

2017—2019年江西省二化螟种群对四种杀虫剂的抗性

孙 杨¹ 胡妍月¹ 秦文婧² 万 鹏² 邹 芬¹ 黄水金^{1*}

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200; 2. 江西省农业科学院
土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200)

摘要:为明确近年来江西省二化螟种群对常用杀虫剂的抗性水平,提出合理化用药建议,本研究采用人工饲料浸药法测定2017—2019年江西省13个县(市)二化螟田间种群对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、三唑磷和杀虫单的抗性。结果表明,13个二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平整体为中等至高水平抗性,其中有11个二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平整体为上升趋势,在对氯虫苯甲酰胺抗性水平增加的种群中,都昌种群的抗性倍数从2017年的44.1倍上升至2018年的65.1倍,在2019年激增至高水平抗性,抗性倍数为283.5倍,为供试种群的最高抗性倍数。13个二化螟种群对阿维菌素的抗性水平整体为中等偏下,在对阿维菌素抗性水平增加的种群中,南昌种群的抗性倍数最高,2017—2019年分别为74.8倍、108.7倍和80.6倍。13个二化螟种群对三唑磷的抗性水平整体为中等偏下,其中新干、永修、万安、大余、上高和都昌这6个种群对三唑磷的抗性水平呈波动上升的趋势,而其他7个种群对三唑磷的抗性水平为波动性变化,偶有下降。13个二化螟种群对杀虫单的抗性水平整体为中等偏下并且有明显下降趋势,其中大余、永修、泰和、会昌、新干和上高这6个种群对杀虫单的抗性水平呈明显的下降趋势;其他7个种群对杀虫单的抗性水平则为波动性上升趋势。建议限制氯虫苯甲酰胺的使用次数,在抗性水平高、田间防治效果差的地区暂停使用双酰胺类杀虫剂;此外,应减少阿维菌素的用量,轮换使用三唑磷和杀虫单。

关键词:二化螟;人工饲料浸药法;抗性监测;杀虫剂抗性治理

Resistance of Asiatic rice borer *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) population to four insecticides in Jiangxi Province from 2017 to 2019

Sun Yang¹ Hu Yanyue¹ Qin Wenjing² Wan Peng² Zou Fen¹ Huang Shuijin^{1*}

(1. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi Province, China;

2. Institute of Soil Fertilizer and Environmental Resources, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences,
Nanchang 330200, Jiangxi Province, China)

Abstract: In order to determine the resistance level of Asiatic rice borer *Chilo suppressalis* to commonly used insecticides in recent years in Jiangxi Province and put forward the rational suggestions for insecticide use, the resistance of *C. suppressalis* to four insecticides, chlorantraniliprole, avermectin, triazophos and monosultap, was measured in 13 counties or cities in Jiangxi Province in 2017—2019 by using the artificial feed dipping method. The results showed that 13 populations of *C. suppressalis* developed medium to high resistance to chlorantraniliprole on the whole, and the resistance level of 11 populations exhibited an upward trend as a whole; besides, among the populations with increasing resistance

level to chlorantraniliprole, the resistance ratio (RR) of Duchang population increased from 44.1 times in 2017 to 65.1 times in 2018, followed by a sharp increase to 283.5 times in 2019, which was the highest of 13 populations. The resistance level of 13 populations to avermectin was below medium, and in all the populations with increasing resistance level, the RR of Nanchang population was the highest, which was 74.8, 108.7 and 80.6 times in 2017, 2018, and 2019, respectively. The resistance level of 13 *C. suppressalis* populations to triazophos was generally moderate or low; the resistance level of Xingan, Yongxiu, Wan'an, Dayu, Shanggao and Duchang populations to triazophos displayed a fluctuating upward trend, while the other seven populations showed a fluctuating change with an occasional downward trend. The resistance level of 13 populations to monosultap was lower than medium with a significant downward trend. The resistance level of Dayu, Yongxiu, Taihe, Huichang, Xingan and Shanggao populations to monosultap exhibited a significant downward trend. Nevertheless, the resistance level of the other seven populations to monosultap had a fluctuating upward trend. It is concluded that the use of chlorantraniliprole should be limited and even suspended in areas with high resistance level and poor control effect. In addition, the dosage of avermectin should be reduced, and triazophos and monosultap should be used alternately.

Key words: *Chilo suppressalis*; artificial feed dipping method; resistance monitoring; insecticide resistance management

二化螟 *Chilo suppressalis* 是我国水稻生产中最重要鳞翅目害虫,主要为害症状有枯心、枯鞘、枯孕穗、白穗和虫伤株(He et al., 2013; Huang et al., 2018; Sun et al., 2018)。尽管水稻植株本身对二化螟为害有一定的补偿机制(罗盛富, 1987; 黄汉文等, 1990),但在如孕穗期、抽穗扬花期等特定时期大发生时,仍能造成 50%~60% 的白穗率,严重的高达 80% 以上,最终可导致减产 50% 以上(吴雪芬, 2001)。

目前,化学防治仍然是防治二化螟的主要手段。有机磷类、沙蚕毒素类、苯甲酰苯基脲和菊酯类等众多杀虫剂常被用于防治二化螟(Su et al., 2014; Huang et al., 2017),然而长期不合理的施用致使二化螟对众多药剂产生抗药性,防治效果下降(He et al., 2013; Huang et al., 2017)。氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、三唑磷和杀虫单是当前生产上防治二化螟的主要杀虫剂。氯虫苯甲酰胺在我国上市初期就被用于防治水稻螟虫,其效果明显,然而仅仅 10 余年,水稻螟虫对其从低水平抗性(吴敏等, 2013)发展到中等水平抗性(Su et al., 2014),然后到高水平抗性(Yao et al., 2016),直至极高水平抗性(Sun et al., 2018)。阿维菌素属于大环内酯类杀虫剂,自使用以来水稻螟虫对其抗性发展平缓。2012—2014 年对湖南、湖北省等 7 个省 18 个二化螟种群的监测结果显示,大部分二化螟种群对阿维菌素敏感(Yao et al., 2016),江西省二化螟鄱阳种群和南昌种群在 2016 年

被监测到已经对阿维菌素发展为中等水平抗性(Huang et al., 2017)。20 世纪 90 年代末,三唑磷开始被推广使用,二化螟对其抗性发展迅速。2007—2009 年浙江省和江苏省大部分的地区二化螟种群已经对三唑磷产生高抗甚至极高水平抗性(张帅等, 2011);2014—2016 年,江西省南昌县和鄱阳县二化螟种群已经对三唑磷达到高抗水平(Huang et al., 2017)。杀虫单的使用历史最长,可追溯到 20 世纪 70 年代,也正因如此,二化螟对该药早已产生抗性(韩招久等, 2002),并且停用了一段时期(常菊花和何月平, 2016);随后,该药处于间断性使用过程中,各个地区的实际使用情况不同,所以二化螟对其抗性水平也时增时降。总之,在当前主要防治二化螟的 4 种杀虫剂中,二化螟已对其中 3 种产生高水平抗性,抗性治理形势异常严峻。

