



韩文素, 袁忠华, 高景林, 赵冬香, 王释婕, 赵珊, 钟义海. 常用杀虫剂噻虫嗪及其4种混配制剂对中华蜜蜂的生存风险分析 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 746–752.

## 常用杀虫剂噻虫嗪及其4种混配制剂对中华蜜蜂的生存风险分析

韩文素<sup>1,3</sup>, 袁忠华<sup>2</sup>, 高景林<sup>1,3</sup>, 赵冬香<sup>1,3\*</sup>, 王释婕<sup>1,3</sup>, 赵珊<sup>1,3</sup>, 钟义海<sup>1,3</sup>

(1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海口 571101; 2. 海南大学植物保护学院, 海口 570228;

3. 中国热带农业科学院蜂业技术研究中心, 海口 571101)

**摘要:** 噻虫嗪及其混配制剂是防治刺吸式口器害虫的常用药剂, 但对中华蜜蜂的生存风险尚未明确。在实验室条件下通过模拟中华蜜蜂授粉期间农药暴露的3种方式(蜂体接触、取食接触、植株接触), 评估了噻虫嗪及其4种混配制剂, 在田间最高推荐剂量下对中华蜜蜂采集蜂的毒性。结果表明, 无论哪种暴露方式, 噻虫嗪及其混配制剂均显著影响中华蜜蜂采集蜂的生存, 且噻虫嗪混配制剂毒性高于单剂。在直接喷洒蜂体处理中, 25%噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂表现出最高毒性, 其致死中时间(LT<sub>50</sub>值)为1.23 h; 在摄入和接触植株残留处理中, 40%氯虫·噻虫嗪水分散粒剂和25%噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂均表现出最高毒性, LT<sub>50</sub>值分别为2.09、6.75 h和2.15、6.77 h。在3种暴露方式下, 25%噻虫嗪水分散粒剂的LT<sub>50</sub>值分别为6.50、17.24和8.90 h, 明显低于对照。因此建议蜜蜂授粉期间禁止施用噻虫嗪及其混配制剂, 为更好地推进蜜蜂授粉与绿色防控技术的研究与示范提供安全保障。

**关键词:** 噻虫嗪; 混配制剂; 中华蜜蜂; 死亡率; 生存风险

中图分类号: Q965.9; S89

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858(2020)03-0746-07

### Survival risk analysis of Chinese honeybee worker (*Apis cerana cerana*) exposed to thiamethoxam and its mixtures

HAN Wen-Su<sup>1,3</sup>, YUAN Zhong-Hua<sup>2</sup>, GAO Jing-Lin<sup>1,3</sup>, ZHAO Dong-Xiang<sup>1,3\*</sup>, WANG Shi-Jie<sup>1,3</sup>, ZHAO Shan<sup>1,3</sup>, ZHONG Yi-Hai<sup>1,3</sup> (1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China; 2. Environment and Plant Protection College, Hainan University, Haikou 570228, China; 3. Bee Industry Technology Research Center, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China)

**Abstract:** Thiamethoxam and its mixtures have been common used primarily to control piercing-sucking pest, but the survival risk of *Apis cerana cerana* exposed to thiamethoxam and its mixtures remained poorly understood. This study aimed at evaluating the toxicity of thiamethoxam and its mixtures at the highest dosages recommended by the manufactures on forager bees of *A. cerana cerana* under laboratory conditions. Three ways of exposure were used: direct spraying, feeding with insecticide contaminated diet, and contact with sprayed melon plants. Results indicated that, regardless of how the forager bees were exposed to insecticides, thiamethoxam and its mixtures had significant influence on the survival of the

基金项目: 国家蜂产业技术体系建设专项(CARS-44-SYZ13, CARS-44-KXJ10); 中国热带农业科学院基本科研业务费专项资金(1630042019023); 海南省科协青创项目(QCXM201712)

作者简介: 韩文素, 女, 1978年生, 博士, 副研究员, 主要研究方向为昆虫毒理学, E-mail: hwsill8@126.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 赵冬香, 博士, 研究员, 主要研究方向为害虫综合治理, E-mail: dongxiangzh@163.com

收稿日期 Received: 2019-04-27; 接受日期 Accepted: 2019-06-20

forager bees, and the toxicity of thiamethoxam mixtures were higher than that of single. Among the direct spraying tests, 25% thiamethoxam • isoprocarb wettable powders had the highest toxicity with the  $LT_{50}$  of 1.23 h. Among feeding with insecticide contaminated diet and contact with sprayed plants tests, both 40% chlorantraniliprole • thiamethoxam water dispersible granule and 25% thiamethoxam • isoprocarb wettable powders showed the highest toxicity, the  $LT_{50}$  were 2.09, 6.75 h and 2.15, 6.77 h, respectively. Under the three ways of exposure, the  $LT_{50}$  of 25% thiamethoxam water dispersible granule was 6.50, 17.24 and 8.90 h respectively, which was significantly lower than that of the control. Hence, the thiamethoxam or its mixtures spraying on crops during bees pollination period should be prohibited. It will be better to provide security protection for promoting research and demonstration of bees pollination and green control techniques.

