

不同剂型苯醚甲环唑和嘧菌酯及其原药对斑马鱼的急性毒性评价

张国福¹, 李本杰¹, 王金花², 夏晓明^{1*}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 农药环境毒理研究中心, 农药毒理与应用技术省级重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘要:为评价不同剂型农药对水生生物的毒性影响, 采用半静态试验法, 测定了不同剂型苯醚甲环唑和嘧菌酯及其原药对斑马鱼的急性毒性效应。结果表明, 95%苯醚甲环唑原药、3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂、400 g·L⁻¹苯醚甲环唑悬浮剂和60%苯醚甲环唑水分散粒剂对斑马鱼96 h的LC₅₀值与95%置信限(括号内)分别为1.05(0.93~1.13)、1.34(1.26~1.39)、1.44(1.37~1.52)、2.72(2.68~2.76) a.i.mg·L⁻¹; 93%嘧菌酯原药、10%嘧菌酯悬浮种衣剂、25%嘧菌酯悬浮剂和50%嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼96 h的LC₅₀值与95%置信限(括号内)分别为0.67(0.64~0.72)、0.88(0.85~0.92)、1.03(0.98~1.07)、1.60(1.10~1.81) a.i.mg·L⁻¹。依据《化学农药环境安全评价试验准则》, 不同剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的急性毒性级别均为中毒; 25%嘧菌酯悬浮剂和50%嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼的急性毒性级别为中毒; 93%嘧菌酯原药和10%嘧菌酯悬浮种衣剂对斑马鱼的急性毒性级别为高毒。上述结果表明, 不同剂型苯醚甲环唑和嘧菌酯及其原药对斑马鱼的急性毒性存在差异, 毒性从高到低依次为: 原药、悬浮种衣剂、悬浮剂、水分散粒剂。

关键词: 苯醚甲环唑; 嘧菌酯; 剂型; 斑马鱼; 急性毒性

中图分类号: X820.3 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)11-2125-06 doi:10.11654/jaes.2014.11.008

Acute Toxicity of Technical Material and Different Formulations of Difenoconazole and Azoxystrobin to Zebrafish

ZHANG Guo-fu¹, LI Ben-jie¹, WANG Jin-hua², XIA Xiao-ming^{1*}

(1. College of Plant Protection, Research Center of Pesticide Environmental Toxicology, Key Laboratory of Pesticide Toxicology & Application Technique, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China; 2. College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: Different formulations of pesticides show various toxicities to organisms. In this study, an acute toxicity experiment was conducted to evaluate the ecological risks of technical material and different formulations of difenoconazole and azoxystrobin to adult zebrafish using semi-static test. The 96 h LC₅₀ values and 95% confidence limits for 95% difenoconazole technical material (TC), 3% difenoconazole flowable concentrate for seed coating (FS), 400 g·L⁻¹ difenoconazole aqueous suspension concentrate (SC), and 60% difenoconazole water dispersible granule (WG) for adult zebrafish were 1.05 and 0.93~1.13, 1.34 and 1.26~1.39, 1.44 and 1.37~1.52, and 2.72 and 2.68~2.76 a.i.mg·L⁻¹, respectively. Those of 93% azoxystrobin technical material (TC), 10% azoxystrobin flowable concentrate for seed coating (FS), 25% azoxystrobin aqueous suspension concentrate (SC), and 50% azoxystrobin water dispersible granule (WG) for adult zebrafish were respectively 0.67 and 0.64~0.72, 0.88 and 0.85~0.92, 1.03 and 0.98~1.07, and 1.60 and 1.10~1.81 a.i.mg·L⁻¹. According to the Experimental Guideline for Environmental Safety Evaluation of Chemical Pesticides, the toxicity of TC and different formulations of difenoconazole and that of 25% azoxystrobin SC and 50% azoxystrobin WG to adult zebrafish were moderate, while that of 93% azoxystrobin TC and 10% azoxystrobin FS was high. These results indicate that the toxicity of TC and different formulations of difenoconazole and azoxystrobin to adult zebrafish is different, being TC>FS>SC>WG.