针对害虫的抗药性,主要采取以综合防治为基础、以抗性动态监测为指导、以科学合理用药为重点的治理原则(陆宴辉等, 2017)。目前,二化螟抗性监测方法主要有点滴法(曹明章等, 2003)、人工饲料药膜法(李海东等, 2011)和稻苗浸渍法(吴敏等, 2013)。然而,对于基层农技推广单位而言,这些方法都有明显的缺陷。如点滴法需要精密的点滴工具——微量点滴仪,仅适用于触杀性药剂,不适于检测以胃毒作用为主的药剂。人工饲料药膜法可以同时检测胃毒和触杀作用,但药剂在饲料表面分布不均匀,而且试虫主要为初孵幼虫,在调查试验结果

时因虫体太小而难以准确判断试虫的存活情况。稻苗浸渍法可以同时检测胃毒和触杀作用,能充分反映杀虫剂的毒力,但是该方法需要生长3周左右的水稻苗,且药后5~6 d检查试验结果,费时耗工,比较繁琐;而且处理3~4 d后稻苗即开始变黄枯萎,不利于试虫的存活从而影响试验结果的准确性。Huang et al. (2017)提出利用人工饲料混毒法检测二化螟的抗性水平,该方法能同时检测药剂的胃毒和触杀活性,人工饲料在2 h内即可制备完成,药剂处理后2~4 d即可获得试验结果,具有设备简单、原材料易于购买、试验操作简便、快速检测的特点。黄水金等(2017)提出人工饲料浸药法,将配制好的饲料冷却后置于冰箱4℃保存,每次试验时,仅需配制一定浓度的药剂溶液,然后将饲料切片浸泡在药液中充分吸收药液,晾干至没有液滴下落即可;尽管人工饲料浸药法无法模拟田间实际环境,但便捷、高效的优点使其具有很高的应用价值。

江西省是我国重要的双季稻产区,近年来局部地区二化螟种群对氯虫苯甲酰胺产生极高抗性,采用推荐剂量对其防治,田间效果甚微(Huang et al., 2017)。此外,二化螟已经对多种药剂产生高水平抗性,防治效果每况愈下,对水稻生产构成严重威胁(Mao et al., 2019; Wei et al., 2019)。为明确江西省近年来二化螟种群对4种常用杀虫剂的抗性水平,本研究于2017—2019年自江西省瑞昌市、都昌县等13个市(县)田间水稻上采集二化螟越冬种群,采取人工饲料浸药法测定其对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、三唑磷和杀虫单4种主要杀虫剂的半致死浓度,根据毒力方程计算抗性倍数并确定抗性水平,以期科学、合理用药防治二化螟提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源:2017—2019年分别自江西省瑞昌市、都昌县、永修县、鄱阳县、南昌县、上高县、丰城市、新干县、泰和县、万安县、会昌县、大余县和信丰县13个县(市)上年二化螟发生严重的冬闲田水稻中采集水稻枯桩,在室内将水稻枯桩中的越冬二化螟老熟幼虫或蛹剥出,置于养虫室内;待老熟幼虫化蛹后,集中羽化、产卵并收集卵块,用人工饲料饲养至4龄,即分别为二化螟瑞昌、都昌、永修、鄱阳、南昌、上高、丰城、新干、泰和、万安、会昌、大余和信丰田间种群。在室内未接触任何药剂的条件下,使用人工饲料饲养敏感品系40余代,并在第28、29、30代

使用单卵块饲养,进行敏感性筛查。二化螟田间种群和敏感种群均以李波等(2015)方法制备的人工饲料饲养幼虫,待其发育到4龄时用于试验。

供试杀虫剂:95%杀虫单(monosultap)原药,湖北仙隆化工股份有限公司;85%三唑磷(triazophos)原药,浙江新农化工股份有限公司;95.3%氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)原药,上海杜邦农化有限公司;96%阿维菌素(avermectin)原药,京博农化科技股份有限公司。人工饲料中涉及的化合物和试验所用试剂,国药集团化学试剂有限公司或上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 供试药液的配制

精确称取杀虫单原药,将其直接溶于清水中,精确称取其他3种杀虫剂分别溶于二甲基甲酰胺(*N,N*-Dimethylformamide, DMSF)中,配制成一定浓度的母液;再使用含10%吐温-80(质量与体积比)的清水按等比例方法将母液稀释成128、64、32、16、8、4和2倍不同浓度梯度的药液备用,同时以含有与最高浓度药液等量DMSF的吐温-80溶液为对照。

1.2.2 人工饲料和浸药饲料的配制

人工饲料的配置:参照李波等(2015)方法配置人工饲料。每1 000 g饲料中含3组物质:1)大豆粉45 g、酵母粉30 g、干酪素15 g、蔗糖15 g、鲜茭白145 g和水375 g;2)琼脂粉16 g和水300 g;3)抗坏血酸4.35 g、胆固醇0.30 g、氯化胆碱0.44 g、威氏盐0.15 g、复合维生素B 0.03 g、山梨酸1.45 g、对羟基苯甲酸甲酯1.45 g、40%甲醛溶液1.00 g和蒸馏水50 g。首先将3组物质按配比称重。然后将145 g新鲜茭白切碎,加375 g水后置于搅拌器中研磨并匀浆,匀浆后将其倒入盛有45 g大豆粉、30 g酵母粉、15 g干酪素和15 g蔗糖的灭菌桶中充分搅拌均匀,125℃下灭菌30 min,灭菌完毕取出。在16 g琼脂粉中加入300 g纯净水后煮至沸腾、完全溶解,将其倒入灭菌后的茭白混合物中,充分搅拌,60℃下保持。将4.35 g抗坏血酸钠、0.30 g胆固醇、0.44 g氯化胆碱、0.15 g威氏盐、0.03 g复合维生素B放入1个烧杯中,加入25 g纯净水,边搅拌边溶解;1.45 g山梨酸和1.45 g对羟基苯甲酸甲酯单独称重放入另一个烧杯中,加入25 g纯净水,置于磁力搅拌器上,边加热搅拌边溶解,待2个烧杯内物质完全溶解后,分别将其倒入茭白与琼脂混合的饲料中,再加入40%甲醛1.00 g,搅拌直至完全均匀。搅拌好的饲料倒入保鲜盒中,完全冷却凝固后存放于4℃冰箱中备用。

浸药饲料的配制:参照黄水金等(2017)方法配制浸药饲料。将冷却凝固的人工饲料切成长15 mm、宽15 mm、厚1.2 mm的薄片,将薄片挑入至不同浓度药液中浸泡10 s后捞出,置于与水平面呈45°的不锈钢丝网面上晾干30 min,吸去多余药液后,将带药人工饲料薄片挑入到直径3 cm、高9 cm的平底玻璃管中,每个玻璃管中放6片薄片。

