十一种农药对小菜蛾的毒力及其天敌草间小黑蛛的安全性*

章金明** 吕要斌 林文彩 黄 芳 贝亚维 张蓬军 陈 诚

(浙江省植物有害生物防控重点实验室 省部共建国家重点实验室培育基地
浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所 杭州 310021)

摘 要 通过室内试验,评价了11种农药对3龄小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.)幼虫的毒性及其天敌草间小黑蛛的安全性。研究结果表明,苏云金杆菌、氟虫腈、溴虫腈、多杀菌素和丁醚脲对小菜蛾3龄幼虫的杀虫效果最好,致死率达100%;啶虫隆和巴丹效果次之,致死率分别为90.0%和87.5%。对于草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* (Sunderall)幼蛛,丁醚脲、苏云金杆菌、虫酰肼、啶虫隆的初始毒性和持续毒性均较低,接触药膜48 h后致死率都低于30%;而对于草间小黑蛛成蛛,除阿维菌素、高效氯氰菊酯和巴丹外,其余8种农药毒性较低,死亡率低于20%;综合11种农药对小菜蛾和蜘蛛的毒性,苏云金杆菌、丁醚脲、多杀菌素的选择毒性最好,优先推荐在蜘蛛等天敌多的季节使用。

关键词 农药,小菜蛾,毒性,草间小黑蛛,安全性

The toxicities of 11 kinds of insecticides to the diamondback moth, *Plutella xylostella* and its natural enemy *Erigonidium graminicolum*

ZHANG Jin-Ming** LV Yao-Bin LIN Wen-Cai
HUANG Fang BEI Ya-Wei ZHANG Peng-Jun CHEN Cheng

(State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310029, China)

Abstract The toxicities of 11 kinds of insecticides to the 3rd instar larvae of the diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (L.), and its natural enemy *Erigonidium graminicolum* (Sundervall), were assayed under laboratory conditions. The results demonstrate that Bt, fipronil, chlorfenapyr, spinosad and diafenthiuron could kill 100% of DBM larvae, followed by chlorfluazuron and cartap which killed 90.0% and 87.5%, respectively. Diafenthiuron, Bt, tebufenozide and chlorfluazuron both showed lower initial and persistent toxicities against *E. graminicolum* larvae; mortality was < 30% after being subjected to a toxic film of these pesticides for 48 hours. In contrast, the other 8 kinds of insecticides, except for avermectin, alpha-cypermethrin and cartap, caused < 20% mortality of *E. graminicolum* adults. Based on these results, Bt, diafenthiuron, spinosad are the best pesticides to control *P. xylostella*, especially when *E. graminicolum* is abundant.

Key words insecticide, *Plutella xylostella*, toxicity, *Erigonidium graminicolum*, security

小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae)是我国十字花科蔬菜上最重要的害虫之一。该虫具有生殖能力强,寄主范围广(Talekar and Shelton, 1993; 吕利华等,2003;陈科伟等,2006),以及极强的迁飞能力(Smith and Sears, 1982)等特性,对十字花科蔬菜的生产常造成严重危害。虽然小菜蛾的成灾涉及十字花科蔬菜品种(吕利华等,2003)、耕作制度、气候和本身

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803001)、科技部对欧盟科技合作项目专项经费(0904)、"十一五"国家科技支撑计划项目(2006BAD08A08)。

**通讯作者,E-mail:zhanginsect@163.com

收稿日期:2010-11-03,接受日期:2011-02-15

生物学特性等诸多因素，但是它对杀虫剂产生抗药性和农药频繁使用造成的田间天敌的缺失是极其重要的成灾因素之一（张广学，1999；林珠凤等，2007）。目前化学防治仍然是控制小菜蛾为害的有效应急手段，因此测定不同类型农药对田间小菜蛾的毒力及其天敌的安全性，对于制定科学用药策略、保护和利用天敌的控害能力，具有重要意义。为此，作者于 2009 年 11 月至 2010 年 5 月测定 11 种不同类型农药对小菜蛾的生物活性，并对浙江省蔬菜地主要天敌草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum*（Sundevall）的安全性进行了评价，该研究结果将为十字花科专食性害虫小菜蛾的有效防治，以及农田蜘蛛的保护利用提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验昆虫

供试小菜蛾于 2009 年采自浙江上虞的雨衣甘蓝地。小菜蛾在实验室内由甘蓝（*Brassica oleracea* var. *capitata*）饲养，饲养条件为：温度（25 ± 1）℃，相对湿度 60% ~70%，光照周期 L: D = 14 : 10。待幼虫发育到 3 龄中期后，用于试验。