Keywords: difenoconazole; azoxystrobin; formulation; zebrafish; acute toxicity

收稿日期: 2014-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(21377075, 31301695)

作者简介: 张国福(1986—), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要研究方向为农药毒理与环境毒理。E-mail: zhangguofu1230@163.com

* 通信作者: 夏晓明 E-mail: xxm@sdaa.edu.cn

苯醚甲环唑(Difenoconazole)属三唑类内吸性杀菌剂,是甾醇脱甲基化抑制剂,广谱、高效、持效期长,具有良好的内吸性,同时具有很强的预防治疗保护作用^[1]。嘧菌酯(Azoxystrobin)是一类新型甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂,具有高效、广谱、保护、治疗、铲除、渗透、内吸活性等特点,可用于茎叶、种子处理,也可以进行土壤处理^[2]。目前,苯醚甲环唑和嘧菌酯均被广泛应用于谷物、水稻、蔬菜和果树等多种病害的防治,且对作物具有很高的安全性^[3-5]。

农药在施用过程中由于喷洒和流失会进入附近的土壤和水体环境中^[6],从而进一步污染土壤和水体,并引起土壤和水体中非靶标生物的中毒或死亡^[7]。目前,随着苯醚甲环唑和嘧菌酯的广泛应用,尤其是在水稻田中的大面积应用,使得水生生态系统面临这两种杀菌剂的污染程度也越来越严重^[8]。已有研究表明,苯醚甲环唑^[9]和嘧菌酯^[10]极易进入水体中,并累积浓度较高,且这种形式在亚洲国家的水稻田中更为严峻^[3,11]。生态毒性效应研究结果也表明,0.50 a.i.mg·L⁻¹的苯醚甲环唑使斑马鱼的体色显著加黑、心率降低^[12-13];0.19 a.i.mg·L⁻¹的嘧菌酯严重抑制大型蚤的生长^[10,14],两种杀菌剂对水生生物的毒性均较高。

急性毒性试验是评价农药对非靶标生物毒性强弱的重要手段,也可以为长期毒性试验、致突变试验、生殖毒性试验等试验设计提供剂量选择依据和有关毒性信息^[15]。在我国农药登记资料规定中,急性毒性试验数据也是申请农药登记的基本环境试验资料,同时也是开展农药环境风险评估的重要端点数据^[16]。目前,在农药环境风险评估中,斑马鱼是开展农药对鱼类急性毒性试验的重要生物材料,也是表征农药对水环境中非靶标生物影响的模式生物^[17]。

相同原药制成不同剂型后,由于所用助剂的差异,农药药效以及在植株上的分布、消解动态、环境行为和毒理等均不相同^[18]。目前,市场上苯醚甲环唑和嘧菌酯的单剂剂型主要有水分散粒剂、悬浮剂和悬浮种衣剂等。尽管这两种杀菌剂对斑马鱼的急性毒性研究已有报道,但这些研究结果主要以原药或某一剂型为主,不同剂型对于水生生物的毒性报道比较鲜见。本文采用半静态法研究了原药及三种代表性的苯醚甲环唑和嘧菌酯单剂制剂产品对斑马鱼的急性毒性效应,评价其对斑马鱼的生态风险,为这两种杀菌剂的科学合理使用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试农药

95%苯醚甲环唑原药、60%苯醚甲环唑水分散粒剂、400 g·L⁻¹苯醚甲环唑悬浮剂、3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂,93%嘧菌酯原药、50%嘧菌酯水分散粒剂、25%嘧菌酯悬浮剂、10%嘧菌酯悬浮种衣剂,均由山东农业大学农药环境毒理研究中心提供。

1.1.2 供试生物

斑马鱼(*Brachydonio rerio*),购于山东省泰安市其鑫水族馆,体长(1.96±0.20)cm。在试验室条件下驯养7 d以上,每天光照 12~16 h,及时清除粪便及食物残渣,死亡率保持在 5%以下。驯养期间每天喂食 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。

1.2 试验方法

1.2.1 参比试验

以斑马鱼为生物试材,进行分析纯的重铬酸钾参比试验,参比物质重铬酸钾对斑马鱼 24 h 的 LC₅₀ 值

表 1 不同剂型苯醚甲环唑和嘧菌酯及其原药试验浓度
Table 1 Tested concentrations of technical material and different formulations of difenoconazole and azoxystrobin

