



吴帅,石宇,廖逊,等.三氟苯嘧啶和啉虫脒对褐飞虱的协同作用[J].江西农业大学学报,2022,44(1):55-61.
WU S,SHI Y,LIAO X,et al.Synergistic effects of triflumezopyrim mixed with acetamiprid on *Nilaparvata lugens*[J].Acta agricul-
turae universitatis Jiangxiensis,2022,44(1):55-61.

三氟苯嘧啶和啉虫脒对褐飞虱的协同作用

吴帅^{1,2},石宇^{1,2},廖逊^{1,2,3},李明^{1,2,3},宋梅^{1,2},李荣玉^{1,2,3*}

(1.贵州大学作物保护研究所,贵州贵阳550025;2.贵州大学猕猴桃工程技术研究中心,贵州贵阳550025;3.贵州省山地农业病虫害重点实验室,贵州贵阳550025)

摘要:【目的】为明确三氟苯嘧啶和啉虫脒复配对褐飞虱的联合作用,筛选出对褐飞虱具有增效作用的药剂组合。【方法】采用稻苗浸渍法测定了三氟苯嘧啶和啉虫脒及其复配对褐飞虱3龄若虫的毒力,并采用田间喷雾法在贵州惠水进行了田间防效试验。【结果】与敏感基线相比,贵州3地(黄平、湄潭、惠水)褐飞虱种群对三氟苯嘧啶和啉虫脒的抗性处于敏感至低水平抗性,抗性倍数分别为2.44~8.00和3.87~9.84。三氟苯嘧啶和啉虫脒复配对褐飞虱3龄若虫具有较好的增效作用,三氟苯嘧啶与啉虫脒有效成分比为1:2、1:5、1:9、2:1、5:1、9:1时,共毒系数都大于120,2:1为最佳配比,其CTC为191.30,LC₅₀值为0.39 mg/L。田间试验结果表明,[三氟苯嘧啶+啉虫脒(2:1)]组合施药3 d后对褐飞虱具显著增效作用,防效为96.11%,显著高于三氟苯嘧啶(88.01%)和啉虫脒(65.03%)单剂。【结论】三氟苯嘧啶和啉虫脒按有效成分比为2:1(三氟苯嘧啶:啉虫脒)时对褐飞虱具有明显的增效作用。

关键词:褐飞虱;三氟苯嘧啶;啉虫脒;敏感性测定;增效作用

中图分类号:S435.112^{+.3} 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2022)01-0055-07

Synergistic Effects of Triflumezopyrim Mixed with Acetamiprid on *Nilaparvata lugens*

WU Shuai^{1,2}, SHI Yu^{1,2}, LIAO Xun^{1,2,3}, LI Ming^{1,2,3}, SONG Mei^{1,2}, LI Rongyu^{1,2,3*}

(1. Institute of Crop Protection, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Engineering and Technology Research Center of Kiwifruit, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management in Mountainous Region, Guiyang 550025, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to identify the synergistic effects of triflumezopyrim mixed with acetamiprid on controlling *Nilaparvata lugens* and screen out the insecticide mixtures with enhanced effects on *N. lugens*. [Method] The toxicities of triflumezopyrim, acetamiprid and their mixtures to the third instar nymphs of brown planthoppers were determined by the method of dipping rice seedling in laboratory, and the field efficacy trials were conducted at Huishui, Guizhou Province. [Result] Compared with the baseline sensitivity, the resistance of *N. lugens* populations in the three areas of Guizhou (Pinghuang, Meitan and Huishui) to trifluoropy-

收稿日期:2021-06-20 修回日期:2021-08-25

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0200500)和黔科合平台人才[2017]5788号

Project supported by the National Key R & D Projects Program of China (2016YFD0200500) and the Technology Platform and Talent Team Foundation of Guizhou Province[2017]5788

