

◆ 残留与环境 ◆

4种稻田常用杀虫剂对克氏原螯虾的急性毒性研究

朱志峰, 李月辉, 张慧*, 邹萌, 王婧, 梁玎玎

(北京依科世福科技有限公司, 北京 100012)

摘要:采用静态试验方法,研究了4种稻田常用杀虫剂对克氏原螯虾的急性毒性效应。试验结果表明,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、氟啶虫酰胺对克氏原螯虾的 LC_{50} (以实测浓度计)分别为 3.36×10^{-2} 、 >1.09 、 5.43×10^{-3} 、 >96.0 mg/L。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威对克氏原螯虾为剧毒,氯虫苯甲酰胺(以理论浓度计)、氟啶虫酰胺为低毒。在稻虾共作、蟹-虾-稻共作田等应避免使用甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、茚虫威2种杀虫剂。

关键词:克氏原螯虾;甲氨基阿维菌素苯甲酸盐;氯虫苯甲酰胺;茚虫威;氟啶虫酰胺;急性毒性

中图分类号:TQ 450.2+6 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-5284.2025.05.008

Acute toxicity of four insecticides used in rice field to *Procambarus clarkii*

ZHU Zhifeng, LI Yuehui, ZHANG Hui*, ZOU Meng, WANG Jing, LIANG Dingding

(Beijing ECO-SAF Technology Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: The acute toxic effects of four insecticides used in rice field to *Procambarus clarkii* were studied by static test. The results showed that the LC_{50} of emamectin benzoate, chlorantraniliprole, indoxacarb, flonicamid were 3.36×10^{-2} , >1.09 , 5.43×10^{-3} , >96.0 mg/L based on measured concentration, respectively. Emamectin benzoate and indoxacarb showed hyper toxicity to *Procambarus clarkii*, chlorantraniliprole showed low toxicity based on nominal concentration, and flonicamid showed low toxicity. The use of emamectin benzoate, indoxacarb should be avoided in rice-shrimp co-breeding and turtle-shrimp-rice co-breeding fields.

Key words: *Procambarus clarkii*; emamectin benzoate; chlorantraniliprole; indoxacarb; flonicamid; acute toxicity

克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*),也称淡水小龙虾,隶属于节肢动物门、甲壳纲、十足目、螯虾科、淡水螯虾属,为杂食性动物^[1]。其广泛分布在亚洲、非洲、欧洲和南美温暖的淡水水域,如江河、湖泊、池塘、稻田、水生作物田等。因味道鲜美、营养丰富,克氏原螯虾近年来在中国已成为重要的经济养殖物种^[2]。

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(emamectin benzoate)是抗生素类杀虫剂,主要以触杀和胃毒作用为主^[3]。氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)是邻甲酰胺基苯甲酰胺类杀虫剂,对非靶标生物安全性高^[4]。茚虫威

(indoxacarb)是兼具噁二嗪结构的氨基甲酸酯类杀虫剂,具有触杀和胃毒作用,无内吸活性^[5]。氟啶虫酰胺(flonicamid)是吡啶酰胺类杀虫剂,具有触杀和胃毒作用,对刺吸式口器害虫产生快速拒食活性和神经毒性^[6]。上述4种农药常用于水稻,防治二化螟、三化螟、稻纵卷叶螟、稻飞虱、稻水象甲等害虫。

为促进水稻种植经济与生态循环农业发展,稻虾共作^[7]、蟹-虾-稻种养^[8]、河蟹-虾共作^[9]、龙虾-泥鳅轮作^[10]等种养模式在实际生产中逐渐开始应用。吴碧球等^[11-18]研究了多种稻田常用杀虫剂、杀菌剂、除草剂对克氏原螯虾的急性毒性。甲氨基阿维菌素

