

DOI:10.7524/AJE.1673-5897.20180412001

游泳, 应碧华, 赖露芳, 等. 4种烟嘧磺隆多元复配除草剂对意大利蜜蜂和玉米螟赤眼蜂的急性毒性及初级风险评估[J]. 生态毒理学报, 2018, 13(6): 298-306

You Y, Ying B H, Lai L H, et al. The acute toxicity and risk assessment of four multi-combination nicosulfuron to *Apis mellifera* and *Trichogramma ostriniae* [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2018, 13(6): 298-306(in Chinese)

4种烟嘧磺隆多元复配除草剂对意大利蜜蜂和玉米螟赤眼蜂的急性毒性及初级风险评估

游泳^{1,2}, 应碧华^{1,2}, 赖露芳^{1,2}, 李振阳^{1,2}, 陈诗瑶^{1,2}, 魏辉^{1,2}, 林涛^{1,2,#}, 曾兆华^{1,2,*}

1. 福建省农业科学院植物保护研究所, 福州 350013

2. 福建省农作物害虫监测与综合治理重点实验室, 福州 350013

收稿日期: 2018-04-12 录用日期: 2018-07-13

摘要: 为明确4种烟嘧磺隆复配除草剂对意大利蜜蜂和玉米螟赤眼蜂的急性毒性影响并评估其初级风险。采用饲喂法、点滴法和玻璃管药膜法, 分别测定了8%烟嘧·氯吡嘧磺隆、16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆、36%烟嘧·莠去津和22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯对意大利蜜蜂成年工蜂和玉米螟赤眼蜂的急性毒性, 并分别采用危害商值和安全系数进行初级风险评估。结果表明, 上述4种制剂对意大利蜜蜂成年工蜂的经口毒性48 h-LD₅₀(半致死剂量, median lethal dose)分别为68.03、1.60×10²、1.40×10²和>100 μg a.i.·蜂⁻¹, 接触毒性48 h-LD₅₀分别为18.53、53.01、89.98和>100 μg a.i.·蜂⁻¹, 危害商值均小于50, 对意大利蜜蜂均为低毒且低风险。4种制剂对玉米螟赤眼蜂的急性毒性24 h-LR₅₀(半致死用量, median lethal rate)分别为1.88×10⁻⁴、5.46×10⁻⁴、2.12×10⁻³和1.68×10⁻³ mg a.i.·cm⁻², 安全系数分别为0.16、0.23、0.59和0.51, 其中8%烟嘧·氯吡嘧磺隆和16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆对玉米螟赤眼蜂为高风险性, 36%烟嘧·莠去津和22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯为中等风险性。因此, 这4种复配制剂对蜜蜂成年工蜂的风险性较低, 但对赤眼蜂的风险性较高, 所以在喷洒防除期间应与赤眼蜂释放期错开。

关键词: 烟嘧磺隆; 意大利蜜蜂; 玉米螟赤眼蜂; 急性毒性; 风险评估

文章编号: 1673-5897(2018)6-298-09 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

The Acute Toxicity and Risk Assessment of Four Multi-Combination Nicosulfuron to *Apis mellifera* and *Trichogramma ostriniae*

You Yong^{1,2}, Ying Bihua^{1,2}, Lai Lufang^{1,2}, Li Zhenyang^{1,2}, Chen Shiyao^{1,2}, Wei Hui^{1,2}, Lin Tao^{1,2,#}, Zeng Zhaohua^{1,2,*}

1. Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China

2. Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Fuzhou 350013, China

Received 12 April 2018 accepted 13 July 2018

Abstract: To evaluate the acute toxicity and risk of four multi-combination nicosulfurons, including 8% nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD, 16% nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD, 36% nicosulfuron·atrazine

基金项目: 福建省自然科学基金项目(2016J01139); 福建省省属公益类科研院所专项(2016R1023-9; 2014R1024-6; 2017R1025-11)

作者简介: 游泳(1974-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向为农药学, E-mail: 12124810@qq.com

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: 719543713@qq.com

共同通讯作者 (Co-corresponding author), E-mail: maludongzuo@163.com

OD and 22% nicosulfuron·halosulfuron-methyl·fluroxypyr-meptyl OD, the acute toxicity of the herbicides to *Apis mellifera* and *Trichogramma ostriniae* were tested using oral-feeding and topical application on *A. mellifera*, and film bioassay on *T. ostriniae*. The first-tier risk assessment was evaluated by hazard quotients (HQ) for *A. mellifera* and risk quotients (RQ) for *T. ostriniae*. The results showed that the 48 h-LD₅₀ (median lethal dose) values of acute oral toxicity to *A. mellifera* were 68.03, 1.60×10^2 , 1.40×10^2 and $>100 \mu\text{g a.i.} \cdot \text{bee}^{-1}$, respectively, and the 48 h-LD₅₀ values of acute contact toxicity were 18.53, 53.01, 89.98 and $>100 \mu\text{g a.i.} \cdot \text{bee}^{-1}$, respectively. The HQ values were all less than 50. The 24 h-LR₅₀ (median lethal rate) values of acute toxicity to *T. ostriniae* were 1.88×10^{-4} , 5.46×10^{-4} , 2.12×10^{-3} and $1.68 \times 10^{-3} \text{ mg a.i.} \cdot \text{cm}^{-2}$, respectively, and the RQ values were 0.16, 0.23, 0.59 and 0.51, respectively. The results indicated that the four multi-combination nicosulfurons all exhibited low toxicity and low risk to *A. mellifera*, whereas to *T. ostriniae* 8% nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD and 16% nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD posed a high risk, and 36% nicosulfuron·atrazine OD and 22% nicosulfuron·halosulfuron-methyl·fluroxypyr-meptyl OD were moderate. Therefore, an interval is recommended between releasing *T. ostriniae* and applying the herbicides.