草间小黑蛛采于上虞的甘蓝地，采虫时间 2010 年 5 月。成蛛在田间用离心管捕捉，单头饲养，带到实验室后第 2 天直接用于试验；初孵幼蛛采用田间收集卵块的方法，拿回室内先等其孵化，待其补充水分后次日用于试验。幼蛛和成蛛的室内饲养条件同小菜蛾。试验挑选行动活泼的蜘蛛，试验前均饥饿约 24 h。

1.2 供试药剂

高效氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin、氟虫腈 Fipronil、茚虫威 Indoxacarb、阿维菌素 Abamection、啶虫隆 Chlorfluazuron、丁醚脲 Diafenthiuron、虫酰肼 Tebufenozide、溴虫腈 Chlorfenapyr 统一由广东省农业科学院植物保护研究所购买质量可靠的原药配制成乳油，并分析检测获得其有效含量；巴丹 Cartap 为直接购买盐酸盐原药用于试验，同样经检测获得原药的有效含量；多杀菌素 Spinosad、苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis* 则分别使用生产上常用的制剂产品菜喜和农林丰。以上 6 大类 11 种杀虫剂的试验浓度参考这些药剂的田间推荐浓度设置，详见表 1。

表 1 供试农药及浓度

Table 1 Insecticides and concentrations used in the study

通用名 Common name	剂型 Pesticide formulation	有效含量 Active ingredient content	试验浓度 Concentration tested (mg a. i. /L)	生产单位 Manufacture
高效氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin	乳油，EC	5.16%	25.8	广东省农业科学院植物保护研究所配制
氟虫腈 Fipronil	乳油，EC	5.46%	27.3	同上
茚虫威 Indoxacarb	乳油，EC	5.51%	27.6	同上
阿维菌素 Abamection	乳油，EC	1.69%	8.5	同上
啶虫隆 Chlorfluazuron	乳油，EC	5.59%	28.0	同上
丁醚脲 Diafenthiuron	乳油，EC	21.84%	436.8	同上
虫酰肼 Tebufenozide	乳油，EC	10.64%	106.4	同上
溴虫腈 Chlorfenapyr	乳油，EC	10.26%	51.3	同上
巴丹 Cartap	原药，TC	97.12%	485.6	市购原药
多杀菌素 Spinosad	悬浮剂，SC	25 g/L*	12.5	美国陶氏益农公司
苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*	可湿性粉剂，WP	3%* (16 000 IU/mg)	60.0	福建浦城绿安生物农药有限公司

* 以产品包装上标注的含量作为制剂中多杀菌素的有效含量，苏云金杆菌的有效含量按 3% 计算；EC、TC、SC、WP 分别是 emulsifiable concentrate、technical material、aqueous suspension concentrate、wettable powder 的缩写。

* The content of spinosad labelled in product packaging is regarded as active ingredient content, and the active ingredient content of *Bacillus thuringiensis* is estimated at 3% of the preparation; EC, TC, SC and WP is the abbreviation of emulsifiable concentrate, technical material, aqueous suspension concentrate and wettable powder respectively.

1.3　试验方法

1.3.1　杀虫剂对小菜蛾幼虫的杀虫活性测定　采用叶片药膜法。用洁净的甘蓝叶片,剪成直径 6.5 cm 的圆片(避免主叶脉)。将叶片在药液中浸泡 10 s 后取出晾干(25℃,2 h),将晾干的叶片放在直径 6.5 cm 的塑料培养皿中,并接入 3 龄中期幼虫 10 头,覆盖双层吸水卷纸后盖上培养皿盖,正面朝上置于培养箱中(温度(25 ± 1)℃,相对湿度 RH 60% ~70%,光照周期 L∶D = 14∶10)。根据杀虫剂的杀虫特性不同,其调查结果时间不同。其中啶虫隆、虫酰肼和 Bt 制剂分别在 96 h 检查死亡率,其余 8 种药剂 48 h 后调查。以小毛笔轻触虫体,不能协调运动的虫体视为死亡。试验以清水处理的甘蓝叶片作为对照,每处理重复 4 次。

1.3.2　杀虫剂对草间小黑蛛的安全性评价　采用试管药膜法(郭世俭等,1998;2003)。供试药剂、浓度和稀释方法同 1.2,亦用清水稀释。将供试药液注满试管(内径 1.8 cm,高 7 cm),静置 10 s 后去掉药液,待自然晾干,形成药膜。引入 24 h 内初孵幼蛛或成蛛 1 头,试管内放置一小的湿棉球为蜘蛛提供水分,置于培养箱中(温度(25 ± 1)℃,光照周期 L∶D = 14∶10)饲养。分别于处理后 2、12、24、48 h 检查草间小黑蛛死亡情况,以蜘蛛不能爬行作为判别死亡的标准。以清水处理作对照。每组处理重复 20 ~35 次。

