

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20150921001

李冬植, 王凯, 徐莉, 等. 戊吡虫胍对几种非靶标生物的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(3): 331-337

Li D Z, Wang K, Xu L, et al. Acute toxicity of guadipyr to non-target organisms [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11(3): 331-337 (in Chinese)

## 戊吡虫胍对几种非靶标生物的急性毒性

李冬植<sup>1</sup>, 王凯<sup>1,2</sup>, 徐莉<sup>1</sup>, 柴婷婷<sup>1</sup>, 崔峰<sup>1</sup>, 邱立红<sup>1</sup>, 郑明奇<sup>1</sup>, 覃兆海<sup>1</sup>, 王成菊<sup>1,\*</sup>

1. 中国农业大学, 北京 100193

2. 沈阳农业大学, 沈阳 110161

收稿日期: 2015-09-21 录用日期: 2015-11-16

**摘要:** 戊吡虫胍是一种从烟碱类和缩胺脲类杀虫剂活性结构拼接而成的系列化合物中筛选出来的新型杀虫剂, 目前戊吡虫胍对非靶标生物的毒性研究报道较少。为探究戊吡虫胍的环境安全性, 采用生物毒性试验方法测定了其斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)、大型溞(*Daphnia magna*)、家蚕(*Bombyx mori*)、斑马鱼(*Brachydanio rerio*)、赤子爱胜蚯蚓(*Eisenia fetide*)、非洲爪蟾(*Xenopus laevis*)、赤眼蜂(*Trichogramma nubilale*)、意大利蜜蜂(*Apis mellifera*)、日本鹌鹑(*Coturnix coturnix japonica*)共9种非靶标生物的急性毒性。结果显示戊吡虫胍对斜生栅藻和大型溞的半数有效浓度(EC<sub>50</sub>)分别为8.79 mg·L<sup>-1</sup>和10.97 mg·L<sup>-1</sup>, 对家蚕、斑马鱼、赤子爱胜蚯蚓和非洲爪蟾的半数致死浓度(LC<sub>50</sub>)分别为2.32 mg·L<sup>-1</sup>、13.74 mg·L<sup>-1</sup>、>100 mg·kg<sup>-1</sup>和19.30 mg·L<sup>-1</sup>, 对赤眼蜂的安全系数为0.16~0.031, 对蜜蜂急性触杀和急性摄入毒性分别为51.82 μg·bee<sup>-1</sup>和10.8×10<sup>3</sup> mg·L<sup>-1</sup>, 对鹌鹑的急性经口和急性饲喂毒性LC<sub>50</sub>分别为>1 000 mg·kg<sup>-1</sup>和>2×10<sup>3</sup> mg·kg<sup>-1</sup>。按照最新国标(GB/T31270—2014)化学农药环境安全评价准则的毒性等级划分, 戊吡虫胍除了对家蚕和赤眼蜂为高毒和极高风险外, 对其余非靶生物均为低毒。

**关键词:** 戊吡虫胍; 非靶标生物; 急性毒性

文章编号: 1673-5897(2016)3-331-07 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

## Acute Toxicity of Guadipyr to Non-target Organisms

Li Dongzhi<sup>1</sup>, Wang Kai<sup>1,2</sup>, Xu Li<sup>1</sup>, Chai Tingting<sup>1</sup>, Cui Feng<sup>1</sup>, Qiu Lihong<sup>1</sup>, Zheng Mingqi<sup>1</sup>, Qin Zhaohai<sup>1</sup>, Wang Chengju<sup>1,\*</sup>

1. China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

Received 21 September 2015 accepted 16 November 2015

**Abstract:** Guadipyr is a novel insecticide, which contains both neonicotinoid and oxiazadiazine insecticidal activity moieties. Its toxicity to the non-target organisms remains largely unknown till now. In this study, the toxicity of guadipyr to nine organisms including algae (*Scenedesmus obliquus*), *Daphnia magna*, silkworm (*Bombyx mori*), zebrafish (*Brachydanio rerio*), earthworm (*Eisenia fetide*), tadpole (*Xenopus laevis*), parasitoid (*Trichogramma nubilale*), bee (*Apis mellifera*) and quail (*Coturnix coturnix japonica*) was determined. The median effective concentration (EC<sub>50</sub>) of guadipyr to algae and *Daphnia magna* was found to be 8.79 mg·L<sup>-1</sup> and 10.97 mg·L<sup>-1</sup>, respectively; the median lethal concentration (LC<sub>50</sub>) of guadipyr to silkworm, zebrafish, earthworm and frog was 2.32 mg·L<sup>-1</sup>,

