

氟啶虫胺腈与其他药剂复配对苹果黄蚜的联合毒力及效果评价

郭晓君^{1,2}, 封云涛^{1,2}, 李 娅^{1,2}, 庾 琴^{1,2}, 李光玉¹, 张润祥^{1,2*}

(1. 山西省农业科学院植物保护研究所, 太原 030031; 2. 农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 太原 030031)

摘要 针对苹果黄蚜防治药剂类型单一、药剂敏感性下降等问题,采用浸叶法开展几种药剂对苹果黄蚜室内毒力测定,并用共毒系数法进行联合毒力评价。结果显示,氟啶虫胺腈和阿维菌素在8:1~1:8、氟啶虫胺腈和吡虫啉1:1、氟啶虫胺腈和高效氯氟氰菊酯在4:1~1:4配比范围对苹果黄蚜有增效作用,3种组合最佳增效比均为1:1。田间应用结果显示,药后3~21 d,22%氟啶虫胺腈SC单剂对苹果黄蚜防效达94.77%~99.40%;22%氟啶虫胺腈SC分别与5%阿维菌素EC、70%吡虫啉WG和2.5%高效氯氟氰菊酯EW按有效成分1:1混配后对苹果黄蚜防效达86.43%~97.00%,均显著高于相应单剂对照,持效期可达21 d。推荐采用氟啶虫胺腈单剂及氟啶虫胺腈与阿维菌素、吡虫啉或高效氯氟氰菊酯混配剂作为替代药剂防治苹果黄蚜。

关键词 苹果黄蚜; 氟啶虫胺腈; 药剂复配; 联合毒力; 效果评价

中图分类号: S 433.3, S 482.3 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwbh.2019174

Co-toxicities and efficacy evaluation of sulfoxaflor mixed with other insecticides on *Aphis citricola*

GUO Xiaojun^{1,2}, FENG Yuntao^{1,2}, LI Ya^{1,2}, YU Qin^{1,2}, LI Guangyu¹, ZHANG Runxiang^{1,2*}

(1. Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China;

2. Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Taiyuan 030031, China)

Abstract Aiming at the problems of few insecticide varieties and the decreased insecticide sensitivity, the combined toxicities of several insecticides to *Aphis citricola* were measured by slide slip method and evaluated by co-toxicity coefficient method. The results showed that the mixture ratios of sulfoxaflor and abamectin in 8:1~1:8, sulfoxaflor and imidacloprid in 1:1, sulfoxaflor and *lambda*-cyhalothrin in 4:1~1:4 were synergistic combinations to *A. citricola*, and the optimum synergistic ratio of the three combinations was 1:1. Field trials indicated that the control efficiency of sulfoxaflor 22% SC against *A. citricola* were 94.77%~99.40% after 3 to 21 days, and that of the mixture of sulfoxaflor 22% SC with abamectin 5% EC, imidacloprid 70% WG or *lambda*-cyhalothrin 2.5% EW was 86.43%~97.00%, significantly higher than that of the single control agent, and the persistence was 21 days. Accordingly, sulfoxaflor and the three synergistic combinations could be recommended as alternative insecticides to control *A. citricola*.

Key words *Aphis citricola*; sulfoxaflor; insecticide mixture; co-toxicity; efficacy evaluation

苹果黄蚜 *Aphis citricola* van der Goot 又名绣线菊蚜,以若蚜和成蚜在果树新梢群集汲取汁液、分泌蜜露至叶面上,影响果树光合作用,严重时引起早期落叶、影响果树生长态势。苹果黄蚜发生期长,从5月伊始至9月可贯穿苹果整个生长周期,目前已成为苹果树最主要害虫之一^[1-2]。苹果黄蚜常用化

学防治药剂有新烟碱类、拟除虫菊酯类、有机磷类等,由于长期使用单一药剂导致害虫对药剂敏感性下降、抗性升高、防效降低;如封云涛等研究表明马拉硫磷对苹果黄蚜的相对毒力不足啶虫脒的1/400^[3],彭波等研究表明山东地区多个苹果黄蚜种群对顺式氯氰菊酯和氧化乐果产生了中至高水平抗性^[4]。

