

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20191112001

张艳峰, 王会利. 16种农药制剂对意大利蜜蜂的急性毒性及初级风险评估[J]. 生态毒理学报, 2020, 15(6): 271-278

Zhang Y F, Wang H L. Acute toxicity and risk assessment of 16 pesticide formulations to *Apis mellifera* [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2020, 15(6): 271-278 (in Chinese)

16种农药制剂对意大利蜜蜂的急性毒性及初级风险评估

张艳峰, 王会利*

中国科学院生态环境研究中心环境生物技术重点实验室, 北京 100085

收稿日期: 2019-11-12 录用日期: 2019-12-12

摘要: 为评价常用化学农药对意大利蜜蜂的毒害作用, 采用饲喂法和微量点滴法分别测定了16种农药制剂对意大利蜜蜂成年工蜂的急性经口毒性和急性接触毒性, 并结合田间推荐施用量计算风险商值, 进行了初级风险评估。结果表明, 供试8种杀虫剂均为高毒, 其中, 除10%高效氯氟氰菊酯水乳剂风险商值为0.89, <1外, 其余7种制剂风险商值均>1, 风险不可接受。除草剂中, 45%莎稗磷乳油为中毒, 急性经口和急性接触的48 h半致死剂量(48 h-LD₅₀)分别为5.90 μg a.i.·蜂⁻¹和5.42 μg a.i.·蜂⁻¹, 风险商值>1, 风险不可接受。其余4种除草剂和3种杀菌剂均为低毒, 风险商值均<1, 风险可接受。15%高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂和10%高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂2种混配制剂相比于单剂, 对意大利蜜蜂的急性毒性和风险均升高。建议对高风险制剂进一步开展高级风险评估或采取错开作物花期施用等规避措施降低对蜜蜂的风险。

关键词: 农药制剂; 意大利蜜蜂; 急性毒性; 风险评估

文章编号: 1673-5897(2020)6-271-08 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Acute Toxicity and Risk Assessment of 16 Pesticide Formulations to *Apis mellifera*

Zhang Yanfeng, Wang Huili*

Key Laboratory of Environmental Biotechnology, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Received 12 November 2019 accepted 12 December 2019

Abstract: The acute oral toxicity and acute contact toxicity to adult bees of *Apis mellifera* about 16 chemical pesticide formulations were tested using oral-feeding and topical application methods in order to evaluate the toxic effects of common pesticides. The first-tier risk assessment was characterized by the risk quotient (RQ) combined with the recommended application rates. The results showed 8 insecticides exhibited high toxicity. The RQ values of 7 formulations were greater than 1 except 0.89 of 10% *beta*-cypermethrin EW and the risk was unacceptable. 45% anilofos EC, one of the herbicides, exhibited moderate toxicity, the 48 h median lethal dose (48 h-LD₅₀) of acute oral toxicity and acute contact toxicity were 5.90 μg a.i.·bee⁻¹ and 5.42 μg a.i.·bee⁻¹, respectively. The RQ values were greater than 1 and the risk was unacceptable. The remaining 4 herbicides and 3 fungicides were all low

第一作者: 张艳峰(1984—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为农药毒理与农药分析, E-mail: yfzhang@rcees.ac.cn

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: huiliwang@rcees.ac.cn

toxicity, and the RQ values were less than 1 so the risk was acceptable. Both the 15% *lambda*-cyhalothrin·thiamethoxam SC and the 10% *lambda*-cyhalothrin·clothianidin SC mixtures exhibited higher toxicity and risk to *Apis mellifera* than the single agents. Therefore, higher tier risk assessment or risk avoidance measures such as avoiding application at flowering stage should be carried out to reduce the risk to honeybees.

Keywords: pesticide formulations; *Apis mellifera*; acute toxicity; risk assessment

农药在控制有害生物危害和保障农业生产等方面发挥了重要作用,但是农药的不合理使用也给生态环境和人类健康带来了很多负面的影响^[1-2]。研究表明约80%的化学农药施用后会直接进入环境,并在大气、土壤和水等环境介质之间迁移和扩散,而且有可能生物累积和生物放大,进而对环境生物造成严重危害^[3]。