1.2.3 二化螟田间种群对4种主要杀虫剂的毒力

采用人工饲料浸药法测定二化螟种群的抗性水平。将2日龄4龄待测种群的二化螟幼虫挑入至含带药人工饲料的玻璃管中,每个浓度处理10头,4次重复,共计40头。将其置于温度为(28±1)℃、相对湿度为60%~70%、光周期为16 L:8 D的养虫室内饲养。在氯虫苯甲酰胺杀虫剂处理后96 h检查各浓度处理的幼虫死亡数,在阿维菌素、三唑磷和杀虫单3种杀虫剂处理后48 h检查各浓度处理的幼虫死亡数。以尖锐镊子轻触虫体,不能正常爬行者视作死亡。通过DPS 15.10软件计算各杀虫剂的半致死浓度 LC_{50} 及其95%置信限、斜率及截距,根据 LC_{50} 计算抗性倍数,抗性倍数=田间种群的 LC_{50} /敏感种群的 LC_{50} 。根据NY/T2058—2014抗性水平分级标准进行抗性水平划分,当抗性倍数≤3.0时,为敏感;当3.0<抗性倍数≤5.0时,为敏感性降低;当5.0<抗性倍数≤10.0时,为低水平抗性;当10.0<抗性倍数≤100.0时,为中等水平抗性;当抗性倍数>100.0时,为高水平抗性。根据抗性倍数,采用R语言中ggplot 2软件包分析13个二化螟种群对4种杀虫剂的抗性变化趋势。

1.2.4 二化螟敏感种群对4种主要杀虫剂的毒力

按照1.2.3测定二化螟敏感种群对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、三唑磷和杀虫单的 LC_{50} ,其值分别为1.02、0.08、3.88和1.22 mg (a.i.)/L(黄水金等,2017)。

2 结果与分析

2.1 二化螟种群对4种主要杀虫剂的抗性水平

2.1.1 二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平

13个二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平整体为中等至高水平,其中有11个二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平整体为上升趋势,其中永修、信丰、新干、南昌、泰和、瑞昌和都昌这7个种群对氯虫苯甲酰胺抗性水平一直增加,而大余、万安、上高和丰城这4个种群对氯虫苯甲酰胺抗性水平呈先下降后上升的趋势,并且2019年的抗性倍数超过2017年的抗性倍数,会昌和鄱阳这2个种群对氯虫苯甲酰

胺的抗性水平呈波动性的趋势,分别为低到中等抗性水平和中等抗性水平(表1)。在对氯虫苯甲酰胺抗性水平增加的种群中,都昌种群的抗性倍数从2017年的44.1倍上升至2018年的65.1倍,在2019年激增至高水平抗性,抗性倍数为283.5倍,为供试种群对氯虫苯甲酰胺的最高抗性倍数;瑞昌种群抗性倍数从2017年的52.1倍上升至2018年的86.7倍,在2019年跃增至高水平抗性,抗性倍数为207.8倍(表1)。

2.1.2 二化螟种群对阿维菌素的抗性水平

13个二化螟种群对阿维菌素的抗性水平整体为中等偏下,其中万安、永修、上高、丰城、瑞昌、新干、都昌、鄱阳和南昌这9个种群对阿维菌素的抗性水平整体呈增加的趋势,而信丰、大余、会昌和泰和这4个种群对阿维菌素的抗性水平表现为下降趋势,抗性倍数分别由2017年的14.1倍、11.3倍、12.5倍和10.6倍下降到2019年的6.9倍、5.5倍、3.6倍和5.5倍,抗性水平由中等偏下水平整体下降至低抗乃至敏感性降低水平(表2)。对阿维菌素抗性水平增加的种群中,南昌种群的抗性倍数最高,分别为74.8倍、108.7倍和80.6倍,为中等偏上到高水平抗性;都昌种群对阿维菌素的抗性倍数从2017年的22.4倍增加到2019年的95.7倍,抗性水平由中等偏下稳步上升至2019年的接近高水平抗性;永修和万安这2个种群抗性水平则从敏感性降低增至中等水平(表2)。

2.1.3 二化螟种群对三唑磷的抗性水平

13个二化螟种群对三唑磷的抗性水平整体上中等偏下抗性水平,其中新干、永修、万安、大余、上高和都昌这6个种群对三唑磷的抗性水平呈波动上升的趋势,而其他7个种群对三唑磷的抗性水平为波动性变化,偶有下降(表3)。在波动上升的种群中,万安种群对三唑磷的抗性倍数从2017年的4.9倍上升至2018年的25.1倍再到2019年的73.4倍,抗性水平达到中等水平;永修种群对三唑磷的抗性水平同样是从低水平跃增至中等水平(表3)。在波动性种群中,南昌种群对三唑磷的抗性水平为中等水平,在2018年对三唑磷的抗性倍数达到78.3倍,在2017年和2019年对三唑磷的抗性倍数也较高,分别为56.6倍和53.0倍;2018年鄱阳种群对三唑磷的抗性倍数为79.6倍,为供试种群对三唑磷的最高抗性倍数;2017—2019年泰和种群对三唑磷的抗性倍数分别为12.3倍、42.8倍和12.1倍,为中等抗性水平;瑞

昌种群对三唑磷的抗性倍数在2019年降至最低,为 6.8倍(表3)。

表1 2017—2019年江西省13个二化螟田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平

Table 1 Resistance levels of 13 field populations of *Chilo suppressalis* to chlorantraniliprole in Jiangxi Province from 2017 to 2019