作者简介:吴帅, orcid.org/0000-0003-3419-4117, 1922165842@qq.com; *通信作者:李荣玉, 副教授, 博士, 主要从事农药毒理学与分子生物学及农产品质量安全研究, orcid.org/0000-0002-4654-9352, lirongyu0328@126.com。

rimidine and acetamiprid ranged from susceptible to low levels, and the resistant ratios were between 2.44–8.00 and 3.87–9.84, which indicated that the mixtures of triflumezopyrim and acetamiprid had a favorable synergistic effect on controlling the 3rd instar nymph of *N. lugens*. The co-toxicity coefficient (CTC) were more than 120 when the ratios of active ingredients of triflumezopyrim and acetamiprid were 1:2, 1:5, 1:9, 2:1, 5:1, 9:1, among which the ratio of 2:1 was optimal with a CTC of 191.30, and an LC_{50} of 0.39 mg/L. The results of field efficacy trials showed that the mixture of [triflumezopyrim+acetamiprid (2:1)] had an obvious synergistic effect on *N. lugens*. The control effect could reach 96.11%, which was significantly higher than that of triflumezopyrim (88.01%) and acetamiprid (65.03%) single dose. **[Conclusion]** The data showed that the mixture of two insecticides in the ratio of 2:1 (triflumezopyrim:acetamiprid) produced a significant synergistic effect.

Keywords: *Nilaparvata lugens*; triflumezopyrim; acetamiprid; sensitivity test; synergism

【研究意义】褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 属半翅目飞虱科 (Hemiptera:Delphacidae), 在亚洲很多国家和地区均有发生, 是水稻的主要虫害之一, 食性单一, 只取食水稻进行生长繁殖^[1-2]。具有较强的繁殖能力和迁移能力, 容易爆发成灾, 严重威胁水稻的安全生产^[3]。目前, 对褐飞虱的防治主要依赖化学药剂, 大量化学杀虫剂的不合理使用导致褐飞虱抗药性迅速上升, 导致一些药剂开始失效^[4-6]。杀虫剂抗药性会缩短药剂的使用寿命, 对发现新的杀虫活性物质提出了挑战^[7]。杀虫剂混配是害虫延缓抗性有效措施, 筛选高效的混配组合对褐飞虱的防控具有重要意义。**【前人研究进展】**噻嗪酮与异丙威以 6:19 比例复配时, 对褐飞虱增效作用显著, 25% 噻嗪酮·异丙威可湿性粉剂对褐飞虱也具有较好的防效^[8]; 噻嗪酮和烯啶虫胺质量比为 4:1 时的悬浮剂和二甲苯乳油对褐飞虱 3 龄若虫都具有增效作用^[9]; 哒螨灵与吡虫啉质量比分别为 1.5:1、2:1, 哒螨灵与烯啶虫胺质量比为 1.5:1 时对褐飞虱 4 龄若虫表现为增效作用^[10]; 烯啶虫胺和阿维菌素以有效成分比为 1:4 混配时, 对水稻田褐飞虱具有较好的防治效果^[11]; 毒死蜱和吡蚜酮按 3:1 比例混配, 对褐飞虱表现为增效作用^[12]; 噻虫嗪和醚菊酯按有效成分 1:7 混配施用, 用药 7 d 后的防效显著高于 2 种单剂^[13]; 噻虫胺与吡蚜酮以 1:2 的比例复配, 对褐飞虱具有显著增效作用, 且 30% 噻虫·吡蚜酮 SC 对褐飞虱低龄和高龄若虫都具有很好的防治效果, 对水稻田天敌蜘蛛安全^[14]; 氟啶虫胺腈和茚虫威复配比例为 1:1 时, 对褐飞虱三龄若虫具有显著增效作用^[15]。因此三氟苯嘧啶相关复配药剂的开发对水稻害虫的防治有重要意义。**【本研究切入点】**三氟苯嘧啶作为在中国登记的新型高效的药剂, 目前其相关的复配药剂的研究较少, 三氟苯嘧啶相关复配药剂的开发对水稻害虫的防治有重要意义。**【拟解决的关键问题】**明确三氟苯嘧啶和啉虫脒及其复配药剂对褐飞虱田间种群的敏感性, 为 2 个药剂的合理使用提供参考, 筛选出 2 个药剂的最佳复配比例, 为水稻褐飞虱的有效防治和药剂的减量使用提供更好的途径。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

室内敏感品系: 于 2016 年 8 月份采自贵州省黄平县旧州镇, 不接触任何药剂室内饲养至今。敏感性测定褐飞虱种群: 于 2019 年 9 月份采集的贵州黄平、湄潭、惠水田间种群 (高龄若虫), 在室内不接触药剂饲养到下一代至 3 龄若虫。

