

## 罗氏沼虾养殖塘草甘膦残留特征及生态风险评估

沈路遥, 彭自然, 何文辉, 冯敏婕, 戴习林

### Residual characteristics and ecological risk assessment of glyphosate in *Macrobrachium rosenbergii* culture ponds

SHEN Luyao, PENG Ziran, HE Wenhui, FENG Minjie, DAI Xilin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20200503054>

#### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 罗氏沼虾养殖周期中PAHs的生物累积特征及食用风险评价

Bioaccumulation characteristics and risk assessment of PAHs in the breeding cycle of *Macrobrachium rosenbergii*

上海海洋大学学报. 2020, 29(4): 526 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190502651>

#### 塘田联作对池塘水质及罗氏沼虾生长的影响

Effects of pond-paddy field aquaponics on water quality and growth of *Macrobrachium rosenbergii*

南方水产科学. 2020, 16(3): 10 <https://doi.org/10.12131/20190205>

#### 罗氏沼虾营养需求的研究进展

Nutritive requirement of sprawn *Macrobrachium rosenbergii*: a review

大连海洋大学学报. 2004, 19(4): 287 <https://doi.org/10.12024/jsou.2004040287>

#### 泼洒糖蜜对池塘养殖罗氏沼虾生长和水质的影响

Effects of Molasses Supplementation on Growth and Water Quality in Giant Freshwater Prawn *Macrobrachium rosenbergii* Ponds

水产科学. 2017, 36(2): 202 <https://doi.org/10.16378/j.cnki.1003-1111.2017.02.015>

#### 罗氏沼虾高产高效养殖技术试验

Culture techniques of *Macrobrachium rosenbergii* for high yield and profit

大连海洋大学学报. 2000, 15(4): 300 <https://doi.org/10.12024/jsou.2000040300>

#### 不同养殖模式下罗氏沼虾肠道菌群结构特征及其与环境因子的关系

Effects of different cultural patterns on microbial communities in the intestine of *Macrobrachium rosenbergii* and interactions with environment factors

上海海洋大学学报. 2019, 28(4): 501 <https://doi.org/10.12024/jsou.20180902396>

文章编号: 1674-5566(2021)05-0821-07

DOI:10.12024/jsou.20200503054

## 罗氏沼虾养殖塘草甘膦残留特征及生态风险评估

沈路遥<sup>1</sup>, 彭自然<sup>1</sup>, 何文辉<sup>1</sup>, 冯敏婕<sup>1</sup>, 戴习林<sup>2</sup>

(1. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

**摘要:** 为了解罗氏沼虾养殖环境中草甘膦除草剂的残留特征及其生态风险, 于2019年5—10月, 对上海市金山区3口罗氏沼虾养殖塘养殖水、沉积物及塘埂土样品中草甘膦的质量浓度进行监测, 并采用商值法对养殖水和沉积物中草甘膦的生态风险进行评估。结果显示: 养殖周期内, 养殖塘水中草甘膦的检出率为46.7%, 最大残留质量浓度为57  $\mu\text{g/L}$ ; 虾塘沉积物及塘埂土中草甘膦的检出率分别为83.3%和77.8%, 最大残留质量浓度分别为1 149  $\mu\text{g/kg}$ 和5 057  $\mu\text{g/kg}$ 。生态风险评估结果显示, 养殖周期内养殖水中残留草甘膦对所选敏感生物的生态风险等级主要为无明显风险和中等风险, 沉积物中残留草甘膦对所选敏感生物的生态风险等级主要为中等风险和低风险。研究表明, 金山区罗氏沼虾养殖环境中草甘膦的残留水平与国内外其他地区相比处于中等水平, 主要来源为塘埂除草时草甘膦除草剂的使用, 养殖塘水及沉积物中残留草甘膦对罗氏沼虾养殖存在潜在风险。

