

氟啶虫酰胺对 3 种水生生物的急性毒性

罗泽伟¹, 孔玄庆^{2,3}, 雷琪¹, 朱雄梅¹, 金晨钟^{1*}

(1. 湖南人文科技学院农田杂草防控技术与应用协同创新中心, 湖南娄底 417000; 2. 湖南化工研究院国家农药创制工程研究中心/湖南省农用化学品重点实验室, 湖南长沙 410014; 3. 湖南化研院检测技术有限公司, 湖南长沙 410014)

摘要 [目的]了解氟啶虫酰胺对 3 种水生生物的毒性风险。[方法]在实验室条件下,以斜生栅藻、大型溞和斑马鱼为研究对象,参照《化学农药环境安全评价试验准则》和 OECD 化学物质对水生生物毒性试验方法,研究氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的急性毒性。[结果]氟啶虫酰胺对斜生栅藻的 48 h- E_{50} 、 C_{50} 为 77.28 mg/L, 72 h- E_{50} 、 C_{50} 为 60.16 mg/L, 对大型溞的 24 h- EC_{50} 为 30.04 mg/L, 48 h- EC_{50} 为 25.27 mg/L, 对斑马鱼的 48 h- LC_{50} 为 91.07 mg/L, 72 h- LC_{50} 为 73.91 mg/L, 96 h- LC_{50} 为 73.91 mg/L。根据毒性等级划分标准,氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的毒性等级均为低毒。[结论]氟啶虫酰胺对水生生物毒性较低,使用安全。

关键词 氟啶虫酰胺;斜生栅藻;大型溞;斑马鱼;急性毒性

中图分类号 S482.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)17-0124-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.17.031

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Acute Toxicity of Fludinamide to Three Aquatic Organisms

LUO Ze-wei¹, KONG Xuan-qing^{2,3}, LEI Qi¹ et al (1. Collaborative Innovation Center of Farmland Weed Control Technology and Application, Hunan University of Humanities and Science, Loudi, Hunan 417000; 2. National Engineering Research Center for Agrochemicals/Hunan Provincial Key Laboratory of Agrochemicals, Hunan Research Institute of Chemical Industry, Changsha, Hunan 410014; 3. Hunan Research Institute of Chemical Industry Testing Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan 410014)

Abstract [Objective] To understand the toxicity risk of flonicamid to three kinds of aquatic organisms. [Method] Under laboratory conditions, *Scenedesmus obliquus*, *Daphnia magna* and *Brachydonio rerio* were taken as the research objects, and the acute toxicity of flonicamid to them was studied with reference to the *Test Guidelines on Environmental Safety Assessment of Chemical Pesticides* and the OECD test method for aquatic biological toxicity. [Result] 48 h- E_{50} , C_{50} was 77.28 mg/L, 72 h- E_{50} , C_{50} was 60.16 mg/L for *Scenedesmus obliquus*, 24 h- EC_{50} was 30.04 mg/L, 48 h- EC_{50} was 25.27 mg/L for *Daphnia magna*, 48 h- LC_{50} was 91.07 mg/L, 72 h- LC_{50} was 73.91 mg/L, 96 h- LC_{50} was 73.91 mg/L for *Brachydonio rerio*. According to the classification criteria of toxicity levels, the toxicity levels of flonicamid to *Scenedesmus obliquus*, *Daphnia magna* and *Brachydonio rerio* were determined to be low. [Conclusion] Flonicamid has low toxicity to aquatic organisms and is safe to use.

Key words Flonicamid; *Scenedesmus obliquus*; *Daphnia magna*; *Brachydonio rerio*; Acute toxicity

氟啶虫酰胺是一种吡啶酰胺类昆虫生长调节剂类杀虫剂,能够高效防治作物上的刺吸式口器害虫,氟啶虫酰胺对蚜虫类防治最为高效^[1]。氟啶虫酰胺因其特殊的作用机理,与其他杀虫剂没有交互抗性,良好的防治效果,在我国销量和使用量日益剧增。