Keywords: nicosulfuron; *Apis mellifera*; *Trichogramma ostriniae*; acute toxicity; risk assessment

烟嘧磺隆是一种磺酰脲类除草剂,通过抑制植物体内的乙酰乳酸合成酶的活性使植物生长停滞,是一种广谱性除草剂,被广泛应用于玉米田^[1-2]。全球磺酰脲类除草剂市场销售额 2007 年时已占全球除草剂市场 11% 以上,每年以 2% 以上增长率发展,其中烟嘧磺隆为 2.3 亿美元,在世界农药市场占有举足轻重的地位。烟嘧磺隆是磺酰脲类除草剂在玉米田中使用的最大品种,截至 2009 年已有 37 家企业在国内进行了登记^[3]。

随着该除草剂的广泛使用,其在水或空气中的暴露对环境生物的风险日益显著^[4]。研究表明,烟嘧磺隆对家蚕 (*Bombyx mori*) 和玉米螟赤眼蜂 (*Trichogramma ostriniae*) 的急性毒性较高^[5-6],且能够显著抑制浮游植物生长速率^[7-8],并改变金鱼的取食和游泳行为^[9],对非洲爪蟾 (*Xenopus laevis*) 的个体发育和斑马鱼 (*Brachydanio rerio*) 的胚胎发育也有显著影响^[10-11]。由此可知,烟嘧磺隆能够对环境非靶标生物的存活、发育和行为造成一定的影响。

除草剂作用的靶标越单一,则产生抗性的风险越大,产生抗性的时间越短。截至 2013 年,报道了 127 个生物型抗性杂草,其中抗性杂草生物型最多的是乙酰乳酸合成酶 (ALS) 抑制剂,占总数的三分之一^[12]。除草剂的复配不仅扩大杀草谱,降低用药量,减轻对环境的压力,而且可以有效地克服和延缓抗性杂草产生的速度^[13-14],但农药经过复配后其对环境生物的毒性风险差异较大^[15-16]。烟嘧磺隆与莠去津复配后对斑马鱼 (*B. rerio*) 和大型溞 (*Daphnia magna*) 的急性毒性均为中毒^[17],而与其他除草剂复配后

对陆生生物的影响研究却未见报道。蜜蜂和赤眼蜂是农业生态系统中的 2 种重要的有益昆虫,前者能够为多种农作物提供授粉服务^[18],后者是鳞翅目、同翅目等农业害虫的重要天敌^[19],二者在平衡农业生态系统中均发挥重要作用,因此国内外均将蜜蜂和赤眼蜂作为监测农药环境风险的指示昆虫^[20-21],这对于保证环境安全和农业可持续发展等方面起着至关重要的作用^[22-23]。

本研究通过测定 4 种烟嘧磺隆复配制剂对意大利蜜蜂工蜂和玉米螟赤眼蜂半致死剂量 (用量),明确急性毒性,并对风险性做出初步评价,以期对烟嘧磺隆复配制剂的合理使用提供依据。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 试验材料

1.1.1 供试生物

意大利蜜蜂 (*Apis mellifera* L, 以下简称意蜂) 购自福州市养蜂实验总场意蜂场,在实验室人工驯养半年,每周饲喂花粉和 50% (w/V) 蔗糖水。试验用蜂均为健康的成年工蜂。饲喂试验开始前须将蜜蜂在室内黑暗条件下饥饿 2 h,以保证试验开始时蜜蜂处于饥饿状态。

玉米螟赤眼蜂 (*Trichogramma ostriniae*, 以下简称赤眼蜂) 购自山东省农业科学院植物保护研究所。试验前将赤眼蜂卵卡置于温度 (25±2) °C、相对湿度为 50%~80%、避光条件的人工气候箱内培养。试验用蜂为开始羽化后 48 h 内羽化的成蜂。

1.1.2 药剂

8% 烟嘧磺隆·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂 (5 :

3)(nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD,河北荣威生物药业有限公司);16%烟嘧磺隆·硝磺草酮·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂(5:8:3)(nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD,山东省青岛现代农化有限公司);36%烟嘧磺隆·莠去津可分散油悬浮剂(6:30)(nicosulfuron·atrazine OD,山东康乔生物科技有限公司);22%烟嘧磺隆·氯吡嘧磺隆·氯氟吡氧乙酸异辛酯可分散油悬浮剂(5:3:14)(nicosulfuron·halosulfuron-methyl·fluroxypyr-meptyl OD,吉林金秋农药有限公司);98.1%乐果原药(98.1% dimethoate TC,江苏腾龙生物药业有限公司);丙酮(分析纯,国药集团)。本文所使用复配制剂由河北荣威、青岛现代、山东康乔和吉林金秋提供,厂家未标注其他药剂和助剂成分

1.1.3 试验设备

试验蜂笼(底面直径为7.5 cm、上表面直径为11.1 cm、高7.7 cm,带盖塑料盒,盖子上钻有一个直径1.4 cm大孔和6个直径0.3 cm小孔,分别供作喂食和通风透气用);饲喂器(5 mL注射器);人工气候箱(上海一恒科学仪器有限公司 saMGC-450HP-2);闪烁瓶(直径长2.6 cm,高5.3 cm,内表面积48.006 cm²);氮气(99.99%,福州华鑫达工业气体有限公司);电子天平(梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司,AL204);自动药膜滚制机(自制);温湿度表(天津风洋仪器仪表工贸有限公司,WS-1)。

