

种子丸粒化包衣处理后氟啶虫胺胍的消解动态及对黄曲条跳甲的防控效果*

熊腾飞** 林庆胜*** 冯 夏***

(广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640)

摘 要 【目的】明确丸粒化包衣处理后氟啶虫胺胍在菜薹体内的消解动态和对黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* (Fabricius) 的防控效果, 为十字花科蔬菜种子丸粒化包衣的科学应用提供参考。【方法】应用高效液相色谱法分析了氟啶虫胺胍在菜薹各营养器官和根系周边土壤中的消解动态。【结果】氟啶虫胺胍在土壤中的浓度呈现先增加后降低的发展趋势, 播种后第 1 天氟啶虫胺胍在土壤中的浓度为 17.03 mg/kg, 第 10 天升高至 33.87 mg/kg, 随后缓慢下降, 在第 31 天时下降到 0.17 mg/kg。氟啶虫胺胍在菜薹根和叶中的浓度也呈现先增加后降低的发展趋势, 播种后第 4 天根、叶中的浓度分别为 82.14 mg/kg 和 279.67 mg/kg, 随后逐渐升高, 在第 7 天达到 56.85 mg/kg 和 325.27 mg/kg, 此后缓慢下降, 第 31 天时氟啶虫胺胍在根和叶中的浓度均低于检测限。氟啶虫胺胍在菜薹茎中的浓度呈现下降趋势, 播种后第 4 天茎中氟啶虫胺胍的浓度为 81.47 mg/kg, 然后一直下降, 直至第 31 天时低于检测限。田间试验结果显示菜薹种子应用氟啶虫胺胍丸粒化包衣技术处理后黄曲条跳甲的田间种群数量和受害株数均显著低于对照组。【结论】本研究证明了氟啶虫胺胍丸粒化包衣在菜薹生产中安全可行, 并且对黄曲条跳甲防控效果显著, 为黄曲条跳甲的防治和十字花科作物的安全生产提供了一个有效的解决方案。

关键词 种子丸粒化; 氟啶虫胺胍; 防治效果; 消解动态

Degradation dynamics of sulfoxaflor in Choy sum plants and soil after seed pelletizing treatment and the effectiveness of this pesticide against *Phyllotreta striolata* (Fabricius)

XIONG Teng-Fei** LIN Qing-Sheng*** FENG Xia***

(Institute of Plant Protection, Guangdong Academy of Agricultural Sciences; Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, China)

Abstract [Objectives] To clarify the degradation dynamics of sulfoxaflor in choy sum (*Brassica rapa* var. *Parachinensis*) and its effectiveness against *Phyllotreta striolata* (Fabricius) after seed pelleting treatment, and to provide a reference for the scientific application of the seed pelleting for cruciferous vegetables. [Methods] The degradation dynamics of sulfoxaflor in the vegetative organs and root soil of choy sum were analyzed by High-performance liquid chromatography (HPLC). [Results] The concentration of sulfoxaflor in soil first increased, then decreased, from 17.03 mg/kg the first day after sowing to 33.87 mg/kg on the 10th day to 0.17 mg/kg at the 31st day. The sulfoxaflor concentration in the roots and leaves of choy sum also first increased, then decreased, from 82.14 mg/kg and 279.64 mg/kg, respectively, on the 4th day, to 156.85 mg/kg and 325.22 mg/kg on the 7th day, before falling to below the detection limit on the 31st day. The concentration of sulfoxaflor in the stem of the choy sum decreased from 81.47 mg/kg on the 4th day to below the detection limit on the 31st day. The results of

*资助项目 Supported projects: 广州市科技计划项目 (2014J4500028); 国家农业部公益性行业 (农业) 科研专项 (201303019-8); 广东省农业科学院创新研究团队项目

**第一作者 First author, E-mail: XiongtengFly@163.com

*** 共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: linqs8066@126.com; fengx@gdppri.com

收稿日期 Received: 2019-02-12; 接受日期 Accepted: 2019-05-19

field experiments show that both numbers of *P. striolata* and damage to choy sum plants were significantly lower than in the control group. [Conclusion] Pelleting of vegetable seeds with sulfoxaflor is safe for the production of choy sum. This method provides an effective solution for the prevention and control of the *P. striolata* and the safe production of cruciferous crops.