收稿日期:2023-11-28

作者简介:朱志峰(1990—),男,湖北天门人,硕士,农艺师,从事农药环境影响试验工作。E-mail:zzf031107@163.com

通信作者:张慧(1991—),女,山东阳谷人,硕士,从事农药环境影响试验工作。E-mail:zhanghuiyanggu@163.com

苯甲酸盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威和氟啶虫酰胺对克氏原螯虾的毒性研究相对较少。本文以克氏原螯虾为受试生物,研究了上述4种杀虫剂的急性毒性,以期为4种农药的安全使用及环境风险评估提供参考和依据。

1 材料和方法

1.1 供试农药

95%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药、90%茚虫威原药、95%氟啶虫酰胺原药,由山东京博农化科技股份有限公司提供,95%氯虫苯甲酰胺原药,由淮安国瑞化工有限公司提供。原药分别用丙酮进行溶解,配制成10 g/L的母液备用。

1.2 供试生物

抱卵的克氏原螯虾(*Procambarus clark*) 采自湖北省洪湖市大沙湖稻田附近池塘,在实验室内使用曝气48 h以上的自来水饲养。幼虾出生后,用新鲜豆渣饲喂至平均体长(连尾)约2.5 cm后,选择大小一致、健康的幼虾进行急性毒性试验。

1.3 试验方法

参照GB/T 31270.21—2014,试验用水为曝气48 h以上的自来水,水质硬度在10~250 mg/L,pH为6.0~8.5,溶解氧不低于空气饱和值的60%^[19]。

采用静态试验方法。预实验中,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、茚虫威质量浓度设置为0.01、0.10、1.00、10.00 mg/L,氯虫苯甲酰胺、氟啶虫酰胺质量浓度设置为0.10、1.00、10.00、100.00 mg/L。处理组放入10尾虾,不设重复,观察并记录受试虾48 h和96 h的死亡情况和中毒症状。根据预实验结果,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威均设置5个质量浓度处理组、1个空白对照组。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的质量浓度为0.40、0.66、1.09、1.80、2.96 mg/L,茚虫威的质量浓度为0.80、1.38、2.37、4.07、7.00、12.00 mg/L。预实验结果显示,氯虫苯甲酰胺和氟啶虫酰胺的4个

质量浓度处理组中试验用虾均未发生死亡现象。因此,按限度试验设置了1个处理组,质量浓度为100 mg/L。将受试农药用曝气水配制成系列浓度梯度药液,以12 L曝气水为空白对照,以加入0.6 mL丙酮的曝气水(12 L)作为溶剂对照。试验容器为20 L玻璃缸,每个处理组设3次重复。每重复10尾虾,试验开始后6 h、24 h、48 h、72 h和96 h观察并记录受试虾的中毒症状及死亡情况。每天测定并记录试验溶液的温度、pH及溶解氧。

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、茚虫威采用超高效液相色谱质谱联用仪(Waters Xevo TQ-S Micro)检测,色谱柱为ACQUITY UPLC BEH C₁₈(2.1 mm×50 mm,1.7 μm),进样体积5 μL,柱温40℃。流动相为乙腈+0.01%甲酸水溶液,梯度洗脱,流速0.4 mL/min。氯虫苯甲酰胺、氟啶虫酰胺采用高效液相色谱仪(岛津LC20-AT)检测,色谱柱InertSustain C₁₈(4.6 mm×150 mm,5 μm),柱温40℃,流动相为甲醇+水(体积比为65:35),流速0.9 mL/min。

分别于试验开始后0 h、48 h和96 h采集水样,经0.45 μm聚四氟乙烯滤膜过滤。取2 mL样品于离心管中,加入2 mL乙腈,混匀后置于多管旋涡混合器中,以2 500 r/min振荡2 min,加入适量氯化钠,再置于多管旋涡混合器中,以2 500 r/min振荡2 min。离心分层,收集上层有机相,经0.22 μm有机尼龙滤膜过滤,测定供试农药的浓度。

1.4 数据处理

应用SPSS 25.0软件对试验结果进行Probit分析,得到供试农药(以实测浓度几何平均值计算)对克氏原螯虾的毒力回归方程及相关系数(R)、致死中浓度(LC₅₀)及95%置信区间。