种群 Population	年份 Year	回归方程 Regression equation	LC ₅₀ / (mg (a.i.)/L)	95%置信限 95% fiducial limit/ (mg (a.i.)/L)	抗性倍数 Resistance ratio	抗性水平 Resistance level
瑞昌种群 Ruichang population	2017	$y=2.00+1.74x$	53.03	40.93–68.69	52.1	中抗 Middle
	2018	$y=1.77+1.66x$	88.28	67.12–116.13	86.7	中抗 Middle
	2019	$y=1.01+1.72x$	211.56	162.70–275.09	207.8	高抗 High
都昌种群 Duchang population	2017	$y=2.67+1.41x$	44.88	33.09–60.87	44.1	中抗 Middle
	2018	$y=2.38+1.44x$	66.30	49.22–89.30	65.1	中抗 Middle
	2019	$y=1.30+1.50x$	288.56	209.23–397.98	283.5	高抗 High
永修种群 Yongxiu population	2017	$y=3.82+1.19x$	9.80	6.84–13.99	9.6	低抗 Low
	2018	$y=3.01+1.50x$	21.20	15.92–28.24	20.8	中抗 Middle
	2019	$y=2.86+1.33x$	40.50	28.70–57.16	39.8	中抗 Middle
鄱阳种群 Poyang population	2017	$y=3.13+1.15x$	41.85	29.07–60.24	41.1	中抗 Middle
	2018	$y=2.75+1.27x$	58.37	41.86–81.39	57.3	中抗 Middle
	2019	$y=2.95+1.35x$	33.67	24.45–46.35	33.1	中抗 Middle
南昌种群 Nanchang population	2017	$y=2.36+1.57x$	48.48	36.69–64.06	47.6	中抗 Middle
	2018	$y=2.42+1.44x$	61.90	43.81–87.47	60.8	中抗 Middle
	2019	$y=1.35+1.79x$	108.74	84.08–140.63	106.8	高抗 High
上高种群 Shanggao population	2017	$y=1.37+2.16x$	47.78	38.53–59.24	46.9	中抗 Middle
	2018	$y=2.57+1.56x$	36.52	27.63–48.27	35.9	中抗 Middle
	2019	$y=2.22+1.29x$	141.94	102.20–197.13	139.4	高抗 High
丰城种群 Fengcheng population	2017	$y=2.40+1.28x$	106.58	74.57–152.33	104.7	高抗 High
	2018	$y=1.90+1.61x$	83.43	62.73–110.95	82.0	中抗 Middle
	2019	$y=1.63+1.47x$	198.08	147.24–266.46	194.6	高抗 High
新干种群 Xingan population	2017	$y=2.17+1.81x$	36.29	28.41–46.36	35.7	中抗 Middle
	2018	$y=2.04+1.70x$	54.88	42.36–71.11	53.9	中抗 Middle
	2019	$y=1.78+1.65x$	90.81	68.78–119.90	89.2	中抗 Middle
泰和种群 Taihe population	2017	$y=2.71+1.21x$	77.88	54.23–111.84	76.5	中抗 Middle
	2018	$y=1.97+1.48x$	112.20	83.76–150.30	110.2	高抗 High
	2019	$y=1.73+1.53x$	139.96	102.13–191.80	137.5	高抗 High
万安种群 Wan'an population	2017	$y=2.30+1.53x$	57.92	43.47–77.20	14.9	中抗 Middle
	2018	$y=3.14+1.72x$	12.01	9.17–15.73	11.8	中抗 Middle
	2019	$y=1.92+1.58x$	89.93	67.61–119.61	88.4	中抗 Middle
会昌种群 Huichang population	2017	$y=3.89+0.89x$	17.68	11.16–28.01	17.4	中抗 Middle
	2018	$y=3.45+1.68x$	8.41	6.47–10.92	8.3	低抗 Low
	2019	$y=2.94+1.73x$	15.71	12.17–20.27	15.4	中抗 Middle
大余种群 Dayu population	2017	$y=2.81+1.66x$	21.08	16.19–27.46	20.7	中抗 Middle
	2018	$y=3.10+1.49x$	18.81	14.06–25.16	18.5	中抗 Middle
	2019	$y=2.93+1.34x$	34.48	25.12–47.31	33.9	中抗 Middle
信丰种群 Xinfeng population	2017	$y=2.30+1.36x$	29.94	21.90–40.94	29.4	中抗 Middle
	2018	$y=2.62+1.33x$	62.41	42.91–90.77	61.3	中抗 Middle
	2019	$y=2.15+1.51x$	76.37	57.44–101.54	75.0	中抗 Middle

y 为概率值, x 为药剂剂量的对数值。 y is probability value, and x is the logarithm of the dose.

表2 2017—2019年江西省13个二化螟田间种群对阿维菌素的抗性水平

Table 2 Resistance levels of 13 field populations of *Chilo suppressalis* to avermectin in Jiangxi Province from 2017 to 2019

种群 Population	年份 Year	回归方程 Regression equation	LC ₅₀ / (mg (a.i.)/L)	95% 置信限 95% fiducial limit/ (mg (a.i.)/L)	抗性倍数 Resistance ratio	抗性水平 Resistance level
瑞昌种群 Ruichang population	2017	$y=4.34+1.58x$	2.62	1.99–3.45	30.9	中抗 Middle
	2018	$y=4.31+1.26x$	3.54	2.53–4.96	41.8	中抗 Middle
	2019	$y=4.05+1.40x$	4.79	3.42–6.72	56.5	中抗 Middle
都昌种群 Duchang population	2017	$y=4.59+1.46x$	1.90	1.40–2.59	22.4	中抗 Middle
	2018	$y=3.92+1.56x$	4.97	3.74–6.59	58.5	中抗 Middle
	2019	$y=3.55+1.59x$	8.12	6.18–10.67	95.7	中抗 Middle
永修种群 Yongxiu population	2017	$y=5.72+1.52x$	0.34	0.25–0.45	4.0	敏感性降低 Decreased sensitivity
	2018	$y=5.46+1.66x$	0.53	0.40–0.69	6.2	低抗 Low
	2019	$y=4.74+1.51x$	1.48	1.10–1.99	17.4	中抗 Middle
鄱阳种群 Poyang population	2017	$y=4.50+1.66x$	2.00	1.54–2.60	23.5	中抗 Middle
	2018	$y=4.09+1.28x$	5.12	3.57–7.35	60.3	中抗 Middle
	2019	$y=3.94+1.70x$	4.21	3.24–5.48	49.6	中抗 Middle
南昌种群 Nanchang population	2017	$y=3.79+1.50x$	6.35	4.74–8.51	74.8	中抗 Middle
	2018	$y=3.65+1.40x$	9.23	6.70–12.71	108.7	高抗 High
	2019	$y=3.94+1.26x$	6.84	4.89–9.57	80.6	中抗 Middle
上高种群 Shanggao population	2017	$y=5.51+1.25x$	0.39	0.27–0.54	4.5	敏感性降低 Decreased sensitivity
	2018	$y=4.81+1.59x$	1.32	0.98–1.78	15.5	中抗 Middle
	2019	$y=4.57+1.80x$	1.73	1.35–2.22	20.4	中抗 Middle
丰城种群 Fengcheng population	2017	$y=5.72+1.35x$	0.29	0.21–0.41	3.5	敏感性降低 Decreased sensitivity
	2018	$y=5.15+1.44x$	0.79	0.59–1.06	9.3	低抗 Low
	2019	$y=4.28+1.72x$	2.63	2.02–3.43	31.0	中抗 Middle
新干种群 Xingan population	2017	$y=4.84+1.40x$	1.31	0.96–1.78	15.4	中抗 Middle
	2018	$y=4.12+1.66x$	3.40	2.61–4.43	40.0	中抗 Middle
	2019	$y=3.78+1.64x$	5.56	4.20–7.34	65.5	中抗 Middle
泰和种群 Taihe population	2017	$y=5.06+1.24x$	0.90	0.63–1.29	10.6	中抗 Middle
	2018	$y=5.36+1.23x$	0.50	0.35–0.72	5.9	低抗 Low
	2019	$y=5.49+1.49x$	0.47	0.35–0.62	5.5	低抗 Low
万安种群 Wan'an population	2017	$y=6.32+1.87x$	0.20	0.16–0.25	2.3	敏感 Susceptible
	2018	$y=5.64+1.47x$	0.37	0.27–0.49	4.3	敏感性降低 Decreased sensitivity
	2019	$y=4.99+1.86x$	1.02	0.80–1.29	12.0	中抗 Middle
会昌种群 Huichang population	2017	$y=4.95+2.02x$	1.06	0.84–1.32	12.5	中抗 Middle
	2018	$y=5.16+1.82x$	0.81	0.64–1.04	9.6	低抗 Low
	2019	$y=5.84+1.63x$	0.31	0.23–0.41	3.6	敏感性降低 Decreased sensitivity
大余种群 Dayu population	2017	$y=5.03+1.66x$	0.96	0.74–1.25	11.3	中抗 Middle
	2018	$y=4.90+1.51x$	1.16	0.86–1.56	13.6	中抗 Middle
	2019	$y=5.63+1.92x$	0.47	0.37–0.59	5.5	低抗 Low
信丰种群 Xinfeng population	2017	$y=4.88+1.50x$	1.19	0.90–1.59	14.1	中抗 Middle
	2018	$y=4.39+1.45x$	2.63	1.89–3.66	31.0	中抗 Middle
	2019	$y=5.31+1.32x$	0.58	0.42–0.80	6.9	低抗 Low