1.2 试验方法

1.2.1 意蜂经口试验

试验采用饲喂法^[24-25],分别将供试农药用50%(w/V)蔗糖水稀释成系列梯度浓度。其中,8%烟嘧·氯吡嘧磺隆配制成浓度为 2.27×10^3 、 3.18×10^3 、 4.46×10^3 、 6.24×10^3 、 8.74×10^3 、 1.22×10^4 mg a.i.·L⁻¹的药液;16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆配制成浓度为 3.89×10^3 、 5.76×10^3 、 8.52×10^3 、 1.26×10^4 、 1.87×10^4 、 2.76×10^4 mg a.i.·L⁻¹的药液;36%烟嘧·莠去津配制成浓度为 4.75×10^3 、 6.41×10^3 、 8.66×10^3 、 1.17×10^4 、 1.58×10^4 、 2.13×10^4 mg a.i.·L⁻¹的药液;22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯配制成浓度为 6.00×10^3 mg a.i.·L⁻¹的药液。每个试验蜂笼转入10头成年工蜂,然后用注射器取200 μL含有不同浓度的供试物药液饲喂蜜蜂,3~4 h食物取食完后将注射器取出,换用不含供试物的50%(w/V)蔗糖水进行饲喂(不限量),并对每组药液的消耗量进行测定。设空白对照组,对照组仅饲喂不加供试物的50%(w/V)蔗糖水。每个处理组均设3个重复,每个重复10只蜜蜂。处

理后24 h和48 h分别观察意蜂的中毒症状,并记录死亡和存活蜂数。轻触蜜蜂,蜜蜂足、触角等未见明显反应则判定为死亡。试验在(25±2)℃、相对湿度为50%~70%、避光条件的人工气候室内开展。

1.2.2 意蜂接触试验

试验采用点滴法^[24,26],分别将供试农药用丙酮稀释成系列梯度浓度。其中,8%烟嘧·氯吡嘧磺隆配制成浓度为 3.13×10^3 、 6.25×10^3 、 1.25×10^4 、 2.50×10^4 、 5.00×10^4 mg a.i.·L⁻¹的药液,16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆配制成浓度为 2.03×10^4 、 2.94×10^4 、 4.26×10^4 、 6.18×10^4 、 8.97×10^4 、 1.30×10^5 mg a.i.·L⁻¹的药液,36%烟嘧·莠去津配制成浓度为 1.34×10^4 、 2.08×10^4 、 3.23×10^4 、 5.00×10^4 、 7.75×10^4 、 1.20×10^5 mg a.i.·L⁻¹的药液,22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯配制成浓度为 1.00×10^5 mg a.i.·L⁻¹的药液,用氮气对意蜂进行缓慢麻醉后^[27],8%烟嘧·氯吡嘧磺隆与36%烟嘧·莠去津每只蜂点滴2 μL,16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆与22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯每只蜂点滴1 μL,点滴于意蜂中胸背板处,待蜂身晾干后,移入试验蜂笼,用一次性注射器吸取50%蔗糖水进行饲喂(不限量)。设空白对照和溶剂对照,空白对照只对意蜂进行麻醉,溶剂对照对意蜂麻醉后只点滴丙酮。每个处理组均设3个重复,每重复10只意蜂。处理后24 h和48 h观察意蜂的中毒症状,并记录死亡和存活意蜂数。轻触蜜蜂,蜜蜂足、触角等未见明显反应则判定死亡。试验在(25±2)℃、相对湿度为50%~70%、避光条件的人工气候室内开展。

1.2.3 乐果参比试验

蜜蜂经口与接触参比试验方法与1.2.1和1.2.2相同。

1.2.4 赤眼蜂试验

试验采用药膜法^[28],分别将供试农药用丙酮稀释成系列梯度浓度。8%烟嘧·氯吡嘧磺隆配制成浓度为4.17、6.67、10.66、17.06、27.30、43.68 mg a.i.·L⁻¹的药液,16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆配制成浓度为8.33、13.33、21.33、34.13、54.60、87.36 mg a.i.·L⁻¹的药液,36%烟嘧·莠去津配制成浓度为31.24、62.49、1.25×10²、2.50×10²、5.00×10²、1.00×10³ mg a.i.·L⁻¹的药液,22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯配制成浓度为28.64、57.28、1.15×10²、2.29×10²、4.58×10²、9.16×10² mg a.i.·L⁻¹的药液。在闪烁瓶内加入0.70 mL的供试药液,将闪烁瓶放在自动药膜滚制机上滚动30~60 min至晾干制成药膜管,然后将供试赤眼蜂转入

药膜管爬行1 h后转入无药闪烁瓶,用棉线沾满10%蜂蜜水饲喂,并用黑纱布封紧瓶口。设空白对照组和溶剂对照组,空白对照不做任何处理,溶剂对照组中加入0.70 mL的丙酮。每个处理组均设3个重复,每个重复(100±10)头赤眼蜂。在转入无药闪烁瓶中24 h后检查并记录管中死亡和存活蜂数。将闪烁瓶对着灯光,轻敲闪烁瓶后赤眼蜂不动,则判定死亡。试验在(25±2)℃、相对湿度为50%~80%、光暗比为0 h:24 h的人工气候箱内开展。

1.3 数据处理

用SPSS19.0统计软件对数据进行回归分析,计算不同复配药剂对意蜂24 h和48 h的半致死剂量(LD₅₀)、回归方程及其95%置信限;对赤眼蜂24 h的半致死用量(LR₅₀)、回归方程及其95%置信限。若LD₅₀(LR₅₀)值在95%置信限上没有重叠,则表示不同复配药剂的毒性差异显著^[29]。