**关键词:** 罗氏沼虾; 养殖池塘; 草甘膦; 残留特征; 生态风险评估

**中图分类号:** X 132      **文献标志码:** A

罗氏沼虾养殖塘多为土基池塘, 塘埂及坡岸易生杂草, 为方便行走及保护塘埂, 在投苗前和养殖生产期间, 一般会对塘埂及干塘中的杂草进行清除。由于传统的人工除草方式费时费力, 养殖户多使用化学除草剂进行除草。草甘膦是一种内吸传导型有机磷类除草剂, 具有用药成本低、传导性强、低毒、广谱等特点, 是全球作物保护市场销售额最大的农药品种。草甘膦可通过抑制5-烯醇丙酮莽草酸-3-磷酸合酶(EPSPS)的活性, 使莽草酸途径中芳香族氨基酸及其衍生物合成受阻, 进而导致植物死亡。由于动物不存在莽草酸途径, 草甘膦被认为是一种低毒且对动物无害的除草剂。然而, 越来越多的研究表明土壤中的草甘膦会通过多种途径进入水体, 并对水生非靶标生物有潜在毒性<sup>[1]</sup>。研究<sup>[2]</sup>发现沼虾(*Macrobrachium potiusna*)暴露于草甘膦质量浓度为6.5  $\mu\text{g/L}$ 的溶液中14 d, 可观察到其肝胰腺管腔退化、上皮收缩、组织肥大和细胞坏死迹象。雄性沼虾暴露于草甘膦质量浓度为65  $\mu\text{g/L}$ 的溶

液中7 d可影响其内分泌系统, 导致蜕皮甾体受体(ECR)和蜕皮抑制激素(MIH)的过分表达<sup>[3]</sup>。

目前, 水产养殖环境污染检测多集中在重金属、抗生素、杀虫剂类农药等方面, 对除草剂尤其是草甘膦的研究较少。鉴于草甘膦在农业环境中使用广泛, 且可能对沼虾产生不良影响, 以上海市罗氏沼虾养殖塘为研究对象, 在养殖周期内对养殖水、沉积物和塘埂土样品中残留草甘膦进行监测, 并采用商值法对养殖水及沉积物中草甘膦的生态风险进行评估, 以了解罗氏沼虾养殖环境中草甘膦的残留特征及其生态风险, 为养殖池塘除草剂合理使用及降低养殖风险提供参考。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 试剂和仪器

试剂包括草甘膦标准溶液(购自美国Supelco公司,  $\rho = 1\ 000\ \mu\text{g/mL}$ ), 9-苄甲基氯甲酸酯标准品(购自美国Sigma公司, 纯度 $\geq 99.0\%$ ), 乙腈、甲醇、二氯甲烷、磷酸、正己烷均为液相色谱纯,

收稿日期: 2020-05-20      修回日期: 2020-09-10

基金项目: 上海市现代农业产业技术体系(虾类)项目(沪农科产字[2016]第5号)

作者简介: 沈路遥(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为环境有机污染物。E-mail: 1972533967@qq.com

通信作者: 彭自然, E-mail: zrpeng@shou.edu.cn

盐酸、二水合柠檬酸三钠、十水合四硼酸钠、十二水合磷酸钠为分析纯。

仪器包括岛津 LC-20AD 高效液相色谱仪, 岛津 RF-10A<sub>XL</sub> 荧光检测器、Inertsil ODS-3 (5 μm, 4.6 × 250 mm) 色谱柱、Oasis HLB (6cc, 500 mg) 固相萃取柱等。

