

六种农药对两种果蝇成虫室内毒力和主要解毒酶活性的影响

刘倩¹ 高欢欢² 翟一凡¹ 陈浩¹ 郑礼¹ 于毅^{1*}

(1. 山东农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 山东省葡萄研究院, 济南 250100)

摘要: 为明确田间常用农药对伊米果蝇 *Drosophila immigrans* 和海德氏果蝇 *D. hydei* 的毒力和解毒机制, 采用药膜法在室内测定6种田间常用农药原药对2种果蝇实验种群成虫的 LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} , 并研究其中3种农药的亚致死剂量 (LC_{10} 、 LC_{20}) 对果蝇谷胱甘肽 *S*-转移酶 (GST)、羧酸酯酶 (CarE)、乙酰胆碱酯酶 (AChE) 3种主要解毒酶活性的影响。结果表明, 乙基多杀菌素对伊米果蝇的毒力最大, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为 0.29、0.51 和 1.51 mg/L; 甲维盐对海德氏果蝇的毒力最大, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为 0.14、0.36 和 2.09 mg/L; 吡虫啉对2种果蝇的毒力均最低。不同亚致死浓度的乙基多杀菌素处理伊米果蝇 24 h 后, CarE 和 AChE 活性均显著高于对照, 而 GST 活性在低浓度时显著高于对照; 高浓度甲维盐仅对海德氏果蝇 AChE 活性有显著抑制作用; 吡虫啉可抑制伊米果蝇 AChE 和海德氏果蝇 CarE 活性。表明伊米果蝇和海德氏果蝇可通过改变3种解毒酶的活性来防御杀虫剂对其造成的影响。

关键词: 伊米果蝇; 海德氏果蝇; 农药; 毒力测定; 解毒酶

Toxicities of six pesticides and their effects on detoxification enzymes in the adults of two *Drosophila* species in the laboratory

Liu Qian¹ Gao Huanhuan² Zhai Yifan¹ Chen Hao¹ Zheng Li¹ Yu Yi^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, Shandong Province, China;

2. Shandong Academy of Grape, Jinan 250100, Shandong Province, China)

Abstract: To clarify the toxicity of six kinds of pesticides on *Drosophila immigrans* and *D. hydei*, the median lethal concentrations (LC_{10} , LC_{20} , LC_{50}) against *Drosophila* adults treated with pesticides were studied with residual film method. The effects on the activities of the three main detoxification enzymes (GST, CarE and AChE) were explored by three pesticides with the sublethal dose (LC_{10} , LC_{20}). The results showed that the toxicity of spinetoram was highest to *D. immigrans* among all pesticide treatments, and the values of LC_{10} , LC_{20} and LC_{50} were 0.29, 0.51 and 1.51 mg/L, respectively. The toxicity of emamectin benzoate was the highest to *D. hydei*, and the values of LC_{10} , LC_{20} and LC_{50} were 0.14, 0.36 and 2.09 mg/L, respectively. The imidacloprid had the lowest toxicity to *D. immigrans* and *D. hydei*. The activities of CarE and AChE of *D. immigrans* and *D. hydei* treated by spinetoram for 24 hours were significantly higher than that of the control, while the activity of GST was significantly higher than that of the control only at lower concentrations. The activity of AChE was inhibited at high concentration of emamectin benzoate in *D. hydei*; the activities of AChE in *D. immigrans* and CarE in *D. hydei* were both inhibited at sublethal concentrations of imidacloprid. The results indicated that *D.*

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系水果产业创新团队, 山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2016B11)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: robertyuyi@163.com

收稿日期: 2017-07-17

immigrans and *D. hydei* could defense the pesticides through changing the activities of detoxification enzymes.

Key words: *Drosophila immigrans*; *Drosophila hydei*; pesticide; toxicity test; detoxification enzyme

