

氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾 的亚致死效应研究

陈琼, 黄水金*, 秦文婧

(江西省农业科学院 植物保护研究所 江西 南昌 330200)

摘要: 为了探讨亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*) 生长发育及解毒酶活性的影响, 采用饲料混毒生物测定法, 确定氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾 3 龄幼虫的亚致死剂量 (LC_{25} 和 LC_{50}), 并研究其对甜菜夜蛾的亚致死效应。结果表明: 与对照相比, 亚致死浓度的氯虫苯甲酰胺处理后, 甜菜夜蛾幼虫历期和蛹期显著延长, 幼虫体重和蛹重显著减轻, 羽化率、单雌产卵量和下一代卵的孵化率均下降, 说明亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾种群增长有一定的抑制作用。亚致死浓度的氯虫苯甲酰胺处理甜菜夜蛾 3 龄幼虫后, 其体内的酯酶和多功能氧化酶活性均显著低于对照, 表明亚致死浓度的氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾的酯酶和多功能氧化酶活性具有一定的抑制作用。这些结果证明, 亚致死剂量氯虫苯甲酰胺导致甜菜夜蛾幼虫体内酯酶和多功能氧化酶活性的下降可以在一定程度上说明其种群生命参数的变化。此外, 在亚致死剂量下, 氯虫苯甲酰胺能够降低甜菜夜蛾种群的发育速率和繁殖力, 这对甜菜夜蛾综合防治策略的制定有积极意义。

关键词: 甜菜夜蛾; 氯虫苯甲酰胺; 亚致死效应

中图分类号: S482.3; S481+.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)04-0690-06

Sublethal Effects of Chlorantraniliprole on *Spodoptera exigua*

CHEN Qiong, HUANG Shui-jin*, QIN Wen-jing

(Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: In order to study the effects of chlorantraniliprole at sublethal concentrations on the development and activities of detoxification enzymes of *Spodoptera exigua*, the sublethal doses (LC_{25} and LC_{50}) were estimated by the artificial diet incorporation bioassay method, and the sublethal effects were investigated, respectively. The results showed that the chlorantraniliprole at the LC_{25} and LC_{50} doses significantly prolonged the development duration of larvae and pupa of *S. exigua*, reduced the larval weight and pupal weight, and decreased the pupation rate, eggs laid per female and egg hatchability when compared with the control. These results indicated that the chlorantraniliprole at sublethal concentrations had a negative effect on population development of *S. exigua*. Furthermore, the activities of esterase and mixed function oxidase of the chlorantraniliprole-treated larvae were significantly lower than that of the control. These results suggested that the chlorantraniliprole at sublethal concentrations had inhibition effect on the activities of esterase and mixed function oxidase in *S. exigua* larvae. These results demonstrated that the decrease in the activities of esterase and mixed function oxidase of the chlorantraniliprole-treated larvae could partly explain the changes in the mentioned

收稿日期: 2011-04-15 修回日期: 2011-06-08

基金项目: 江西省自然科学基金项目 (2008GZN0010)

作者简介: 陈琼 (1983—), 女, 实习研究员, 硕士, 主要从事昆虫毒理与害虫综合治理研究, E-mail: jonecq2000@sina.com; * 通讯作者: 黄水金, 副研究员, 博士, E-mail: shuijinhuang@yahoo.com.cn

growth parameters. Furthermore, the sublethal dosage of chlorantraniliprole could decrease the developmental rate and fecundity of *S. exigua*, this provides positive significance toward developing IPM program for *S. exigua*.