药剂	试验浓度/a.i.mg·L ⁻¹						
	1	2	3	4	5	6	7
95%苯醚甲环唑原药	1.00	1.12	1.25	1.40	1.57	1.76	1.97
3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂	1.15	1.28	1.42	1.57	1.75	1.94	2.15
400 g·L ⁻¹ 苯醚甲环唑悬浮剂	1.20	1.33	1.48	1.64	1.82	2.02	2.24
60%苯醚甲环唑水分散粒剂	2.60	2.65	2.71	2.76	2.81	2.87	2.93
93%嘧菌酯原药	0.50	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.71
10%嘧菌酯悬浮种衣剂	0.60	0.67	0.75	0.84	0.94	1.06	1.18
25%嘧菌酯悬浮剂	0.70	0.77	0.85	0.93	1.02	1.13	1.24
50%嘧菌酯水分散粒剂	1.20	1.38	1.59	1.83	2.10	2.41	2.78

应处于 200~400 a.i.mg·L⁻¹。

1.2.2 急性毒性试验

参照 OECD 试验准则^[19]和国家环保部颁布的《化学农药环境安全评价试验准则》^[20],采用半静态法测定各农药制剂和原药对斑马鱼的急性毒性。根据预试验结果,按一定比例间距(级差应控制在 2.2 倍以内)设置 7 个试验浓度组,见表 1。先用蒸馏水将制剂稀释后得到母液(原药先用丙酮溶解配制成母液),依次用移液枪量取适量母液,置于装有 2 L 水的鱼缸内,搅拌均匀,最后定容至 4 L(原药用含有 0.1%的吐温 80 水溶液稀释),搅拌均匀即得所设定浓度。以不加药为空白对照,原药还要加设一个含有丙酮的 0.1%吐温 80 水溶液作为溶剂对照(最高设定浓度中含的丙酮量)。每个处理 3 次重复,每重复 10 尾鱼,每隔 24 h 更换一次药液,试验期间不给食。试验开始后 6 h 内随时观察并记录试验用鱼的中毒症状及死亡数,其后分别于 24、48、72、96 h 观察并记录试验用鱼的中毒症状及死亡数,及时清除死鱼。用玻璃棒轻触鱼尾部无可见运动即可判定为死亡。

试验用水为存放并去氯处理 24 h 以上的自来水, pH 值为 7~8,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 (23±1)℃。

1.3 数据处理

试验结果用 DPS V13.5 统计软件处理,计算供试药剂对斑马鱼 24、48、72、96 h 的半致死浓度(LC₅₀)值

和 95%置信限。

根据各药剂对斑马鱼 96 h 的 LC₅₀ 值,参考国家环保部《化学农药环境安全评价试验准则》^[20]对各药剂的毒性级别进行划分:低毒,LC₅₀>10 a.i.mg·L⁻¹;中毒,1.0 a.i.mg·L⁻¹<LC₅₀≤10 a.i.mg·L⁻¹;高毒,0.1 a.i.mg·L⁻¹<LC₅₀≤1.0 a.i.mg·L⁻¹;剧毒,LC₅₀≤0.1 a.i.mg·L⁻¹。

2 结果与分析

2.1 参比试验

为验证试验方法的有效性,以斑马鱼为生物试材进行分析纯的重铬酸钾试验,测定结果表明 24 h 的 LC₅₀ 值为 313 a.i.mg·L⁻¹,95%置信限为 234~335 a.i.mg·L⁻¹。试验结果在《化学农药环境安全评价试验准则》要求范围内,表明试验试材和体系符合要求,试验结果可靠。

2.2 不同剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的急性毒性效应

半静态测定结果显示,染毒后 24 h 内,不同剂量的苯醚甲环唑均可引起斑马鱼中毒和死亡现象。剂量越高,中毒症状出现越早,症状越明显,中毒斑马鱼出现反应迟缓、游速减慢、鳃部发红、侧游等症状。剂量越高,染毒时间越长,斑马鱼的死亡数也越多,死亡斑马鱼出现鱼体发白、身体弯曲、腹部肿大、鱼鳍张开、腮部淤血等症状,并沉于水底。

三种剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的急性毒

表 2 不同剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的急性毒性试验结果
Table 2 Acute toxicity of TC and different formulations of difenoconazole to zebrafish