**Key words:** Thiamethoxam; mixtures; *Apis cerana cerana*; mortality; survival risk

设施甜瓜是海南等地的支柱产业,为农民带来了可观的经济收入。但由于设施棚室内高温、密闭的小气候环境,授粉媒介昆虫较少,严重影响了甜瓜的坐果。农户常常使用激素类药物辅助授粉,不仅费时费力,还存在激素污染等安全隐患。采用蜜蜂授粉提质增效,受到了广大农户的欢迎。但由于海南气候湿润,虫害发生严重。蚜虫、蓟马、粉虱、螨、瓜绢螟、根结线虫等严重危害甜瓜的生长(杨小锋等,2007)。据调查,生产上对这些害虫的防治主要依靠化学防治,其中新烟碱类杀虫剂及其混配制剂是当前普遍使用的药剂。然而,这类杀虫剂在防治害虫的同时,也会对授粉蜜蜂的生存和健康造成一定的影响。新烟碱类杀虫剂属于烟碱型乙酰胆碱受体(Nicotinic acetylcholine receptor, nAChRs)抑制剂,具有内吸性,经植物的韧皮部和木质部运输,可到达植物的花粉、花蜜以及吐水液中(Jeschke *et al.*, 2011),从而对采集蜂以及取食采集蜂采集的花粉、花蜜的幼蜂存在潜在的威胁。

噻虫嗪属于第二代新烟碱类农药,较第一代新烟碱类农药更广谱、高效、低毒,其与昆虫乙酰胆碱受体结合力差,但在昆虫体内可转化为噻虫胺,因此被作为高效杀虫剂推广(Maienfish *et al.*, 2001)。但大量研究表明噻虫嗪对意大利蜜蜂 *Apis mellifera ligustica* 高毒(苍涛等,2017),甚至剧毒(裴晖等,2013)。亚致死剂量噻虫嗪能削弱意大利蜜蜂的归巢能力,从而降低其觅食成功率和存活率(Henry *et al.*, 2012)。欧盟要求2018年4月27日后禁止户外施用吡虫啉、噻虫胺、噻虫嗪(<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2018:132:TOC>)。但我国还没有出台类似法律法规。当前我国农药

登记品种中混配制剂占比约34%,相比单剂产品,农药混配制剂的环境风险评估更为复杂(陈朗等,2017)。

目前关于杀虫剂对蜜蜂毒性的风险评价主要基于室内蜜蜂摄入含药剂的糖浆以及点滴药剂到蜜蜂背板上的生物测定,鲜有模拟蜜蜂在田间暴露方式下的毒性测定与评价。且大多数的急性毒性测定都集中在意大利蜜蜂,而中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 相对研究较少。中华蜜蜂是我国特有的蜜蜂种质资源,具有抗寒耐热和善于采集零星蜜源的特性(Chen *et al.*, 2017),是我国设施农业中的优良授粉蜂种,在植物授粉、养蜂生产及保护物种多样性方面起着重要的作用。蜜蜂授粉是提高农产品产量和品质,促进农业可持续发展和农民增收的一项有效措施(祁海萍等,2018),但蜜蜂授粉如何与农药协调发展是当前急需解决的任务。因此,为明确噻虫嗪及其混配制剂对中华蜜蜂的毒性效应,本文在实验室条件下模拟中华蜜蜂暴露农药的3种方式(蜂体接触、取食接触、植株接触),研究噻虫嗪及其混配制剂对采集蜂存活率的影响,评估这些农药对中华蜜蜂的风险性,旨在为我国设施作物蜜蜂授粉实践中保障蜜蜂的安全有效提供重要的技术指导,为减肥减药提供科学参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试蜜蜂: 试验所用中华蜜蜂采集蜂,来源于中国热带农业科学院蜂业技术研究中心试验蜂场(N19°32', E109°32')。供试蜜蜂在试验当天清晨收集,要求为健康良好、龄期相同、饲喂状

