

氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁毒杀活性及行为影响

谭煜婷, 肖春霞, 黄玲俊, 张佩文, 张志祥*

(天然农药与化学生物学教育部重点实验室, 华南农业大学农学院, 广州 510642)

摘要 为了给红火蚁化学防控提供新药剂, 本文测定了氟啉虫胺腈对红火蚁中、小型工蚁的毒杀活性及行为能力的影响作用。制备了不同浓度的氟啉虫胺腈饵剂, 分别测定其对红火蚁工蚁的毒杀活性以及对抓附能力、攀爬能力和行走能力等的影响。结果表明: 0.01%、0.02%、0.03% 的氟啉虫胺腈饵剂处理 5 d 后, 小型工蚁的校正死亡率分别为 35.18%、66.66%、100.00%, 抓附率分别为 65.00%、31.67%、0.00%, 攀爬率分别为 55.00%、31.67%、0.00%, 行走率分别为 61.67%、30.00%、0.00%; 中型工蚁的校正死亡率分别为 22.47%、55.06%、100.00%, 抓附率分别为 68.33%、33.33%、1.67%, 攀爬率分别为 63.33%、33.33%、0.00%, 行走率分别为 61.67%、30.00%、0.00%。在设计剂量下, 氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁工蚁具有较好的毒杀活性, 且对其行为能力有显著的抑制作用。

关键词 红火蚁; 氟啉虫胺腈; 毒饵; 毒杀活性; 行为影响

中图分类号: S 482.3 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2018516

Effects of sulfoxaflor bait on the toxic activity and behavior of *Solenopsis invicta*

TAN Yuting, XIAO Chunxia, HUANG Lingjun, ZHANG Peiwen, ZHANG Zhixiang*

(Key Laboratory of Natural Pesticide and Chemical Biology, Ministry of Education, College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract In order to provide a reference for the chemical prevention and control of *Solenopsis invicta*, the effect of sulfoxaflor on the toxicity and behavioral ability of the medium and small workers of *S. invicta* was determined. Different concentrations of sulfoxaflor baits were prepared, and their effects on the ability of arresting, climbing and walking of *S. invicta* were measured. The results showed that the corrected mortality of small worker ants were 35.18%, 66.66%, 100.00%, respectively, after treatment with 0.01%, 0.02%, 0.03% sulfoxaflor baits; the grasping rates were 65.00%, 31.67%, 0.00%, respectively; the climbing rates were 55.00%, 31.67%, and 0.00%, and the walking rates were 61.67%, 30.00%, and 0.00%, respectively. The corrected mortality of the medium worker ants were 22.47%, 55.06%, and 100.00%, respectively; the grasping rates were 68.33%, 33.33%, and 1.67%; the climbing rate was 63.33% and 33.33%, 0.00%, and the walking rates were 61.67%, 30.00%, and 0.00%, respectively. At the designed doses, the sulfoxaflor baits exhibited a lethal effect against *S. invicta* workers and a significant inhibitory effect on its behavior.

Key words *Solenopsis invicta*; sulfoxaflor; bait; toxic activity; behavioral influence

入侵红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 属膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae 火蚁属 *Solenopsis*, 是源自南美洲的一种农业及卫生害虫^[1]。由于全球贸易的不断发展, 红火蚁的入侵也越来越猖獗^[2]。我国大陆最早于 2004 年在广东省吴川县发现, 随后发生范围急剧扩大, 目前已扩散至南方多个省份^[3-4]。农业部于 2005 年将红火蚁列为我国入境植物检疫性有害生物和全国植物检疫性有害生物^[5]。

入侵物种是对生物多样性的威胁, 红火蚁的入侵对环境其他生物的生存也造成了一定的影响^[6-8]。红火蚁行动速度快, 环境适应能力强且具有攻击性, 严重影响了人们的生产、生活, 引起社会广泛关注^[9-11]。