蜜蜂是自然界最主要的传粉昆虫,同时为人类提供了丰富的蜂产品^[4-5]。蜜蜂在田间采花授粉过程中可通过直接经口摄入和体表接触等途径暴露于农药中,因此,农药在蜜源作物上使用难免会对蜜蜂造成影响,包括行为变化及个体死亡,甚至可导致整个种群的变化。进入21世纪以来,美洲和欧洲相继爆发了大规模的蜂群崩溃失调症(Colony Collapse Disorder),这些都与现代农业中农药的大量使用密切相关^[6-7]。如已被欧盟限制使用的新烟碱类杀虫剂能够在极低的剂量下作用于昆虫神经系统中的烟碱乙酰胆碱受体(nAChRs),在杀死害虫的同时,也会危害蜜蜂等非靶标生物^[8-9]。与其他昆虫相比,蜜蜂基因组中缺乏能够编码解毒酶的基因,这使得蜜蜂更容易受到农药的危害^[10]。国内外均将蜜蜂作为监测农药环境风险的指示昆虫^[11],保护蜜蜂种群对于保证环境安全和农业可持续发展关系重大。

农药环境风险评估是在急性毒性试验的基础上,关注农药对整个生态系统直接或间接的影响,是将孤立的环境行为、环境生态和非靶标生物的毒性资料等进行整合,科学评判农药的环境风险,从而更科学、直观地反映农药在使用中对环境影响的实际情况,因此,农药风险评估具有重要的现实意义。本文选择了16种农药制剂,研究其对意大利蜜蜂的急性经口毒性和急性接触毒性,并进行初级风险评估,旨在为我国农药的安全合理使用提供科学依据,同时为这些农药品种的再评估工作奠定基础。

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.),以下简称蜜蜂引

种自北京长文山水间养殖中心,实验室自行保种繁育。试验选用大小一致健康活泼的成年工蜂并在试验前饥饿2 h。

1.1.2 药剂

30%虫螨腈悬浮剂、50%丁醚脲可湿性粉剂、10%高效氯氟氰菊酯水乳剂、10%高效氯氟氰菊酯悬浮剂、30%噻虫胺悬浮剂、21%噻虫嗪悬浮剂、15%高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂(3:2)、10%高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂(1:3)、30%草甘膦水剂、30%草铵膦水剂、45%莎稗磷乳油、30%氰氟草酯乳油、480 g·L⁻¹灭草松可溶液剂、50%吡唑醚菌酯水分散粒剂、20%氰霜唑悬浮剂、50%氟啶胺悬浮剂和98.3%乐果原药,均由中国科学院生态环境研究中心农药与环境评价实验室提供;丙酮(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.1.3 试验设备

试验蜂笼(长×宽×高为9.3 cm×9.3 cm×7 cm的木质方框,上下表面用纱网密封,自制);饲喂器(底部穿孔的200 μL离心管,美国Axygen公司);微量点滴仪(Hamilton-DIS50 μL,瑞士Hamilton公司);电子天平(AL104-IC,瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司);CO₂麻醉装置(自制)。

1.2 试验方法

1.2.1 蜜蜂急性经口毒性试验

将供试农药制剂用去离子水配制成母液后用50% (m/m)蔗糖水稀释成一系列浓度,详细浓度梯度如表1所示。采用饲喂法对蜜蜂进行染毒,具体操作如下:将蜜蜂麻醉后引入试验蜂笼,用饲喂器取100 μL不同浓度供试物药液饲喂蜜蜂;4 h后取出饲喂器,换用不含供试物的50% (m/m)蔗糖水持续饲喂至试验结束,测定每组药液的消耗量。同时设空白对照组,仅饲喂不含供试物的50% (m/m)蔗糖水。处理组 and 对照组均设3个重复,每个重复10头蜜蜂。处理后24 h和48 h分别观察蜜蜂的中毒症状与死亡情况。暴露实验在(25±2)℃、相对湿度为50%~70%的黑暗人工气候室内进行。

1.2.2 蜜蜂急性接触毒性试验

将供试农药制剂用丙酮配制成母液后用丙酮稀

表 1 16 种农药制剂田间推荐最高施用量及染毒浓度

Table 1 The maximum recommended application rates (AR) and exposure levels of 16 pesticide formulations