* 收稿日期: 2019-04-09 修订日期: 2019-06-12

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0200505);山西省农业科学院农业创新研究课题(YCX2018D2YS18)

* 通信作者 E-mail: 973588211@qq.com

杀虫剂合理复配能有效扩大杀虫谱、提高杀虫效率。关键在于选择杀虫机理不同、无交互抗性且能发挥增效作用的药剂进行复配,以替代传统药剂或与传统药剂轮换使用,这对实现农药减施增效、延缓害虫抗性发展具有重要意义。

氟啶虫胺腈(sulfoxaflor)是近年来由美国陶氏益农公司(Dow AgroSciences)开发的砜亚胺类(sulfoximine)杀虫剂^[5-6],现已登记和报道用于防治麦蚜^[7]、桃蚜^[8]、棉蚜^[9]、烟粉虱^[10]、柑橘木虱^[11]、绿盲蝽^[12]等多种刺吸式口器害虫。氟啶虫胺腈通过作用于乙酰胆碱受体(nAChR)发挥杀虫作用^[6],但它与吡虫啉等新烟碱类药剂具有不同的结构与结合位点^[13],且有研究证实氟啶虫胺腈不能被与拟除虫菊酯、有机磷和新烟碱类杀虫剂抗药性有关的单氧化酶代谢,因此氟啶虫胺腈与这些类型的杀虫剂均不存在交互抗性^[14]。本文通过测定氟啶虫胺腈等几种药剂对苹果黄蚜的毒力,评价氟啶虫胺腈与其他药剂复配对苹果黄蚜的联合作用,旨在为防治苹果黄蚜提供用药参考。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

试验于2018年5月13日—5月29日期间开展。供试蚜虫采集于运城市临猗县翟村苹果园,该果园管理粗放、试验年份未用任何农药。采集时选取个体大小一致、健康的无翅成蚜,试验当日现采现用。

1.2 供试药剂

室内毒力测定:95%氟啶虫胺腈(sulfoxaflor),苏州佳辉化工有限公司;96%阿维菌素(abamectin),河北威远生物化工有限公司;97.3%吡虫啉(imidacloprid),江苏常隆农化有限公司;97.6%啶虫脒(acetamiprid),江苏农博生物科技有限公司;96%噻虫嗪(thiamethoxam),江苏皇马农化有限公司;96.1%高效氯氟氰菊酯(*lambda*-cyhalothrin),江苏皇马农化有限公司。

田间药效试验:22%氟啶虫胺腈悬浮剂,美国陶氏益农公司;5%阿维菌素乳油,河北威远生物化工股份有限公司;2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂,先正达南通作物保护有限公司;70%吡虫啉水分散粒剂,河北威远生物化工股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 室内毒力测定

采用浸叶法^[15]测定药剂对苹果黄蚜的毒力。

将药剂用丙酮溶解后,配制成一定浓度的母液,再稀释成5~7个浓度梯度。采集苹果幼嫩枝叶于药液中浸泡5 s取出,用吸水纸吸取多余药液,挑选个体一致的健康无翅成蚜放于叶片上,置于培养皿中饲养,于24 h后检查死亡率。每处理重复4次,每重复不少于25头成蚜,以蚜虫不能自主爬行为死亡判断标准,记录总虫数和死虫数。

1.3.2 药剂联合毒力测定

根据1.3.1测定结果,将氟啶虫胺腈分别与供试药剂中毒力较高的药剂进行复配。每个复配组合确定5个质量配比,按选定的质量比配制一定浓度母液,再稀释成5~7个浓度梯度。其余步骤同1.3.1。

1.3.3 田间试验设计

根据1.3.2联合毒力评价结果,选择所试各组合最佳配比分别设置高、低两种浓度进行田间防效试验,同时设各单剂为对照。试验地点设在山西省临汾市大阳镇,于2018年7月采用静电喷雾器在果树叶面均匀喷雾1次,供试苹果树为5年生‘红富士’,每小区3~5株,每处理重复4次。施药前在树冠东、南、西、北4个方位各随机取2个枝条,选取各枝条顶稍3~5片叶挂牌,于施药后3、7、15、21 d调查苹果黄蚜活虫数,以虫口减退率、防治效果进行对比。