防治红火蚁的方法涉及检疫、物理、化学、生物防治等多个方面^[12-13], 其中化学药剂见效快, 用量少, 仍是红火蚁防治的主要手段。目前我国登记用于防控红火蚁的主要药剂有氟虫腈、高效氯氰菊酯、

收稿日期: 2018-12-19 修订日期: 2019-03-08

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200300); 广东省自然科学基金(2016A030313387); 2018 年省级现代农业科技创新联盟建设(广东省现代农业产业技术体系创新团队)(2018ML1129)

* 通信作者 E-mail: zdsys@scau.edu.cn

氟蚁腓、吡虫啉、毒死蜱等,用其制成毒饵诱杀,有较好的防治效果。为了丰富防治红火蚁的药剂种类,有必要开发低剂量、安全环保的红火蚁饵剂。

氟啶虫胺胍(sulfoxaflo)是一种新颖的砜亚胺杀虫剂,作用于烟碱类乙酰胆碱受体(nAChR)内独特的结合位点而发挥杀虫功能,具有良好的内吸活性,兼具胃毒和触杀作用,对非靶标生物低毒^[14],与其他新烟碱类杀虫剂无交互抗性^[15],在土壤中的半衰期短,约为3~5 d^[16],是一种低毒低残留农药,已在全球40多个国家登记使用^[17],主要用于防治刺吸式口器害虫^[18-20],但对红火蚁的防控研究鲜有报道^[21]。为了开发防控红火蚁新产品,本文采用毒饵法,研究了氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁的毒杀活性及其行为能力的影响,为探寻绿色环保红火蚁饵剂提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试药剂

96%氟啶虫胺胍原药,湖北康宝泰精细化工有限公司生产。

1.1.2 供试虫源

红火蚁 *Solenopsis invicta* 于2018年7月采自华南农业大学启林南校区的蚁巢,将红火蚁连带着部分蚁巢一起挖回实验室放置1~2 d,参考周艺凡等^[22]用水滴法将红火蚁从培养的桶中取出,转入涂有聚四氟乙烯乳液的塑料盒中,塑料盒内置人工蚁巢、水试管和黄粉虫若干。黄粉虫购于广州市花鸟鱼虫市场,在室内以麦麸饲养。红火蚁在养虫室饲养一周后,分别取大小一致的小型工蚁(头宽0.35~0.65 mm)、中型工蚁(头宽0.65~0.9 mm)进行试验。

1.2 试验方法

1.2.1 氟啶虫胺胍饵剂的制备

以玉米粉、花生油和鱼骨粉等为原材料制备饵料(颗粒大小为1 200~1 500 μm)^[23]。用少量丙酮溶解96%氟啶虫胺胍原药,均匀喷洒与饵料混合,配制成氟啶虫胺胍含量为0.01%、0.02%、0.03%的毒饵,放于通风橱中,待丙酮挥发尽后置于冰箱中保存备用。空白对照为不含药的饵料。

1.2.2 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁的毒杀活性测定

采用毒饵法^[24]测定氟啶虫胺胍对红火蚁中、小型工蚁的毒杀活性。在干燥的塑料杯杯口至以下2 cm均匀涂抹一层聚四氟乙烯乳液,以防止红火蚁逃脱。将塑料杯倒置处理24 h后,每个杯子放入30头工

蚁(大小一致,中、小型工蚁分开处理),饥饿处理24 h后,把配制好的饵料投入相应标号的杯子中,每个杯子里放入一个装有水的小管(用适量棉花堵住管口)。试验设0.01%、0.02%、0.03%含药饵剂和不含药饵料对照4个处理,每个处理3个重复。处理完毕后,将试虫置于养虫室观察,温度24~26℃,湿度60%~80%。处理1、2、3、4、5 d调查记录结果,计算校正死亡率。校正死亡率=(处理组死亡率-对照组死亡率)/(1-对照死亡率) $\times 100\%$ 。

