

21种化学药剂对新疆棉田主要害虫毒力 及对多异瓢虫的安全性

黄庆超^{1,2} 戴长春^{1,3} 张建萍² 陈 静^{2*} 陆宴辉^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193; 2. 石河子大学农学院, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用重点实验室, 石河子 832003; 3. 东北农业大学农学院, 哈尔滨 150030)

摘要:为明确现阶段棉田常用化学杀虫剂对新疆维吾尔自治区(简称新疆)棉花主要害虫的毒力以及对新疆本地优势天敌多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 的安全性,于室内分别测定当前21种棉田常用化学药剂对新疆棉田3种主要害虫棉蚜 *Aphis gossypii*、截形叶螨 *Etranychus truncatus* 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 以及优势天敌多异瓢虫的毒力,比较不同药剂对各种害虫和天敌的相对毒力指数以及益害毒性比。结果表明,药剂处理24 h后,10种蚜虫防治药剂对棉蚜成蚜的半致死浓度 LC_{50} 由高到低依次为氟啶虫胺胍、啉虫脒、吡虫啉、环氧虫啉、噻虫嗪、丁硫克百威、烯啶虫胺、呋虫胺、螺虫乙酯和吡蚜酮,其中益害毒性比较高的药剂主要有氟啶虫胺胍和螺虫乙酯;5种叶螨防治药剂对截形叶螨成螨的 LC_{50} 从高到低依次为阿维菌素、哒螨灵、四螨嗪、噻螨酮和炔螨特,其中益害毒性比较高的药剂主要有四螨嗪、噻螨酮和阿维菌素;6种鳞翅目害虫幼虫防治药剂对棉铃虫3龄幼虫的 LC_{50} 由高到低顺次为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(简称甲维盐)、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、灭多威、毒死蜱和高效氯氟菊酯,其中益害毒性比较高的药剂主要有甲维盐和氯虫苯甲酰胺。综合上述2个方面结果,氟啶虫胺胍、阿维菌素、甲维盐和氯虫苯甲酰胺不仅对棉花害虫毒力效果强,而且对有益天敌安全性高。

关键词: 化学药剂; 棉花害虫; 毒力; 安全性; 绿色防控; 棉蚜; 截形叶螨; 棉铃虫; 多异瓢虫

Toxicities of 21 pesticides against major cotton insect pests and their safety to variegated ladybird *Hippodamia variegata* in Xinjiang

Huang Qingchao^{1,2} Dai Changchun^{1,3} Zhang Jianping² Chen Jing^{2*} Lu Yanhui^{1*}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory for Oasis Agricultural Pest Management and Plant Resource Utilization at Universities Level of Xinjiang Uygur Autonomous Region, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 3. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang Province, China)

Abstract: In order to clarify the indoor toxicities of chemical insecticides commonly used in cotton fields against the main pests of cotton and the dominant natural enemy, *Hippodamia variegata*, in Xinjiang cotton fields, 21 pesticides were tested against three major cotton pests in Xinjiang (adults of *Aphis gossypii*, adults of *Etranychus truncatus*, 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera*) and the 3rd instar larvae and adults of *H. variegata*. The relative toxicity indexes and ratios of pesticides were compared among different pests and pest-natural enemy combinations. The results showed that the toxicities (LC_{50}) of ten pesticides against the cotton aphid from high to low were sulfoxaflo, acetamiprid, imida-

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201900), 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-15-19)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: Chj_agr@shzu.edu.cn, luyanhui@caas.cn

收稿日期: 2021-07-18

clopid, cycloxadprid, thiamethoxam, carbosulfan, nitenpyram, dinotefuran, spirotetramat, and pymetrozine after 24 h. Among them, sulfoxaflor and spirotetramat had higher toxicity ratios. The toxicities (LC_{50}) of five pesticides against *E. truncatus* from high to low were abamectin, pyridaben, clofentezine, hexythiazox, propargite. The pesticides with higher toxicity ratios were clofentezine, hexythiazox and abamectin. The LC_{50} values of six pesticides against *H. armigera* from high to low were emamectin benzoate, chlorantraniliprole, indoxacarb, methomyl, chlorpyrifos, and beta-cypermethrin. Emamectin benzoate and chlorantraniliprole had higher toxicity ratios. In conclusion, this study revealed the higher toxicity of sulfoxaflor, abamectin, emamectin benzoate and chlorantraniliprole, and their higher safety to beneficial natural enemies.

Key words: chemical pesticides; cotton pests; toxicity; safety; green prevention and management; *Aphis gossypii*; *Etranychus truncatus*; *Helicoverpa armigera*; *Hippodamia variegata*

虫害是棉花安全生产上的一类重大致灾因子,天敌在害虫种群自然控制中发挥着重要作用,而棉花害虫的人为控制主要依靠使用化学药剂(Wu & Guo, 2005; 陆宴辉等, 2020)。使用选择性强、安全性高的药剂是促进害虫化学防治与天敌保护利用协同作用的重要措施,在国内外棉花害虫综合防治中受到广泛关注和高度重视(Naranjo & Ellsworth, 2009; Ragsdale et al., 2011; Biondi et al., 2018)。

棉花害虫对化学药剂的抗性比较普遍(Wu & Guo, 2005; 陆宴辉等, 2020)。其中棉蚜 *Aphis gossypii* 因其发生及为害特点,长期以来生产上主要依赖化学防治(Wang et al., 2001),导致棉蚜成为全世界抗药性最严重的农业害虫之一(Chen et al., 2013)。国内外大部分棉区的棉蚜对有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类和吡虫啉等新烟碱类药剂均产生了较高的抗性(Zhang et al., 2015a; Cui et al., 2016; 崔丽等, 2016),但不同棉区化学药剂使用情况不尽相同,因此棉蚜的抗药性也存在一定的地域差异(Wang et al., 2007; Koo et al., 2014)。转Bt(苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis*)基因棉花(简称Bt棉花)的大面积种植较好地控制了棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 的发生及为害(陆宴辉, 2012),但Bt棉花生长中后期抗虫效果有所下降,部分年份和地区棉田棉铃虫仍需进行化学防治(赵建周等, 2000; 张永军等, 2001)。近年来,随着种植业结构调整,特别是Bt棉花种植规模的快速压缩,华北地区棉铃虫在棉花以外的寄主作物上发生数量明显增加,为害十分严重(陆宴辉等, 2018)。监测结果表明,棉铃虫对拟除虫菊酯类药剂达到高水平抗性,对辛硫磷、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(简称甲维盐)、氯虫苯甲酰胺和茚虫威抗性呈上升趋势(Yang et al., 2013; 张帅等, 2016; 全国农业技术推广服务中心,

2020),并且不同地理种群对同种药剂的敏感性也存在较大差异(张丹丹等, 2018; 王冬梅等, 2020)。明确害虫对药剂敏感程度的变化情况以及抗药性的发展趋势,是化学药剂科学合理使用的必要前提(陆宴辉等, 2017)。长期以来,国内外学者对防治棉花害虫的高效杀虫剂进行了系列筛选工作(Wu & Guo, 2005; Naveed et al., 2008; 张丹丹等, 2018)。

棉田生态系统中滋养着大量天敌资源,这些天敌对蚜虫等重大棉花害虫常具有较好的控制作用(Zhang et al., 2000; 2004; Lu et al., 2012),在棉花害虫综合治理中发挥着重要功能。多异瓢虫 *Hippodamia variegata* 是新疆维吾尔自治区(简称新疆)棉田重要的优势捕食性天敌,对多种害虫具有较好的生态控制作用(王伟等, 2008; 2011)。保护利用天敌及提高天敌生物控害作用不仅可以减少化学药剂的使用频次和投入总量,从而延缓害虫的抗药性演化,而且有助于保持农田生态系统的稳定。但一些化学药剂的选择性与安全性较差,对天敌及其生物控害功能有明显的负面作用(He et al., 2012; Rahmani & Bandani, 2013; Dai et al., 2020)。这些化学药剂的长期使用不仅杀死了大量天敌,而且还会诱导害虫对其产生高水平抗性,最终导致害虫猖獗,棉蚜伏蚜再猖獗问题就是其中的典型案例,对棉花产量造成的损失巨大(高希武和郑炳宗, 1990; 陆宴辉和梁革梅, 2016; 吴孔明, 2020)。因此,在高效化学药剂筛选中,应重点关注其对天敌的安全性与选择性。