1.4 数据分析

1.4.1 室内毒力测定结果分析

根据Probit几率值分析法计算各药剂的毒力回归方程、LC₅₀及95%置信限等。对苹果黄蚜的联合作用评价,采用Sun等^[16]方法计算复配药剂的共毒系数,以CTC表示,当CTC≥120时表示具有增效作用,CTC≤80表示具有拮抗作用;80<CTC<120时表示具有相加作用。

1.4.2 田间试验数据分析

按下列公式计算施药后苹果黄蚜的虫口减退率和防治效果,采用Excel和SPSS 18.0进行数据分析,用Duncan氏新复极差法进行显著性分析。

$$\text{虫口减退率} = \frac{\text{药前虫口基数} - \text{药后存活虫口数}}{\text{药前虫口基数}} \times 100\%;$$

$$\text{防治效果} = \frac{\text{处理组虫口减退率} - \text{对照组虫口减退率}}{1 - \text{对照组虫口减退率}} \times 100\%.$$

2 结果与分析

2.1 几种药剂对苹果黄蚜的室内毒力

表1表明,氟啶虫胺腈、阿维菌素、吡虫啉和高效氯氟氰菊酯等4类6种药剂对苹果黄蚜的毒力由高到低依次为:阿维菌素>氟啶虫胺腈>吡虫啉>啶虫脒>高效氯氟氰菊酯>噻虫嗪。其中,阿维菌素对苹果黄蚜毒力最高,其致死中浓度为1.40 mg/L;氟啶虫胺腈对苹果黄蚜的LC₅₀为24.38 mg/L,毒力较高。在三种新烟碱类药剂中,吡虫啉对苹果黄蚜的LC₅₀为28.27 mg/L,毒力高于啶虫脒和噻虫嗪。此外高效氯氟氰菊酯对苹果黄蚜LC₅₀为41.43 mg/L,也有较高的毒力。

表1 不同类型药剂对苹果黄蚜的毒力

Table 1 Toxicity of different insecticides against *Aphis citricola*

药剂 Insecticide	毒力回归方程 Regression equation	斜率±标准误 Slope±SE	卡方 (自由度) $\chi^2(df)$	LC ₅₀ (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence interval)
95%氟啶虫胺腈 TC sulfoxaflor 95% TC	$y=2.01x+2.21$	2.01±0.028	25.45(5)	24.38(21.50~27.64)
96%阿维菌素 TC abamectin 96% TC	$y=2.71x+4.61$	2.71±0.027	10.67(3)	1.40(1.23~1.58)
97.1%吡虫啉 TC imidacloprid 97.1% TC	$y=2.32x+1.63$	2.32±0.024	7.90(5)	28.27(25.37~31.50)
97.6%啶虫脒 TC acetamiprid 97.6% TC	$y=1.36x+2.82$	1.36±0.132	8.53(4)	39.70(29.52~53.40)
96%噻虫嗪 TC thiamethoxam 96% TC	$y=1.44x+2.22$	1.44±0.042	5.84(3)	84.62(70.08~102.18)
96.1%高效氯氟氰菊酯 TC lambda-cyhalothrin 96.1% TC	$y=2.06x+1.67$	2.06±0.035	2.70(3)	41.43(35.38~48.53)

2.2 氟啶虫胺腈与其他药剂复配对苹果黄蚜的联合毒力

各配比组合对苹果黄蚜的联合毒力结果见表2~表4。氟啶虫胺腈与阿维菌素在1:8~8:1配比范围内对苹果黄蚜的共毒系数为154.29~232.42,所试配比均显示为增效作用,其中1:1时

共毒系数最高为232.42。氟啶虫胺腈和吡虫啉配比为1:1时其共毒系数122.21,为增效作用;其他配比均表现为相加作用。氟啶虫胺腈和高效氯氟氰菊酯在1:4~4:1时共毒系数为139.60~187.12,全部为增效作用,其中配比为1:1时共毒系数最高,为187.12。