1.2.3 红火蚁抓附能力的观察

红火蚁工蚁处理同1.2.2。参考Li等^[25]的方法,轻微振动塑料杯使红火蚁在杯底分散开,翻转塑料杯,使杯口垂直向下,3 s后未掉落在白纸上的工蚁即被认为具有抓附能力。抓附率计算公式如下:抓附率=具有抓附能力工蚁数/工蚁总数 $\times 100\%$ 。

1.2.4 红火蚁攀爬能力的观察

红火蚁工蚁处理同1.2.2。参考李梓豪等^[26]的方法,观察时振动塑料杯使红火蚁分散于杯底,用细竹签轻触虫体,红火蚁能顺着竹签爬行大于2.0 cm即被认为具有攀爬能力。攀爬率计算公式如下:攀爬率=具有攀爬能力工蚁数/工蚁总数 $\times 100\%$ 。

1.2.5 红火蚁行走能力的测定

红火蚁工蚁处理同1.2.2。调查方法参考刘娜等^[27]的方法,红火蚁能连续行走5 s,即被认为具有行走能力。行走率计算公式如下:行走率=具有行走能力工蚁数/工蚁总数 $\times 100\%$ 。

1.3 数据处理及分析

数据分析和处理采用Microsoft office 2016和SPSS 18.0软件,采用Tukey法在 $P=0.05$ 水平上进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁的毒杀活性

由表1可见,氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁小型工蚁有明显的毒杀活性,小型工蚁的死亡率随着氟啶虫胺胍含量的升高和处理时间的推移而上升。0.01%和0.02%饵剂处理后1、2 d毒杀活性差异不显著($P>0.05$)。处理后3、4、5 d,0.01%饵剂的校正死亡率为6.90%、14.04%、31.58%,0.02%饵剂的校正死亡率为22.41%、38.60%、66.66%,0.03%饵剂的校正死亡率为63.79%、91.23%、100.00%,3个浓度之间毒杀活性差异显著($P<0.05$),以0.03%饵剂毒杀活性最高。

表 1 氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁小型工蚁的毒杀活性¹⁾

Table 1 Toxicity of sulfoxaflor baits to the small workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	校正死亡率/% Corrected mortality				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
0.01%氟啉虫胺腈饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(-1.69±0.00)b	(-0.00±1.72)b	(6.90±2.99)c	(14.04±1.75)c	(31.58±3.04)c
0.02%氟啉虫胺腈饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(3.39±2.93)b	(8.62±3.45)b	(22.41±2.99)b	(38.60±1.76)b	(66.66±4.64)b
0.03%氟啉虫胺腈饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(16.95±3.39)a	(41.38±3.45)a	(63.79±2.99)a	(91.23±1.76)a	(100.00±0.00)a

1) 表中数据为平均值±标准误,同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Data in the table are mean±SE, and different lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ by Tukey's multiple range test. The same below.

由表 2 可见,氟啉虫胺腈对红火蚁中型工蚁也有明显的毒杀活性。0.01%和 0.02%饵剂处理后 1 d,中型工蚁校正死亡率分别为 3.33%和 6.67%,毒杀活性无显著性差异($P>0.05$)。处理后 2~5 d,3 个浓度之间毒杀活性差异显著($P<0.05$),以 0.03%饵剂毒杀活性最高。

表 2 氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁中型工蚁的毒杀活性

Table 2 Toxicity of sulfoxaflor baits to the medium workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	校正死亡率/% Corrected mortality				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
0.01%氟啉虫胺腈饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(3.33±1.93)b	(10.00±1.92)c	(11.67±0.96)c	(14.05±0.97)c	(22.47±1.95)c
0.02%氟啉虫胺腈饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(6.67±1.93)b	(20.00±1.92)b	(30.00±1.92)b	(42.70±1.95)b	(55.06±2.25)b
0.03%氟啉虫胺腈饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(16.67±1.93)a	(35.00±0.96)a	(68.33±0.96)a	(93.26±1.95)a	(100.00±0.00)a

2.2 氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁工蚁抓附能力的影响

结果表明,氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁中、小型工蚁的抓附能力均有一定程度的影响,且随着氟啉虫胺腈含量的增加和处理时间的延长,效果越来越明显。

