

华北棉区棉铃虫对三种杀虫剂的抗性监测

胡红岩 任相亮 马小艳 马亚杰 宋贤鹏 王丹 李欢欢 马艳*

(中国农业科学院棉花研究所, 棉花生物学国家重点实验室, 河南 安阳 455000)

摘要: 为明确华北棉区棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 田间种群对3种常用杀虫剂的抗性, 于2014—2015年和2018—2019年分别采集河南、河北、山东和山西4个省的棉铃虫田间种群, 采用浸叶法于室内测定棉铃虫对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和甲维盐的抗性水平。结果表明, 各监测点棉铃虫对辛硫磷处于中等水平抗性, 在2014—2015年和2018—2019年的抗性倍数分别为13.0~58.5倍和21.1~55.3倍, 棉铃虫对辛硫磷的抗性发展相对缓慢; 各监测点棉铃虫种群对三氟氯氰菊酯已产生中等至高水平抗性, 并呈现逐年上升的趋势, 其中河北沧县、河南安阳、山西盐湖种群的抗性倍数由2014年的61.0倍、22.5倍和24.0倍上升至2019年的91.1倍、44.7倍和61.3倍, 山东夏津种群的抗性最高, 2019年抗性倍数达到216.3倍; 棉铃虫种群对甲维盐表现为低至中等水平抗性, 河北沧县、河南安阳、山西盐湖和山东夏津种群的抗性倍数分别为8.2~40.4倍、5.8~16.6倍、5.5~23.4倍和11.0~36.6倍。表明4个监测地区的棉铃虫田间种群对3种杀虫剂已经产生了不同程度的抗性, 建议减少这3种杀虫剂的使用频次, 并注意与其他杀虫剂交替轮换使用, 以延缓棉铃虫抗药性的发展。

关键词: 棉铃虫; 杀虫剂; 抗性监测; 辛硫磷; 三氟氯氰菊酯; 甲维盐

Resistance monitoring of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* to three insecticides in northern China

Hu Hongyan Ren Xiangliang Ma Xiaoyan Ma Yajie Song Xianpeng
Wang Dan Li Huanhuan Ma Yan*

(State Key Laboratory of Cotton Biology, Institute of Cotton Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Anyang 455000, Henan Province, China)

Abstract: To understand the resistance level of *Helicoverpa armigera* populations collected from different cotton regions of north China to three insecticides, phoxim, cyhalothrin, and emamectin benzoate, the field populations of *H. armigera* collected from Henan, Hebei, Shandong and Shanxi provinces were evaluated using leaf dipping methods in the laboratory in 2014—2015 and 2018—2019. The results showed that *H. armigera* populations from the four provinces had developed medium-level resistance to phoxim, with resistance ratios ranging from 13.0 to 58.5 folds in 2014—2015 and 21.1 to 55.3 folds in 2018—2019, respectively. It indicated that the resistance of *H. armigera* to phoxim developed slowly in recent years. The field populations of *H. armigera* showed medium- to high-level resistance to cyhalothrin. The resistance ratios of populations from Cangxian of Hebei, Anyang of Henan and Yanhu of Shanxi increased from 61.0, 22.5 and 24.0 folds in 2014 to 91.1, 44.7 and 61.3 folds in 2019, respectively. The highest resistance to cyhalothrin was detected in the population from Xiajin of Shandong with a resistance ratio of 216.3 folds in 2019. *H. armigera* populations in the four provinces had developed

low- to medium-level resistance to emamectin benzoate. The resistance ratios of populations from Cangxian of Hebei, Anyang of Henan and Yanhu of Shanxi and Xiajin of Shandong ranged between 8.2–40.4, 5.8–16.6, 5.5–23.4 and 11.0–36.6 folds, respectively. The results suggested that the four *H. armigera* populations had developed different levels of resistance to the three insecticides. Therefore, excessive use of phoxim, cyhalothrin and emamectin benzoate should be avoided. Insecticides should be used in rotation with other types of insecticides to delay the development of insecticide resistance in field populations of *H. armigera*.