表2 氟啶虫胺腈和阿维菌素复配对苹果黄蚜的联合毒力¹⁾

Table 2 Co-toxicity of sulfoxaflor and abamectin against *Aphis citricola*

复配组合 Combination	配比(m/m) Ratio	毒力回归方程 Regression equation	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限)/ mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence interval)	卡方 (自由度) $\chi^2(df)$	共毒系数 (CTC) Co-toxicity coefficient	增效作用评价 Evaluation of synergistic effect
氟啶虫胺腈: 阿维菌素	8:1 4:1	$y=4.53x+2.11$ $y=2.79x+3.42$	4.53±0.016 2.79±0.023	4.33(4.03~4.66) 3.68(3.33~4.07)	2.34(3) 45.21(3)	198.94 154.29	增效 增效
sulfoxaflor: abamectin	1:1 1:4 1:8	$y=2.48x+4.86$ $y=2.27x+5.19$ $y=2.73x+5.37$	2.48±0.028 2.27±0.029 2.73±0.027	1.14(1.00~1.29) 0.82(0.72~0.94) 0.73(0.65~0.83)	26.14(5) 22.01(4) 3.08(4)	232.42 209.51 212.75	增效 增效 增效

1) 共毒系数(CTC)≥120为增效作用;CTC≤80为拮抗作用;80<CTC<120表现为相加作用,下同。

Co-toxicity coefficient (CTC)≥120 indicated synergistic effect, CTC≤80 indicated antagonistic effect; 80<CTC<120 indicated additive effect. The same applies below.

表3 氟啶虫胺腈和吡虫啉复配对苹果黄蚜的联合毒力

Table 3 Co-toxicity of sulfoxaflor and imidacloprid against *Aphis citricola*

复配组合 Combination	配比(m/m) Ratio	毒力回归方程 Regression equation	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限)/ mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence interval)	卡方 (自由度) $\chi^2(df)$	共毒系数 (CTC) Co-toxicity coefficient	增效作用评价 Evaluation of synergistic effect
氟啶虫胺腈: 吡虫啉	4:1 2:1	$y=1.62x+2.72$ $y=1.85x+2.36$	1.62±0.034 1.85±0.029	25.48(21.90~29.64) 26.94(23.60~30.75)	7.75(4) 9.51(4)	98.40 94.86	相加 相加
sulfoxaflor: imidacloprid	1:1 1:2 1:4	$y=2.02x+2.31$ $y=1.93x+2.34$ $y=1.84x+2.46$	2.02±0.025 1.93±0.031 1.84±0.030	21.42(19.14~23.98) 24.02(20.86~27.66) 24.07(21.04~27.54)	18.71(5) 6.31(3) 6.61(4)	122.21 111.73 113.80	增效 相加 相加

表 4 氟啶虫胺腈和高效氯氟氰菊酯复配对苹果黄蚜的联合毒力

Table 4 Co-toxicity of sulfoxaflor and *lambda-cyhalothrin* against *Aphis citricola*

复配组合 Combination	配比(m/m) Ratio	毒力回归方程 Regression equation	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限)/ mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence interval)	卡方 (自由度) $\chi^2(df)$	共毒系数 (CTC) Co-toxicity coefficient	增效作用评价 Evaluation of synergistic effect
氟啶虫胺腈: 高效氯氟氰菊酯 sulfoxaflor: <i>lambda-cyhalothrin</i>	4:1 2:1 1:1 1:2 1:4	$y=2.29x+2.19$ $y=2.98x+1.43$ $y=1.92x+2.67$ $y=1.78x+2.55$ $y=1.90x+2.62$	2.29 ± 0.024 2.98 ± 0.020 1.92 ± 0.031 1.78 ± 0.039 1.90 ± 0.036	16.79(15.08~18.70) 15.73(14.37~17.22) 16.41(14.30~18.83) 24.07(20.17~28.72) 17.75(15.09~20.89)	10.03(5) 5.20(5) 5.60(4) 10.64(5) 22.50(5)	158.19 179.68 187.12 139.60 184.04	增效 增效 增效 增效 增效

2.3 增效药剂组合田间防效

氟啶虫胺腈及其各增效组合对苹果黄蚜的田间防效结果见表 5。在所试各处理中,22%氟啶虫胺腈悬浮剂单剂对苹果黄蚜防效最高,在22 mg/kg用量下对苹果黄蚜药后3~21 d防效可达94.77%~98.99%,用量为44 mg/kg时防效可达99.40%,表现出优异的速效性和持效性。3种增效组合中,氟啶虫胺腈与阿维菌素1:1组合对苹果黄蚜药后3~21 d防效可达86.43%~95.64%,其中在药后15 d防效达到最高,药后3~15 d防效显著高于阿维菌