y 为概率值, x 为药剂剂量的对数值。 y is probability value, and x is the logarithm of the dose.

表3 2017—2019年江西省13个二化螟田间种群对三唑磷的抗性水平

Table 3 Resistance levels of 13 field populations of *Chilo suppressalis* to triazophos in Jiangxi Province from 2017 to 2019

种群 Population	年份 Year	回归方程 Regression equation	LC ₅₀ / (mg (a.i.)/L)	95% 置信限 95% fiducial limit/ (mg (a.i.)/L)	抗性倍数 Resistance ratio	抗性水平 Resistance level
瑞昌种群 Ruichang population	2017	$y=2.13+1.79x$	40.53	31.62–51.95	10.4	中抗 Middle
	2018	$y=2.12+1.60x$	62.33	45.61–85.17	16.1	中抗 Middle
	2019	$y=3.03+1.39x$	26.27	18.96–36.40	6.8	低抗 Low
都昌种群 Duchang population	2017	$y=2.60+1.38x$	54.90	40.32–74.76	14.2	中抗 Middle
	2018	$y=1.67+1.48x$	174.63	128.88–236.61	45.0	中抗 Middle
	2019	$y=1.75+1.56x$	120.07	89.15–161.70	30.9	中抗 Middle
永修种群 Yongxiu population	2017	$y=1.81+2.15x$	30.74	24.79–38.12	7.9	低抗 Low
	2018	$y=1.43+1.69x$	129.35	99.79–167.67	33.3	中抗 Middle
	2019	$y=1.51+1.45x$	257.31	186.21–355.58	66.3	中抗 Middle
鄱阳种群 Poyang population	2017	$y=2.00+1.35x$	167.23	121.90–229.41	43.1	中抗 Middle
	2018	$y=1.57+1.38x$	308.68	215.66–441.83	79.6	中抗 Middle
	2019	$y=1.53+1.57x$	163.57	124.17–215.46	42.2	中抗 Middle
南昌种群 Nanchang population	2017	$y=0.58+1.89x$	219.73	173.42–278.42	56.6	中抗 Middle
	2018	$y=1.85+1.27x$	303.83	206.75–446.50	78.3	中抗 Middle
	2019	$y=0.95+1.75x$	205.58	158.85–266.07	53.0	中抗 Middle
上高种群 Shanggao population	2017	$y=1.61+2.10x$	41.10	32.98–51.22	10.6	中抗 Middle
	2018	$y=2.05+1.44x$	111.66	80.04–155.77	28.8	中抗 Middle
	2019	$y=2.40+1.34x$	86.19	62.81–118.28	22.2	中抗 Middle
丰城种群 Fengcheng population	2017	$y=0.85+2.24x$	71.51	57.71–88.61	18.4	中抗 Middle
	2018	$y=1.61+1.70x$	99.33	76.48–129.00	25.6	中抗 Middle
	2019	$y=2.32+1.50x$	61.98	45.37–84.68	16.0	中抗 Middle
新干种群 Xingan population	2017	$y=2.32+1.58x$	49.32	37.25–65.29	12.7	中抗 Middle
	2018	$y=2.18+1.72x$	43.76	33.44–57.27	11.3	中抗 Middle
	2019	$y=1.61+1.60x$	131.30	97.74–176.37	33.8	中抗 Middle
泰和种群 Taihe population	2017	$y=2.31+1.60x$	47.90	36.26–63.27	12.3	中抗 Middle
	2018	$y=1.89+1.40x$	166.20	121.59–227.16	42.8	中抗 Middle
	2019	$y=2.42+1.54x$	46.78	35.17–62.23	12.1	中抗 Middle
万安种群 Wan'an population	2017	$y=3.08+1.50x$	18.92	14.16–25.26	4.9	敏感性降低 Decreased sensitivity
	2018	$y=1.75+1.63x$	97.56	73.47–129.54	25.1	中抗 Middle
	2019	$y=1.42+1.46x$	284.9	211.95–382.96	73.4	中抗 Middle
会昌种群 Huichang population	2017	$y=2.31+1.57x$	51.70	39.23–68.14	13.3	中抗 Middle
	2018	$y=3.15+1.40x$	20.58	14.89–28.46	5.3	低抗 Low
	2019	$y=2.26+1.76x$	35.95	27.97–46.21	9.3	低抗 Low
大余种群 Dayu population	2017	$y=2.07+1.47x$	97.90	72.72–131.81	25.2	中抗 Middle
	2018	$y=2.55+1.37x$	61.00	43.85–84.86	15.7	中抗 Middle
	2019	$y=2.00+1.49x$	102.93	76.50–138.47	26.5	中抗 Middle
信丰种群 Xinfeng population	2017	$y=1.17+1.70x$	182.32	140.14–237.20	47.0	中抗 Middle
	2018	$y=1.81+1.34x$	242.32	175.36–334.85	62.5	中抗 Middle
	2019	$y=2.08+1.58x$	69.90	53.05–92.11	18.0	中抗 Middle

y 为概率值, x 为药剂剂量的对数值。 y is probability value, and x is the logarithm of the dose.