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0200504)

作者简介: 李冬植(1989-), 男, 博士研究生, 研究方向为农药毒理与使用技术, E-mail: lidongzhi1989@163.com

\* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: wangchengju@cau.edu.cn

13.74 mg·L<sup>-1</sup>, >100 mg·kg<sup>-1</sup> and 19.3 mg·L<sup>-1</sup>, respectively; the risk quotient of guadipyr to parasitoid was 0.0433; the median lethal dose (LD<sub>50</sub>) for contact toxicity and LC<sub>50</sub> for oral toxicity to bee were 51.82 μg·bee<sup>-1</sup> and 10.8×10<sup>3</sup> mg·L<sup>-1</sup>, respectively. The LD<sub>50</sub> for oral toxicity and LC<sub>50</sub> for dietary toxicity to quail (*Coturnix coturnix japonica*) were >1 000 mg·kg<sup>-1</sup> and >2 000 mg·L<sup>-1</sup>, respectively. According to the GB/T 31270-2014, guadipyr is classified as a low-toxicity compound for most of the non-target organisms, and it exhibits high toxicity and risk only to silkworm and parasitoid.

**Keywords:** guadipyr; non-target organisms; toxicity

新烟碱类杀虫剂是近年来农业害虫防治中的一类重要的新型杀虫剂,其作用靶标为烟碱型乙酰胆碱受体(nAChRs)<sup>[1]</sup>。自 20 世纪 80 年代新烟碱类杀虫剂引入市场以来<sup>[2]</sup>,因其作用方式新颖、选择毒性强、高效、广谱和对哺乳动物安全等特点在世界范围内受到广泛关注<sup>[3]</sup>。目前,经过 20 多年的研发已经有 7 个新烟碱类杀虫剂商品化,它们对哺乳动物、鸟类及水生生物低毒安全,在环境中几乎无残留等优点使其成为杀虫剂中销售额最大的农药<sup>[4]</sup>。其中吡虫啉是使用最广的新烟碱类杀虫剂<sup>[5]</sup>,虽然其对环境相对安全<sup>[6-7]</sup>,但对蚯蚓、蜜蜂等能造成一系列伤害<sup>[8-12]</sup>。随着新烟碱类杀虫剂的大量使用,其对蜜蜂的毒性越来越被人们关注,欧盟为此于 2013 年 12 月起暂停这类杀虫剂使用 3 年<sup>[13]</sup>。因此开发对环境非靶标生物安全的新颖结构杀虫剂尤为重要。

戊吡虫胍([1-硝基-3-[(6-氯吡啶-3-基)甲基]-4-戊亚甲基氨基胍])(图 1)是 2008 年中国农业大学研发的一种新型结构的新烟碱类杀虫剂<sup>[14]</sup>。它是从新烟碱类和缩胺脲类杀虫剂的活性结构基团巧妙的组合到一个分子中的系列化合物筛选出的产物,兼具新烟碱类和钠离子通道抑制剂 2 种杀虫剂的活性特点。已有的数据表明戊吡虫胍能有效地防治蚜虫和褐飞虱,且对于哺乳动物的毒性较吡虫啉低<sup>[15]</sup>。

由于其高效、成本相对低廉和潜在的环境安全优势,戊吡虫胍具有较大的潜在市场价值。研究其对环境非靶标生物的安全性,尤其是对蜜蜂的安全

性对新烟碱类杀虫剂安全使用和其新型结构的研发具有十分重要的借鉴意义。本研究目的在于评价戊吡虫胍对环境非靶标生物的毒性,并以此评估其环境安全风险。

## 1 材料与方法 (Materials and methods)

### 1.1 供试药剂

95% 戊吡虫胍原药由中国农业大学理学院农药合成实验室提供。原药使用丙酮溶解配成母液(现配现用)。

### 1.2 供试生物和试验方法

#### 1.2.1 藻类生长抑制试验

斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)由农业部农药检定所生物技术测试中心提供。采用水生 4 号培养基在(23±1.0) °C、4 500~5 000 lux 的条件下转接扩大培养。取转接 2 到 3 次后对数生长期的斜生栅藻细胞进行试验,将含戊吡虫胍的培养液与藻细胞稀释液以 1:1 混合致药剂终浓度为 1.0、3.0、9.0、27.0、81.0 mg·L<sup>-1</sup>,同时设置空白对照和助剂对照,每一处理 3 次重复。暴露 72 h 后根据 650 nm 处吸光值(OD)的变化来计算戊吡虫胍的 EC<sub>50</sub><sup>[16]</sup>。