素单剂,药后21 d防效与阿维菌素单剂差异不显著;氟啶虫胺腈与吡虫啉1:1组合防治苹果黄蚜药后3~21 d防效可达87.34%~97.00%,同样在药后15 d防效达到最高,且各时期防效均显著高于吡虫啉单剂;氟啶虫胺腈与高效氯氟氰菊酯1:1组合对苹果黄蚜药后3~21 d防效可达91.35%~96.21%,显著高于高效氯氟氰菊酯单剂,但在药后7 d防效最高,药后15 d开始下降,表明其速效性更好;3种增效组合之间在各时期防效差异均不显著。

表 5 氟啶虫胺腈及其混配组合对苹果黄蚜的田间防效

Table 5 Control effect of sulfoxaflor and its combination with other pesticide on *Aphis citricola* in the field

药剂处理 Pesticide treatment	有效成分用量/ mg·kg ⁻¹		防治效果/% Control efficacy			
	Active component content	药后3 d 3 days after application	药后7 d 7 days after application	药后15 d 15 days after application	药后21 d 21 days after application	
22%氟啶虫胺腈 SC sulfoxaflor 22% SC	22	94.77 ab	97.22 ab	98.99 a	96.17 ab	
	44	97.16 a	98.42 a	99.40 a	97.52 a	
5%阿维菌素 EC abamectin 5% EC	5	32.30 d	86.46 e	90.61 c	88.75 d	
2.5%高效氯氟氰菊酯 EW <i>lambda-cyhalothrin</i> 2.5% EW	10	42.27 c	89.89 de	87.80 c	78.25 e	
70%吡虫啉 WG imidacloprid 70% WG	70	28.98 d	87.09 e	90.52 c	86.77 d	
氟啶虫胺腈:阿维菌素=1:1 sulfoxaflor:abamectin=1:1	氟3+阿3	86.43 b	91.91 cd	94.84 b	90.42 cd	
	氟4+阿4	89.77 ab	92.46 cd	95.64 ab	91.18 bcd	
氟啶虫胺腈:吡虫啉=1:1 sulfoxaflor:imidacloprid=1:1	氟12+吡12	87.34 b	93.23 bcd	96.67 ab	94.12 abc	
	氟16+吡16	90.13 ab	94.31 abcd	97.00 ab	95.44 abc	
氟啶虫胺腈:高效氯氟氰菊酯=1:1 sulfoxaflor: <i>lambda-cyhalothrin</i> =1:1	氟6+高6	92.79 ab	95.41 abc	94.33 b	93.81 abc	
	氟8+高8	91.35 ab	96.21 abc	96.16 ab	92.51 abcd	

3 结论与讨论

吡虫啉作为新烟碱类的典型代表,作用机理为烟碱类乙酰胆碱受体(nAChR)激动剂,是目前防治苹果黄蚜的主要药剂;阿维菌素是抗生素类生物源农药,主要作用靶标为γ-氨基丁酸受体,通过激活氯离子通道抑制神经传递,具有胃毒和触杀活性^[17],其杀虫活性高、用量少;高效氯氟氰菊酯主要影响神

经膜上的钠离子通道,阻断神经传导使昆虫麻痹而死,杀虫谱广、速效性好^[18];氟啶虫胺腈同为乙酰胆碱受体激动剂,但其对新烟碱类如吡虫啉的作用位点亲合力低,与吡虫啉有不同的作用机理^[5],且在北方果区尚未大面积推广使用,抗性风险程度低。目前,仅有少数关于氟啶虫胺腈及其混配剂的田间防效研究,如武怀恒等^[19]调查发现40%氟啶虫胺腈·乙基多杀菌素混剂对水稻纵卷叶螟和水稻褐飞虱的

防效优异、持效期长;陈慈相等^[11]研究表明,氟啶虫胺腈分别与甲基毒死蜱和毒死蜱田间混配防治柑橘木虱若虫和成虫效果较好。除此之外,国内关于氟啶虫胺腈与其他药剂的复配研究未见报道。

