

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2013.02.010

草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的毒性

傅建伟, 史梦竹, 李建宇, 游 泳, 魏 辉*
福建省农业科学院植物保护研究所, 福建 福州 350013

摘要:【背景】草甘膦是一种灭生性除草剂,对防治多年生杂草效果明显。近年来,草甘膦被广泛用于防治鱼塘水生杂草,其对鱼类的安全性逐渐受到关注。【方法】采用半静态法测试了草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的急性毒性,并计算出其对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的安全浓度。【结果】随着受试鱼苗在药液中暴露时间的延长, LC_{50} 值逐渐减小;草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的96 h LC_{50} 值分别为0.2518、0.2588 和 0.2599 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的安全浓度分别为 0.0252、0.0259 和 0.0260 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。【结论与意义】草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼高毒,该结果对指导淡水养殖区杂草防除时科学使用草甘膦具有重要的实践意义。

关键词: 草甘膦; 草鱼; 鲢鱼; 鲫鱼; 急性毒性; 安全评价

Toxicity of Glyphosate on grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*), chub (*Hypophthalmichthys molitrix*) and crucian (*Carassius auratus*)

Jian-wei FU, Meng-zhu SHI, Jian-yu LI, Yong YOU, Hui WEI*
Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China

Abstract: 【Background】Glyphosate is a sterilizing herbicide effective in controlling perennial weeds. In recent years, glyphosate has been increasingly used to control aquatic weeds, its safety to fish is paid attention. 【Method】Acute toxicity of glyphosate on *Ctenopharyngodon idellus*, *Hypophthalmichthys molitrix* and *Carassius auratus* was investigated by using standardized laboratory procedures to calculate the safe exposure concentrations for these species. 【Result】The results indicated that the median lethal concentrations (LC_{50}) in these fish species gradually declined over exposure time. LC_{50} of glyphosate on *C. idellus*, *H. molitrix* and *C. auratus* were 0.2518 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0.2588 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and 0.2599 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively after 96 h exposure. The safe exposure concentrations were 0.0252 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 0.0259 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and 0.0260 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ for *C. idellus*, *H. molitrix* and *C. auratus* respectively. 【Conclusion and significance】Glyphosate showed high toxicity to these three freshwater fish species, *C. idellus*, *H. molitrix* and *C. auratus*. This paper indicated the importance to improve guidelines for spraying glyphosate when used in freshwater farming.

Key words: Glyphosate; *Ctenopharyngodon idellus*; *Hypophthalmichthys molitrix*; *Carassius auratus*; acute toxicity; safety assessment

近年来,除草剂越来越多地直接施用于水域生态系统中,如鱼塘、河道及湖泊等,这可能会污染环境 and 危害水域中的生物,破坏生态平衡,甚至可能影响鱼类的养殖。草甘膦(Glyphosate)作为一种内吸传导型广谱灭生性除草剂,通过茎叶吸收后传导到植物各部位,可防除单子叶和双子叶、一年生和多年生、草本和灌木等 40 多科的植物,广泛用于橡胶、桑、茶、果园及甘蔗地等。在我国南方也用于防治水域外来入侵杂草空心莲子草 *Alternanthera*

philoxeroides (Mart.) Griseb. (马明勇等,2009)、水葫芦 *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 等恶性杂草,具有良好的防治效果。

草鱼 *Ctenopharyngodon idellus* Cuvier et Valenciennes、鲢鱼 *Hypophthalmichthys molitrix* Cuvier et Valenciennes、鲫鱼 *Carassius auratus* L. 是我国重要的经济鱼类,也是河流、湖泊及淡水养殖中常见的主要鱼种,在人工条件下可常年繁殖(黄春红等,2008;金庆华和李桂玲,1998;杨丽华等,2003)。