果蝇隶属双翅目果蝇科,是重要的水果害虫。果蝇寄主广泛,可为害樱桃、草莓、蓝莓、黑莓、葡萄等60多种植物,在世界各地均有发生,包括美国、意大利、法国、西班牙等国家(郭建明,2007; Lee et al., 2011)。1997年在我国甘肃省天水市发现果蝇为害甜樱桃,且果蝇种类多,主要有黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* Meigen、铃木氏果蝇 *D. suzukii* Matsumura、海德氏果蝇 *D. hydei* Sturtevant(李景栓和马沛勤,2009;吴军等,2013);四川省阿坝地区还发现了伊米果蝇 *D. immigrans* Sturtevant 为害(郭迪金等,2007)。绝大多数果蝇喜爱取食腐烂果实,但斑翅果蝇可产卵于刚成熟变色的果实中,幼虫孵化后蛀食果肉为害(Mark et al., 2010; Deprá et al., 2014),影响果实品质,造成严重经济损失,还可引起其它果蝇的二次侵染。田间调查发现,铃木氏果蝇与黑腹果蝇、海德氏果蝇混合发生为害的情况时有发生(郭丽娜等,2004)。因此上述4种果蝇的防治非常重要。为防治果蝇为害、减少经济损失、降低果品中农药残留量,选药和用药量极为重要,但目前多数防治研究仅集中于铃木氏果蝇和黑腹果蝇,赵晓娜(2011)试验证明吡虫啉和阿维菌素对黑腹果蝇卵有较好的防治效果,氯虫苯甲酰胺和茚虫威对黑腹果蝇幼虫具有较高的毒力;林清彩等(2015;2016)发现斑翅果蝇比黑腹果蝇对杀虫剂更敏感,多杀菌素和甲维盐的致死毒力最强。但关于伊米果蝇和海德氏果蝇的研究报道鲜少。

长期使用杀虫剂可导致昆虫产生一定的抗药性,表现在谷胱甘肽 *S*-转移酶(glutathione *S*-transferases, GST)、羧酸酯酶(carboxylesterases, CarE)和乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AchE)3种主要解毒酶活性的变化。GSTs主要分布在脂肪体、消化道、表皮等部位,其中脂肪体和中肠内的解毒酶活性最高(张常忠等,2001;侯成香 & 桂仲争,2007),房守敏(2010)认为昆虫对有机磷、有机氯和拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性均与GSTs相关。Kostaropoulou et al.(2001)通过酶的体外抑制试验研究证实,GSTs与拟除虫菊酯分子结合,从而保护生物大分子免受损伤。CarE在昆虫的解毒代谢中发挥着重要作用,可以调节昆虫生长发育、神经发育等,在昆虫的生殖过程中也发挥一定作用(Small & Hemingway, 2000)。

AchE是有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的靶标酶,昆虫通过AchE基因突变,降低该酶对有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂的敏感性,从而对杀虫剂产生抗性(Zaheerul et al., 2003;刘芳等,2006)。因此,评价化学杀虫剂对伊米果蝇和海德氏果蝇防治效果的同时,需要研究2种果蝇对杀虫剂的抗药性。

本试验以伊米果蝇和海德氏果蝇为试虫,在前人研究基础上选择对果蝇防治效果较好的联苯菊酯、高效氯氰菊酯、啉虫脒、吡虫啉、乙基多杀菌素和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)6种农药原药,测定6种药剂在室内对这2种供试果蝇成虫的毒力,并分析其中3种农药在不同亚致死浓度下对2种果蝇体内GST、CarE和AchE活性的影响,以期为更有效地防治果蝇为害提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:伊米果蝇和海德氏果蝇于2016年5月采于山东省莱芜市(117°19'~117°58' E、36°02'~36°33' N),饲养于人工气候室中,于温度25±0.5℃、湿度为(70±0.5)%、光周期为L 16 h:D 8 h条件下饲养4~5代后,取羽化3 d的成虫备用。试验中饲喂果蝇所用苹果购自当地农贸市场。

药剂:96%联苯菊酯(bifenthrin)原药,江苏春江农仕有限公司;95.63%高效氯氰菊酯(beta-cypermethrin)原药、97.3%吡虫啉(imidacloprid)原药,山东中农联合生物科技有限公司;98.2%啉虫脒(acetamiprid)原药,浙江海正化工股份有限公司;85.8%乙基多杀菌素(spinetoram)原药,美国陶氏益农公司;70%甲维盐(emamectin benzoate)原药,青岛奥迪斯生物科技有限公司。

试剂及仪器:GST活性测定试剂盒、CarE活性测定试剂盒和AchE活性测定试剂盒,苏州科铭生物技术有限公司;其余试剂均为国内分析纯。UV756CRT紫外分光光度计,上海佑科仪器仪表有限公司;EMax[®] Plus酶标仪,美国Microplate Devices公司。