1.2 供试药剂

啉虫脒原药 (96.0%, 山东申达作物科技有限公司); 三氟苯嘧啶悬浮制剂 (10%, 美国杜邦公司); 啉虫脒微乳剂 (3%, 山东一览科技有限公司)。

1.3 室内毒力测定

参照水稻褐飞虱毒力测定方法^[16]取生长健康, 长势一致, 长约为 10 cm 的水稻苗, 15 株为 1 组, 清洗于阴凉处晾干备用。将供试药剂溶解于丙酮或蒸馏水中配制成一定浓度的母液, 根据之前预实验结果, 母液用 0.05% triton X-100 水溶液稀释至 5~7 个系列。将稻苗在药液中浸 30 s 后取出晾干, 以脱脂棉包住稻苗根部, 底部浸水放入一次性塑料杯中, 每杯接入 15 头标准一致的 3 龄中期若虫后用细纱布封口,

每个处理重复3次,以0.05% triton X-100水溶液作为对照。接虫后放入温度为(28±1)℃,相对湿度为75%±5%,光周期为16L:8D的智能人工气候箱中培养。于4 d后检查死亡情况,用0号毛笔轻触虫体,完全不动者视为死亡。

1.4 组合最佳比例筛选

将三氟苯嘧啶和啉虫脒2个药剂的按有效成分1:9、1:5、1:2、1:1、2:1、5:1、9:1的比例复配进行毒力测定,计算每组复配药剂的共毒系数。采用Sun等^[17]共毒系数法计算共毒系数(co-toxicity coefficient, CTC)确定最佳配比,共毒系数大于120,为增效作用;共毒系数80~120,为相加作用;共毒系数小于80,为拮抗作用。

1.5 田间药效试验

试验在贵州省惠水县好花红镇进行,试验地常年种植茂优601品种,种植方式为人工移栽。试验设置每667 m² 10%三氟苯嘧啶悬浮剂15 mL、3%啉虫脒EC 60 g、三氟苯嘧啶(有效成分1 g)和啉虫脒(有效成分0.5 g)组合,清水对照共4个处理,每处理重复3次,共12个小区,各小区随机排列,小区面积30 m²。于8月28日褐飞虱若虫盛期采用3WBJ-16DZ多功能静电喷雾器喷药,喷药时由水稻基部由下至上,保证褐飞虱主要栖息区域水稻茎基部的褐飞虱接触药剂,每667 m²药液量150 kg。施药前和施药后3 d、7 d,每小区平行跳跃法调查10点,每点2丛,共调查20穴,使用桶拍法进行调查,用配盖的小桶,桶盖拍打离水面约30 cm的水稻基部,每株水稻均匀拍打3下,桶接拍的虫,查看桶里的褐飞虱数,计算虫口减退率以及防治效果(公式1、公式2),同时监测试验期间药剂对作物是否产生药害,记录药害的类型和危害程度。

田间防治效果计算公式:

$$\text{退率} = \frac{\text{药前虫口数} - \text{药后虫口数}}{\text{药前虫口数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{防治效果} = \frac{\text{处理区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}}{100 - \text{对照区虫口减退率}} \times 100\% \quad (2)$$

1.6 数据处理

采用Excel 2010和DPS(7.05)对数据进行处理,求出有效中浓度(LC₅₀)值及95%置信区间、斜率、卡方值、自由度;采用Excel统计处理田间数据,并计算防效。抗性倍数计算参照张凯等^[18]。

$$\text{抗性倍数} = \text{褐飞虱田间种群的LC}_{50}\text{值} / \text{褐飞虱敏感种群的LC}_{50}\text{值} \quad (3)$$

抗性水平分级标准^[16]:抗性倍数为5及以下为敏感,抗性倍数5~10为低水平抗性,抗性倍数10~100为中等水平抗性,抗性倍数100以上为高水平抗性。

2 结果与分析

2.1 贵州三地褐飞虱种群对三氟苯嘧啶的敏感性测定

由表1可知,贵州省惠水、黄平和湄潭3个地区的褐飞虱种群对三氟苯嘧啶抗性倍数分别为4.00、2.44和8.00,惠水和黄平地区褐飞虱对三氟苯嘧啶处于敏感水平,而湄潭地区的褐飞虱种群对三氟苯嘧啶表现为低水平抗性。

