

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2022.03.009

噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的急性毒性与风险评估

魏 杰¹, 陈蓓蓓², 何 钰², 陈迎丽¹, 陈贵廷¹, 廖朝选^{2*}

¹贵州省检测技术研究应用中心, 贵州 贵阳 550014; ²贵州省分析测试研究院, 贵州 贵阳 550014

摘要:【目的】明确噻虫嗪与噻虫胺 2 种新烟碱农药对鸟类的风险。【方法】采用经口灌胃法测定 98% 噻虫嗪或噻虫胺原药、30% 噻虫嗪或 20% 噻虫胺悬浮剂、42% 噻虫嗪或 46% 噻虫胺种子处理悬浮剂对日本鹌鹑的毒性等级。根据供试农药对鸟类的毒性数据, 结合田间用药信息, 开展了 2 种农药对鸟类的初级风险评估。【结果】98% 噻虫嗪原药、30% 噻虫嗪悬浮剂和 42% 噻虫嗪种子处理悬浮剂对日本鹌鹑的半致死剂量 (7 d-LD₅₀) 分别为 1500、481 和 266 mg · kg⁻¹, 毒性等级分别为低毒、中毒、中毒, 悬浮剂和种子处理悬浮剂的毒性高于原药。98% 噻虫胺原药、20% 噻虫胺悬浮剂和 46% 噻虫胺种子处理悬浮剂对日本鹌鹑的 7 d-LD₅₀ 分别为 369、397 和 1569 mg · kg⁻¹, 毒性等级分别为中毒、中毒和低毒, 种子处理悬浮剂的毒性最低。噻虫嗪和噻虫胺的悬浮剂在水稻田间使用时, 对鸟类急性、短期和长期暴露的风险商值均小于 1, 风险可接受; 噻虫嗪和噻虫胺的种子处理悬浮剂在玉米田应用时, 对鸟类急性、短期和长期暴露的风险商值均大于 1, 风险不可接受。【结论】噻虫嗪和噻虫胺的悬浮剂在田间应用时对鸟类相对安全, 2 种农药的种子处理悬浮剂可能对鸟类产生危害。在种子处理场景中, 播种后尽可能覆土或覆膜, 减少种子直接暴露被鸟类取食; 在鸟类保护区域, 应避免使用噻虫嗪和噻虫胺的种子处理悬浮剂, 以减轻农药施用对鸟类的危害。

关键词: 噻虫嗪; 噻虫胺; 日本鹌鹑; 毒性; 风险评估



开放科学标识码
(OSID 码)

Toxicity and risk assessment of thiamethoxam and clothianidin on birds

WEI Jie¹, CHEN Beibei², HE Yu², CHEN Yingli¹, CHEN Guiting¹, LIAO Chaoxuan^{2*}

¹Guizhou Testing Technology Research and Application Center, Guiyang, Guizhou 550014, China;

²Guizhou Academy of Testing and Analysis, Guiyang, Guizhou 550014, China

Abstract: 【Aim】 This study aimed to verify the risks of two types of neonicotinoid pesticides, namely thiamethoxam and clothianidin, on birds. 【Method】 Toxicity level of 98% thiamethoxam or clothianidin technical materials, 30% thiamethoxam or 20% clothianidin suspension concentrate, and 42% thiamethoxam or 46% clothianidin suspension concentrate for seed treatment were tested on *Coturnix japonica* individuals using the transoral gavage method. Based on the toxicity data of tested pesticides to birds, combined with the field medication information. A primary risk assessment on the influence of the two types of pesticides on birds was carried out. 【Result】 For *C. japonica*, the acute toxicity semi-lethal doses (7 d-LD₅₀) of 98% thiamethoxam technical materials, 30% thiamethoxam suspension concentrate, and 42% thiamethoxam suspension concentrate for seed treatment were 1500, 481, and 266 mg · kg⁻¹ body weight, respectively, with toxicity levels being low, medium, and medium. The suspension concentrate and suspension concentrate for seed treatment were more toxic than the technical material. The acute toxicity semi-lethal doses (7 d-LD₅₀) of 98% clothianidin technical material, 20% clothianidin suspension concentrate, and 46% clothianidin suspension concentrate for seed treatment were 369, 397, and 1569 mg · kg⁻¹ body weight, respectively, with toxicity levels being medium, medium, and low. The suspension concentrate for seed treatment had the lowest toxicity. When used in rice paddies, the risk quotients (RQ) of acute, short-term, and long-term exposure by birds to thiamethoxam and clothianidin suspension concentrates were less than 1 (RQ<1), indicating that the level of risk was acceptable. When used in maize fields, the risk quotients of the acute, short-term, and long-term exposure by birds to thiamethoxam and clothianidin suspension concentrates for seed treatment were higher than 1 (RQ>1), indicating that the risk was unacceptable. 【Conclusion】 Both thiamethoxam and clothianidin suspension concentrates are relatively safe for birds when applied to crop fields, but the suspension concentrate for seed treatment of these two types of pesticides may be harmful

