

陈慧雅, 黄诗悠, 马千里, 张志祥. 氯虫苯甲酰胺对红火蚁的毒杀活性与行为影响 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(4): 89-94.

氯虫苯甲酰胺对红火蚁的毒杀活性与行为影响

陈慧雅, 黄诗悠, 马千里, 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, 广东 广州 510642)

摘要: 【目的】研究氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁 (*Solenopsis invicta* Buren) 的毒杀活性及行走能力、爬杆能力、抓附能力等行为的影响。【方法】以水试管喂毒法对红火蚁进行防治试验。【结果】8 mg/L 氯虫苯甲酰胺处理 60 h 后, 小型红火蚁校正死亡率为 96.55%, 16 mg/L 氯虫苯甲酰胺处理 60 h 后, 中型红火蚁校正死亡率为 100.00%。8 mg/L 氯虫苯甲酰胺处理小型红火蚁 36 h 后, 行走率、爬杆率、抓附率分别为 15.00%、15.00%、11.67%, 16 mg/L 氯虫苯甲酰胺处理中型红火蚁 36 h 后, 行走率、爬杆率、抓附率分别为 15.00%、13.33%、11.67%。【结论】氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁具有良好毒杀活性和行为影响, 在红火蚁防控上具有良好应用前景。

关键词: 红火蚁; 氯虫苯甲酰胺; 毒杀活性; 防治试验

中图分类号: S482.3+2

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)04-0089-06

Effects of Chlorantraniliprole on Toxic Activity and Behavior of *Solenopsis invicta* Buren

CHEN Huiya, HUANG Shiyu, MA Qianli, ZHANG Zhixiang

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

Abstract: 【Objective】The study was conducted to explore the effects of chlorantraniliprole on the toxic activity, walking ability, climbing ability and adhesion ability of small and medium-sized *Solenopsis invicta* Buren. 【Method】The toxic activity of chlorantraniliprole against *S. invicta* Buren was assayed with aqueous solution tubes method. 【Result】The results showed that the corrected mortality of the small-sized *S. invicta* Buren was 96.55% after treatment with 8 mg/L of chlorantraniliprole for 60 h. The corrected mortality of the medium-sized *S. invicta* Buren was 100.00% after treatment with 16 mg/L of chlorantraniliprole for 60 h. After treatment with 8 mg/L chlorantraniliprole for 36 h, the walking rate, climbing rate and adhesion rate of the small-sized *Solenopsis invicta* Buren were 15.00%, 15.00% and 11.67%, respectively. After treatment with 16 mg/L chlorantraniliprole for 36 h, the walking rate, climbing rate and adhesion rate of the medium-sized *Solenopsis invicta* Buren were 15.00%, 13.33% and 11.67%, respectively. 【Conclusion】Chlorantraniliprole shows good toxic activity and behavior effects on small and medium-sized *S. invicta* Buren, and has a good application prospect in the prevention and control of *S. invicta* Buren.

Key words: *Solenopsis invicta* Buren; chlorantraniliprole; toxic activity; control experiment.

【研究意义】红火蚁 (*Solenopsis invicta* Buren) 属膜翅目蚁科切叶蚁亚科火蚁属, 是一种国际重大危险性害虫^[1]。2004年, 红火蚁入侵我国华南地区, 影响到本地生物的多样性,

收稿日期: 2019-01-20

基金项目: 广东省自然科学基金 (2016A030313387)