况一致的个体。

供试药剂: 噻虫嗪及其混配制剂, 每种药剂

均用蒸馏水稀释为田间最大推荐剂量后进行喷洒

(表 1)。

表 1 试验所用杀虫剂及其喷洒浓度

Table 1 The test insecticides and the spraying concentrations

杀虫剂 Insecticides	生产厂家 Manufacturer	主要防治对象 Target pest	田间最大推荐剂量 (g a. i. /ha) Maximum recommended doses	试验浓度 (mg a. i. /L) Test concentration
25% 噻虫嗪水分散粒剂 25% Thiamethoxam WG	海利尔药业集团有限公司 Hailir Pesticides and Chemicals Group Co., Ltd	蓟马、粉虱 Thrips, Whitefly	15	20
30% 噻虫(20%)·高氯氟(10%)悬乳剂 30% Thiamethoxam (20%)· Lambda-cyhalothrin(10%) SC	深圳诺普信农化股份有限公司 Shenzhen Nuopuxin Agrochemicals Co., Ltd	蓟马、红蜘蛛 Thrips, Red spider mite	13.5	12 + 6
40% 氯虫(20%)·噻虫嗪(20%)水分散粒剂 40% Chlorantraniliprole (20%)·Thiamethoxam (20%) WG	先正达南通作物保护有限公司 Syngenta Nantong Crop Protection Co., Ltd	蓟马瓜、绢螟 Thrips, Indian cabbage moth	60	40 + 40
25% 噻虫(12.5%)·吡蚜酮(12.5%)可湿性粉剂 25% Thiamethoxam (12.5%)·Pymetrozine (12.5%) WP	上海升联化工股份有限公司 Shanghai Shenlian Chemical industry Co., Ltd	蚜虫 Aphids	22.5	15 + 15
25% 噻虫(3%)·异丙威(22%)可湿性粉剂 25% Thiamethoxam (3%)· Isoprocarb (22%) WP	京博农化科技有限公司 Jingbo Agricultural Technology Co., Ltd	稻飞虱、根结线虫 Rice planthopper, Root-knot nematodes	225	36 + 264

供试试剂及材料: 75% 乙醇 (化学纯, 广州化学试剂厂); 蔗糖 (海南椰威糖业有限公司); 甜瓜种子 (河北麒麟种苗有限公司); 育苗盘、基质土、花盆、压力喷壶 (1 L) (儋州物质有限公司); 蜂蜜 (中国热带农业科学院蜂业技术研究中心)。

所需仪器设备: TLE204E 电子天平 (梅特勒-托利多仪器有限公司); 试验蜂笼 (13 cm × 6 cm × 10 cm 的长方体钢盒, 正面为玻璃板, 顶部有饲喂口, 底部有通风口); BJ-800A 多功能粉碎机 (上海拜杰实业有限公司); 自制人工气候室 (面积 3.8 m<sup>2</sup>)。自制饲喂器 (15 mL 离心管盖子, 面积为 2.27 cm<sup>2</sup>)。

试验条件: 直接喷洒蜂体与药膜饲喂试验在温度 (27 ± 1℃), 相对湿度 50% ~ 70%, 黑暗条件下进行; 喷洒植物接触试验在温度 (27 ± 1℃), 相对湿度 50% ~ 70%, 光照和黑暗各 12 h 交替条件下进行。

## 1.2 试验方法

参照 Costa *et al.* (2014) 方法, 略有改进。

### 1.2.1 蜂体接触法

将工蜂 4℃ 低温麻醉 3 min 后模拟田间喷药的方式, 用手动喷雾器以 0.63 mL/s 的速度和平均 0.0063 mL/cm<sup>2</sup> 的喷洒率, 喷洒各种药剂。每药剂处理 10 组, 每组 10 头蜜蜂 (放入一试验蜂笼)。空白对照为等量的蒸馏水处理。在试验蜂笼底部

放入饲喂器, 随机饲喂 50% (w/w) 的蔗糖溶液。

### 1.2.2 药膜饲喂法

将 20 mL 蜂蜜和 50 g 蔗糖 (用粉碎机将蔗糖粉碎为粉末) 搅拌均匀混合成糊状食物, 再把这些食物填充在饲喂器中。模拟田间喷药的方式将药剂 (浓度同 1.2.1) 喷洒在食物表面。喷药时先将 10 个饲喂器放在一起, 然后按一下喷雾器, 待液滴在食物表面形成药膜, 放入 10 个试验蜂笼底部, 每蜂笼放入 10 头蜜蜂 (每药剂 10 个处理, 每处理 1 个饲喂器, 10 头蜜蜂)。空白对照喷洒蒸馏水。同时每蜂笼放入足量蒸馏水以补充水分。一旦饲喂器中食物消耗完, 换新的饲喂器并加入无污染的 50% 蔗糖溶液随机饲喂。