序号 No.	类型 Type	制剂名称 Formulation name	田间推荐施用量 (g a.i. · ha ⁻¹) Application rates (g a.i. · ha ⁻¹)	染毒系列浓度(g a.i. · L ⁻¹) Exposure levels(g a.i. · L ⁻¹)	
				急性经口毒性 Acute oral toxicity	急性接触毒性 Acute contact toxicity
1	杀虫剂 Insecticide	30% 虫螨脲悬浮剂	108	0.101, 6.05×10 ⁻² , 3.63×10 ⁻² , 2.18×10 ⁻² , 1.31×10 ⁻²	1.01, 0.605, 0.363, 0.218, 0.131
2		30%chlorfenapyr suspension concentrates (SC)			
		50% 丁醚脲可湿性粉剂	450	0.600, 0.300, 0.150, 7.50×10 ⁻² , 3.75×10 ⁻²	8.00, 4.00, 2.00, 1.00, 0.500
3		50% diafenthuiuron wettable powder (WP)			
		10% 高效氯氟菊酯水乳剂	75	0.629, 0.319, 0.158, 7.85×10 ⁻² , 3.91×10 ⁻²	1.60, 0.800, 0.400, 0.200, 0.100
4		10% beta-cypermethrin emulsion, oil in water (EW)			
		10% 高效氯氟菊酯悬浮剂	30	0.150, 7.50×10 ⁻² , 3.75×10 ⁻² , 1.88×10 ⁻² , 9.38×10 ⁻³	1.60, 0.800, 0.400, 0.200, 0.100
5		10% lambda-cyhalothrin SC			
		21% 噻虫嗪悬浮剂	72	0.118, 5.98×10 ⁻² , 2.96×10 ⁻² , 1.47×10 ⁻² , 7.33×10 ⁻³	0.400, 0.200, 0.100, 5.00×10 ⁻² , 2.50×10 ⁻²
		21% thiamethoxam SC			
6		30% 噻虫胺悬浮剂	150	2.36×10 ⁻³ , 1.20×10 ⁻³ , 5.92×10 ⁻⁴ , 2.94×10 ⁻⁴ , 1.47×10 ⁻⁴	4.00×10 ⁻² , 2.00×10 ⁻² , 1.00×10 ⁻² , 5.00×10 ⁻³ , 2.50×10 ⁻³
		30% clothianidin SC			
7		15% 高效氯氟菊酯·噻虫嗪悬浮剂	36	3.54×10 ⁻³ , 1.79×10 ⁻³ , 8.88×10 ⁻⁴ , 4.42×10 ⁻⁴ , 2.20×10 ⁻⁴	0.120, 6.00×10 ⁻² , 3.00×10 ⁻² , 1.50×10 ⁻² , 7.50×10 ⁻³
		15% lambda-cyhalothrin · thiamethoxam SC			
8		10% 高效氯氟菊酯·噻虫胺悬浮剂	18	2.01×10 ⁻³ , 1.00×10 ⁻³ , 5.02×10 ⁻⁴ , 2.51×10 ⁻⁴ , 1.26×10 ⁻⁴	8.01×10 ⁻⁴ , 4.00×10 ⁻⁴ , 2.00×10 ⁻⁴ , 1.00×10 ⁻⁴ , 5.01×10 ⁻⁵
		10% lambda-cyhalothrin · clothianidin SC			
9	除草剂 Herbicide	30% 草甘膦水剂 30% glyphosate aqueous solution (AS)	2 250	10.0	100
10		30% 草铵膦水剂 30% glufosinate ammonium AS	900	10.0	100
11		45% 莎稗磷乳油 45% anilofos emulsifiable concentrate (EC)	370	2.09, 1.04, 0.522, 0.261, 0.131	20.0, 10.0, 5.00, 2.50, 1.25
12		30% 氟氯草酯乳油 30% cyhalofop-butyl EC	158	10.1	100
13		480 g · L ⁻¹ 灭草松可溶液剂 480 g · L ⁻¹ bentazone soluble concentrate (SL)	1 440	10.3	101
14		20% 氰霜唑悬浮剂 20% cyazofamid SC	108	10.2	100
15		50% 氟啶胺悬浮剂 50% fluazinan SC	234	10.2	100
16		50% 吡啶醚菊酯水分散粒剂 50% pyraclostrobin water dispersible granule (WG)	333	11.0	100

注:单一染毒浓度的农药制剂只进行了限度试验。
Note: The formulations which include only a single exposure level were conducted a limit test.