作者简介: 陈慧雅 (1999—), 女, 在读本科生, 研究方向为植物保护农药学, E-mail: 513451334@qq.com

通信作者: 张志祥 (1974—), 男, 博士, 教授, 研究方向为植物保护农药学, E-mail: zdsys@scau.edu.cn

并给农林业安全、生态安全带来极大危害,具有严重的危险性^[2]。广东地区是红火蚁在中国大陆入侵的首发地区,同时也是红火蚁入侵历史较为长久、危害最严重、分布区域广泛的地区^[3]。它危害到人类健康,破坏生态平衡,损坏公共设施,影响社会公共安全,严重时可危及人类的生命安全,在农业生产和国民经济方面均造成严重损失。红火蚁的体积不特别大,巢内红火蚁绝大多数个体都是无生殖能力的工蚁,成熟蚁巢中工蚁的数量往往可达20万~30万头,数量庞大,且工蚁个体大小分布有较高的多态性^[4-5]。每年的5~10月是红火蚁发生的高峰期,红火蚁主要发生在田地、荒地、路边、绿化带、果园等地方^[6]。因此,研究红火蚁新型有效的化学防控方法对生态环境、人类安全等问题具有重大意义。

【前人研究进展】氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)是杜邦公司于2007年商品化的新型邻氨基苯甲酰胺类杀虫剂,属于微毒级农药^[7-8]。目前已登记在水稻、玉米、甘蓝、棉花、马铃薯、花椰菜等17种作物上,主要应用于防治多种作物上的鳞翅目害虫,对其他害虫也能进行有效防治,对多种鳞翅目害虫具有高效、长效及对环境、人畜安全的特点^[9]。【本研究切入点】氯虫苯甲酰胺作用方式新颖,其作用方式为通过与鱼尼丁受体结合,激活钙离子通道,导致内部钙离子无限制地释放,使得其肌肉细胞丧失收缩功能,使得肌肉麻痹、活动停顿、瘫痪,进而使害虫迅速地停止进食、乏力、反胃,直至死亡^[10-11]。其对非靶标生物安全性好,与现有杀虫剂亦不存在交互抗性,能有效地防治对其他杀虫剂产生抗性的害虫,杀虫持效性良好^[12-13]。因此,研究氯虫苯甲酰胺对红火蚁的毒杀活性和行为影响,可以提供新的方法防控红火蚁。

【拟解决的关键问题】研究了氯虫苯甲酰胺对红火蚁中小型工蚁的毒杀活性以及对处理后不同时段中存活的红火蚁中小型工蚁行走、爬杆、抓附等行为指标能力的影响,为药剂防控红火蚁提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试药剂95%氯虫苯甲酰胺原药,湖北康宝泰精细化工有限公司生产。红火蚁于2018年7月

采集于华南农业大学校园内^[14]。将采集带土的红火蚁巢装在塑料桶中,桶壁已涂上滑石粉,以防止桶中红火蚁出走。随后采用滴水缓浸的方法,将红火蚁诱导出土面,并转移至涂有滑石粉的塑料盒,置于黑暗环境,以火腿肠水试管饲养,7d后可供试验使用。养虫室温度23~27℃,湿度65%~85%。

1.2 试验方法

1.2.1 氯虫苯甲酰胺配制方法 用少量丙酮溶解氯虫苯甲酰胺原药,然后用乳化剂吐温80+丙酮水溶液将其稀释成500 mg/L氯虫苯甲酰胺溶液,其中吐温80和丙酮的含量为0.1%。再用0.01%吐温80+0.01%丙酮水溶液稀释,配制0.5、1、2、4、8、16 mg/L氯虫苯甲酰胺溶液。空白对照为0.01%吐温80+0.01%丙酮水溶液。

1.2.2 氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁毒杀活性的测定 试验采用水试管喂毒法^[15]进行氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁毒杀活性的测定。分别将氯虫苯甲酰胺溶液或空白对照加入容量为2 mL的小试管内,在试管口塞一团棉花,以保证试管中溶液不流出挥发。将装溶液的小试管分别放入,干燥的塑料杯(高9 cm,直径7 cm),并在杯口至以下5 cm抹上滑石粉。将可供试的正常活性的中小型红火蚁接入塑料杯中,每个杯子分别接入20头小型红火蚁或中型红火蚁,每个处理3次重复。处理后12、24、36、48、60 h观察结果,计算死亡率和校正死亡率。