Key words seed-pelleted; sulfoxaflor; prevention and control effect; degradation dynamics

种子丸粒化是指在种子表面包裹一层材料使种子变大变重, 填补种子表面缺刻使外形规则统一, 更适合机械化播种 (Guan *et al.*, 2013)。同时以种子丸粒化材料为载体加入杀虫剂、杀菌剂、生长调节剂和肥料等活性物质, 赋予种子特定功能, 减少前期植保和人工投入。

氟啶虫胺胍 (Sulfoxaflor) 是磺酰亚胺类杀虫剂, 具有良好的内吸性, 对蚜虫、飞虱、盲蝽和蜡蝉等刺吸式口器昆虫表现出优良的杀虫活性, 对鞘翅目昆虫也有很高的毒力 (石小丽, 2010; Zhu *et al.*, 2011; 武海斌等, 2015)。氟啶虫胺胍结构新颖, 主要作用于昆虫烟碱型乙酰胆碱受体的独特位点 (Watson *et al.*, 2011), 对抗药性昆虫有很好的防控效果 (Babcock *et al.*, 2011), 是用于抗性治理的一个新药剂 (于福强等, 2013)。

黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* (Fabricius) 属鞘翅目叶甲科, 是为害十字花科蔬菜的一种世界性害虫 (Beran *et al.*, 2011, 2016; 金银利等, 2012)。近年来黄曲条跳甲在一些地区有取代小菜蛾成为危害十字花科蔬菜头号害虫的趋势 (贺华良等, 2012a; 梁宏卫等, 2007)。黄曲条跳甲成虫善跳活动能力较强, 并且生产上长期使用化学杀虫剂防治该虫, 使之产生了较强的抗药性, 致使化学杀虫剂茎叶喷雾的方式不能有效的防治成虫 (贺华良等, 2012; 何越超, 2017b)。黄曲条跳甲幼虫虽然没有甲壳防护且活动能力弱, 但由于其在土壤中活动, 普通茎叶喷雾的施药方式防效不佳。有研究表明土壤处理是防治黄曲条跳甲的有效方法 (李建宇等, 2007)。

种子丸粒化包衣可以让种子带药下地, 使药物直接作用于黄曲条跳甲的幼虫时期, 有效控制黄曲条跳甲对苗期作物的为害 (胡珍娣等, 2017; 尹飞等, 2017)。本研究将氟啶虫胺胍通过种子丸粒化包裹于菜薹种子外部, 让种子带药下地,

测试对田间黄曲条跳甲种群的防控效果和氟啶虫胺胍在菜薹根际土壤、根、茎、叶中的降解动态, 为黄曲条跳甲的绿色防控提供一种解决方案。

1 材料与方法

1.1 试验设备和材料

试验地点: 广东省农业科学院大丰试验基地。

试验菜种: 青翠菜心 (广东良种公司提供)。

试验药剂: 氟啶虫胺胍 (陶氏益农可立施)。

种子丸粒化包衣材料: 广东省农业科学院植物保护研究所自研材料。

烘干机械: 广东省农业科学院植物保护研究所自研。

液相色谱仪: Agilent 1200-6410 (LC-MS/MS) 安捷伦液质联用色谱仪, 色谱柱: 热电 Hypersil GOLD-C18 (50 mm×21 mm×5 μm)。

氟啶虫胺胍标准样品购自 Dr. Ehrenstorfer, PSA 填料, 甲酸、乙腈等试剂均为色谱纯 (GR 级)。

1.2 试验方法

1.2.1 种子丸粒化包衣方法 种子 50 g, 种子丸粒化材料 200 g, 50% 氟啶虫胺胍水分散剂 10 g, 粘合剂若干。将种子、丸粒化材料、粘合剂和氟啶虫胺胍悬浮液加入丸粒化机械指定位置开机进行包衣, 包衣完成后放入烘干机械内烘干, 最后装入自封袋内, 密封避光保存。