Key words: *Spodoptera exigua*; chlorantraniliprole; sublethal effects

甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua*)属鳞翅目夜蛾科,是一种世界性分布的多食性害虫。自 20 世纪 80 年代以来,该虫在我国的发生为害区域逐步扩大。目前,对甜菜夜蛾的防治仍以化学防治为主。大量化学杀虫剂的使用已导致甜菜夜蛾对有机磷类和拟除虫菊酯类等多类杀虫剂产生了不同程度的抗性^[1-2]。

氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole, 商标名: 康宽)是美国杜邦公司新近开发出来的高效、安全的二酰胺类杀虫剂,其作用靶标是鱼尼丁受体。研究表明,氯虫苯甲酰胺呈现对昆虫高效,而对哺乳动物低毒,具有高度选择性的特点。对天敌、鸟类与水生生物十分安全。氯虫苯甲酰胺杀虫谱广,对甜菜夜蛾等鳞翅目害虫有很好的控制效果,还能控制鞘翅目象甲科、叶甲科;双翅目潜蝇科;烟粉虱等多种非鳞翅目害虫^[3-4]。目前尚未有田间害虫种群对氯虫苯甲酰胺产生抗性的报道,但是,随着氯虫苯甲酰胺的广泛应用,其对害虫的选择压力也将随之增大。室内抗性选育的研究结果表明,甜菜夜蛾对氯虫苯甲酰胺产生抗性的风险较高^[5],因此,合理使用氯虫苯甲酰胺,降低其对害虫的选择压力将是延缓甜菜夜蛾抗药性发展的重要措施。大量研究表明,亚致死剂量的杀虫剂对昆虫的生长发育、繁殖力和抗药性等都会产生不同程度的影响^[6-7]。因此,笔者研究了氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾 3 龄幼虫的亚致死效应,旨在为氯虫苯甲酰胺的合理应用及甜菜夜蛾的抗性治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

甜菜夜蛾卵系南京农业大学昆虫生理毒理学实验室惠赠,于温控养虫室内孵化,幼虫用人工饲料饲养^[8]。成虫羽化后,雌雄成虫两两配对并置于四周贴一层白纸的塑料杯(直径 5 cm,高 11 cm)中交配产卵,喂以体积分数为 10% 蜂蜜水。养虫室饲养条件为温度(26 ± 1) °C,相对湿度(60 ± 10) %,光周期 L:D 为 14:10。

1.2 供试药剂

35% 氯虫苯甲酰胺水分散粒剂(美国杜邦公司), α -乙酸萘酯(广州齐云生物技术有限公司,化学纯),固蓝 RR 盐(南京生工进口分装),对硝基苯甲醚(p-NA)(瑞士 Adamas-beta 公司,分析纯),还原型辅酶 II(NADPH)(Roche,进口分装),牛血清白蛋白和考马斯亮蓝 G250(上海蓝季科技发展有限公司),其它试剂均为国产分析纯。

1.3 生物测定方法

采用饲料混毒法。试验采用清水稀释药剂,取 20 mL 药液加入至 100 g 人工饲料中混匀,配制成含氯虫苯甲酰胺系列浓度的混毒人工饲料,并设清水为对照。在每个罐头瓶中加入 40 g 已配好的混毒饲料,然后接入 20 头大小一致、饥饿 4 h 的甜菜夜蛾 3 龄初期幼虫,每浓度处理 60 头,重复 3 次。72 h 后检查死亡率,计算毒力回归方程、 LC_{25} 、 LC_{50} 值及其置信限。幼虫未发育、虫体严重变小发黑、针刺没有反应或不能协调运动的试虫均视为死亡。

1.4 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾生物学的影响

根据毒力回归线求得 LC_{25} 和 LC_{50} ,配置相应浓度的混毒饲料(配置方法同 1.3),清水作为对照。在罐头瓶中装入 40 g 混毒饲料,然后接入 20 头大小一致、饥饿 4 h 的甜菜夜蛾 3 龄初期幼虫,每浓度处理 60 头,重复 3 次。72 h 后将存活幼虫转入无毒的人工饲料上继续饲养。分别在电子天平上称量用药前和用药 72 h 后的幼虫重量,一日龄蛹重;观察并记录 3 龄至 6 龄幼虫的发育历期、蛹期、羽化率、单雌产卵量和卵孵化率等指标。

1.5 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾幼虫体内解毒酶活性的影响

用含 LC_{25} 、 LC_{50} 氯虫苯甲酰胺的混毒饲料处理甜菜夜蛾 3 龄幼虫(方法同 1.4),分别于用药处理 24、48、72 h 后挑取存活试虫用于解毒酶活性测定。