#### 1.2.2 溞类活动抑制试验

大型溞(*Daphnia magna*)由中国疾病预防控制中心提供,参照齐素贞等<sup>[14]</sup>报道的方法连续培养。在整个试验中,水的硬度控制在(250±50) mg·L<sup>-1</sup>范围内(以 CaCO<sub>3</sub>计),水中溶氧量>5.80 mg·L<sup>-1</sup>(OECD, 2011)。实验浓度设为 2.50、5.00、10.00、20.00 和 40.00 mg·L<sup>-1</sup>,同时设置空白对照和助剂对照,每一处理 3 次重复。暴露 48 h 后根据大型溞在不同浓度组中的受抑制数计算 EC<sub>50</sub>。

#### 1.2.3 家蚕急性毒性试验

家蚕(*Bombyx mori*)(菁松×皓月)购于山东广通蚕种集团有限公司,在 26~28 °C,相对湿度为 76%~79%,模拟日光光照(白天:黑夜=14 h:10 h)的条件下饲养,取二龄蚕作为实验材料。实验采用浸液饲

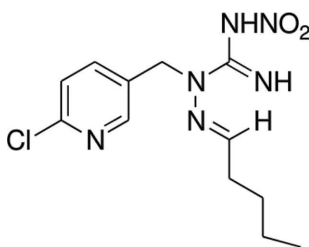


图 1 戊吡虫胍的化学结构图

Fig. 1 Chemical structure of guadipyr

喂法,即将5 g桑叶分别浸在50 mL不同浓度(1.00、2.00、4.00、8.00、16.00 mg·L<sup>-1</sup>)的药液中10 s取出,在室温放置晾干桑叶表面药液后移入培养皿中,每个培养皿中放入20头二龄幼虫。设置空白对照和助剂对照,每一处理3次重复。24 h、48 h和96 h后记录家蚕的中毒症状和死亡情况并计算96 h-LC<sub>50</sub><sup>[17]</sup>。

#### 1.2.4 鱼类急性毒性试验

斑马鱼成鱼(*Brachydanio rerio*)购于北京宏大高峰水族馆。在室内驯养7 d以上,期间每天喂食1到2次,驯养期间正常死亡率低于5%。试验前24 h停止喂食,挑选体长(3.0±0.5) cm、体重(0.3±0.1) g健康活泼个体用于试验。采用半静态法<sup>[18]</sup>,实验浓度设定为13.00、14.30、15.73、17.30、19.03 mg·L<sup>-1</sup>,同时设置空白对照,每一处理3次重复。暴露6 h、24 h、48 h、72 h和96 h后观察斑马鱼的中毒症状,并计算96 h-LC<sub>50</sub>。

#### 1.2.5 蚯蚓急性毒性试验

赤子爱胜蚯蚓(*Eisenia fetida savigny*)购自北京大环蚯蚓厂。在人工土壤(10%泥炭藓、20%高岭土和70%石英砂)中按照温度为(20±1)℃、相对湿度80%~85%、600 lux连续光照的实验条件饲养。选择具有繁殖带,体重在300~500 mg的成蚯蚓用于试验。实验只设置一个上限浓度100 mg·kg<sup>-1</sup>(即准确称取150 mg药剂与1500 g人工土壤混匀后再加入450 mL曝气水),重复3次并设有空白对照。暴露7 d和14 d后观察中毒症状记录死亡情况,并计算14 d-LC<sub>50</sub><sup>[19]</sup>。

#### 1.2.6 两栖急性毒性试验

非洲爪蟾(*Xenopus laevis*)的蝌蚪购于中国科学院遗传与发育生物学研究所。蝌蚪饲养于盛有15 L去氯曝气水的100 L玻璃缸内,正式试验前驯化至少一周<sup>[20]</sup>。试验前饥饿处理24 h,选择健康、龄期一致的蝌蚪随机移入到盛有2 L去氯曝气水的玻璃缸中用于试验。将一定量的戊吡虫胍母液加入到去氯曝气水中,配成11.9、17.8、26.7、40.0、60.0 mg·L<sup>-1</sup>共5个浓度,并设有空白对照,每个处理3次重复。暴露24 h和48 h后记录蝌蚪的中毒症状和死亡数量,并计算48 h-LC<sub>50</sub><sup>[21]</sup>。