Key words: *Helicoverpa armigera*; insecticide; resistance monitoring; phoxim; cyhalothrin; emamectin benzoate

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 属鳞翅目夜蛾科铃夜蛾属, 是一种重要的世界性农业害虫, 具有分布广、食性杂、繁殖力强等特点。棉铃虫的防治曾一度依赖化学防治, 而化学农药的长期不合理使用, 使棉铃虫对杀虫剂产生了不同程度的抗性(孟香清等, 2000), 可用于棉铃虫化学防治的杀虫剂品种逐渐减少, 20世纪90年代棉铃虫在我国主要棉区多次暴发成灾, 给我国棉花生产带来了重大的经济损失(戴小枫和郭予元, 1993)。

随着转Bt基因抗虫棉的推广应用, 化学农药的使用量大幅度下降, 在一定程度上延缓了棉铃虫抗药性的发展(吴孔明, 2007; 陆宴辉, 2012)。尽管Bt棉对棉铃虫有较好的控制效果, 但是在棉花生长后期Bt蛋白表达量较低, 对棉铃虫的控制作用减弱, 仍有5%~20%的棉铃虫幼虫存活(Wu et al., 2002), Bt棉田仍然需要使用化学杀虫剂防治棉铃虫(王冬梅等, 2020)。同时, 转Bt基因抗虫棉种植后, 使棉田生态环境发生很大变化, 棉蚜 *Aphis gossypii*、棉盲蝽和棉叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 等刺吸式害虫上升为主要害虫, 在喷施化学农药防治此类害虫的同时, 也影响了棉铃虫的抗药性(Liu et al., 2008; Wu et al., 2008)。另外, 棉铃虫寄主广泛, 除为害棉花外, 还为害小麦、玉米和花生等作物, 在使用杀虫剂防治该类作物主要害虫时, 棉铃虫也得到了有效控制(张少华等, 2013)。害虫抗药性的产生是农药定向选择的结果, 在强大的选择压下, 棉铃虫对杀虫剂的抗性不断增强(吴孔明和郭予元, 2000)。近几年, 全国农业有害生物抗药性监测结果显示棉铃虫对有机磷及拟除虫菊酯类杀虫剂的抗性居高不下(张帅等, 2016a; 张帅, 2017; 2018)。

害虫抗药性是农作物化学保护工作中面临的一大难题, 开展田间种群的抗药性监测是掌握害虫抗药性发展动态的重要手段, 也是制定害虫抗药性治理策略的重要前提(吕楠楠等, 2020)。为明确我国

棉铃虫田间种群的抗药性现状, 本研究分别于2014—2015年和2018—2019年对华北棉区4个省的棉铃虫田间种群开展抗药性监测工作, 明确棉铃虫对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(甲维盐)3种杀虫剂的抗性水平, 以期为棉铃虫的综合治理和杀虫剂的合理应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源: 于2014—2015年和2018—2019年每年6月在河北省沧州市沧县、河南省安阳市安阳县、山东省德州市夏津县及山西省运城市盐湖区4个地区的棉田中采集2代棉铃虫。每个地区诱集50对以上雌雄成虫, 按地区分别置于覆有纱布的养虫笼中带回室内饲养, 雌成虫交配后会将卵产在纱布上, 取带有卵粒的纱布置于放有人工饲料的养虫盒中, 待幼虫孵化后置于温度为 $(26\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(60\pm 10)\%$ 、光周期为14 L: 10 D的人工气候箱中用人工饲料饲养。人工饲料配方参照棉铃虫抗药性监测农业行业标准NY/T 2916—2016配制。待幼虫生长至2龄时, 选取生长一致的幼虫进行室内毒力测定。

供试棉花: 河北省沧州市沧县采集地棉花品种为冀棉169, 河南省安阳市安阳县采集地棉花品种为中棉所79, 山东省德州市夏津县采集地棉花品种为鲁棉研24号, 山西省运城市盐湖区采集地棉花品种为晋棉50号。用于棉铃虫室内生物活性测定的棉花叶片采自中国农业科学院棉花研究所试验东场, 品种为中棉所49。

杀虫剂、试剂及仪器: 有机磷类农药92.5%辛硫磷(phoxim)原药, 安阳全丰生物科技有限公司; 拟除虫菊酯类农药96.2%高效氯氟氰菊酯(beta-cypermethrin)原药, 湖北巨胜科技有限公司; 大环内酯类农药63.6%甲维盐(emamectin benzoate)原药, 湖北猫儿沃生物医药有限公司。丙酮和乳化剂Triton X-