1.5.1 酶液制备 取3头甜菜夜蛾幼虫加入1500 μL 0.1 M 磷酸缓冲液($\text{pH}=7.6$)中冰浴匀浆,匀浆液于10000 g 4°C 离心10 min,取上清液再次在15000 g 4°C 离心20 min,最后所得上清液作为酶源液备用。

1.5.2 酯酶活性的测定 参照 Han 等^[9]方法。于酶标板加样孔中依次加入200 μL 底物(α -乙酸萘酯:8 mM)与显色剂(固蓝 RR 盐:4 mM)的混合液,50 μL 0.1 M 磷酸缓冲液($\text{pH}=7.6$),最后加入20 μL (酶源液稀释10倍)稀释酶液。迅速置于酶标仪在450 nm 波长下,每隔30 s 记录一次光密度值,共记录20次。

1.5.3 多功能氧化酶 O-脱甲基活性的测定 参照 Hansen 和 Hodgson^[10]方法。于酶标板加样孔中依次加入100 μL 2 mM 的 p-NA(先溶于少量乙醇,再取少量溶于预热的0.1 M $\text{pH}=7.6$ 磷酸缓冲液)、90 μL 酶储备液,在27 $^\circ\text{C}$ 下温育2 min,然后加入10 μL 9.6 mM 的 NADPH。酶标仪在405 nm 波长下,每隔25 s 记录一次光密度值,共记录20次。

1.5.4 蛋白质含量测定 参照 Bradford^[11]考马斯亮蓝 G-250 法以 BSA 作标准曲线。

1.6 数据分析

毒力回归方程、 LC_{25} 和 LC_{50} 值计算、LSD 多重比较均使用 DPS 软件。

2 结果与分析

2.1 氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾的毒力

根据生物测定结果,利用机率值分析法建立的毒力回归方程为 $y=7.4635+3.5140x$, $R=0.9543$, 95% 置信限为 0.1729~0.2291 mg/L, 计算得 LC_{50} 为 0.1990 mg/L, LC_{25} 为 0.1288 mg/L。 LC_{50} 和 LC_{25} 作为下面研究的药剂亚致死浓度。

2.2 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾幼虫体重及蛹重的影响

亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾幼虫体重及蛹重的影响见表1。与对照相比,氯虫苯甲酰胺 LC_{25} 和 LC_{50} 2个亚致死浓度对甜菜夜蛾的体重均有显著的影响,在初始虫重无显著差异的基础上,经氯虫苯甲酰胺 LC_{25} 和 LC_{50} 浓度处理过的幼虫,处理72 h后平均幼虫重分别为33.19和17.41 mg/头,仅为对照组幼虫体重的35.13%和18.43%,蛹重也仅为对照组的88.42%和78.40%。

表1 氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾幼虫体重及蛹重的影响

Tab.1 Effects of sublethal concentration of chlorantraniliprole on the weight of larve and pupal of *S. exigua*

处理 Treatment	幼虫体重/(mg·头 ⁻¹) Larval weight		蛹重/(mg·头 ⁻¹) Pupal weight
	初始虫重	72 h 后虫重	
	Prior to chlorantraniliprole-exposure	After 72 h chlorantraniliprole-exposure	
LC_{50}	11.23 \pm 0.95 a	17.41 \pm 0.02 c	90.00 \pm 16.97 c
LC_{25}	11.18 \pm 1.79 a	33.19 \pm 1.03 b	101.50 \pm 6.36 b
CK	11.51 \pm 3.03 a	94.49 \pm 19.74 a	114.79 \pm 19.03 a