2.2 贵州三地褐飞虱种群对啉虫脒的敏感性测定

由表2可以看出贵州3地田间褐飞虱种群对啉虫脒的敏感性有一定的差异,与敏感品系相比,惠水的田间褐飞虱种群对啉虫脒依然处于敏感的状态,其抗性倍数为3.87;而黄平和湄潭的田间褐飞虱已经对啉虫脒产生了低水平抗性,抗性倍数分别为9.84和6.17。

2.3 三氟苯嘧啶和啉虫脒组合的室内配比筛选

根据Sun等^[17]的共毒系数算法,三氟苯嘧啶和啉虫脒组合7个配比中(表3),只有A配比的共毒系数为117.80,小于120,为相加作用,其余组合共毒系数均大于120,表现为增效作用,共毒系数范围在138.58~191.30,其中C、E和G配比的共毒系数较大,增效作用显著,而E配比的LC₅₀值较低,可作为最佳配比。

表1 2019年贵州3个地区田间褐飞虱种群对三氟苯嘧啶的敏感性
Tab.1 Resistance levels of *N. lugens* field populations to triflumezopyrim in three areas of Guizhou Province in 2019

种群 Populations	虫数 Number	斜率±标准误 Slope ± SE	LC ₅₀ (95%置信限)/(mg·L ⁻¹) LC ₅₀ (95%CI)	卡方值(自由度) $\chi^2(df)$	抗性倍数 RR
惠水 Huishui	315	1.46±0.24	0.18(0.13~0.24)	3.79(3)	4.00
黄平 Huangping	270	1.88±0.26	0.11(0.07~0.14)	3.66(3)	2.44
湄潭 Meitan	315	2.24±0.18	0.36(0.26~0.52)	3.65(4)	8.00

褐飞虱对三氟苯嘧啶的敏感基线参考 Xu 等^[19],敏感种群褐飞虱对三氟苯嘧啶的 LC₅₀ 值为 0.045 mg/L。

The susceptibility baseline of *N. lugens* to triflumezopyrim was cited from the Xu et al^[19], the LC₅₀ value of the susceptible population of *N. lugens* to triflumezopyrim was 0.045 mg/L.

表2 2019年贵州3个地区田间褐飞虱种群对啶虫脒的敏感性
Tab.2 Resistance levels of *N. lugens* field populations to acetamiprid in three areas of Guizhou Province in 2019

种群 Populations	虫数 Number	斜率±标准误 Slope ± SE	LC ₅₀ (95%置信限)/(mg·L ⁻¹) LC ₅₀ (95%CI)	卡方值(自由度) $\chi^2(df)$	抗性倍数 RR
惠水 Huishui	270	1.55±0.23	29.24(22.27~39.90)	6.81(3)	3.87
黄平 Huangping	270	2.13±0.47	74.32(59.89~108.58)	5.75(3)	9.84
湄潭 Meitan	270	2.10±0.23	46.60(38.40~56.39)	0.64(4)	6.17

褐飞虱对啶虫脒的敏感基线参考 Zhang 等^[20],敏感种群褐飞虱对啶虫脒的 LC₅₀ 值为 7.55 mg/L。

The susceptibility baseline of *N. lugens* to acetamiprid was cited from the Zhang et al^[20], the LC₅₀ value of the susceptible population of *N. lugens* to acetamiprid was 7.55 mg/L^[17].

表3 三氟苯嘧啶和啶虫脒对褐飞虱3龄若虫的联合毒力测定结果
Tab.3 Combined toxicity of triflumezopyrim and acetamiprid to the 3rd instar nymphs of *N. lugens*

三氟苯嘧啶:啶虫脒 Triflumezopyrim: acetamiprid	虫数 Number	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限)/ (mg·L ⁻¹) LC ₅₀ (95%CI)	卡方值(自由度) $\chi^2(df)$	共毒系数 CTC
1:0	315	1.54±0.19	0.50(0.37~0.65)	2.25(4)	-
0:1	270	2.68±0.39	47.30(39.90~55.12)	6.99(3)	-
A(1:1)	270	1.69±0.25	0.84(0.63~1.10)	1.15(3)	117.80
B(1:2)	270	1.10±0.18	1.06(0.63~1.56)	1.17(3)	138.58
C(1:5)	270	0.99±0.22	1.79(0.68~2.89)	1.75(3)	159.18
D(1:9)	270	1.24±0.23	3.07(1.51~4.59)	0.34(3)	148.72
E(2:1)	270	1.05±0.16	0.39(0.24~0.59)	6.12(3)	191.30
F(5:1)	315	1.43±0.20	0.43(0.29~0.57)	1.45(4)	139.24
G(9:1)	315	0.99±0.18	0.32(0.18~0.48)	3.69(4)	173.41