1.4　数据分析与处理

试验数据采用 EXCEL 办公软件及唐启义和冯明光(2007)研制的 DPS 数据处理系统软件进行统计,计算均值及标准误,均值差异显著性通过 Duncan 新复极差法进行多重分析比较。

2　结果与分析

2.1　11 种农药常用剂量对小菜蛾的室内毒性

采用室内叶片药膜法测定了 11 种农药田间常用剂量对上虞地区小菜蛾的毒性。试验结果表明,11 种农药中苏云金杆菌、氟虫腈、溴虫腈、多杀菌素、丁醚脲杀虫效果最好,药剂处理后小菜蛾幼虫死亡率均为 100%;其次是啶虫隆和巴丹,处理后死亡率分别为 90.0% 和 87.5%,但是二者的杀虫效果显著低于苏云金杆菌、氟虫腈、溴虫腈、多杀菌素、丁醚脲($P < 0.05$)。阿维菌素、茚虫威、虫酰肼对小菜蛾的杀虫效果一般,处理后死亡率分别为 72.50%、67.5% 和 55.0%,杀虫效果显著低于苏云金杆菌等前 7 个农药。本试验中高效氯氰菊酯对小菜蛾幼虫死亡率为 0,无杀虫效果,小菜蛾幼虫对其表现出极强的抗药性(表 2)。

表 2　不同类型农药对小菜蛾的室内毒性

Table 2　Toxicity of different types of pesticides on *Plutella xylostella*

处理药剂 Pesticides tested	试验浓度 Concentration tested (mg a.i. /L)	死亡率 Mortality ($x \pm SE$)(%)
苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*	60.0	100.0 ± 0.0 a
氟虫腈 Fipronil	27.3	100.0 ± 0.0 a
溴虫腈 Chlorfenapyr	51.3	100.0 ± 0.0 a
多杀菌素 Spinosad	12.5	100.0 ± 0.0 a
丁醚脲 Diafenthiuron	436.8	100.0 ± 0.0 a
啶虫隆 Chlorfluazuron	28.0	90.0 ± 11.6 b
巴丹 Cartap	485.6	87.5 ± 9.6 b
阿维菌素 Abamection	8.5	72.5 ± 17.1 c
茚虫威 Indoxacarb	27.6	67.5 ± 12.6 cd
虫酰肼 Tebufenozide	106.4	55.0 ± 5.8 d
高效氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin	25.8	0.0 ± 0.0 e
对照 Control	0	0.0 ± 0.0 e

注:同列内相同字母表示无显著差异($P < 0.05$)。下表同。

Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 level. The same below.

2.2 农药对天敌草间小黑蛛初孵幼蛛和成蛛的安全性研究

本试验同时评估了 11 种农药对草间小黑蛛初孵幼蛛和成蛛的毒性(表 3)。对于初孵幼蛛,随着药剂处理时间的延长,11 种农药导致的死亡率均逐渐上升。处理后 48 h,巴丹、溴虫腈对幼蛛表现为极高的毒性,死亡率达 100%;阿维菌素和高效氯氰菊酯的毒性次之,幼蛛死亡率为 87.1% ~88.6%,也表现为高毒性;氟虫腈、茚虫威、多杀菌素虽然初始毒性低(处理后 2 h 幼蛛死亡率分别为 10.0%、0 和 0),但是处理后 48 h 幼蛛死亡率位于 55.0% ~70.0% 之间,仍表现为较高的毒性;而丁醚脲、苏云金杆菌、虫酰肼和啶虫隆对草间小黑蛛幼蛛的毒性较低,48 h 幼蛛死亡率位于 22.7% ~28.0% 之间,显著低于其它 7 种农药($P<0.05$),且这 4 种农药的药后 2 h 的急性毒性很低,死亡率均为 0(表 3)。

表 3 不同类型农药对草间小黑蛛初孵幼蛛的毒性

Table 3 Toxicity of different types of pesticides on larvae of *Erigonidium graminicolum*