由表 3 可知,0.01%氟啉虫胺腈饵剂处理后

1~4 d,与 CK 差异不显著($P>0.05$)。0.03%氟啉虫胺腈饵剂显效最快,效果最佳,投药 1 d 和 2 d 后,21.67%和 71.67%的小型工蚁丧失抓附能力,5 d 后 100%小型工蚁丧失抓附能力,显著优于其他处理组($P<0.05$)。

表 3 氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁小型工蚁抓附能力的影响

Table 3 Effects of sulfoxaflor baits on the grasping ability of the small workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	抓附率/% Grasping rate				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
不含药饵剂(CK) Drug-free bait (CK)	(98.33±1.67)a	(98.33±1.67)a	(95.00±2.89)a	(91.67±1.67)a	(91.67±1.67)a
0.01%氟啉虫胺腈饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(98.33±1.67)a	(93.33±3.33)ab	(86.67±1.67)a	(78.33±4.41)a	(65.00±2.89)b
0.02%氟啉虫胺腈饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(93.33±3.33)a	(85.00±2.89)b	(71.67±3.33)b	(53.33±3.33)b	(31.67±1.67)c
0.03%氟啉虫胺腈饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(78.33±1.67)b	(28.33±1.67)c	(13.33±3.33)c	(3.33±1.67)c	(0.00±0.00)d

由表 4 可知,氟啉虫胺腈饵剂对中型工蚁抓附能力的影响与对小型工蚁相同,0.03%氟啉虫胺腈饵剂显效最快,投药 1 d 和 2 d 后,21.67%和

56.67%的中型工蚁丧失抓附能力,5 d 后 100%中型工蚁丧失抓附能力,显著优于其他处理组($P<0.05$)。

表 4 氟啉虫胺腈饵剂对红火蚁中型工蚁抓附能力的影响

Table 4 Effects of sulfoxaflor baits on the grasping ability of the medium workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	抓附率/% Grasping rate				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
不含药饵剂(CK) Drug-free bait (CK)	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(98.33±1.67)a	(98.33±1.67)a
0.01%氟啉虫胺腈饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(96.67±1.67)ab	(88.33±1.67)b	(81.67±1.67)b	(78.33±1.67)b	(68.33±3.33)b
0.02%氟啉虫胺腈饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(88.33±1.67)b	(75.00±2.89)c	(60.00±2.89)c	(43.33±1.67)c	(30.00±2.89)c
0.03%氟啉虫胺腈饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(78.33±3.33)c	(43.33±1.67)d	(23.33±1.67)d	(10.00±2.89)d	(0.00±0.00)d

2.3 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁攀爬能力的影响

结果表明,随着药剂含量的增加和处理时间的延长,氟啶虫胺胍对红火蚁中、小型工蚁攀爬能力的削弱效果越来越明显。由表 5 看出,氟啶虫胺胍饵剂处理后 1、2 d,0.01%和 0.02%氟啶虫胺胍饵剂

处理的红火蚁小型工蚁的攀爬能力与对照差异不显著($P>0.05$),处理后 4、5 d,3 个浓度氟啶虫胺胍饵剂处理的小型工蚁攀爬能力均显著低于对照($P<0.05$),而以 0.03%氟啶虫胺胍饵剂处理 4、5 d 影响其攀爬能力最显著。

表 5 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁小型工蚁攀爬能力的影响
Table 5 Effects of sulfoxaflor baits on the climbing ability of the small workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	攀爬率/% Climbing rate				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
不含药饵剂(CK) Drug-free bait (CK)	(98.33±1.67)a	(98.33±1.67)a	(95.00±2.89)a	(91.67±1.67)a	(91.67±1.67)a
0.01%氟啶虫胺胍饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(98.33±1.67)a	(93.33±4.41)a	(86.67±4.41)a	(81.67±1.67)b	(55.00±2.89)b
0.02%氟啶虫胺胍饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(93.33±3.33)a	(85.00±2.89)a	(63.33±4.41)b	(51.67±1.67)c	(31.67±1.67)c
0.03%氟啶虫胺胍饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(78.33±4.41)b	(28.33±4.41)b	(13.33±3.33)c	(3.33±1.67)d	(0.00±0.00)d