药剂	药后时间/h	毒力回归方程	LC ₅₀ /a.i.mg·L ⁻¹	95%置信区间/a.i.mg·L ⁻¹	P 值	毒性级别
95%苯醚甲环唑原药	24	y=2.466+5.986x	2.41	2.05~6.21	0.850 1	中毒
	48	y=4.176+7.065x	1.31	1.22~1.39	0.993 1	
	72	y=4.693+7.685x	1.10	0.96~1.18	0.996 7	
	96	y=4.827+8.552x	1.05	0.93~1.13	0.998 3	
3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂	24	y=0.756+21.377x	1.58	1.51~1.63	0.981 3	中毒
	48	y=2.912+13.417x	1.43	1.37~1.49	0.986 4	
	72	y=3.336+12.773x	1.35	1.28~1.41	0.971 3	
	96	y=3.358+13.087x	1.34	1.26~1.39	0.991 4	
400 g·L ⁻¹ 苯醚甲环唑悬浮剂	24	y=2.183+10.517x	1.85	1.75~2.05	0.999 4	中毒
	48	y=3.286+8.266x	1.61	1.49~1.73	0.996 7	
	72	y=3.493+8.098x	1.54	1.43~1.64	0.979 2	
	96	y=3.418+9.958x	1.44	1.37~1.52	0.998 1	
60%苯醚甲环唑水分散粒剂	24	y=-19.265+52.322x	2.91	2.88~2.96	0.998 8	中毒
	48	y=-28.065+73.582x	2.81	2.79~2.84	0.995 1	
	72	y=-19.177+55.001x	2.75	2.72~2.78	0.920 6	
	96	y=-15.888+47.995x	2.72	2.68~2.76	0.992 6	

性试验结果见表 2。试验结果表明,随着处理时间的延长,药后 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 值逐渐减小,毒性越来越大。相同处理时间下,三种剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的 LC_{50} 值也不同。95%苯醚甲环唑原药对斑马鱼 96 h 的 LC_{50} 值最小,为 1.05(0.93~1.13)a.i. $mg \cdot L^{-1}$,毒性最大;其次为 3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂和 400 $g \cdot L^{-1}$ 苯醚甲环唑悬浮剂,对斑马鱼 96 h 的 LC_{50} 值分别为 1.34(1.26~1.39)、1.44(1.37~1.52)a.i. $mg \cdot L^{-1}$;60%苯醚甲环唑水分散粒剂对斑马鱼 96 h 的 LC_{50} 值最大,为 2.72(2.68~2.76)a.i. $mg \cdot L^{-1}$,毒性最小,其 96 h LC_{50} 值是 95%苯醚甲环唑原药 96 h LC_{50} 值的 2.59 倍。

尽管三种剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的 LC_{50} 值不同,根据《化学农药环境安全评价试验准则》,95%苯醚甲环唑原药、3%苯醚甲环唑悬浮种衣剂、400 $g \cdot L^{-1}$ 苯醚甲环唑悬浮剂和 60%苯醚甲环唑水分散粒剂对斑马鱼的急性毒性级别均为中毒(表 2)。

2.3 不同剂型嘧菌酯及原药对斑马鱼的急性毒性效应

半静态测定结果显示,不同剂量的嘧菌酯均可引起斑马鱼中毒和死亡现象。剂量越高,中毒症状出现越早,症状越明显,中毒斑马鱼出现鱼鳃发红、浮出水面和游速加快等症状。剂量越高,染毒时间越长,斑马鱼的死亡数也越多,死亡斑马鱼出现鱼体发白、身体弯曲、鱼鳍张开、鳃部淤血等症状,并漂浮在水面。

三种剂型嘧菌酯及原药对斑马鱼的急性毒性试验结果见表 3。结果表明,随着处理时间的延长,药后 24、48、72、96 h 的 LC_{50} 值逐渐减小,毒性越来越大。相同处理时间下,三种剂型及原药对斑马鱼的 LC_{50} 值也不同。93%嘧菌酯原药对斑马鱼 96 h 的 LC_{50} 值最小,为 0.67(0.64~0.72)a.i. $mg \cdot L^{-1}$,毒性最大;其次为 10%嘧菌酯悬浮种衣剂和 25%嘧菌酯悬浮剂,对斑马鱼 96 h 的 LC_{50} 值分别为 0.88(0.85~0.92)、1.03(0.98~1.07)a.i. $mg \cdot L^{-1}$;50%嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼 96 h 的 LC_{50} 值最大,为 1.60(1.10~1.81)a.i. $mg \cdot L^{-1}$,毒性最小,其 96 h LC_{50} 值是 93%嘧菌酯原药 96 h LC_{50} 值的 2.39 倍。

根据《化学农药环境安全评价试验准则》,93%嘧菌酯原药和 10%嘧菌酯悬浮种衣剂对斑马鱼的急性毒性级别为高毒;25%嘧菌酯悬浮剂和 50%嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼的急性毒性级别为中毒(表 3)。