1.4 毒性等级和风险性等级划分标准

意蜂经口试验和接触试验结果的毒性等级划分均参照我国《化学农药环境安全评价试验准则》^[24]进行划分,农药对蜜蜂的急性经口毒性和接触毒性共分4个等级:低毒(LD₅₀>11.0 μg a.i.·蜂⁻¹);中毒(2.0 μg a.i.·蜂⁻¹<LD₅₀≤11.0 μg a.i.·蜂⁻¹);高毒(0.001 μg a.i.·蜂⁻¹<LD₅₀≤2.0 μg a.i.·蜂⁻¹);剧毒(LD₅₀≤0.001 μg a.i.·蜂⁻¹)。

采用危害商值(Hazard Quotient, HQ)评估供试农药对意蜂的初级风险。 $HQ_{oral} = RR/LD_{50-oral}$; $HQ_{contact} = RR/LD_{50-contact}$ 。其中RR(recommended rate)代表农药的田间推荐施用量(单位g a.i.·ha⁻¹)(表1);LD_{50-oral}和LD_{50-contact}分别代表饲喂法和点滴法的LD₅₀值(单位μg a.i.·蜂⁻¹)。HQ<50,农药对蜜蜂为低风险;50≤HQ≤2 500为中等风险;HQ>2 500为高风险^[30]。

农药对赤眼蜂的风险性依照《化学农药环境安全评价试验准则》,使用安全系数来进行初级风险评估^[28]。安全系数=LR₅₀/RR。其中LR₅₀代表在室内条件下,药物对赤眼蜂的半数致死剂量(单位mg a.i.·cm⁻²)。划分为4个等级:低风险性(安全系数>5);中等风险性(0.5<安全系数≤5);高风险性(0.05<安全系数≤0.5);极高风险性(安全系数≤0.05)。

2 结果与分析 (Results and analysis)

2.1 4种烟嘧磺隆多元复配制剂对意蜂的急性毒性和初级风险

2.1.1 急性经口毒性和初级风险

8%烟嘧·氯吡嘧磺隆急性经口24 h-LD₅₀和48

h-LD₅₀分别为78.41 μg a.i.·蜂⁻¹和68.03 μg a.i.·蜂⁻¹,16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆急性经口24 h-LD₅₀和48 h-LD₅₀分别为1.62×10² μg a.i.·蜂⁻¹和1.60×10² μg a.i.·蜂⁻¹,36%烟嘧·莠去津急性经口24 h-LD₅₀和48 h-LD₅₀分别为1.52×10² μg a.i.·蜂⁻¹和1.40×10² μg a.i.·蜂⁻¹,22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯急性经口24 h-LD₅₀和48 h-LD₅₀均大于100 μg a.i.·蜂⁻¹(表2)。这4种供试药剂对意蜂的急性经口毒性均为低毒。中毒后的意蜂出现行动缓慢,失去平衡等症状,死亡的蜜蜂喙伸出,翅膀展开。

由饲喂法测得的48 h-LD₅₀值和田间推荐最大用量计算得到4种烟嘧磺隆多元复配药剂对意蜂的危害商值(HQ)(表2)。4种烟嘧磺隆多元复配制剂的经口HQ值均小于50,表明这4种复配药剂对蜜蜂的经口毒性均为低风险。

2.1.2 急性接触毒性和初级风险

8%烟嘧·氯吡嘧磺隆急性接触24 h-LD₅₀和48 h-LD₅₀分别为22.29 μg a.i.·蜂⁻¹和18.53 μg a.i.·蜂⁻¹,16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆急性接触24 h-LD₅₀和48 h-LD₅₀分别为60.99 μg a.i.·蜂⁻¹和53.01 μg a.i.·蜂⁻¹,36%烟嘧·莠去津急性接触48 h-LD₅₀和72 h-LD₅₀分别为89.92 μg a.i.·蜂⁻¹和81.41 μg a.i.·蜂⁻¹,22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯急性接触24 h-LD₅₀和48 h-LD₅₀均大于100 μg a.i.·蜂⁻¹(表3)。这4种供试药剂对意蜂的急性接触毒性均为低毒。中毒后的意蜂出现行动缓慢,失去平衡,体色加深等症状,死亡的蜜蜂喙伸出,翅膀展开。

表1 4种烟嘧磺隆多元复配剂田间推荐施用量

Table 1 The recommended rate (RR) of four multi-combination nicosulfurons

供试药剂 Tested pesticides	田间推荐施用量 (g a.i.·ha ⁻¹) RR/(g a.i.·ha ⁻¹)
8% 烟嘧·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂	120
8% nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD	
16% 烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂	240
16% nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD	
36% 烟嘧·莠去津可分散油悬浮剂	360
36% nicosulfuron·atrazine OD	
22% 烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯 可分散油悬浮剂	330
22% nicosulfuron·halosulfuron- methyl·fluroxypyr-meptyl OD	

表2 4种烟嘧磺隆多元复配制剂对意蜂的急性经口毒性和风险评估
Table 2 Acute oral toxicity and risk assessment of four multi-combination nicosulfurons to *Apis mellifera* L.