收稿日期 (Received): 2022-02-10 接受日期 (Accepted): 2022-06-01

基金项目: 贵州科学院青年基金项目[黔科院 J 字(2021)37 号]; 贵州省科技攻关计划项目[黔科合支撑(2021)一般 464]; 中央引导地方科技发展资金项目[黔科中引地(2021)4026]

作者简介: 魏杰, 男, 工程师。研究方向: 农药环境毒理。E-mail: 1911165648@qq.com.

* 通信作者 (Author for correspondence): 廖朝选, E-mail: liaochaixuan@gzata.cn.

to birds. Therefore, in the scenario of seed treatment, it is suggested that after sowing, seeds should be covered with soil or mulch as much as possible to reduce possible ingestion by birds. In the scenario of bird reserve areas, it is suggested that thiamethoxam and clothianidin suspension concentrates for seed treatment should be avoided to reduce the risk of harming birds through pesticide use.

Key words: thiamethoxam; clothianidin; *Coturnix japonica*; toxicity; risk assessment

病虫害是影响农作物产量的重要因素,农药是农业生产中必不可少的生产资料。使用杀虫剂是害虫防治的主要措施,新烟碱类杀虫剂可通过与昆虫神经系统的烟碱型受体结合,阻碍生物体正常的神经信息传递并导致其瘫痪死亡,具有高效、广谱、内吸性等优点,在杀虫剂中具有非常重要地位(杨屹,2021)。据报道,2016 年新烟碱类农药的销售额达 30 亿美元,占全球杀虫剂销售额的 18.2%。新烟碱类农药的大量使用及不合理施用,不仅会造成生态环境污染,还会对环境中的鸟类产生毒害作用,严重时可导致鸟类种群灭绝,影响生物多样性,导致未知的生态风险(杨慧等,2020; 游泳等,2014; 张琪等,2020)。研究发现,荷兰多个地区的鸟类种群数量不断下降与当地地表水中新烟碱类农药浓度逐年升高有关(Hallmann *et al.*, 2014)。Ertl *et al.* (2018) 也发现新烟碱类农药的使用对德克萨斯州农作物产区的山齿鹑 *Colinus virginianus* Linnaeus 种群产生负面影响,该类农药还会导致鸟类出现反应迟钝、发育异常及器官损伤等亚致死效应(张琪等,2020)。

噻虫嗪与噻虫胺是第二代新烟碱类杀虫剂,可通过接触、胃毒、植物内吸产生作用,对蚜虫等刺吸式口器害虫具有更好的防效。2016 年这 2 种农药在全球销量额分别达 10.6 亿和 3.8 亿美元,位居新烟碱类杀虫剂销售额第一和第三(张琪等,2020; Maienfisch *et al.*, 2001)。然而,二者在高效防治害虫的同时,也对环境生物构成了严重危害。由于新烟碱类杀虫剂对昆虫的烟碱乙酰胆碱受体(nicotinic acetylcholine receptors, nAChRs)具有良好的亲和力,噻虫嗪和噻虫胺对蜜蜂 *Apis cerana cerana* Fabricius、赤眼蜂 *Trichogramma chilonis* Ishii 等昆虫的接触毒性、经口毒性受到广泛关注,其高毒性和高风险性得到了明确的认识(韩文素等,2020; 张唯伟等,2019; Tomizawa & Casida, 2005)。