100,天津市富宇精细化工有限公司。RXZ型智能人工气候箱,宁波江南仪器厂;24孔组织培养板,安阳市殷都区科盈生物技术中心。

1.2 方法

1.2.1 杀虫剂配制方法

参照张帅等(2016b)方法,用丙酮作为溶剂将原药按照质量体积比配制成为10%辛硫磷EC、5%三氟氯氰菊酯EC和1%甲维盐EC,所用乳化剂为Triton X-100,添加量为10%。试验时将供试杀虫剂等比稀释成8个系列梯度浓度,其中,辛硫磷的浓度分别为450、300、200、133.3、88.9、59.3、39.5和26.4 mg/L,三氟氯氰菊酯的浓度分别为675、450、300、200、133.3、88.9、59.3和39.5 mg/L,甲维盐的浓度分别为0.1、0.05、0.025、0.012 5、0.006 3、0.003 1、0.001 6和0.000 8 mg/L。

1.2.2 杀虫剂对棉铃虫的生物活性测定

于室内采用浸叶接虫法对棉铃虫2龄幼虫进行毒力测定。采集未接触任何杀虫剂的棉花蕾期顶部展开的第3片棉花叶片,用打孔器打成小圆片,直径与24孔组织培养板孔径相同;把圆叶片在各杀虫剂不同浓度溶液中浸渍10 s后置于吸水纸上晾干,用镊子将晾干的圆叶片置于24孔组织培养板内,每片圆叶片上接入经饥饿处理4 h的2龄幼虫,每个浓度处理2次重复,每个重复24头,并设0.1% Triton X-100水溶液为空白对照;接虫后的培养板用2层尼龙纱布置于板盖下以防止试虫逃逸。处理后的幼虫置于温度为(26±1)℃、相对湿度为(60±10)%、光周期为14 L:10 D的人工气候箱中用人工饲料饲养。辛硫磷和三氟氯氰菊酯处理48 h后检查试虫存活情况,甲维盐处理72 h后检查试虫存活情况。以毛笔轻触虫体,试虫不能正常爬行即视为死亡(张帅等,2016b)。对照组死亡率控制在10%以下,超过10%时试验需重做。根据棉铃虫幼虫的存活情况,计算各杀虫剂处理的死亡率和校正死亡率,求出杀虫剂的毒力回归方程斜率、标准误、相关系数、致死中浓度 LC_{50} 及其95%置信区间,同时计算棉铃虫对杀虫剂的抗性倍数(resistance ratio, RR), $RR = \text{测试种群对杀虫剂的 } LC_{50} / \text{敏感品系对杀虫剂的 } LC_{50}$ 。棉铃虫敏感品系对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和甲维盐的 LC_{50} 分别为3.51、1.38和0.000 5 mg/L(张帅等,2016b)。按照抗性倍数对棉铃虫不同地理种群的抗性水平进行分级: $RR \leq 5$ 为敏感, $5 < RR \leq 10$ 为低水平抗性, $10 < RR \leq 100$ 为中等水平抗性, $RR > 100$ 为高水平抗性(张帅等,2014)。

1.3 数据分析

采用DPS 7.05统计软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同棉铃虫种群对辛硫磷的抗性

2014年4个监测点的棉铃虫田间种群对辛硫磷已产生中等水平抗性, LC_{50} 为45.687~140.270 mg/L,抗性倍数介于13.0~40.0倍之间;2015年河北沧县种群和河南安阳种群抗性水平降低,抗性倍数分别为28.3倍和16.9倍,而山东夏津种群和山西盐湖种群对辛硫磷的抗性水平明显提高,抗性倍数由2014年的14.0倍和13.0倍提高至2015年的58.5倍和44.9倍, LC_{50} 提高至205.503 mg/L和157.772 mg/L;2018年河南安阳种群的抗性水平增强,抗性倍数增加到55.3倍, LC_{50} 提高至194.314 mg/L,而其他3个监测点的棉铃虫田间种群的抗性水平有所下降,抗性倍数介于23.0~40.4倍之间;2019年河南安阳种群、山东夏津种群和山西盐湖种群的抗性水平略有下降,抗性倍数介于21.1~32.1倍之间,河北沧县种群的抗性倍数提高至39.0倍(表1)。表明4个年份间各监测点棉铃虫对辛硫磷均表现为中等抗性水平。与2014年相比,2015、2018和2019年河北沧县种群对辛硫磷的抗性倍数变化不大,而河南安阳、山东夏津和山西盐湖种群在不同年份间对辛硫磷的抗性水平出现波动,整体表现为先上升后下降的趋势。