1.2 方法

1.2.1 药剂对伊米果蝇和海德氏果蝇的毒力测定

在预试验基础上,将供试原药用有机溶剂配制

成母液,再用0.1%的T-80水溶液配制不同浓度梯度的药液,即浓度为20、16、12、8、4 mg/L的96%联苯菊酯;浓度为12.5、11.5、10.5、9.5、8.5、7.5、6.5 mg/L的95.63%高效氯氰菊酯;浓度为62.5、31.25、15.625、7.81、3.91 mg/L的98.2%(伊米果蝇)和150、75、37.5、18.75、9.375 mg/L(海德氏果蝇)的98.2%啉虫脒;浓度为6.25、3.125、1.56、0.78、0.39 mg/L(伊米果蝇)和12.5、6.25、3.125、1.56、0.78 mg/L(海德氏果蝇)的85.8%乙基多杀菌素;浓度为12.5、6.25、3.125、1.56、0.78 mg/L(伊米果蝇)和25、12.5、6.25、3.125、1.56、0.78 mg/L(海德氏果蝇)的70%甲维盐;浓度为250、125、62.5、31.25、15.625、7.81 mg/L的97.3%吡虫啉。

分别吸取适量配好的6种供试药液到直径6.5 cm、高度9.0 cm的组培瓶内,晃动瓶身,使组培瓶内壁沾满药液,并将多余药液倒出,将瓶身自然晾干。在组培瓶底部平铺1张中速定性滤纸,吸取已配好的相应浓度的供试药液0.5 mL滴加在滤纸表面,使之正好完全润湿。将切好的大小约2 cm×2 cm×3 mm的苹果片在各浓度的药液中浸渍1 min,取出后置于铺有相同药液处理滤纸的组培瓶内,将羽化3~5 d并饥饿处理2 h的果蝇成虫移入瓶中。每个浓度处理25头,重复3次,以清水作对照。试虫处理后置于温度25±1℃、相对湿度(70±5)%、光周期L 16 h:D 8 h的养虫室内培养。24 h后检查记录试虫死亡情况,以果蝇虫体僵硬或不能正常爬行为死亡标准。其中对2种果蝇毒力最强与最差的药剂处理过后存活的果蝇称重,然后保存于-80℃,用于酶活性的测定试验。

1.2.2 供试2种果蝇体内解毒酶活性的测定

取出30~35头冻存的试虫,根据冻存时称量的体重(约0.1 g),添加相应缓冲液或提取液进行冰浴匀浆,于4℃、8 000 r/min下离心10 min,取上清液为待测GST和AChE活性酶液;匀浆液于4℃、12 000 r/min下离心10 min,取上清液为待测CarE活性酶液。

采用分光光度计测定GST活性。取1 mL石英比色皿,加入待测酶液和试剂盒中试剂,迅速混匀后于340 nm测定吸光度变化,记录10 s和310 s吸光度值。GST活性以25℃下每克样品每分钟催化1 nmol/L 2,4-二硝基氯苯与谷胱甘肽结合为1个酶活单位。

采用微量法测定CarE活性。取96孔板,依次加入待测酶液和试剂盒中试剂,迅速混匀,于450 nm处测定10 s和190 s吸光度值。CarE活性以每克样品

在37℃反应体系中每分钟催化吸光值增加1为1个酶活单位。

AChE活性:采用微量法测定AChE活性。取96孔板,依次加入待测酶液和试剂盒中试剂,迅速混匀,于412 nm处测定10 s和190 s吸光度值。AChE活性以每克样品每分钟催化产生1 nmol三硝基苯的酶量为1个酶活单位。

1.3 数据分析

利用SPSS 17.0软件中的Probit模块计算各药剂的毒力方程及 LC_{10} 、 LC_{20} 、 LC_{50} (贾春生,2006),对试验数据进行单因素方差分析,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 6种农药对伊米果蝇成虫的毒力

不同药剂对伊米果蝇的毒力不同,其中乙基多杀菌素对伊米果蝇的毒力最大, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为0.29、0.51和1.51 mg/L;甲维盐的毒力次之, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为1.20、1.61和3.41 mg/L;吡虫啉的毒力最低, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为10.02、17.68和51.43 mg/L。药后24 h,6种农药对伊米果蝇的 LC_{50} 依次为乙基多杀菌素<甲维盐<联苯菊酯<高效氯氰菊酯<啉虫脒<吡虫啉(表1)。

2.2 6种农药对海德氏果蝇成虫的毒力

不同药剂对海德氏果蝇成虫的毒力不同,其中甲维盐对海德氏果蝇的毒力最大, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为0.14、0.36和2.09 mg/L;乙基多杀菌素的毒力次之, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为0.32、0.62和2.24 mg/L;吡虫啉毒力最低, LC_{10} 、 LC_{20} 和 LC_{50} 分别为4.24、12.02和88.36 mg/L。6种农药对海德氏果蝇的毒力依次为甲维盐>乙基多杀菌素>联苯菊酯>高效氯氰菊酯>啉虫脒>吡虫啉(表2)。