释成一系列浓度,详细浓度梯度如表1所示。采用微量点滴法对蜜蜂进行染毒,具体操作如下:将蜜蜂麻醉后取出,用微量点滴仪吸取供试物药液,于蜜蜂中胸背板处点滴1 μL ,待蜂身晾干后,将染毒蜜蜂转移至试验蜂笼,用50%蔗糖水(m/m)持续饲喂至试验结束。同时设空白对照组和溶剂对照组,空白对照组只引入麻醉的蜜蜂不点滴,溶剂对照组只用丙酮进行点滴,其他同处理组。处理组、空白对照组和溶剂对照组均设3个重复,每个重复10头蜜蜂。处理后24 h和48 h分别观察蜜蜂的中毒症状与死亡情况。暴露实验在 $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为50%~70%的黑暗人工气候室内进行。

1.2.3 乐果参比试验

参比试验方法同1.2.1和1.2.2。

1.3 数据处理

根据蜜蜂实际暴露量和死亡率,采用SPSS18.0软件Probit概率统计法计算48 h半致死剂量(48 h-LD_{50})及95%置信区间。风险商值(RQ)按照喷施暴露场景下的公式 $RQ = AR/(LD_{50} \times 50)$ 进行计算,其中,RQ为喷雾暴露场景的风险商值,AR为农药推荐单次最高施用量($\text{g a.i.} \cdot \text{hm}^{-2}$)(表1), LD_{50} 为半致死剂量($\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$)。

1.4 毒性等级和风险等级划分

蜜蜂急性经口毒性和急性接触毒性的等级划分,参照农业部发布的《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》^[12]分为4个等级:低毒($LD_{50} > 11.0\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$);中毒($2.0\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1} < LD_{50} \leq 11.0\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$);高毒($0.001\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1} < LD_{50} \leq 2.0\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$);剧毒($LD_{50} \leq 0.001\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$)。

对蜜蜂的初级风险评估采用《农药登记 环境风险评估指南 第4部分:蜜蜂》^[13]中的RQ值进行表征,RQ ≤ 1 时,风险可接受;RQ > 1 时,风险不可接受。

2 结果与分析 (Results and analysis)

2.1 急性经口毒性和初级风险评估

8种杀虫剂对蜜蜂的急性经口毒性均为高毒(表2)。45%莎稗磷乳油的48 h- LD_{50} 为 $5.90\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,急性经口毒性为中毒。30%草甘膦水剂、30%草铵膦水剂、30%氰氟草酯乳油、 $480\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 灭草松可溶液剂、50%吡啶醚菌酯水分散粒剂、20%氰霜唑悬浮剂和50%氟啶胺悬浮剂的48 h- LD_{50} 均 $\geq 100\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$ (表2),这7种制剂急性经口毒性均

为低毒。蜜蜂中毒后表现为行动迟缓,失去平衡等症状,死亡后蜂喙伸出,翅膀展开。30%虫螨腈悬浮剂、50%丁醚脲可湿性粉剂、30%噻虫胺悬浮剂、21%噻虫嗪悬浮剂、15%高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂、10%高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂和45%莎稗磷乳油的RQ值均 > 1 ,风险不可接受;其余8种制剂的RQ值均 < 1 ,风险可接受(表2)。

2.2 急性接触毒性和初级风险评估

8种杀虫剂中,10%高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂的48 h- LD_{50} 为 $0.000234\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,对蜜蜂的急性接触毒性为剧毒;50%丁醚脲可湿性粉剂的48 h- LD_{50} 为 $2.11\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,急性接触毒性为中毒;其余6种制剂的急性接触毒性均为高毒(表3)。45%莎稗磷乳油的48 h- LD_{50} 为 $5.42\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,急性接触毒性为中毒。30%草甘膦水剂、30%草铵膦水剂、30%氰氟草酯乳油、 $480\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 灭草松可溶液剂、50%吡啶醚菌酯水分散粒剂、20%氰霜唑悬浮剂和50%氟啶胺悬浮剂的48 h- LD_{50} 均 $\geq 100\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$ (表3),这7种制剂的急性接触毒性均为低毒。蜜蜂中毒后表现为行动迟缓,失去平衡等症状,死亡后蜂喙伸出,翅膀展开。30%虫螨腈悬浮剂、50%丁醚脲可湿性粉剂、10%高效氯氟氰菊酯水乳剂、10%高效氯氟氰菊酯悬浮剂、30%噻虫胺悬浮剂、21%噻虫嗪悬浮剂、15%高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂、10%高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂和45%莎稗磷乳油的RQ值均 > 1 ,风险不可接受;其余7种制剂的RQ值均 < 1 ,风险可接受(表3)。

2.3 乐果参比试验

乐果作为参比物质,对蜜蜂急性经口试验48 h- LD_{50} 为 $0.262\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,在 $0.10 \sim 0.35\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$ 范围内;对蜜蜂急性接触试验48 h- LD_{50} 为 $0.216\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,在 $0.10 \sim 0.30\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$ 范围内;均符合试验要求^[12],说明试验体系和试验方法可靠。