随着昆虫对化学药剂抗性水平等因素的频繁波动,化学药剂对靶标害虫的毒力效果、对天敌的安全性与选择性也在不断变化,对其进行追踪评价,对于生产上有效指导化学药剂的科学使用、协调天敌保护利用和害虫化学防治具有重要意义。近10年,随着棉花主产区向新疆的集中转移,我国棉花害虫发

生为害程度出现了明显变化(陆宴辉等,2020)。本研究选择棉花生产中常用的21种化学药剂对新疆棉区3种主要害虫棉蚜、截形叶螨 *Etranychus trunctatus* 和棉铃虫以及优势天敌多异瓢虫进行毒力测定,比较不同药剂对3种害虫的相对毒力指数及对多异瓢虫的益害毒性比,筛选出对靶标害虫毒力高、对有益天敌安全的化学药剂,以期为现阶段以新疆棉区为主的全国棉花害虫综合治理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物和昆虫:供试棉花品种为陆地棉中棉所49,由中国农业科学院棉花研究所选育并提供。供试棉蚜、多异瓢虫于2019年采自中国农业科学院植物保护研究所库尔勒试验基地,截形叶螨和棉铃虫同年采自中国农业科学院植物保护研究所廊坊试验基地,后续4种昆虫均在廊坊试验基地进行室内继代饲养。棉蚜于温度(26±1)℃、相对湿度(50±10)%、光周期16 L:8 D的养虫室内用5叶期棉花苗饲养。截形叶螨于温度(28±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D的养虫室内用红芸豆苗继代饲养;红芸豆品种英国红,种子市场购买,出苗后8~10 d的幼苗用于饲喂。棉铃虫于温度(26±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期14 L:10 D的养虫室中用人工饲料饲养,人工饲料及饲养技术参照梁革梅等(1999)。多异瓢虫于温度为(24±1)℃、相对湿度(50±10)%、光周期16 L:8 D的养虫室内用豌豆苗上饲养的桃蚜 *Myzus persicae* 为食;豌豆品种为定豌1号,种子市场购买,出苗后1~2 d的幼苗用于饲喂。各种试虫室内饲养3~4代后用于毒力测定试验。

药剂和试剂:化学药剂名称及厂家如表1,均由中国农业科学院植物保护研究所崔丽博士惠赠。吐温80和琼脂,北京酷来搏科技有限公司;二甲基甲酰胺(dimethylformamide, DMF),国药集团化学试剂有限公司。

仪器:喷雾塔,鹤壁佳多科工贸有限责任公司;RXZ-500D型人工气候箱,宁波江南仪器厂;TS-45AZ型体视镜,老上光仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 21种药剂对害虫的毒力测定

用DMF分别溶解每种药剂原药,制备成1%母液。试验时用0.1%吐温80水溶液稀释母液,采用逐级稀释法由高到低依次配置每种药剂的不同浓度梯度(表1),以0.1%吐温80水溶液为对照。

10种药剂对棉蚜的毒力测定:将5‰琼脂倒入上盖直径7 cm、下底直径5.8 cm、高3.7 cm的塑料杯中至1/2刻度,待琼脂冷却后备用。选取初产棉蚜若蚜移殖到棉花苗上,饲养6 d后将定殖棉蚜的棉花叶片剪成直径6.3 cm圆盘铺在琼脂上,使棉花叶片刚好覆盖琼脂,每个叶片保留30头个体大小一致的无翅成蚜,用毛笔移除多余个体后放入喷雾塔内喷雾处理,喷雾压力20 kPa,每种化学药剂的每种浓度加药量10 mL。待雾滴沉降30 s后取出塑料杯,盖上杯盖,杯盖上打直径为5 cm的孔并粘有孔径为0.150 mm的纱网以防止试虫逃逸,放入温度(26±1)℃、相对湿度(70±5)%、光周期16 L:8 D的人工气候箱内,24 h后于体视镜下观察棉蚜死亡情况并记录死亡数量,以毛笔轻触虫体不能行走者视为死亡。每个药剂浓度及对照各设3次重复,每个重复测试30头棉蚜成蚜。使用SPSS 26.0软件Probit分析计算半致死浓度 LC_{50} ;用相对毒力指数比较不同药剂之间的毒力差异,设 LC_{50} 最大的药剂相对毒力指数为1.00,其他药剂的相对毒力指数等于最大的 LC_{50} 与其 LC_{50} 的比值(王志华等,2019)。

5种药剂对截形叶螨的毒力测定:将截形叶螨初孵幼螨移殖到5叶期棉花苗上,饲养12 d后选成螨用于试验,每个药剂浓度及对照设3次重复,每个重复测试30头成螨。试验方法、 LC_{50} 和相对毒力指数的计算同药剂对棉蚜的毒力测定。

6种药剂对棉铃虫的毒力测定:将新鲜干净未接触过任何药剂的棉花叶片剪成直径6.3 cm圆盘铺于塑料杯内的琼脂上,塑料杯上盖直径7 cm,下底直径5.8 cm,高3.7 cm。选择个体大小一致、健康的棉铃虫3龄幼虫接入塑料杯中,每杯接入1头,每个药剂浓度及对照设3次重复,每个重复测定20头幼虫。试验方法、 LC_{50} 和相对毒力指数的计算同药剂对棉蚜的毒力测定。

1.2.2 21种药剂对多异瓢虫幼虫和成虫的安全性

选取多异瓢虫3龄幼虫和3日龄未交配成虫用于试验。将新鲜干净未接触过任何药剂的棉花叶片剪成直径6.3 cm圆盘铺于塑料杯内的琼脂上,塑料杯上盖直径7 cm,下底直径5.8 cm,高3.7 cm。以小毛笔挑取足量棉蚜成蚜接到叶片上,其中饲养多异瓢虫3龄幼虫的杯内接入100~150头棉蚜成蚜,饲养多异瓢虫成虫的杯内接入200~250头棉蚜成蚜,再接入1头饥饿4 h的多异瓢虫幼虫或者成虫。将塑料杯放入喷雾塔内喷雾处理,药剂处理、后续试验方法、 LC_{50} 及相对毒力指数的计算同药剂对棉蚜的

毒力测定。每个药剂浓度及对照设3次重复,每个重复测试20头幼虫或成虫,其中雌雄成虫各10头。采用益害毒性比评价各种药剂对多异瓢虫的安全程度,药剂对多异瓢虫的益害毒性比=药剂对多异瓢虫的 LC_{50} /药剂对害虫的 LC_{50} (王小艺和沈佐锐,2002)。