1.2.3 氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁行走率、爬杆率、抓附率的测定 红火蚁处理方法同1.2.2。分别于药后12、24、36、48、60 h进行观察,每个时间段测定完毕后,将中小型红火蚁转接回原杯中。行走率、爬杆率、抓附率等仅在活虫数大于10头时进行测定,以保证测定结果的可靠性。

行走率测定^[16]:用竹签将红火蚁工蚁挑至白纸上,3 s内移动3 cm则定为其有行走能力。计算红火蚁工蚁行走率。

爬杆率测定^[17]:用细长竹签轻轻接触塑料杯中的红火蚁工蚁,使红火蚁工蚁在竹签上爬行,可爬行5 cm及以上则定为有爬杆能力。计算红火蚁工蚁爬杆率。

抓附率测定^[18]:用竹签将红火蚁挑入杯中,轻微震动塑料杯使红火蚁工蚁在杯底处散开,翻转该塑料杯,使塑料杯口垂直向下,3 s后记录未

掉落在白纸上的工蚁则被定为具有抓附能力。计算红火蚁工蚁抓附率。

试验数据采用 Excel 2016 进行标准误差分析, 利用 SPSS 对测定的红火蚁中小型工蚁死亡率、行走率、爬杆率、抓附率数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 氯虫苯甲酰胺对红火蚁工蚁的毒杀活性

试验结果 (表 1、表 2) 表明, 氯虫苯甲

酰胺对红火蚁工蚁具有较好的毒杀活性, 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型、中型红火蚁工蚁校正死亡率有显著影响 ($F=14.491$, $P=0.002$; $F=12.169$, $P=0.004$)。高浓度氯虫苯甲酰胺处理比低浓度氯虫苯甲酰胺处理中小型红火蚁毒杀活性效果更加显著, 氯虫苯甲酰胺能使中小型红火蚁存活数量显著下降。

表 1 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型红火蚁工蚁的毒杀活性

Table 1 Toxic activities of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution against small-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	校正死亡率 Corrected mortality (%)				
	12h	24h	36h	48h	60h
0.5	0.00 ± 0.00a	1.72 ± 2.89a	8.62 ± 1.67a	12.07 ± 5.00a	13.79 ± 4.41a
2	0.00 ± 0.00a	12.07 ± 2.89a	37.93 ± 2.89b	46.55 ± 4.41b	55.17 ± 4.41b
8	7.00 ± 1.67b	39.66 ± 3.33b	70.69 ± 4.41c	89.66 ± 2.89c	96.55 ± 1.67c

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

表 2 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对中型红火蚁工蚁的毒杀活性

Table 2 Toxic activities of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution against medium-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	校正死亡率 Corrected mortality (%)				
	12h	24h	36h	48h	60h
1	1.67 ± 1.67a	1.67 ± 1.67a	5.00 ± 5.00a	10.00 ± 2.89a	11.67 ± 3.33a
4	3.33 ± 1.67a	18.33 ± 4.41a	36.67 ± 3.33b	51.67 ± 7.26b	55.00 ± 5.00b
16	1.67 ± 1.67a	48.33 ± 6.67b	65.00 ± 5.77c	93.33 ± 1.67c	100.00 ± 0.00c

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

2.2 氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁行走能力的影响

试验结果 (表 3、表 4) 表明, 氯虫苯甲酰胺能显著降低中小型红火蚁行走能力, 且高浓度氯虫苯甲酰胺处理比低浓度处理行走能力下降更为

显著。处理后 36 h 内, 各浓度处理存活红火蚁数量均大于 10 头。不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型、中型红火蚁工蚁行走率有显著影响 ($F=5.811$, $P=0.033$; $F=5.508$, $P=0.037$)。

