

不同剂型吡虫啉对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性评价

陈爱梅¹, 王金花^{1*}, 夏晓明¹, 王娟¹, 朱鲁生¹, 范燕燕²

(1. 山东农业大学资源与环境学院 植物保护学院 农药环境毒理研究中心 山东省高校农业环境重点实验室, 山东 泰安 271018;
2. 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏 扬州 225125)

摘要: 为了评价农药不同剂型对环境生物的毒性影响, 利用人工土壤法和静态水鱼类毒性测试法研究了不同剂型吡虫啉对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性效应。结果表明: 35%吡虫啉悬浮剂、70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂、600 g·L⁻¹吡虫啉悬浮种衣剂对蚯蚓 7 d LC₅₀ 值与 95%置信限(见括号)分别为: 0.82(0.62~0.89), 6.44(5.17~7.83), 2.39(2.10~2.61), 9.65(7.79~11.77) a.i.mg·kg⁻¹干土; 14 d LC₅₀ 值为 0.77(0.59~0.83), 6.00(4.34~6.79), 2.12(1.62~2.33), 8.60(0.23~10.19) a.i.mg·kg⁻¹干土。吡虫啉对斑马鱼的急性毒性结果表明: 70%吡虫啉湿拌种剂对鱼的 24、48、72、96 h 的 LC₅₀ 值分别为 24.3(16.3~28.8), 22.8(13.0~27.7), 20.1(4.0~27.4), 17.8(2.4~26.2) a.i.mg·L⁻¹; 70%吡虫啉可湿性粉剂对鱼不同处理时间的 LC₅₀ 值分别为 46.4(41.6~48.0), 45.7(38.4~47.6), 45.2(36.2~47.2), 45.2(36.2~47.2) a.i.mg·L⁻¹; 35%吡虫啉悬浮剂和 600 g·L⁻¹吡虫啉悬浮种衣剂对鱼不同处理时间 LC₅₀ 值均大于 1.00×10² a.i.mg·L⁻¹。依据《化学农药环境安全评价试验准则》, 35%吡虫啉悬浮剂对蚯蚓的毒性为高毒, 其他 3 种为中毒; 4 种剂型吡虫啉对斑马鱼的毒性均为低毒。

关键词: 吡虫啉; 剂型; 蚯蚓; 斑马鱼; 急性毒性

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2013)09-1758-06 **doi:** 10.11654/jaes.2013.09.008

Acute Toxicity of Imidacloprid with Different Formulation on Earthworm and Zebrafish

CHEN Ai-mei¹, WANG Jin-hua^{1*}, XIA Xiao-ming¹, WANG Juan¹, ZHU Lu-sheng¹, FAN Yan-yan²

(1. College of Resources and Environment, College of Plant Protection, Pesticide Environmental Toxicology Research Centre, Key Laboratory of Agricultural Environment in Universities of Shandong, Taian 271018, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225125, China)

Abstract: An acute toxicity study was conducted to evaluate the ecological risk of pesticide with different formulations on environmental organisms by artificial soil test and static test. Results of artificial soil test showed that LC₅₀ values of 35% imidacloprid aqueous suspension concentrate(SC), 70% imidacloprid wet seed dressing agent(WS), 70% imidacloprid wettable powder(WP), and 600 g·L⁻¹ imidacloprid flowable concentrate for seed coating(FS) for earthworm in 7 d were 0.82(0.62~0.89), 6.44(5.17~7.83), 2.39(2.10~2.61) and 9.65(7.79~11.77) a.i.mg·kg⁻¹, respectively. Corresponding LC₅₀ values in 14 d were 0.77(0.59~0.83), 6.00(4.34~6.79), 2.12(1.62~2.33) and 8.60(0.23~10.19) a.i.mg·kg⁻¹, respectively. Results of a static test showed that the LC₅₀ values of 70% imidacloprid WS for zebrafish on 24 h, 48 h, 72 h, and 96 h were 24.3(16.3~28.8), 22.8(13.0~27.7), 20.1(4.0~27.4) and 17.8(2.4~26.2) a.i.mg·L⁻¹, respectively. LC₅₀ values of 70% imidacloprid WP for zebrafish were 46.4(41.6~48.0), 45.7(38.4~47.6), 45.2(36.2~47.2) and 45.2(36.2~47.2) a.i.mg·L⁻¹, respectively. LC₅₀ values of both 35% imidacloprid SC and 600 g·L⁻¹ imidacloprid FS for zebrafish were higher than 1.00×10² a.i.mg·L⁻¹. According to the Experimental Criterion for Environmental Safety Assessment of Chemical Pesticide, the toxic effect of 35% imidacloprid SC on earthworms was significant, while other formulations of imidacloprid were moderate. In additional, the toxic effects of all different formulations of imidacloprid on zebrafish were not serious.