3 讨论 (Discussion)

本研究选取的农药品种涵盖了杀虫剂、除草剂和杀菌剂三大类,它们对蜜蜂的急性毒性和风险差异很大,10%高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂急性接触毒性和风险最高,48 h- LD_{50} 和RQ值分别为 $0.000234\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$ 和1 538.46,与目前关注的新烟碱类和菊酯类杀虫剂对蜜蜂的影响结果一致^[14-19];低毒制剂的48 h- $LD_{50} \geq 100\text{ }\mu\text{g a.i.} \cdot \text{蜂}^{-1}$,最小的RQ值为0.02。总体来看,杀虫剂对蜜蜂的急性毒性较高且

风险高,除草剂和杀菌剂对蜜蜂的急性毒性较低且风险低,这可能与致毒机理和作用方式不同有关^[20-22]。上述绝大部分制剂对蜜蜂的风险表现为低毒低风险和高毒高风险的趋势,说明急性毒性是风险性的内在决定因素。另一方面,在急性毒性数据基础上,引入田间施用量的因素,更能准确直观地体现农药对蜜蜂的风险,由此可见,严格控制田间施用

量,合理使用农药是降低农药风险的重要手段。

10% 高效氯氟氰菊酯悬浮剂对蜜蜂的急性毒性为高毒(48 h-LD₅₀ 分别为 0.445 μg a.i.·蜂⁻¹和 0.530 μg a.i.·蜂⁻¹),21% 噻虫嗪悬浮剂对蜜蜂的急性毒性为高毒(48 h-LD₅₀ 分别为 0.314 μg a.i.·蜂⁻¹和 0.110 μg a.i.·蜂⁻¹),30% 噻虫胺悬浮剂对蜜蜂的急性毒性为高毒(48 h-LD₅₀ 分别为 0.00589 μg a.i.·蜂⁻¹和

表 2 16 种制剂对蜜蜂的急性经口毒性和风险商值 (RQ)
Table 2 Acute oral toxicity and risk quotient (RQ) of 16 formulations to *Apis mellifera*

序号 No.	制剂名称 Formulation name	48 h-LD ₅₀ /(μg a.i.·蜂 ⁻¹) (95% 置信区间)	毒性等级 Toxicity grade	风险商值(RQ) Risk quotient (RQ)
		48 h-LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95% confidence interval)		
1	30% 虫螨脲悬浮剂 30% chlorfenapyr SC	0.336 (0.267 ~ 0.418)	高毒 High toxicity	6.43
2	50% 丁醚脲可湿性粉剂 50% diafenthion WP	1.95 (1.45 ~ 2.73)	高毒 High toxicity	4.62
3	10% 高效氯氟氰菊酯水乳剂 10% <i>beta</i> -cypermethrin EW	1.68 (1.16 ~ 2.47)	高毒 High toxicity	0.89
4	10% 高效氯氟氰菊酯悬浮剂 10% <i>lambda</i> -cyhalothrin SC	0.445 (0.342 ~ 0.613)	高毒 High toxicity	1.35
5	21% 噻虫嗪悬浮剂 21% thiamethoxam SC	0.314 (0.217 ~ 0.463)	高毒 High toxicity	4.59
6	30% 噻虫胺悬浮剂 30% clothianidin SC	0.00589 (0.00425 ~ 0.00904)	高毒 High toxicity	509.34
7	15% 高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂 15% <i>lambda</i> -cyhalothrin·thiamethoxam SC	0.00882 (0.00658 ~ 0.01341)	高毒 High toxicity	81.63
8	10% 高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂 10% <i>lambda</i> -cyhalothrin·clothianidin SC	0.00325 (0.00249 ~ 0.00412)	高毒 High toxicity	110.77
9	30% 草甘膦水剂 30% glyphosate AS	>100	低毒 Low toxicity	0.45
10	30% 草铵膦水剂 30% glufosinate ammonium AS	>100	低毒 Low toxicity	0.18
11	45% 莎稗磷乳油 45% anilofos EC	5.90 (4.34 ~ 8.22)	中毒 Median toxicity	1.25
12	30% 氰氟草酯乳油 30% cyhalofop-butyl EC	>101	低毒 Low toxicity	0.03
13	480 g·L ⁻¹ 灭草松可溶液剂 480 g·L ⁻¹ bentazone SL	>103	低毒 Low toxicity	0.28
14	20% 氰霜唑悬浮剂 20% cyazofamid SC	>102	低毒 Low toxicity	0.02
15	50% 氟啶胺悬浮剂 50% fluazinam SC	>102	低毒 Low toxicity	0.05
16	50% 吡唑醚菌酯水分散粒剂 50% pyraclostrobin WG	>110	低毒 Low toxicity	0.06

注:意大利蜜蜂急性经口毒性试验上限剂量为 100 μg a.i.·蜂⁻¹,即在供试物达 100 μg a.i.·蜂⁻¹时未见蜜蜂死亡,则无需继续试验。
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 reach 100 μg a.i.·bee⁻¹, further test is not needed.