国内外学者针对农药对水生生物的毒性和影响做了大量报道(陈家长等,2005;魏渲辉等,2002;徐敦明等,2004;赵于丁等,2007; Carlisle & Trevors, 1988; Jason *et al.*, 2007),有关草甘膦对鱼类毒性作用的报道也有一些(张彬彬,2011;朱国念等,2000),但关于草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼毒性的报道较少。因此,本研究以草甘膦为对象,重点研究其对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的急性毒性,为评价该药剂防除水域杂草的安全性提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验用鱼:草鱼鱼苗,平均体质量(0.20 ± 0.01) g · 尾⁻¹;鲢鱼鱼苗,平均体质量(0.49 ± 0.01) g · 尾⁻¹;鲫鱼鱼苗,平均体质量(0.52 ± 0.01) g · 尾⁻¹。这 3 种鱼苗均购自福建省福州市闽侯南屿五溪鱼苗场。

试验用水:采用经过 48 h 充分曝气的自来水,温度 24 ~ 26 ℃,pH 6.8 ~ 7.2,溶解氧保持在 5.8 mg · L⁻¹ 以上,保持自然光照。

1.2 供试药剂

41% 草甘膦异丙胺盐水剂,美国孟山都公司生产。

1.3 试验方法

1.3.1 预实验 采用半静态法进行测试(蔡道基,1999)。草鱼、鲢鱼、鲫鱼等供试鱼苗在试验前驯养 10 d 左右,驯养期间自然死亡率保持在 5% 以下,选择健康、反应灵敏、大小基本一致的鱼苗用于试验。试验前 24 h 停止喂食。试验在圆柱形鱼缸($\Phi = 25$ cm × 25 cm)中进行,每个鱼缸中加入 5 L 药液,分别放入供试鱼苗 10 尾,试验期间不投喂饵料。试验开始 6 h 后,即时观察并记录供试鱼苗的行为、中毒症状、死亡尾数等,此后分别记录 24、48、72 和 96 h 的死亡尾数。毛笔多次轻触其尾部,若无任何反应,则视为死亡,并及时捞出死亡个体。每天测定并记录试液温度、pH 及溶解氧浓度。试验期间每 24 h 更换 1 次药液。

1.3.2 急性毒性试验 根据预试验分别确定草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的 24 h 100% 致死浓度(LC_{100})和 96 h 最大耐受浓度(NOEC),然后在此范围内设 6 个浓度梯度和 1 个清水对照组,每个处理重复 3 次。草甘膦的供试浓度:草鱼:0.205、0.256、

0.342、0.410、0.513、0.683 mg · L⁻¹;鲢鱼:0.205、0.256、0.342、0.410、0.513 mg · L⁻¹;鲫鱼:0.205、0.256、0.342、0.410、0.513 mg · L⁻¹。试验方法参照预试验。

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 进行统计分析,计算出线性回归方程,并分别求出草甘膦处理 24、48、72 和 96 h 后的 LC_{50} 值以及 95% 置信区间,确定草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的急性毒性等级。再用经验公式 $Sc = 96 \text{ h } LC_{50} \times 0.1$ 计算出草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的安全浓度(国家环境保护局,1993)。

毒性评价根据《化学农药环境安全评价试验准则》,以 96 h LC_{50} 值为划分标准, $LC_{50} \leq 0.1$ mg · L⁻¹ 为剧毒, $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} < LC_{50} \leq 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为高毒, $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} < LC_{50} \leq 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为中毒, $LC_{50} > 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为低毒(国家环境保护总局南京环境科学研究所,1990)。

2 结果与分析

2.1 草鱼、鲢鱼和鲫鱼对草甘膦的中毒症状

在药液中暴露 12 h 后,3 种供试鱼苗均呈现明显的中毒症状:各浓度处理组的 3 种供试鱼苗初期表现为呼吸急促,鳃叶和鱼口开合幅度变大,剧烈游动,尤以高浓度处理组最为明显;随着暴露时间的延长,各浓度处理组的 3 种供试鱼苗均出现不同程度的侧游、旋游、仰游等现象,鱼体逐渐失去平衡,呼吸频率减慢,并浮于水面,一段时间后,鱼体全部沉于水底,对外界刺激反应微弱,直至死亡。