表1 供试药剂及浓度

Table 1 Tested pesticides and concentrations

靶标害虫 Target pest	药剂 Pesticide	纯度 Purity/ %	生产厂家 Manufacturer	浓度梯度 Concentration gradient/(mg/L)		
				靶标害虫 Target pest	多异瓢虫幼虫 Larvae of <i>Hippodamia variegata</i>	多异瓢虫成虫 Adults of <i>Hippodamia variegata</i>
棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	吡虫啉 Imidacloprid	95	江苏绿叶农化有限公司 Jiangsu Lüye Agrochemicals Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
	啉虫脒 Acetamiprid	97	江苏威耳化工有限公司 Jiangsu Weier Chemical Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1
	丁硫克百威 Carbosulfan	90	江苏常隆农化有限公司 Jiangsu Changlong Agrochemical Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 10, 5, 1
	噻虫嗪 Thiamethoxam	98	连云港埃森化学有限公司 Lianyungang Essen Chemical Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
	吡蚜酮 Pymetrozine	95	江苏省农药研究所有限公司 Jiangsu Pesticide Research Institute Co., Ltd.	200, 100, 50, 20, 5	400, 200, 100, 50, 10	400, 200, 100, 50, 10
	呋虫胺 Dinotefuran	98	山东海利尔化工有限公司 Shandong Hailier Chemical Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
	烯啶虫胺 Nitenpyram	97	连云港立本作物科技有限公司 Lianyungang Liben Crop Technology Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
	氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	95	美国陶氏益农公司 Dow Agrochemical Co.	20, 10, 5, 1, 0.5	16, 8, 4, 2, 1 0.5	20, 10, 5, 1, 0.5
	螺虫乙酯 Spirotetramat	96	德国拜耳股份公司 Bayer Crop Joint-stock Co.	400, 200, 100, 50, 5	400, 200, 100, 50, 10	600, 400, 200, 50, 10
	环氧虫啉 Cycloxaprid	97	辽宁众辉生物科技有限公司 Liaoning Zhonghui Biological Technology Co., Ltd.	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
截形叶螨 <i>Etranychus truncatus</i>	阿维菌素 Abamectin	85	瑞士先正达作物保护有限公司 Syngenta Crop Protection Co., Ltd.	2, 1, 0.5, 0.1, 0.05	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
	炔螨特 Propargite	90	浙江禾田化工有限公司 Zhejiang Hetian Chemical Co., Ltd.	600, 400, 200, 100, 50	800, 600, 400, 200, 100	800, 600, 400, 200, 100
	哒螨灵 Pyridaben	95	连云港立本作物科技有限公司 Lianyungang Liben Crop Technology Co., Ltd.	40, 20, 10, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1
	噻螨酮 Hexythiazox	97	江苏禾本生化有限公司 Jiangsu Heben Biochemical Co., Ltd.	200, 50, 20, 5, 1	800, 600, 400, 200, 50	800, 600, 400, 200, 50
	四螨嗪 Clofentezine	96	江苏省南通宝叶化工有限公司 Jiangsu Nantong Baoye Chemical Co., Ltd.	200, 50, 20, 5, 1	600, 400, 200, 100, 50	800, 600, 400, 200, 50
	氯虫苯甲酰胺 Chlorantranilip- role	95	上海杜邦农化有限公司 Shanghai Dupont Agrochemical Co., Ltd.	100, 20, 10, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1	400, 200, 100, 50, 10
	茚虫威 Indoxacarb	94	美国富美实公司 FMC Corporation	100, 50, 20, 10, 1	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1
	甲维盐 Emamectin benzoate	90	江苏丰源生物工程有限公司 Jiangsu Fengyuan Biological Engineering Co., Ltd.	10, 5, 2, 1, 0.2	100, 50, 10, 5, 1	100, 50, 10, 5, 1
棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i>	高效氯氟菊酯 β -cypermethrin	95	江苏常隆农化有限公司 Jiangsu Changlong Agrochemical Co., Ltd.	3 000, 1 000, 200, 100, 20	3 000, 1 000, 200, 100, 20	3 000, 1 000, 200, 100, 20
	灭多威 Methomyl	98	美国杜邦公司 DuPont Co.	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1
	毒死蜱 Chlorpyrifos	97	浙江新农化工股份有限公司 Zhejiang Xinnong Chemical Co., Ltd.	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1	200, 50, 20, 5, 1

2 结果与分析

2.1 21种药剂对3种棉花害虫的毒力

2.1.1 10种药剂对棉蚜成蚜的毒力

10种药剂对棉蚜成蚜的 LC_{50} 由高到低依次为氟啶虫胺胍、啶虫脒、吡虫啉、环氧虫啉、噻虫嗪、丁硫克百威、烯啶虫胺、呋虫胺、螺虫乙酯和吡蚜酮。氟啶虫胺胍对棉蚜成蚜的毒力最高, LC_{50} 为1.72 mg/L;吡蚜酮对棉蚜成蚜的毒力最低, LC_{50} 为60.29 mg/L;啶虫脒、吡虫啉、环氧虫啉、噻虫嗪、丁硫克百威和烯

啶虫胺对棉蚜成蚜的毒力相差不大, LC_{50} 介于8.37~11.72 mg/L之间;呋虫胺和螺虫乙酯对棉蚜成蚜的毒力相对较低, LC_{50} 分别为19.51 mg/L和26.31 mg/L(表2)。氟啶虫胺胍对棉蚜成蚜的相对毒力指数最高,为35.11,分别是啶虫脒、吡虫啉、环氧虫啉、噻虫嗪、丁硫克百威、烯啶虫胺、呋虫胺、螺虫乙酯和吡蚜酮对棉蚜成蚜的相对毒力指数的4.88倍、5.40倍、5.96倍、5.97倍、6.55倍、6.82倍、11.36倍、15.33倍和35.11倍(表2)。

表2 10种药剂对棉蚜成蚜的毒力

Table 2 Toxicities of ten pesticides against adults of *Aphis gossypii*

药剂 Pesticide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	χ^2	LC_{50} (95% CL)/ (mg/L)	相对毒力指数 Index of relative toxicity
氟啶虫胺胍 Sulfoxaflor	$y=0.98x-0.23$	10.11	1.72 (1.20-2.32)	35.11
啶虫脒 Acetamiprid	$y=1.07x-0.99$	13.31	8.37(6.12-11.17)	7.20
吡虫啉 Imidacloprid	$y=1.43x-1.38$	11.23	9.27(7.37-11.61)	6.50
环氧虫啉 Cycloxyaprid	$y=1.19x-1.21$	1.42	10.24(7.82-13.27)	5.89
噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=1.37x-1.38$	14.79	10.26(8.12-12.92)	5.88
丁硫克百威 Carbosulfan	$y=1.61x-1.69$	15.44	11.24(7.27-12.50)	5.36
烯啶虫胺 Nitenpyram	$y=1.11x-1.18$	6.43	11.72(8.77-15.63)	5.15
呋虫胺 Dinotefuran	$y=0.91x-1.17$	8.25	19.51(14.21-27.48)	3.09
螺虫乙酯 Spirotetramat	$y=0.96x-1.37$	21.82	26.31(13.47-41.86)	2.29
吡蚜酮 Pymetrozine	$y=1.64x-2.93$	9.31	60.29(50.21-72.70)	1.00

x: 药剂剂量的对数值; y: 死亡率转换的概率值。x: Log of a drug dose; y: mortality rate is converted into the probability value.

2.1.2 5种药剂对截形叶螨成螨的毒力

5种药剂对截形叶螨成螨的 LC_{50} 由高到低依次为阿维菌素、哒螨灵、四螨嗪、噻螨酮和炔螨特。阿维菌素对截形叶螨成螨的毒力最强, LC_{50} 为0.42 mg/L;哒螨灵次之, LC_{50} 为9.93 mg/L;炔螨特对截形叶螨成螨的毒力最低, LC_{50} 为128.41 mg/L;四螨嗪和噻

螨酮的对截形叶螨成螨的毒力相差不大, LC_{50} 分别为27.56 mg/L和33.72 mg/L(表3)。阿维菌素对截形叶螨成螨的相对毒力指数最高,为310.93,分别是哒螨灵、四螨嗪、噻螨酮和炔螨特对截形叶螨成螨的相对毒力指数的24.03倍、66.72倍、81.61倍和310.93倍(表3)。

表3 5种药剂对截形叶螨成螨的毒力

Table 3 Toxicities of five pesticides against adults of *Etranychus truncatus*

药剂 Pesticide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	χ^2	LC_{50} (95% CL)/ (mg/L)	相对毒力指数 Index of relative toxicity
阿维菌素 Abamectin	$y=1.29x+0.49$	14.01	0.42(0.28-0.64)	310.93
哒螨灵 Pyridaben	$y=1.46x-1.45$	13.83	9.93(6.87-14.46)	12.94
四螨嗪 Clofentezine	$y=0.78x-1.12$	6.27	27.56(14.44-59.37)	4.66
噻螨酮 Hexythiazox	$y=0.74x-1.13$	13.64	33.72(17.23-80.36)	3.81
炔螨特 Propargite	$y=1.23x-2.59$	2.69	128.41(73.19-190.90)	1.00

x: 药剂剂量的对数值; y: 死亡率转换的概率值。x: Log of a drug dose; y: mortality rate is converted into the probability value.