表 3 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型红火蚁工蚁行走能力的影响

Table 3 The effects of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution on walking ability of small-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	行走率 Walking rate (%)		
	12h	24h	36h
0	100.00 ± 0.00a	96.67 ± 1.67a	96.67 ± 1.67a
0.5	98.33 ± 1.67ab	93.33 ± 3.33b	81.67 ± 1.67b
2	96.67 ± 3.33ab	78.33 ± 4.41b	45.00 ± 5.00c
8	86.67 ± 4.41b	35.00 ± 7.64b	15.00 ± 2.89d

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

表 4 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对中型红火蚁工蚁行走能力的影响

Table 4 The effects of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution on walking ability of medium-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	行走率 Walking rate (%)		
	12h	24h	36h
0	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
1	98.33 ± 1.67b	95.00 ± 5.00b	88.33 ± 4.41b
4	95.00 ± 0.00b	71.67 ± 4.41c	41.67 ± 4.41c
16	88.33 ± 1.67b	31.67 ± 6.01c	15.00 ± 5.77c

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

2.3 氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁爬杆能力的影响

试验结果(表5、表6)表明,氯虫苯甲酰胺处理对中小型红火蚁爬杆能力有显著影响,且随着氯虫苯甲酰胺处理浓度的增大,对中小型红火蚁爬杆率的抑制效果越明显。处理后36 h内,各浓度处理存活红火蚁数量均大于10头。不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型、中型红火蚁工蚁爬杆率有显著影响($F=6.265$, $P=0.028$; $F=6.167$, $P=0.029$)。

表5 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型红火蚁工蚁爬杆能力的影响

Table 5 The effects of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution on climbing ability of small-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	爬杆率 Climbing rate (%)		
	12h	24h	36h
0	100.00 ± 0.00a	96.67 ± 1.67a	96.67 ± 1.67a
0.5	100.00 ± 0.00ab	90.00 ± 2.89b	86.67 ± 1.67b
2	93.33 ± 1.67b	80.00 ± 2.89bc	43.33 ± 4.41c
8	83.33 ± 4.41b	41.67 ± 4.41c	15.00 ± 2.89c

注:同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

表6 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对中型红火蚁工蚁爬杆能力的影响

Table 6 The effects of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution on climbing ability of medium-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	爬杆率 Climbing rate (%)		
	12h	24h	36h
0	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
1	96.67 ± 1.67ab	95.00 ± 2.89b	86.67 ± 3.33b
4	91.67 ± 4.41ab	63.33 ± 7.26c	45.00 ± 7.64c
16	86.67 ± 1.67b	36.67 ± 6.01c	13.33 ± 4.41c

注:同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

2.4 氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁抓附能力的影响

试验结果(表7、表8)表明,氯虫苯甲酰胺处理对中小型红火蚁抓附能力有显著影响,且随着氯虫苯甲酰胺处理浓度的增大,对中小型红火蚁抓附率的抑制效果越明显。处理后36 h内,各浓度处理存活红火蚁数量均大于10头。不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型、中型红火蚁工蚁抓附率有显著影响($F=6.004$, $P=0.031$; $F=7.275$, $P=0.020$)。

表7 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对小型红火蚁工蚁抓附能力的影响

Table 7 The effects of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution on adhesion ability of small-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	抓附率 Adhesion rate (%)		
	12h	24h	36h
0	96.67 ± 1.67a	96.67 ± 1.67a	96.67 ± 1.67a
0.5	95.00 ± 2.89ab	86.67 ± 1.67b	81.67 ± 3.33b
2	93.33 ± 3.33b	71.67 ± 4.41bc	48.33 ± 6.01c
8	83.33 ± 1.67b	36.67 ± 7.26c	11.67 ± 4.41c

注:同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

表8 不同浓度氯虫苯甲酰胺处理对中型红火蚁工蚁抓附能力的影响

Table 8 The effects of different concentrations of chlorantraniliprole aqueous solution on adhesion ability of medium-sized workers of *Solenopsis invicta* Buren

浓度 Concentration (mg/L)	抓附率 Adhesion rate (%)		
	12h	24h	36h
0	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a	100.00 ± 0.00a
1	96.67 ± 1.67b	91.67 ± 6.01ab	81.67 ± 3.33a
4	93.33 ± 3.33b	60.00 ± 7.64b	40.00 ± 5.77b
16	81.67 ± 3.33b	28.33 ± 3.33c	11.67 ± 6.01c

注:同列数据后小写英文字母不同者表示经图基法测验差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences at $P<0.05$ by Graph-based approach.