同一列数据后相同字母者表示彼此之间差异不显著 ($p=0.05$)。

The data followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

2.3 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾生长发育的影响

由表2可知,亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾生长发育有明显的影响。与对照相比,经 LC_{25} 氯虫苯甲酰胺处理后存活的幼虫,其幼虫历期和蛹期分别为5.71和8.50 d,比对照组的幼虫期和蛹期分别延长了1.46和1.34 d;成虫羽化率为78.68%,单雌产卵量为541粒,均显著低于对照组;而且其卵孵化率也有不同程度下降。经 LC_{50} 氯虫苯甲酰胺处理后存活的幼虫,其幼虫期、蛹期、成虫羽化率、单雌产卵量和卵孵化率均显著低于对照组,同时也低于 LC_{25} 氯虫苯甲酰胺处理组,表明氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾生长发育的亚致死效应表现出浓度效应。

2.4 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾解毒酶的影响

用亚致死浓度氯虫苯甲酰胺处理甜菜夜蛾3龄幼虫24 h、48 h和72 h后,分别测定其体内酯酶的

活性(表3)。甜菜夜蛾幼虫经 LC_{25} 氯虫苯甲酰胺处理 24、48、72 h 后,其体内的酯酶活性分别为 22 377.7、18 972.8 和 12 701.8 $mOD \cdot \min^{-1} \cdot mg^{-1}$,均显著低于对照组;经 LC_{50} 氯虫苯甲酰胺处理 24、48、72 h 后,其体内的酯酶活性也同样显著低于对照组,而且还低于 LC_{25} 氯虫苯甲酰胺处理组,表明甜菜夜蛾 3 龄幼虫经过氯虫苯甲酰胺处理后,其体内的酯酶活性受到不同程度的抑制作用,并且被抑制程度随着氯虫苯甲酰胺处理浓度的上升而增强。

表2 氯虫苯甲酰胺亚致死浓度对甜菜夜蛾生长发育的影响

Tab.2 Effects of sublethal concentration of chlorantraniliprole on the development and reproduction of *S. exigua*

发育阶段 Developmental stage	处理 Treatment		
	LC_{50}	LC_{25}	CK
幼虫平均历期/d Larval average developmental period	10.00 ± 2.31a	5.71 ± 1.25b	4.25 ± 0.44c
72 h 死亡率/% Mortality in 72 h	47.50 ± 17.68b	72.50 ± 3.54ab	93.33 ± 11.55a
蛹期/d Pupal period	9.00 ± 1.53a	8.50 ± 1.22a	7.16 ± 0.37b
羽化率/% Adult emergence	65.15 ± 2.19b	78.68 ± 5.20ab	94.50 ± 3.11a
单雌产卵量/粒 Number of eggs laid per female	495.50 ± 290.62b	541.00 ± 192.53b	810.55 ± 183.96a
孵化率/% Egg hatching rate	87.53 ± 7.38a	95.57 ± 1.85a	98.03 ± 2.15a

同一列数据后相同字母者表示彼此之间差异不显著 ($p=0.05$)。

The data followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

表3 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾酯酶活性的影响

Tab.3 Effects of sublethal concentration of chlorantraniliprole on the activity of esterase of *S. exigua*

处理 Treatment	酯酶活性/($mOD \cdot \min^{-1} \cdot mg^{-1}$) The activity of esterase of <i>S. exigua</i>		
	24 h	48 h	72 h
LC_{50}	17 329.4 ± 1 138.6 c	14 910.8 ± 1 141.8 c	12 474.6 ± 1 050.2 c
LC_{25}	22 377.7 ± 2 098.3 b	18 972.8 ± 1 641.0 b	12 701.8 ± 1 178.4 b
CK	24 550.0 ± 2 559.8 a	20 280.6 ± 2 180.5 a	16 765.7 ± 1 881.4 a

同一列数据后相同字母者表示彼此之间差异不显著 ($p=0.05$)。

The data followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾多功能氧化酶活性的影响见表4。由表4可以看出,氯虫苯甲酰胺 LC_{25} 处理组的甜菜夜蛾幼虫在 24、48、72 h 的多功能氧化酶活性分别比对照降低了 21.35%、7.15% 和 5.78%;而氯虫苯甲酰胺 LC_{50} 处理组的甜菜夜蛾幼虫在 24、48、72 h 的多功能氧化酶活性则分别比对照降低了 34.06%、17.91% 和 22.72%,同时也低于氯虫苯甲酰胺 LC_{25} 处理组的多功能氧化酶活性。表明甜菜夜蛾 3 龄幼虫经过氯虫苯甲酰胺处理后,其体内的多功能氧化酶活性均受到不同程度的抑制作用,且这种抑制作用与氯虫苯甲酰胺的浓度有关。