处理药剂 Pesticides tested	试验浓度 Concentration tested (mg a.i. /L)	累计死亡率 Mortality($x \pm SE$) (%)			
		药后 2 h 2 hours after treatment	药后 12 h 12 hours after treatment	药后 24 h 24 hours after treatment	药后 48 h 48 hours after treatment
巴丹 Cartap	485.6	90.9 ± 7.9 a	90.9 ± 7.9 a	90.9 ± 7.9 ab	100 ± 0.0 a
溴虫腈 Chlorfenapyr	51.3	0.0 ± 0.0 e	77.3 ± 8.9 b	95.5 ± 7.8 a	100 ± 0.0 a
阿维菌素 Abamection	8.5	20.0 ± 10.0 c	20.0 ± 10.0 cd	48.6 ± 2.5 d	88.6 ± 2.5 b
高效氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin	25.8	51.6 ± 2.7 b	67.7 ± 3.9 b	77.4 ± 4.5 bc	87.1 ± 5.0 b
氟虫腈 Fipronil	27.3	10.0 ± 8.8 d	35.0 ± 7.3 c	60.0 ± 5.2 cd	70.0 ± 2.8 c
茚虫威 Indoxacarb	27.6	0.0 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 f	5.0 ± 8.7 fg	60.0 ± 5.2 d
多杀菌素 Spinosad	12.5	0.0 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 f	5.0 ± 8.7 fg	55.0 ± 4.3 d
丁醚脲 Diafenthiuron	436.8	0.0 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 f	12.0 ± 0.8 ef	28.0 ± 5.1 e
苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*	60.0	0.0 ± 0.0 d	13.0 ± 0.9 d	17.4 ± 6.7 e	26.1 ± 1.9 e
虫酰肼 Tebufenozide	106.4	0.0 ± 0.0 d	4.8 ± 8.3 ef	4.8 ± 8.3 fg	23.8 ± 8.3 e
啶虫隆 Chlorfluazuron	28.0	0.0 ± 0.0 d	9.1 ± 8.0 de	13.6 ± 1.0 ef	22.7 ± 7.3 e
对照 Control	0	0.0 ± 0.0 d	0.0 ± 0.0 f	0.0 ± 0.0 g	0.0 ± 0.0 f

对于草间小黑蛛成蛛,11 种农药对其急性毒性均较低,仅巴丹、氟虫腈药后 2 h 有 7.7%、6.7% 的成蛛死亡(表 4)。而阿维菌素、高效氯氰菊酯处理后 2 h 和 12 h 成蛛无死亡或死亡率低,但 24 h 时死亡率分别达到 40.0% 和 30.0%,48 h 时则进一步上升到 50.0%,对成蛛毒性最大,显著高于试验的其它 9 种药剂($P<0.05$);毒性次之的是巴丹、丁醚脲、氟虫腈、多杀菌素,处理后 48 h 死亡率分别为 30.8%、23.3%、20.0% 和 13.3%;而苏云金杆菌、溴虫腈、虫酰肼的 48 h 死亡率仅为 6.7%,啶虫隆和茚虫威死亡率为 0,这些药剂毒性已经很低或该剂量下没有表现出毒性,对草间小黑蛛成蛛安全(表 4)。

3 讨论

据本项目组 2010 年春季上海、浙江两地的田间调查显示,草间小黑蛛是华东地区十字花科蔬菜地的主要蜘蛛种类(调查结果另文发表),由于该蜘蛛具有很强的捕食小菜蛾幼虫的能力(林文彩等,2006),因此评估农药对草间小黑蛛的安全性对于指导田间科学用药具有重要指导作用。

本试验选择了 6 大类 11 种农药,是目前防治十字花科蔬菜小菜蛾的主要品种(注:氟虫腈已于 2009 年 10 月起禁止在蔬菜作物上使用,农业部、工业和信息化部、环境保护部联发的第 1157 号公告)。对小菜蛾 3 龄幼虫的试验结果表明,苏云金杆菌、氟虫腈、溴虫腈、多杀菌素、丁醚脲对小菜蛾的杀虫效果最好,常用剂量室内死亡率达 100%。就防治小菜蛾而言,除去禁用的氟虫腈,苏云金杆菌、溴虫腈、多杀菌素、丁醚脲都可用于十字花科蔬菜地小菜蛾的防治。但是由于农田存在众多可利用的天敌,筛选对目标害虫高效、对天敌低毒的

农药种类也是天敌保护和利用的重要环节。本次农药对草间小黑蛛毒性测定结果显示,丁醚脲、苏云金杆菌、虫酰肼和啶虫隆 4 种药剂对草间小黑蛛幼蛛毒性低,药剂处理后 48 h 的死亡率低于 30%;而成蛛由于其抗逆性强,处理后 48 h 后死亡率低于 30% 的药剂增加到 7 种,分别是丁醚脲、多杀菌素、苏云金杆菌、溴虫腈、虫酰肼、啶虫隆和茚虫威(不包括氟虫腈)。