本研究结果显示,氟啶虫胺腈对苹果黄蚜的毒力较高,其 LC_{50} 为 24.38 mg/L,该结果与宫庆涛等^[20]的研究结果相近,田间防效也表明 22% 氟啶虫胺腈 SC 药后 3~21 d 对苹果黄蚜防效均为各处理中最优。氟啶虫胺腈分别与阿维菌素、吡虫啉和高效氯氟氰菊酯 1:1 混配,对苹果黄蚜药后 3 d 防效为 86.43%~92.79%,远高于阿维菌素、吡虫啉和高效氯氟氰菊酯单剂 28.98%~42.27% 的防效,表明氟啶虫胺腈在提高药剂速效性方面效果显著;药后 21 d 各组合防效仍能达到 90% 以上,持效性良好;从药剂使用量来看,与阿维菌素、吡虫啉和高效氯氟氰菊酯单剂相比,3 种增效组合能分别减少阿维菌素和高效氯氟氰菊酯有效成分用量 20%~40%、减少吡虫啉有效成分用量 77.14%~82.86%,可极大程度延缓抗性发展。室内毒力测定显示阿维菌素对苹果黄蚜有优异的活性,但田间防效显示 5% 阿维菌素 EC 药后 3 d 对苹果黄蚜防效仅为 32.30%,这可能与阿维菌素作用方式有关,在田间虫情发生情况复杂的条件下,采用田间应用结果来指导用药更为实际。

综上所述,氟啶虫胺腈单剂以及与阿维菌素、吡虫啉和高效氯氟氰菊酯复配组合可以作为防治苹果黄蚜高效药剂与其他药剂轮换使用。应用时要综合考虑防治成本、害虫发生程度、天敌及当地用药水平等因素,害虫发生程度一般时,推荐氟啶虫胺腈分别与阿维菌素、吡虫啉或高效氯氟氰菊酯以 1:1 混配轮换使用,可实现节约成本、提高防效、降低抗性风险,剂量选择应就低不就高;害虫发生较重时,推荐使用氟啶虫胺腈单剂 22 mg/kg,可快速压低虫口密度。根据周浩等^[21]的研究,氟啶虫胺腈对地熊蜂 24 h 经口毒性为中毒,因此施用时应注意采取措施降低其对蜜蜂的毒性风险,对于苹果类等开花作物,最好于花期后使用^[5]。

本研究采用的室内毒力测定方法可以直观反映药剂对害虫的毒力,快速评价复配药剂的联合作用,但对药剂之间的协同增效机制尚不明确。已有研究表明氟啶虫胺腈在亚致死剂量下可诱导绿盲蝽谷胱甘肽转移酶(GST)抑制羧酸酯酶(CarE)^[22],而羧酸酯酶作为主要解毒酶参与棉蚜对吡虫啉的代谢^[23]和大豆蚜虫对高效氯氟氰菊酯的代谢^[24]。据此若