Keywords: imidacloprid; formulation; earthworm(*Eisenia foetida*); zebrafish; acute toxicity

收稿日期: 2012-12-17

基金项目: 国家自然科学基金(40801203, 41071164, 41001152); 扬州大学大学生创新训练计划项目基金(B12103)

作者简介: 陈爱梅(1986—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境毒理与污染修复。

* 通信作者: 王金花 E-mail: wjh@sdaa.edu.cn

吡虫啉是近年来国内发展最快的新型硝基亚甲基类杀虫剂,又称为氯化烟碱类(Chloronicotinyl)或新烟碱类(Neonicotinoid)杀虫剂,主要用于飞虱、粉虱、蚜虫等刺吸式口器害虫的防治。因其具有高效、广谱、对哺乳动物毒性较低,且有良好的田间稳定性等特点,自1991年吡虫啉投放市场以来,一直受到全球国际市场的青睐,其剂型涵盖大部分农药主要剂型,如乳油、可湿性粉剂、颗粒剂、悬浮剂、可溶液剂、水分散粒剂、片剂和种子处理剂等,并且正向水性化、粒状化和高浓度化方向发展^[1],具有良好的发展前景^[2]。随着吡虫啉的大量使用,势必对土壤和水的生态系统中的非靶标生物产生影响,其所产生的生态毒理效应也受到了越来越多的关注^[3-4]。

目前,将蚯蚓和斑马鱼作为模式生物,表征农药对土壤和水环境中非靶标生物的影响,在国内外已有诸多报道^[5-6]。例如:Dittbrenner^[7],刘伟等^[8]将蚯蚓作为指示生物,通过测定蚯蚓的繁殖率、行为、死亡率,表征了农药对土壤环境的毒性强弱;Sipes等^[9]论述了将斑马鱼作为模式生物的意义及其研究现状。以蚯蚓和斑马鱼毒性试验检测和评估污染物,特别是农药对环境的影响,已成为一种重要的手段。

急性毒性试验即单次给药毒性试验,指机体(人或实验动物)一次(或24 h内多次)接触外来化合物之后所引起的中毒效应,甚至死亡。急性毒性试验是推测新农药对非靶标生物的毒性强弱的重要手段。同时,它可以为长期毒性试验、生殖毒性试验、致突变试验等试验设计提供剂量选择依据和有关毒性信息。因此,急性毒性试验对了解新农药的安全性非常必要。通过观察和统计受试生物在短时期(一般为24 h到2周以内)中的死亡率,计算该农药对受试生物半数致死剂量(LC₅₀),从而评价该农药毒性强弱。

本文采用人工土壤法^[10]和静态水斑马鱼试验^[11]研究35%吡虫啉悬浮剂、70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂、600 g·L⁻¹吡虫啉悬浮种衣剂对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性效应,为评价不同剂型的吡虫啉对蚯蚓和斑马鱼的生态风险提供基础数据,并为农药的科学合理使用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 受试生物

赤子爱胜蚯蚓(*Eisenia foetida*),购自天津市贾立明蚯蚓养殖有限公司,挑选已出现繁殖环带的健康成

年蚯蚓,体重在400~500 mg之间的个体用于试验,购入后在室温20℃条件下避光驯养。

斑马鱼(*Brachydonio rerio*),购于山东省泰安市其鑫水族馆,体长(1.59±0.16)cm。在试验室条件下驯养7 d以上,每日光照12~16 h,及时清除粪便及食物残渣,死亡率保持在5%以下。驯养期间每日喂食1~2次市售成品饵料。试验前24 h停止喂食,试验期间不喂食,挑选体长均匀一致、健康活泼的个体用于试验。

1.1.2 受试农药

35%吡虫啉悬浮剂、70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂、600 g·L⁻¹吡虫啉悬浮种衣剂,由山东农业大学农药环境毒理研究中心提供。