1.2.2 农药残留样品采集方法 整体设计参考《中华人民共和国农业行业标准 NY/T 788-2004 农药残留试验准则》。

实验地点为广东省农业科学院大丰试验基地, 处理和对照分别设 3 个重复, 交叉播种。播种后第 1、4、7、10、17、24、31 天在试验地块采用随机取样法采集土壤样本, 采集后 -20 °C 储存, 留作统一检测。植株取样: 播种后第 4、

7、10、17、24、31 天在试验小区采用随机取样法采集植株样本 10 g 以上,在室内洗净根部泥土,分离根茎叶,分别置于自封袋中, - 20 °C 储存,留作统一检测。

1.2.3 农药残留检测方法 实验方法参照 QUECHE 农残检测法。

样品前处理:按具体样品量称取菜薹和土壤样品,加入对应量的乙腈浸泡过夜后超声处理 2 min, 10 000 r/min 离心后取上清液,用 PSA 净化过 0.22 μm 滤膜上机。

测定条件:色谱柱:热电 Hypersil GOLD-C18 (50 mm×4.6 mm×5 μm),流动相:甲酸水(1 000 倍):乙腈=45:55,柱温 35 °C,流速 0.2 mL/min,进样量:5 μL 离子源温度:350 °C 离子源电压:3 000 V。环境温度 26.4 °C,环境湿度 62.3%。

1.2.4 农药残留数据处理方法 农药残留结果采用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较,比较不同部位或不同时间的氟啶虫胺胍残留量的差异。并根据消解动力学方程计算药物消解的半衰期。

消解动力学方程: $C_T = C_0 e^{-kT}$,

C_T ——时间 T (d 或 h) 时的农药残留量,单位为 mg/kg;

C_0 ——施药后的原始沉积量,单位为 mg/kg (种衣剂以施放高峰作为原始沉积量);

k ——消解系数;

T ——施药后时间,单位为 d 或 h。

根据以上推导可得:光解半衰期 $t_{0.5} = \frac{\ln 2}{k}$ 。

(崔伟腾, 2012)

1.2.5 田间药效试验方法 虫口数:在播种后第 7、10、13、16 天用五点取样法在每个试验小区分别取五个点,逐株清算每株菜薹上的黄曲条跳甲的虫口数,并记录结果。

菜薹受害率:在播种后第 7、10、13、16 天用五点取样法在每个试验小区分别取五个点,样方长宽各 20 cm,统计区域内菜薹总株数和受害株数,计算受害率。

菜薹受害率计算公式:

$$\text{受害率} = \frac{\text{受害菜薹株数}}{\text{菜薹总株数}} \times 100\%。$$

1.3 分析方法

使用独立样本的 t -检验进行均值比较,比较处理与对照之间的虫口数和受害株率的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 氟啶虫胺胍在土壤中的消解动态

氟啶虫胺胍的残留检测采用外标法,标准曲线方程为: $Y = 106\,000X$, $R^2 = 0.999\,7$,检出限 0.005 mg/kg。

检测结果表明,氟啶虫胺胍在土壤的含量先增加后减少。播种后第 1 天氟啶虫胺胍在土壤中的含量为 17.03 mg/kg,然后逐渐升高,第 10 天达到 33.87 mg/kg,然后快速下降,到第 17 天含量为 3.55 mg/kg,之后缓慢下降,在第 31 天仅为 0.17 mg/kg,如图 1 所示。