供试药剂 Tested pesticides	时间/h Time/h	回归方程 Regression equations	LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95%置信限) LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95% confidence limit)	毒性 Toxicity	危害商值 HQ	风险评估 Risk assessment
8% 烟嘧·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂	24	y=-4.54+2.40x	78.41(64.55~96.29)	低毒 Low toxicity	1.76	低风险 Low risk
8% nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD	48	y=-4.29+2.34x	68.03(54.74~82.76)	低毒 Low toxicity		
16% 烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂	24	y=-4.88+2.21x	1.62×10 ² (1.30×10 ² ~2.00×10 ²)	低毒 Low toxicity	1.51	低风险 Low risk
16% nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD	48	y=-5.10+2.32x	1.60×10 ² (1.29×10 ² ~1.95×10 ²)	低毒 Low toxicity		
36% 烟嘧·莠去津可分散油悬浮剂	24	y=-6.89+3.16x	1.52×10 ² (1.30×10 ² ~1.76×10 ²)	低毒 Low toxicity	2.58	低风险 Low risk
36% nicosulfuron·atrazine OD	48	y=-6.20+2.89x	1.40×10 ² (1.16×10 ² ~1.64×10 ²)	低毒 Low toxicity		
22% 烟嘧·氯吡·氟氧吡啶氧乙酸异辛酯可分散油悬浮剂	24	-	>100	低毒 Low toxicity	3.30	低风险 Low risk
22% nicosulfuron·halosulfuron-methyl·fluroxypyr-meptyl OD	48	-	>100	低毒 Low toxicity		

注:意大利蜜蜂(意蜂)急性经口试验上限剂量为 100 μg a.i.·蜂⁻¹,即在供试物达 100 μg a.i.·蜂⁻¹时仍未见意蜂死亡,则无需继续试验^[24-25]。HQ 表示危害商值。
Note: The limit dose of acute oral toxicity to honeybees is 100 μg a.i.·bee⁻¹. If there is no bee death when the dose of the test pesticides reach 100 μg a.i.·bee⁻¹, further test is not needed. HQ represents hazard quotient.

表3 4种烟嘧磺隆多元复配制剂对意蜂的急性接触毒性和风险评估
Table 3 Acute contact toxicity and risk assessment of four multi-combination nicosulfurons to *Apis mellifera* L.

供试药剂 Tested pesticides	时间/h Time/h	回归方程 Regression equations	LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95%置信限) LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95% confidence limit)	毒性 Toxicity	危害商值 HQ	风险评估 Risk assessment
8% 烟嘧·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂	24	y=-2.66+1.97x	22.29(16.82~29.28)	低毒 Low toxicity	6.48	低风险 Low risk
8% nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD	48	y=-2.59+2.04x	18.53(13.89~24.05)	低毒 Low toxicity		
16% 烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂	24	y=-3.97+2.22x	60.99(49.69~77.42)	低毒 Low toxicity	4.43	低风险 Low risk
16% nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD	48	y=-3.85+2.23x	53.01(42.93~65.93)	低毒 Low toxicity		
36% 烟嘧·莠去津可分散油悬浮剂	24	-	-	低毒 Low toxicity		低风险 Low risk
36% nicosulfuron·atrazine OD	48	y=-5.85+2.99x	89.92(74.52~1.07×10 ²)	低毒 Low toxicity	4.00	低风险 Low risk
22% 烟嘧·氯吡·氟氧吡啶氧乙酸异辛酯可分散油悬浮剂	72	y=-6.05+3.17x	81.41(67.43~96.23)	低毒 Low toxicity		
22% nicosulfuron·halosulfuron-methyl·fluroxypyr-meptyl OD	24	-	>100	低毒 Low toxicity	3.30	低风险 Low risk
22% nicosulfuron·halosulfuron-methyl·fluroxypyr-meptyl OD	48	-	>100	低毒 Low toxicity		

注:意蜂急性接触试验上限剂量为 100 μg a.i.·蜂⁻¹,即在供试物达 100 μg a.i.·蜂⁻¹时仍未见意蜂死亡,则无需继续试验^[24-26]。
Note: The limit dose of acute contact toxicity to honeybees is 100 μg a.i.·bee⁻¹. If there is no bee death when the dose of the test pesticides reach 100 μg a.i.·bee⁻¹, further test is not needed^[24-26].

由接触法测得的48 h-LD₅₀值和田间推荐最大用量计算得到4种烟嘧磺隆多元复配制剂对意蜂的危害商值(HQ)(表3)。4种烟嘧磺隆多元复配制剂的接触HQ值均小于50,表明这4种复配药剂对蜜蜂的接触毒性均为低风险。

2.1.3 乐果原药对意蜂的急性毒性

蜜蜂参比物质试验经口与接触毒性24 h-LD₅₀分别为0.13 μg a.i.·bee⁻¹和0.16 μg a.i.·bee⁻¹(表4),结果表明试验体系和方法可靠^[24-26]。

2.2 4种烟嘧磺隆多元复配制剂对赤眼蜂的急性毒性和初级风险

8%烟嘧·氯吡嘧磺隆对赤眼蜂的LR₅₀为1.88×10⁻⁴ mg a.i.·cm⁻²,16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆的LR₅₀为5.46×10⁻⁴ mg a.i.·cm⁻²,36%烟嘧·莠去津的LR₅₀为2.12×10⁻³ mg a.i.·cm⁻²,22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯的LR₅₀为1.68×10⁻³ mg a.i.·cm⁻²。前2种药剂显著高于后2种且均为高风险性,后两者之间差异不显著,为中等风险性(表5)。

3 讨论与结论(Discussion and conclusion)

本研究表明8%烟嘧·氯吡嘧磺隆、16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆、36%烟嘧·莠去津和22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯对蜜蜂急性经口试验和急性接触试验均为低毒且低风险。这4种复配药剂对赤眼蜂急性毒性为8%烟嘧·氯吡嘧磺隆>16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆>22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯>36%烟嘧·莠去津,8%烟嘧·氯吡嘧磺隆和16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆为高风险性,22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯和36%烟嘧·莠去津为中等风险性。这4种复配制剂对蜜蜂和赤眼蜂的急性毒性不同,昆虫类群、个体大小以及农药作用方式和机制的不同可能是导致这种毒性差异的原因。

烟嘧磺隆原药对意蜂经口的急性毒性为低毒(48 h-LD₅₀ 76 μg a.i.·蜂⁻¹),接触的急性毒性为中毒(48 h-LD₅₀ 5.24 μg a.i.·蜂⁻¹)^[31],现有资料表明,莠去津^[32]、氯吡嘧磺隆^[33]、硝磺草酮^[34]和氯氟吡氧乙酸异

表4 乐果原药对意蜂的急性毒性试验结果

Table 4 Acute toxicity of 98.1% dimethoate TC to *Apis mellifera* L.