2.1.4 二化螟种群对杀虫单的抗性水平

13个二化螟种群对杀虫单的抗性水平整体为中等偏下并且有明显下降趋势,其中大余、永修、泰

和、会昌、新干和上高这6个种群对杀虫单的抗性水平呈明显的下降趋势;其他7个种群对杀虫单的抗性水平则为波动性上升或下降趋势(表4)。在下降

种群中,泰和种群在2017年对杀虫单的抗性倍数为56.9倍,为供试种群对杀虫单的最高抗性倍数,然后在2018年和2019年抗性倍数分别下降至42.6倍和11.8倍;2017—2019年大余种群对杀虫单的抗性水

平为低水平和敏感性降低,抗性倍数分别为7.4倍、8.7倍和3.7倍;呈波动性上升或下降趋势的信丰、瑞昌、丰城、南昌、鄱阳、万安和都昌7个种群对杀虫单的抗性均为中等及低水平(表4)。

表4 2017—2019年江西省13个二化螟田间种群对杀虫单的抗性水平

Table 4 Resistance levels of 13 field populations of *Chilo suppressalis* to monosultap in Jiangxi Province from 2017 to 2019

种群 Population	年份 Year	回归方程 Regression equation	LC ₅₀ / (mg (a.i.)/L)	95%置信限 95% fiducial limit/ (mg (a.i.)/L)	抗性倍数 Resistance ratio	抗性水平 Resistance level
瑞昌种群 Ruichang population	2017	$y=3.05+1.50x$	19.64	14.76–26.13	16.2	中抗 Middle
	2018	$y=3.25+1.44x$	16.17	12.01–21.77	13.3	中抗 Middle
	2019	$y=3.23+1.29x$	23.68	16.78–33.43	19.5	中抗 Middle
都昌种群 Duchang population	2017	$y=2.65+1.80x$	20.15	15.77–25.76	16.6	中抗 Middle
	2018	$y=2.36+1.46x$	64.78	45.68–91.87	53.3	中抗 Middle
	2019	$y=2.24+1.72x$	40.51	31.22–52.57	33.3	中抗 Middle
永修种群 Yongxiu population	2017	$y=3.09+1.30x$	29.74	21.32–41.49	24.5	中抗 Middle
	2018	$y=2.56+1.41x$	53.49	38.31–74.69	44.0	中抗 Middle
	2019	$y=3.67+1.37x$	9.29	6.81–12.70	7.6	低抗 Low
鄱阳种群 Poyang population	2017	$y=3.12+1.46x$	19.14	14.17–25.86	15.7	中抗 Middle
	2018	$y=2.74+1.34x$	49.02	34.85–68.95	40.3	中抗 Middle
	2019	$y=1.98+1.93x$	36.66	28.99–46.36	30.2	中抗 Middle
南昌种群 Nanchang population	2017	$y=3.14+1.42x$	20.71	15.32–28.00	17.0	中抗 Middle
	2018	$y=2.63+1.53x$	35.47	26.72–47.07	29.2	中抗 Middle
	2019	$y=2.76+1.76x$	18.82	14.59–24.26	15.5	中抗 Middle
上高种群 Shanggao population	2017	$y=2.94+1.45x$	26.43	19.65–35.55	21.7	中抗 Middle
	2018	$y=3.24+1.38x$	18.99	13.89–25.96	15.6	中抗 Middle
	2019	$y=3.31+1.62x$	11.17	8.44–14.76	9.2	低抗 Low
丰城种群 Fengcheng population	2017	$y=3.51+1.75x$	7.07	5.48–9.11	5.8	低抗 Low
	2018	$y=3.03+1.52x$	20.02	14.98–26.75	16.5	中抗 Middle
	2019	$y=2.42+1.81x$	26.55	20.73–34.00	21.8	中抗 Middle
新干种群 Xingan population	2017	$y=2.10+1.96x$	30.06	23.86–37.88	24.7	中抗 Middle
	2018	$y=3.16+1.51x$	16.66	12.51–22.20	13.7	中抗 Middle
	2019	$y=3.40+1.73x$	8.42	6.50–10.91	6.9	低抗 Low
泰和种群 Taihe population	2017	$y=2.35+1.44x$	69.15	51.06–93.64	56.9	中抗 Middle
	2018	$y=2.57+1.42x$	51.81	37.22–72.10	42.6	中抗 Middle
	2019	$y=3.07+1.67x$	14.37	11.04–18.70	11.8	中抗 Middle
万安种群 Wan'an population	2017	$y=1.88+2.25x$	24.33	19.73–29.99	20.0	中抗 Middle
	2018	$y=2.48+1.50x$	47.70	35.25–64.55	39.2	中抗 Middle
	2019	$y=2.69+1.54x$	32.09	24.23–42.50	26.4	中抗 Middle
会昌种群 Huichang population	2017	$y=2.13+1.70x$	48.83	37.62–63.38	40.2	中抗 Middle
	2018	$y=3.13+1.37x$	23.20	16.74–32.15	19.1	中抗 Middle
	2019	$y=3.55+1.42x$	10.43	7.66–14.21	8.6	低抗 Low
大余种群 Dayu population	2017	$y=3.27+1.82x$	8.94	7.01–11.42	7.4	低抗 Low
	2018	$y=3.06+1.90x$	10.56	8.28–13.46	8.7	低抗 Low
	2019	$y=3.92+1.66x$	4.47	3.43–5.82	3.7	敏感性降低 Decreased sensitivity
信丰种群 Xinfeng population	2017	$y=3.10+1.80x$	11.38	8.90–14.56	9.4	低抗 Low
	2018	$y=3.51+1.55x$	9.06	6.82–12.03	7.5	低抗 Low
	2019	$y=3.44+1.41x$	12.89	9.46–17.57	10.6	中抗 Middle

y 为概率值, x 为药剂剂量的对数值。 y is probability value, and x is the logarithm of the dose.