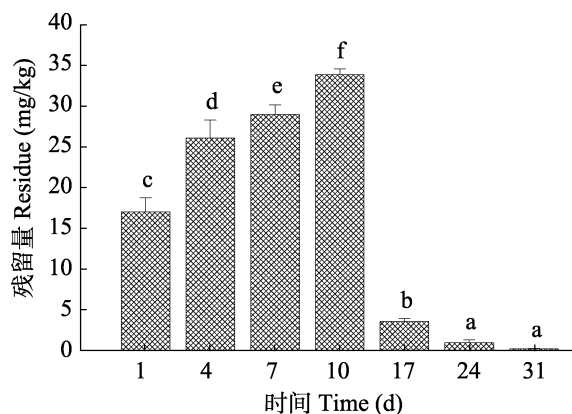


图 1 氟啶虫胺胍在土壤中的消解动态

Fig. 1 Degradation dynamics of sulfoxaflor in soil

按含量从低到高。柱上标有不同字母表示差异显著 (Duncan's 多重检验法)。下图同。

The order from high content to low. Histograms with different letters indicate significant different by Duncan's multiple-rang test. The same below.

2.2 氟啶虫胺胍在菜薹各器官中的消解动态

播种第 4、7、10、17、24、31 天时氟啶虫胺胍在菜薹根中的残留量为 82.14、156.85、58.01、28.12、7.67、0.00 mg/kg;茎中的残留量为 81.47、56.22、29.97、14.62、7.36、0.00 mg/kg;叶中的残留量为 279.64、325.22、110.13、48.46、

9.41、0.00 mg/kg。可见氟啶虫胺胍在菜薹根和叶中的含量均是先升高后降低。播种后第 4 天根、叶中的氟啶虫胺胍的含量分别为 82.14 mg/kg 和 279.64 mg/kg, 然后含量升高, 同时在第 7 天达到最高值, 分别是 156.85 mg/kg 和 325.27 mg/kg; 随后缓慢下降, 在第 31 天时两部位氟啶虫胺胍的含量均低于检测限。氟啶虫胺胍在菜薹茎中的含量一直呈下降趋势, 播种后第 4 天的含量为 81.47 mg/kg, 然后一直降低, 第 31 天时低于检测限。氟啶虫胺胍在根茎叶中的含量前 10 天下降速率较快, 第 10 天之后的下降速率减缓, 这一现象在根和叶中尤为明显。

氟啶虫胺胍在菜薹根、茎、叶中的浓度大致为叶>根>茎。播种后第 4 天氟啶虫胺胍在菜薹叶中的浓度大约是根和茎中的 2 倍, 而在根和茎中浓度差异不显著。播种后第 7 天氟啶虫胺胍在菜薹叶中的浓度依然是茎中的 2 倍, 但是在根中的浓度有所增加。之后氟啶虫胺胍在菜薹各器官中的浓度不断降低, 但在各器官中的浓度比较依然是叶>根>茎。

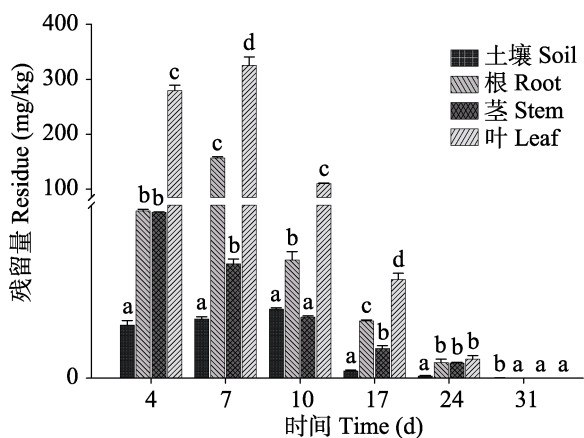


图 2 播种后不同时间土壤及菜薹不同部位
氟啶虫胺胍的残留量
Fig. 2 Residues of sulfoxaflor in different parts of
choy sum at different time

2.3 氟啶虫胺胍在土壤和菜薹体内的半衰期

氟啶虫胺胍在土壤和菜薹器官中的消解曲线均满足一级动力学方程。氟啶虫胺胍在土壤和菜薹根茎叶中的残留消解动态方程分别为 $C_t=324.183\ 9e^{-0.246\ 1t}$ 、 $C_t=407.822\ 1e^{-0.164\ 7t}$ 、