#### 1.2.7 赤眼蜂急性毒性试验

赤眼蜂(*Trichogramma nubile*)由广东昆虫研究所提供。被寄生的米蛾卵(*Corcyra cephalonica*),在(25.0±1.0)℃、相对湿度(70%±10%)、避光条件下的人工气候箱中饲养,羽化出的成蜂用于急性毒性试验。采用药膜法<sup>[22-24]</sup>评价急性毒性。将不同浓度(0.31、0.62、1.25、2.49、4.99、9.98 mg·L<sup>-1</sup>)的1 mL药

液加入指行管中充分滚吸晾制成药膜管后,把赤眼蜂放入管中爬行1 h再转入无药指行管,并用10%的蜂蜜水饲喂。试验设置对照,每一处理3次重复。24 h后观察中毒症状并计算半致死残留量(LR<sub>50</sub>)和安全系数。安全系数的计算方法参见以下公式:安全系数=LR<sub>50</sub>(mg·cm<sup>-2</sup>)/田间推荐使用浓度(mg·cm<sup>-2</sup>)。

#### 1.2.8 蜜蜂急性毒性试验

意大利蜜蜂(*Apis mellifera* L)成虫由中国农科院蜜蜂研究所提供。室内驯化7 d以后,挑选大小一致,健康活泼的成年工蜂作为实验材料<sup>[25-26]</sup>。

急性触杀实验:在干燥器内用适量乙醚麻醉蜜蜂后在每头蜜蜂的前胸背板上点滴1 μL药剂,戊吡虫胍的最终点滴剂量为2.56、6.40、16.00、40.00、100.00 μg·bee<sup>-1</sup>,每一处理3次重复,并以丙酮为空白对照。将处理过的蜜蜂置于盖有黑布的蜂笼中,用脱脂棉浸泡33%蔗糖水饲喂。24 h、48 h观察记录中毒症状和死亡数并计算48 h的半数致死剂量(LD<sub>50</sub>)。

急性经口毒性:将戊吡虫胍配制成2000 mg·L<sup>-1</sup>的母液,用33%的蔗糖水将母液分别稀释为5.6×10<sup>2</sup> mg·L<sup>-1</sup>、1.28×10<sup>3</sup> mg·L<sup>-1</sup>、3.2×10<sup>3</sup> mg·L<sup>-1</sup>、8.0×10<sup>3</sup> mg·L<sup>-1</sup>、2.0×10<sup>4</sup> mg·L<sup>-1</sup>。配好的药剂用0.30 g脱脂棉浸渍直至饱和形成棉球,放在蜂笼上方饲喂蜜蜂,并用烧杯罩住以减少挥发。蜂笼置于黑布遮盖的饲养架上,24 h、48 h观察记录中毒症状和死亡数并计算48 h-LC<sub>50</sub><sup>[27]</sup>。

#### 1.2.9 鸟类急性毒性试验

日本鹌鹑(*Coturnix coturnix japonica*)由山东嘉祥县鸿新鹌鹑养殖有限公司提供。选取同一批孵化、饲养30 d左右、体重在90~110 g健康活泼,且雌雄比例为1:1的鹌鹑作为实验材料。试验前在实验室(温度(25.0±1.0)℃,相对湿度62%~72%,自然光下)驯化7 d后用于试验<sup>[28]</sup>。

急性经口毒性:试验药剂浓度设置为1.00×10<sup>4</sup>和1.00×10<sup>5</sup> mg·L<sup>-1</sup>。采用经口一次性染毒法,即饥饿处理12 h后按照每100 g体重灌药1 mL的标准对鹌鹑进行灌胃染毒处理,2 h后正常饲喂。每个处理10头鹌鹑,并设有空白对照和助剂对照。8 h、24 h、48 h、72 h、96 h、120 h、144 h和168 h后记录中毒症状和死亡数并计算168 h-LD<sub>50</sub><sup>[29]</sup>。

急性饲喂毒性:向饲料中加入戊吡虫胍母液,混匀制成1.00×10<sup>3</sup>和2.00×10<sup>3</sup> mg·kg<sup>-1</sup>终浓度的带药饲料,每天用含药的饲料早中晚饲喂3次,连续饲喂5 d,再用不含药的饲料饲喂3 d<sup>[26]</sup>。观察8 h、24 h、