表 4　不同类型农药对草间小黑蛛成蛛的毒性

Table 4　Toxicity of different types of pesticides on adults of *Erigonidium graminicolum*

处理药剂 Pesticides tested	试验浓度 Concentration tested (mg a. i. /L)	累计死亡率 Mortality($x \pm SE$) (%)			
		药后 2 h 2 hours after treatment	药后 12 h 12 hours after treatment	药后 24 h 24 hours after treatment	药后 48 h 48 hours after treatment
阿维菌素 Abamection	8.5	0.0 ± 0.0 b	10.0 ± 0.0 a	40.0 ± 10.0 a	50.0 ± 20.0 a
高效氯氰菊酯 Alpha-cypermethrin	25.8	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	30.0 ± 10.0 ab	50.0 ± 10.0 a
巴丹 Cartap	485.6	7.7 ± 6.7 a	7.7 ± 6.7 a	7.7 ± 6.7 d	30.8 ± 4.4 ab
丁醚脲 Diafenthiuron	436.8	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	10.0 ± 0.0 cd	23.3 ± 5.8 b
氟虫腈 Fipronil	27.3	6.7 ± 5.8 a	10.0 ± 10.0 a	20.0 ± 10.0 bc	20.0 ± 10.0 b
多杀菌素 Spinosad	12.5	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 e	13.3 ± 5.8 bc
苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*	60.0	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 e	6.7 ± 5.8 cd
溴虫腈 Chlorfenapyr	51.3	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	6.7 ± 5.8 d	6.7 ± 5.8 cd
虫酰肼 Tebufenozide	106.4	0.0 ± 0.0b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 e	6.7 ± 5.8 cd
啶虫隆 Chlorfluazuron	28.0	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 d
茚虫威 Indoxacarb	27.6	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 d
对照 Control	0.0	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 b	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 d

此外,本研究中啶虫隆和茚虫威的试验有效浓度分别为 28.0、27.6 mg/L,两药剂对 3 龄小菜蛾幼虫的杀虫效果只有 90.0%、67.5%,但这 2 种药剂防治小菜蛾时的登记浓度为 25 ~ 50 mg/L(农业部农药检定所,1991)和 30 ~ 54 mg/L(任璐等,2009),实际应用时可通过提高田间使用浓度增加这些药剂的杀虫效果;同时啶虫隆、茚虫威具有抑制害虫取食的特性,这可进一步提高对农作物的保护。

因此综合这些农药对小菜蛾和草间小黑蛛的毒性,苏云金杆菌、丁醚脲、多杀菌素的选择毒性较好,优先推荐在蜘蛛等天敌多的季节用于防治小菜蛾;而啶虫隆、溴虫腈和茚虫威由于作用机制独特,可在小菜蛾发生高峰期间作为轮用药剂使用以延缓小菜蛾的抗性发展。

参考文献(References)

陈科伟,黄寿山,何余容,2006. 生态恢复状态下天敌对小菜蛾的自然控制作用. 应用生态学报,17(10):1933—1936.

郭世俭,林文彩,汪信庚,刘树生,宋会鸣,1998. 杀虫剂对菜蛾啮小蜂的毒性. 中国生物防治,14(3):97—100.

郭世俭,林文彩,章金明,徐晓国,刘树生,2003. 杀虫混剂对小菜蛾及菜蛾啮小蜂的选择毒性和持续毒性. 浙江农业学报,15(4):231—236.

林文彩,章金明,吕要斌,贝亚维,郭世俭,韩宝瑜,2006. 草间小黑蛛雌成蛛对小菜蛾和菜青虫幼虫的捕食效应. 浙江农业学报,18(4):216—220.

林珠凤,罗礼智,潘贤丽,2007. 杀虫剂使用失当是甜菜夜蛾大发生的重要原因. 昆虫知识,44(3):327—332.

吕利华,何余容,庞雄飞,2003. 四种十字花科蔬菜上小菜蛾自然种群连续世代生命表. 生态学报,23(12):2624—2630.

农业部农药检定所主编,1991. 新编农药手册. 北京:农业出版社. 185—188.

任璐,李永平,梁桂梅,2009. 氯虫苯甲酰胺和茚虫威应用技术手册. 北京:中国农业科学技术出版社. 15—25.

Smith DB, Sears MK, 1982. Evidence for dispersal of diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) into southern Ontario. *Proc. Entomol. Soc.*, 113: 21—28.

Talekar NS, Shelton AM, 1993. Biology, ecology and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.*, 38: 275—301.

唐启义,冯明光,2007. DPS 数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘. 北京:科学出版社. 85—142.

张广学,1999. 谈农林害虫的自然控制作用. 昆虫学报,42(增刊):1—5.