2.4 田间防治效果

在室内复配联合毒力测定的基础上,选择增效作用好的最佳配比(三氟苯嘧啶:啶虫脒2:1)进行田间试验,2个单剂和组合对褐飞虱的防治效果见表4。药后3d,三氟苯嘧啶·啶虫脒(2:1)对褐飞虱的防治效果为96.11%,显著高于啶虫脒和啶虫脒单剂的防效,表现出较好的速效性,三氟苯嘧啶单剂(86.86%)的防效显著高于啶虫脒单剂(60.04%)。用药7d后,三氟苯嘧啶·啶虫脒(2:1)和三氟苯嘧啶对褐飞虱的防治效果分别达到96.99%和95.46%,都显著高于啶虫脒单剂对褐飞虱的防效(72.43%),而三氟苯嘧啶·啶虫脒(2:1)和三氟苯嘧啶在7d后都有较高的防效,防效都在95%以上,没有显著性差异。

表 4 三氟苯嘧啶和啉虫脒的复配对褐飞虱的防治效果

Tab.4 Field control effects of *N. lugens* after used of mixed agentia of trifluorobenzidone with acetamiprid

药剂 Insecticide	667 m ² 有效 成分用量/g Rate of active ingredient	Before treatment	3 d		7 d	
		虫头数 Number of surviving insects	虫口减退率/% Reduced rate of surviving	平均防效/% Control efficacy	虫口减退率/% Reduced rate of surviving	平均防效/% Control efficacy
10% 三氟苯嘧啶悬浮剂 10% triflumezopyrim SC	1.5	1 152	88.01	86.86±0.22 ^b	94.95	95.46±0.34 ^a
3% 啉虫脒微乳剂 3% acetamiprid ME	7.5	1 357	65.03	60.04±1.51 ^c	74.34	72.43±1.38 ^b
三氟苯嘧啶·啉虫脒(2:1) Triflumezopyrim·acetamiprid (2:1)	4	606	97.10	96.11±0.075 ^a	97.56	96.99±0.14 ^a
清水对照 Control	-	1 180	10.13	-	6.74	-

表中数据为平均值±标准差,同列数据后不同小写字母表示差异显著(LSD), ($P<0.05$)。

Values are presented as means and standard errors (\pm SE) of three replicates, different lowercase and uppercase letters in the same column indicate significant differences (LSD), $P<0.05$.

3 讨论与结论

本研究采用稻苗浸渍法测定了贵州惠水、黄平和湄潭 3 个地区褐飞虱种群对三氟苯嘧啶和啉虫脒的敏感性。惠水、黄平和湄潭 3 个地区褐飞虱种群对三氟苯嘧啶的抗性倍数分别为 4.00、2.44 和 8.00,湄潭地区的褐飞虱种群对于三氟苯嘧啶产生了低水平抗性,Liao 等^[21]测定了中国不同地区褐飞虱种群对三氟苯嘧啶的敏感性,其中个别地区的褐飞虱种群对三氟苯嘧啶也产生了低水平抗性,大部分地区褐飞虱种群对三氟苯嘧啶仍处于敏感水平;同样贵州 3 个地区褐飞虱种群对啉虫脒的抗性倍数分别为 3.87、9.84 和 6.17,部分地区的褐飞虱种群对啉虫脒也存在低水平抗性。李荣玉等^[22]测定了 2013—2015 年贵州褐飞虱种群对啉虫脒的抗性,贵州 3 个地区褐飞虱种群对啉虫脒处于敏感状态,文中测定的 2019 年黄平和湄潭地区褐飞虱种群对啉虫脒达到了低水平抗性,黄平褐飞虱种群 2015—2019 年对啉虫脒的抗性水平升高;张小磊等^[23]发现湖北稻区褐飞虱种群对啉虫脒处于低水平抗性,与本研究结果相近。监测结果表明贵州褐飞虱种群对三氟苯嘧啶和啉虫脒敏感性较高,2 种药剂均能较好防治褐飞虱。