新烟碱类杀虫剂与鸟类的 nAChRs 亲和力较小(Tomizawa & Casida, 2005),常认为其对鸟类的危害较小。但有研究表明,噻虫嗪对鸟类急性毒性虽为低毒,却存在长期风险,可能影响鸟类生长(何宗

哲等,2021; 杨淞霖,2017)。商贺阳等(2018)研究发现,在种子处理场景下,噻虫嗪对鸟类的急性风险和短期风险不可接受,但在无意摄取场景(颗粒剂型)下风险可接受。Bro *et al.* (2016) 研究发现,灰鹁鸪 *Francolinus pondicerianus* Gmelin 因频繁接触与取食农田内新烟碱农药处理的谷物,导致其卵中噻虫嗪和噻虫胺浓度高达 0.067 mg · kg⁻¹,对鸟繁殖产生了一定影响。噻虫嗪与噻虫胺的不同剂型产品在不同的应用场景下可能具有不同的毒性和风险,为评估其对鸟类的风险,以农药登记模式生物日本鹌鹑 *Coturnix japonica* Temminck & Schlegel 为研究对象,分别测试噻虫嗪和噻虫胺的原药(technical material, TC)、悬浮剂(suspension concentrate, SC)和种子处理悬浮剂(suspension concentrate for seed treatment, FS)对日本鹌鹑的急性毒性,结合田间用药信息与原药对鸟类的短期饲喂和繁殖毒性数据,对噻虫嗪和噻虫胺的悬浮剂和种子处理悬浮剂进行初级风险评估,以期为指导 2 种新烟碱农药在鸟类保护中的正确施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验生物

日本鹌鹑:种蛋购自江西恒衍禽业有限公司。种蛋购入后,于实验室孵化并驯养至 30 d 用于试验。饲养环境条件为湿度:50%~75%;温度:35~38 ℃(0~7 d 鸟龄)、30~32 ℃(8~14 d 鸟龄)、25~28 ℃(>14 d 鸟龄)。试验前 7 d 该批次鹌鹑未发生死亡,试验时鸟龄 30 d,体重(100±10) g,整批次鸟羽毛光亮,健康活泼。

1.2 供试农药

98%噻虫嗪 TC(山东海利尔化工有限公司),98%噻虫胺 TC(河北威远生物化工有限公司);30%噻虫嗪 SC(四川润尔科技有限公司):登记在水稻 *Oryza sativa* L. 上防治稻飞虱 *Nilaparvata lugens* Stal,田间最大施药量 18 g · hm⁻²,每季作物喷雾施用 1 次,安全间隔期 14 d;20%噻虫胺 SC(柳州市惠农化工有限公司):登记在水稻上防治稻飞虱,田间最大施药量 150 g · hm⁻²,每季作物喷雾施用 1 次,

安全间隔期 21 d;42%噻虫嗪 FS 和 46%噻虫胺 FS (杭州宇龙化工有限公司):登记在玉米 *Zea mays* L.上分别防治蚜虫和灰飞虱 *Laodelphax striatellus* Fallén, 田间最大施药量分别为 280 和 230 g · 100 kg⁻¹种子,每季作物拌种施用 1 次。

1.3 鸟类急性毒性测试方法

鸟类急性毒性试验参照《化学农药环境安全评价试验准则》进行(中华人民共和国农业部,2014)。

先以 2 倍浓度级差设置 4 个处理组,按照正式试验条件和方法进行预试验,获取供试农药引起试验用鸟 50%死亡的浓度范围。结果显示,空白对照组中试验鹌鹑未发生死亡及异常行为;设置的 250、500、1000、2000 mg · kg⁻¹的处理组中,试验鹌鹑的死亡率分别为 0、0、10%、80% (98%噻虫嗪 TC), 10%、70%、100%、100% (98%噻虫胺 TC), 10%、