2.1.3 6种药剂对棉铃虫3龄幼虫的毒力

6种药剂对棉铃虫3龄幼虫的 LC_{50} 由高到低依次为甲维盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、灭多威、毒死蜱

和高效氯氰菊酯。甲维盐对棉铃虫3龄幼虫的毒力最高, LC_{50} 为1.60 mg/L;高效氯氰菊酯对棉铃虫3龄幼虫的毒力最低, LC_{50} 为111.03 mg/L;氯虫苯甲酰

胺、茚虫威和灭多威对棉铃虫3龄幼虫的毒力相差不大,LC₅₀介于10.33~12.06 mg/L之间;毒死蜱对棉铃虫3龄幼虫的毒力较低,LC₅₀为17.39 mg/L(表4)。甲维盐对棉铃虫3龄幼虫的相对毒力指数最高,为69.39,分别是氯虫苯甲酰胺、茚虫威、灭多威、毒死蜱和高效氯氰菊酯对棉铃虫3龄幼虫相对毒力指数的6.46倍、6.88倍、7.53倍、10.86倍和69.39倍(表4)。

表4 6种药剂对棉铃虫3龄幼虫的毒力
Table 4 Toxicities of six pesticides against the 3rd instar larvae of *Helicoverpa armigera*

药剂 Pesticide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	χ^2	LC ₅₀ (95% CL)/ (mg/L)	相对毒力指数 Index of relative toxicity
甲维盐 Emamectin benzoate	$y=1.26x-0.26$	6.96	1.60(1.18-2.13)	69.39
氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	$y=1.32x-1.34$	13.59	10.33(7.77-13.78)	10.74
茚虫威 Indoxacarb	$y=1.48x-1.55$	20.08	11.00(7.24-15.77)	10.09
灭多威 Methomyl	$y=1.36x-1.47$	6.47	12.06(8.89-16.14)	9.21
毒死蜱 Chlorpyrifos	$y=1.30x-1.61$	8.24	17.39(12.81-23.52)	6.39
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	$y=1.03x-2.11$	9.06	111.03(73.34-159.09)	1.00

x: 药剂剂量的对数值; y: 死亡率转换的概率值。x: Log of a drug dose; y: mortality rate is converted into the probability value.

2.2 21种药剂对多异瓢虫的毒性

2.2.1 21种药剂对多异瓢虫幼虫的毒性

21种棉田常用药剂均对多异瓢虫幼虫有一定的毒力。在防治棉蚜的10种药剂中,吡蚜酮对多异瓢虫幼虫的毒力最低,LC₅₀为72.27 mg/L;其次为螺虫乙酯;氟啶虫胺胍对多异瓢虫幼虫的毒力最高,LC₅₀为4.07 mg/L(表5)。在防治截形叶螨的5种药剂中,炔螨特对多异瓢虫幼虫的毒力最低,LC₅₀为323.10 mg/L;其次为四螨嗪;阿维菌素对多异瓢虫幼虫的毒力最高,LC₅₀为2.47 mg/L(表5)。在防治棉铃虫的6种药剂中,高效氯氰菊酯对多异瓢虫幼虫的毒力最低,LC₅₀为109.61 mg/L;其次为氯虫苯甲酰胺;毒死蜱对多异瓢虫幼虫的毒力最高,LC₅₀为10.56 mg/L(表5)。从相对毒力指数可以看出,在防治棉蚜的10种药剂中,吡蚜酮对多异瓢虫幼虫的相对毒力指数最低,为4.47,氟啶虫胺胍对多异瓢虫幼虫的相对毒力指数最高,为79.39;在防治截形叶螨的5种药剂中,炔螨特对多异瓢虫幼虫的相对毒力指数最低,为1.00,阿维菌素对多异瓢虫幼虫的相对毒力指数最高,为130.81;在防治棉铃虫的6种药剂中,高效氯氰菊酯对多异瓢虫幼虫的相对毒力指数最低,为2.95,毒死蜱对多异瓢虫幼虫的相对毒力指数最高,为30.60(表5)。

2.2.2 21种药剂对多异瓢虫成虫的毒性

21种药剂均对多异瓢虫成虫具有不同程度的毒杀作用。在防治棉蚜的10种药剂中,螺虫乙酯对多异瓢虫成虫的毒力最低,LC₅₀为185.88 mg/L;氟啶虫胺胍对多异瓢虫成虫的毒力最高,LC₅₀为4.45 mg/L

(表6)。在防治截形叶螨的5种药剂中,四螨嗪对多异瓢虫成虫的毒力最低,LC₅₀为381.39 mg/L;阿维菌素对多异瓢虫成虫的毒力最高,LC₅₀为2.81 mg/L(表6)。在防治棉铃虫的6种药剂中,高效氯氰菊酯对多异瓢虫成虫的毒力最低,LC₅₀为164.47 mg/L;茚虫威对多异瓢虫成虫的毒力最高,LC₅₀为13.35 mg/L(表6)。从相对毒力指数可以看出,在防治棉蚜的10种药剂中,螺虫乙酯对多异瓢虫成虫的相对毒力指数最低,为2.05,氟啶虫胺胍对多异瓢虫成虫的相对毒力指数最高,为85.71;在防治截形叶螨的5种药剂中,四螨嗪对多异瓢虫成虫的相对毒力指数最低,为1.00,阿维菌素对多异瓢虫成虫的相对毒力指数最高,为135.73;在防治棉铃虫的6种药剂中,高效氯氰菊酯对多异瓢虫成虫的相对毒力指数最低,为2.32,茚虫威对多异瓢虫成虫的相对毒力指数最高,为28.57(表6)。

2.3 21种药剂对多异瓢虫3龄幼虫的相对安全性

在防治棉蚜的10种药剂中,对多异瓢虫3龄幼虫安全性最高的药剂为氟啶虫胺胍,益害毒性比为2.37;安全性最低的药剂为呋虫胺,益害毒性比为0.59;其他药剂益害毒性比从高到低依次为螺虫乙酯、吡虫啉、噻虫嗪、吡蚜酮、啶虫脒、环氧虫啉、烯啶虫胺和丁硫克百威(图1-A)。在防治棉蚜的10种药剂中,对多异瓢虫成虫安全性最高的药剂为螺虫乙酯,益害毒性比为7.06;安全性最低的是烯啶虫胺,益害毒性比为1.02;其他药剂益害毒性比从高到低依次为丁硫克百威、氟啶虫胺胍、吡蚜酮、吡虫啉、呋虫胺、噻虫嗪、环氧虫啉和啶虫脒,螺虫乙酯和氟啶

虫胺腈对多异瓢虫幼虫和成虫的安全性均较高 (图 1-A)。

表 5 21 种药剂对多异瓢虫 3 龄幼虫的毒力

Table 5 Toxicities of 21 pesticides against the 3rd instar larvae of *Hippodamia variegata*