1.2 试验方法

1.2.1 参比实验

以赤子爱胜蚯蚓为生物试材,进行分析纯的氯乙酰胺参比试验。参比物质氯乙酰胺对蚯蚓14 d的LC₅₀应在10~100 a.i.mg·kg⁻¹干土之间。

以斑马鱼为生物试材,进行分析纯的重铬酸钾试验参比试验,参比物质重铬酸钾对斑马鱼24 h的LC₅₀应处于200~400 a.i.mg·L⁻¹之间。

1.2.2 蚯蚓的急性毒性试验

根据OECD Guideline No.207方法^[10]采用人工土壤法进行蚯蚓实验。最后用蒸馏水调节湿度为35%,适当添加碳酸钙调节pH值为(7.0±0.2)。

根据预试验结果,将药剂与500 g人工土壤混匀,使农药的试验浓度分别为:35%吡虫啉悬浮剂0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 a.i.mg·kg⁻¹干土,70%吡虫啉湿拌种剂3.0、4.0、5.0、6.0、7.0 a.i.mg·kg⁻¹干土,70%吡虫啉可湿性粉剂1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 a.i.mg·kg⁻¹干土,600 g·L⁻¹吡虫啉悬浮种衣剂6.0、7.0、8.0、9.0、10.0 a.i.mg·kg⁻¹干土。将上述含药剂的人工土壤放入500 mL玻璃标准瓶中(烧杯中土的厚度不低于8 cm),加入蒸馏水使土壤含水量为35%左右,以加相同体积的蒸馏水为空白对照组。每个烧杯中加入10条蚯蚓,每个处理组设3个重复。移入蚯蚓后用保鲜膜封好瓶口用大头针扎约20~30个小孔,保持蚯蚓生存环境透气。试验在培养室内进行,温度(20±1)℃,湿度80%~85%,400~800 lx光强连续光照。试验第7 d和14 d各计数1次,记录死亡数及中毒症状,用针轻触蚯蚓尾部,蚯蚓无反应则为死亡。

1.2.3 斑马鱼的急性毒性试验

采用静态试验法,将药剂用蒸馏水稀释后得母液,依次用移液枪取适量母液,置入装有2 L水的鱼

缸内,定容至4 L,搅拌均匀。根据预试验结果,使农药的最终试验浓度为:35%吡虫啉悬浮剂 100 a.i.mg·L⁻¹, 70%吡虫啉湿拌种剂 10、15、20、25、30、35、40 a.i.mg·L⁻¹, 70%吡虫啉可湿性粉剂 40、42、44、46、48、50、52 a.i.mg·L⁻¹, 600 g·L⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂 100 a.i.mg·L⁻¹。以不加药为空白对照。每处理用鱼 10 尾,设 3 个重复。于药剂处理后 24、48、72、96 h 测定并记录鱼缸中溶液的温度、溶氧量、pH 值,同时观察并记录斑马鱼中毒症状和死亡数。当鱼死亡时,立刻取出,观察并记录其体表特征和内脏表面特征。

试验用水为存放并去氯处理 24 h 以上的自来水, pH(7.5±0.5),水中溶氧量为(8.0±0.5)mg·L⁻¹,水质硬度为 2.4×10² mg·L⁻¹(以 CaCO₃ 计),水温为(24±1)℃。

1.3 数据处理

试验结果用 SPSS 16.0 统计软件处理,计算不同剂型吡虫啉对蚯蚓 7 d 和 14 d,斑马鱼 24、48、72、96 h 的半致死浓度(LC₅₀)值和 95%置信限,建立“剂量-效应”线性方程,并记录相关系数(R²)。

农药对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性分级标准采用《化学农药环境安全评价的试验准则》^[10]中提出的标准。

2 结果与分析

2.1 参比试验

为验证试验方法的有效性,以赤子爱胜蚯蚓为生物试材进行分析纯的氯乙酰胺参比试验,测得 LC₅₀(14 d)值为 27.6 a.i.mg·kg⁻¹ 干土,95%置信限为 21.1~37.3 a.i.mg·kg⁻¹ 干土;以斑马鱼为生物试材进行分析纯的重铬酸钾试验,测得 LC₅₀(24 h)为 294 a.i.mg·L⁻¹,95%置信限为 278~311 a.i.mg·L⁻¹。因此,蚯蚓和斑马鱼参比试验结果均在上述标准要求范围内,本试验结果可靠。