3 讨论

虽然农药对斑马鱼的环境风险取决于毒性效应和环境暴露量两方面的因素,但在目前国内缺乏较为完善的农药环境暴露风险评估模型的情况下,农药对斑马鱼的急性毒性试验数据在一定程度上为农药的风险管理和科学合理用药提供了重要的参考依据^[16]。Mu 等^[13]采用半静态法研究了 96%苯醚甲环唑原药对斑马鱼不同生理阶段的急性毒性,对幼鱼、成鱼和胚

表 3 不同剂型嘧菌酯及原药对斑马鱼的急性毒性试验结果
Table 3 Acute toxicity of TC and different formulations of azoxystrobin to zebrafish

药剂	药后时间/h	毒力回归方程	$LC_{50}/a.i.mg \cdot L^{-1}$	95%置信区间/ $a.i.mg \cdot L^{-1}$	P 值	毒性级别
93%嘧菌酯原药	24	$y=7.280+14.437x$	0.70	0.66~0.79	0.996 4	高毒
	48	$y=7.562+15.402x$	0.68	0.65~0.75	0.999 9	
	72	$y=7.255+13.259x$	0.68	0.65~0.75	0.999 8	
	96	$y=7.557+14.521x$	0.67	0.64~0.72	0.999 6	
10%嘧菌酯悬浮种衣剂	24	$y=5.215+13.874x$	0.96	0.92~1.00	0.998 8	高毒
	48	$y=5.426+13.942x$	0.93	0.89~0.97	0.989 8	
	72	$y=5.657+13.586x$	0.89	0.84~0.93	0.848 1	
	96	$y=5.739+13.475x$	0.88	0.85~0.92	0.893 7	
25%嘧菌酯悬浮剂	24	$y=3.678+18.059x$	1.18	1.15~1.22	0.985 9	中毒
	48	$y=4.091+15.400x$	1.15	1.09~1.20	0.883 4	
	72	$y=4.731+14.076x$	1.05	0.90~1.10	0.854 1	
	96	$y=4.813+13.607x$	1.03	0.98~1.07	0.992 9	
50%嘧菌酯水分散粒剂	24	$y=3.153+6.273x$	1.97	1.67~2.61	0.997 2	中毒
	48	$y=3.133+7.397x$	1.79	1.45~2.02	0.966 3	
	72	$y=3.173+7.683x$	1.73	1.36~1.94	0.988 2	
	96	$y=3.405+7.775x$	1.60	1.10~1.81	0.984 0	

胎的 96 h LC_{50} 值分别为 1.17、1.45、2.34 a.i.mg·L⁻¹。郭晶等^[21]采用静态法测定 95% 苯醚甲环唑原药对斑马鱼成鱼的 96 h LC_{50} 值为 2.43 a.i.mg·L⁻¹。本研究发现, 95% 苯醚甲环唑原药对斑马鱼成鱼的 96 h LC_{50} 值为 1.05 a.i.mg·L⁻¹。尽管不同研究之间结果略有差异,但在毒性分级上没有差异,均为中毒。李鹏鹏^[22]采用静态法测定 50% 嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼成鱼的 96 h LC_{50} 值为 1.746 a.i.mg·L⁻¹。本研究发现 50% 嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼成鱼的 96 h LC_{50} 值为 1.60 a.i.mg·L⁻¹。尽管研究方法不同,但两者研究结果吻合程度较高。

不同制剂之间由于有效成分含量、剂型不同,对斑马鱼的急性毒性存在明显差异。本研究同时比较了苯醚甲环唑和嘧菌酯两种杀菌剂的原药及其不同剂型对斑马鱼的急性毒性,结果表明,不同剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的 96 h LC_{50} 值介于 1.05~2.72 a.i.mg·L⁻¹ 之间,最高是最低的 2.59 倍;不同剂型嘧菌酯及原药对斑马鱼的 96 h LC_{50} 值介于 0.67~1.60 a.i.mg·L⁻¹ 之间,最高是最低的 2.39 倍;制剂的毒性低于原药毒性;不同剂型的毒性从高到低依次为悬浮种衣剂、悬浮剂、水分散粒剂。才冰等^[16]研究也发现,苯醚甲环唑制剂对斑马鱼急性毒性的 96 h LC_{50} 值介于 0.656~3.52 a.i.mg·L⁻¹ 之间,最高是最低的 5.4 倍。并认为水分散粒剂的毒性相对较低,有效成分含量低的制剂相对比含量高的制剂毒性高。