靶标害虫 Target pest	药剂 Pesticide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	χ^2	LC ₅₀ (95% CL)/ (mg/L)	相对毒力指数 Index of relative toxicity
棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y=2.32x-1.41$	7.23	4.07(3.44-4.82)	79.39
	啉虫脒 Acetamiprid	$y=1.25x-1.18$	13.04	8.90(6.36-12.15)	36.30
	丁硫克百威 Carbosulfan	$y=1.39x-1.29$	10.61	8.39(6.14-11.19)	38.51
	环氧虫啉 Cycloxaprid	$y=1.40x-1.44$	12.50	10.65(8.01-14.06)	30.34
	烯啶虫胺 Nitenpyram	$y=1.14x-1.17$	9.02	10.68(7.64-14.79)	30.25
	呋虫胺 Dinotefuran	$y=1.20x-1.28$	11.81	11.49(8.36-15.69)	28.12
	噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=1.26x-1.42$	14.98	13.23(9.78-17.94)	24.42
	吡虫啉 Imidacloprid	$y=1.03x-1.21$	6.83	14.74(10.36-21.21)	21.92
	螺虫乙酯 Spirotetramat	$y=1.43x-2.46$	6.21	51.94(38.57-67.26)	6.22
	吡蚜酮 Pymetrozine	$y=1.40x-2.61$	24.75	72.27(46.35-107.90)	4.47
截形叶螨 <i>Etranychus truncatus</i>	阿维菌素 Abamectin	$y=1.33x-0.52$	18.36	2.47(0.97-4.44)	130.81
	哒螨灵 Pyridaben	$y=1.20x-1.28$	14.37	11.77(7.29-18.62)	27.45
	噻螨酮 Hexythiazox	$y=1.83x-3.87$	10.33	130.84(84.73-178.64)	2.47
	四螨嗪 Clofentezine	$y=1.39x-3.20$	5.62	202.25(138.99-299.41)	1.60
棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i>	炔螨特 Propargite	$y=1.60x-1.02$	17.23	323.10(229.64-447.77)	1.00
	毒死蜱 Chlorpyrifos	$y=1.14x-1.17$	14.23	10.56(7.45-14.68)	30.60
	茚虫威 Indoxacarb	$y=0.77x-0.79$	7.12	10.64(6.41-16.80)	30.37
	灭多威 Methomyl	$y=1.19x-1.28$	6.12	11.70(8.37-16.09)	27.62
	甲维盐 Emamectin benzoate	$y=0.77x-1.22$	17.01	38.00(23.70-72.27)	8.50
	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	$y=0.82x-1.41$	20.34	53.33(28.74-129.94)	6.06
	高效氯氟菊酯 Beta-cypermethrin	$y=1.08x-2.20$	7.57	109.61(73.33-155.28)	2.95

x: 药剂剂量的对数值; y: 死亡率转换的概率值。x: Log of a drug dose; y: mortality rate is converted into the probability value.

表 6 21 种药剂对多异瓢虫成虫的毒性

Table 6 Toxicities of 21 pesticides against adults of *Hippodamia variegata*

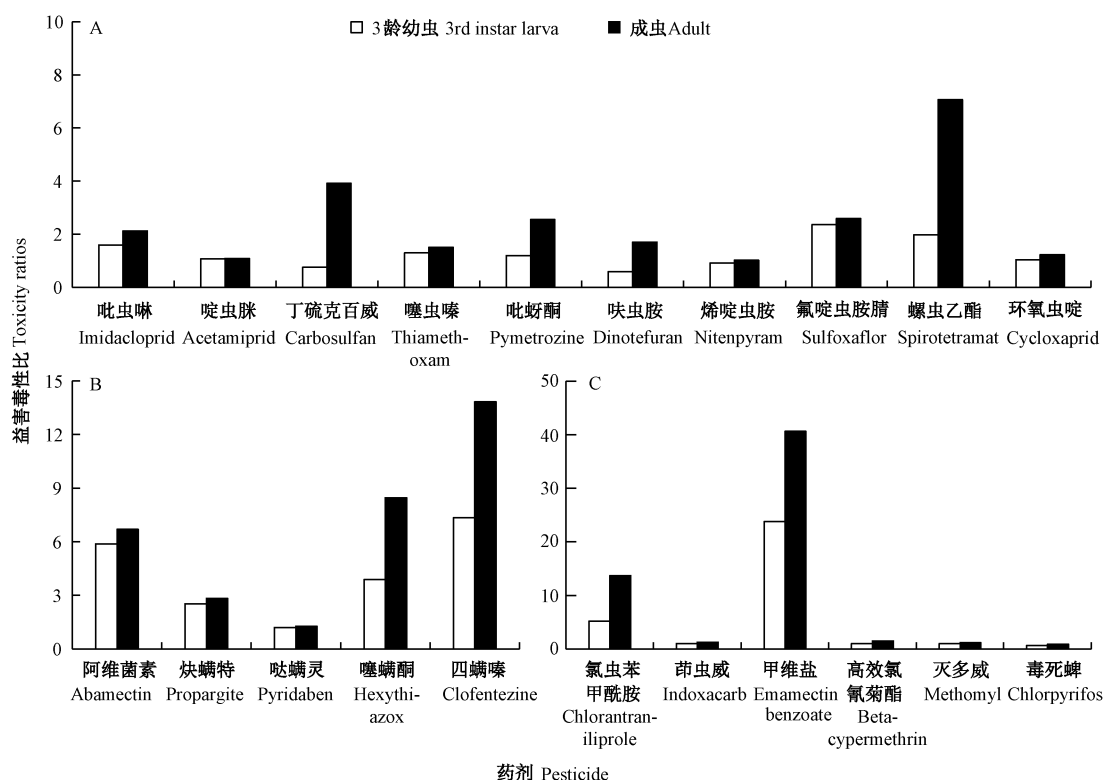
靶标害虫 Target pest	药剂 Pesticide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	χ^2	LC ₅₀ (95% CL)/ (mg/L)	相对毒力指数 Index of relative toxicity
棉蚜 <i>Aphis gossypii</i>	氟啶虫胺腈 Sulfoxaflor	$y=2.20x-1.43$	7.97	4.45(3.63-5.42)	85.71
	啉虫脒 Acetamiprid	$y=1.14x-1.09$	10.47	9.06(6.32-12.61)	42.10
	烯啶虫胺 Nitenpyram	$y=1.06x-1.15$	3.05	11.96(8.43-16.90)	31.89
	环氧虫啉 Cycloxaprid	$y=1.14x-1.25$	9.29	12.51(9.01-17.37)	30.49
	噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=1.30x-1.54$	6.46	15.46(11.53-20.89)	24.67
	吡虫啉 Imidacloprid	$y=1.51x-1.95$	13.48	19.73(15.16-26.03)	19.33
	呋虫胺 Dinotefuran	$y=0.86x-1.31$	2.59	33.16(21.77-56.66)	11.50
	丁硫克百威 Carbosulfan	$y=0.97x-1.59$	5.49	44.03(29.69-70.95)	8.66
	吡蚜酮 Pymetrozine	$y=2.10x-4.59$	17.78	153.53(127.08-188.01)	2.48
	螺虫乙酯 Spirotetramat	$y=1.79x-4.06$	13.86	185.88(147.62-302.11)	2.05
截形叶螨 <i>Etranychus truncatus</i>	阿维菌素 Abamectin	$y=1.05x-0.47$	9.96	2.81(1.26-4.82)	135.73
	哒螨灵 Pyridaben	$y=0.86x-0.94$	14.00	12.51(6.59-22.90)	30.49
	噻螨酮 Hexythiazox	$y=1.72x-4.23$	10.32	285.37(205.42-385.42)	1.34
	炔螨特 Propargite	$y=1.26x-3.23$	21.54	362.68(181.41-880.15)	1.05
棉铃虫 <i>Helicoverpa armigera</i>	四螨嗪 Clofentezine	$y=1.51x-3.91$	7.02	381.39(271.99-557.81)	1.00
	茚虫威 Indoxacarb	$y=1.30x-1.47$	21.06	13.35(8.50-20.40)	28.57
	灭多威 Methomyl	$y=1.19x-1.37$	10.49	14.18(10.18-19.56)	26.90
	毒死蜱 Chlorpyrifos	$y=1.06x-1.25$	17.96	15.35(10.75-21.91)	24.85
	甲维盐 Emamectin benzoate	$y=1.09x-1.98$	17.33	64.99(43.85-111.68)	5.87
	氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole	$y=1.68x-3.60$	25.40	140.98(99.50-211.96)	2.71
	高效氯氟菊酯 Beta-cypermethrin	$y=1.58x-3.51$	10.70	164.47(125.81-213.48)	2.32

x: 药剂剂量的对数值; y: 死亡率转换的概率值。x: Log of a drug dose; y: mortality rate is converted into the probability value.