2.2 二化螟种群对4种主要杀虫剂的抗性趋势

抗性变化趋势显示,二化螟种群已经对氯虫苯甲酰胺产生了比较严重的抗性,且抗性仍在增长(图 1-A);二化螟对阿维菌素的抗性增长比较缓慢,但

不可忽视(图 1-B);二化螟对三唑磷的抗性水平总体在中等水平以下,且表现为下降的趋势(图 1-C);二化螟对杀虫单的抗性则表现为下降的趋势(图 1-D)。

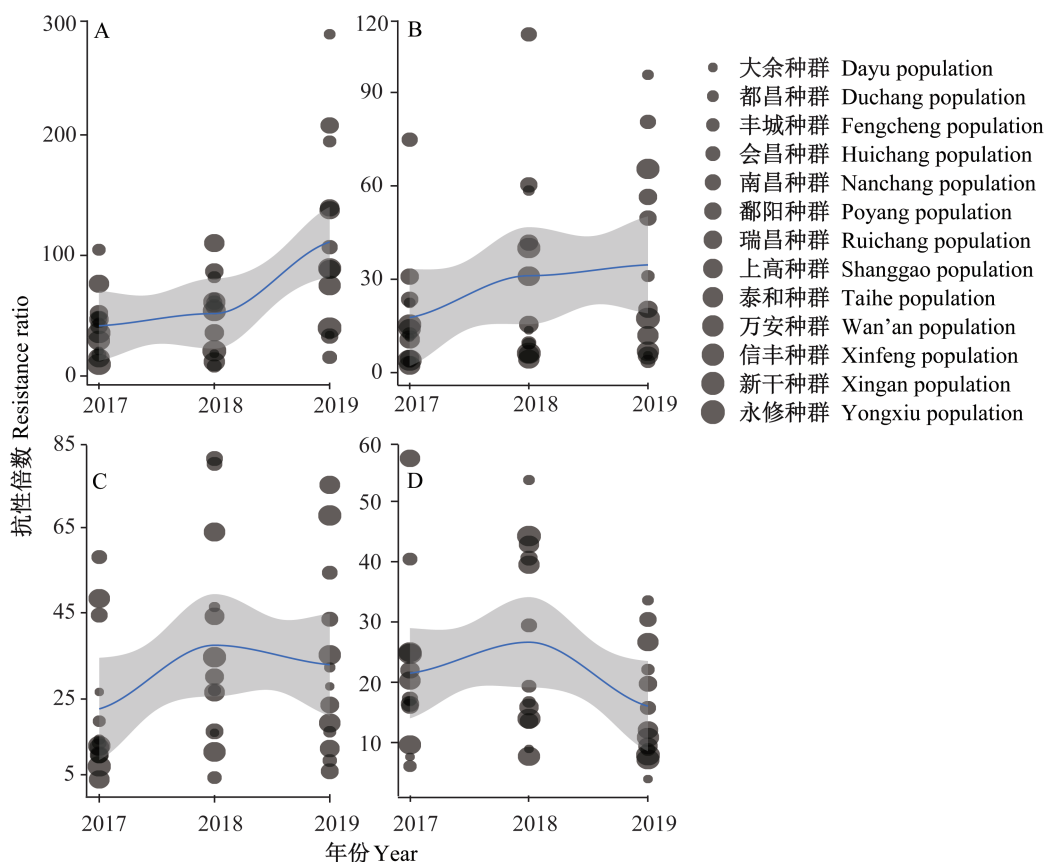


图 1 13 个二化螟种群对氯虫苯甲酰胺(A)、阿维菌素(B)、三唑磷(C)和杀虫单(D)的抗性变化趋势

Fig. 1 Resistance trends of 13 field *Chilo suppressalis* populations to chlorantraniliprole (A), avermectin (B), triazophos (C) and monosultap (D)

3 讨论

2019年浙江省东部沿海地区、江西省环鄱阳湖地区和湖南省南部地区二化螟种群对氯虫苯甲酰胺达到高水平抗性,抗性倍数介于291~2 088倍之间,这里的江西省环鄱阳湖地区所指的监测点为都昌县、南城县和上高县(全国农业技术推广服务中心, 2020)。本研究结果显示,2019年都昌种群和上高种群对氯虫苯甲酰胺的抗性倍数分别为284.5倍和139.4倍,与全国农业技术推广服务中心(2020)的研究结果接近。2019年江苏、安徽、湖北和四川等省二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平为敏感至中等水平抗性,抗性倍数介于1.1~32倍之间;与2018年相比,二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性倍数有所增加,安徽省和湖北省部分二化螟种群对氯虫苯甲酰

胺的抗性水平上升为中等水平抗性(全国农业技术推广服务中心, 2020)。Mao et al. (2019)监测结果显示2016—2018年湖北、湖南、安徽、河南和江西省5个省8个市的二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平逐年增加,但仅江西省的南昌种群为高抗水平,其他4省二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平均为敏感至中等偏下水平。表明在全国主要水稻种植地区中江西省二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平为高抗,仅次于浙江省和湖南省的局部地区种群。

Mao et al. (2019)研究结果还显示,除了湖北武穴、湖北荆门和河南信阳种群,2016—2018年湖北、湖南、安徽、河南和江西这5个省的二化螟种群对阿维菌素的抗性水平整体为中等偏下水平,其中南昌种群对阿维菌素的抗性水平为中等偏下,2017年和2018年的抗性倍数分别为46.5倍和36.5倍,而本研

究结果显示 2017—2018 年南昌种群的抗性倍数介于 74.8~108.7 之间,抗性水平为中等偏上以及高水平抗性,究其原因可能是采用的检测方法不同,前者采用点滴法检测二化螟对阿维菌素的抗性,而本研究采用人工饲料浸药法检测二化螟对阿维菌素的抗性。全国农业技术推广服务中心(2020)调查结果显示,浙江、江西、湖南等省二化螟种群对阿维菌素的抗性水平为中等至高水平抗性,抗性倍数介于 12~142 之间,江苏、安徽、湖北、四川等省二化螟种群对阿维菌素的抗性水平为敏感状态。因此,在全国范围内江西省二化螟对阿维菌素的抗性水平处于较高水平。

全国农业技术推广服务中心(2020)调查数据显示,2019 年浙江省二化螟种群对三唑磷的抗性水平为中等水平抗性,抗性倍数介于 12~73 之间,湖北、四川等省二化螟种群对三唑磷的抗性水平仍然为敏感状态,江西省二化螟种群对三唑磷抗性数据缺失。本研究结果显示,江西省 13 县(市)二化螟种群对三唑磷的抗性水平整体处于中等偏下水平,2019 年 13 个二化螟种群的抗性倍数介于 6.8~73.4 倍之间,与浙江省二化螟种群的抗性水平相近。Mao et al. (2019)研究结果显示 2018 年湖北省武穴、孝感、赤壁和荆门 4 个市的二化螟种群对三唑磷的抗性倍数差异较大,分别为 461.3 倍、67.7 倍、240.3 倍和 251.6 倍,与全国农业技术推广服务中心调查数据不同的主要原因是采集地不同,也说明害虫对杀虫剂的抗性有明显的地域性。杀虫单的使用历史可追溯到 20 世纪 70 年代,随后其处于间断性使用过程中,因为各个地区对其使用情况不同,所以对其抗性水平也时增时降。Huang et al. (2017)研究结果显示,2014—2019 年江西省二化螟鄱阳种群对杀虫单的抗性倍数分别为 28.6 倍、52.2 倍、35.2 倍、15.7 倍、40.3 倍和 30.2 倍,抗性水平维持在中等偏下水平。由于间歇性使用杀虫单,江西省二化螟种群对其抗性水平总体处于中等偏下水平。此外,近年来未见其他省份二化螟种群对杀虫单抗性水平的相关报道。