2.2 不同棉铃虫种群对三氟氯氰菊酯的抗性

2014年4个监测点的棉铃虫田间种群对三氟氯氰菊酯已经产生中等水平抗性, LC_{50} 介于19.789~84.146 mg/L之间,抗性倍数介于14.4~61.0倍之间,其中河北沧县种群的抗性水平最高;2015年河南安阳种群的抗性水平上升明显,抗性倍数由2014年的22.5倍增加至43.8倍;山东夏津种群的抗性增幅较大,抗性倍数由2014年的24.0倍增加至2015年的101.9倍,由中等水平抗性上升为高水平抗性,而河北沧县种群的抗性水平有所下降,抗性倍数降低为29.8倍;2018年4个监测点的棉铃虫田间种群的抗性均有不同程度上升,其中河南安阳种群的抗性水平最高,抗性倍数增加至134.1倍, LC_{50} 高达185.109 mg/L,达到高水平抗性;山东夏津种群的抗性水平次之,抗性倍数上升至129.4倍, LC_{50} 上升为178.563 mg/L;河北沧县种群和山西盐湖种群的抗性倍数分别为89.0倍和65.2倍;2019年河北沧县种群和山西盐湖种群的抗性水平变化不大,抗性倍数分别为91.1倍和61.3倍;河南安阳种群和山东夏津

种群的抗性波动幅度较大,河南安阳种群由高水平抗性降为中等水平抗性,2019年抗性倍数为44.7倍,而山东夏津种群的抗性则进一步升高,抗性倍数增加至216.3倍,LC₅₀高达298.507 mg/L(表2)。从监测结果来看,河北沧县种群和山西盐湖种群对三

氟氯氰菊酯均表现为中等抗性水平,近2年来抗性水平呈上升趋势;河南安阳种群表现为中至高等水平抗性,在不同年份间波动较大,而山东夏津种群的抗性最高,且有逐年升高的趋势。

表1 华北棉区棉铃虫田间种群对辛硫磷的抗性水平

Table 1 Resistance of field populations of *Helicoverpa armigera* to phoxim in northern China

种群 Population	年份 Year	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 Correlation coefficient	LC ₅₀ (95% CI)/(mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
河北沧县 Cangxian, Hebei	2014	2.313±0.304	0.967	140.270(103.827-189.505)	40.0
	2015	2.036±0.356	0.957	99.400(67.616-146.125)	28.3
	2018	1.619±0.110	0.989	80.825(70.380-92.820)	23.0
	2019	6.521±1.808	0.902	136.911(76.594-244.727)	39.0
河南安阳 Anyang, Henan	2014	1.916±0.130	0.991	82.974(71.269-96.601)	23.6
	2015	2.597±0.244	0.979	59.325(49.295-71.396)	16.9
	2018	2.314±0.148	0.990	194.314(173.675-217.406)	55.3
山东夏津 Xiajin, Shandong	2014	1.801±0.208	0.968	49.125(39.473-61.136)	14.0
	2015	2.313±0.347	0.968	205.503(152.491-276.943)	58.5
	2018	3.135±0.238	0.989	141.726(127.556-157.471)	40.4
山西盐湖 Yanhu, Shanxi	2014	2.624±0.238	0.980	45.687(38.504-54.210)	13.0
	2015	2.109±0.339	0.952	157.772(113.668-218.987)	44.9
	2018	2.817±0.170	0.991	110.506(100.158-121.923)	31.5
	2019	2.331±0.210	0.984	86.826(74.568-101.101)	24.7

表2 华北棉区棉铃虫田间种群对三氟氯氰菊酯的抗性水平

Table 2 Resistance of field populations of *Helicoverpa armigera* to cyhalothrin in northern China

种群 Population	年份 Year	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 Correlation coefficient	LC ₅₀ (95% CI)/(mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
河北沧县 Cangxian, Hebei	2014	1.808±0.082	0.996	84.146(77.99-90.783)	61.0
	2015	2.276±0.363	0.953	41.124(30.573-55.318)	29.8
	2018	1.888±0.245	0.968	122.778(98.176-153.545)	89.0
	2019	2.194±0.135	0.993	125.665(111.235-141.967)	91.1
河南安阳 Anyang, Henan	2014	1.688±0.151	0.981	31.027(24.568-39.184)	22.5
	2015	2.288±0.199	0.985	60.436(49.599-73.640)	43.8
	2018	2.406±0.341	0.962	185.109(152.234-225.085)	134.1
山东夏津 Xiajin, Shandong	2014	1.672±0.133	0.985	61.660(50.932-74.647)	44.7
	2015	1.783±0.296	0.926	140.571(96.980-203.757)	101.9
	2018	1.971±0.175	0.981	178.563(154.815-205.954)	129.4
山西盐湖 Yanhu, Shanxi	2014	2.392±0.079	0.998	298.507(281.570-316.463)	216.3
	2015	2.191±0.113	0.995	19.789(17.620-22.226)	14.4
	2018	-	-	-	-
	2019	2.094±0.166	0.988	89.962(78.032-103.715)	65.2
	2019	2.322±0.214	0.984	84.550(70.676-101.148)	61.3

-: 虫源不足,未测定毒力。 -: Virulence was not detected due to insufficient insects.