### 1.2.3 植株接触法

待育苗盘中甜瓜苗长到 4 真叶时移入花盆, 直到植株长势良好 (蜜蜂可停留叶片上)。模拟田间喷药的方式, 用手动喷雾器以 0.63 mL/s 的速度和平均 0.0063 mL/cm<sup>2</sup> 的喷洒率喷洒植物, 以便使液滴均匀的附着在瓜叶表面。然后将植株转移到通风阴凉的环境下 1 d 致使药液干燥。试验前每盆套上塑料罩子 (直径 8 cm, 高 30 cm 的圆柱体, 顶部为纱布)。每药剂 10 个处理, 每处理 10 盆, 每盆 10 头蜜蜂, 每盆底部放入饲喂器含 50% (w/w) 的蔗糖溶液进行随机饲喂。空白对照喷洒蒸馏水。

### 1.2.4 蜜蜂中毒症状及死亡数观察

蜜蜂暴露药剂 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 60 和 72 h 记录蜜蜂的死亡数和蜜蜂的中毒症状。用毛笔轻触中毒蜜蜂, 蜜蜂不能运动即视为死亡。

### 1.3 数据处理

用 SPSS 19.0 统计软件概率回归分析计算不同实验组每种药剂处理后中华蜜蜂的致死中时  $LT_{50}$ , 用 GraphPad Prism5 软件 Survival 中的 Kaplan-Meier 生存分析确定不同实验组每种药剂处理后中华蜜蜂的存活情况, 绘制生存曲线, 并采用 Log-rank (Mantel-Cox) Test 比较处理组间生存曲线是否有显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 噻虫嗪及其混配制剂对中华蜜蜂的毒性症状

3 种暴露方式下中华蜜蜂中毒的症状类似。处

理组中毒蜜蜂起初表现为急躁乱飞, 后续掉落在实验蜂笼底部, 身体失去平衡。大部分身体翻转, 颤抖, 足部抽搐, 随后麻痹而死亡。对照组蜜蜂多数群聚安静的趴在蜂笼壁上。

### 2.2 噻虫嗪及其混配制剂直接喷洒蜂体后对中华蜜蜂存活的影响

噻虫嗪及其混配制剂直接喷洒蜂体后, 根据各个处理组及空白对照各个时间点中华蜜蜂的死亡数量绘制了中华蜜蜂的生存曲线 (图 1)。生存分析结果表明, 各处理组中华蜜蜂的生存曲线与对照间存在显著差异 (Log-rank (Mantel-Cox) Test:  $\chi^2 = 197.8$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ ), 噻虫嗪混配制剂直接喷洒中华蜜蜂后致使中华蜜蜂 72 h 内全部死亡, 其中 25% 噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂对中华蜜蜂的毒性最强, 药后 1 h 中华蜜蜂数量降低了 50%, 42 h 时全部死亡; 25% 噻虫嗪水分散剂相对毒性较低, 但药后 72 h 中华蜜蜂的存活率仅为 8%。25% 噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂、25% 噻虫·吡蚜酮可湿性粉剂、40% 氯虫·噻虫嗪水分散剂、30% 噻虫·高氯氟悬乳剂、25% 噻虫嗪水分散剂的致死中时  $LT_{50}$  分别为 1.23 h、2.97 h、3.53 h、4.80 h、6.50 h, 远远低于对照

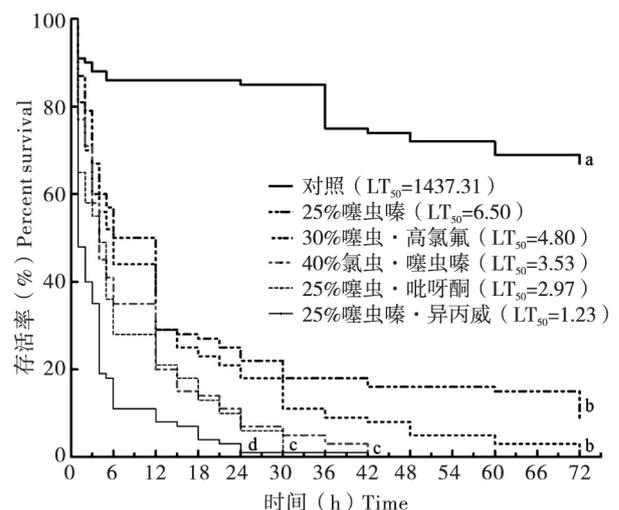


图 1 直接喷洒蜂体噻虫嗪及其混配制剂后中华蜜蜂的生存曲线和致死中时

Fig. 1 Survivorship of *Apis cerana cerana*, after exposure to direct spraying with thiamethoxam and its mixture, and lethal times in hours

Note: Kaplan-Meier with the statistical test Log-rank. Log-rank (Mantel-Cox) Test:  $\chi^2 = 197.8$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ . Different letters behind the curves indicate significant differences between treatments.