表4 亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾多功能氧化酶活性的影响

Tab.4 Effect of sublethal concentration of chlorantraniliprole on the activity of MFOs of *S. exigua*

处理 Treatment	多功能氧化酶活性/($mOD \cdot \min^{-1} \cdot mg^{-1}$) The activity of MFOs of <i>S. exigua</i>		
	24 h	48 h	72 h
LC_{50}	135.56 ± 1.39 c	102.18 ± 1.08c	89.95 ± 0.65 c
LC_{25}	161.69 ± 1.12 b	115.57 ± 1.44 b	109.67 ± 0.93 b
CK	205.57 ± 2.45 a	124.47 ± 2.30 a	116.40 ± 1.45 a

同一列数据后相同字母者表示彼此之间差异不显著 ($p=0.05$)。

The data followed by the same letters are not significantly different at the 0.05 level according to LSD test.

3 讨论

杀虫剂施用于田间后,部分药剂能残留在作物上,可能粘附在作物体表,也可能渗透进入作物表皮蜡质层或组织内部,也可能被作物吸收、输导分布在作物各部分汁液中。这些农药可受到外界环境条件的影响或活体内酶系的作用而逐渐被降解消失,但不同种类的药剂其降解速度差别很大。害虫接触作物体表的药剂或取食含有药剂的作物组织(或汁液)后,药剂进入虫体而导致害虫中毒。因而害虫不同个体间获得(或接触)的药量存在差异,同时由于害虫对杀虫剂的敏感性与其发育状态、虫龄、食料及生育期间的的环境因素密切相关^[12-15],因此,田间施药后,杀虫剂除了对害虫部分个体具有直接杀死作用以外,还对部分个体存在着亚致死效应,即影响到这部分个体的正常行为或生理活动。研究表明,药剂亚致死剂量能显著延长昆虫(或螨类)的发育历期。例如,亚致死浓度的多杀菌素处理棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)^[16]、小菜蛾(*Plutella xylostella*)^[17]和异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)^[18]后,其生长发育历期均较对照显著延长。阿维菌素和哒螨灵亚致死量处理土耳其斯坦叶螨成螨和卵后,种群的发育历期均显著延长^[19]。亚致死浓度的氯虫苯甲酰胺处理斜纹夜蛾3龄幼虫后,其幼虫期和蛹期延长^[20]。在本研究中也发现了类似现象,亚致死浓度的氯虫苯甲酰胺处理甜菜夜蛾3龄幼虫后,其幼虫期和蛹期显著延长。因此,在应用氯虫苯甲酰胺防治甜菜夜蛾时,低剂量氯虫苯甲酰胺可能会导致田间甜菜夜蛾种群的世代重叠更加严重,对作物的为害时间延长。

此外,亚致死剂量的药剂往往对害虫种群增长不利,表现为体重减轻,繁殖力降低^[21-22]。许小龙等^[20]的研究表明,亚致死浓度氯虫苯甲酰胺导致斜纹夜蛾的幼虫体重和蛹重减轻,化蛹率降低。在本研究中,与对照相比,甜菜夜蛾3龄幼虫经氯虫苯甲酰胺亚致死浓度 LC_{25} 和 LC_{50} 处理后,幼虫体重和蛹重均显著减轻,成虫羽化率、单雌产卵量和卵孵化率均明显下降,表明亚致死浓度氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾种群增长具有明显的抑制作用。然而,亚致死剂量的氯虫苯甲酰胺对苹果实蝇(*Rhagoletis pomonella* Walsh)、蓝橘绕实蝇(*Rhagoletis mendax* Curran)和樱桃实蝇(*Rhagoletis cingulata*)的产卵量和卵孵化率与对照间均无显著差异^[23]。