能从生物化学角度阐明苹果黄蚜对杀虫剂的解毒代谢机制,对开展药剂复配将更具有参考价值,这也是我们下一步的研究方向。

参考文献

- [1] 张存环,王雅丽,李兰,等.陕西关中地区苹果黄蚜对3种杀虫剂的抗药性评估[J].陕西农业科学,2018,64(10):29~31.
- [2] 庚琴,王振,封云涛,等.不同杀虫剂对苹果黄蚜的毒力及复配研究[J].植物保护,2013,39(3):178~181.
- [3] 封云涛,庚琴,王振,等.山西运城地区苹果黄蚜对7种杀虫剂的敏感性[J].山西农业科学,2012,40(11):1214~1216.
- [4] 彭波,司树鼎,栾炳辉,等.山东省主要苹果产区苹果黄蚜抗药性水平监测[J].中国果树,2010(5):48~51.
- [5] 朱亚娟,顾林玲.作用于烟碱乙酰胆碱受体的杀虫剂新品种的应用开发进展[J].现代农药,2018,17(4):1~7.
- [6] 于福强,黄耀师,苏州,等.新颖杀虫剂氟啶虫胺腈[J].农药,2013,52(10):753~755.
- [7] 张帅,高希武,张绍明,等.氟啶虫胺腈对麦蚜的防治效果[J].植物保护,2016,42(2):229~232.
- [8] 郭静静,史雪岩,高希武.桃蚜对5种新烟碱类杀虫剂及氟啶虫胺腈抗性的快速检测方法[J].农药学学报,2017,19(5):555~562.
- [9] 许冬,丛胜波,武怀恒,等.氟啶虫胺腈对棉蚜的生物活性及对棉花的安全性[J].植物保护,2016,42(1):219~223.
- [10] 荆改龙,周成松,张以和,等.8种不同类型杀虫剂对MED烟粉虱隐种的防治效果及其残留检测[J].植物保护,2018,44(3):207~213.
- [11] 陈慈相,谢磊,刘叙杆,等.特福力(22%氟啶虫胺腈悬浮剂)混配剂防治柑桔木虱的效果研究[J].现代园艺,2015(8):143~145.
- [12] 董松,李丽莉,卢增斌,等.5种新烟碱类杀虫剂对绿盲蝽的室内毒力测定[J].山东农业科学,2018,50(1):115~117.
- [13] 王立,崔丽,王芹芹,等.氟啶虫胺腈的杀虫作用机理及亚致死剂量影响昆虫生殖的研究进展[C]//绿色植保与乡村振兴—中国植物保护学会 2018 年学术年会论文集.北京:中国农业科学技术出版社,2018:323~331.
- [14] THOMAS C S, GERALD B W, MICHAEL R L, et al. Sulfoxaflor and the sulfoximine insecticides: Chemistry, mode of action and basis for efficacy on resistant insects [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 107(1): 1~7.
- [15] 陈年春.农药生物测定技术[M].北京:北京农业大学出版社,1991:30~40.
- [16] SUN Yunpei, JOHNSON E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53(5): 887~892.
- [17] 陈雪林.西花蓟马对阿维菌素的抗性选育及抗性机制研究[D].扬州:扬州大学,2011.
- [18] 郭朝阳.烟碱·高效氯氟氰菊酯复配制剂的研制[D].郑州:河南农业大学,2013.

(下转 252 页)