目前关于氟啶虫酰胺的研究主要集中在蚜虫的防效^[2-4],高德良等^[5]在施用 10% 氟啶虫酰胺水分散粒剂 14 d 后,20、40、60 mg/L 处理组的防效分别为 94.2%、98.4%、99.2%。赵娟娟等^[6]施用 30% 氟啶虫酰胺和 20% 啶虫脒复配后对苹果树绣线菊蚜的防治效果在药后第 3 天和第 10 天高达 99.7%、98.36%。但关于氟啶虫酰胺对环境生物的影响较少。据报道^[7],氟啶虫酰胺对蜜蜂的毒性为低毒,对蜜蜂经口和接触毒性的 48 h- LD_{50} 值均>100 μ g/蜂。闫浩浩等^[8]比较了不同剂型氟啶虫酰胺对家蚕的急性毒性,98% 氟啶虫酰胺原药、10% 氟啶虫酰胺水分散粒剂、10% 氟啶虫酰胺悬浮剂和 8% 氟啶虫酰胺可分散油悬浮剂对家蚕为低毒,氟啶虫酰胺与呋虫胺和氟啶虫酰胺与联苯菊酯的复配制剂分别为高毒和剧毒。目前关于氟啶虫酰胺对水生生物的毒性研究鲜见报道,故开展氟啶虫酰胺对水生生物毒性的研究,评价

氟啶虫酰胺对水生生物的危害具有重大意义。

笔者以氟啶虫酰胺为试验药剂,参照《化学农药环境安全评价试验准则》^[9]和 OECD^[10]化学物质对水生生物毒性试验方法,研究氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的急性毒性,旨在为氟啶虫酰胺的水生生态环境风险评估提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验生物 斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*),引种于中国科学院水生生物研究所淡水藻种库。在温度(23±1)℃、光周期 16 h:8 h(L:D)的培养条件下使用水生 4 号培养基对斜生栅藻转接 3 次后,选择培养 72 h 的斜生栅藻用于试验。

大型溞(*Daphnia magna*),引种于中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所。在(22±1)℃、光周期 16 h:8 h(L:D)的培养条件下培养 3 代以上,选择出生时间 6~24 h、活泼健康的幼溞进行试验。

斑马鱼(*Brachydonio rerio*),购于长沙市徐记水族馆。在(24±1)℃、光周期 16 h:8 h(L:D)的培养条件下培养 8 d,驯养期间每天喂食 2 次。试验前 24 h 停止喂食,试验期间不喂食,选择活泼健康的斑马鱼进行试验。

1.2 试验药剂和仪器 主要试剂:氟啶虫酰胺,青岛东生药业有限公司提供;甲醇(色谱纯)、丙酮(分析纯),购于国药集团化学试剂有限公司;水生 4 号培养基和 ISO 标准稀释水,实验室配制,现配现用。

基金项目 湖南省科技创新计划(2019NK4170)。**作者简介** 罗泽伟(1995—)男,湖南邵东人,硕士研究生,研究方向:农药环境毒理。*通信作者,教授,硕士生导师,从事农药环境毒理研究。**收稿日期** 2021-10-27

主要仪器:LC-20A 型高效液相色谱仪带二极管阵列检测器和化学工作站(日本岛津公司)、AUY220 型电子天平(日本岛津公司)、烧杯、容量瓶等。

1.3 试验条件 试验条件与斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的培养条件基本相同,光照/黑暗时间比为 16 h:8 h(L:D),培养和试验环境温度控制在 22~24 ℃。

1.4 试验方法

1.4.1 氟啶虫酰胺对斜生栅藻的急性毒性试验。参照《化学农药环境安全评价试验准则 第 14 部分:藻类生长抑制试验》^[9],根据预试验结果,以水生 4 号培养液为稀释液设置氟啶虫酰胺浓度依次为 39.00、50.70、65.91、85.68、111.39 mg/L,接种藻液后,藻细胞初始浓度为 1.00×10^4 个/mL,同时每个处理设置 3 个重复并设置空白对照。试验开始后,采用血球计数板计数藻细胞浓度,在第 0、24、48、72 h 记录各处理组藻细胞生长抑制情况。