2.3 不同农药亚致死剂量对GST活性的影响

根据不同农药对2种果蝇的毒力,选择乙基多杀菌素和吡虫啉处理伊米果蝇,选择甲维盐和吡虫啉处理海德氏果蝇,测定处理后的果蝇体内GST活性,结果显示,经低浓度 LC_{10} 的乙基多杀菌素处理后,伊米果蝇的GST活性显著高于其它浓度处理(图1);不同浓度的吡虫啉处理伊米果蝇后,GST活性与对照组无显著差异。经过不同浓度甲维盐处理后,海德氏果蝇的GST活性与对照无显著差异($F_{2,6}=3.037$, $P=0.123$);海德氏果蝇经浓度 LC_{20} 的吡虫啉处理后,GST活性与对照组无显著差异(图1)。

表 1 6 种农药对伊米果蝇成虫的毒力
Table 1 Toxicities of six pesticides to *Drosophila immgrans*

农药 Pesticide	毒力方程 Toxic regression equation	χ^2	P	LC ₁₀ (mg/L) (95% CI)	LC ₂₀ (mg/L) (95% CI)	LC ₅₀ (mg/L) (95% CI)
联苯菊酯 Bifenthrin	y=2.247x-1.932	9.475	0.736	1.95(1.17-2.70)	3.06(2.09-3.92)	7.24(6.11-8.28)
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	y=5.565x-5.086	7.151	0.993	5.23(3.66-6.24)	6.16(4.69-7.06)	8.20(7.77-8.58)
啉虫脒 Acetamiprid	y=1.888x-2.172	8.713	0.794	2.96(2.01-3.93)	5.06(3.79-6.31)	14.13(12.01-16.56)
乙基多杀菌素 Spinetoram	y=1.791x-0.318	8.604	0.802	0.29(0.19-0.39)	0.51(0.38-0.64)	1.51(1.27-1.78)
甲维盐	y=2.078x-1.107	6.403	0.930	1.20(0.86-1.48)	1.61(1.26-1.90)	3.41(2.94-3.97)
Emamectin benzoate						
吡虫啉 Imidacloprid	y=1.718x-2.941	5.985	0.947	10.02(7.23-12.91)	17.68(13.84-21.57)	51.43(42.97-61.01)

表 2 6 种农药对海德氏果蝇成虫毒力结果
Table 2 Toxicities of six pesticides to *Drosophila hydei*

农药 Pesticide	毒力方程 toxic regression equation	χ^2	P	LC ₁₀ (mg/L) (95%CI)	LC ₂₀ (mg/L) (95%CI)	LC ₅₀ (mg/L) (95%CI)
联苯菊酯 Bifenthrin	y=2.264x-1.914	9.086	0.766	1.90(1.14-2.64)	2.98(2.03-3.83)	7.01(5.89-8.02)
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	y=6.229x-5.672	9.699	0.960	5.49(4.10-6.39)	6.34(5.06-7.14)	8.14(7.75-8.90)
啉虫脒 Acetamiprid	y=1.758x-2.804	3.314	0.997	7.35(4.85-9.91)	13.07(9.65-16.42)	39.36(33.23-46.70)
乙基多杀菌素 Spinetoram	y=1.506x-0.528	4.562	0.984	0.32(0.17-0.48)	0.62(0.39-0.85)	2.24(1.81-2.72)
甲维盐	y=1.095x-0.351	10.761	0.824	0.14(0.06-0.26)	0.36(0.18-0.57)	2.09(1.54-2.68)
Emamectin benzoate						
吡虫啉 Imidacloprid	y=0.971x-1.891	4.240	0.988	4.236(1.27-8.32)	12.02(5.46-19.09)	88.36(66.51-124.46)