2.2 不同剂型吡虫啉对蚯蚓的急性毒性效应

人工土壤试验结果显示,空白对照组蚯蚓基本正常,无死亡现象;而蚯蚓接触含有供试农药的土壤后,蠕动迟缓,7 d 后部分蚯蚓不钻土甚至溃烂死亡,存活蚯蚓体缩短变细、活动少、爬行困难、环带肿大。浓度越高中毒症状越明显,死亡条数越多。14 d,中毒症状更加明显,死亡数增加。

4 种剂型吡虫啉对蚯蚓急性毒性试验结果及其“剂量-效应”方程、相关系数(R²)见表 1。

表 1 的结果表明,人工土壤法测定的供试农药对蚯蚓的 LC₅₀ 值随染毒时间延长有所下降,但无显著差异。蚯蚓染毒 7 d 时,35%吡虫啉悬浮剂、70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂、600 g·L⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂对蚯蚓的 LC₅₀ 值分别为:0.82(0.62~0.89),6.44(5.17~7.83),2.39(2.10~2.61),9.65(7.79~11.77)a.i.mg·kg⁻¹ 干土。随着染毒时间的延长,每种供试农药对蚯蚓的急性毒性效应都有所增加。染毒 14 d 时,上述 4 种药剂对蚯蚓的 LC₅₀ 为:0.77(0.59~0.83),6.00(4.34~6.79),2.12(1.62~2.33),8.60(0.23~10.19) a.i.mg·kg⁻¹ 干土。

根据《化学农药环境安全评价的试验准则》的标准得出结果(表 1)。35%吡虫啉悬浮剂、70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂、600 g·L⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂对蚯蚓的毒性级别分别为:高毒、中毒、中毒、中毒。

2.3 不同剂型吡虫啉对斑马鱼的急性毒性效应

静态试验结果显示,空白对照组的斑马鱼与试验开始时相比无明显变化;染毒组试验开始时,低浓度组斑马鱼的活泼性与对照组基本相似,在 24~96 h 内,35%吡虫啉悬浮剂、600 g·L⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂染毒的斑马鱼与对照组无明显差别;70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂不同浓度斑马鱼均有死

表 1 不同剂型的吡虫啉对蚯蚓的急性毒性试验结果

Table 1 Acute toxic effects of imidacloprid formulation to earthworm

农药	时间/d	回归方程	LC ₅₀ (95%置信区间)/a.i.mg·kg ⁻¹ 干土	相关系数 R ²	毒性级别
35%吡虫啉悬浮剂	7	y=1.060+12.580x	0.82(0.62~0.89)	0.904	高毒
	14	y=1.415+12.144x	0.77(0.59~0.83)	0.908	
70%吡虫啉湿拌种剂	7	y=-3.179+3.623x	6.44(5.17~7.83)	0.904	中毒
	14	y=-6.319+8.123x	6.00(4.34~6.79)	0.904	
70%吡虫啉可湿性粉剂	7	y=-4.976+13.162x	2.39(2.10~2.61)	0.956	中毒
	14	y=-3.607+11.314x	2.12(1.62~2.33)	0.903	
600 g·L ⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂	7	y=-9.848+10.001x	9.65(7.79~11.77)	0.901	中毒
	14	y=-6.214+6.650x	8.60(0.23~10.19)	0.906	

亡现象,浓度越高死亡数越多。死亡斑马鱼鳃部微红、鳍伸展、腹部微红,中毒斑马鱼反应迟缓、游速减慢。

4 种剂型吡虫啉对斑马鱼的急性毒性试验结果及其“剂量-效应”线性方程、相关系数(R^2)见表 2。

从表 2 可以看出,70%吡虫啉湿拌种剂对斑马鱼 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 值分别为:24.3(16.3~28.8), 22.8(13.0~27.7), 20.1(4.0~27.4), 17.8(2.4~26.2) a.i.mg·L⁻¹;70%吡虫啉可湿性粉剂对斑马鱼的 LC_{50} 值分别为:46.4(41.6~48.0), 45.7(38.4~47.6), 45.2(36.2~47.2), 45.2(36.2~47.2) a.i.mg·L⁻¹,对斑马鱼有一定毒性。在供试时间内,35%吡虫啉悬浮剂与 600 g·L⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂对斑马鱼的 LC_{50} 值大于 1.00×10^2 a.i.mg·L⁻¹,对斑马鱼的毒性较低。