在杀虫剂抗性管理中,农药的轮换和混合使用是延缓抗药性的有效措施。轮换使用通常能延缓抗药性,然而这种方法一次施用并不一定能很好的消灭已经产生抗性的害虫。从理论上讲,一种二元混配的药剂能够使那些在一种杀虫剂下存活的害虫被另一种药剂杀死^[24]。笔者在测定三氟苯嘧啶和啉虫脒单剂对褐飞虱毒力的基础上,研究了三氟苯嘧啶和啉虫脒对褐飞虱的联合作用。结果显示,三氟苯嘧啶与啉虫脒的配比除了 1:1 比例表现为相加作用外,其余配比均表现为增效作用。其中三氟苯嘧啶:啉虫脒为 1:5 和 2:1 时,共毒系数较高,分别为 198.45 和 189.01,LC₅₀ 值分别为 1.79 mg/L 和 0.39 mg/L,2:1 配比对褐飞虱的毒力高,与 1:5 配比相比可降低农药的用量,所以选择三氟苯嘧啶:啉虫脒(2:1) 作为最佳配比进行田间试验验证。田间试验结果表明,组合药剂在施药 3 d 和 7 d 后防效分别为 97.10% 和 96.99%。

三氟苯嘧啶是杜邦(陶氏杜邦)研发的新型介离子类或两性离子类杀虫剂(mesoionic insecticides; zwitterionic insecticides),亦为新型嘧啶酮类化合物。三氟苯嘧啶作用于烟碱乙酰胆碱受体,但其作用机理不同于现有的新烟碱类杀虫剂^[25]。10% 三氟苯嘧啶悬浮剂不管用常规喷雾器喷雾,还是无人机喷雾对水稻褐飞虱都具有良好的防效^[26],诸茂龙等^[27]研究表明 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂对褐飞虱具有极好的速效性和持效性;10.6 g/L 三氟苯嘧啶悬浮剂对水稻褐飞虱、白背飞虱防治效果均较好^[28],19% 三氟苯嘧啶氯虫苯甲酰胺悬浮剂对水稻稻飞虱、水稻螟虫和稻纵卷叶螟具有良好的防效^[29],10% 三氟苯嘧啶悬浮剂对

水稻田内天敌蜘蛛安全^[30]。三氟苯嘧啶与溴虫酰胺等药剂的复配制剂对水稻田害虫有良好的防效^[31],因此,三氟苯嘧啶相关复配药剂的开发,对水稻害虫的防治具有重要意义。