48 h、72 h、96 h、120 h、144 h、168 h、192 h 后的中毒症状和死亡数并计算 192 h-LC<sub>50</sub>。

### 1.3 供试生物的培养条件和实验条件

所有非靶标生物均在实验室条件下培养,培养条件列于表 1。

### 1.4 数据分析

LC<sub>50</sub>、LD<sub>50</sub>、EC<sub>50</sub>(半数有效浓度)、LR<sub>50</sub>(半数致死残留)及置信限由 SPSS 17.0 软件用概率回归分析计算而得。

## 2 结果 (Results)

### 2.1 戊吡虫胍对供试生物的急性毒性

戊吡虫胍对 9 种环境非靶标生物的急性毒性结果见表 2 和表 3。戊吡虫胍对水生生物斜生栅藻 72 h-LC<sub>50</sub>、大型蚤 48 h-EC<sub>50</sub>和斑马鱼的 96 h-LC<sub>50</sub>分别是 8.79 mg·L<sup>-1</sup>、10.97 mg·L<sup>-1</sup>和 13.74 mg·L<sup>-1</sup>。中毒的斜生栅藻细胞分裂减少、藻液颜色变浅;而大型蚤

则表现出活力下降、游动缓慢、容易沉于容器底部;斑马鱼中毒后体背颜色发黑、活力下降。经济昆虫家蚕的 96 h-LC<sub>50</sub>较高为 2.32 mg·L<sup>-1</sup>,中毒后的家蚕取食明显减少、虫体逐渐缩小并伴有吐水现象。对于土壤生物蚯蚓,由于在上限浓度 100 mg·kg<sup>-1</sup>下 7 d 和 14 d 均未观察到死亡现象,因此戊吡虫胍对其的急性毒性 LC<sub>50</sub>大于 100 mg·kg<sup>-1</sup>。对天敌生物非洲爪蟾蝌蚪和赤眼蜂的急性毒性分别为 19.30 mg·L<sup>-1</sup>和 2.98 mg·L<sup>-1</sup>。由于赤眼蜂采用的是药膜法,因此用安全系数来表示更具有直观性,根据 LR<sub>50</sub>(3.24 × 10<sup>-5</sup> mg·cm<sup>-2</sup>)与田间推荐使用剂量(7.48 × 10<sup>-4</sup> mg·cm<sup>-2</sup>)的比算出戊吡虫胍对赤眼蜂的安全系数为 4.33 × 10<sup>-2</sup>,即 LR<sub>50</sub>值明显小于田间使用剂量,具有较高的风险。戊吡虫胍对这 2 种天敌的中毒症状表现为活力下降,行动缓慢。蜜蜂和鹌鹑的急性经口毒性分别为 1.08 × 10<sup>4</sup> mg·L<sup>-1</sup>和 >1 000 mg·kg<sup>-1</sup>,蜜蜂的急性触杀毒性为 51.82 μg·bee<sup>-1</sup>,鹌鹑的急性饲喂毒

表 1 测试生物的培养条件

Table 1 Culture conditions of test organisms

非靶标生物 Non-target organism	温度/℃ Temperature/℃	pH	光:暗/h Light: Dark/h	相对湿度/% Relative humidity/%	光照条件/lux Light intensity/lux
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	23.0±1.0	7.0±0.2	连续光照 Continuous light	—	4 500~5 000
大型蚤 <i>Daphnia magna</i>	20.0±2.0	7.5±1.0	16:08	—	自然光照 Natural light
家蚕 <i>Bombyx mori</i>	27.0±1.0	—	14:10	76~79	自然光照 Natural light
斑马鱼 <i>Brachydanio rerio</i>	23.0±1.0	8.0±0.5	14:10	—	自然光照 Natural light
赤子爱胜蚯蚓 <i>Eisenia fetide</i>	20.0±1.0	6.5±0.5	16:08	80~85	600
非洲爪蟾 <i>Xenopus laevis</i>	22.0±1.0	7.7±0.2	12:12	—	自然光照 Natural light
赤眼蜂 <i>Trichogramma nubilale</i>	25.0±1.0	—	14:10	70~80	避光 Lucifuge
意大利蜜蜂 <i>Apis mellifera</i>	25.0±0.5	—	14:10	50~70	自然光照 Natural light
日本鹌鹑 <i>Coturnix coturnix japonica</i>	25.0±1.0	—	14:10	62~72	自然光照 Natural light

注:“—”表示无须控制。

Note: “—” means no need to control.