本研究结果与之存在差异的原因可能是由于两者应用氯虫苯甲酰胺处理试虫的发育阶段不同所致。在本研究中是把含氯虫苯甲酰胺的食料饲喂甜菜夜蛾幼虫,Teixeira等^[23]的研究则是把含氯虫苯甲酰胺的食料饲喂果蝇成虫。由于氯虫苯甲酰胺的作用靶标为肌肉细胞的鱼尼丁受体,害虫中毒后,引起其肌肉麻痹。因此,亚致死浓度氯虫苯甲酰胺作用于果蝇成虫后,可能仅仅导致其产卵器功能障碍,延迟产卵,但对雌虫的产卵量与卵孵化率均无显著影响^[23]。然而,亚致死浓度氯虫苯甲酰胺作用于甜菜夜蛾幼虫后,引起其幼虫生理功能紊乱,导致其幼虫体重和蛹重显著减轻,其成虫产卵量和卵孵化率明显下降(表1)。同时,本研究结果也支持甜菜夜蛾的卵量与雌蛹重基本呈正相关的观点^[24]。

已有研究表明,有些药剂的亚致死剂量对害虫种群的增长有促进作用,表现为刺激害虫的生殖,导致害虫再猖獗。例如,亚致死剂量的吡虫啉和印楝素刺激桃蚜的生殖^[25],亚致死剂量的三唑磷和杀灭菊酯均导致褐飞虱繁殖力的增强^[26]。而本研究结果显示,甜菜夜蛾3龄幼虫经氯虫苯甲酰胺亚致死浓度 LC_{25} 和 LC_{50} 处理后,单雌产卵量和卵孵化率显著低于对照,即亚致死浓度的氯虫苯甲酰胺不会导致甜菜夜蛾种群的再猖獗。这对于田间使用低浓度氯虫苯甲酰胺来降低甜菜夜蛾对作物的危害在理论上是可行的,这也符合科学合理使用农药的要求,对于甜菜夜蛾的综合防治具有一定的指导意义。

酯酶和多功能氧化酶是昆虫体内两种重要的解毒酶,在昆虫代谢药物的过程中起着重要的作用。亚致死剂量杀虫剂可对害虫体内的解毒酶产生诱导或抑制作用,为害虫抗药性进化提供持续的选择压力^[27]。张元建等^[28]的研究表明, LC_{20} 溴氰菊酯和辛硫磷浸叶处理甜菜夜蛾3龄幼虫后,甜菜夜蛾的羧酸酯酶被不同程度的抑制。敏感种群小菜蛾经亚致死剂量多杀菌素处理后,其羧酸酯酶活性在不同时间段波动较大,开始时段比活力增加,随着处理时间的延长,比活力逐渐被抑制,细胞色素P450酶系的O-脱甲基酶活性具有明显的抑制作用^[29]。在本研究中,与对照相比,氯虫苯甲酰胺亚致死浓度 LC_{25} 和 LC_{50} 处理甜菜夜蛾3龄幼虫后,其酯酶和多功能氧化酶活性均有不同程度的下降,表明亚致死剂量氯虫苯甲酰胺对甜菜夜蛾幼虫体内的酯酶和多功能氧化酶活性有显著的抑制作用。Sial等^[30]的研究表明,室内选育获得的蔷薇斜条卷叶蛾(*Choristoneura rosaceana*)氯虫苯甲酰胺抗性品系的酯酶活性较对

照显著增强。因此,本研究结果说明在甜菜夜蛾尚未对氯虫苯甲酰胺产生抗性时,酯酶对氯虫苯甲酰胺的解毒代谢可能还未发挥作用。

杀虫剂的亚致死效应及其机制的研究是害虫可持续治理中一项重要的课题。目前关于杀虫剂对害虫亚致死效应的研究,主要集中于亚致死浓度杀虫剂对害虫生理、生长发育和繁殖的影响等方面,今后有必要进一步深入研究杀虫剂亚致死效应的生化和分子生物学机制,对于合理使用杀虫剂,减少其副作用及协调生防与化防的关系,将具有积极的意义。