1.4.2 氟啶虫酰胺对大型溞的急性毒性试验。参照《化学农药环境安全评价试验准则 第 13 部分:溞类急性活动抑制试验》^[11],根据预试验结果,以 ISO 标准稀释水设置氟啶虫酰胺浓度依次为 19.29、23.15、27.78、33.33、40.00 mg/L,每个处理重复 3 次,并设置空白对照组,每个处理放置 10 只幼溞。试验开始后,在第 24、48 h 观察并记录大型溞的生长情况。

1.4.3 氟啶虫酰胺对斑马鱼的急性毒性试验。参照《化学农药环境安全评价试验准则 第 12 部分:鱼类急性毒性试验》^[12],根据预试验结果,以去氯处理 24 h 以上曝气自来水设置氟啶虫酰胺浓度依次为 50.0、60.0、72.0、86.4、103.7 mg/L,同时设置空白对照,不设重复,每次缸内放置 10 条健康活泼的斑马鱼。试验开始后,在第 24、48、72 和 96 h 观察并记录斑马鱼生长情况,并及时清理死鱼。

1.5 药液浓度质量检测 为获得更准确可靠的试验结果,参照马明等^[13]方法并稍作改动。

UPLC 检测条件:高效液相色谱仪(岛津-LC-20AT 型,带紫外检测器和 LC solution 化学工作站)。色谱柱, C₁₈ 柱,

250 mm×4.6 mm (i. d) 不锈钢柱, 5 μm; 流动相, 乙腈-水 (50/50, V/V); 流速, 1.0 mL/min; 检测波长, 265 nm; 柱温, 40 ℃; 进样量, 20 μL; 保留时间, 约 3.9 min。

建立标准曲线:准确称取 0.050 5 g 氟啶虫酰胺标准品置于小烧杯,加少量乙腈溶解,转至 100 mL 容量瓶中,用乙腈冲洗烧杯多次并转至容量瓶中,再用乙腈定容至刻度,配制成 500 mg/L 标准溶液。然后乙腈稀释,配制成氟啶虫酰胺 10、20、40、60、80、120 mg/L 浓度的系列标准溶液,分别取上述系列标准溶液按照上述 UPLC 检测条件进行检测,每个浓度重复 3 次。

样品前处理:用玻璃棒搅均匀后静置 3 min,取试验水样过 0.45 μm 滤膜,上机检测。斜生栅藻取样时间 0、72 h,大型溞取样时间 0、48 h,斑马鱼取样时间 0、48、96 h。

添加回收:分别取浓度为 500 mg/L 的标准工作溶液 6 和 22 mL,用试验用水分别定容至 100 mL,使水体添加浓度分别为 30 和 110 mg/L 2 个添加水平,同时设不加药的空白对照。试验水样按照上述前处理方法进行处理,按照上述 UPLC 检测条件后检测,每个浓度重复 5 次,计算添加回收率。

1.6 数据分析 采用 SPSS 16.0 进行数据处理与分析,以初始浓度值计算氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞的半数抑制浓度(EC₅₀)和斑马鱼的半致死浓度(LC₅₀)。

2 结果与分析

2.1 受试物质质量浓度分析 以浓度为横坐标(X),峰面积为纵坐标(Y),进行线性回归分析,得到标准曲线方程为 $Y = 19\,027.56x - 3\,485.69 (R^2 = 0.999\,9)$ 。斜生栅藻试验的添加回收率在 93.05%~102.63%,相对标准偏差为 2.76%和 0.58%。大型溞试验的添加回收率在 93.85%~100.48%,相对标准偏差为 0.98%和 2.81%。斑马鱼试验的添加回收率在 89.87%~100.75%,相对标准偏差为 1.55%和 1.74%。试验周期内各组氟啶虫酰胺的质量浓度测定结果见表 1。由表 1 可知,试验过程中浓度变化率未超过 20%,符合该试验各验证内容的质量控制要求。