2 结果与分析

4种农药对克氏原螯虾的急性毒性试验结果见表1。

表 1 4 种农药对克氏原螯虾的急性毒性

药剂	处理时间	回归方程	R ²	LC ₅₀ /(mg/L)	95%置信限/(mg/L)
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	96 h	y=4.874+3.307x	0.988	3.36 × 10 ⁻²	2.98 × 10 ⁻² ~3.75 × 10 ⁻²
	48 h			>1.08	
氯虫苯甲酰胺	96 h	y=4.928+2.175x	0.959	>1.09	4.72 × 10 ⁻³ ~6.29 × 10 ⁻³
	96 h			>1.09	
茚虫威	96 h	y=4.928+2.175x	0.959	5.43 × 10 ⁻³	4.72 × 10 ⁻³ ~6.29 × 10 ⁻³
	48 h			>94.8	
氟啶虫酰胺	96 h	y=4.928+2.175x	0.959	>96.0	4.72 × 10 ⁻³ ~6.29 × 10 ⁻³
	96 h			>96.0	

以实测浓度计,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、氟啶虫酰胺对克氏原螯虾的

LC₅₀(96 h)分别为3.36 × 10⁻² mg/L、>1.09 mg/L、5.43 × 10⁻³ mg/L、>96.0 mg/L,空白对照组和溶剂组

克氏原螯虾全部存活。研究表明,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威对克氏原螯虾毒性为剧毒。氯虫苯甲酰胺(以理论浓度计)和氟啶虫酰胺对克氏原螯虾的毒性为低毒,不同药剂间的毒性差异较大。

采用超高效液相色谱质谱联用仪和高效液相色谱仪测定实际水样中甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、茚虫威、氯虫苯甲酰胺、氟啶虫酰胺的质量浓度,结果见表2。

表2 不同时间4种农药在溶液中的质量浓度

药剂	质量浓度/(mg/L)		浓度变化率/%
	0 h	96 h	
甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	1.000×10^{-2}	8.910×10^{-3}	-10.9
	0.228	0.218	-4.39
氯虫苯甲酰胺	1.060	1.110	+4.50
茚虫威	1.710×10^{-3}	1.520×10^{-3}	-11.1
	3.030×10^{-2}	2.430×10^{-2}	-19.8
氟啶虫酰胺	93.200	98.400	+5.28

由表2可知,水样中甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯虫苯甲酰胺、茚虫威、氟啶虫酰胺在0~96 h时,质量浓度变化率绝对值均小于20%,符合毒性试验要求。

3 讨论

本研究结果显示,4种药剂对克氏原螯虾的毒性从高到低顺序为:茚虫威>甲氨基阿维菌素苯甲酸盐>氯虫苯甲酰胺>氟啶虫酰胺。根据参考文献[19]中对大型甲壳类的毒性分级标准,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威对克氏原螯虾的急性毒性为剧毒,氟啶虫酰胺为低毒。氯虫苯甲酰胺以理论浓度计属低毒,以实测浓度计不宜定级。

已有研究表明,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油对斑马鱼的 LC_{50} (96 h) 为0.113 mg/L、对蝌蚪的 LC_{50} (48 h) 为0.264 mg/L^[20],对雌、雄日本虎斑猛水蚤的 LC_{50} (96 h) 分别为7 156、3 637 μ g/L,对宽体金线蛭的 LC_{50} (96 h) 为0.192 mg/L,对泥鳅的 LC_{50} (96 h) 为6.765 mg/L^[20-23]。2%氯虫苯甲酰胺乳油对草鱼、异育银鲫、锦鲤、鲢、鳙、黄鳝、黄颡鱼和小龙虾的理论 LC_{50} 分别为122.9、111.5、61.3、98.5、91.8、48.6、68.1、75.2 mg/L^[12]。氯虫苯甲酰胺对鲤鱼幼苗、斑马鱼、中华绒螯蟹幼蟹和成蟹的 LC_{50} (96 h) 分别为130.42 mg/L、10.2 mg/L、552.7 mg/L和286.4 mg/L^[24-26]。有关茚虫威和氟啶虫酰胺对水生生物毒性的报道相对较少,仅见于瑞鲜等^[27]报道了茚虫威对斑马鱼的 LC_{50}