$C_t=120.489\ 3e^{-0.120\ 2t}$ 和 $C_t=1\ 057.545\ 4e^{-0.193\ 9t}$, 氟啶虫胺胍在土壤、根、茎和叶中的半衰期分别为 2.82、4.21、5.77、3.57 d。

表 1 氟啶虫胺胍在土壤和菜薹各器官中降解的
动力学方程和半衰期

Table 1 Degradation kinetic equation and half-life of
sulfoxaflor in soil and different part of choy sum

部位 Part	一级动力学方程 Frist order kinetic equation	R^2	速率常数 (k) Rate constants	半衰期(d) Half-life period
土壤 Soil	$C_t=324.183\ 9e^{-0.246\ 1t}$	0.989	0.246 1	2.82
根 Root	$C_t=407.822\ 1e^{-0.164\ 7t}$	0.970	0.164 7	4.21
茎 Stem	$C_t=120.489\ 3e^{-0.120\ 2t}$	0.984	0.120 2	5.77
叶 Leaf	$C_t=1\ 057.545\ 4e^{-0.193\ 9t}$	0.972	0.193 9	3.57

2.4 氟啶虫胺胍丸粒化包衣的田间防效

2.4.1 氟啶虫胺胍丸粒化包衣对菜薹的保护效果 受害率是恒量氟啶虫胺胍丸粒化包衣对菜薹保护效果的指标。实验结果显示, 施药组和 CK 在第 7 天、第 10 天、第 13 天、第 16 天时菜薹的平均受害率为 0 和 13.2% ($df=2$, $t=40.460$, $P<0.001$)、0.3%和 40% ($df=4$, $t=-3.843$, $P=0.018<0.05$)、3.8%和 63% ($df=4$, $t=-20.996$, $P<0.001$)、27.3%和 100% ($df=4$, $t=-108.385$, $P<0.001$), 两者之间均存在显著性差异。

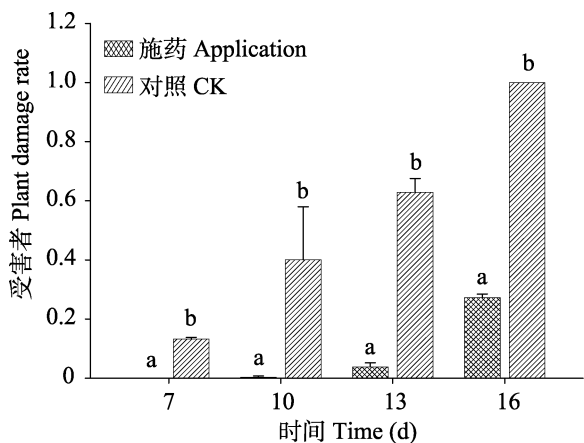


图 3 不同日期处理组和对照组菜薹受害株率
Fig. 3 The change of the rate of choy sum
damage rate with time

2.4.2 氟啶虫胺胍丸粒化包衣对黄曲条跳甲田间种群的影响 田间实验结果显示, 施药组和 CK 在第 7 天、第 10 天、第 13 天、第 16 天时平均虫口数量分别是 0.30 和 3.00 ($df=4, t=-4.000, P=0.016<0.05$)、0.63 和 3.67 ($df=4, t=-7.071, P=0.002<0.05$)、0.67 和 4.67 ($df=4, t=-4.243, P=0.013<0.05$)、1.67 和 5 ($df=4, t=-5, P=0.007<0.05$) 头/0.04 m², 两者之间均存在显著性差异。