2.3 不同棉铃虫种群对甲维盐的抗性

2014年河南安阳种群和山西盐湖种群对甲维盐产生低水平抗性,抗性倍数分别为7.5倍和5.5倍,

LC₅₀分别为0.003 mg/L和0.002 mg/L;而河北沧县种群和山东夏津种群对甲维盐表现为中等水平抗性,抗性倍数分别为22.5倍和11.0倍,LC₅₀分别为

0.009 mg/L和0.004 mg/L;2015年河北沧县种群和河南安阳种群的抗性倍数下降至8.2倍和5.8倍,均表现为低水平抗性,而山东夏津种群和山西盐湖种群的抗性水平上升,抗性倍数分别为39.2倍和23.0倍,均表现为中等水平抗性;2018年河北沧县种群和河南安阳种群的抗性发生变化,由低水平抗性变为中等水平抗性,抗性倍数分别为40.4倍和15.0倍,而山

西盐湖种群由中等水平抗性变为低水平抗性,抗性倍数为8.4倍,山东夏津种群的抗性水平略有下降,抗性倍数降为22.6倍;2019年大部分地区棉铃虫种群对甲维盐的抗性进一步上升,4个监测点的棉铃虫种群均表现为中等水平抗性,河北沧县种群、河南安阳种群、山东夏津种群和山西盐湖种群的抗性倍数分别为15.6倍、16.6倍、36.6倍和23.4倍(表3)。

表3 华北棉区棉铃虫田间种群对甲维盐的抗性水平

Table 3 Resistance of field populations of *Helicoverpa armigera* to emamectin benzoate in northern China

种群 Population	年份 Year	斜率±标准误 Slope±SE	相关系数 Correlation coefficient	LC ₅₀ (95% CI)/(mg/L)	抗性倍数 Resistance ratio
河北沧县 Cangxian, Hebei	2014	1.100±0.176	0.964	0.009(0.005–0.017)	22.5
	2015	1.828±0.363	0.929	0.004(0.003–0.007)	8.2
	2018	1.617±0.234	0.952	0.020(0.013–0.031)	40.4
	2019	1.562±0.133	0.982	0.008(0.006–0.010)	15.6
河南安阳 Anyang, Henan	2014	1.599±0.176	0.977	0.003(0.002–0.004)	7.5
	2015	1.864±0.257	0.982	0.003(0.002–0.004)	5.8
	2018	1.676±0.171	0.975	0.008(0.006–0.010)	15.0
	2019	2.284±0.153	0.989	0.008(0.007–0.010)	16.6
山东夏津 Xiajin, Shandong	2014	2.040±0.422	0.924	0.004(0.003–0.007)	11.0
	2015	2.582±0.231	0.984	0.006(0.005–0.007)	39.2
	2018	2.862±0.095	0.998	0.011(0.010–0.012)	22.6
	2019	1.653±0.152	0.980	0.018(0.013–0.026)	36.6
山西盐湖 Yanhu, Shanxi	2014	1.987±0.103	0.996	0.002(0.002–0.003)	5.5
	2015	1.815±0.204	0.982	0.012(0.009–0.015)	23.0
	2018	1.278±0.142	0.965	0.004(0.003–0.006)	8.4
	2019	0.916±0.091	0.981	0.018(0.009–0.015)	23.4