(96 h) 为0.374 mg/L。与上述文献结果相比,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威对克氏原螯虾的急性毒性相对较高,氯虫苯甲酰胺对克氏原螯虾的急性毒性则与盛银平等^[12]报道的结论相似。4种农药对克氏原螯虾急性毒性的差异可能是由农药的作用机制不同所决定。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐通过增强谷氨酸门控氯离子通道的活性,导致神经肌肉系统过度兴奋,而甲壳类动物的神经系统对此类作用更为敏感,该机制可能加剧了毒性效应。氯虫苯甲酰胺对克氏原螯虾的低毒性可能与其作用靶标鱼尼丁受体在甲壳类动物中的表达差异有关。氟啶虫酰胺对克氏原螯虾的低毒性则与其作用机理(抑制昆虫取食和神经传导)的非特异性有关,且在环境浓度下难以达到致死阈值。此外,毒性差异还可能与试验生物的发育阶段有关。Leung等^[28]研究表明,百草枯对克氏原螯虾幼虾的毒性高于成虾。本研究选用体长约2.5 cm的幼虾,其代谢系统尚未发育完全,可能对部分农药更为敏感。

农药对生物的生态风险需要综合考量急性毒性、慢性毒性以及在环境中的暴露水平等多方面因素。由于大多数农药在水体中的溶解度较低,且易被水中的悬浮物和沉积物等吸附,其急性毒性试验结果难以反映出农药对水生生物的慢性毒性。本研究仅评估了氯虫苯甲酰胺等4种农药对克氏原螯虾的急性毒性,后续有必要开展农药对克氏原螯虾的慢性毒性试验和田间实际暴露浓度研究,从而系统、准确地评价农药对克氏原螯虾的生态风险。建议在稻虾共作、鳖-虾-稻共作等新型水稻种植模式中避免使用甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、茚虫威2种杀虫剂,以实现害虫防控与生态安全的平衡。

参考文献

- [1] 赵明森. 淡水小龙虾的生物学特性及其养殖技术[J]. 渔业致富指南, 2006(18): 37-40.
- [2] 朱玉芳, 崔勇华, 戈志强, 等. 重金属元素在克氏原螯虾体内的生物富集作用[J]. 水利渔业, 2003, 23(1): 11-12.
- [3] 郝丽霞, 李波, 李慧明, 等. 25%溴氰虫酰胺·甲氨基阿维菌素苯甲酸盐悬浮剂配方的研究[J]. 农药科学与管理, 2021, 42(12): 47-51.
- [4] 徐尚成, 俞幼芬, 王晓军, 等. 新杀虫剂氯虫苯甲酰胺及其研究开发进展[J]. 现代农药, 2008, 7(5): 8-11.
- [5] 刘长令. 新型高效杀虫剂茚虫威[J]. 农药, 2003, 42(2): 42-44.
- [6] 仇是胜, 柏亚罗, 顾林玲. 氟啶虫酰胺的研究开发及市场前景[J]. 现代农药, 2014, 13(5): 6-11.
- [7] 顾玲玲, 李宏伟, 安树伟, 等. 稻虾共作种养生态模式及技术应用[J]. 中国水产, 2017(11): 91-92.

(下转第 51 页)

肥撒施50%异丙隆WP 1 200 g/hm²+50%丙草胺EC 450 mL/hm²+80%丙炔噁草酮WP 75 g/hm²处理杂草,对旱直播稻田稗属杂草、千金子、鳢肠、鸭舌草、多花水苋、异型莎草及总草株防效均在95%以上,且对旱直播水稻安全,具有高效、安全、施药简便等优点,应用前景较好。