参考文献:

- [1] 司升云,周利琳,望勇,等. 湖北省甜菜夜蛾田间种群抗药性监测[J]. 植物保护, 2009, 35(1): 114-117.
- [2] 王信远,王炳太,刘永杰,等. 甜菜夜蛾田间种群抗药性及其解毒代谢酶活性变化[J]. 山东科学, 2010, 23(2): 42-46.
- [3] Lahm G P, Stevenson T M, Selby T I, et al. Rynaxypyr: a new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective ryanodine receptor activator[J]. Bioorg Med Chem Lett, 2007, 17(22): 6274-6279.
- [4] Lahm G P, Cordova D, Barry J D. New and selective ryanodine receptor activators for insect control[J]. Bioorg Med Chem, 2009, 17(12): 4127-4133.
- [5] Lai T, Su J. Assessment of resistance risk in *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole[J]. Pest Manag Sci, 2011, (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/ps.2201 (in the press).
- [6] 李国平,封洪强,梁双双,等. 四种杀虫剂亚致死剂量对中黑盲蝽发育和繁殖的影响[J]. 昆虫学报, 2008, 51(12): 1260-1264.
- [7] Antonio G E, Sánchez D, William T, et al. Paradoxical effects of sublethal exposure to the naturally derived insecticide spinosad in the dengue vector mosquito, *Aedes aegypti* [J]. Pest Manag Sci, 2009, 65(3): 323-326.
- [8] 黄春霞,朱丽梅,倪珏萍,等. 甜菜夜蛾的饲养方法介绍[J]. 昆虫知识, 2002, 39(3): 292-231.
- [9] Han Z, Moores G, Devonshire A, et al. Association between biochemical markers and insecticide resistance in the cotton aphid *Aphis gossypii* [J]. Pestic Biochem Physiol, 1998, 62(3): 164-171.
- [10] Hansen L, Hodgson E. Biochemical characteristics of insect microsomes N- and O-demethylation[J]. Biochem Pharmacol, 1971, 20(7): 1569-1573.
- [11] Bradford M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Anal Biochem, 1976, 72(1/2): 248-254.
- [12] 郭莹,黄斌,赵景玮. 小菜蛾对毒死蜱的抗性与饲养温度关系的研究(I. 不同饲养温度下的小菜蛾对毒死蜱敏感性的变化)[J]. 武夷科学, 2004, 20: 111-114.
- [13] 彭梅,邓新平. 甜菜夜蛾不同龄期幼虫药剂敏感性及其酶活性差异[J]. 西南农业大学学报, 2005, 27(2): 470-471.
- [14] 黄金金,秦厚国,江金林. 取食不同食料对斜纹夜蛾后代抗药性的影响[J]. 植物保护, 2007, 33(4): 60-64.
- [15] 闫超,李保同,裴春梅,等. 不同龄期和寄主植物对茄二十八星瓢虫药剂敏感性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(4): 610-613.
- [16] Wang D, Gong P, Li M, et al. Sublethal effects of spinosad on survival, growth and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Pest Manag Sci, 2009, 65(2): 223-227.
- [17] Yin X H, Wu Q J, Li X F, et al. Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. Crop Prot, 2008, 27(10): 1385-1391.
- [18] Galvan T L, Koch R L, Hutchison W D. Effects of spinosad and indoxacarb on survival, development and reproduction of the multicolored Asian lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. Biol Contr, 2005, 34(1): 108-114.
- [19] 谷清义,陈文博,王利军,等. 阿维菌素和吡蚜酮亚致死剂量对土耳其斯坦叶螨实验种群生命表的影响[J]. 昆虫学报, 2010, 53(8): 876-883.
- [20] 许小龙,徐德进,徐广春,等. 氯虫苯甲酰胺对斜纹夜蛾的亚致死效应[J]. 江苏农业科学, 2010, 1: 139-140.
- [21] Daniels M, Bale J S, Newbury H J, et al. A sublethal dose of thiamethoxam causes a reduction in xylem feeding by the bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*), which is associated with dehydration and reduced performance [J]. J Insect Physiol, 2009, 55(8): 758-765.
- [22] Boina D R, Onagbola E O, Salyani M, et al. Antifeedant and sublethal effects of imidacloprid on Asian citrus psyllid, *Dialephoria citri* [J]. Pest Manag Sci, 2009, 65(8): 870-877.