3 讨论

氯虫苯甲酰胺于2008年在我国取得临时登记,目前已在多种作物上取得正式登记并大量使用^[19]。该药通过破坏昆虫细胞质内钙离子环境的稳定性以达到防治害虫的目的,具有高效、低毒的特点,且持效期长,可有效防治对其他杀虫剂已产生抗性的害虫^[20]。

红火蚁是一种社会性昆虫,也是一种重要的入侵昆虫,红火蚁在其蚁巢中的爬行移动和在其蚁巢外的生存活动中,皆需要较好的行走能力、爬杆能力和抓附能力等行为能力,而这些行为能力对于红火蚁的生存和觅食行为具有重大的意义^[21]。因此通过研究毒杀红火蚁及破坏降低其行为能力的思路对氯虫苯甲酰胺防控红火蚁存在重大意义。

试验过程中,在一定浓度范围内,随着浓度的增加,红火蚁工蚁停止进食的时间明显缩短,但均有饮水行为,大部分红火蚁工蚁聚集在水源

处。而在高浓度的氯虫苯甲酰胺溶液中,存在少量的中小型红火蚁行为活性有恢复过来的迹象,有可能与红火蚁的拒食性有关,浓度超过了红火蚁工蚁感知氯虫苯甲酰胺溶液的临界剂量,需要进一步的研究。

在试验测定红火蚁的行为能力时,发现当使用竹签将其从杯中挑起,或放回杯中行为用力不当时,会导致红火蚁对竹签尖端的攻击率下降,且存在一定的逃避行为。而当氯虫苯甲酰胺的用药浓度加大时,红火蚁的逃避行为相对减弱,这可能与红火蚁的逃避记忆有关,而氯虫苯甲酰胺可能对红火蚁工蚁的记忆分子存在一定的影响,需要进一步的研究。

本研究尚未进行相关的田间试验,相关的田间试验可使氯虫苯甲酰胺对红火蚁在田间的毒杀活性行为影响更为明确,需要进一步的试验。

4 结论

试验结果表明,氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁毒杀活性良好,可以显著降低中小型红火蚁的行走能力、爬杆能力、抓附能力等行为能力。本试验中不同浓度氯虫苯甲酰胺溶液对中小型红火蚁毒杀活性有显著差异,高浓度明显比低浓度的氯虫苯甲酰胺的毒杀活性、行为影响显著。氯虫苯甲酰胺对中小型红火蚁具有良好的毒杀活性和行为影响能力,在红火蚁的防控上具有良好的应用前景。

参考文献 (References) :