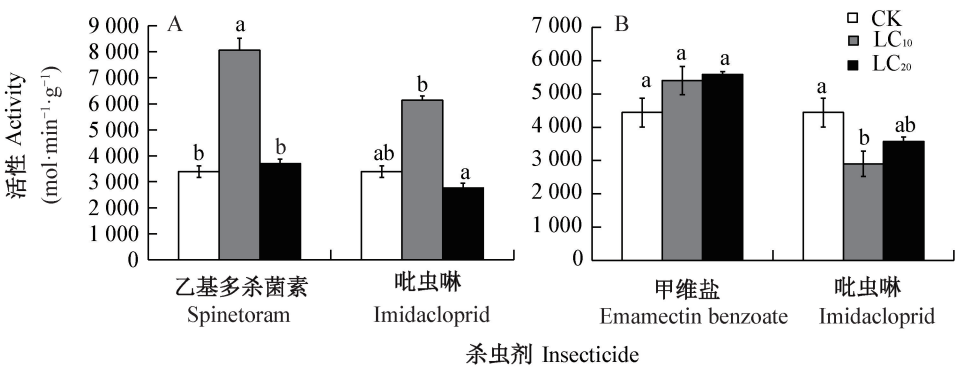


图 1 2 种农药不同亚致死剂量下伊米果蝇(A)和海德氏果蝇(B)的 GST 活性

Fig. 1 Activities of GST in *Drosophila immgrans* (A) and *Drosophila hydei* (B) treated with different sublethal concentrations of two pesticides
图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters on the bars indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.4 不同农药亚致死剂量对 CarE 活性的影响
不同浓度的乙基多杀菌素作用于伊米果蝇后，CarE 活性显著高于对照 ($F_{2,6}=23.904, P=0.001$)，分别为对照的 1.52 倍和 1.32 倍；经过不同浓度吡虫啉

处理后,CarE活性在低浓度 LC_{10} 处理时与对照无显著差异,在高浓度 LC_{20} 处理时,显著高于对照($F_{2,6}=5.572, P=0.043$)。海德氏果蝇经过不同浓度的甲维盐处理后,CarE活性与对照均无显著差异($F_{2,6}=$

$2.331, P=0.178$);不同浓度吡虫啉处理海德氏果蝇后,CarE活性均受到显著抑制($F_{2,6}=35.579, P<0.001$),分别仅为对照的68.35%和71.28%(图2)。

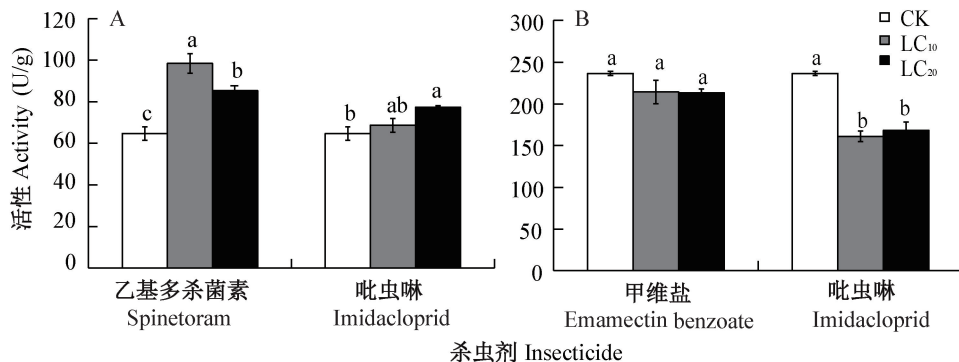


图2 2种农药不同亚致死剂量下伊米果蝇(A)和海德氏果蝇(B)的CarE活性

Fig. 2 Activities of CarE in *Drosophila immigrans* (A) and *Drosophila hydei* (B) treated with different sublethal concentrations of two pesticides

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters on the bars indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.5 不同农药亚致死剂量对AChE活性的影响

不同浓度的乙基多杀菌素作用于伊米果蝇,AChE活性在 LC_{10} 和 LC_{20} 处理时均显著高于对照($F_{2,6}=14.469, P=0.005$)。经过不同浓度吡虫啉处理后的伊米果蝇,AChE活性在 LC_{10} 和 LC_{20} 处理时受到抑制,均显著低于对照($F_{2,6}=13.125, P=0.006$),分别仅为对照的42.16%和63.25%(图3)。

不同浓度的甲维盐处理后,海德氏果蝇AChE活性在 LC_{20} 处理时显著低于对照和 LC_{10} 处理($F_{2,6}=21.456, P=0.002$)。不同浓度的吡虫啉处理海德氏果蝇后,AChE活性在 LC_{10} 处理时受到显著抑制($F_{2,6}=19.457, P=0.002$),为对照的41.45%,在 LC_{20} 处理时活性升高,但与对照组无显著差异(图3)。