供试药剂 Tested pesticides	试验类型 Test type	回归方程 Regression equations	LD ₅₀ /(μg a.i.·蜂 ⁻¹)(95%置信限) LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95% confidence limit)
98.1% 乐果原药	经口 Oral	$y=2.83+3.19x$	0.13(0.11~0.15)
98.1% dimethoate TC	接触 Contact	$y=2.21+2.76x$	0.16(0.13~0.19)

表5 4种烟嘧磺隆多元复配制剂对赤眼蜂的急性毒性和风险评价

Table 5 Acute toxicity and risk assessment of four multi-combination nicosulfurons to *T. ostriniae*

供试药剂 Tested pesticides	回归方程 Regression equations	LR ₅₀ /(mg a.i.·cm ⁻²) (95%置信限) LR ₅₀ /(mg a.i.·cm ⁻²) (95% confidence limit)	安全系数 Risk quotient	风险性 Risk assessment
8% 烟嘧·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂 8% nicosulfuron·halosulfuron-methyl OD	$y=-2.54+1.99x$	1.88×10 ⁻⁴ (1.75×10 ⁻⁴ ~2.02×10 ⁻⁴)	0.16	高风险性 High risk
16% 烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆可分散油悬浮剂 16% nicosulfuron·mesotrione·halosulfuron-methyl OD	$y=2.89+1.67x$	5.46×10 ⁻⁴ (5.01×10 ⁻⁴ ~6.00×10 ⁻⁴)	0.23	高风险性 High risk
36% 烟嘧·莠去津可分散油悬浮剂 36% nicosulfuron·atrazine OD	$y=-2.18+0.94x$	2.12×10 ⁻³ (1.82×10 ⁻³ ~2.45×10 ⁻³)	0.59	中等风险性 Moderate risk
22% 烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯 可分散油悬浮剂 22% nicosulfuron·halosulfuron-methyl· fluroxypyr-meptyl OD	$y=-3.69+1.66x$	1.68×10 ⁻³ (1.00×10 ⁻³ ~2.66×10 ⁻³)	0.51	中等风险性 Moderate risk

辛酯^[35]4种除草剂原药对意蜂的经口与接触毒性均为低毒且低风险性。烟嘧磺隆在与其他除草剂复配后并未降低意蜂经口的LD₅₀值,但却明显降低接触毒性,LD₅₀值提高了3.5~17倍(8%烟嘧·氯吡嘧磺隆为3.5倍,36%烟嘧·莠去津为17倍)(表3)。通过复配低毒性的除草剂来降低单一成分的毒性可能是多元复配除草剂毒性降低的有效途径和方法。

已有研究表明,烟嘧磺隆原药和莠去津原药对玉米螟赤眼蜂的LR₅₀分别为 2.43×10^{-7} mg a.i.·cm⁻²和 7.26×10^{-4} mg a.i.·cm⁻²,分别为极高风险性和高风险性^[36],本研究中二者复配后其LR₅₀明显降低(2.11×10^{-3} mg a.i.·cm⁻²),毒性降低,为中等风险性。这可能是由于药剂复配后烟嘧磺隆含量低,且药剂生产过程中使用的助剂对赤眼蜂的毒性较低^[37-38],因此对赤眼蜂的毒性及风险性均降低。本研究结果表明,烟嘧磺隆与不同药剂复配后对赤眼蜂的毒性与风险性不同。可能是由于烟嘧磺隆单剂对赤眼蜂的毒性高^[6,36],通过与不同药剂复配后,且复配后在制剂中所占比例不同,因此对赤眼蜂的毒性有所不同。

目前这4种复配制剂主要应用于玉米田杂草防治,喷洒防除期间应与赤眼蜂释放期错开,或者可以使用36%烟嘧·莠去津和22%烟嘧·氯吡·氯氟吡氧乙酸异辛酯可分散油悬浮剂等风险性较低的复配制剂,以降低对赤眼蜂的危害。虽然这4种复配制剂对意蜂的急性毒性为低风险性,但为了更有效地保护蜜蜂种群^[39],因此在流蜜期间尽量避免使用这4种复配制剂。

本研究仅对4种复配制剂进行了初级风险评估,对玉米螟赤眼蜂产生高风险的8%烟嘧·氯吡嘧磺隆和16%烟嘧·硝磺·氯吡嘧磺隆2种复配制剂需要进行更高阶的风险评估,进一步评估这2种复配制剂在田间实际应用中玉米螟赤眼蜂的风险性。同时,4种烟嘧磺隆复配制剂对意大利蜜蜂成年工蜂均为低风险性,但其对意蜂幼虫的毒性风险仍未知,需要在今后开展深入的工作。

通讯作者简介:曾兆华(1975-),男,博士,助理研究员,主要研究方向为农药学。

共同通讯作者简介:林涛(1982-),男,硕士,助理研究员,主要研究方向为农药环境毒理研究。

参考文献(References):

[1] 苏少泉. 烟嘧磺隆在我国的发展[J]. 农药, 2003, 42(7):