本研究结果表明,根据《化学农药环境安全评价试验准则》,苯醚甲环唑和嘧菌酯原药及其不同制剂对斑马鱼的毒性为中毒或高毒,对水生生物的毒性较大。同时,即使是相同含量、相同剂型、同一有效成分的不同制剂,由于不同生产厂家加工工艺的不同,也会出现毒性级别的差异^[16]。因此,在大田中使用这两种杀菌剂时,应合理选择剂型和产品,并严格控制剂量,尽可能减少这些药剂进入水域对鱼类和其他水体生物造成影响。

4 结论

(1) 苯醚甲环唑和嘧菌酯不同剂型及其原药对斑马鱼的急性毒性不同,毒性从高到低依次为:原药、悬浮种衣剂、悬浮剂、水分散粒剂。

(2) 不同剂型苯醚甲环唑及原药对斑马鱼的急性毒性级别均为中毒;25% 嘧菌酯悬浮剂和 50% 嘧菌酯水分散粒剂对斑马鱼的急性毒性级别为中毒,而 93% 嘧菌酯原药和 10% 嘧菌酯悬浮种衣剂对斑马鱼的急

性毒性级别为高毒。说明苯醚甲环唑和嘧菌酯对水生生物毒性较大,在田间应选择合适产品并正确使用。

参考文献:

- [1] Munkvold G P, Dixon P M, Shriver J M, et al. Probabilities for profitable fungicide use against gray leaf spot in hybrid maize[J]. *Phytopathology*, 2001, 91(5):477-484.
- [2] Bartlett D W, Clough J M, Godwin J R, et al. The strobilurin fungicides[J]. *Pest Management Science*, 2002, 58(7):649-662.
- [3] 张志勇, 王冬兰, 张存政, 等. 苯醚甲环唑在水稻和稻田中的残留[J]. *中国水稻科学*, 2011, 25(3):339-342.
- [4] ZHANG Zhi-yong, WANG Dong-lan, ZHANG Cun-zheng, et al. Difenconazole residues in rice and paddy system[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2011, 25(3):339-342.
- [5] 谢惠, 龚道新. 嘧菌酯在稻田水、土壤及水稻植株中的残留降解行为[J]. *湖南农业科学*, 2013(1):80-83.
- [6] XIE Hui, GONG Dao-xin. Degradation behavior of azoxystrobin residue in water and soil in paddy field and rice plant[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013(1):80-83.
- [7] 金丽华, 陈长军, 王建新, 等. 嘧菌酯及 SHAM 对 4 种植物病原真菌的活性和作用方式研究[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10):2206-2213.
- [8] JIN Li-hua, CHEN Chang-jun, WANG Jian-xin, et al. Activity of a-azoxystrobin and SHAM of four plant pathogens[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10):2206-2213.
- [9] Jacobson A R, Dousset S, Guichard N, et al. Diuron mobility through vineyard soils contaminated with copper[J]. *Environmental Pollution*, 2005, 138(2):250-259.
- [10] Frankart C, Eullaffroy P, Vernet G. Photosynthetic responses of *Lemna minor* exposed to xenobiotics, copper, and their combinations[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2002, 53(3):439-445.
- [11] Gopinath K, Radhakrishnan N V, Jayaraj J. Effect of propiconazole and difenconazole on the control of anthracnose of chilli fruits caused by *Colletotrichum capsici*[J]. *Crop Protection*, 2006, 25(9):1024-1031.
- [12] Latiff KA, Bakar N K A, Isa N M. Preliminary study of difenconazole residues in rice paddy watersheds[J]. *Malaysian Journal of Science*, 2010, 29(1):73-79.
- [13] Gustafsson K, Blidberg E, Eifgren I K, et al. Direct and indirect effects of the fungicide azoxystrobin in outdoor brackish water microcosms[J]. *Ecotoxicology*, 2010, 19(2):431-444.
- [14] Satapornvanit K, Baird D J, Little D C, et al. Risks of pesticide use in aquatic ecosystems adjacent to mixed vegetable and monocrop fruit growing areas in Thailand[J]. *Australasian Journal of Ecotoxicology*, 2004, 10(1):85-95.
- [15] Hinfray N, Porcher J, Brion F. Inhibition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) P450 aromatase activities in brain and ovarian microsomes by various environmental substances[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 2006, 144(3):252-262.
- [16] Mu X Y, Pang S, Sun X Z, et al. Evaluation of acute and developmental effects of difenconazole via multiple stage zebrafish assays[J]. *Environmental Pollution*, 2013, 175(4):147-157.