根据《化学农药环境安全评价的试验准则》的标准得出结果(表 2)。35%吡虫啉悬浮剂、70%吡虫啉湿拌种剂、70%吡虫啉可湿性粉剂、600 g·L⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂对斑马鱼的毒性级别均为低毒。

3 讨论

蚯蚓急性毒性试验作为评价农药对土壤中非靶标生物影响的重要指标,被广泛应用。Luo 等^[13]以蚯蚓为受试生物,采用了溶液法、滤纸法、人工土壤法进行急性毒性试验,初步比较了吡虫啉和 RH-5849 对蚯蚓的固有毒性和对土壤动物的潜在毒性。王彦华等^[14]

也以蚯蚓为受试生物,采用不同方法研究了新烟碱类和阿维菌素类药剂对蚯蚓的急性毒性效应。农药对蚯蚓急性毒性效应的测试,简单、快速、可大致确定农药对蚯蚓的毒性高低和潜在毒性,为慢性毒性试验和种群、群落调查分析提供依据和参考^[15-16]。综上所述,本试验以蚯蚓为受试生物,采用急性毒性试验表征不同剂型吡虫啉对蚯蚓的毒性可行,试验结果可靠。通过急性毒性试验,为不同剂型吡虫啉对蚯蚓的行为、繁殖率等慢性、亚慢性试验提供了依据和参考。

在农药对水环境风险评估中,斑马鱼是开展农药对鱼类急性毒性和慢性毒性试验的重要生物试验材料。Tisler 等^[17]通过斑马鱼急性毒性试验,评估吡虫啉对水生环境的危害。Zhang 等^[18]以斑马鱼为受试生物,研究了两种有机磷酸酯类和 4 种拟除虫菊酯类杀虫剂以及它们的二元混合物对斑马鱼的急性毒性,对比了两类杀虫剂对水生生物的生态毒性。本文研究了 4 种不同剂型的吡虫啉对斑马鱼的急性毒性试验,不仅比较了其固有毒性,也为进一步研究提供了依据。在不同剂型吡虫啉对斑马鱼的毒性试验上,其对斑马鱼的慢性、亚慢性及其分子毒性试验应进一步展开,另外斑马鱼的胚胎发育也已成为毒性试验的热点^[19-20]。

本研究结果表明,吡虫啉同一剂型对蚯蚓和斑马鱼的毒性不同。4 种剂型农药对蚯蚓急性毒性,除 35%吡虫啉悬浮剂为高毒外,其他均为中毒;对斑马鱼影响不大,为低毒。Luo 等^[13]利用人工土壤法研究吡

表 2 不同剂型的吡虫啉对斑马鱼的急性毒性试验结果
Table 2 Acute toxic effects of imidacloprid formulation to zebrafish

农药	时间/h	回归方程	LC_{50} (95%置信区间)/a.i.mg·L ⁻¹	相关系数 R^2	毒性级别
35%吡虫啉悬浮剂	24	—	$>1.00 \times 10^2$	—	低毒
	48	—	$>1.00 \times 10^2$	—	
	72	—	$>1.00 \times 10^2$	—	
	96	—	$>1.00 \times 10^2$	—	
70%吡虫啉湿拌种剂	24	$y = -6.279 + 4.532x$	24.3(16.3~28.8)	0.935	低毒
	48	$y = -6.180 + 4.552x$	22.8(13.0~27.7)	0.940	
	72	$y = -5.148 + 3.953x$	20.1(4.0~27.4)	0.909	
	96	$y = -4.537 + 3.628x$	17.8(2.4~26.2)	0.917	
70%吡虫啉可湿性粉剂	24	$y = -44.757 + 26.861x$	46.4(41.6~48.0)	0.908	低毒
	48	$y = -42.049 + 25.327x$	45.7(38.4~47.6)	0.900	
	72	$y = -41.992 + 25.377x$	45.2(36.2~47.2)	0.925	
	96	$y = -41.992 + 25.377x$	45.2(36.2~47.3)	0.925	
600 g·L ⁻¹ 吡虫啉悬浮种衣剂	24	—	$>1.00 \times 10^2$	—	低毒
	48	—	$>1.00 \times 10^2$	—	
	72	—	$>1.00 \times 10^2$	—	
	96	—	$>1.00 \times 10^2$	—	