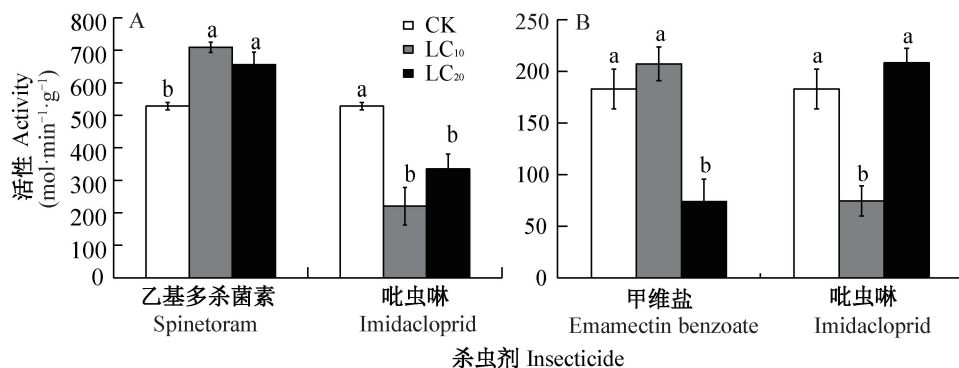


图3 2种农药不同亚致死剂量下伊米果蝇(A)和海德氏果蝇(B)的AChE活性

Fig. 3 Activities of AChE in *Drosophila immigrans* (A) and *Drosophila hydei* (B) treated with different sublethal concentrations of two pesticides

图中数据为平均数±标准误。不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters on the bars indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

本试验所选杀虫剂均具有高效、低毒和广谱的特性,研究结果表明,乙基多杀菌素对伊米果蝇的毒

力最高,甲维盐的毒性次之;甲维盐对海德氏果蝇的毒力最高,乙基多杀菌素的毒性次之,这与林清彩等(2016)筛选防治斑翅果蝇和黑腹果蝇的杀虫剂结论类似,说明这2种农药对以上4种果蝇均有较好的防

治效果,在实际应用中可优先选择。联苯菊酯和高效氯氰菊酯同为拟除虫菊酯类杀虫剂,农药用量可比常规药量低一个数量级或更多,而且品种众多,形成各具特色的产品类型,因而在农作物病虫害的防治和家庭有害昆虫防治中被广泛应用(李海屏, 2004)。本研究结果表明,这2种农药对伊米果蝇和海德氏果蝇均有较好的毒杀作用,而啉虫脒和吡虫啉对伊米果蝇和海德氏果蝇的毒力效果均不理想,这与Bruck et al.(2011)和林清彩等(2015)对斑翅果蝇的研究结果一致,即新烟碱类杀虫剂的杀虫功效不理想,故在防治果蝇时不推荐使用。

本试验通过测定昆虫体内解毒酶系的活性变化,发现伊米果蝇经不同亚致死浓度的乙基多杀菌素处理后,其CarE和AChE活性均显著高于对照,这与王光峰等(2003)所报道的多杀菌素在活体条件下能诱导甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 体内CarE活性增强的结果一致。董利霞等(2011)研究表明,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 体内GST对阿维菌素类药剂有一定的解毒代谢作用,但棉铃虫对阿维菌素类药剂抗性的产生与GST活性关系不大。这与本试验中高浓度乙基多杀菌素处理伊米果蝇后GST活性与对照无显著差异的结果一致。高浓度甲维盐仅对海德氏果蝇AChE活性有显著抑制作用,GST、CarE活性与对照组均无显著差异,说明海德氏果蝇对甲维盐产生抗性的机制与这2种解毒酶无关。本研究发现吡虫啉可抑制伊米果蝇AChE活性,海德氏果蝇AChE活性在低浓度处理下也会受到抑制,可能是因为生物碱抑制AChE活性(Wang et al., 2007; Zheng et al., 2009),这与曾春祥(2007)观点一致,即吡虫啉亚致死剂量对桃蚜 *Myzus persicae* 的AChE活性存在抑制作用。

本试验在室内条件下评价了6种农药对伊米果蝇和海德氏果蝇的防治效果,并在此基础上选择代表性的杀虫剂,初步研究了昆虫体内GST、CarE和AChE三种解毒酶与抗药性之间的关系,为2种果蝇的抗药性机理研究提供了重要的数据支持和理论基础。但本试验仅研究了不同亚致死剂量农药对此3种解毒酶活性的影响,并未涉及不同处理时间等方面,在后续试验中可对不同处理时间的昆虫体内解毒酶活性进行测定,进一步研究昆虫的抗药性机制。

参 考 文 献 (References)