50%、100%、100% (30%噻虫嗪 SC), 20%、70%、100%、100% (20%噻虫胺 SC), 50%、100%、100%、100%(42%噻虫嗪 FS), 0、0、10%、80% (46%噻虫胺 FS)。再参照预试验结果,分别设置 5 个处理组(浓度见表 1)开展正式试验。每个处理组 10 只鸟,雌雄各一半,不设重复,噻虫嗪 SC 和 FS、噻虫胺 SC 和 FS 使用去离子水配制成所设浓度后,对试验用鸟进行称重,按每 100 g 体重 1 mL 剂量使用注射器由低浓度至高浓度对鸟进行灌喂供试药液;噻虫嗪 TC 和噻虫胺 TC 使用胶囊灌胃法,将试验用鸟称重标记后,称取对应鸟体重的供试农药并装入胶囊中,对鸟进行灌喂含药胶囊,并设置空白对照,饲喂无农药污染的饲料及饮用水,每隔 24 h 观察并记录中毒症状和死亡数,试验周期为 7 d,试验温度 25~28 ℃、相对湿度 50%~75%和光暗比 L:D=16:8。

表 1 供试农药处理组浓度
Table 1 Concentration of test pesticide treatment group

供试农药 Test pesticides	试验浓度 Test concentration/(mg · kg ⁻¹)					
	空白对照 Blank control	1	2	3	4	5
98%噻虫嗪 TC 98% thiamethoxam TC	0	1032	1217	1436	1695	2000
98%噻虫胺 TC 98% clothianidin TC	0	250	300	360	432	518
30%噻虫嗪 SC 30% thiamethoxam SC	0	350	420	504	605	726
20%噻虫胺 SC 20% clothianidin SC	0	260	312	374	449	539
42%噻虫嗪 FS 42% thiamethoxam FS	0	180	216	259	311	373
46%噻虫胺 FS 46% clothianidin FS	0	965	1157	1389	1667	2000

试验浓度/剂量单位均为有效成分。
The concentration/dose units in this paper are all expressed as active ingredients.

1.4 数据的统计分析

使用 Excel 对毒性试验结果进行统计,并用 SPSS 19.0 软件计算半致死剂量 (median lethal dose, LD₅₀)、回归方程及 95%置信限。

1.5 毒性等级划分

参照《化学农药环境安全评价试验准则》(中华人民共和国农业部,2014)进行毒性等级划分:剧毒(LD₅₀ ≤ 10 mg · kg⁻¹)、高毒(10 mg · kg⁻¹ < LD₅₀ ≤ 50 mg · kg⁻¹)、中毒(50 mg · kg⁻¹ < LD₅₀ ≤ 500 mg · kg⁻¹)、低毒(500 mg · kg⁻¹ < LD₅₀)。

1.6 初级风险评估

参照《农药登记环境风险评估指南》(农业部种植业管理司,2016),采用产品的急性毒性试验数据或欧盟公开数据库中鸟类短期饲喂和繁殖毒性数据,分别计算噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的急性(acute)、短期(short-term)和长期(long-term)预测无

效应剂量(predictd no effect dose, PEND)。结合田间推荐用量和农药使用方法,预测噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的急性、短期和长期预测暴露剂量(predicted exposure dose, PED)。通过 PED/PNED 计算相应风险商值(risk quotient, RQ):以 RQ ≤ 1 为风险可接受;RQ > 1 为风险不可接受。根据 Health and Consumer Protection Directorate-General 发布的报告显示,噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的短期饲喂 LD₅₀ 分别为>2503、>752 mg · kg⁻¹ · d⁻¹,对鸟类繁殖的长期无可见作用剂量(no observed effect dose, NOED)分别为 29.4、56.8 mg · kg⁻¹ · d⁻¹,以此数据进行鸟类短期和长期的风险分析。