由表 6 可见,氟啶虫胺胍 3 个浓度饵剂处理后 3、4、5 d,中型工蚁攀爬率显著低于对照($P<0.05$),3 个饵剂浓度之间对中型工蚁攀爬能力的抑制能力

也呈显著差异($P<0.05$),而以 0.03%氟啶虫胺胍饵剂的显效时间最快,投药 2 d 后中型工蚁的攀爬率降低至 40.00%,5 d 后全部丧失攀爬能力。

表 6 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁中型工蚁攀爬能力的影响
Table 6 Effects of sulfoxaflor baits on the climbing ability of the medium workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	攀爬率/% Climbing rate				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
不含药饵剂(CK) Drug-free bait (CK)	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(98.33±1.67)a	(98.33±1.67)a
0.01%氟啶虫胺胍饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(91.67±1.67)ab	(83.33±1.67)b	(76.67±3.33)b	(73.33±3.33)b	(63.33±3.33)b
0.02%氟啶虫胺胍饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(85.00±5.00)bc	(75.00±2.89)b	(60.00±2.89)c	(43.33±1.67)c	(33.33±1.67)c
0.03%氟啶虫胺胍饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(73.33±1.67)c	(40.00±2.89)c	(23.33±1.67)d	(10.00±2.89)d	(0.00±0.00)d

2.4 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁行走能力的影响

结果表明,氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁行走能力有明显的抑制作用,且随着氟啶虫胺胍含量的增加和处理时间的延长,红火蚁工蚁的行走能力逐渐下降。

由表 7 可见,0.01%和 0.02%氟啶虫胺胍饵剂

处理后 1~2 d,小型工蚁行走能力与 CK 差异不显著($P>0.05$)。处理后 4~5 d,3 个浓度含药饵剂处理后小型工蚁行走能力与对照相比有显著降低($P<0.05$),而以 0.03%氟啶虫胺胍饵剂对行走能力影响最大,处理后 3~4 d,小型工蚁行走率为 11.67%~1.67%,5 d 后已全部丧失行走能力。

表 7 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁小型工蚁行走能力的影响
Table 7 Effects of sulfoxaflor baits on the walking ability of the small workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	行走率/% Walking rate				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
不含药饵剂(CK) Drug-free bait (CK)	(98.33±1.67)a	(98.33±1.67)a	(95.00±0.00)a	(93.33±1.67)a	(93.33±1.67)a
0.01%氟啶虫胺胍饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(100.00±0.00)a	(91.67±1.67)a	(86.67±1.67)a	(78.33±4.41)b	(61.67±3.33)b
0.02%氟啶虫胺胍饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(93.33±3.33)a	(86.67±4.41)a	(61.67±4.41)b	(51.67±3.33)c	(30.00±2.89)c
0.03%氟啶虫胺胍饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(75.00±5.77)b	(26.67±3.33)b	(11.67±1.67)c	(1.67±1.67)d	(0.00±0.00)d

由表 8 可见,随着饵剂中氟啶虫胺胍含量的升高,对中型工蚁行走能力的抑制效果逐渐加强,处理后 2 d,0.03%氟啶虫胺胍饵剂处理中型工蚁的行走率为 26.67%,抑制能力显著高于行走率为 86.67%的

0.01%、0.02%氟啶虫胺胍饵剂($P<0.05$)。处理后 3~5 d,3 个浓度含药饵剂均对中型工蚁的行走能力表现出显著的抑制作用($P<0.05$),其中以 0.03%氟啶虫胺胍饵剂处理对中型工蚁行走率影响最大。

表 8 氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁中型工蚁行走能力的影响

Table 8 Effects of sulfoxaflor baits on the walking ability of the medium workers of *Solenopsis invicta*