- Bolda MP, Goodhue RE, Zalom FG. 2010. Spotted wing drosophila: Potential economic impact of a newly established pest. *Giannini foundation of agricultural economics*. University of California, 13 (3): 5-8
- Bruck DJ, Bolda M, Tanigoshi L, Klick J, Kleiber J, DeFrancesco J, Gerdeman B, Spittler H. 2011. Laboratory and field comparisons of insecticides to reduce infestation of *Drosophila suzukii* in berry crops. *Pest Management Science*, 67(11): 1375-1385
- Deprá M, Poppe JL, Schmitz HJ, Toni DCD, Valente VLS. 2014. The first records of the invasive pest *Drosophila suzukii* in the South American continent. *Journal Pest Science*, 87(3): 379-383
- Dong LX, Tan XW, Rui CH. 2011. Effects of sublethal dose of emamectin benzoate on activities of detoxifying enzymes in *Helicoverpa armigera* of different sensitivities. *Plant Protection*, 37(5): 164-168 (in Chinese) [董利霞, 谭晓伟, 芮昌辉. 2011. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐亚致死剂量对不同敏感性棉铃虫解毒酶活性的影响. *植物保护*, 37(5): 164-168]
- Fang SM. 2010. Genomic studies of glutathione *S*-transferase in insects and insecticide resistance mediated by it. *Newsletter of Sericultural Science*, 30(4): 28-35 (in Chinese) [房守敏. 2010. 昆虫谷胱甘肽 *S*-转移酶的基因组研究及其介导的抗药性. *蚕学通讯*, 30 (4): 28-35]
- Guo DJ, Jiang H, Zhang YH, Zhang CL, Yang BH. 2007. Preliminary study on occurrence of *Drosophila melanogaster* and *Drosophila immigrans* in Aba Prefecture, Sichuan Province. *Plant Protection*, 33(1): 134-135 (in Chinese) [郭迪金, 蒋辉, 张永华, 张成林, 杨彬洪. 2007. 黑腹果蝇和伊米果蝇在四川阿坝州发生初报. *植物保护*, 33(1): 134-135]
- Guo JM. 2007. Bionomics of fruitflies, *Drosophila melanogaster*, damage cherry in Tianshui. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(5): 743-745 (in Chinese) [郭建明. 2007. 樱桃新害虫黑腹果蝇的生物学特性. *昆虫知识*, 44(5): 743-745]
- Guo LN, Li BL, Dong LM, Wu JX. 2004. Occurrence and trapping methods of fruit fly in cherry orchard. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 23(2): 55-60 (in Chinese) [郭丽娜, 李伯辽, 董蓝蔓, 作均祥. 2004. 樱桃果蝇发生与诱捕技术比较研究. *西北农业学报*, 23(2): 55-60]
- Hou CX, Gui ZZ. 2007. Tissue distribution of glutathione *S*-transferases in silkworm, *Bombyx mori* and changes in developmental stages. *Science of Sericulture*, 33(3): 409-413 (in Chinese) [侯成香, 桂仲争. 2007. 家蚕谷胱甘肽硫-转移酶的组织分布及发育期变化规律. *蚕业科学*, 33(3): 409-413]
- Jia CS. 2006. Calculating the LC₅₀ of insecticides with software SPSS. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(3): 414-417 (in Chinese) [贾春生. 2006. 利用SPSS软件计算杀虫剂的LC₅₀. *昆虫知识*, 43 (3): 414-417]
- Kostaropoulou I, Papadopoulos AI, Metaxakis A, Boukouvala E, Papadopolou-Mourkidou E. 2001. Glutathione *S*-transferase in the defence against pyrethroids in insects. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 31(4/5): 313-319
- Lee JC, Bruck DJ, Dreves AJ, Loriatti C, Vogt H, Baufeld P. 2011. In focus: spotted-wing drosophila, *Drosophila suzukii*, across perspectives. *Pest Management Science*, 67(11): 1349-1351
- Li HP. 2004. Development and characteristics of new varieties of insect