表 1 氟啶虫酰胺实测浓度

Table 1 Measured mass concentration of flonicamid

序号 No.	供试生物 Test organism	理论质量浓度 Theoretical mass concentration//mg/L	实测质量浓度 Measured mass concentration//mg/L			质量浓度变化率 Mass concentration change rate//%	
			0 h	48 h/72 h	96 h	48 h/72 h	96 h
			1	斜生栅藻	39.00	37.41	37.44
		50.70	47.98	48.55	—	1.19	—
		65.91	63.35	61.26	—	3.30	—
		85.68	81.76	82.06	—	0.37	—
		111.39	108.11	103.06	—	4.67	—
2	大型溞	19.29	17.15	17.33	—	1.03	—
		23.15	21.37	21.33	—	0.19	—
		27.78	25.36	25.82	—	1.78	—
		33.33	30.06	30.76	—	2.28	—
		40.00	36.96	37.18	—	0.59	—
3	斑马鱼	50.0	48.72	49.38	46.69	1.35	4.11
		60.0	57.11	56.70	56.36	0.72	1.32
		72.0	68.82	69.40	65.55	0.84	4.71
		86.4	83.40	81.24	82.92	2.59	0.59
		103.7	98.16	95.15	97.68	3.07	0.50

2.2 氟啶虫酰胺对斜生栅藻的急性毒性 试验期间,氟啶虫酰胺处理浓度越高,藻细胞数量越少。染毒 24 h 后,低浓

度藻细胞大小正常,高浓度藻细胞偏小。染毒 48 h 后,对照组和低浓度处理组藻液呈绿色和黄绿色,85.68、111.39 mg/L

处理组藻液无色,表明此浓度处理下藻细胞生长受到抑制。染毒 72 h 后,39.00、50.70、65.91、85.68、111.39 mg/L 处理组藻细胞浓度分别增长 88.83、71.17、48.17、25.17、12.67 倍,对照组细胞浓度增长 104.83 倍。

采用初始浓度值计算氟啶虫酰胺对斜生栅藻进行生长

抑制毒性的数据分析,以浓度对数为横坐标,抑制率为纵坐标进行拟合,计算其生物量半效应浓度 $E_y C_{50}$,结果见表 2。由表 2 可知,氟啶虫酰胺对斜生栅藻的 48 h- $E_y C_{50}$ 为 77.28 mg/L,72 h- $E_y C_{50}$ 为 60.16 mg/L。由于 24 h 时斜生栅藻的最高生长抑制率小于 50%,因此不进行数据分析。

表 2 氟啶虫酰胺对斜生栅藻生长抑制试验结果

Table 2 Results of the growth inhibition test of fludilanamide on *Scenedesmus obliquus*

时间 Time//h	回归方程 $Y=a+bX$ Regression equation	相关系数 (R^2) Correlation coefficient	$E_y C_{50}$ mg/L	95%置信限 95% confidence limit//mg/L
24	—	—	—	—
48	$Y=-6.323+3.349X$	0.978	77.28	71.15~85.40
72	$Y=-8.619+4.884X$	0.997	60.16	56.65~63.78

注:因最高生长率抑制率小于 50%,未求 EC_{50}

Note:Since the maximum growth rate inhibition rate is less than 50%, EC_{50} is not required

2.3 氟啶虫酰胺对大型溞的急性毒性 试验期间,氟啶虫酰胺处理浓度越高,大型溞活动越迟缓。染毒 24 h 后,低浓度受抑制溞数较少,高浓度受抑制溞数较多,受抑制的大型溞体色发白,不再透明;各处理组未受抑制溞均游动缓慢。染毒 48 h 后,19.29、23.15、27.78 mg/L 处理组受抑制总溞数为 7、13、19 只,未受抑制溞游动缓慢,部分溞身体发白。高浓度处理组(33.33 和 40.00 mg/L)中溞几乎受到了抑制,受

抑制溞均身体发白,身体不再透明,轻摇烧杯,观察不到溞游动,未受抑制溞浮于水面,轻摇烧杯,溞缓慢游动。

采用初始浓度值计算氟啶虫酰胺对大型溞进行急性活动抑制毒性的数据分析,以浓度对数为横坐标,抑制率为纵坐标进行拟合,计算各指标的 $E_y C_{50}$,结果见表 3。从表 3 可以看出,氟啶虫酰胺对大型溞的 24 h- EC_{50} 为 30.04 mg/L,48 h- EC_{50} 为 25.27 mg/L。