稻田除草剂药效发挥易受土壤墒情、田块平整度、保水性能等因素的影响。本试验中,水稻播后苗前、跑马水落干后第2天喷施封闭除草剂,田间土壤湿度相对较高,且药后10 d内天气以阴雨为主,利于封闭药效的充分发挥。水稻播后22 d,撒施药肥时田间建有浅水层,田块平整且保水性能好,药后10 d内天气以阴雨天气为主,为药效的充分发挥提供了有利条件。在进一步推广应用除草技术时,应在整田时尽量做到田间土壤平整,提高保水性能,播后苗前施药时要提高土壤墒情,苗后二封施药时要建立浅水层,以刚好完全覆盖土表,不淹没秧心为宜,有利于促进药效的充分发挥。

参考文献

- [1] 杨建昌, 张建华. 水稻高产节水灌溉[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [2] 张自常, 谷涛, 李永丰, 等. 10%唑·氟氯+480 g/L灭草松对旱直播稻田杂草防除和水稻产量的影响[J]. 杂草学报, 2019, 37(4): 50-55.
- [3] 谷岩, 梁爽, 侯志广, 等. 液相色谱法测定苄嘧磺隆和仲丁灵在水稻中的贮存稳定性[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 154-158.
- [4] 谷岩. 苄嘧磺隆和仲丁灵在水稻残留样品中的贮存稳定性研究

(上接第 41 页)

- [8] 马达文, 程成立, 汤亚斌, 等. 湖北省鳖虾稻高效生态种养模式研究[J]. 中国水产, 2012(4): 50-52.
- [9] 刘本凤. 河蟹与克氏原螯虾池塘生态套养技术[J]. 养殖与饲料, 2007(6): 32-34.
- [10] 李华清. 龙虾泥鳅轮作高效养殖技术总结[J]. 渔业致富指南, 2008(1): 37-38.
- [11] 吴碧球, 李成, 黄所生, 等. 稻田常用6种化学农药对克氏原螯虾的安全性评价[J]. 农药, 2023, 62(11): 817-822.
- [12] 盛银平, 徐先栋, 黄江峰, 等. 氯虫苯甲酰胺对8种常见淡水养殖鱼虾的毒性试验[J]. 江西水产科技, 2012(1): 37-38.
- [13] 袁泉, 田志慧, 邱逸忱, 等. 3种稻田除草剂对克氏原螯虾的急性毒性效应[J]. 上海农业学报, 2023, 39(4): 85-89.
- [14] 陈婕, 沈亚强, 王晔青, 等. 13种稻田常用农药对克氏原螯虾幼虾的急性毒性[J]. 淡水渔业, 2022, 52(6): 10-16.
- [15] 徐怡, 刘其根, 胡忠军, 等. 10种农药对克氏原螯虾幼虾的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(1): 50-56.
- [16] 郑瑞州, 胡鲲. 氟戊菊酯等4种化学药物对克氏原螯虾的急性毒性及组织病理观察[J]. 南方农业学报, 2021, 52(6): 1727-1734.
- [17] 吴雷明, 韩光明, 王守红, 等. 3种酰胺类稻田除草剂对克氏原螯虾的急性毒性[J]. 生物安全学报, 2019, 28(4): 301-305.
- [18] 徐滨, 朱祥云, 魏开金, 等. 四种稻田农药对克氏原螯虾的急性毒性研究[J]. 淡水渔业, 2014, 44(5): 38-42.
- [19] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理

[D]. 长春: 吉林农业大学, 2015.