11-12

Su S Q. The development of nicosulfuron in China [J]. Agrochemicals, 2003, 42(7): 11-12 (in Chinese)

[2] 徐加利, 王金信, 高兴文. 烟嘧磺隆的研究与开发进展[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2007, 38(1): 151-154

Xu J L, Wang J X, Gao X W. Advanced studies on herbicide nicosulfuron [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2007, 38(1): 151-154 (in Chinese)

[3] 张敏恒. 磺酰脲类除草剂的发展现状、市场与未来趋势[J]. 农药, 2010, 49(4): 235-240

Zhang M H. The development situation, market and trend of sulfonylurea herbicides [J]. Agrochemicals, 2010, 49(4): 235-240 (in Chinese)

[4] Xu H Q, Xue M, Zhao H P, et al. Analysis and evaluation of eight herbicides toxicity and sensitivity against two *Trichogramma* spp [J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2013, 11(3): 855-858

[5] 汪雪飞, 夏润玺, 王雅婷, 等. 几种常用除草剂对家蚕生长发育的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(2): 174-176

Wang X F, Xia R X, Wang Y T, et al. Effects of several common herbicides on growth of silkworm [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2017, 45(2): 174-176 (in Chinese)

[6] 李昕桐. 玉米田3种农药和共生菌毒素对3种赤眼蜂的安全性评价[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 16-18

Li X T. Safety evaluation of three kinds of pesticides and symbiotic mycotoxins on three species of *Trichogramma* in corn field [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017: 16-18 (in Chinese)

[7] Seguin F, Leboulanger C, Rimet F, et al. Effects of atrazine and nicosulfuron on phytoplankton in systems of increasing complexity [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2001, 40(2): 198-208

[8] Leboulanger C, Rimet F, De Lacotte M H, et al. Effects of atrazine and nicosulfuron on freshwater microalgae [J]. Environment International, 2001, 26(3): 131-135

[9] Saglio P, Olsén K H, Bretaud S. Behavioral and olfactory responses to prochloraz, bentazone, and nicosulfuron-contaminated flows in goldfish [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2001, 41(2): 192-200

[10] Fort D J, Rogers R, Copley H, et al. Effect of sulfometuron methyl and nicosulfuron on development and metamorphosis in *Xenopus laevis*: Impact of purity [J]. Environment Toxicology & Chemistry, 1999, 18(12): 2934-2940

- [11] 刘小宁. 烟嘧磺隆对斑马鱼胚胎孵化的影响[J]. 渭南师范学院学报, 2013, 28(12): 130-132
Liu X N. Effects of nicosulfuron on the incubation of zebrafish embryos [J]. Journal of Weinan Normal University, 2013, 28(12): 130-132 (in Chinese)
- [12] 彭学岗, 金涛, 张景远. 除草剂面临的挑战及草甘膦复配的意义[J]. 杂草学报, 2013, 31(1): 5-9
Peng X G, Jin T, Zhang J Y. Challenges faced by herbicides and the significance of glyphosate mixture with other herbicides [J]. Journal of Weed Science, 2013, 31(1): 5-9 (in Chinese)
- [13] 刘金胜, 寇俊杰, 刘桂龙. 磺酰脲类除草剂的应用研究进展[J]. 农药, 2007, 46(3): 145-147
Liu J S, Kou J J, Liu G L. Research progress of sulfonylurea herbicides [J]. Agrochemicals, 2007, 46(3): 145-147 (in Chinese)
- [14] 周丽霞, 赵鑫, 李喆, 等. 苯唑草酮及其混剂防治玉米田杂草的效果评价[J]. 河南农业科学, 2014, 43(4): 80-83
Zhou L X, Zhao X, Li Z, et al. Evaluation of control effect of topramezone and its mixture on weeds in cornfield [J]. Journal of Henan Agriculture Sciences, 2014, 43(4): 80-83 (in Chinese)
- [15] 余向阳, 王冬兰, 徐敦明, 等. 酰胺类除草剂与四种杀虫剂对蚯蚓的联合毒性[J]. 中国环境科学, 2006, 26(Suppl.): 117-120
Yu X Y, Wang D L, Xu D M, et al. The joint toxicities of acetanilide herbicides and four insecticides on the earthworm [J]. China Environment Science, 2006, 26(Suppl.): 117-120 (in Chinese)
- [16] 高越, 张润祥, 王振, 等. 不同农药单剂及混配微乳剂的环境毒性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 295-300
Gao Y, Zhang R X, Wang Z, et al. Environmental toxicity of several different pesticides single or mixed micro-emulsion [J]. Chinese Agriculture Science Bulletin, 2011, 27(12): 295-300 (in Chinese)
- [17] 陈亮, 沈燕, 孙如意, 等. 5% 烟嘧磺隆·21% 莠去津可分散油悬浮剂对2种水生生物的毒性研究[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(17): 34-36
Chen L, Shen Y, Sun R Y, et al. Toxicology study of 5% nicosulfuron-21% atrazine dispersed oil suspension agent on two aquatic organisms [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(17): 34-36 (in Chinese)
- [18] 瞿唯刚, 杨淞霖, 王会利, 等. 3种农药及其复配剂对意大利工蜂的急性经口毒性[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(4): 287-290
Qu W G, Yang S L, Wang H L, et al. Toxicity of thiamethoxam, fludioxonil, mfenoxam and their compounds to *Apis mellifera* L. [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11(4): 287-290 (in Chinese)
- [19] 夏如冰. 中国生物防治科技的发展及其动因初探[J]. 中国农史, 2002, 21(3): 27-36
Xia R B. The development of Chinese biological control science and technology and its motivation [J]. Agricultural History of China, 2002, 21(3): 27-36 (in Chinese)
- [20] 周凌云, 张莉, 魏芸芸. 4种拟除虫菊酯类杀虫剂对蜜蜂的毒性和安全性评价[J]. 资源开发与市场, 2014, 30(6): 641-643 (in Chinese)
Zhou L Y, Zhang L, Wei Y Y. Study of toxicity and safety evaluation on four pyrethroid insecticides to honeybee (*Apis mellifera* L.) [J]. Resource Development & Market, 2014, 30(6): 641-643 (in Chinese)
- [21] 王彦华, 俞瑞鲜, 赵学平, 等. 新烟碱类和大环内酯类杀虫剂对四种赤眼蜂成蜂急性毒性和安全性评价[J]. 昆虫学报, 2012, 55(1): 36-45
Wang Y H, Yu R X, Zhao X P, et al. Acute toxicity and safety evaluation of neonicotinoids and macrocyclic lactones to adult wasps of four *Trichogramma* species (Hymenoptera: Trichogrammatidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2012, 55(1): 36-45 (in Chinese)
- [22] 陈齐斌, 季玉玲. 化学农药的安全性评价及风险管理[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(1): 99-106
Chen Q B, Ji Y L. Safety evaluation and risk management for modern chemical pesticide [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(1): 99-106 (in Chinese)
- [23] 李富根, 王以燕, 宋稳成, 等. 我国农药安全风险管理概况[J]. 农药, 2012, 51(6): 393-398
Li F G, Wang Y Y, Song W C, et al. Situation of pesticide safety risk management in China [J]. Agrochemicals, 2012, 51(6): 393-398 (in Chinese)
- [24] 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会. GB/T 31270. 10—2014, 化学农药环境安全评价试验准则, 第10部分: 蜜蜂急性毒性试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB/T 31270. 10—2014, Test guidelines on environmental safety assessment for chemical pesticides, part 10: Honeybee acute toxicity test [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2014 (in Chinese)
- [25] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). No.213, OECD guidelines for the testing of chemicals: Honeybees, acute oral toxicity test [S]. Paris, France: OECD, 1998