表 3 氟啶虫酰胺对大型溞急性活动抑制试验结果

Table 3 Results of acute activity inhibition test of fludinamide on *Daphnia magna*

时间 Time//h	回归方程 $Y=a+bX$ Regression equation	相关系数 (R^2) Correlation coefficient	LC_{50} mg/L	95%置信限 95% confidence limit//mg/L
24	$Y=-6.617+4.478X$	0.947	30.04	27.28~34.63
48	$Y=-8.337+5.943X$	0.995	25.27	23.42~27.28

注:因最高生长率抑制率小于 50%,未求 EC_{50}

Note:Since the maximum growth rate inhibition rate is less than 50%, EC_{50} is not required

2.4 氟啶虫酰胺对斑马鱼的急性毒性 试验期间,氟啶虫酰胺处理浓度越高,斑马鱼中毒症状越明显。染毒 24 h 后,低浓度处理组无明显中毒症状,高浓度处理组有部分鱼出现身体失衡和死亡的情况。染毒 48 h 后,低浓度处理组中斑马鱼情况良好,72.0 mg/L 处理组鱼体出现呼吸急促、鱼鳃张合频繁的情况,高浓度处理组死亡鱼数增加。染毒 72 h 后,所有处理组均出现鱼死亡的情况,低浓度处理组(50.0 和 60.0 mg/L)未死亡鱼无明显中毒症状,72.0 mg/L 处理组中未死亡鱼游动较慢,86.4 和 103.7 mg/L 中未死亡鱼呼吸较

急促,鳃张合频繁,中毒症状明显。染毒后约 96 h,各处理组的鱼不再继续死亡。

采用初始浓度值计算氟啶虫酰胺对斑马鱼进行急性毒性的数据分析,以浓度对数为横坐标,抑制率为纵坐标进行拟合,计算各指标的 LC_{50} ,结果见表 4。从表 4 可以看出,氟啶虫酰胺对斑马鱼的 48 h- LC_{50} 为 91.07 mg/L,72 h- LC_{50} 为 73.91 mg/L,96 h- LC_{50} 为 73.91 mg/L。由于 24 h 时斑马鱼的最高死亡率小于 50%,因此不进行数据分析。

表 4 氟啶虫酰胺对斑马鱼急性毒性试验结果

Table 4 Results of acute toxicity test of fludinamide to *Brachydonio rerio*

时间 Time//h	回归方程 $Y=a+bX$ Regression equation	相关系数 (R^2) Correlation coefficient	LC_{50} mg/L	95%置信限 95% confidence limit//mg/L
24	—	—	—	—
48	$Y=-19.106+9.751X$	0.979	91.07	80.33~150.06
72	$Y=-11.799+6.314X$	0.975	73.91	63.54~90.32
96	$Y=-11.799+6.314X$	0.975	73.91	63.54~90.32

注:因最高生长率抑制率小于 50%,未求 EC_{50}

Note:Since the maximum growth rate inhibition rate is less than 50%, EC_{50} is not required

3 结论与讨论

氟啶虫酰胺作为一种新型的吡啶酰胺类昆虫生长调节

剂,在我国杀虫剂市场占有率有相当重要的地位,随着氟啶虫酰胺销量的持续走高,氟啶虫酰胺对环境生物的影响受到重

视。该研究中氟啶虫酰胺对斜生栅藻的 48 h- E_{50} 为 77.28 mg/L, 72 h- E_{50} 为 60.16 mg/L, 对大型溞的 24 h- EC_{50} 为 30.04 mg/L, 48 h- EC_{50} 为 25.27 mg/L, 对斑马鱼的 48 h- LC_{50} 为 91.07 mg/L, 72 h- LC_{50} 为 73.91 mg/L, 96 h- LC_{50} 为 73.91 mg/L。参照《化学农药环境安全评价试验准则》^[9] 中农药对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的毒性等级划分可确定氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的毒性等级均为低毒。