1.6.1 喷雾场景预测暴露剂量计算 30%噻虫嗪 SC 和 20%噻虫胺 SC 的农药标签施用方式为喷雾,因此选择在喷雾场景下分别计算对鸟类的急性、短期和长期的 PED。计算公式分别为:

$$PED_{acute} = FIR_{BW \cdot d} \times RUD_{90} \times AR \times MAF_{90} \times 10^{-3}$$
$$PED_{short-term} = FIR_{BW \cdot d} \times RUD_{mean} \times AR \times MAF_{mean} \times 10^{-3}$$
$$PED_{long-term} = PED_{short-term} \times f_{twa}$$
式中: FIR 为食物摄食量 (food intake rate), $FIR_{BW \cdot d}$ 为每克体重每日食物摄食量; RUD 为单位残留量 (residue per unit dose), RUD_{90} 或 RUD_{mean} 为食物农药残留量 (第 90 百分位或算数平均值); AR 为施用量 (application rate), 以 AR 为单位面积农药最高施药剂量; MAF 为多次施药因子 (multiple application factor), MAF 为 RUD 对应的多次施药因子; twa 为时间加权平均 (time weighted average), 以 f_{twa} 为时间加权平均因子, 默认值 0.53。

1.6.2 种子处理场景预测暴露剂量计算 42%噻虫嗪 FS 和 46%噻虫胺 FS 施用方法为拌种染毒, 因此选择在种子处理暴露场景下分别计算对鸟类的急性、短期和长期的 PED。计算公式分别为:

$$PED_{acute} \text{ 或 } PED_{short-term} = FIR_{BW \cdot d} \times ARS \times 10$$
$$PED_{long-term} = PED_{acute} \times f_{twa}$$

式中: ARS 为单位质量种子的最高农药使用剂量。

1.6.3 预测无效应剂量计算 根据噻虫嗪和噻虫胺 SC 或 FS 试验终点急性经口 LD_{50} 、短期饲喂 LD_{50} 、长期繁殖 NOED 与不确定性因子 (uncertainty factor, UF) 分别计算急性、短期和长期 PNED。计算公式:

$$PNED = \frac{EnP}{UF}$$

式中: EnP 为毒性试验终点 (endpoint); UF 为不确定性因子 (急性与短期 $UF = 10$, 长期 $UF = 5$)。

2 结果与分析

2.1 试验终点和毒性等级

在急性经口毒性试验中, 空白对照未出现死亡和异常行为, 噻虫嗪与噻虫胺对鹌鹑都具有一定毒害作用, 均会导致试验鹌鹑出现精神萎靡、羽毛竖立和蓬松、平躺等中毒症状。由表 2 可知, 各供试农药处理组 1~5 的鹌鹑死亡率分别为 10%、30%、50%、60%、80% (98%噻虫嗪 TC), 20%、30%、50%、60%、80% (98%噻虫胺 TC), 20%、40%、50%、70%、90% (30%噻虫嗪 SC), 20%、30%、50%、60%、70% (20%噻虫胺 SC), 20%、30%、50%、60%、80% (42%噻虫嗪 FS), 10%、20%、40%、60%、70% (46%噻虫胺 FS)。

由表 3 可知, 98%噻虫嗪 TC、30%噻虫嗪 SC 和 42%噻虫胺 FS 对日本鹌鹑的 7 d- LD_{50} 分别为 1500、481、266 $mg \cdot kg^{-1}$, 根据毒性等级标准划分为低毒、中毒、中毒, 可见, 噻虫嗪悬浮剂和种子处理悬浮剂对日本鹌鹑的毒性高于原药; 98%噻虫胺 TC、20%噻虫胺 SC 和 46%噻虫胺 FS 的 7 d- LD_{50} 为 369、397 和 1569 $mg \cdot kg^{-1}$, 对鹌鹑的毒性等级依次为中毒、中毒、低毒。这表明噻虫胺种子处理悬浮剂对日本鹌鹑的毒性低于悬浮剂和原药, 2 种农药的毒性结果说明, 原药通过添加不同的辅助剂加工成不同剂型农药后可能增加或降低其对生物的危害。

表 2 日本鹌鹑 7 d 的死亡率
Table 2 7 day death rate of *C. japonica*

供试农药 Test pesticides	死亡率 Death rate/%					
	空白对照 Blank control	组 1 Group 1	组 2 Group 2	组 3 Group 3	组 4 Group 4	组 5 Group 5
98%噻虫嗪 TC 98% thiamethoxam TC	0	10	30	50	60	80
98%噻虫胺 TC 98% clothianidin TC	0	20	30	50	60	80
30%噻虫嗪 SC 30% thiamethoxam SC	0	20	40	50	70	90
20%噻虫胺 SC 20% clothianidin SC	0	20	30	50	60	70
42%噻虫嗪 FS 42% thiamethoxam FS	0	20	30	50	60	80
46%噻虫胺 FS 46% clothianidin FS	0	10	20	40	60	70

组 1、2、3、4 和 5 分别表示不同浓度的处理组。
Group 1, 2, 3, 4 and 5 represents treatment groups with different concentrations.