- [26] OECD. No.214, OECD guidelines for the testing of chemicals: Honeybees, acute contact toxicity test [S]. Paris, France: OECD, 1998
- [27] 吴迟, 姜辉, 王长宾, 等. 四种新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的急性毒性及初级风险评估[J]. 农药学学报, 2015, 17(4): 486-491
Wu C, Jiang H, Wang C B, et al. Acute toxicity and first tier risk assessment of four neonicotinoid insecticides to honeybees [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2015, 17(4): 486-491 (in Chinese).
- [28] 国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会. GB /T 31270. 10—2014, 化学农药环境安全评价试验准则, 第 17 部分: 天敌赤眼蜂急性毒性试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB /T 31270. 10—2014, Test guidelines on environmental safety assessment for chemical pesticides, part 17: Natural enemy *Trichogramma* acute toxicity test [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2014 (in Chinese)
- [29] Prabhaker N, Castle S J, Naranjo S E, et al. Compatibility of two systemic neonicotinoids, imidacloprid and thiamethoxam, with various natural enemies of agricultural pests [J]. Journal of Economic Entomology, 2011, 104(3): 773-781
- [30] OECD. OECD A8, OECD guidance for industry data submissions on plant protection products and their active substances (revision2), appendix 8, part 3, ecotoxicological studies and risk assessment [S]. Paris, France: OECD, 2005
- [31] International Union of Pure and Applied Chemistry. Pesticide Properties Database. Nicosulfuron (Ref: DPX V9360) [DB/OL]. (2018-03-29) [2017-08-15]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/484.htm>
- [32] International Union of Pure and Applied Chemistry. Pesticide Properties Database. Atrazine (Ref: G 30027) [DB/OL]. (2018-03-28) [2018-05-09]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/43.htm#2>
- [33] International Union of Pure and Applied Chemistry. Pesticide Properties Database. Halosulfuron-methyl (Ref: CGA 288239) [DB/OL]. (2018-03-31) [2018-05-09]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/1117.htm#2>
- [34] International Union of Pure and Applied Chemistry. Pesticide Properties Database. Mesotrione (Ref: ZA 1296) [DB/OL]. (2018-03-29) [2018-05-09]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/442.htm#2>
- [35] International Union of Pure and Applied Chemistry. Pesticide Properties Database. Fluroxypyr-meptyl [DB/OL]. (2018-03-31) [2018-05-09]. <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/1120.htm#2>
- [36] 徐华强. 常用农药对玉米螟赤眼蜂的风险性评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014: 19-20
Xu H Q. The risk assessment of commonly used pesticides to natural enemy *Trichogramma ostriniae* [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2014: 19-20 (in Chinese)
- [37] 刘占山, 柏连阳, 王义成, 等. 农药制剂中助剂安全性探讨及管理建议[J]. 农药科学与管理, 2009, 30(8): 21-25
- [38] 马立利, 吴厚斌, 刘丰茂. 农药助剂及其危害与管理[J]. 农药, 2008, 47(9): 637-640
Ma L L, Wu H B, Liu F M. The development, hazards and management of pesticide adjuvants [J]. Agrochemicals, 2008, 47(9): 637-640 (in Chinese)
- [39] 代平礼, 王强, 孙继虎, 等. 农药对蜜蜂行为的影响[J]. 应用昆虫学报, 2009, 46(6): 855-860
Dai P L, Wang Q, Sun J H, et al. Effects of pesticides on honeybee behaviours [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2009, 46(6): 855-860 (in Chinese) ◆