表 2 戊吡虫胍对非靶标生物的急性毒性

Table 2 Toxicity of guadipyr to non-target organisms

非靶标生物 Non-target organism	LC <sub>50</sub> 或 EC <sub>50</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	95% 置信限/(mg·L <sup>-1</sup> ) 95% Confidential interval/(mg·L <sup>-1</sup> )	毒性等级 Toxicity grade
斜生栅藻 <i>Scenedesmus obliquus</i>	(72 h) 8.79	3.77~17.63	低毒 Low toxicity
大型蚤 <i>Daphnia magna</i>	(48 h) 10.97	7.88~18.19	低毒 Low toxicity
家蚕 <i>Bombyx mori</i>	(96 h) 2.32	1.55~3.84	高毒 High toxicity
斑马鱼 <i>Brachydanio rerio</i>	(96 h) 13.74	13.17~14.18	低毒 Low toxicity
赤子爱胜蚯蚓 <i>Eisenia fetide</i>	(14 d) >100 (mg·kg <sup>-1</sup> )	—	低毒 Low toxicity
非洲爪蟾 <i>Xenopus laevis</i>	(48 h) 19.30	17.21~21.63	低毒 Low toxicity
赤眼蜂 <i>Trichogramma nubilale</i>	(24 h) 2.98	1.83~4.05	极高风险 High risk

注:“—”表示无法计算。

Note: “—” means can not be calculated.

性为 $>2\ 000\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。中毒后的蜜蜂身体失衡、伸喙展翅,鹤鹑则表现出精神萎靡、羽毛蓬松、打盹。

### 2.2 戊吡虫胍对供试生物的毒性等级划分

根据最新的国标 GB/T 31270.10—2014《化学农药环境安全评价试验准则》<sup>[30]</sup>中农药对环境非靶标生物的毒性等级划分标准,戊吡虫胍对所测的 9 种非靶标生物的毒性除了家蚕为高毒、赤眼蜂为极高风险外,其余 7 种环境生物均表现为低毒。

## 3 讨论 (Discussion)

目前市场上常见的新烟碱类杀虫剂对水生生物(例如藻类和大型溞)都较为安全,但对土壤生物和传粉蜜蜂则表现出一定的毒性,特别是对蜜蜂的毒性多为剧毒(表 4)。我们的研究表明戊吡虫胍对水生生物斜生栅藻、大型溞、斑马鱼为低毒;对天敌两栖生物非洲爪蟾低毒;对土壤生物蚯蚓为低毒;对意大利蜜蜂和鸟类日本鹤鹑均为低毒;特别是对蜜蜂的毒性(急性触杀 48 h-LD<sub>50</sub>为 51.82  $\mu\text{g}\cdot\text{bee}^{-1}$ )远远低于目前市场的新烟碱类杀虫剂,这对于缓解

新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的毒性压力有一定的帮助。另外,小鼠实验表明戊吡虫胍的急性经口毒性 LD<sub>50</sub> $>5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\ \text{b.w.}$ ,急性皮肤试验 LD<sub>50</sub> $>5\ 000\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\ \text{b.w.}$ ,急性吸入毒性 LC<sub>50</sub> $>3\ 458\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,在毒性分级中属于轻微毒性,低于吡虫啉对小鼠的毒性<sup>[13]</sup>。

戊吡虫胍和其他新烟碱类杀虫剂之间毒性差异的原因可能与它的化学结构有较大关系(图 1)。戊吡虫胍是由新烟碱类和缩胺脲类杀虫剂的 2 种活性基团巧妙结合的衍生物,而农药化学结构上的细微改变很容易导致化学性质的重大变化<sup>[13]</sup>。这种新颖结构可能是导致其对蜜蜂低毒的原因,对于新烟碱类杀虫剂的未来研发改造中具有一定的借鉴意义,使新烟碱类杀虫剂可以对环境,特别是蜜蜂更加安全。

生物防治活性上,戊吡虫胍防治蚜虫和褐飞虱效果优于吡虫啉。大田试验表明戊吡虫胍在(60 g a.i. $\cdot\text{ha}^{-1}$ )用量下对褐飞虱的防效可达 83.5%,而吡虫啉要达到类似的防效则需要近双倍的用量(112.5 g a.i. $\cdot\text{ha}^{-1}$ )<sup>[13]</sup>。戊吡虫胍的这种高效、安全的特性,可