## 1.2 样品采集

采样地点位于上海市金山区漕泾镇某特种水产养殖基地。所选 3 口罗氏沼虾养殖池塘 (T1、T2、T3) 均为土基养殖塘, 单塘面积 0.467 hm<sup>2</sup>, 有效水深 1.3 m, 塘埂宽 2.0 m、塘长 100 m、塘宽 50 m、坡比为 1:1, 放养密度 67.5 万尾/hm<sup>2</sup>。2019 年 3 口罗氏沼虾养殖塘的养殖周期为 5 月 11 日至 9 月 28 日。5 月至 9 月, 每月 11 日对养殖塘养殖水、塘埂土和沉积物进行现场采样, 并采用 HACH 便携式多参数水质分析仪对养殖塘水温、溶解氧、pH 等水质指标进行测定。10 月 11 日对干塘后的塘埂土、塘底质进行采样。沿养殖塘四角距岸 1 m 处用采水器采集表层养殖水样, 混匀后装入聚乙烯瓶。用铁铲对塘埂表层土壤 (0 ~ 10 cm) 多点采样, 混合后装入塑料密封袋中。用采泥器对沉积物多点采样, 混合后装入塑料密封袋中。样品当日运回实验室, 于 4 °C 避光冷藏保存, 3 日内完成样品前处理工作。

## 1.3 测定方法

水样、土壤及沉积物样品中草甘膦的测定分别参考《水质草甘膦的测定高效液相色谱法》(HJ 1071—2019)<sup>[4]</sup>和《土壤和沉积物草甘膦的测定高效液相色谱法》(HJ 1055—2019)<sup>[5]</sup>。

## 1.4 质量控制与质量保证

采用外标法进行定量, 草甘膦系列标准工作溶液质量浓度为 0、5、10、20、50、100、200 μg/L, 该质量浓度范围内所得标准曲线线性良好, 回归系数为 0.997 9 ~ 0.999 8。水样中草甘膦的方法检出限为 2 μg/L, 土壤和沉积物中草甘膦的方法检出限为 20 μg/kg, 所有样品均设置一个平行样。

## 1.5 生态风险评价

采用商值法对养殖水及沉积物中草甘膦除草剂的生态风险进行评价。风险商值 (risk quotient, RQ) 为物质的环境检出浓度与预测无效应浓度 (redicted no effect concentration, PNEC) 的比值, 其中 PNEC 为半数致死效应浓度 (LC<sub>50</sub>) 或

半数效应浓度 (EC<sub>50</sub>) 与风险因子 (assessment factor, AF) 之商, 采用慢性毒性数据时 AF 的取值为 100, 采用急性毒性数据时 AF 的取值为 1 000。根据风险评价标准, 污染物的生态风险被分为 4 个等级: RQ < 0.01, 为无明显风险; 0.01 ≤ RQ < 0.1, 为低风险; 0.1 ≤ RQ < 1, 为中等风险; RQ ≥ 1, 为高风险<sup>[6]</sup>。

由于草甘膦对水生生物的沉积物毒性效应数据较少, 研究采用相平衡分配法由水体预测无效应浓度计算得到沉积物预测无效应浓度, 以进行沉积物草甘膦生态风险评估。

$$P_{NECsed} = K_{oc} \times \omega_{oc} \times P_{NECwater} \quad (1)$$

式中:  $P_{NECsed}$  为沉积物预测无效应浓度, μg/kg;  $P_{NECwater}$  为水体预测无效应浓度, μg/L;  $K_{oc}$  为草甘膦的标化分配系数, L/kg, 本研究中取值为 3 540.49 L/kg<sup>[7]</sup>;  $\omega_{oc}$  为沉积物中有机碳质量分数, 研究中取值为 0.786%<sup>[8]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 草甘膦残留状况