2.2 初级风险评估

如表 4 所示, 在喷雾场景下, 噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的急性、短期和长期 RQ 分别为 8.95×10^{-3} 、 7.85×10^{-4} 、 1.77×10^{-2} (30%噻虫嗪 SC) 和 9.04×10^{-2} 、 2.18×10^{-2} 、 7.64×10^{-2} (20%噻虫胺 SC), 2 种农

药的悬浮剂产品在作物上喷雾施用后对鸟类的急性、短期和长期 RQ 均 < 1 , 风险均可接受。在种子处理场景下, 噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的急性、短期和长期 RQ 分别为 31.6、3.36、75.7 (42%噻虫嗪 FS) 和 4.40、9.18、32.2 (46%噻虫胺 FS), 噻虫嗪和噻虫

胺的种子处理悬浮剂产品对鸟类的急性、短期和长期 RQ>1,风险不可接受。

表 3 供试农药对鹌鹑的毒性数据分析
Table 3 Analysis of toxicity data of tested pesticides to *C. japonica*

供试农药 Test pesticides	回归方程 Regression equation	R ²	半致死剂量 LD ₅₀ /(mg·kg ⁻¹)	95%置信区间 95% confidence interval/(mg·kg ⁻¹)	毒性等级 Toxicity grade
98%噻虫嗪 TC 98% thiamethoxam TC	y=0.041x-11.5	0.843	1500	1440~1565	低毒 Low toxicity
98%噻虫胺 TC 98% clothianidin TC	y=0.156x-8.22	0.924	369	351~390	中毒 Medium toxicity
30%噻虫嗪 SC 30% thiamethoxam SC	y=0.125x-9.39	0.924	481	459~502	中毒 Medium toxicity
20%噻虫胺 SC 20% clothianidin SC	y=0.137x-5.86	0.936	397	374~424	中毒 Medium toxicity
42%噻虫嗪 FS 42% thiamethoxam FS	y=0.216x-8.22	0.924	266	252~281	中毒 Medium toxicity
46%噻虫胺 FS 46% clothianidin FS	y=0.037x-11.3	0.844	1569	1496~1656	低毒 Low toxicity

表 4 供试农药对鸟类的风险商值与风险表征
Table 4 Risk quotient and risk characterization of tested pesticides on

供试农药 Test pesticides	暴露场景 Exposure scenairo	预测暴露 剂量 PED /[mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹]	预测无效应 剂量 PNED /[mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹]	风险商值 RQ	风险表征 Risk characterization
30%噻虫嗪 SC 30% thiamethoxam SC	喷雾 Spray	急性 Acute	0.43	48.10	8.95×10 ⁻³ 风险可接受 Risk was acceptable
		短期 Short-term	0.20	250.00	7.85×10 ⁻⁴ 风险可接受 Risk was acceptable
		长期 Long-term	0.10	5.88	1.77×10 ⁻² 风险可接受 Risk was acceptable
20%噻虫胺 SC 20% clothianidin SC	喷雾 Spray	急性 Acute	3.59	39.70	9.04×10 ⁻² 风险可接受 Risk was acceptable
		短期 Short-term	1.64	75.20	2.18×10 ⁻² 风险可接受 Risk was acceptable
		长期 Long-term	0.87	11.40	7.64×10 ⁻² 风险可接受 Risk was acceptable
42%噻虫嗪 FS 42% thiamethoxam FS	种子处理 Seed treatment	急性 Acute	840.00	26.60	31.60 风险不可接受 Risk was unacceptable
		短期 Short-term	840.00	250.00	3.36 风险不可接受 Risk was unacceptable
		长期 Long-term	445.00	5.88	75.70 风险不可接受 Risk was unacceptable
46%噻虫胺 FS 46% clothianidin FS	种子处理 Seed treatment	急性 Acute	690.00	157.00	4.40 风险不可接受 Risk was unacceptable
		短期 Short-term	690.00	75.20	9.18 风险不可接受 Risk was unacceptable
		长期 Long-term	366.00	11.40	32.20 风险不可接受 Risk was unacceptable