表 3 戊吡虫胍对蜜蜂和鸟的急性毒性  
Table 3 Toxicity of guadipyr to bees and birds

非靶标生物 Non-target organism	急性毒性 Acute toxicity	95% 置信限 95% Confidential interval	毒性等级 Toxicity grade
意大利蜜蜂 <i>Apis mellifera</i>	急性触杀 48 h-LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}\cdot\text{bee}^{-1}$ )	51.82	39.93~72.02
	Contact toxicity 48 h-LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}\cdot\text{bee}^{-1}$ )		
	急性经口 48 h-LC <sub>50</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	1.08 $\times 10^4$	5.22 $\times 10^3$ ~6.42 $\times 10^4$
日本鹤鹑 <i>Coturnix coturnix japonica</i>	口服毒性 48 h-LC <sub>50</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$>1\ 000$	—
	急性经口 168 h-LD <sub>50</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )		
	口服毒性 168 h-LD <sub>50</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	$>2\ 000$	—
	饲喂毒性 192 h-LC <sub>50</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )		
	Dietary toxicity 192 h-LC <sub>50</sub> ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )		

注:“—”表示无法计算。

Note: “—” means can not be calculated.

表 4 多种新烟碱类杀虫剂对不同非靶标生物的生态毒性 (IUPAC, 2015)

Table 4 Toxicity of neonicotinoid insecticides to non-target organisms (IUPAC, 2015)

杀虫剂 Insecticide	藻 (72 h-EC <sub>50</sub> ) <i>Scenedesmus obliquus</i> /(mg $\cdot\text{L}^{-1}$ )	大型溞 (48 h-EC <sub>50</sub> ) <i>Daphnia magna</i> /(mg $\cdot\text{L}^{-1}$ )	赤子爱胜蚯蚓(14 d-LC <sub>50</sub> ) <i>Eisenia fetide</i> (mg $\cdot\text{kg}^{-1}$ )	意大利蜜蜂 (48 h-LD <sub>50</sub> ) <i>Apis mellifera</i> /(μg $\cdot\text{bee}^{-1}$ )
吡虫啉 Imidacloprid	$>10.0$	85.0	10.7	0.081
啶虫脒 Acetamiprid	$>98.3$	49.8	9.0	14.5
噻虫胺 Clothianidin	55.0	$>40$	13.2	0.004
烯啶虫胺 Nitenpyram	26.0	10 000	32.2	0.14
噻虫啉 Thiacloprid	60.6	85.1	105.0	17.3
噻虫嗪 Thiamethoxam	$>100$	$>100$	$>1\ 000$	0.005
呋虫胺 Dinotefuran	$>100$	$>968.3$	4.9	$>0.023$

能会有较为广阔的市场应用前景。但是,戊吡虫胍对家蚕、赤眼蜂还是具有一定的环境风险,因此在使用时应该尽量避免在桑园附近和害虫天敌防护区使用。由于其对蚯蚓较为安全且对多数水生生物为低毒,因此戊吡虫胍在土壤处理剂上有较好的发展优势。