虫啉原药对蚯蚓 LC_{50} 值为 $2.30 \text{ a.i.mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干土, 与其不同剂型吡虫啉对蚯蚓毒性级别相差不大。Tišler 等^[17]研究的吡虫啉原药对斑马鱼急性毒性级别相同, LC_{50} 为 $241(224 \sim 257) \text{ a.i.mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 低毒。因此, 应注意吡虫啉药剂在大田中的使用, 严格控制使用剂量。此外, 有关吡虫啉农药对蚯蚓和斑马鱼的慢性及亚慢性毒性研究需要深入。农药的亚致死效应如对蚯蚓行为、生长、繁殖、组织结构、生化指标等的影响更接近于实际生态系统中低剂量农药对蚯蚓和斑马鱼的长期毒性效应, 这些农药对斑马鱼和蚯蚓的分子毒理学效应也应深入。本试验为蚯蚓和斑马鱼亚慢性及慢性试验提供了基础数据。

吡虫啉不同剂型对蚯蚓和斑马鱼的毒性不同。本试验结果表明, 吡虫啉不同剂型对蚯蚓的毒性为 35% 吡虫啉悬浮剂 > 70% 吡虫啉可湿性粉剂 > 70% 吡虫啉湿拌种剂 > $600 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 吡虫啉悬浮种衣剂; 斑马鱼的试验结果表明, 虽然吡虫啉 4 种剂型对斑马鱼毒性级别为低毒, 但是, 70% 吡虫啉可湿性粉剂和 70% 吡虫啉湿拌种剂对鱼有一定的潜在危害。该结果说明, 吡虫啉不同剂型对蚯蚓和斑马鱼的毒性, 不仅与吡虫啉有效含量有关, 还与其剂型有密切关系, 应以安全环保的剂型替代传统的剂型。并且, 吡虫啉的毒性还可能与其溶解性、在环境中的稳定性、生物可利用性以及生物对其吸收机制有关^[21-22]。

本文研究了吡虫啉不同剂型对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性效应, 为农药的科学合理使用提供参考。由于在实际土壤及水环境中, 温度、pH 以及其他污染物均会对污染物吸收、迁移、代谢转化产生影响^[23], 进而影响其毒性, 所以单一因素对污染物毒性影响、复合污染及其致毒机理方面有待于进一步研究。

4 结论

(1) 不同剂型的吡虫啉对蚯蚓的急性毒性结果为 35% 吡虫啉悬浮剂 > 70% 吡虫啉可湿性粉剂 > 70% 吡虫啉湿拌种剂 > $600 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 吡虫啉悬浮种衣剂; 对斑马鱼的急性毒性结果为 70% 吡虫啉可湿性粉剂和 70% 吡虫啉湿拌种剂略高于 35% 吡虫啉悬浮剂和 $600 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 吡虫啉悬浮种衣剂。说明不同剂型的吡虫啉对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性有差异。

(2) 急性毒性结果表明, 35% 吡虫啉悬浮剂、70% 吡虫啉可湿性粉剂、70% 吡虫啉湿拌种剂、 $600 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 吡虫啉悬浮种衣剂 4 种剂型对蚯蚓的急性毒性分别为高毒、中毒、中毒、中毒, 而 4 种剂型吡虫啉对斑

鱼的毒性级别均为低毒, 但 70% 吡虫啉可湿性粉剂和 70% 吡虫啉湿拌种剂对斑马鱼存在潜在影响。说明吡虫啉对土壤生物的毒性更强, 对水生生物也存在潜在危害, 使用时应严格控制吡虫啉的使用剂量。

参考文献:

- [1] Jeschke P, Nauen R. Review neonicotinoids—from zero to hero in insecticide chemistry[J]. *Pest Management Science*, 2008, 64: 1084–1098.
- [2] Elbert A, Haas M, Springer B, et al. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection[J]. *Pest Management Science*, 2008, 64(11): 1099–1105.
- [3] Dittbrenner N, Schmitt H, Capowiez Y. Sensitivity of *Eisenia fetida* in comparison to *Aporrectodea caliginosa* and *Lumbricus terrestris* after imidacloprid exposure: Body mass change and histopathology[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2011, 11: 1000–1010.
- [4] Hayasaka D, Korenaga T, Suzuki K, et al. Differences in susceptibility of five cladoceran species to two systemic insecticides, imidacloprid and fipronil[J]. *Ecotoxicology*, 2012, 21: 421–427.
- [5] Frund H, Butt K, Capowiez Y, et al. Using earthworms as model organisms in the laboratory: Recommendations for experimental implementations[J]. *Pedobiologia*, 2010, 53: 119–125.
- [6] 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.
- [7] Dittbrenner N, Moser I, Triebkorn R, et al. Assessment of short and long-term effects of imidacloprid on the burrowing behaviour of two earthworm species (*Aporrectodea caliginosa* and *Lumbricus terrestris*) by using 2D and 3D post-exposure techniques[J]. *Chemosphere*, 2011, 84: 1349–1355.
- [8] 刘伟, 朱鲁生, 王军, 等. 毒死蜱、马拉硫磷和氰戊菊酯对赤子爱胜蚓 (*Eisenia foetida*) 的急性毒性[J]. *生态毒理学报*, 2009, 4(4): 597–601.
- [9] Liu W, Zhu L S, Wang J, et al. Acute toxicological dosages of chlorpyrifos, malathion and fenvalerate on earthworm *Eisenia foetida*[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2009, 4(4): 597–601.
- [10] OECD. Earthworm, acute toxicity tests. OECD Guideline for testing of chemicals 207[S]. 1984.
- [11] OECD. Fish, acute toxicity test. OECD guideline for testing of chemicals 203[S]. 1992.
- [12] 蔡道基. 化学农药环境安全评价试验准则[M]. 北京: 国家环保总局, 2004: 26–29.
- [13] Cai D J. Testing guidelines of assessing environmental safety of chemical pesticides[M]. Beijing: State Environmental Protection Administration of China, 2004: 26–29.
- [14] Luo Y, Zang Y, Zhong Y, et al. Toxicological study of two novel pesticides on earthworm *Eisenia fetida*[J]. *Chemosphere*, 1999, 39(13): 2347–2356.

- [14] 王彦华, 陈丽萍, 赵学平, 等. 新烟碱类和阿维菌素类药剂对蚯蚓的急性毒性效应[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(12):2299-2304.
Wang Y H, Chen L P, Zhao X P, et al. Acute toxicity of neonicotinoids and avermectins to earthworm, *Eisenia foetida*[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(12):2299-2304.
- [15] 孟 琰, 王金花, 朱鲁生, 等. 莠去津对赤子爱胜蚓(*Eisenia foetida*)体腔细胞 DNA 损伤的研究[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(5):24-29.
Meng Y, Wang J H, Zhu L S, et al. On the DNA damage in coelomocytes cells of earthworm(*Eisenia foetida*) induced by atrazine[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2009, 9(5):24-29.
- [16] Wang Y H, Cang T, Zhao X P, et al. Comparative acute toxicity of twenty-four insecticides to earthworm, *Eisenia fetida*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2012, 79:122-128.
- [17] Tišler T, Jemec A, Mozetic B, et al. Hazard identification of imidacloprid to aquatic environment[J]. *Chemosphere*, 2009, 76:907-914.
- [18] Zhang Z Y, Yu X Y, Wang D L, et al. Acute toxicity to zebrafish of two organophosphates and four pyrethroids and their binary mixtures[J]. *Pest Management Science*, 2010, 66:84-89.
- [19] Scholz S, Fischer S, Gündel U, et al. The zebrafish embryo model in environmental risk assessment— applications beyond acute toxicity testing [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2008, 15(5):394-404.
- [20] Embry M R, Belanger S E, Braunbeck T A, et al. The fish embryo toxicity test as an animal alternative method in hazard and risk assessment and scientific research[J]. *Aquatic Toxicology*, 2010, 97:79-87.
- [21] Gomez-Eyles J L, Svendsenb C, Lister L, et al. Measuring and modelling mixture toxicity of imidacloprid and thiacloprid on *Caenorhabditis elegans* and *Eisenia fetida*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, 72:71-79.
- [22] Fernández-Gómez M J, Romero E, Nogales R. Impact of imidacloprid residues on the development of *Eisenia fetida* during vermicomposting of greenhouse plant waste[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 192:1886-1889.
- [23] Scheil V, Köhler H. Influence of nickel chloride, chlorpyrifos, and imidacloprid in combination with different temperatures on the embryogenesis of the Zebrafish *danio rerio*[J]. *Archives of Environment Contamination and Toxicology*, 2009, 56:238-243.