- [5] 朱文达, 曹勤程, 吴佳佳, 等. 醚苯磺隆·异丙隆防除单双子叶杂草及对养分的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(8): 74-76.
- [6] 姜天成, 徐蓬, 孙钰晨, 等. 丙炔噁草酮与氟氯草酯桶混一次防控水直播稻田杂草效果与安全性[J]. 杂草学报, 2020, 38(2): 68-74.
- [7] 周加春, 王太高, 顾慧玲, 等. 70%苄嘧·苯磺酰WP防除水稻移栽田杂草效果研究[J]. 大麦与谷类科学, 2014(1): 47-49.
- [8] 张伟星, 刘清, 徐建伟, 等. 噁嗪草酮与五氟磺草胺或双草醚混用对水稻机插秧田杂草的防效及水稻的安全性[J]. 杂草学报, 2016, 34(3): 39-44.
- [9] 李建伟, 储西平, 姜远来, 等. 异丙·丁·苄WP防除水稻直播田杂草的效果及应用技术[J]. 杂草科学, 2010(4): 44-45.
- [10] 何振辉, 黄超, 赵宁, 等. 安徽省稻田杂草发生现状与防控对策[J]. 植物保护, 2024, 50(5): 6-14.
- [11] 马荣荣. 25%二氯·五氟磺草胺悬浮剂对水稻直播田一年生杂草的防除效果试验[J]. 安徽农学通报, 2023, 29(12): 103-105; 115.
- [12] 谷涛, 张自常, 曹晶晶, 等. 细胞色素P450介导的杂草抗药性研究进展[J]. 植物保护, 2024, 50(4): 1-15.
- [13] 顾琼楠, 褚世海, 黄后超, 等. 湖北省稻田稗属杂草田间种群对五氟磺草胺的抗性水平[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(24): 105-113.
- [14] 张丽雅, 李奇, 史珊珊, 等. 稻田稗草对五氟磺草胺的抗性机制及其防治药剂筛选[J]. 中国农业科学, 2023, 56(14): 2713-2723.
- [15] 朱阿秀, 沈晴, 陈岚, 等. 2022年江苏稻田杂草发生特点与防控对策[J]. 中国植保导刊, 2024, 44(7): 32-38.
- [16] 鲍海波, 刘宝生, 周长勇, 等. 江淮地区机械旱直播粳稻与机插秧粳稻病虫害发生差异[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(23): 124-131.
- [17] 王可, 王红春, 付朝晋, 等. 滴施和喷施5% K608SC对稻田杂草防效及其安全性的比较[J]. 杂草学报, 2020, 38(4): 63-68.
- [18] 于居龙, 张国, 朱阿秀, 等. 江苏丘陵地区旱直播水稻田杂草化除技术[J]. 杂草学报, 2022, 40(1): 34-41.

(编辑: 顾林玲)

理委员会. 化学农药环境安全评价试验准则 第21部分 大型甲壳类生物毒性试验: GB/T 31270.21—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

- [20] 魏方林, 朱金文, 李少南, 等. 氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油对环境生物的急性毒性研究[J]. 农药科学与管理, 2008, 29(3): 19-24.
- [21] 王晶, 庄韵筠, 陈洪举, 等. 氨基阿维菌素苯甲酸盐对海洋桡足类日本虎斑猛水蚤的慢性毒性效应[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(5): 202-211.
- [22] 李淇, 陈鑫, 戴彩娇, 等. 氨基阿维菌素苯甲酸盐对宽体金线蛭的急性毒性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2024, 51(5): 826-833.
- [23] 闫雅婷, 王宏元, 乔旭峰, 等. 氨基阿维菌素苯甲酸盐对泥鳅的急性毒性[J]. 生态毒理学报, 2013, 8(6): 993-997.
- [24] 孟华清, 孟立霞, 王召. 新型农药康宽(氯虫苯甲酰胺)对鲤的急性毒性研究[J]. 凯里学院学报, 2014, 32(6): 58-61.
- [25] 陈吉祥, 于伟丽, 王广友, 等. 氯虫苯甲酰胺对环境生物的急性毒性与安全性评价[J]. 生态毒理学报, 2022, 17(6): 452-461.
- [26] 吴松, 黄晓丽, 陶月, 等. 氯虫苯甲酰胺对中华绒螯蟹的急性毒性研究[J]. 水产学杂志, 2023, 36(3): 46-51.
- [27] 于瑞峰, 赵学平, 吴长兴, 等. 茚虫威对环境生物的安全性评价[J]. 农药, 2009, 48(1): 47-49.
- [28] LEUNG T S, NAQVI S M, NAQVI N Z. Paraquat toxicity to Louisiana crayfish (*Procambarus clark*) [J]. Bull Environ Contain Toxicol, 1980, 25(1): 465-469.

(编辑: 顾林玲)