致谢:贵州大学自然科学专项(特岗)科研基金项目[贵大特岗合字(2019)15号]同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] LAO S H, HUANG X H, HUANG H J, et al. Genomic and transcriptomic insights into the cytochrome P450 monooxygenase gene repertoire in the rice pest brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Genomics*, 2015, 106(5): 301-309.
- [2] 洪晓月, 丁锦华. 农业昆虫学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 87-93.
HONG X Y, DING J H. *Agricultural entomology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007: 87-93.
- [3] 程家安, 祝增荣. 2005年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析 [J]. *植物保护*, 2006, 32(4): 1-4.
CHEN J A, ZHU Z R. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005 [J]. *Plant protection*, 2006, 32(4): 1-4.
- [4] WEN Y C, LIU Z W, BAO H B, et al. Imidacloprid resistance and its mechanisms in field populations of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) in China [J]. *Pesticide biochemistry & physiology*, 2009, 94(1): 36-42.
- [5] BASS C, DENHOLM I, WILLIAMSON M S, et al. The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides [J]. *Pesticide biochemistry & physiology*, 2015, 121: 78-87.
- [6] GARROOD W T, ZIMMER C T, GORMAN K J, et al. Field-evolved resistance to imidacloprid and ethiprole in populations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* collected from across South and East Asia [J]. *Pest management science*, 2016, 72(1): 140-149.
- [7] TONG S M, FENG M G. A mixture of putative sodium salts of camptothecin and bamboo tar is a novel botanical insecticide against rice planthoppers and stem borers [J]. *Pest science*, 2016, 89(4): 1003-1011.
- [8] 何明远, 刘建宇, 罗香文, 等. 噻嗪酮与异丙威复配防治水稻稻飞虱室内毒力测定及田间药效试验 [J]. *湖南农业科学*, 2009(10): 72-74.
HE M Y, LIU J Y, LUO X W, et al. Toxicity test of buprofezin and isoprocarb for the control of rice planthopper and its efficacy in the field [J]. *Hunan agricultural sciences*, 2009(10): 72-74.
- [9] 谢化鹏, 宋宝安, 金林红, 等. 噻嗪酮、烯啶虫胺及其复配制剂对褐飞虱3龄若虫的毒力测定 [J]. *农药*, 2010, 49(1): 74-77.
XIE H P, SONG B A, JIN L H, et al. Toxicity measure of buprofezin, nitenpyram and their mixtures to the third instar nymphs of brown planthopper [J]. *Agrochemicals*, 2010, 49(1): 74-77.
- [10] 乔康, 王开运, 石绪根. 几种杀虫剂及其混剂对褐飞虱的毒力测定 [J]. *农药研究与应用*, 2010, 14(2): 19-21.
QIAO K, WANG K Y, SHI X G. Determination of the toxicity of insecticides and their combinations to *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. *Agrochemicals research & application*, 2010, 14(2): 19-21.
- [11] 张小磊, 李建洪, 朱福兴, 等. 烯啶虫胺和阿维菌素及其复配药剂对褐飞虱的田间防效 [J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(17): 4110-4112.
ZHANG X L, LI J H, ZHU F X, et al. Control effect of nitenpyram, avermectin and their mixture to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *Hubei agricultural sciences*, 2013, 52(17): 4110-4112.
- [12] 夏锦瑜, 王冬兰, 张志勇, 等. 几种农药及其混剂对褐飞虱和麦蚜的室内毒力测定 [J]. *江苏农业科学*, 2010(2): 120-121.
XIA J Y, WANG D L, ZHANG Z Y, et al. Determination of the toxicity of insecticides and their combinations to *Nilaparvata lugens* and wheat aphid [J]. *Jiangsu agricultural sciences*, 2010(2): 120-121.
- [13] 徐雪凌, 李明, 李荣玉, 等. 醚菊酯、噻虫嗪及其混配剂对贵州三地褐飞虱的毒力及田间防治效果 [J]. *江苏农业学报*, 2017, 33(1): 56-60.
XU X L, LI M, LI R Y, et al. Toxicity of ethofenprox, thiamethoxam and their mixtures on *Nilaparvata lugens* and the field control effect in Guizhou province [J]. *Jiangsu journal of agricultural sciences*, 2017, 33(1): 56-60.
- [14] 于居龙, 张国, 缪康, 等. 噻虫胺与吡蚜酮复配对稻飞虱的控制效应和稻田天敌安全性分析 [J]. *农学学报*, 2019, 9(2): 11-17.
YU J L, ZHANG G, MIAO K, et al. Clothianidin and pymetrozine: synergy on planthoppers and safety analysis on natural enemies [J]. *Journal of agriculture*, 2019, 9(2): 11-17.
- [15] 蔡永凤, 肖彩云, 吴帅, 等. 氟啶虫胺胍与茚虫威对褐飞虱的协同作用 [J]. *热带生物学报*, 2019, 10(3): 278-282.