林涛等^[14]发现氟虫双酰胺、氯虫苯甲酰胺、溴氰虫酰胺 3 种杀虫剂对斜生栅藻为低毒,对大型溞为剧毒,对斑马鱼为低毒,其原因可能是藻类和斑马鱼缺少某种鱼尼丁受体或者与鱼尼丁受体的氨基酸序列相似度低,而大型溞的鱼尼丁受体的氨基酸序列相似度高。该研究中,氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的急性毒性都很低,其原因可能是氟啶虫酰胺的作用机理独特,对刺吸式口器害虫有很好的拒食活性,对乙酰胆碱酯酶和烟碱乙酰胆碱受体没有作用,使得氟啶虫酰胺对斜生栅藻、大型溞和斑马鱼的毒性较低^[15-16]。

束兆林等^[17]研究表明氟啶虫酰胺在白背飞虱低龄若虫高峰期用药,对飞虱有很好的防治效果,且对田间天敌蜘蛛安全性较高。氟啶虫酰胺对人、畜、环境都有很高的安全性^[18],但单一的毒性数据并不能够准确全面反映氟啶虫酰胺对水生生物的风险情况,可根据《环境风险评估指南》^[19]对氟啶虫酰胺进行全面的水生生态风险评估。该研究为氟啶虫酰胺进一步环境风险评估提供了生态毒理数据支撑。

参考文献

- [1] 孙家隆. 新编农药品种手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 113-114.
- [2] 范巧兰, 董晨晨, 张贵云, 等. 10% 氟啶虫酰胺悬浮剂对苹果黄蚜的防治

- 效果[J]. 山西农业科学, 2018, 46(11): 1907-1909.
- [3] 侯少岩, 王玉洁, 薛健, 等. 农药氟啶虫酰胺对金银花蚜虫防治效果研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(2): 306-308.
- [4] 翟浩, 张勇, 李晓军, 等. 不同杀虫剂对桃树蚜虫的田间防控效果[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(27): 157-159.
- [5] 高德良, 宋化稳, 刘钰, 等. 10% 氟啶虫酰胺水分散粒剂对桃树蚜虫田间防效研究[J]. 现代农药, 2021, 20(1): 54-57.
- [6] 赵娟娟, 冯明博. 30% 氟啶虫酰胺·20% 啶虫脒对苹果树绣线菊蚜的药效研究[J]. 园艺与种苗, 2021, 41(4): 1-2, 6.
- [7] 苍涛, 王彦华, 吴长兴, 等. 新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的急性毒性及风险评估[J]. 生态毒理学报, 2017, 12(4): 285-292.
- [8] 闫浩浩, 仇月, 杨帅, 等. 不同剂型氟啶虫酰胺对家蚕的急性毒性[J]. 蚕业科学, 2020, 46(5): 650-654.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则: GB/T 31270. 14—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [10] EC (Environment Canada). Biological Test Method-Test for Measuring the Inhibition of Growth Using the Freshwater Macrophyte *Lemma minor* [M]. 2nd ed. Ottawa: Method Development and Applications Section, Environmental Technology Centre, Environment Canada, 2007.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第 13 部分: 溞类急性活动抑制试验: GB/T 31270. 13—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第 12 部分: 鱼类急性毒性试验: GB/T 31270. 12—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
- [13] 马明, 陈默, 王鸣华. 氟啶虫酰胺高效液相色谱分析方法研究[J]. 世界农药, 2015, 37(3): 51-53.
- [14] 林涛, 游泳, 郑丽祺, 等. 三种双酰胺类杀虫剂制剂对环境非靶标生物的急性毒性[J]. 农药学报, 2015, 17(6): 757-762.
- [15] 张亦冰. 新穎杀虫剂——氟啶虫酰胺[J]. 世界农药, 2010, 32(1): 54-56.
- [16] 沈娟. 新型杀虫剂——氟啶虫酰胺对蚜虫的生物学活性[J]. 世界农药, 2011, 33(05): 19-22.
- [17] 束兆林, 于居龙, 缪康, 等. 氟啶虫酰胺对水稻白背飞虱的防治效果及天敌安全性评价[J]. 农药, 2016, 55(11): 851-853, 858.
- [18] 仇是胜, 柏亚罗, 顾林玲. 氟啶虫酰胺的研究开发及市场前景[J]. 现代农药, 2014, 13(5): 6-11.
- [19] 中华人民共和国农业部. 农药登记 环境风险评估指南 第 2 部分: 水生生态系统: NY/T 2882. 2—2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016.