- [14] Ochoa-Acuña H G, Bialkowskil W, Yale G, et al. Toxicity of soybean rust fungicides to freshwater algae and *Daphnia magna*[J]. *Ecotoxicology*, 2009, 18(4):440-446.
- [15] 陈爱梅, 王金花, 夏晓明, 等. 不同剂型吡虫啉对蚯蚓和斑马鱼的急性毒性评价[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(9):1758-1763.
CHEN Ai-mei, WANG Jin-hua, XIA Xiao-ming, et al. Acute toxicity of imidacloprid with different formulation on zebrafish[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(9):1758-1763.
- [16] 才冰, 袁善奎, 曲蕊蕊, 等. 360种农药制剂对斑马鱼的急性毒性研究[J]. 农药科学与管理, 2011, 32(1):31-34.
CAI Bing, YUAN Shan-kui, QU Meng-meng, et al. Study on the acute toxicity of 360 formulated pesticides to *Brachydanio rerio*[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2011, 32(1):31-34.
- [17] Sipes N S, Padilla S, Knudsen T B. Zebrafish: As an integrative model for twenty-first century toxicity testing[J]. *Birth Defects Research*, 2011, 93(3):256-267.
- [18] 刘金凤, 吴慧明, 马新生, 等. 2种不同剂型阿维菌素在土壤和田水中的消解动态[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(4):766-770.
LIU Jin-feng, WU Hui-ming, MA Xin-sheng, et al. Degradation of two different formulations of Abamectin in paddy soil and paddy water[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(4):766-770.
- [19] OECD. Fish, acute toxicity test. OECD guideline for testing of chemicals 203[S]. 1992.
- [20] 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.
CAI Dao-ji. Testing guidelines of assessing environmental safety of chemical pesticides[M]. Beijing: State Environmental Protection Administration of China, 2004.
- [21] 郭晶, 宋文华, 丁峰, 等. 三唑类杀菌剂对斑马鱼急性毒性研究[J]. 东南大学学报(医学版), 2010, 29(4):402-406.
GUO Jing, SONG Wen-hua, DING Feng, et al. Acute toxicity study on zebrafish (*Danio rerio*) exposure to triazole fungicides[J]. *Journal of Southeast University (Medical Science Edition)*, 2010, 29(4):402-406.
- [22] 李鹏鹏. 6种杀菌剂对斑马鱼急性毒性评价及中毒症状观察[J]. 世界农药, 2012, 34(4):44-46.
LI Peng-peng. The acute toxicity assessment on zebrafish of six fungicides and poisoning symptoms observation[J]. *World Pesticides*, 2012, 34(4):44-46.

欢迎订阅 2015 年《农业资源与环境学报》

《农业资源与环境学报》*Journal of Agricultural Resources and Environment* 是由农业部主管, 农业部环境保护科研监测所、中国农业生态环境保护协会联合主办的科技期刊。被评为中国科技核心期刊、天津市优秀期刊。本刊被美国乌利希期刊指南、化学文摘(CA)、国际农业与生物科学中心(CABI)、中国学术文摘数据库核心版(CSAD)等重要数据库收录。

《农业资源与环境学报》主要报道交流农业资源、农业环境等领域新理论新技术新方法和实践经验, 为促进农业资源与环境学科发展提供理论技术支持。

主要栏目有: 一、战略与综述; 二、土地资源; 三、养分资源; 四、水资源; 五、生物质资源; 六、产地环境与农产品安全; 七、生态农业; 八、生物多样性保护; 九、乡村环境; 十、检测分析方法。

《农业资源与环境学报》为双月刊, 大 16 开, 96 页, 逢双月 25 日出版, 每册定价 30.00 元, 全年 180.00 元。国际标准刊号: ISSN 2095-6819, 国内统一刊号: CN 12-1437/S, 国内外公开发行, 各地邮电局(所)均可订阅, 邮发代号: 6-40, 国外发行代号: BM3272。有漏订者可直接与编辑部联系订阅。

编辑部地址: 天津市南开区复康路 31 号
电话: 022-23611149 传真: 022-23674336
网址: www.aed.org.cn

邮政编码: 300191
电子信箱: caed@vip.163.com