- CAI Y F, XIAO C Y, WU S, et al. Synergistic effect of sulfoxaflor and indoxacarb on *Nilaparvata lugens* [J]. Journal of tropical biology, 2019, 10(3): 278-282.
- [16] 中华人民共和国农业部. 水稻褐飞虱抗药性监测技术规程: NY/T 1708—2009[S]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technological rules for monitoring insecticide resistance in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål): NY/T 1708—2009[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2009.
- [17] SUN Y, JOHNSON E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of economic entomology, 1960, 53(5): 887-892.
- [18] 张凯, 王志伟, 高聪芬. 稻飞虱的抗药性监测方法 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(2): 542-547.
ZHANG K, WANG Z W, GAO C F. Methods for rice planthopper resistance monitoring [J]. Chinese journal of applied entomology, 2013, 50(2): 542-547.
- [19] XU P, SHU R, GONG P, et al. Sublethal and transgenerational effects of triflumezopyrim on the biological traits of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) [J]. Crop protection, 2019, 117: 63-68.
- [20] ZHANG X L, LIU X Y, ZHU F, et al. Field evolution of insecticide resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) in China [J]. Crop protection, 2014, 58: 61-66.
- [21] LIAO X, XU P F, GONG P P, et al. Current susceptibilities of brown planthopper *Nilaparvata lugens* to triflumezopyrim and other frequently used insecticides in China [J]. Insect science, 2022, 28: 115-126.
- [22] 李荣玉, 李明, 吴小毛, 等. 贵州稻区褐飞虱种群对六种杀虫剂的抗性动态 [J]. 昆虫学报, 2016, 59(11): 1232-1237.
LI R Y, LI M, WU X M, et al. Dynamic changes of resistance to conventional insecticides in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. Acta entomologica Sinica, 2016, 59(11): 1232-1237.
- [23] 张小磊, 廖逊, 毛凯凯, 等. 湖北稻区褐飞虱田间种群对常用杀虫剂抗药性监测 [J]. 昆虫学报, 2016, 59(11): 1222-1231.
ZHANG X L, LIAO X, MAO K K, et al. Resistance monitoring of the field populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) to common insecticides in rice production areas of Hubei Province, central China [J]. Acta entomologica Sinica, 2016, 59(11): 1222-1231.
- [24] SHI X Q, XIONG M H, JIANG W H, et al. Efficacy of endosulfan and fipronil and joint toxic action of endosulfan mixtures against *Leptinotarsa decemlineata* (Say) [J]. Journal of pest science, 2012, 85(4): 519-526.
- [25] CORDOVA D, BENNER E A, SCHROEDDER M E, et al. Mode of action of triflumezopyrim: A novel mesoionic insecticide which inhibits the nicotinic acetylcholine receptor [J]. Insect biochemistry & molecular biology, 2016, 74: 32-41.
- [26] 韦世训, 周荣金, 王信霞. 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂防治水稻稻飞虱大田药效试验 [J]. 生物灾害科学, 2018, 41(2): 97-100.
WEI S X, ZHOU R J, WANG X X. Field efficacy trials of spray 10% triflumezopyrim on rice planthopper control [J]. Biological disaster science, 2018, 41(2): 97-100.
- [27] 诸茂龙, 李军. 几种药剂和配方对水稻褐飞虱的防效 [J]. 浙江农业科学, 2018, 59(6): 985-987.
ZHU M L, LI J. Control effects of several agents and formulations against brown planthopper of rice [J]. Journal of Zhejiang agricultural sciences, 2018, 59(6): 985-987.
- [28] 李壬湘, 徐向东, 高琛, 等. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的防治效果初报 [J]. 湖南农业科学, 2017(8): 61-63.
LI R X, XU X D, GAO C, et al. Preliminary report of control effect of triflumezopyrim on rice planthopper [J]. Hunan agricultural sciences, 2017(8): 61-63.
- [29] 梁锋, 谭德锦, 韩凌云, 等. 19% 三氟苯嘧啶·氯虫苯甲酰胺悬浮剂对水稻主要害虫的田间防治效果及对两种天敌的影响 [J]. 南方农业学报, 2017, 48(10): 1824-1831.
LIANG F, TAN D J, HAN L Y, et al. Control effects of 19% triflumezopyrim·chlorantraniliprole SC against main rice pests and its influence on two natural enemies [J]. Journal of southern agriculture, 2017, 48(10): 1824-1831.
- [30] 朱友理, 何东兵, 曹书培, 等. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的防效及对天敌的安全性 [J]. 中国植保导刊, 2018, 38(8): 71-74.
ZHU Y L, HE D B, CAO S P, et al. Controlling efficiency of trifluorobenzidine against rice plant hopper and its safety to natural enemy [J]. China plant protection, 2018, 38(8): 71-74.
- [31] 唐涛, 马明勇, 符伟, 等. 三氟苯嘧啶·溴氰虫酰胺对水稻稻飞虱及螟虫的田间防治效果评价 [J]. 植物保护, 2019, 45(3): 215-221.
TANG T, MA M Y, FU W, et al. Evaluation of control efficacy of triflumezopyrim plus cyantraniliprole against rice planthoppers and stem borers under field conditions [J]. Plant protection, 2019, 45(3): 215-221.