2.2 草鱼、鲢鱼和鲫鱼对草甘膦的急性毒性

草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的急性毒性结果见表 1 ~ 3。研究表明,随着草甘膦浓度的增大,草鱼、鲢鱼和鲫鱼死亡率逐渐上升,呈明显的剂量—效应关系。暴露 24、48、72 和 96 h,草甘膦对草鱼的 LC_{50} 值分别为 0.320、0.288、0.266 和 0.252 mg · L⁻¹;草甘膦对鲢鱼的 LC_{50} 值分别为 0.326、0.273、0.261 和 0.259 mg · L⁻¹;草甘膦对鲫鱼的 LC_{50} 值分别为 0.463、0.302、0.264 和 0.260 mg · L⁻¹。可见,随着暴露时间的延长, LC_{50} 值逐渐减小,表明草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的急性毒性逐渐提高。

表1 草甘膦对草鱼的急性毒性
Table 1 Acute toxicity of Glyphosate in *C. idellus*

时间 Exposure time (h)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	LC_{50} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	95% 置信区间 95% confidence interval ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	毒性等级 Toxicity category (96 h)	安全浓度 Safe concentration ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
24	$y = 10.1345 + 10.3724x$	0.9617	0.320	0.2940 ~ 0.3412	高毒 High toxicity	0.0252
48	$y = 10.7121 + 10.5656x$	0.9162	0.288	0.2575 ~ 0.3108		
72	$y = 11.3174 + 10.9830x$	0.9240	0.266	0.2301 ~ 0.2911		
96	$y = 10.8839 + 9.8225x$	0.9220	0.252	0.2106 ~ 0.2799		

毒力回归方程中, y 为死亡概率, x 为浓度对数。
In the toxicity regression equation, y is probit of mortality, x is the logarithm of concentration.

表2 草甘膦对鲢鱼的急性毒性
Table 2 Acute toxicity of Glyphosate in *H. molitrix*

时间 Exposure time (h)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	LC_{50} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	95% 置信区间 95% confidence interval ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	毒性等级 Toxicity category (96 h)	安全浓度 Safe concentration ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
24	$y = 12.7225 + 15.8780x$	0.9932	0.326	0.3097 ~ 0.3436	高毒 High toxicity	0.0259
48	$y = 14.6131 + 17.0520x$	0.9613	0.273	0.2468 ~ 0.2906		
72	$y = 16.5549 + 19.7994x$	0.9183	0.261	0.2242 ~ 0.2810		
96	$y = 16.7139 + 19.9569x$	0.9187	0.259	0.2206 ~ 0.2795		

毒力回归方程中, y 为死亡概率, x 为浓度对数。
In the toxicity regression equation, y is probit of mortality, x is the logarithm of concentration.

表3 草甘膦对鲫鱼的急性毒性
Table 3 Acute toxicity of Glyphosate in *C. auratus*

时间 Exposure time (h)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	R^2	LC_{50} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	95% 置信区间 95% confidence interval ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	毒性等级 Toxicity category (96 h)	安全浓度 Safe concentration ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
24	$y = 8.4088 + 10.2036x$	0.9683	0.463	0.4153 ~ 0.5774	高毒 High toxicity	0.0260
48	$y = 10.0490 + 9.6957x$	0.9489	0.302	0.2795 ~ 0.3214		
72	$y = 9.2834 + 7.4035x$	0.9231	0.264	0.2329 ~ 0.2877		
96	$y = 9.5110 + 7.7094x$	0.9362	0.260	0.2286 ~ 0.2836		

毒力回归方程中, y 为死亡概率, x 为浓度对数。
In the toxicity regression equation, y is probit of mortality, x is the logarithm of concentration.

2.3 草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的安全性

草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的 96 h LC_{50} 值分别为 0.2518、0.2588 和 0.2599 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。根据现行农药对鱼类毒性的分级标准, $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} < LC_{50} < 1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 因此, 草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼属高毒农药。草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的安全浓度分别为 0.0252、0.0259 和 0.0260 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

3 讨论

有机磷农药对鱼类具有很强的毒性。已有研究表明, 有机磷农药对鱼类的 96 h LC_{50} 通常为 0.008 ~ 97.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (李少南, 2000; 潘厚军等, 2000)。本研究结果表明, 草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼的 96 h LC_{50} 值分别为 0.2518、0.2588 和 0.2599 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 在上述范围以内。根据现行农药对鱼类毒性的分级