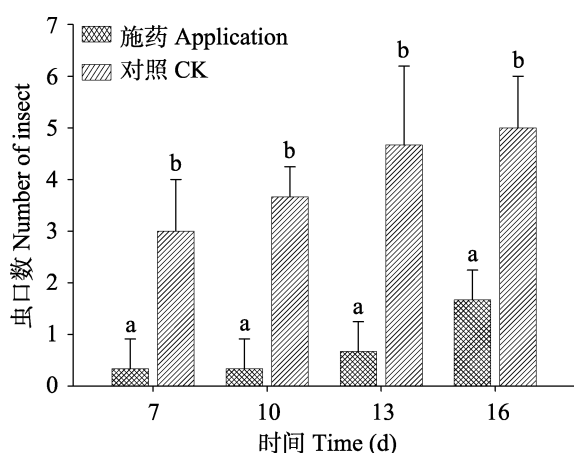


图 4 不同含量氟啶虫胺胍处理下不同时间的虫口数量
Fig. 4 The number of insect with different concentrations of *Phyllotreta striolata* in different time

3 讨论

农药缓释是运用物理和化学的手段将农药与载体材料结合后缓慢的释放到环境中, 农药缓释剂的运用可以达到减少药物突然释放量和延长药物持效期的效果 (崔伟腾, 2012; 吴建宁, 2018)。Xu 等 (2012) 及秦旭等 (2014) 使用水分散粒剂喷雾施药方式可以让氟啶虫胺胍在土壤中浓度持续降低, 本实验使用种子丸粒化包衣施药方式, 氟啶虫胺胍在土壤中的浓度在第 1 至第 10 天呈现逐渐上升的趋势, 之后下降, 说明本实验选用的种子丸粒化材料对氟啶虫胺胍有一定的缓释作用。但是丸粒化材料对药剂的释放速率以及释放速率随时间的变化还需要进一步的研究。

药剂的半衰期是指农药在环境中消解一半时所需要的时间, 药剂的半衰期代表了药剂在环

境中的降解速率 (矫健, 2018)。氟啶虫胺胍种子丸粒化包衣处理后在土壤和菜薹根茎叶中的半衰期分别是 2.82、4.21、5.77、3.57 d, 所以氟啶虫胺胍通过种子丸粒化包衣方式施用属于易消解农药, 具有相当的安全性。Xu 等 (2012) 报道氟啶虫胺胍在山东、河南、浙江的黄瓜和土壤中的半衰期分别是 1.6-2.9 d 和 1.5-07.2 d, 与此相比本研究测得菜薹上的半衰期略高于他们, 可能是丸粒化包衣材料的缓释作用使氟啶虫胺胍持续输送给植株造成的。

农业动物的主要食物来源是作物的幼苗和种子 (Chaton *et al.*, 2008), 黄曲条跳甲的成虫和幼虫在十字花科蔬菜前期可以造成毁灭性伤害 (郑丽祯等, 2013)。种子丸粒化包衣处理后, 氟啶虫胺胍在植株生长前期各器官内具有较高的浓度, 有效控制了黄曲条跳甲对菜苗的为害。到菜薹采收期, 氟啶虫胺胍在菜薹各器官内的含量已经远远低于允许最高残留限量标准, 例如澳大利亚对氟啶虫胺胍在菜薹上的最高残留限量是 3 mg/kg。

本研究结果表明, 种子丸粒化包衣可缓释氟啶虫胺胍, 有效延长氟啶虫胺胍的持效期, 控制黄曲条跳甲的田间种群数量, 减少田间菜薹被黄曲条跳甲的危害比例, 保护十字花科蔬菜的安全生产, 在十字花科作物的安全生产和发展中具有相当的推广应用价值。

参考文献 (References)

- Babcock JM, Gerwick CB, Huang JX, Loso MR, Nakamura G, Nolting SP, Rogers RB, Sparks TC, Thomas J, Watsona GB, Zhu YM, 2011. Biological characterization of sulfoxaflo, a novel insecticide. *Pest Manag. Sci.*, 67(3): 328-334.
- Beran F, Jiménez-Alemán GH, Lin MY, Hsu YC, Mewis I, Srinivasan R, Ulrichs C, Boland W, Hansson BS, Reinecke A, 2016. The aggregation pheromone of *Phyllotreta striolata* (Coleoptera: Chrysomelidae) revisited. *Journal of Chemical Ecology*, 42(8): 748-755.
- Beran F, Mewis I, Srinivasan R, Svoboda J, Vial C, Mosimann H, Boland W, Büttner C, Ulrichs C, Hansson BS, Reinecke A, 2011. Male *Phyllotreta striolata* (F.) produce an aggregation pheromone: identification of male-specific compounds and interaction with host plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 37(1): 85-97.