在防治截形叶螨的5种药剂中,对多异瓢虫3龄幼虫益害毒性比由高到低依次为四螨嗪、阿维菌素、噻螨酮、炔螨特和哒螨灵(图1-B)。对多异瓢虫成虫安全性最高的药剂为四螨嗪,益害毒性比为13.84;安全性最低的药剂为哒螨灵,益害毒性比为1.26;噻螨酮、阿维菌素和炔螨特益害毒性比分别为8.46、6.76和2.82;阿维菌素对多异瓢虫幼虫和成虫的安全性均较高(图1-B)。

在防治棉铃虫的6种药剂中,对多异瓢虫3龄幼

虫益害毒性比由高到低依次为甲维盐、氯虫苯甲酰胺、高效氯氰菊酯、灭多威、茚虫威和毒死蜱(图1-C)。对多异瓢虫成虫安全性最高的药剂为甲维盐,益害毒性比为40.62;安全性最低的药剂为毒死蜱,益害毒性比为0.88;其他药剂益害毒性比由高到低依次为氯虫苯甲酰胺、高效氯氰菊酯、茚虫威和灭多威;甲维盐和氯虫苯甲酰胺对多异瓢虫幼虫和成虫的安全性均较高(图1-C)。



A、B和C: 防治棉蚜的10种药剂、防治截形叶螨的5种药剂和防治棉铃虫的6种药剂对多异瓢虫的益害毒性比。A, B and C: Toxicity ratios of ten pesticides against *Aphis gossypii*, five pesticides against *Etranychus truncatus* and six pesticides against *Helicoverpa armigera* to *H. variegata*, respectively.

图1 21种药剂对多异瓢虫3龄幼虫和成虫的益害毒性比

Fig. 1 Toxicity ratios of 21 pesticides to the 3rd instar larvae and adults of *Hippodamia variegata*

3 讨论

本研究结果显示在防治棉蚜的10种供试药剂中氟啶虫胺胍对棉蚜的毒力最高,螺虫乙酯对棉蚜的毒力偏低,但螺虫乙酯和氟啶虫胺胍对多异瓢虫幼虫和成虫均表现出较高的安全性;烯啶虫胺对棉蚜的毒力较低,且对多异瓢虫幼虫及成虫的安全性也较差。全国农业技术推广服务中心(2021)对我国主要棉区主要棉花害虫抗药性的长期监测结果显示,近年来我国生产上棉蚜对拟除虫菊酯类(溴氰菊酯、高效氯氰菊酯)、有机磷类(氧化乐果)、氨基甲酸

酯类(丁硫克百威)、新烟碱类(吡虫啉)药剂的抗性不断增强,目前已达到高水平抗性,对氟啶虫胺胍处于低至中等水平抗性。综合上述信息,重点推荐使用氟啶虫胺胍等选择性高的化学药剂用于棉蚜防治,同时轮换使用不同作用机理的药剂,以期实现棉蚜抗性种群治理并促进自然天敌保育控害。虽然棉蚜对吡虫啉等新烟碱类药剂的抗性很严重,但这类药剂在新疆棉花生产中仍使用较多(潘洪生等,2018;陆宴辉等,2020)。大量研究表明,即使在低剂量下喷施,新烟碱类药剂仍对天敌和传粉昆虫有负

面影响(Desneux et al., 2007; 2013; Cloyd & Bethke, 2011), 因此欧洲已禁止在室外喷施吡虫啉、噻虫胺和噻虫嗪。但通过改变药剂施用方式可以降低新烟碱类药剂对天敌和蜜蜂等有益昆虫的不良影响, 如以颗粒剂沟施、对棉花种子包衣、随水肥滴灌等方式(Zhang et al., 2015b), 还可以借助其卓越的内吸传导作用降低棉花植株上蚜虫等靶标害虫的发生数量(He et al., 2018; Jiang et al., 2019)。

近年来由于果棉间作等作物结构调整和种植制度变革, 新疆阿克苏市等果棉混作生态系统中截形叶螨的发生为害呈加重趋势(Li et al., 2018; 2020)。本研究结果表明在6种供试药剂中截形叶螨对阿维菌素的敏感性较高, 这与张传燕等(2014)关于和田、喀什和阿克苏市枣树截形叶螨种群对7种常用药剂的敏感性评价结果基本一致。本研究还发现阿维菌素对天敌昆虫多异瓢虫3龄幼虫及成虫安全性相对较高, 适宜在新疆棉田截形叶螨防治中推广使用。

转Bt基因棉的大范围种植减少了棉田化学药剂的使用次数, 在一定程度上延缓了棉铃虫抗药性的发展。全国农业技术推广服务中心(2021)监测发现, 棉铃虫对拟除虫菊酯类药剂(三氟氯氰菊酯、高效氯氟氰菊酯)的抗性不断增加, 达到高水平抗性; 对大环内酯类药剂甲维盐处于敏感抗性; 对双酰胺类药剂(氯虫苯甲酰胺、茚虫威)处于低至中等水平抗性; 对有机磷类药剂(辛硫磷)处于中等水平抗性。本研究结果表明甲维盐与氯虫苯甲酰胺对棉铃虫3龄幼虫的毒力较高, 依然是当前防治棉铃虫的首选杀虫剂。甲维盐对棉铃虫3龄幼虫的毒性最强, 而且对其天敌昆虫多异瓢虫3龄幼虫及成虫安全性高, 适宜田间使用。氯虫苯甲酰胺对棉铃虫3龄幼虫毒力弱于甲维盐, 但高于其他4种杀虫剂, 且氯虫苯甲酰胺对多异瓢虫3龄幼虫及成虫的益害毒性比高, 较为安全。同时, 氯虫苯甲酰胺对棉铃虫高龄幼虫的防治效果优于其他药剂, 也适合其应急防控(张丹丹等, 2018)。高效氯氟氰菊酯和毒死蜱对棉铃虫3龄幼虫毒力较弱, 且毒死蜱对多异瓢虫3龄幼虫及成虫安全性低, 不推荐两者在田间大量使用。茚虫威和灭多威对多异瓢虫3龄幼虫及成虫的安全性较差, 应在田间谨慎使用。同时, 在蜜蜂放蜂区避免使用甲维盐, 推荐使用对蜜蜂和天敌安全的氯虫苯甲酰胺(Abdu-Allah & Pittendrigh, 2018)。

我国棉花害虫防治先后经历了农业防治、化学防治和综合防治3个发展阶段, 目前正向绿色防控阶段全面转变, 充分发挥生物防治等非化学防治技

术的防控功能、合理减少化学药剂的投入使用成为了棉花害虫绿色防控体系的技术核心(Wu & Guo, 2005; 陆宴辉等, 2020), 如本研究遴选的对靶标害虫高效、对天敌安全的高选择性药剂是化学防治与生物防治协同利用中的一个方面。对于防控效果好但选择性较差的药剂种类, 可以通过适时施药, 避免滥打“保险药”, 提倡使用害虫防治生态经济阈值概念(门兴元等, 2020), 减少药剂使用次数与使用量; 也可以进行精准施药, 利用高光谱、遥感等信息技术监测棉花蚜虫、叶螨等害虫的空间分布与发生程度, 特别是在蚜虫、叶螨等害虫点片状发生的初期阶段, 实现“有虫打药、无虫不打”和“虫多多打、虫少少打”的精准化学防治, 显著降低施药范围和施药量(陆宴辉等, 2020)。这些途径在有效防治靶标害虫的同时, 可以切实减轻化学药剂杀伤天敌等安全性差的问题, 同时可以让这些药剂在生产上继续发挥使用功能, 提升生产实际中药剂种类多样性, 这对于缓解害虫抗药性产生与发展具有重要意义。因此, 安全性是相对的概念, 合理使用选择性较差的药剂, 也能达到高效化学防治和促进生物防治的双重目标, 在这方面有很多工作值得去探索与尝试。