本研究采用人工饲料浸药法系统测定了近年来江西省 13 个市(县)田间二化螟种群对氯虫苯甲酰胺、阿维菌素、三唑磷和杀虫单的抗性水平,其中二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性水平为高水平抗性,并且抗性水平逐年提高,建议限制氯虫苯甲酰胺的使用次数,在抗性水平高、田间防治效果差的地区暂停使用双酰胺类杀虫剂;二化螟种群对阿维菌素的抗性水平整体处于中等偏下水平,但抗性增长趋

势明显,所以应减少阿维菌素的用量;二化螟种群对三唑磷和杀虫单的抗性水平为中等偏下水平,且未见明显提高,可作为轮换药剂使用。

参 考 文 献 (References)

- Cao MZ, Shen JL, Zhang SM, Zhou WJ, Zhang JZ, Lü M. 2003. Detection and management of insecticide resistance of *Chilo suppressalis* in Jiangsu Province in 2002. *Plant Protection*, 29(5): 34–37 (in Chinese) [曹明章, 沈晋良, 张绍明, 周威君, 张金振, 吕梅. 2003. 2002 年江苏省二化螟抗药性检测及治理. *植物保护*, 29(5): 34–37]
- Chang JH, He YP. 2016. Research progress on resistance of *Chilo suppressalis* to common insecticides. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 13(9): 4–6, 21 (in Chinese) [常菊花, 何月平. 2016. 二化螟对常用杀虫剂的抗性研究进展. *长江大学学报(自然科学版)*, 13(9): 4–6, 21]
- Han ZJ, Han ZJ, Chen CK, Wang YC. 2002. Monitoring of rice stem borer, *Chilo suppressalis*, resistance to monosultap and methamidophos, and dynamics. *Journal of Plant Protection*, 29(1): 93–94 (in Chinese) [韩招久, 韩召军, 陈长琨, 王荫长. 2002. 二化螟对杀虫单和甲胺磷抗性监测及田间抗性动态. *植物保护学报*, 29(1): 93–94]
- He YP, Zhang JF, Gao CF, Su JY, Chen JM, Shen JL. 2013. Regression analysis of dynamics of insecticide resistance in field populations of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) during 2002–2011 in China. *Journal of Economic Entomology*, 106(4): 1832–1837
- Huang HW, Li YP, Kuang XQ, Zhang GA. 1990. Evaluation of infestation and yield losses caused by the striped rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in hybrid double-cropping late rice. *Journal of Plant Protection*, 17(2): 138, 154 (in Chinese) [黄汉文, 李运璧, 邝幸泉, 张国安. 1990. 杂交双季晚稻二化螟为害损失测定. *植物保护学报*, 17(2): 138, 154]
- Huang SJ, Chen Q, Qin WJ, Sun Y, Qin HG. 2017. Resistance monitoring of four insecticides and a description of an artificial diet incorporation method for *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Journal of Economic Entomology*, 110(6): 2554–2561
- Huang SJ, Luo GH, Qin WJ, Gan C, Wu GQ, Xu RZ, Lei LH, Zhang L, Han ZJ, Sun Y. 2018. Investigation of spring irrigation and tillage to control overwintering *Chilo suppressalis* (Walker). *International Journal of Applied Agricultural Sciences*, 4(5): 110–116
- Huang SJ, Sun Y, Qin WJ, Qin HG. 2017. A method to determine resistance of *Chilo suppressalis*: CN107167583B. 2019-08-13 (in Chinese) [黄水金, 孙杨, 秦文婧, 秦厚国. 2017. 一种检测二化螟抗药性的方法: CN107167583B. 2019-08-13]
- Li B, Han LZ, Peng YF. 2015. Development of a standardized artificial diet and rearing technique for the striped stem borer, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 498–503 (in Chinese) [李波, 韩兰芝, 彭于发. 2015. 二化螟人工饲养技术. *应用昆虫学报*, 52

- (2): 498–503]
- Li HD, Wu M, Han ZJ. 2011. Selection of persistent insecticides for control of *Chilo suppressalis* in rice seedling stage. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 34(4): 43–47 (in Chinese) [李海东, 吴敏, 韩召军. 2011. 防治水稻秧田二化螟持效性药剂的筛选. *南京农业大学学报*, 34(4): 43–47]
- 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]
- Luo SF. 1987. Studies on the compensation of rice to the larval damage caused by the Asian rice borer (*Chilo suppressalis* (WK)). *Scientia Agricultura Sinica*, 20(2): 67–72 (in Chinese) [罗盛富. 1987. 水稻对二化螟危害补偿作用的研究. *中国农业科学*, 20(2): 67–72]
- Mao KK, Li WH, Liao X, Liu CY, Qin Y, Ren ZJ, Qin XY, Wan H, Sheng F, Li JH. 2019. Dynamics of insecticide resistance in different geographical populations of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) in China 2016–2018. *Journal of Economic Entomology*, 112(4): 1866–1874
- 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药性监测结果及科学用药建议. *中国植保导刊*, 40(3): 64–69]
- Su JY, Zhang ZZ, Wu M, Gao CF. 2014. Geographic susceptibility of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae), to chlorantraniliprole in China. *Pest Management Science*, 70(6): 989–995
- Sun Y, Xu L, Chen Q, Qin WJ, Huang SJ, Jiang Y, Qin HG. 2018. Chlorantraniliprole resistance and its biochemical and new molecular target mechanisms in laboratory and field strains of *Chilo suppressalis* (Walker). *Pest Management Science*, 74(6): 1416–1423
- Wei YB, Yan R, Zhou QL, Qiao LY, Zhu GN, Chen ML. 2019. Monitoring and mechanisms of chlorantraniliprole resistance in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 112(3): 1348–1353
- Wu M, Zhang ZZ, Gao CF. 2013. Methods of insecticides resistance monitoring of the striped stem borer, *Chilo suppressalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 548–552 (in Chinese) [吴敏, 张真真, 高聪芬. 2013. 水稻二化螟抗药性监测方法. *应用昆虫学报*, 50(2): 548–552]
- Wu XF. 2001. Damage and controlling strategy of the second generation *Chilo suppressalis* on single cropping late rice. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, (2): 40–42 (in Chinese) [吴雪芬. 2001. 二代二化螟对单季晚稻的危害及防治对策. *上海农业科技*, (2): 40–42]
- Yao R, Zhao DD, Zhang S, Zhou LQ, Wang X, Gao CF, Wu SF. 2016. Monitoring and mechanisms of insecticide resistance in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae), with special reference to diamides. *Pest Management Science*, 73(6): 1169–1178
- Zhang S, Li YP, Shao ZR, Guo JQ. 2011. Monitoring and management of insecticide resistance of *Chilo suppressalis* in China. *Plant Protection*, 37(2): 141–144 (in Chinese) [张帅, 李永平, 邵振润, 郭井泉. 2011. 水稻二化螟抗药性监测及防控对策. *植物保护*, 37(2): 141–144]

(责任编辑:张俊芳)