标准, 草甘膦对草鱼、鲢鱼和鲫鱼属高毒农药。因此, 应避免在鱼类养殖水体中使用草甘膦, 药液及施药用水也应避免进入鱼类养殖区、产卵场、越冬场、仔稚幼鱼的索饵场等敏感水区及保护区。

本试验过程中发现, 草鱼、鲢鱼和鲫鱼在中毒逐渐死亡过程中, 均会产生鳃红的现象。这可能与有机磷农药对鱼鳃细胞结构的影响有关, 鳃小片血管内出现血细胞淤积, 毛细血管管腔膨胀及白细胞浸出, 导致鱼鳃变红 (Ceron *et al.*, 1996)。此外, 在较低浓度的草甘膦药液中, 随着试验时间的延长, 鱼苗的死亡率也会增大, 这可能与草甘膦在鱼苗体内的累积以及鱼苗体内的抗性相关酶系被破坏有关 (魏渲辉等, 2002)。因此, 关于草甘膦对这 3 种鱼苗的生理生化等方面的影响还需做进一步研究。

参考文献

- 蔡道基. 1999. 农药环境毒理学研究. 北京: 中国环境科学出版社.
- 陈家长, 胡庚东, 瞿建宏. 2005. 5 种除草剂对白鲢鱼种急性毒性试验. 湛江海洋大学学报, 25(4): 35–38.
- 国家环境保护局. 1993. 水生生物监测手册. 南京: 东南大学出版社.
- 国家环境保护总局南京环境科学研究所. 1990. 化学农药环境安全评价试验准则. 农药科学与管理, 11(2): 1–5.
- 黄春红, 曾伯平, 董建波. 2008. 青鱼、草鱼、鲢鱼和鳙鱼鱼头营养成分比较. 湖南文理学院学报: 自然科学版, 20(3): 46–48, 57.
- 金庆华, 李桂玲. 1998. 中国鲢鱼营养成分的研究. 食品科学, 19(8): 41–43.
- 李少南. 1998. 甲基异柳磷和三唑磷对几种淡水鱼的毒性比较. 环境污染与防治, 20(3): 13–14.
- 马明勇, 傅建炜, 朱道弘, 李彦宁, 郭建英. 2009. 不同除草剂对空心莲子草的控制作用评价. 植物保护, 35(4): 154–157.
- 潘厚军, 吴淑勤, 黄志斌, 石存斌, 李凯彬. 2000. 鱼类对有机磷和菊酯类农药的敏感性研究. 淡水渔业, 30(7): 44–45.
- 魏渲辉, 汝少国, 姜明, 魏建功, 李永祺. 2002. 有机磷农药对鱼类的毒性效应及内分泌扰乱作用. 海洋科学, 26(9): 27–31.
- 徐敦明, 李飞, 冯俊涛, 李广泽, 刘兴连, 张兴. 2004. 几种植物源提制品对鱼的毒性与安全性评价. 农药学报, 6(3): 89–92.
- 杨丽华, 方展强, 郑文彪. 2003. 重金属对鲫鱼的急性毒性及安全浓度评价. 华南师范大学学报: 自然科学版, (2): 101–106.
- 张彬彬. 2011. 草甘膦对鲫鱼肝脏内膜系统和乙酰胆碱酯酶的影响. 滨州学院学报, 27(3): 93–96.
- 赵于丁, 徐敦明, 刘贤进, 范青海. 2007. 10 种农药对斑马鱼的毒性与安全评价. 安徽农业科学, 35(22): 6801–6802.
- 朱国念, 楼正云, 孙锦荷. 2000. 草甘膦对水生生物的毒性效应及环境安全性研究. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 26(3): 309–312.
- Carlisle S M and Trevors J T. 1988. Glyphosate in the environment. *Water Air and Soil Pollution*, 39: 409–420.
- Ceron J J, Ferrando M D, Sancho E, Panizo G C and Andreu M A. 1996. Effects of diazinon exposure on cholinesterase activity in different tissues of European eel (*Anguilla anguilla*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 35: 222–225.
- Jason B B, Robert J G and Michael J L. 2007. How well can we predict the toxicity of pesticide mixtures to aquatic life? *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3: 364–372.

(责任编辑: 彭露)