参 考 文 献 (References)

- Abdu-Allah GAM, Pittendrigh BR. 2018. Lethal and sub-lethal effects of select macrocyclic lactones insecticides on forager worker honey bees under laboratory experimental conditions. *Ecotoxicology*, 27(1): 81–88
- Biondi A, Guedes RNC, Wan FH, Desneux N. 2018. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: past, present, and future. *Annual Review of Entomology*, 63: 239–258
- Chen YZ, Vanlerberghe-Masutti F, Wilson LJ, Barchia I, McLoon MO, Smith T, Herron GA. 2013. Evidence of superclones in Australian cotton aphid *Aphis gossypii* Glover (Aphididae: Hemiptera). *Pest Management Science*, 69(8): 938–948
- Cloyd RA, Bethke JA. 2011. Impact of neonicotinoid insecticides on natural enemies in greenhouse and interiorscape environments. *Pest Management Science*, 67(1): 3–9
- Cui L, Qi HL, Yang DB, Yuan HZ, Rui CH. 2016. Cycloxaprid: a novel *cis*-nitromethylene neonicotinoid insecticide to control imidacloprid resistant cotton aphid (*Aphis gossypii*). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 132: 96–101
- Cui L, Zhang J, Qi HL, Wang QQ, Lu YH, Rui CH. 2016. Monitoring and mechanisms of imidacloprid resistance in *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) in the main cotton production areas of China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1246–1253 (in Chinese) [崔丽, 张靖, 齐浩亮, 王芹芹, 陆宴辉, 吕昌辉. 2016. 我

- 国棉花主产区棉蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理. 昆虫学报, 59(11): 1246–1253]
- Dai CC, Ricupero M, Puglisi R, Lu YH, Desneux N, Biondi A, Zappala L. 2020. Can contamination by major systemic insecticides affect the voracity of the harlequin ladybird? *Chemosphere*, 256: 126986
- Decourtye A, Henry M, Desneux N. 2013. Overhaul pesticide testing on bees. *Nature*, 497(7448): 188
- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM. 2007. The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81–106
- Gao XW, Zheng BZ. 1990. Biochemical methods for detecting and monitoring insecticides resistance in melon-cotton aphid. *Journal of Plant Protection*, 17(4): 373–377 (in Chinese) [高希武, 郑炳宗. 1990. 生物化学法监测瓜-棉蚜田间种群的抗药性. 植物保护学报, 17(4): 373–377]
- He JT, Zhou LJ, Yao Q, Liu B, Xu HH, Huang JG. 2018. Greenhouse and field-based studies on the distribution of dimethoate in cotton and its effect on *Tetranychus urticae* by drip irrigation. *Pest Management Science*, 74(1): 225–233
- He YX, Zhao JW, Zheng Y, Desneux N, Wu KM. 2012. Lethal effect of imidacloprid on the coccinellid predator *Serangium japonicum* and sublethal effects on predator voracity and on functional response to the whitefly *Bemisia tabaci*. *Ecotoxicology*, 21(5): 1291–1300
- Jiang H, Wu HX, Chen JJ, Tian YQ, Zhang ZX, Xu HH. 2019. Sulfoxaflo applied via drip irrigation effectively controls cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover). *Insects*, 10(10): 345
- Koo HN, An JJ, Park SE, Kim JI, Kim GH. 2014. Regional susceptibilities to 12 insecticides of melon and cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) and a point mutation associated with imidacloprid resistance. *Crop Protection*, 55: 91–97
- Li HQ, Li Q, Wang DM, Liu J, Zhang JP, Lu YH. 2020. Effect of a cotton intercrop on spider mite populations in jujube trees. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(1): 167–171
- Li HQ, Pan HS, Wang DM, Liu B, Liu J, Zhang JP, Lu YH. 2018. Intercropping with fruit trees increases population abundance and alters species composition of spider mites on cotton. *Environmental Entomology*, 47(4): 781–787
- Liang GM, Tan WJ, Guo YY. 1999. An improvement in the technique of artificial rearing cotton bollworm. *Plant Protection*, 25(2): 15–17 (in Chinese) [梁革梅, 谭维嘉, 郭予元. 1999. 人工饲养棉铃虫技术的改进. 植物保护, 25(2): 15–17]
- Lu YH. 2012. Advance in insect pest management in Bt cotton worldwide. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 809–819 (in Chinese) [陆宴辉. 2012. Bt棉花害虫综合治理研究前沿. 应用昆虫学报, 49(4): 809–819]
- Lu YH, Jiang YY, Liu J, Zeng J, Yang XM, Wu KM. 2018. Adjustment of cropping structure increases the risk of cotton bollworm outbreaks in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(1): 19–24 (in Chinese) [陆宴辉, 姜玉英, 刘杰, 曾娟, 杨现明, 吴孔明. 2018. 种植业结构调整增加棉铃虫的灾变风险. 应用昆虫学报, 55(1): 19–24]
- Lu YH, Liang GM, Zhang YJ, Yang XM. 2020. Advances in the management of insect pests of cotton in China since the 21st century. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(3): 477–490 (in Chinese) [陆宴辉, 梁革梅, 张永军, 杨现明. 2020. 二十一世纪以来棉花害虫治理成就与展望. 应用昆虫学报, 57(3): 477–490]
- Lu YH, Liang GM. 2016. Research advance on the succession of insect pest complex in Bt crop ecosystem. *Plant Protection*, 42(1): 7–11 (in Chinese) [陆宴辉, 梁革梅. 2016. Bt作物系统害虫发生演替研究进展. 植物保护, 42(1): 7–11]
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Guo YY, Desneux N. 2012. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 487(7407): 362–365
- Lu YH, Zhao ZH, Cai XM, Cui L, Zhang HN, Xiao HJ, Li ZY, Zhang LS, Zeng J. 2017. Progresses on integrated pest management (IPM) of agricultural insect pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 349–363 (in Chinese) [陆宴辉, 赵紫华, 蔡晓明, 崔丽, 张浩男, 肖海军, 李振宇, 张礼生, 曾娟. 2017. 我国农业害虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 54(3): 349–363]
- Men XY, Li LL, Ouyang F, Zhang QQ, Lu ZB, Li C, Ge F. 2020. Ecological and economic threshold (EET) and its estimation method. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 214–217 (in Chinese) [门兴元, 李丽莉, 欧阳芳, 张晴晴, 卢增斌, 李超, 戈峰. 2020. 害虫防治的生态经济阈值及其估算方法. 应用昆虫学报, 57(1): 214–217]
- Naranjo SE, Ellsworth PC. 2009. Fifty years of the integrated control concept: moving the model and implementation forward in *Arizona*. *Pest Management Science*, 65(12): 1267–1286
- Natural Agro-Tech Extension and Service Center. 2020. Monitoring results of resistance of agricultural pests in 2019 and suggestions for scientific using. *China Plant Protection*, 40(3): 64–69 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2020. 2019年全国农业有害生物抗性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 40(3): 64–69]
- Natural Agro-Tech Extension and Service Center. 2021. Monitoring results of resistance of agricultural pests in 2020 and suggestions for scientific using. *China Plant Protection*, 41(2): 71–78 (in Chinese) [全国农业技术推广服务中心. 2021. 2020年全国农业有害生物抗性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 41(2): 71–78]
- Naveed M, Salam A, Saleem MA, Sayyed AH. 2008. Effect of foliar applications of some insecticides on *Bemisia tabaci*, predators and parasitoids: implications in its management in Pakistan. *Phytoparasitica*, 36(4): 377–387
- Pan HS, Jiang YY, Wang PL, Liu J, Lu YH. 2018. Research progress in the status evolution and integrated control of cotton pests in Xinjiang. *Plant Protection*, 44(5): 42–50 (in Chinese) [潘洪生, 姜玉英, 王佩玲, 刘建, 陆宴辉. 2018. 新疆棉花害虫发生演替与综合防治研究进展. 植物保护, 44(5): 42–50]
- Ragsdale DW, Landis DA, Brodeur J, Heimpel GE, Desneux N. 2011. Ecology and management of the soybean aphid in North America.