3 讨论

预试验和正式试验的环境条件满足日本鹌鹑正常生长,空白对照组试验鹌鹑均未发生死亡及异常行为。根据预试验结果推测,引起日本鹌鹑 50%死亡的浓度范围分别为 1000~2000 mg·kg⁻¹(98%噻虫嗪 TC 和 46%噻虫胺 FS),250~500 mg·kg⁻¹(98%噻虫胺 TC、20%噻虫胺 SC 和 42%噻虫嗪 FS),250~1000 mg·kg⁻¹(30%噻虫嗪 SC)。正式试验中,98%噻虫嗪 TC、98%噻虫胺 TC、30%噻虫嗪 SC、20%噻虫胺 SC、42%噻虫嗪 FS 和 46%噻虫胺 FS 对日本鹌鹑的半致死剂量 7 d-LD₅₀ 分别为 1500、369、481、397、266 和 1569 mg·kg⁻¹,介于预试验预测的 50%死亡浓度范围。参照试验准则,供试农药对试验日本鹌鹑的毒性等级依次低毒、中毒、中毒、中毒、中毒和低毒,说明本研究中噻虫嗪与噻虫胺的 3 种剂型产品对日本鹌鹑均存在一定毒害作用。噻虫嗪的悬浮剂和种子处理悬浮剂对日本鹌鹑的急性毒性高于原

药,可能是制剂产品中辅料具有一定的毒性或增加了有效成分的吸收。吴若函等(2016)测试的 25%噻虫嗪水分散粒剂对日本鹌鹑的急性经口毒性 LD₅₀为 243 mg·kg⁻¹,邓兆荣(2013)采用噻虫嗪原药加工制备的 20%噻虫嗪悬浮剂对鸟类的急性经口毒性 LD₅₀为 163 mg·kg⁻¹,相关研究结果也与本研究相似,制剂毒性高于原药。噻虫胺的悬浮剂产品与原药毒性相当,而种子处理悬浮剂的毒性低于原药,可能是制剂产品和工艺日益更新,种子处理悬浮剂产品的技术更加优化,原药制备为产品后毒性有所降低。

噻虫嗪和噻虫胺的悬浮剂直接喷雾于植株表面,会在植物表面残留,另有部分漂移至土壤或吸收进入植物体内;2 种农药的种子处理悬浮剂包裹于种子表面,与种子一起进入土壤,并经根系吸收、转运分布于各组织,这可能导致鸟类摄食植物叶片、种子或土壤而发生暴露风险。故仅根据毒性判定供试农药施用后对鸟类的风险具有一定局限,应结合田间

用量与施用方式等综合评估风险。

在悬浮剂喷雾场景下,30%噻虫嗪 SC 和 20%噻虫胺 SC 对鸟类急性、短期和长期暴露的 $RQ < 1$, 对鸟类的风险可接受。在种子处理场景下,42%噻虫嗪 FS 与 46%噻虫胺 FS 对鸟类急性、短期和长期暴露的 RQ 均 > 1 , 风险不可接受。噻虫嗪和噻虫胺的悬浮剂对鸟类的风险可接受,说明该农药在农田施用后对鸟类较为安全,可根据用药指导正常使用,而噻虫嗪与噻虫胺种子处理悬浮剂对鸟类的风险不可接受,说明玉米种子经供试农药处理且施用在田间后可能对鸟类产生危害。在种子处理场景中,种子播种后尽可能覆土或覆膜,减少种子直接暴露被鸟类取食,在鸟类保护区域应避免使用噻虫嗪和噻虫胺种子处理悬浮剂,以减轻农药施用对鸟类的危害。

自然界中鸟的种类繁多,不同鸟类对毒物的敏感度不同,本研究中鸟的种类有限,且供试农药对鸟类的短期饲喂和长期繁殖的实际毒性数据尚缺乏。为了更完善、准确地评估新烟碱类农药噻虫嗪和噻虫胺对鸟类的暴露风险,还需使用不同种类的鸟,同时结合田间实际残留数据开展高级风险评估。

参考文献

邓兆荣, 2013. 两种新烟碱类杀虫剂对日本鹌鹑的毒性及毒理效应研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.