处理 Treatment	行走率/% Walking rate				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
不含药饵剂(CK) Drug-free bait (CK)	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(100.00±0.00)a	(98.33±1.67)a	(98.33±1.67)a
0.01% 氟啶虫胺胍饵剂 0.01% sulfoxaflor bait	(95.00±2.89)a	(86.67±1.67)b	(81.67±4.41)b	(78.33±1.67)b	(61.67±1.67)b
0.02% 氟啶虫胺胍饵剂 0.02% sulfoxaflor bait	(93.33±3.33)a	(86.67±1.67)b	(68.33±1.67)c	(51.67±1.67)c	(30.00±2.89)c
0.03% 氟啶虫胺胍饵剂 0.03% sulfoxaflor bait	(75.00±2.89)b	(26.67±1.67)c	(11.67±1.67)d	(1.67±1.67)d	(0.00±0.00)d

3 结论与讨论

试验结果表明,对照组空白饵剂对红火蚁工蚁具有较强的取食引诱性,连续喂食 5 d,对工蚁行为能力无不良影响;0.01%~0.03%氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁具有较好的杀虫活性,对工蚁的行为能力有明显的抑制作用。随着药剂浓度的升高和处理时间的延长,工蚁的抓附能力、攀爬能力和行走能力等显著降低。在相同浓度下,氟啶虫胺胍对小型工蚁的毒杀活性及行为能力的抑制作用更明显。

红火蚁是一种社会性昆虫,体型较小,生活环境复杂且群体内分工明确^[28]。工蚁是蚁群的保卫者和食物采集者,其抓附能力、攀爬能力和行走能力等对整个蚁巢的日常活动有着重要的影响。投放 0.02%氟啶虫胺胍饵剂 5 d,可致半数以上工蚁死亡,70%左右的工蚁失去抓附、攀爬和行走能力。抓附能力的降低极大地影响了工蚁采集食物的能力,使巢内食物短缺;攀爬能力和行走能力的减弱,在一定程度上影响了蚁群的迁巢能力。采用杀虫剂灌巢往往只能杀灭部分红火蚁,且易惊扰蚁群迁移^[29]。利用毒饵诱杀法防控红火蚁,还具有一定的传毒作用,由于投放毒饵发挥药效需要一定时间,经过工蚁的搬运,药剂可以深入蚁巢,造成蚁体之间交哺传毒,避免了因工蚁死亡速度过快而导致蚁群迅速迁移,既能控制一定的死亡率,又可抑制大部分工蚁的行动能力,在实际防治中杀虫效果更好^[30]。

本文研究表明氟啶虫胺胍对红火蚁工蚁具有良好的毒杀和行为影响活性,且该药具有良好的选择性,对非靶标生物低毒,在土壤中降解快,对环境友好安全^[31],用作红火蚁饵剂时环境污染风险小,同时该成分作用机理新颖,对抗性害虫具有良好的防控效果,是防治红火蚁较理想的药剂。

综上所述,氟啶虫胺胍饵剂对红火蚁工蚁具有较好的毒杀活性,对工蚁的行为能力有显著的抑制作用,在红火蚁绿色防控中具有广阔的开发应用前景。

参考文献

[1] 曾玲,陆永跃,何晓芳,等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查[J]. 昆虫知识,2005(2): 144-148.

[2] ASCUNCE M S, YANG C C, OAKEY J, et al. Global invasion history of the fire ant *Solenopsis invicta* [J]. Science, 2011, 331(6020): 1066-1068.

[3] 陈晓燕,马平,余猛,等. 红火蚁在云南的入侵风险分析[J]. 生物安全学报,2014(2): 81-87.

[4] 陆永跃,曾玲. 发现红火蚁入侵中国 10 年:发生历史、现状与趋势[J]. 植物检疫,2015(2): 1-6.

[5] 中华人民共和国农业部公告. 第 453 号[R]. 中华人民共和国农业部, 2005:42.