表 3 16 种制剂对蜜蜂的急性接触毒性和风险商值
Table 3 Acute contact toxicity and risk quotient of 16 formulations to *Apis mellifera*

序号 No.	制剂名称 Formulation name	48 h-LD ₅₀ /(μg a.i.·蜂 ⁻¹) (95% 置信区间) 48 h-LD ₅₀ /(μg a.i.·bee ⁻¹) (95% confidence interval)	毒性等级 Toxicity grade	风险商值 Risk quotient
1	30% 虫螨脍悬浮剂 30% chlorfenapyr SC	0.382 (0.313 ~ 0.471)	高毒 High toxicity	5.65
2	50% 丁醚脲可湿性粉剂 50% diafenthuiuron WP	2.11 (1.59 ~ 2.81)	中毒 Median toxicity	4.27
3	10% 高效氯氟氰菊酯水乳剂 10% <i>beta</i> -cypermethrin EW	0.412 (0.281 ~ 0.609)	高毒 High toxicity	3.64
4	10% 高效氯氟氰菊酯悬浮剂 10% <i>lambda</i> -cyhalothrin SC	0.530 (0.374 ~ 0.808)	高毒 High toxicity	1.13
5	21% 噻虫嗪悬浮剂 21% thiamethoxam SC	0.110 (0.075 ~ 0.167)	高毒 High toxicity	13.09
6	30% 噻虫胺悬浮剂 30% clothianidin SC	0.0106 (0.0072 ~ 0.0161)	高毒 High toxicity	283.02
7	15% 高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂 15% <i>lambda</i> -cyhalothrin·thiamethoxam SC	0.0299 (0.0213 ~ 0.0451)	高毒 High toxicity	24.08
8	10% 高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂 10% <i>lambda</i> -cyhalothrin·clothianidin SC	0.000234 (0.000178 ~ 0.000314)	剧毒 Extremely high toxicity	1 538.46
9	30% 草甘膦水剂 30% glyphosate AS	100	低毒 Low toxicity	0.45
10	30% 草铵膦水剂 30% glufosinate ammonium AS	100	低毒 Low toxicity	0.18
11	45% 莎稗磷乳油 45% anilofos EC	5.42 (3.95 ~ 7.57)	中毒 Medain toxicity	1.37
12	30% 氰氟草酯乳油 30% cyhalofop-butyl EC	100	低毒 Low toxicity	0.03
13	480 g·L ⁻¹ 灭草松可溶液剂 480 g·L ⁻¹ bentazone SL	101	低毒 Low toxicity	0.29
14	20% 氰霜唑悬浮剂 20% cyazofamid SC	100	低毒 Low toxicity	0.02
15	50% 氟啶胺悬浮剂 50% fluazinam SC	100	低毒 Low toxicity	0.05
16	50% 吡唑醚菌酯水分散粒剂 50% pyraclostrobin WG	100	低毒 Low toxicity	0.07

注:意大利蜜蜂急性接触毒性试验上限剂量为 100 μg a.i.·蜂⁻¹,即在供试物达 100 μg a.i.·蜂⁻¹时未见蜜蜂死亡,则无需继续试验。
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 reach 100 μg a.i.·bee⁻¹, further test is not needed.

0.0106 μg a.i.·蜂⁻¹);高效氯氟氰菊酯和噻虫嗪 2 种有效成分复配后,15% 高效氯氟氰菊酯·噻虫嗪悬浮剂的急性毒性和风险性明显升高(48 h-LD₅₀ 分别为 0.00882 μg a.i.·蜂⁻¹和 0.0299 μg a.i.·蜂⁻¹);高效氯氟氰菊酯和噻虫胺 2 种有效成分复配后,10% 高效氯氟氰菊酯·噻虫胺悬浮剂的接触急性毒性等级升高为剧毒(48 h-LD₅₀ 为 0.000234 μg a.i.·蜂⁻¹)。这可