的  $LT_{50}$  值 1 437.31 h。由此可见, 中华蜜蜂在采集花粉花蜜时若遭遇喷洒噻虫嗪及其混配制剂类杀虫剂, 对蜜蜂的生存危害性极大, 且混配制剂毒性高于单剂。

### 2.3 噻虫嗪及其混配制剂药膜饲喂对中华蜜蜂存活的影响

噻虫嗪及其混配制剂喷洒食物形成药膜后饲喂中华蜜蜂, 根据各个处理组及空白对照各个时间点中华蜜蜂的死亡数量绘制了中华蜜蜂的生存曲线 (图 2)。生存分析结果显示: 药剂处理组中华蜜蜂的存活率极显著低于对照组 (Log-rank (Mantel-Cox) Test:  $\chi^2 = 302.9$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ )。25% 噻虫·异丙威可湿性粉剂对中华蜜蜂的毒性最强, 2 h 左右致使中华蜜蜂死亡 50%, 24 h 时全部死亡; 25% 噻虫嗪水分散粒剂对中华蜜蜂毒性最低, 但药后 72 h 中华蜜蜂的存活率仅为 10%。25% 噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂、25% 噻虫·吡蚜酮可湿性粉剂、40% 氯虫·噻虫嗪水分散粒剂、30% 噻虫·高氯氟悬乳剂、25% 噻虫嗪水分散粒剂的  $LT_{50}$  分别为 2.15 h、7.83 h、2.09 h、9.19 h、17.24 h, 远远低于对照的  $LT_{50}$  值 169.60 h。由此可见, 田间推荐剂量的噻虫嗪及其混配制剂喷洒于蜜源植物的花粉或花蜜上, 对觅食的中华蜜蜂危害性极大, 且混配制剂毒性高于单剂。

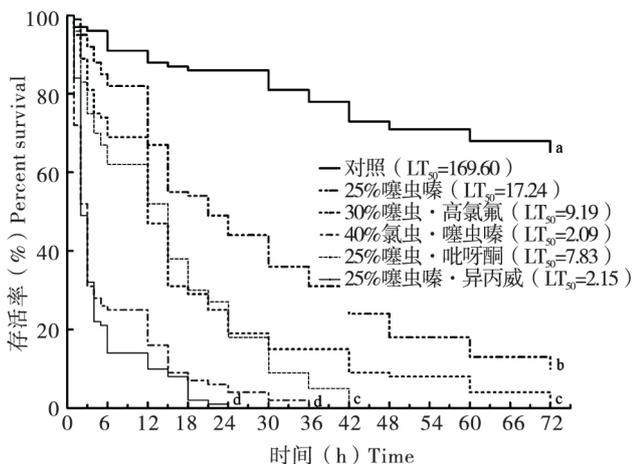


图 2 中华蜜蜂取食含噻虫嗪及其混配制剂后的生存曲线和致死中时

Fig. 2 Survivorship of *Apis cerana cerana*, after ingestion of thiamethoxam and its mixture contaminated diet and lethal times in hours

Note: Kaplan-Meier with the statistical test Log-rank. Log-rank (Mantel-Cox) Test:  $\chi^2 = 302.9$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ . Different letters behind the curves indicate significant differences between treatments.

### 2.4 噻虫嗪及其混配制剂喷洒植株后药剂残留对中华蜜蜂存活的影响

噻虫嗪及其混配制剂喷洒甜瓜植株 1 d 后, 将中华蜜蜂暴露于此环境下。根据各个处理组及空白对照各个时间点中华蜜蜂的死亡数量绘制了中华蜜蜂的存活曲线 (图 3)。生存分析结果可知, 药剂处理组中华蜜蜂的存活率极显著低于对照组 (Log-rank (Mantel-Cox) Test:  $\chi^2 = 172.5$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ )。25% 噻虫·异丙威可湿性粉剂对中华蜜蜂的毒性最强, 12 h 时中华蜜蜂的存活率仅为 37%, 36 h 时全部死亡; 25% 噻虫嗪水分散粒剂对中华蜜蜂的毒性最低, 但 72 h 后存活率仅为 4%。25% 噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂、25% 噻虫·吡蚜酮可湿性粉剂、40% 氯虫·噻虫嗪水分散粒剂、30% 噻虫·高氯氟悬乳剂、25% 噻虫嗪水分散粒剂的  $LT_{50}$  分别为 6.77、8.34、6.75、7.52、8.90 h, 远远低于对照的  $LT_{50}$  值 119.88 h。由此可见, 药剂植株暴露噻虫嗪混配制剂毒性高于单剂。