- [1] VINSON S, BRADLEIGH. Invasion of the red imported fire ant (Hymenoptera: Formicidae): Spread, biology, and impact [J]. *American Entomologist*, 1997, 43(1): 23-39.
- [2] 张波, 何余容, 陈婷, 齐国君, 吕利华. 华南地区桑园和荒地两种生境中红火蚁觅食工蚁的食物组成 [J]. *昆虫学报*, 2015 (4) : 382-390. doi: 10.16380/j.kcxb.2015.04.004.
ZHANG B, HE Y R, CHEN T, QI G J, LV L H. Dietary composition of foragers of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) in two habitats, mulberry orchard and barren lan, in South China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2015(4):382-390. doi: 10.16380/j.kcxb.2015.04.004.
- [3] 张波, 赖韦文, 王美兰, 骆小华, 李国华, 林孝文, 向安强. 广东农林外来有害生物红火蚁入侵历史考察 [J]. *福建林业科技*, 2015(3): 147-152. doi:10.13428/j.cnki.fjlk.2015.03.033.
ZHANG B, LAI W W, WANG M L, LUO X H, LI G H, LIN X W, XIANG A Q. Historical investigation on invasion of alien harmful agricultural and forest species *Solenopsis invicta* in Guangdong [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2015(3):147-152. doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2015.03.033.
- [4] 吕利华, 何余容, 刘杰, 刘晓燕, S.B. Vinson. 红火蚁的入侵, 扩散, 生物学及其危害 [J]. *广东农业科学*, 2006 (5) : 3-11. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2006.05.001.
LV L H, HE Y R, LIU J, LIU X Y, VINSON S B. Invasion, diffusion, biology and harm of *Solenopsis invicta* Buren [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006(5):3-11. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2006.05.001.
- [5] 刘晓燕, 吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 周小毛, 张德雍, 黄华, 何余容. 红火蚁生物防治研究进展 [J]. *广东农业科学*, 2006 (5) : 18-23. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2006.05.003.
LIU X Y, LV L H, FENG X, CHEN H Y, ZHOU X M, ZHANG D Y, HUANG H, HE Y R. Advance in biological control of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera :Formicidae) [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2006(5):18-23. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2006.05.003.
- [6] 林伟坚, 尤江海. 红火蚁发生及防控措施 [J]. *南方农业*, 2018, 12 (2) : 41-43. doi: 10.19415/j.cnki.1673-890X.2018.02.021.
LIN W J, YOU J H. Occurrence and control measures of *Solenopsis invicta* Buren [J]. *South China Agriculture*, 2018,12(2):41-43. doi: 10.19415/j.cnki.1673-890X.2018.02.021.
- [7] PRASAD N V V S, RAO N H P. Bioefficacy of Chlorantraniliprole against *Helicoverpa armigera* (Hubner) on Cotton [J]. *Pesticide Research Journal*, 2010,22(1):23-26.
- [8] 杨桂秋, 童怡春, 杨辉斌, 于海波, 李斌. 新型杀虫剂氯虫苯甲酰胺研究概述 [J]. *世界农药*, 2012 (1) : 31-34.
YANG G Q, TONG Y C, YANG H B, YU H B, LI B. A summary of research on new pesticide chlorantraniliprole [J]. *World Pesticides*, 2012(1):31-34.
- [9] 段劲生, 王梅, 董旭, 孙明娜, 肖青青, 朱玉杰, 孙海滨, 刘艳萍, 高同春. 氯虫苯甲酰胺在水稻及稻田环境中的残留动态 [J]. *植物保护*, 2016 (1) : 93-98. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.01.016.
DUAN J S, WANG M, DONG X, SUN M N, XIAO Q Q, ZHU Y J, SUN H B, LIU Y P, GAO T C. Residue and degradation of chlorantraniliprole in rice and the environment [J]. *Plant Protection*, 2016(1):93-98. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.01.016.
- [10] 徐尚成, 俞幼芬, 王晓军, 万琴. 新杀虫剂氯虫苯甲酰胺及其研究开发进展 [J]. *现代农药*, 2008 (5) : 8-11.
XU S C, YU Y F, WANG X J, WAN Q. Rynaxypyr, a new insecticide and its research & development in application [J]. *Modern Agrochemicals*, 2008(5):8-11.
- [11] 王少丽, 董钧锋, 李如美, 张友军, 吴青君, 谢文. 甜菜夜蛾对氯虫苯甲酰胺抗性种群选育及鱼尼丁受体基因表达特征 [J]. *植物保护学报*, 2015 (3) : 425-431. doi: 10.13802/j.cnki.zwbhxb.2015.03.021.
WANG S L, DONG J F, LI R M, ZHANG Y J, WU Q J, XIE W. Selection for resistance in the beet armyworm, *Spodoptera exigua* to chlorantraniliprole and expression patterns of ryanodine receptor [J]. *Journal of Plant Protection*, 2015(3):425-431. doi: 10.13802/j.cnki.