**致谢:**感谢中国农业大学理学院生测组各位同学在实验上给予的帮助。

**通讯作者简介:**王成菊(1964-),女,教授,主要研究方向为农药毒理与使用技术。

#### 参考文献 (References):

- [1] Matsuda K, Buckingham S D, Kleier D, et al. Neonicotinoids: Insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors [J]. *Trends in Pharmacological Sciences*, 2001, 22: 573-580
- [2] Tomizawa M, Casida J E. Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors [J]. *Annual Review of Entomology*, 2003, 48: 339-364
- [3] Jeschke P, Nauen R. Neonicotinoids—From zero to hero in insecticide chemistry [J]. *Pest Management Science*, 2008, 64: 1084-1098
- [4] 季守民, 程传英, 袁传卫, 等. 7种新烟碱类杀虫剂对意大利蜜蜂的急性毒性及风险评价[J]. *农药*, 2015, 54(4): 282-285
- [5] 张敏恒, 赵平, 严秋旭, 等. 新烟碱类杀虫剂市场与环境影响[J]. *农药*, 2012, 51(12): 859-863
- [6] Song M Y, Stark J D, Brown J J. Comparative toxicity of four insecticides, including imidacloprid and tebufenozide, to four aquatic arthropods [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1997, 16: 2494-2500
- [7] Hayasaka D, Suzuki K, Nomura T, et al. Comparison of acute toxicity of two neonicotinoid insecticides, imidacloprid and clothianidin, to five cladoceran species [J]. *Journal of Pesticide Science*, 2013, 38: 44-47
- [8] Capowiez Y, Dittbrenner N, Rault M, et al. Earthworm cast production as a new behavioural biomarker for toxicity testing [J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158: 388-393
- [9] Capowiez Y, Rault M, Costagliola G, et al. Lethal and sublethal effects of imidacloprid on two earthworm species (*Aporrectodea nocturna* and *Allolobophora icterica*) [J]. *Biology & Fertility of Soils*, 2005, 41: 135-143
- [10] Duzguner V, Erdogan S. Acute oxidant and inflammatory effects of imidacloprid on the mammalian central nervous system and liver in rats [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2010, 97: 13-18
- [11] Iwasa T, Motoyama N, Ambrose J T, et al. Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera* [J]. *Crop Protection*, 2004, 23: 371-378
- [12] Song Y, Zhu L S, Wang J, et al. DNA damage and effects on antioxidative enzymes in earthworm (*Eisenia foetida*) induced by atrazine [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 905-909
- [13] 仇是胜, 张一宾. 新烟碱类杀虫剂的发展及趋向[J]. *世界农药*, 2014, 36(5): 5-6
- [14] Qi S, Wang C, Chen X, et al. Toxicity assessments with *Daphnia magna* of guadipyr, a new neonicotinoid insecticide and studies of its effect on acetylcholinesterase (AChE), glutathione S-transferase (GST), catalase (CAT) and chitinase activities [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 98: 339-344
- [15] Su W, Zhou Y, Ma Y, et al. N'-nitro-2-hydrocarbylidenehydrazinecarbox imidamides: Design, synthesis, crystal structure, insecticidal activity, and structure-activity relationships [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60: 5028-5034
- [16] OECD. Guidelines for the testing of chemicals: Freshwater alga and cyanobacteria growth inhibition test [S]. Paris: OECD, 2006
- [17] Zhang Z, Wang D, Chi Z, et al. Acute toxicity of organophosphorus and pyrethroid insecticides to *Bombyx mori* [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2008, 101: 360-364
- [18] OECD. Guideline for the testing of chemicals: Fish acute toxicity test [S]. Paris: OECD, 1992
- [19] OECD. Guidelines for the testing of chemicals: Earthworm acute toxicity tests [S]. Paris: OECD, 1984
- [20] Hughes A. Normal table of *Xenopus laevis* [J]. *Journal of Anatomy*, 1957, 91: 297
- [21] OECD. Guideline for the testing of chemicals: The amphibian metamorphosis assay [S]. Paris: OECD, 2009
- [22] Wang H Y, Yang Y, Su J Y, et al. Assessment of the impact of insecticides on *Anagrus nilaparvatae* (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. *Crop Protection*, 2008, 27: 514-522
- [23] Preetha G, Stanley J, Suresh S, et al. Toxicity of selected insecticides to *Trichogramma chilonis*: Assessing their safety in the rice ecosystem [J]. *Phytoparasitica*, 2009, 37: 209-215
- [24] Chen X, Song M, Qi S, et al. Safety evaluation of eleven insecticides to *Trichogramma nubilale* (Hymenoptera: Tri-

- chogrammatidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106: 136-141
- [25] OECD. Guidelines for the testing of chemicals: Honeybees acute contact toxicity test [S]. Paris: OECD, 1998
- [26] OECD. Guidelines for the testing of chemicals: Honeybees acute oral toxicity test [S]. Paris: OECD, 1998
- [27] Laurino D, Porporato M, Patetta A, et al. Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bees: Laboratory tests [J]. *Bulletin of Insectology*, 2011, 64: 107-113
- [28] OECD. Guideline for the testing of chemicals: Avian dietary toxicity test [S]. Paris: OECD, 1984
- [29] OECD. Guidelines for the testing of chemicals: Avian acute oral toxicity test [S]. Paris: OECD, 2010
- [30] 中华人民共和国国家环境保护部. GB/T31270.10—2014 化学农药环境安全评价试验准则[S]. 北京: 中华人民共和国国家环境保护部, 2014 ◆