- Cui WT, 2012. Controlled release of avermectin from attapulgit-based composites. Master's degree thesis. Beijing: Beijing University of Chemical Technology. [崔伟腾, 2012. 凹凸棒土负载农药缓释剂的制备及缓释性能. 硕士学位论文. 北京: 北京化工大学.]
- Guan YJ, Wang JC, Tian YX, Hu WM, Zhu LW, Zhu SJ, Hu J, 2013. The Novel approach to enhance seed security: dual anti-counterfeiting methods applied on tobacco pelleted seeds. *PLoS ONE*, 8(2): 1–9.
- He CY, 2017. Study on non-chemical control measures of *Phyllotreta striolata* (Fabricius). Master's degree thesis. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [何越超, 2017. 黄曲条跳甲的非化学防治技术研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- He HL, Bin SY, Lin JT, 2012a. Research progress on biological and ecological characteristics and causes of occurrence. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 40(20): 10683–10686. [贺华良, 宾淑英, 林进添, 2012a. 黄曲条跳甲生物学·生态学特征及发生原因研究进展. 安徽农业科学, 40(20): 10683–10686.]
- He HL, Bin SY, Lin JT, Liao HZ, 2012b. Research progress on comprehensive control of *Phyllotreta striolata* (Fabricius) of vegetable pests. *Guangdong Agricultural Science*, 39(12): 133–138. [贺华良, 宾淑英, 林进添, 廖泓之, 2012b. 蔬菜害虫黄曲条跳甲综合防治研究进展. 广东农业科学 39(12): 80–83.]
- Hu ZD, Liu MJ, Li ZY, Yin F, Chen HY, Bao HL, Feng X, 2017. Protective effects and safety assessment of flowering cabbage seed-coating treatment of seven insecticides. *Journal of Environmental Entomology*, 39(6): 1374–1381. [胡珍娣, 刘明津, 李振宇, 尹飞, 陈焕瑜, 包华理, 冯夏, 2017. 7 种杀虫剂包衣对菜心种子安全性及保护作用评价. 环境昆虫学报, 39(6): 1374–1381.]
- Jiao J, Wu D, Li QM, Luo XT, Zhang XY, Pan HJ, 2018. Simultaneous determination of eight pesticides residues in vegetable. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, (6): 133–138. [矫健, 吴迪, 李秋梅, 罗雪婷, 张希跃, 潘洪吉, 2018. 8 种杀虫剂在蔬菜中的田间残留消解动态. 安徽农业科学 (6): 133–138.]
- Jin YL, Hou YM, Wang JZ, Wang YT, Wang WL, 2012. Variation in soluble protein in leaves of different host plants damaged by *Phyllotreta striolata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(5): 1219–1225. [金银利, 侯有明, 王军志, 王元涛, 王伟立, 2012. 黄曲条跳甲危害对不同寄主植物可溶性蛋白质含量的影响. 应用昆虫学报, 49(5): 1219–1225.]
- Liang HW, Xian ZH, Long MH, 2007. Research progress on pollution-free control technology of *Phyllotreta striolata* (Fabricius). *China Vegetables*, 1(7): 36–39. [梁宏卫, 贤振华, 龙明华, 2007. 黄曲条跳甲无公害控制技术研究进展. 中国蔬菜, 1(7): 36–39.]
- Li JY, Qiu LM, Wang H, FU JW, 2007. Study on the chemical research of *Phyllotreta striolata* (Fabricius). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 22(1): 15–18. [李建宇, 邱良妙, 王海, 傅建伟, 2007. 黄曲条跳甲的化学防治研究. 福建农业学报, 22(1): 15–18.]