- ca. Annual Review of Entomology, 56: 375–399
- Rahmani S, Bandani AR. 2013. Sublethal concentrations of thiamethoxam adversely affect life table parameters of the aphid predator, *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae). Crop Protection, 54: 168–175
- Wang DM, Li HQ, Ding RF, Ahtam-Uwayis, Liu J, Xu Y. 2020. Resistance of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) to three insecticides in Xinjiang. Journal of Plant Protection, 47(1): 211–212 (in Chinese) [王冬梅, 李海强, 丁瑞丰, 阿克旦·吾外士, 刘建, 徐遥. 2020. 新疆棉铃虫种群对三种化学药剂的抗性. 植物保护学报, 47(1): 211–212]
- Wang KY, Guo QL, Xia XM, Wang HY, Liu TX. 2007. Resistance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) to selected insecticides on cotton from five cotton production regions in Shandong, China. Journal of Pesticide Science, 32(4): 372–378
- Wang KY, Liu TX, Jiang XY, Yi MQ. 2001. Cross-resistance of *Aphis gossypii* to selected insecticides on cotton and cucumber. Phytoparasitica, 29(5): 393
- Wang W, Yao J, Li HB, Zhang Y, Wang D, Ma GL. 2011. Comparative study on conservation of natural enemy in cotton field by different rapeseeds in Xinjiang. Plant Protection, 37(3): 142–145 (in Chinese) [王伟, 姚举, 李号宾, 张瑜, 王东, 马国兰. 2011. 棉田周缘种植不同品种油菜诱集带增益控害效果初步研究. 植物保护, 37(3): 142–145]
- Wang W, Yao J, Li HB. 2008. Predatory functional responses of *Aphis gossypii* by three ladybugs. Chinese Journal of Biological Control, 24(S1): 15–20 (in Chinese) [王伟, 姚举, 李号宾. 2008. 棉田三种瓢虫对棉蚜的捕食功能反应. 中国生物防治, 24(S1): 15–20]
- Wang XY, Shen ZR. 2002. Selective toxicity of four insecticides on green peach aphid (Homoptera: Aphididae) and predator multi-colored Asian ladybird (Coleoptera: Coccinellidae) and the coordination evaluation of biological and chemical control to insect pest. Chinese Journal of Pesticide Science, 4(1): 34–38 (in Chinese) [王小艺, 沈佐锐. 2002. 四种杀虫剂对桃蚜和异色瓢虫的选择毒性及害虫生物防治与化学防治的协调性评价. 农药学报, 4(1): 34–38]
- Wang ZH, Yu JY, Shen J, Zhang XQ, Dong LK, Yu HF. 2019. The toxicity and control efficacy of different pesticides on *Corythucha marmorata*. Agrochemicals, 58(2): 136–140 (in Chinese) [王志华, 于静亚, 沈锦, 章晓琴, 董立坤, 余红芳. 2019. 不同杀虫剂对外来入侵害虫菊方翅网蝽的毒力测定及防治效果. 农药, 58(2): 136–140]
- Wu KM. 2020. Management strategies of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. Plant Protection, 46(2): 1–5 (in Chinese) [吴孔明. 2020. 中国草地贪夜蛾的防控策略. 植物保护, 46(2): 1–5]
- Wu KM, Guo YY. 2005. The evolution of cotton pest management practices in China. Annual Review of Entomology, 50: 31–52
- Yang YH, Li YP, Wu YD. 2013. Current status of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* after 15 years of Bt cotton planting in China. Journal of Economic Entomology, 106(1): 375–381
- Zhang CY, Amina, Ma DY, Gao YH. 2014. Resistance monitoring of resistance of different *Tetranychus truncatus* Ehara populations to seven acaricides of four counties in southern Xinjiang. Journal of Xinjiang Agricultural University, 37(3): 223–226 (in Chinese) [张传燕, 阿米娜, 马德英, 高有华. 2014. 新疆南疆4地区枣树截型叶螨种群对7种杀螨剂的抗药性检测. 新疆农业大学学报, 37(3): 223–226]
- Zhang DD, Yang XM, Lu YH, Liang GM. 2018. Comparison of the toxicity of six insecticides against the cotton bollworm *Helicoverpa armigera*. Chinese Journal of Applied Entomology, 55(1): 61–66 (in Chinese) [张丹丹, 杨现明, 陆宴辉, 梁革梅. 2018. 六种杀虫剂对棉铃虫的毒力效果比较. 应用昆虫学报, 55(1): 61–66]
- Zhang J, Cui L, Xu XB, Rui CH. 2015a. Frequency detection of imidacloprid resistance allele in *Aphis gossypii* field populations by real-time PCR amplification of specific-allele (rtPASA). Pesticide Biochemistry and Physiology, 125: 1–7
- Zhang P, Zhang XF, Zhao YH, Ren YP, Mu W, Liu F. 2015b. Efficacy of granular applications of clothianidin and nitenpyram against *Aphis gossypii* (Glover) and *Apolysus lucorum* (Meyer-Dür) in cotton fields in China. Crop Protection, 78: 27–34
- Zhang RZ, Liang HB, Tian CY, Zhang GX. 2000. Biological mechanism of controlling cotton aphid (Homoptera: Aphididae) by the marginal alfalfa zone surrounding cotton field. Chinese Science Bulletin, 45(4): 355–358
- Zhang RZ, Ren L, Wang CL, Lin RH, Tian CY. 2004. Cotton aphid predators on alfalfa and their impact on cotton aphid abundance. Applied Entomology and Zoology, 39(2): 235–241
- Zhang S, Ma Y, Min H, Yu XQ, Li N, Rui CH, Gao XW. 2016. Insecticide resistance monitoring and management demonstration of major insect pests in the main cotton-growing areas of northern China. Acta Entomologica Sinica, 59(11): 1238–1245 (in Chinese) [张帅, 马艳, 闵红, 于晓庆, 李娜, 芮昌辉, 高希武. 2016. 华北棉区主要害虫抗药性监测与治理技术示范. 昆虫学报, 59(11): 1238–1245]
- Zhang YJ, Wu KM, Guo YY. 2001. On the spatio-temporal expression of the contents of Bt insecticidal protein and the resistance of Bt transgenic cotton to cotton bollworm. Journal of Plant Protection, 28(1): 1–6 (in Chinese) [张永军, 吴孔明, 郭予元. 2001. 转Bt基因棉花杀虫蛋白含量的时空表达及对棉铃虫的毒杀效果. 植物保护学报, 28(1): 1–6]
- Zhao JZ, Zhao KJ, Fan XL, Lu MG, Rui CH, Zhang HZ, Guo SD. 2000. Comparison of insecticidal activity of Bt cotton lines both developed in China and USA against *Helicoverpa armigera*. Scientia Agricultura Sinica, 33(5): 100–102 (in Chinese) [赵建周, 赵奎军, 范贤林, 卢美光, 芮昌辉, 张慧珍, 郭三堆. 2000. Bt棉不同品系对棉铃虫杀虫效果的比较. 中国农业科学, 33(5): 100–102]

(责任编辑:张俊芳)