[6] THAWLEY C J, LANGKILDE T. Invasive fire ant (*Solenopsis invicta*) predation of eastern fence lizard (*Sceloporus undulatus*) eggs [J]. Journal of Herpetology, 2016, 50(2): 284-288.

[7] 吴碧球,陆永跃,梁广文,等. 红火蚁对新入侵龙眼园和荒地蚂蚁类群多样性的影响[J]. 生态学报,2010(8): 2075-2083.

[8] 宋侦东,陆永跃,许益镬,等. 红火蚁入侵草坪过程中蚂蚁类群变动趋势[J]. 生态学报,2010(5): 1287-1295.

[9] 王福祥,张润志,侯有明,等. 依法防控红火蚁的若干思考[J]. 植物检疫,2016(1): 77-81.

[10] 张波,罗映鹏,雷益勤,等. 农林外来有害生物红火蚁入侵的问题建构与社会管理研究[J]. 科学与管理,2015(1): 69-77.

[11] 胡文兰,赵芝,高伟,等. 文山州红火蚁的发生及扩散原因分析和防控对策[J]. 云南农业科技,2018(S1): 119-120.

[12] 李宏玉. 红火蚁鉴别与防治方法概述[J]. 中国植保导刊,2015(3): 84-85.

[13] WANG Lei, ELLIOTT B, JIN Xixuan, et al. Antimicrobial properties of nest volatiles in red imported fire ants, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae)[J]. Science of Nature, 2015, 102:6611-6612.

[14] ZHU Y, HUANG X, ROGERS R, et al. Discovery of sulfoxaflor, a novel class of sulfoximine insecticide [J]. Abstracts of Papers of the American Chemical Society, 2011: 242.

[15] BABCOCK J M, GERWICK C B, HUANG J X, et al. Biological characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide [J]. Pest Management Science, 2011, 67(3): 328-334.

[16] 宋永平. 新农药氟啶虫胺胍在甘蓝及土壤中的残留动态[D]. 长沙:湖南农业大学, 2014.

生物技术通报,2018,34(1):40-48.

- [2] 禹阳,贾赵东,马佩勇,等. WRKY 转录因子在植物抗病反应中的功能研究进展[J]. 分子植物育种,2018,16(21):7009-7020.
- [3] JIANG Jingjing, MA Shenghui, YE Nenghui, et al. WRKY transcription factors in plant responses to stresses [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2017, 59(2):86-101.
- [4] 张雅涵,茆振川,凌健,等. 黄瓜根结发育早期 WRKY 基因的分离[J]. 植物保护,2012,38(3):13-17.
- [5] EULGEM T. Regulation of the *Arabidopsis* defense transcriptome [J]. Trends in Plant Science, 2005,10(2):71-78.
- [6] GRUNEWALD W, KARIMI M, WIECZOREK K, et al. A role for 23 in feeding site establishment of plant-parasitic nematodes At-WRKY [J]. Plant Physiology,2008,141(1):358-368.
- [7] JAMMES F, LECOMTE P, DE ALMEIDA-ENGLER J, et al. Genome-wide expression profiling of the host response to root-knot nematode infection in *Arabidopsis* [J]. The Plant Journal,2005, 44(3): 447-458.
- [8] 李淑敏,茆振川,李蕾,等. 辣椒抗根结线虫相关 WRKY 基因的分离[J]. 园艺学报,2008, 35(10): 1467-1472.
- [9] 郑井元. 辣椒 WRKY 转录因子 *CaWRKY6* 和 *CaWRKY30* 基因的克隆、表达及功能分析[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [10] 刘纪霜,黄金玲,张正淳,等. 罗汉果根结线虫病田间发病情况调查及病原鉴定[J]. 广东农业科学,2011,38(24):66-68.