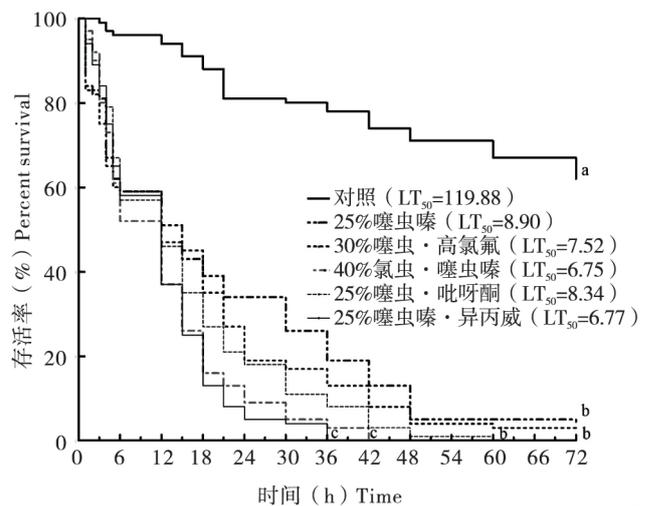


图 3 中华蜜蜂接触甜瓜植株残留噻虫嗪及其混配制剂后的生存曲线和致死中时

Fig. 3 Survivorship of *Apis cerana cerana*, after contact with melon plants contaminated with thiamethoxam and its mixture residues and lethal times in hours

Note: Kaplan-Meier with the statistical test Log-rank. Log-rank (Mantel-Cox) Test:  $\chi^2 = 172.5$ ,  $df = 5$ ,  $P < 0.0001$ .

Different letters behind the curves indicate significant differences between treatments.

### 3 结论与讨论

本研究是模拟农药在田间实际使用时 3 种暴露方式下对蜜蜂存活的影响而设计的室内试验, 室内评估可为田间评估农药对蜜蜂的影响提供重要的参考依据。试验中观察到, 在田间最高推荐剂量下, 噻虫嗪及其混配制剂对中华蜜蜂的存活存在高风险性。

噻虫嗪是硝基胍类新烟碱类杀虫剂的典型代表, 已有研究表明, 噻虫嗪对意大利蜜蜂高毒, 纳克级甚至更低水平即会对意大利蜜蜂产生影响 (Iwasa *et al.*, 2004; Laurino *et al.*, 2011; Pisa *et al.*, 2014; Christen *et al.*, 2016)。本研究结果表明, 25% 噻虫嗪水分散粒剂通过 3 种暴露方式 (蜂体、取食、植株) 对中华蜜蜂采集蜂的致死中时分别为 6.50、17.24、8.90 h, 显著影响了中华蜜蜂的存活, 说明田间推荐剂量的噻虫嗪对中华蜜蜂高毒, 此研究结果与 Costa *et al.* (2014) 报道一致。Costa 采用同样的方法研究了噻虫嗪对意大利蜜蜂的毒性, 意大利蜜蜂的致死中时分别为 1.00、1.51、2.61 h。噻虫嗪对中华蜜蜂和意大利蜜蜂的致死中时有些差异, 可能原因为蜂种不同、蜜蜂的生理状态不同、使用的药剂剂型不同, 蜂体、蜜糖及植株着药量不同。除急性毒性外, 环境中噻虫嗪的亚致死剂量也会对蜜蜂产生一定的影响, 如岳孟等 (2017) 研究证实亚致死剂量噻虫嗪对意大利蜜蜂工蜂生存造成一定的影响。噻虫嗪具有极强的内吸性, 在很多作物的花蜜、花粉和吐水液滴中均检测到不同程度的残留 (Tapparo *et al.*, 2011; Stoner & Eitzer, 2012; Sánchez-Hernández *et al.*, 2016; Tong *et al.*, 2016)。亚致死剂量噻虫嗪能够引起意大利蜜蜂大脑蘑菇体、视叶和中肠消化、再生细胞的损伤 (Oliveira *et al.*, 2014), 影响运动和飞行能力 (Charreton *et al.*, 2015), 学习记忆能力和嗅觉功能 (Alkassab & Kirchner, 2016; Démares *et al.*, 2016), 从而缩短其寿命。

农药混配制剂在现代农业病虫害防治和新型农药的研制和使用中占有重要地位, 杀虫剂的合理混配可以延缓害虫抗药性, 提高药效、降低成本 (唐振华, 1993)。由于近年来新烟碱类杀虫剂的大量使用, 已导致很多害虫产生了抗药性。为了尽可能阻止和延缓害虫抗药性的发展, 延长