3 讨论

棉铃虫是一种重要的农业害虫,随着化学农药使用历史的延长,农药使用量的不断增加,以及农业结构和种植制度的改变,棉铃虫对杀虫剂的抗性日趋复杂(Ahmad et al., 2019)。本研究在室内测定了华北棉区4个棉铃虫田间种群对辛硫磷、三氟氯氰菊酯和甲维盐的抗性水平变化,发现我国华北棉区棉铃虫对3种常用杀虫剂产生了不同程度的抗性。辛硫磷是一种广谱性有机磷类杀虫剂,被广泛应用于防治鳞翅目害虫(Xu et al., 2016)。辛硫磷在棉田已有几十年的使用历史,因受到栽培制度、病虫害发生情况及使用频次等多种因素的影响,不同地区棉铃虫种群对辛硫磷的抗性水平有很大差异(林祥文和沈晋良, 2001; Wang et al., 2019)。Wang et al.(2019)报道2017年我国东北地区棉铃虫种群对辛硫磷处于敏感状态。2019年全国农业有害生物抗药性监测结果显示,新疆维吾尔自治区棉区棉铃虫种群对辛硫磷敏感,长江流域棉区棉铃虫种群对辛硫磷处

于敏感至低水平抗性水平(全国农业技术推广服务中心, 2020)。本研究结果表明,2014—2019年华北地区棉铃虫种群对辛硫磷均表现为中等抗性水平,说明棉铃虫对辛硫磷的抗性发展较为缓慢,没有明显的上升趋势(胡红岩等, 2018)。这可能与该杀虫剂的特性及使用方法有关,辛硫磷对紫外线很敏感,见光容易分解失效,在作物上的持效期短(黄子伦等, 2012)。在使用辛硫磷防治棉铃虫时,一般与其他杀虫剂混合使用,这可能在一定程度上降低了辛硫磷对棉铃虫的选择压力,从而延缓了棉铃虫对辛硫磷的抗性发展速率(林祥文和沈晋良, 2001)。

三氟氯氰菊酯是拟除虫菊酯类杀虫剂,对昆虫具有趋避、击倒及毒杀等作用,广泛用于小麦、玉米、棉花及十字花科蔬菜。2013年全国农业有害生物抗药性监测结果表明,我国棉铃虫田间种群对三氟氯氰菊酯处于敏感至中等水平抗性(张帅等, 2014)。2016年和2017年抗性监测结果显示,华北棉区棉铃虫种群对三氟氯氰菊酯表现为低至高水平抗性,其中河南安阳种群、山东滨州种群及夏津种群的抗性

水平最高(张帅,2017;2018)。本研究中棉铃虫对三氟氯氰菊酯表现为中等至高抗性水平,其中山东夏津种群的抗性最强,且有逐年上升的趋势,2018年和2019年该种群对三氟氯氰菊酯的抗性倍数分别是2014年的5.39倍和9.01倍。害虫对杀虫剂抗性的发展变化主要受栽培模式、农药用药背景及用药习惯等因素影响(吴孔明和郭予元,2000)。山东省滨州市和夏津县等地是我国重要的粮食和蔬菜生产基地,用药水平高及施药相对频繁可能是这2个地区棉铃虫种群抗性水平升高的主要原因(张博等,2012;刘凤仙和聂勇光,2020)。因此,在棉铃虫化学防治方面,需要从抗药性治理角度考虑,科学安排,合理用药,针对棉铃虫已经产生抗药性的杀虫剂品种,应限制或减少其使用量和使用频率,并注意与不同作用机理或无交互抗性的杀虫剂混用或交替、轮换用药。

甲维盐是一种新型高效的杀虫杀螨剂,对害虫有较高的生物活性,因此被广泛用于防治鳞翅目害虫(董利霞等,2011;Yasin et al., 2020)。在2013年之前,我国棉铃虫种群对甲维盐的抗性维持在敏感状态(张帅等,2014)。本研究监测结果表明,2014—2015年华北地区棉铃虫种群对甲维盐的抗性已经达到低至中等水平,尽管对甲维盐的抗性在不同年份之间有波动,但棉铃虫种群对甲维盐的抗性在局部地区有所增加,2019年各监测点棉铃虫种群对甲维盐均达到中等抗性水平,抗性倍数在15倍以上,与全国农业技术推广服务中心(2020)的调研结果基本一致。且Ahmad et al.(2019)也报道了巴基斯坦棉铃虫田间种群在2004—2014年对甲维盐处于敏感至低抗性水平,在2015—2016年抗性快速上升,抗性倍数高达52.0倍。这些研究结果表明棉铃虫田间种群已经对甲维盐产生了抗性,且抗性水平有逐步升高的趋势。因此,在今后的棉铃虫防控过程中,应当减少甲维盐的使用频次,避免多个世代连续使用同一作用机理的杀虫剂,延缓棉铃虫抗药性的发展。同时应继续加强对甲维盐的抗性监测,掌握其抗药性发展动态,指导田间合理用药,防范棉铃虫对甲维盐的抗性进一步上升。

