珏锋等,2018)。本研究仅比较了2种蓟马在不同杀虫剂 LC_{25} 剂量下处理48h后保护酶、解毒酶活性的变化,不同处理时间及不同处理浓度对其影响尚需进一步研究。

参考文献

- 付步礼,曾东强,刘奎,谢艺贤,邱海燕,唐良德,2014. 蓟马类害虫抗药性研究进展. 农学学报, 4(3): 28-34.
- 何发林,乔治华,姚向峰,于灏泳,孙石昂,李向东,张吉旺,姜兴印,2019. 低致死剂量氯虫苯甲酰胺对沟金针虫食物利用和相关生理生化指标的剂量和时间效应. 昆虫学报, 62(8): 948-959.
- 胡昌雄,李宜儒,李正跃,陈国华,张宏瑞,桂富荣,张晓

- 明, 2018. 吡虫啉对西花蓟马和花蓟马种间竞争及后代发育的影响. *生态学杂志*, 37(2): 453-461.
- 贾变桃, 焦鹏, 杨素梅, 2016. 虱螨脲亚致死浓度对小菜蛾保护酶系和解毒酶系活力的影响. *植物保护学报*, 43(2): 293-299.
- 李周直, 沈惠娟, 蒋巧根, 嵇保中, 1994. 几种昆虫保护酶系统活力的研究. *昆虫学报*, 37(4): 399-403.
- 李灿, 李子忠, 周波, 郑兴旺, 曹宇, 2007. 高浓度二氧化碳对药材甲和烟草甲乙酰胆碱酯酶活性的影响. *植物保护学报*, 34(6): 642-646.
- 刘建业, 钱蕾, 可芮, 陈晓燕, 李正跃, 桂富荣, 2017. CO₂ 浓度升高对取食不同寄主的西花蓟马和花蓟马生理酶活性的影响. *植物保护学报*, 44(1): 45-53.
- 王智卿, 刘长明, 2010. 福建主要烟区烟蚜抗药性及烟蚜体内酶的活性. *生物安全学报*, 19(4): 245-254.
- 杨慧, 蒋皓天, 何恒果, 2020. 农药对捕食性天敌的影响研究进展. *生物安全学报*, 29(1): 1-7.
- 查黎春, 2011. 三种农药对天幕毛虫、舞毒蛾超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性的影响. 硕士学位论文. 哈尔滨: 东北林业大学.
- 张桂芬, 孟祥钦, 万方浩, 2011. 西花蓟马检测鉴定技术研究进展. *生物安全学报*, 20(1): 81-88.
- 张治科, 吴圣勇, 雷仲仁, 康萍芝, 杜玉宁, 张丽荣, 2019. 不同杀虫剂对西花蓟马的室内毒力及田间药效. *生物安全学报*, 28(2): 127-132.
- 张钰峰, 陈建明, 舒金平, 李芳, 钟海英, 吴鸿, 2018. 黄绿绿僵菌感染对褐飞虱部分生理生化指标的影响. *中国生物防治学报*, 34(5): 56-62.
- AHMAD S, PARDINI R S, 1990. Antioxidant defense of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*: enzymatic responses to the superoxide-generating flavonoid, quercetin, and photodynamic furanocoumarin xanthotoxin. *Photochemistry and Photobiology*, 51(3): 305-311.
- BYERS J E, 2002. Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes. *Oikos*, 97: 449-458.
- HE S Q, LIN Y, QIAN L, LI Z H, XI C, YANG L, GUI F R, 2017. The influence of elevated CO₂ concentration on the fitness traits of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology*, 46(3): 722-728.
- JONES D R, 2005. Plant viruses transmitted by thrips. *European Journal of Plant Pathology*, 113(2): 119-157.
- LU Y H, GAO X W, 2009. Multiple mechanisms responsible for differential susceptibilities of *Sitobion avenae* (Fabricius) and *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) to pirimicarb. *Bulletin of Entomological Research*, 99(6): 611-617.
- PETCHEY O L, MCPHEARSON P T, CASEY T M, MORIN P J, 1999. Environmental warming alters food-web structure and ecosystem function. *Nature*, 402: 69-72.
- QIAN L, CHEN F J, LIU J N, HE S Q, LI Z Y, GUI F R, 2017. Effects of elevated CO₂ on life-history traits of three successive generations of *Frankliniella occidentalis* and *F. intonsa* on kidney bean, *Phaseolus vulgaris*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 165(1): 50-61.
- QIAN L, HE S Q, LIU X W, HUANG Z J, CHEN F J, GUI F R, 2018. Effect of elevated CO₂ on the interaction between invasive thrips, *Frankliniella occidentalis*, and its host kidney bean, *Phaseolus vulgaris*. *Pest Management Science*, 74(12): 2773-2782.
- REITZ S R, 2009. Biology and ecology of the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae): the making of a pest. *Florida Entomology*, 92(1): 7-13.
- REITZ S R, GAO Y L, LEI Z R, 2011. Thrips: pests of concern to China and the United States. *Journal of Integrative Agriculture*, 10(6): 867-892.
- REITZ S R, GAO Y L, KIRK W D J, HODDLE M S, LEISS K A, FUNDERBURK J E, 2020. Invasion biology, ecology, and management of western flower thrips. *Annual Review of Entomology*, 65(1): 17-37.
- TIWARI S, PELZ-STELINSKI K, STELINSKI L, 2011. Effect of *Candidatus Liberibacter asiaticus* infection on susceptibility of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* to selected insecticides. *Pest Management Science*, 67(1): 94-99.
- ULLMAN D E, MEDEIROS R B, CAMPBELL L R, WHITFIELD A E, SHERWOOD J L, GERMAN T L, 2002. Thrips as vectors of tospoviruses. *Advances in Botanical Research*, 36: 113-140.
- WHITFIELD A E, ULLMAN D E, GERMAN T L, 2005. Tospovirus-thrips interactions. *Annual Review of Phytopathology*, 43(1): 459-489.
- ZHAO X Y, REITZ S R, YUAN H G, LEI Z R, PAINI D R, GAO Y L, 2017. Pesticide-mediated interspecific competition between local and invasive thrips pests. *Scientific Report*, 7(1): 40512.
- ZHANG X R, LEI Z R, REITZ S R, WU S Y, GAO Y L, 2019. Laboratory and greenhouse evaluation of a granular formulation of *Beauveria bassiana* for control of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Insects*, 10(2): 1-11.