(上接第 123 页)

的结果存在差异,这可能与试验中选择的农药制剂的剂型和剂量、草地贪夜蛾的虫龄大小和玉米生育期等试验条件有关^[13-15]。王宁等^[16]研究表明生物制剂苏云金杆菌对草地贪夜蛾的 7 d 防效仅为 22.53%,而该试验中为 69.29%,结果差异的主要原因在于该试验中使用的苏云金杆菌制剂的活性成分用量远高于王宁等^[16]试验中的用量。

在实际生产中,考虑到草地贪夜蛾迁飞性和暴食性为害的特点,建议将速效性强与持效性优的药剂混配使用,或直接选用速效性与持效性均佳的复配制剂,如 45% 甲维·虱螨脲 WG、14% 氯虫·高氯氟 ZC 和 15% 甲维·茚虫威 SC 等药剂,在卵孵化盛期至低龄幼虫期喷施,尽量选择傍晚施药,注意喷洒在玉米心叶、雄穗和雌穗等部位。在用药时需注意不同作用机制的农药交替使用,以延缓害虫抗药性的发展。

参考文献

- [1] ASHLEY T R, WISEMAN B R, DAVIS F M, et al. The fall armyworm: A bibliography[J]. Florida entomologist, 1989, 72(1): 152-202.
- [2] GOERGEN G, KUMAR P L, SANKUNG S B, et al. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa[J]. PLoS One, 2016, 11(10): 1-9.
- [3] WU Q L, HE L M, SHEN X J, et al. Estimation of the potential infestation

- area of newly-invaded fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in the Yangtze River Valley of China[J]. Insects, 2019, 10(9): 1-15.
- [4] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10-19.
- [5] 李定银, 邹军锐, 张涛, 等. 草地贪夜蛾对 4 种寄主植物的偏好性[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 50-54.
- [6] 邱良妙, 刘其全, 杨秀娟, 等. 草地贪夜蛾对水稻和玉米的取食和产卵选择性与适合度[J]. 昆虫学报, 2020, 63(5): 604-612.
- [7] 徐永伟, 张国彦, 郝瑞, 等. 2019—2020 年河南省草地贪夜蛾发生情况分析[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(7): 44-47.
- [8] 卢鹏, 张海波, 张芳, 等. 2019 年江苏省草地贪夜蛾发生及为害情况调查[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(1): 43-47.
- [9] 农业农村部. 农业农村部关于印发《全国草地贪夜蛾防控方案》的通知: 农农发〔2019〕3 号[EB/OL]. (2020-01-06) [2022-01-22]. http://www.moa.gov.cn/nyghb/2019/201907/202001/t20200106_6334341.htm.
- [10] 关秀敏, 赵猛, 杨建国, 等. 草地贪夜蛾防治药剂田间试验示范效果[J]. 植物保护, 2021, 47(5): 320-324.
- [11] 杨凤丽, 宓盛, 马海荣. 乙基多杀菌素等 10 种药剂对草地贪夜蛾的防效[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(11): 2295-2297.
- [12] 唐文, 王增文, 毛瑞坤. 不同药剂防治玉米草地贪夜蛾田间药效试验[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(17): 116-117.
- [13] 陆道训, 张玉美, 席春虎, 等. 不同药剂对草地贪夜蛾的防治效果[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(17): 132-134.
- [14] 杨晓杰, 高超男, 盛子耀, 等. 玉米田草地贪夜蛾防治药剂筛选[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(23): 186-187, 217.
- [15] 阮赞誉, 居梦婷, 沈秋兰, 等. 9 种杀虫剂对草地贪夜蛾的田间防效[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(1): 127-128.
- [16] 王宁, 潘登, 马甜甜, 等. 10 种杀虫剂对玉米草地贪夜蛾的田间防治效果[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(17): 128-129, 135.