综上所述,从监测结果来看,目前我国华北棉区棉铃虫田间种群对辛硫磷和三氟氯氰菊酯的抗性水平依然较高,且对甲维盐也产生了一定的抗性,且部分地区棉铃虫对3种杀虫剂的抗性有逐年上升的趋势。因此,需要密切关注棉铃虫对这3种杀虫剂的抗性发展,适时采取相应的抗性延缓和治理措施。

参 考 文 献 (References)

- Ahmad M, Rasool B, Ahmad M, Russell DA. 2019. Resistance and synergism of novel insecticides in field populations of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. *Journal of Economic Entomology*, 112(2): 859–871
- Dai XF, Guo YY. 1993. Causality exploration for cotton bollworm plague occurred in China and its solution strategy. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 9(5): 38–43 (in Chinese) [戴小枫, 郭予元. 1992年棉铃虫暴发危害的特点及成因分析. *中国农学通报*, 9(5): 38–43]
- Dong LX, Rui CH, Ren L, Tan XW. 2011. Effect of sublethal dose of emamectin benzoate on growth and development of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Journal of Plant Protection*, 38(6): 539–544 (in Chinese) [董利霞, 芮昌辉, 任龙, 谭晓伟. 2011. 亚致死剂量甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对棉铃虫生长发育的影响. *植物保护学报*, 38(6): 539–544]
- Hu HY, Ren XL, Ma XY, Jiang WL, Ma YJ, Wang D, Ma Y. 2018. Monitoring on resistance of *Helicoverpa armigera* (Hübner) to three insecticides in main cotton-growing areas of Yellow River Region. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 37(4): 65–69 (in Chinese) [胡红岩, 任相亮, 马小艳, 姜伟丽, 马亚杰, 王丹, 马艳. 2018. 黄河流域棉区棉铃虫对3种杀虫剂的抗药性监测. *华中农业大学学报*, 37(4): 65–69]
- Huang ZL, Chen LB, Fu LH, Li LS, Lu Z, Ma L. 2012. Controlled release of phoxim from organobentonite based formulation. *Journal of Guangxi University (Natural Science Edition)*, 37(5): 881–886 (in Chinese) [黄子伦, 陈利标, 付丽华, 李立硕, 卢镇, 马林. 2012. 有机膨润土辛硫磷缓释剂的制备和释放研究. *广西大学学报(自然科学版)*, 37(5): 881–886]
- Lin XW, Shen JL. 2001. Risk assessment and prediction of resistance to phoxim in *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica*, 44(4): 462–468 (in Chinese) [林祥文, 沈晋良. 2001. 棉铃虫对辛硫磷抗性的风险评估与预报. *昆虫学报*, 44(4): 462–468]
- Liu FX, Nie YG. 2020. Analysis of pesticide residues in vegetables in Binzhou City from 2017–2018. *Occup and Health*, 36(24): 3360–3363 (in Chinese) [刘凤仙, 聂勇光. 2020. 2017—2018年滨州市蔬菜农药残留现状分析. *职业与健康*, 36(24): 3360–3363]
- Liu YQ, Lu YH, Wu KM, Wyckhuys KAG, Xue FS. 2008. Lethal and sub-lethal effects of endosulfan on *Apolysgus lucorum* (Hemiptera: Miridae). *Journal of Economic Entomology*, 101(6): 1805–1810
- 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]
- Lü NN, Liang P, Gao XW. 2020. Status of the resistance of agricultural insect pests to indoxacarb and management strategy. *Journal of Plant Protection*, 47(6): 1188–1201 (in Chinese) [吕楠楠, 梁沛, 高希武. 2020. 主要农业害虫对吡虫啉的抗性现状及其治理策略. *植物保护学报*, 47(6): 1188–1201]