- zwbhxb.2015.03.021.
- [12] IORIATTI C, ANFORA G, ANGELI G, MAZZONI V, TRONA F. Effects of chlorantraniliprole on eggs and larvae of *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermuller, Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Pest Manag SCI*, 2009,65(6):717-722. doi: 10.1002/ps.1744.
- [13] LAHM G P, C D, BARRY J D. New and selective ryanodine receptor activators for insect control [J]. *Bioorgan Med Chem*, 2009,17(12):4127-4133. doi: 10.1016/j.bmc.2009.01.018.
- [14] 吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 刘杰, 刘晓燕, 何余容. 介绍红火蚁的野外采集和实验室饲养的方法 [J]. *昆虫知识*, 2006 (2): 265-267.
- LV L H, FENG X, CHEN H Y, LIU J, LIU X Y, HE Y R. Introduction of *Solenopsis invicta* Buren collected in the field and laboratory rearing methods [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2006(2):265-267.
- [15] ZHANG Z X, ZHOU Y, SONG X N, XU H H, CHENG D M. Insecticidal Activity Of The Whole Grass Extract of *Typha angustifolia* and its active component against *Solenopsis invicta* [J]. *Sociobiology*, 2013,60(4):362-366.
- [16] 周艺凡, 卢彦蓉, 马千里, 张志祥. 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, 45 (1): 75-79. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2018.01.013.
- ZHOU Y F, LU Y R, MA Q L, ZHANG Z X. The effects of cyantraniliprole on the behavior and lethality of the worker ants of *Solenopsis invicta* [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2018, 45(1):75-79. doi: 10.16768/j.issn.1004-874X.2018.01.013.
- [17] 李梓豪, 刘平平, 梁英敏, 张志祥. 氟铃脲饵剂的制备及其对红火蚁的杀虫活性 [J]. *西南农业学报*, 2015 (1): 197-201. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2015.01.038.
- LI Z H, LIU P P, LIANG Y M, ZHANG Z X. Preparation and insecticidal activity of hexaflumuron baits against *Solenopsis invicta* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015(1):197-201. doi: 10.16213/j.cnki.scjas.2015.01.038.
- [18] 肖春霞, 张佩文, 谭煜婷, 张志祥. 氟啶虫胺脒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.
- XIAO C X, ZHANG P W, TAN Y T, ZHANG Z X. Effects of sulfoxafloron death and activity of *Solenopsis invicta* [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*. 2018(4):48-51.
- [19] LI Y X, MAO M Z, LI Y M, XIONG L X, XU J Y. Modulations of high-voltage activated Ca²⁺ channels in the central neurones of *Spodoptera exigua* by chlorantraniliprole [J]. *Phytol Entomol*, 2011,36(3):230-234. doi: 10.1111/j.1365-3032.2011.00788.
- [20] 李红红, 王彦辉, 韦典, 杨珂, 李雪生, 谭辉华, 曾东强. 氯虫苯甲酰胺在甘蔗及土壤中的残留消解动态 [J]. *农药学学报*, 2016 (1): 101-106. doi: 10.16801/j.issn.1008-7303.2016.0012.
- LI H H, WANG Y H, WEI D, YANG K, LI X S, TAN H H, ZENG D Q. Residual digestion dynamics of chlorantraniliprole in sugarcane and soil [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2016(1):101-106. doi: 10.16801/j.issn.1008-7303.2016.0012.
- [21] TEIXEIRA L A, ANDALORO J T. Diamide insecticides: Global efforts to address insect resistance stewardship challenges [J]. *Pestic Biochem Phys*, 2013,106(3S1):76-78. doi: 10.1016/j.pestbp.2013.01.010.

(责任编辑 杨贤智)