- [11] 王新荣,马超,任璐璐,等. 根结线虫引起的植物根结形态与形成机理研究进展[J]. 华中农业大学学报,2010,29(2):251-256.
- [12] 刘纪霜. 罗汉果抗南方根结线虫的品种筛选及抗病机制初探[D]. 南宁:广西大学,2007.
- [13] 焦春伟,徐春玲,谢辉,等. 用沙培空心菜繁殖根结线虫效果的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(3):126-130.
- [14] YU Chinsheng, CHEN Yuching, LU Chihao, et al. Prediction of protein subcellular localization [J]. Proteins, 2006, 64(3): 643-651.
- [15] CHOU Kuochen, SHEN Hongbin. Plant-mPLOC: a top-down strategy to augment the power for predicting plant protein subcellular localization [J/OL]. PLoS ONE, 2010, 5(6): e11335.
- [16] LING Jian, JIANG Weijie, ZHANG Ying, et al. Genome-wide analysis of WRKY gene family in *Cucumis sativus* [J/OL]. BMC Genomics, 2011, 12:471.
- [17] 张书玲,刘莹,张惠敏,等. 棉花 WRKY 转录因子家族成员的鉴定和生物信息学分析[J]. 中国农业科技导报,2017,19(8):9-15.
- [18] ZHANG Yuanji, WANG Liangjiang. The WRKY transcription factor superfamily:its origin in eukaryotes and expansion in plants [J/OL]. BMC Evolutionary Biology, 2005, 5:1.

(责任编辑:田 喆)

(上接 161 页)

- [17] 柏亚罗. 陶氏杜邦氟啶虫胺胍已在 40 余国登记年峰值销售将超 4 亿美元[J]. 农药市场信息,2018(2):48-49.
- [18] 刘芳慧,丁新华,马继元,等. 50% 氟啶虫胺胍水分散剂防治棉蚜药效试验[J]. 农村科技,2016(6):41-42.
- [19] 水清. 氟啶虫胺胍:防治稻飞虱高效适用药[J]. 农药市场信息,2015(23):52.
- [20] 王彭,曲春鹤,黄大益,等. 氟啶虫胺胍对桃蚜和瓜蚜室内杀虫活性及田间防治效果[J]. 现代农药,2017(5):45-49.
- [21] 肖春霞,张佩文,谭煜婷,等. 氟啶虫胺胍对红火蚁毒杀活性及活动能力的影响[J]. 贵州农业科学,2018(4):48-51.
- [22] 周艺凡,卢彦蓉,马千里,等. 溴氰虫酰胺对红火蚁工蚁的毒杀活性及行为影响[J]. 广东农业科学,2018(1):75-79.
- [23] NEFF R, PUCKETT R T, GOLD R E. Particle size and bait preference of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. Sociobiology, 2011, 58(2):473-487.
- [24] 黄俊,陆永跃,梁广文,等. 四种毒饵对红火蚁的田间防治效果评价[J]. 环境昆虫学报,2008(2):135-140.
- [25] LI Weisheng, ZHOU You, LI Hong, et al. Insecticidal effect of volatile compounds from fresh plant materials of *Tephrosia vo-*

gelii against *Solenopsis invicta* workers [J]. Sociobiology, 2014, 61(1):28-34.

- [26] 李梓豪,付建涛,张志祥. 雷公藤乙醇提取物及其饵剂对红火蚁的毒杀活性[J]. 华南农业大学学报,2015(5):75-79.
- [27] 刘娜,程东美,徐汉虹,等. 光活化成分 α -三联噻吩对红火蚁的致死作用及对其行为的影响[J]. 中国农业科学,2011(23):4815-4822.
- [28] QI Yixiang, ZENG Tian, WANG Lei, et al. Biogenic amine signaling systems in the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*-possible contributors to worker division of labor[J]. General and Comparative Endocrinology, 2018, 262:59-70.
- [29] 莫让瑜,黄求应,雷朝亮. 挖巢、水灌巢和杀虫剂灌巢对红火蚁迁巢的影响[J]. 华中农业大学学报,2009(1):20-22.
- [30] WANG Lei, ZENG Ling, CHEN Jian. Impact of imidacloprid on new queens of imported fire ants, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. Scientific Reports,2015, 5(17938):1-8.
- [31] 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(4):1-7.

(责任编辑:田 喆)