新烟碱类杀虫剂的使用寿命, 国内外学者研制出很多新烟碱类杀虫剂的混配制剂。可以说混配制剂是一把双刃剑, 在有效防治害虫的同时, 加强了对非靶标害虫的危害。本研究结果表明, 田间推荐剂量的噻虫嗪混配制剂对中华蜜蜂采集蜂的毒性高于噻虫嗪单剂。3 种暴露方式下, 药后 72 h, 中华蜜蜂的存活率均为 0。25% 噻虫嗪·异丙威可湿性粉剂毒性最高, 其次为 40% 氯虫·噻虫嗪水分散粒剂, 30% 噻虫·高氯氟悬乳剂, 25% 噻虫·吡蚜酮可湿性粉剂。异丙威属于取代苯类氨基甲酸酯类杀虫剂, 具有较强的触杀作用, 亦有一定的渗透和传导作用, 因此喷洒蜂体, 致使蜜蜂死亡的更快。氯虫苯甲酰胺属于邻甲酰胺基苯甲酰胺类杀虫剂, 激活昆虫鱼尼丁受体, 影响细胞内钙离子平衡, 引起昆虫的肌肉瘫痪、麻痹而逐渐死亡 (Han *et al.*, 2012)。研究表明, 氯虫苯甲酰胺对意大利蜜蜂低毒 (游泳, 2017)。高效氯氟氰菊酯属于拟除虫菊酯类杀虫剂, 对中华蜜蜂高毒 (赵怡楠等, 2014)。吡蚜酮的作用机制主要是对刺吸式害虫口针产生阻塞效应, 导致其停止取食后致死, 并且此过程不可逆 (Fuog *et al.*, 1998)。吡蚜酮单剂对意大利蜜蜂的接触毒性为中毒 (吴若函等, 2016)。由本实验结果可以看出, 噻虫嗪与不同作用方式的杀虫剂混配增强了对中华蜜蜂的毒性, 应加强混配制剂的风险评估。

综上所述, 本研究通过药剂的 3 种暴露方式对中华蜜蜂采集蜂进行毒性试验, 阐明了噻虫嗪及其混配制剂对中华蜜蜂的存活存在高风险性。因此噻虫嗪及其混配制剂的施用应远离蜜源植物和放蜂区, 以免造成采集蜂及取食带药的蜂群中毒死亡。在设施温室内, 蜜蜂授粉期间禁止噻虫嗪及其混配制剂的喷洒, 应加强蜜蜂授粉与绿色防控技术的研究与示范, 为减肥减药以及蜜蜂授粉提质增效提供科学依据。

#### 参考文献 (References)

- Alkassab AT, Kirchner WH. Impacts of chronic sublethal exposure to clothianidin on winter honeybees [J]. *Ecotoxicology*, 2016, 25: 1000 - 1010.
- Cang T, Wang YH, Wu CX, *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. [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]