(下转第 706 页)

- [3] 来瑞. 乐昌含笑人工林和天然林木材纤维形态特征比较[J]. 亚热带农业研究 2008, 4(2): 89-90.
- [4] 刘化桐. 乐昌含笑物候研究[J]. 福建林业科技 2007, 34(2): 112-114.
- [5] 吴鹏飞. 乐昌含笑人工林的土壤肥力和涵养水源功能研究[J]. 福建林业科技 2006, 33(2): 74-83.
- [6] 姜景民, 滕花景, 袁金玲, 等. 乐昌含笑种群遗传多样性的研究[J]. 林业科学研究 2005, 18(2): 109-113.
- [7] 胡德活, 韦如萍, 张照勋, 等. 乐昌含笑种源与家系种子育苗试验[J]. 广东林业科技 2006, 22(3): 1-7.
- [8] 李昌艳, 方小平. 乐昌含笑育苗试验研究[J]. 种子 2009, 28(4): 95-97.
- [9] 来端. 乐昌含笑种子育苗和扦插繁殖技术研究[J]. 林业科学研究 2006, 19(4): 441-445.
- [10] 胡德活, 韦如萍, 王润辉, 等. 2年生乐昌含笑种源生长研究[J]. 广东林业科技 2009, 25(1): 7-12.
- [11] 邹寿明, 晏姝, 王润辉, 等. 乐昌含笑家系试验初报[J]. 广东林业科技 2009, 25(2): 10-15.
- [12] 李晓储, 徐海兵, 万志洲, 等. 乐昌含笑引种生长潜力评价[J]. 林业实用技术 2008(6): 3-6.

(上接第695页)

- [23] Teixeira L A, Gut L J, Wise J C, et al. Lethal and sublethal effects of chlorantraniliprole on three species of *Rhagoletis fruit* flies (Diptera: Tephritidae) [J]. Pest Manag Sci 2009, 65(2): 137-143.
- [24] 王晓容, 田世尧, 陈东晓, 等. 甜菜夜蛾生殖能力与蛹重、饲料之间的关系[J]. 植物保护学报, 1998, 25(4): 341-344.
- [25] Cutler G C, Ramanaidu K, Astatkiec T, et al. Green peach aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae), reproduction during exposure to sublethal concentrations of imidacloprid and azadirachtin [J]. Pest Manag Sci 2009, 65(2): 205-209.
- [26] Bao H, Liu S, Gu J, et al. Sublethal effects of four insecticides on the reproduction and wing formation of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. Pest Manag Sci 2009, 65(2): 170-174.
- [27] Chatonp F, Ravanel P, Meyran J C, et al. Thetoxicological effects and bioaccumulation of fipronil in larvae of the mosquito *Aedes aegypti* in aqueous medium [J]. Pest Biochem Physiol 2001, 69(3): 183-188.
- [28] 张元建, 王真, 竹傲, 等. 溴氰菊酯和辛硫磷亚致死浓度对甜菜夜蛾酶活性的影响[J]. 天津农业科学 2009, 15(5): 37-40.
- [29] 尹显慧, 吴青君, 李学锋, 等. 多杀菌素亚致死浓度对小菜蛾解毒酶系活力的影响[J]. 农药学报 2008, 10(1): 28-34.
- [30] Sial A A, Brunner J F, Garczynski S F. Biochemical characterization of chlorantraniliprole and spinetoram resistance in laboratory-selected obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. Pest Biochem Physiol 2011, 99(3): 274-279.