- ticides. Jiangsu Chemical Industry, 32(1): 6–11 (in Chinese) [李海屏. 2004. 杀虫剂新品种开发进展及特点. 江苏化工, 32(1): 6–11]
- Li JS, Ma PQ. 2009. Investigation report on *Drosophila* species in Shanxi Province. Journal of Yuncheng University, 27(5): 23–25 (in Chinese) [李景柱, 马沛勤. 2009. 山西果蝇物种调查报告. 运城学院学报, 27(5): 23–25]
- Lin QC, Yu Y, Yin YY, Zheng L, Lai SG, Zhai YF. 2016. Toxicities test and efficacy of insecticides on fruit flies. Northern Horticulture, (17): 114–119 (in Chinese) [林清彩, 于毅, 尹园园, 郑礼, 来守国, 翟一凡. 2016. 几种杀虫剂对两种常见樱桃果蝇室内毒力测定和田间药效试验. 北方园艺, (17): 114–119]
- Lin QC, Zhai YF, Zhou XH, Zhang XY, Zhuang QY, Zhou CG, Yu Y. 2015. Susceptibility of *Drosophila suzukii* to six common insecticides. Shandong Agricultural Sciences, 47(3): 92–95 (in Chinese) [林清彩, 翟一凡, 周仙红, 张晓燕, 庄乾营, 周成刚, 于毅. 2015. 铃木氏果蝇田间种群对6种常用杀虫剂敏感性测定. 山东农业科学, 47(3): 92–95]
- Liu F, Sun ZY, Zhao SX, Wu G. 2006. Relation between altered acetylcholinesterase and insecticide resistance in insects. Entomological Journal of East China, 15(3): 187–191 (in Chinese) [刘芳, 孙作洋, 赵士熙, 吴刚. 2006. 乙酰胆碱酯酶性质改变与昆虫抗药性的关系. 华东昆虫学报, 15(3): 187–191]
- Small GJ, Hemingway J. 2000. Molecular characterization of the amplified carboxylesterase gene associated with organophosphorus insecticide resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. Insect Molecular Biology, 9(6): 647–653
- Wang GF, Zhang YJ, Bo LY, Wu QJ, Xu BY, Zhu GR. 2003. Effect of spinosad on the polyphenol oxidase and carboxyl esterase in beet armyworm, *Spodopetera exigua* (Hübner). Chinese Journal of Pesticide Science, 5(2): 40–46 (in Chinese) [王光峰, 张友军, 柏连阳, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁. 2003. 多杀菌素对甜菜夜蛾多酚氧化酶和羧酸酯酶的影响. 农药学报, 5(2): 40–46]
- Wang YH, Zhang ZK, Yang FM, Sun QY, He HP, Di YD, Mu SZ, Lu Y, Chang Y, Zheng QT, et al. 2007. Benzylphenethylamine alkaloids from *Hosta plantaginea* with inhibitory activity against tobacco mosaic virus and acetylcholinesterase. Journal of Natural Products, 70(9): 1458–1461
- Wu J, Liao TL, Sun P, Shi ZH, Chen JH. 2013. Bionomics of *Drosophila suzukii* Matsumura. Plant Quarantine, 27(5): 36–41 (in Chinese) [吴军, 廖太林, 孙鹏, 师振华, 陈集翰. 2013. 斑翅果蝇生物学特性研究. 植物检疫, 27(5): 36–41]
- Zaheerul H, Wellenzohn B, Tonmunpuean S, Khalid A, Choudhary MI, Rode BM. 2003. 3D-QSAR studies on natural acetylcholinesterase inhibitors of *Sarcococca saligna* by comparative molecular field analysis (Co MFA). Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 13(24): 4375–4380
- Zeng CX. 2007. Impact of sublethal doses of imidacloprid on *Myzus Persicae*, *Tetranychus cinnabarinus* and *Diaeretiella rapae*. Master Thesis. Chongqing: Southwest University (in Chinese) [曾春祥. 2007. 吡虫啉对桃蚜、朱砂叶螨及菜少脉蚜茧蜂的亚致死效应研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学]
- Zhang CZ, Gao XW, Zheng BZ. 2001. Glutathione *S*-transferases (GSTs) in *Helicoverpa armigera*: subcellular and tissue distribution of activity, developmental changes and induction of allelochemicals. Chinese Journal of Pesticide Science, 3(1): 303–306 (in Chinese) [张常忠, 高希武, 郑炳宗. 2001. 棉铃虫谷胱甘肽 *S*-转移酶的活性分布和发育期变化及植物次生物质的诱导作用. 农药学报, 3(1): 303–306]
- Zhao XN. 2011. Toxicities of insecticides to *Drosophila melanogaster* and their effects on edible fungi. Master Thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (in Chinese) [赵晓娜. 2011. 化学杀虫剂对黑腹果蝇的毒力测定及对食用菌菌丝生长的影响. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学]
- Zheng XY, Zhang ZJ, Chou GX, Wu T, Cheng XM, Wang CH, Wang ZT. 2009. Acetylcholinesterase inhibitive activity-guided isolation of two new alkaloids from seeds of *Peganum nigellastrum* Bunge by an *in vitro* TLC-bioautographic assay. Archives of Pharmacal Research, 32(9): 1245–1251

(责任编辑:王璇)