- Meng XQ, Rui CH, Fan XL, Li FG, Dong FS. 2000. Resistance dynamics to three types of insecticides in *Helicoverpa armigera* (Hübner) in North China, and Xinjiang from 1996 to 1999. Chinese Journal of Pesticide Science, 2(3): 53–56 (in Chinese) [孟香清, 芮昌辉, 范贤林, 李富根, 董丰收. 2000. 华北和新疆棉铃虫对三类农药抗性发展趋势分析. 农药学报, 2(3): 53–56]
- National Agro-Tech Extension and Service Center. 2020. Insecticide resistance monitoring and insecticide scientific usage demonstration of major insect pests in China in 2019. 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药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 40(3): 64–69]
- Wang DM, Li HQ, Ding RF, Uwaysi A, 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 ZG, Jiang SS, Mota-Sanchez D, Wang W, Li XR, Gao YL, Lu XP, Yang XQ. 2019. Cytochrome P450-mediated λ -cyhalothrin-resistance in a field strain of *Helicoverpa armigera* from Northeast China. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67: 3546–3553
- Wu KM. 2007. Environmental impacts and risk management strategies of Bt cotton commercialization in China. Journal of Agricultural Biotechnology, 15(1): 1–4 (in Chinese) [吴孔明. 2007. 我国Bt棉花商业化的环境影响与风险管理策略. 农业生物技术学报, 15(1): 1–4]
- Wu KM, Guo YY. 2000. The coordinated development and analysis of contributing factors of cotton bollworm resistance to insecticides in Round-Bohai Bay-Region. Journal of Plant Protection, 27(2): 173–178 (in Chinese) [吴孔明, 郭予元. 2000. 环渤海湾地区棉铃虫的抗药性水平及成因分析. 植物保护学报, 27(2): 173–178]
- Wu KM, Guo YY, Lü N, Greenplate JT, Deaton R. 2002. Resistance monitoring of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein in China. Journal of Economic Entomology, 95(4): 826–831
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ. 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. Science, 321(5896): 1676–1678
- Xu L, Li DZ, Qin JY, Zhao WS, Qiu LH. 2016. Over-expression of multiple cytochrome P450 genes in fenvalerate-resistant field strains of *Helicoverpa armigera* from north of China. Pesticide Biochemistry Physiology, 132: 53–58
- Yasin M, Qazi MS, Wakil W, Qayyum MA. 2020. Evaluation of nuclear polyhedrosis virus (NPV) and emamectin benzoate against *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). Egyptian Journal of Biological Pest Control, 30: 88
- Zhang B, Gao XH, Li CS, Qi JS, Zhang YL, Zhao W. 2012. Protected vegetables pesticide use in the present situation and suggestions in Shandong Province. Journal of Agriculture, 2(9): 23–27 (in Chinese) [张博, 高新昊, 李长松, 齐军山, 张悦丽, 赵维. 2012. 山东省保护地蔬菜农药使用现状及建议. 农学学报, 2(9): 23–27]
- Zhang S. 2017. Insecticide resistance monitoring and insecticide scientific usage demonstration of major insect pests in China in 2016. China Plant Protection, 37(3): 56–59 (in Chinese) [张帅. 2017. 2016年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 37(3): 56–59]
- Zhang S. 2018. Insecticide resistance monitoring and insecticide scientific usage demonstration of major insect pests in China in 2017. China Plant Protection, 38(4): 52–56 (in Chinese) [张帅. 2018. 2017年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 38(4): 52–56]
- Zhang S, Ma Y, Min H, Yu XQ, Li N, Rui CH, Gao XW. 2016a. 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. 2016a. 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 S, Shao ZR, Li YP. 2014. Insecticide resistance monitoring and insecticide scientific usage demonstration of major insect pests in China in 2013. China Plant Protection, 34(3): 55–58 (in Chinese) [张帅, 邵振润, 李永平. 2014. 2013年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 34(3): 55–58]
- Zhang S, Wu YD, Zhang HN, Yang YH, Wu SW, Ju GG, Song SE. 2016b. NY/T 2916—2016: code of practice of insecticide resistance monitoring of *Helicoverpa armigera* (Hübner). Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [张帅, 吴益东, 张浩男, 杨亦桦, 武淑文, 鞠国钢, 宋姝娥. 2016b. NY/T 2916—2016: 棉铃虫抗药性监测技术规程. 北京: 中国农业出版社]
- Zhang SH, Li Z, Ma Z, Wang CY, Li CY, Wang XJ, He YZ. 2013. Characteristics of resistance to insecticides and change of activities of the related enzymes in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from transgenic Bt cotton fields in Hebei Province, North China. Acta Entomologica Sinica, 56(6): 638–643 (in Chinese) [张少华, 李哲, 马卓, 王春一, 李春英, 王秀吉, 何运转. 2013. 河北转Bt基因棉田棉铃虫对杀虫剂的抗性及相关酶活性的变化. 昆虫学报, 56(6): 638–643]

(责任编辑:李美娟)