韩文素, 袁忠华, 高景林, 赵冬香, 王释婕, 赵珊, 钟义海, 2020. 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. 环境昆虫学报, 42(3): 746-752.

何宗哲, 张旭, 孟鸽, 周亮亮, 华修德, 2021. 噻虫嗪在油菜田中的残留规律与风险评估. 现代农药, 20(4): 34-39.

农业部种植业管理司, 2016. 农药登记环境风险评估指南 第 3 部分: 鸟类: NY/T 2882.3-2016. 北京: 中国标准出版社.

商贺阳, 董三倩, 邵振芳, 陈建华, 王泽清, 2018. 在花生上登记的农药对鸟类和蜜蜂的初级风险评估. 现代农药, 17(6): 26-31.

吴若函, 丁悦, 严海娟, 辛星, 郭晓瑜, 余向阳, 宋雯, 2016. 新烟碱类杀虫剂对几种环境生物的安全性评价. 江苏农业科学, 44(1): 295-297.

杨慧, 蒋皓天, 何恒果, 2020. 农药对捕食性天敌的影响研究进展. 生物安全学报, 29(1): 1-7.

杨屹, 2021. 新烟碱类杀虫剂噻虫胺在斑马鱼体内的生物富集、组织分布和代谢转化研究. 硕士学位论文. 长春: 东北师范大学.

杨淞霖, 尹晶, 郝伟玉, 王会利, 郭宝元, 2017. 3 种农药及

其复配制剂对日本鹌鹑的急性毒性比较. 生态毒理学报, 12(2): 228-232.

游泳, 林涛, 李建宇, 史梦竹, 郑丽祯, 傅建伟, 魏辉, 2014. 5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂对 6 种环境生物的急性毒性. 生物安全学报, 23(1): 40-45.

张琪, 赵成, 卢晓霞, 于波, 黄钰婷, 2020. 新烟碱类杀虫剂对非靶标生物毒性效应的研究进展. 生态毒理学报, 15(1): 56-71.

张唯伟, 董怡, 张传青, 朱国念, 刘亚慧, 2019. 稻田常用农药对螟黄赤眼蜂的影响. 热带生物学报, 10(3): 283-287.

中华人民共和国农业部, 2014. 化学农药环境安全评价试验准则 第 9 部分: 鸟类急性毒性试验: GB/T 31270.9—2014. 北京: 中国标准出版社.

BRO E, DEVILLERS J, MILLOT F, DECORS A, 2016. Residues of plant protection products in grey partridge eggs in French cereal ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(10): 9559-9573.

ERTL H M H, MORA M A, BRIGHTSMITH D J, NAVARRO-ALBERTO J A, 2018. Potential impact of neonicotinoid use on northern bobwhite (*Colinus virginianus*) in texas: a historical analysis. *PLoS ONE*, 13(1): e0191100.

European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General, 2005. Review report for the active substance clothianidin. [2022-01-10]. https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=as.details&as_id=867.

European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General, 2006. Review report for the active substance thiamethoxam. [2022-01-10]. https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/active-substances/?event=as.details&as_id=796.

MAIENFISCH P, ANGST M, BRANDL F, FISCHER W, HOFER D, KAYSER H, KOBEL W, RINDLISBACHER A, SENN R, STEINEMANN A, WIDMER H, 2001. Chemistry and biology of thiamethoxam: a second generation neonicotinoid. *Pest Management Science*, 57(10): 906-913.

HALLMANN C A, FOPPEN R P B, VAN TUMHOUT C A M, DE KROON H, JONGEJANS E, 2014. Declines in insectivorous birds are associated with high neo-nicotinoid concentrations. *Nature*, 511: 341-343.

TOMIZAWA M, CASIDA J E, 2005. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 45(1): 247-268.

(责任编辑: 郑姗姗)