能与 2 种有效成分不同的致毒机制叠加有关,不同的复配比例、助剂或剂型也可能影响到急性毒性结果。由此可见,复配制剂对环境生物的毒性风险存在差异^[23-24],其不同组分释放到环境中可能会对环境生物产生加和作用、协同作用和拮抗作用等不同的联合毒性效应,导致风险评估的不确定性大大增加^[25]。

对蜜蜂的环境风险评估可以明确对蜜蜂存在风

险的农药品种,据此实施相应的风险规避措施降低对蜜蜂的危害。美国环境保护局(US EPA)于2014年颁布了农药对蜜蜂的风险评价指南,在农药标签规范中强调禁止在蜜蜂活动区域使用新烟碱类农药,以保护蜜蜂及其他授粉昆虫。欧洲食品安全局(EFSA)于2013年发布了新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的风险评估报告,认为该类产品不仅对蜜蜂可产生急性毒害,而且可能对蜜蜂种群带来严重影响,同时限制噻虫嗪、吡虫啉和噻虫胺3种新烟碱类杀虫剂在夏季粮食类作物和蜜源作物上使用^[26]。针对本文中高风险杀虫剂,建议采取如下措施减少对蜜蜂的暴露量:错开作物花期施用甚至考虑晚间施用或施用前及时清除周围蜜源/粉源植物;根据实际需求减少田间施用剂量或减少施药次数;改用低毒化的农药剂型或风险较低的替代农药;保护或临时封闭蜂箱;仅限温室等封闭场所使用。

农药在真实条件下的环境归趋和影响各不相同,施药时间与作物花期之间的关系错综复杂,花粉花蜜中的实际残留量很难获得,因而使得评估结果相对保守,对环境生物的风险可能被高估。梁秀美等^[27]研究了茶园花期用药后蜂花粉中吡虫啉及其代谢物的残留量,并评估了对蜜蜂的初级风险,结果表明,吡虫啉在茶树上的使用对蜜蜂具有不可接受的急性接触风险。对蜜蜂高风险的农药品种还需要通过半田间或田间试验,观察农药对蜜蜂的慢性毒性效应、累积毒性效应以及种群生存和生长发育的毒性效应,进行高级风险评估。有些农药母体可能是低毒低风险,但其在环境中的降解产物可能与母体性质迥异,这些降解产物在未来的风险评估中也需要加以关注。本研究一方面为农药的合理使用和管理提供了参考,另一方面提示我们只有通过深入全面的风险评估程序,合理规范的农药使用,才能减少农药对蜜蜂的危害。

通讯作者简介:王会利(1976—),女,博士,副研究员,主要研究方向为农药生态毒理与残留分析。

参考文献(References):

- [1] 于彩虹,李春燕,林荣华,等. 农药对陆生生物的生态毒性及风险评估[J]. 生态毒理学报, 2015, 10(6): 21-28
Yu C H, Li C Y, Lin R H, et al. Eco-toxicity and risk assessment of pesticide on terrestrial organisms [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2015, 10(6): 21-28 (in Chinese)
- [2] 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
- [3] 卜元卿,孔源,智勇,等. 化学农药对环境的污染及其防控对策建议[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(2): 19-25
Bu Y Q, Kong Y, Zhi Y, et al. Pollution of chemical pesticides on environment and suggestion for prevention and control countermeasures [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014, 16(2): 19-25 (in Chinese)
- [4] 李志勇,王志,牛庆生,等. 农药与蜜蜂生态安全[J]. 中国蜂业, 2014, 65(2): 26-27
- [5] Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? [J]. Oikos, 2011, 120(3): 321-326
- [6] 罗其花,彭文君,安建东,等. 蜂群衰竭失调病(CCD)致病因子分析及我国的应对措施[J]. 昆虫知识, 2008, 45(6): 991-995
Luo Q H, Peng W J, An J D, et al. The potential causes of Colony Collapse Disorder (CCD) and its countermeasures in China [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2008, 45(6): 991-995 (in Chinese)
- [7] VanEngelsdorp D, Meixner M D. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2010, 103: S80-S95
- [8] 单蕾. 欧盟委员会颁布新烟碱类杀虫剂限令[J]. 农药科学与管理, 2013, 34(10): 9
- [9] 袁锐,李丽莉,李超,等. 六种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的毒性及风险评估[J]. 昆虫学报, 2018, 61(8): 950-956
Yuan R, Li L L, Li C, et al. Toxicity and hazard assessment of six neonicotinoid insecticides on *Osmia excavata* (Hymenoptera: Megachilidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2018, 61(8): 950-956 (in Chinese)
- [10] Claudianos C, Ranson H, Johnson R M, et al. A deficit of detoxification enzymes: Pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee [J]. Insect Molecular Biology, 2006, 15(5): 615-636
- [11] 李少南. 农药生态毒理学概念及方法学探讨[J]. 农药学报, 2014, 16(4): 375-386
Li S N. Pesticide ecotoxicology: Concepts and methodology [J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2014, 16(4): 375-386 (in Chinese)
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 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: GB/T 31270.10—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015
- [13] 中华人民共和国农业部. 农药登记 环境风险评估指南