参考文献

- [1] 刘易科, 佟汉文, 高春保, 等. 小麦赤霉病抗性改良研究进展 [J]. 麦类作物学报, 2016, 36(1): 51–57.
- [2] ATANASSOV Z, NAKAMURA C, MORI N, et al. Mycotoxin production and pathogenicity of *Fusarium* species and wheat resistance to *Fusarium* head blight [J]. Canadian Journal of Botany, 1994, 72(2): 161–167.
- [3] CHEN Changjun, WANG Jianxin, LUO Qingquan, et al. Characterization and fitness of carbendazim-resistant strains of *Fusarium graminearum* (wheat scab) [J]. Pest Management Science, 2007, 63(12): 1201–1207.
- [4] 王裕中, 米勤 J D. 中国小麦赤霉病菌优势种——禾谷镰刀菌产毒素能力的研究 [J]. 真菌学报, 1994, 13(3): 229–234.
- [5] 陈云, 王建强, 杨荣明, 等. 小麦赤霉病发生危害形势及防控对策 [J]. 植物保护, 2017, 43(5): 11–17.
- [6] 程顺和, 张勇, 别同德, 等. 中国小麦赤霉病的危害及抗性遗传改良 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 938–942.
- [7] LIU Xin, YIN Yanni, WU Jianbing, et al. Identification and characterization of carbendazim-resistant isolates of *Gibberella zeae* [J]. Plant Disease, 2010, 94(9): 1137–1142.
- [8] 王建新, 周明国, 陆悦健, 等. 小麦赤霉病菌抗药性群体动态及其治理药剂 [J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(1): 43–47.
- [9] DARDIS J, WALSH E J. Studies on the effectiveness of metconazole in controlling *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Cereal Research Communications, 2000, 28(4): 443–448.
- [10] MENNITI A M, PANCALDI D, MACCAFERRI M, et al. Effect of fungicides on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in durum wheat grain [J]. European Journal of Plant Pathology, 2003, 109(2): 109–115.
- [11] HAIDUKOWSKI M, PASCALE M, PERRONE G, et al. Effect of fungicides on the development of *Fusarium* head blight, yield and deoxynivalenol accumulation in wheat inoculated under field conditions with *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(2): 194–198.
- [12] 徐炜枫, 闫晓阳, 刁春友. 叶菌唑在小麦中的最终残留研究 [J]. 现代农药, 2016, 15(6): 47–49.
- [13] 李鸿筠, 刘浩强, 戴建修, 等. 咪鲜胺对不同品种柑桔的保鲜效果评价 [J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 21–23.
- [14] 胡军. 防治白紫根霉病杀菌剂氟啶胺及其新施用方法 [J]. 世界农药, 2003, 25(2): 47–48.
- [15] KALAMARAKIS A E, PETSIKOS-PANAGIOTAROU N, MAVROIDIS B, et al. Activity of fluazinam against strains of *Botrytis cinerea* resistant to benzimidazoles and/or dicarboximides and to a benzimidazole-phenylcarbamate mixture [J]. Journal of Phytopathology, 2000, 148(7/8): 449–455.
- [16] 易龙, 肖崇刚, 马冠华, 等. 防治烟草赤星病有益内生细菌的筛选及抑菌作用 [J]. 微生物学报, 2004, 44(1): 19–22.
- [17] 赵斌, 何绍江. 微生物学实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 251.
- [18] WADLEY F M. Experimental statistics in entomology [M]. Graduate School Press, U. S. Dept of Agriculture, 1967: 387.
- [19] 中华人民共和国农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则 第15部分: 杀菌剂防治小麦赤霉病 NY/T 1464. 15—2007 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [20] 刘易科, 佟汉文, 朱展望, 等. 小麦赤霉病抗性机理研究进展 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1476–1488.
- [21] 戴大凯, 贾晓静, 周明国, 等. 小麦赤霉病菌多菌灵抗性群体的扩散路径分析: 基于致病菌种类及所产毒素化学型鉴定和抗药性检测的时序性 [J]. 农药学学报, 2013, 15(3): 279–285.
- [22] 韩青梅, 康振生, 段双科. 戊唑醇与羟菌唑对小麦赤霉病的防治效果及对小麦产量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报, 2005, 33(7): 40–44.
- [23] SIRANIDOU E, BUCHENAUER H. Chemical control of *Fusarium* head blight on wheat [J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2001, 108(3): 231–243.
- [24] MATTHIES A, BUCHENAUER H. Effect of tebuconazole (Folicur) and prochloraz (Sportak) treatments on *Fusarium* head scab development, yield and deoxynivalenol (DON) content in grains of wheat following artificial inoculation with *Fusarium culmorum* [J]. Journal of Plant Diseases and Protection, 2000, 107(1): 33–52.
- [25] JONES R K. Assessments of *Fusarium* head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment [J]. Plant Disease, 2000, 84(9): 1021–1030.
- [26] 吉沐祥, 陈宏洲, 姚克兵, 等. 咪鲜胺与氟环唑及其混配对小麦赤霉病菌的抑制作用 [J]. 江西农业学报, 2013, 25(10): 68–70.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 247 页)

- [19] 武怀恒, 姜干明, 黄民松, 等. 40% 氟啶虫胺腈·乙基多杀菌素水分散粒剂防治水稻纵卷叶螟和飞虱田间药效 [J]. 华中昆虫研究, 2015, 11: 189–193.
- [20] 宫庆涛, 武海斌, 张坤鹏, 等. 氟啶虫胺腈对苹果黄蚜室内毒力测定及田间防治效果 [J]. 农药, 2014, 53(10): 759–761.
- [21] 周浩, 邵菖南, 翟一凡, 等. 氟啶虫胺腈、乙基多杀菌素及其混剂对地熊蜂的毒性及风险评估 [J]. 昆虫学报, 2017, 60(7): 809–816.

- [22] 董松. 呋虫胺和氟啶虫胺腈对绿盲蝽的亚致死效应 [D]. 济南: 山东农业大学, 2018.
- [23] 郭天凤, 史雪岩, 高希武, 等. 棉蚜吡虫啉、啶虫脒不同品系解毒酶活性测定和增效剂作用的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(3): 388–394.
- [24] 毕锐. 大豆蚜抗高效氯氟氰菊酯的分子机制及差异蛋白质组学分析 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.

(责任编辑: 杨明丽)