- Charreton M, Decourtye A, Henry M, *et al.* A locomotor deficit induced by sublethal doses of pyrethroid and neonicotinoid insecticides in the honeybee *Apis mellifera* [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10 (12): e0144879.
- Chen C, Liu Z, Luo Y, *et al.* Managed honeybee colony losses of the Eastern honeybee (*Apis cerana*) in China (2011–2014) [J]. *Apidologie*, 2017, 48: 692–702.
- Chen L, Jiang H, Jia JC, *et al.* Environmental risk assessment for mixed pesticide products: Current situation and prospects [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2017, 12 (4): 15–24. [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]
- Christen V, Mittner F, Fent K. Molecular effects of neonicotinoids in honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 50: 4071–4081.
- Costa EM, Araujo EL, Maia AVP, *et al.* Toxicity of insecticides used in the Brazilian melon crop to the honey bee *Apis mellifera* under laboratory conditions [J]. *Apidologie*, 2014, 45: 34–44.
- Démare FJ, Crous KL, Pirk CWW, *et al.* Sucrose sensitivity of honey bees is differently affected by dietary protein and a neonicotinoid pesticide [J]. *PLoS ONE*, 2016, 11 (6): e0156584.
- Fuog D, Fergusson SJ, Flückiger C. Pymetrozine: A Novel Insecticide Affecting Aphids and Whiteflies [M]. *Insecticides with Novel Modes of Action*, 1998: 40–49.
- Han W, Zhang S, Shen F, *et al.* Residual toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *Pest Management Science*, 2012, 68: 1184–1190.
- Henry M, Béguin M, Requier F, *et al.* A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees [J]. *Science*, 2012, 336: 348–350.
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT, *et al.* Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera* [J]. *Crop Protection*, 2004, 23: 371–378.
- Jeschke P, Nauen R, Schindler M, *et al.* Overview of the status and global strategy for neonicotinoids [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59: 2897–2908.
- Laurino D, Porporato M, Patetta A, *et al.* Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bee: Laboratory tests [J]. *Bulletin of Insectology*, 2011, 64: 107–113.
- Maienfisch P, Angst M, Brandl F, *et al.* Chemistry and biology of thiamethoxam: A second generation neonicotinoid [J]. *Pest Management Science*, 2001, 57: 906–913.
- Oliveira RA, Roat TC, Carvalho SM, *et al.* Side-effects of thiamethoxam on the brain and midgut of the africanized honeybee *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) [J]. *Environmental Toxicology*, 2014, 29: 1122–1133.
- Pei H, Ou XM, Yu WL, *et al.* The acute toxicity of four insecticide to honeybee *Apis mellifera* [J]. *World Pesticides*, 2013, 35 (4): 50–54. [裴晖, 欧晓明, 于伟丽, 等. 4种杀虫剂对意大利蜜蜂的急性毒性评价 [J]. *世界农药*, 2013, 35 (4): 50–54]
- Pisa LW, Amaral – Rogers V, Belzunces LP, *et al.* Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 22: 68–102.
- Qi HP, Guo Y, Shao YQ, *et al.* Application of honeybee pollination in modern agriculture [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46 (12): 2115–2117. [祁海萍, 郭媛, 邵有全, 等. 蜜蜂授粉在现代农业中的应用 [J]. *山西农业科学*, 2018, 46 (12): 2115–2117]
- Sánchez – Hernández L, Hernández – Domínguez D, Martín MT, *et al.* Residues of neonicotinoids and their metabolites in honey and pollen from sunflower and maize seed dressing crops [J]. *Journal of Chromatography A*, 2016, 1428: 220–227.
- Stoner KA, Eitzer BD. Movement of soil-applied imidacloprid and thiamethoxam into nectar and pollen of squash (*Cucurbita pepo*) [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7: e39114.
- Tapparo A, Giorio C, Marzaro M, *et al.* Rapid analysis of neonicotinoid insecticides in guttation drops of corn seedlings obtained from coated seeds [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2011, 13: 1564.
- Tang ZH. *Insect Resistance and Its Management* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1993: 422–420. [唐振华. *昆虫抗性及其治理* [M]. 北京: 农业出版社, 1993: 422–440]
- Tong Z, Wu YY, Liu QQ, *et al.* Multi-residue analysis of pesticide residues in crude pollens by UPLC – MS/MS [J]. *Molecules*, 2016, 21: 1652.
- Wu RH, Ding Y, Yan HJ, *et al.* Safety evaluation of pymetrozine and its mixed preparations to honeybee and silkworm [J]. *Agrochemicals*, 2016, 55 (8): 590–592. [吴若函, 丁悦, 严海娟, 等. 吡蚜酮及其复配制剂对蜜蜂和家蚕的安全性评价 [J]. *农药*, 2016, 55 (8): 590–592]
- Yang XF, Xu RY, Chen GM, *et al.* Main pest of watermelon and melon areas and control in Hainan Province [J]. *China Tropical Agriculture*, 2007, 1: 53–54. [杨小锋, 许如意, 陈冠铭, 等. 海南西甜瓜主要虫害及防治 [J]. *中国热带农业*, 2007, 1: 53–54]
- You Y. *The Toxicity Analysis of Diamide Insecticides to Apis mellifera* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017. [游泳. 三种二酰胺类杀虫剂对意大利蜜蜂的毒性作用 [D]. 福州: 福建农林大学, 2017]
- Yue M, Zong FL, Ma CS, *et al.* Survival risk analysis honey bee workers (*Apis mellifera* L., Hymenoptera) exposed to sub-lethal concentration of thiamethoxam [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2017, 33 (5): 638–643. [岳孟, 宗伏霖, 马昌盛, 等. 亚致死浓度噻虫嗪对意大利蜜蜂工蜂的生存风险分析 [J]. *中国生物防治学报*, 2017, 33 (5): 638–643]
- Zhao YN, Gao JL, Wang YJ, *et al.* Acute toxicity of six pesticides on *Apis cerana* Hainan [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2014, 35 (2): 339–343. [赵怡楠, 高景林, 王玉洁, 等. 6种农药对海南中蜂的急性毒性测定 [J]. *热带作物学报*, 2014, 35 (2): 339–343]