- 第4部分:蜜蜂: NY/T 2882.4—2016[S]. 北京: 中国农业出版社, 2016
- [14] Maiefisch P, Huerlimann H, Rindlisbacher A, et al. The discovery of thiamethoxam: A second-generation neonicotinoid [J]. *Pest Management Science*, 2001, 57(2): 165-176
- [15] Torres J B, Ruberson J R. Toxicity of thiamethoxam and imidacloprid to *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) nymphs associated to aphid and whitefly control in cotton [J]. *Neotropical Entomology*, 2004, 33(1) DOI:10.1590/s1519-566x2004000100017
- [16] 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)
- [17] 谭丽超, 程燕, 朱昱璇, 等. 新烟碱类杀虫剂呋虫胺对意大利蜜蜂的安全性评价[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(4): 227-233
- Tan L C, Cheng Y, Zhu Y X, et al. Safety evaluation of nicotinic insecticide dinotefuran on honeybee (*Apis mellifera* L.) [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(4): 227-233 (in Chinese)
- [18] 苍涛, 王彦华, 吴长兴, 等. 新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的急性毒性及风险评估[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(4): 285-292
- Cang T, Wang Y H, Wu C X, et al. Acute toxicity and risk assessment of neonicotinoid insecticides to honeybees (*Apis mellifera* L.) [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(4): 285-292 (in Chinese)
- [19] 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
- 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)
- [20] 瞿唯钢, 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, mefenoxam and their compounds to *Apis mellifera* L. [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2016, 11(4): 287-290 (in Chinese)
- [21] 何杏, 王玉洁, 刘俊峰, 等. 4种农药对海南中蜂的急性毒性及风险评估[J]. *农药*, 2015, 54(12): 911-914,917
- He X, Wang Y J, Liu J F, et al. Acute toxicity and risk assessment of four pesticides on *Apis cerana hainana* [J]. *Agrochemicals*, 2015, 54(12): 911-914,917 (in Chinese)
- [22] 程沈航, 薛明明, 隋婧怡, 等. 7种农药对管氏肿腿蜂的毒性及初级风险评估[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(4): 270-278
- Cheng S H, Xue M M, Sui J Y, et al. Toxicity and risk assessment of seven pesticides to parasitic wasp (*Scleroderma guani*) [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(4): 270-278 (in Chinese)
- [23] 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 Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(12): 295-300 (in Chinese)
- [24] 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 F, et al. The acute toxicity and risk assessment of four multi-combination nicosulfuron to *Apis mellifera* and *Trichogramma ostrinae* [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2018, 13(6): 298-306 (in Chinese)
- [25] 陈朗, 姜辉, 贾俊超, 等. 农药混配制剂环境风险评估现状与展望[J]. *生态毒理学报*, 2017, 12(4): 15-24
- Chen L, Jiang H, Jia J C, et al. Environmental risk assessment for mixed pesticide products: Current situation and prospects [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12(4): 15-24 (in Chinese)
- [26] 廖建华, 程燕, 卜元卿, 等. 中国主要蜜源作物上登记的农药品种及其中杀虫剂对蜜蜂的初级风险评估[J]. *农药学学报*, 2018, 20(1): 100-109
- Liao J H, Cheng Y, Bu Y Q, et al. Review of the pesticides registered on major nectar crops in China and the primary risk assessment of the insecticides to honey bees [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2018, 20(1): 100-109 (in Chinese)
- [27] 梁秀美, 王祥云, 汪志威, 等. 茶园花期用药后蜂花粉中吡虫啉及其代谢物残留的蜜蜂风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2018, 37(6): 1102-1107
- Liang X M, Wang X Y, Wang Z W, et al. Residues of imidacloprid and its metabolites in pollen, and exposure assessment for honey bees after spray application during the flowering period of tea [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37(6): 1102-1107 (in Chinese) ◆