- Qin X, Xu YM, Sun Y, Zhao LJ, Liu YT, 2014. Residue determination and degradation of sulfoxaflor in cotton and soil. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, (4): 381–387. [秦旭, 徐应明, 孙扬, 赵立杰, 刘烨潼, 2014. 氟啶虫胺胍在棉花和土壤中的检测方法与残留动态研究. 农业资源与环境学报 (4): 381–387.]
- Shi XL, 2010. 2010 world pesticide conference new variety-sulfoxaflor. *Agrochemicals Research & Application*, 14(12): 56–56. [石小丽, 2010. 2010 年世界农药会议新品种-氟啶虫胺胍. 农药研究与应用, 14(12): 56–56.]
- Watson GB, Loso MR, Babcock JM, Hasler JM, Lethere TJ, Young CD, Zhu YM, Casida JE, Sparks TC, 2011. Biological traits and feeding capacity of *Agriotes* larvae (Coleoptera: Elateridae): A trial of seed coating to control larval populations with the insecticide fipronil. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 90(2): 97–105.
- Wu HB, Geng HR, Gong QT, Zhang KP, Sun RH, 2015. Bioactivity of insecticides on the *Galeruca reichardti* Jacobson of adults. Academic Conference of China Plant Protection Society. Changchun. [武海斌, 耿海荣, 宫庆涛, 张坤鹏, 孙瑞红, 2015. 杀虫剂对愈纹萤叶甲成虫的生物活性. 中国植物保护学会学术年会. 长春.]
- Wu JN, 2018. Construction of nanoparticle pesticides delivery systems and its application for controlling avermectin release. Master's degree thesis. Shihezi: Shihezi University. [吴建宁, 2018. 基于阿维菌素纳米载药体系的构建及缓释行为研究. 石河子: 石河子大学.]
- Xu J, Dong FS, Liu XG, Li J, Li YB, Shan WL, Zheng YQ, 2012. Determination of sulfoxaflor residues in vegetables, fruits and soil using ultra-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Analytical Methods*, 4(12): 4019–4024.
- Yin F, Chen HY, Li ZY, Feng X, Zhou XM, Hu ZD, Bao HL, 2017. Preliminary study on the effect of seven seed coating agents on Chinese flowering cabbage and *Phyllotreta striolata* (Fabricius). *Plant Protection*, 43(4): 224–227. [尹飞, 陈焕瑜, 李振宇, 冯夏, 周小毛, 胡珍娣, 包华理, 2017. 7 种包衣剂对菜薹及黄曲条跳甲的影响初报. 植物保护, 43(4): 224–227.]
- Yu FQ, Huang YS, Su Z, Wu EM, Wang H, Yu CR, 2013. A novel insecticides sulfoxaflor. *Agrochemicals*, 52(10): 753–755. [于福强, 黄耀师, 苏州, 武恩明, 王微, 于春睿, 2013. 新颖杀虫剂氟啶虫胺胍. 农药, 52(10): 753–755.]
- Zheng LZ, Fu JW, Yang G, Chen XL, Zhou XL, You MS, 2013. Cloning and sequence analysis of the esterase gene fragment of the striped flea beetle, *Phyllotreta striolata*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 126–132. [郑丽祯, 傅建伟, 杨广, 陈小龙, 钟小露, 尤民生, 2013. 黄曲条跳甲酯酶基因片段的克隆及序列分析. 应用昆虫学报, 50(1): 126–132.]
- Zhu YM, Loso MR, Watson GB, Sparks TC, Rogers RB, Huang JX, Gerwick BC, Babcock JM, Kelley D, Hegde VB, Nugent BM, Renga JM, Denholm I, Gorman K, DeBoer KG, Hasler J, Meade T, Thomas JD, 2011. Discovery and characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide targeting sap-feeding pests. *J. Agric. Food Chem.*, 59(7): 2950–2957.