罗氏沼虾养殖塘 (T1、T2、T3) 养殖水、沉积物及塘埂土中草甘膦残留状况见图 1~3。5 月至 9 月, 养殖水中草甘膦的检出率为 46.7%, 平均浓度为 6 μg/L。养殖水中草甘膦残留主要集中在 5 月至 7 月, 其中 5 月 T1、T2 和 T3 养殖水中均有草甘膦检出, 浓度范围为 5 ~ 14 μg/L。受强降雨影响, 8 月养殖塘水中草甘膦均未检出。9 月仅 T2 养殖塘水中有草甘膦检出, 浓度为 57 μg/L。5 月至 10 月养殖塘沉积物中草甘膦检出率为 83.3%, 平均含量为 261 μg/kg; 塘埂土中草甘膦的检出率为 77.8%, 平均含量为 1 012 μg/kg。5 月至 7 月 3 口养殖塘沉积物及塘埂土中均有草甘膦检出, 5 月 T1 塘沉积物及塘埂土中草甘膦残留量最高, 分别为 1 149 μg/kg 和 5 057 μg/kg。养殖环境中草甘膦残留水平主要受施药行为及环境迁移转化的影响。由于养殖塘杂草生长情况、养殖户除草剂施用习惯及塘埂利用方式不同, 3 口罗氏沼虾养殖塘草甘膦喷洒次数及用量会存在一定差异, 进而影响其在塘埂土、沉积物及养殖水中的残留分布。

草甘膦尚未纳入我国《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) 及《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准 (试行)》(GB 15618—

2018)管理,但在我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)<sup>[9]</sup>中的限值为0.70 mg/L,本研究中养殖水草甘膦残留浓度均未超过该限值。与我国其他地区相比,罗氏沼虾养殖水中草甘膦最高残留浓度介于贵州省饮用水源地及云南省梯田生产区之间,见表1。国内沉积物及土壤环境中草甘膦残留水平的研究较少,与国外相比,金山区罗氏沼虾养殖塘沉积物中草甘膦的浓度高于阿根廷河流及湖泊沉积物,养殖塘埂土中草甘膦最高残留浓度介于阿根廷农田土壤及希腊农村及城市土壤之间,见表2。总体上,罗氏沼虾养殖环境中草甘膦的残留水平处于中等水平。

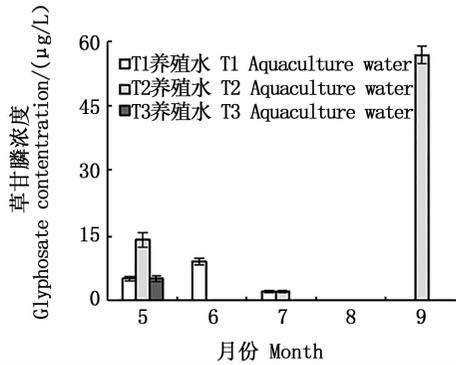


图1 养殖水中草甘膦的浓度  
Fig.1 The concentration of glyphosate in aquaculture water

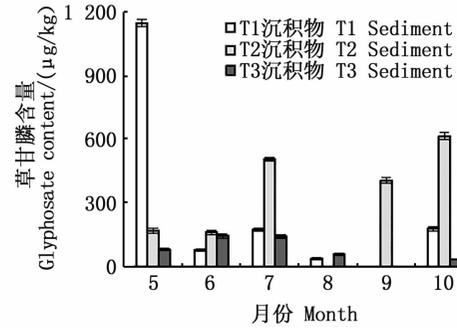


图2 养殖塘沉积物中草甘膦的含量  
Fig.2 The content of glyphosate in sediment

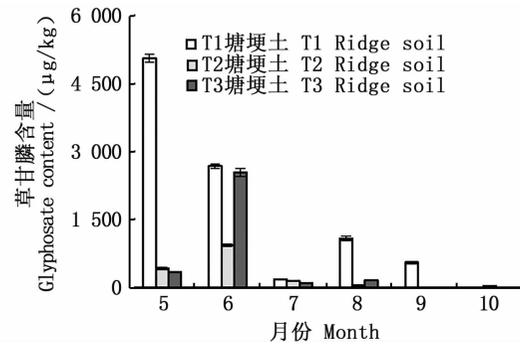


图3 养殖塘塘埂土中草甘膦的含量  
Fig.3 The content of glyphosate in pond ridge soil

表1 我国不同地区水体中草甘膦残留情况  
Tab.1 Glyphosate residue in water in different regions of China

省份 Provinces	采样点类型 Sampling point type	浓度 Concentration/(μg/L)	检出率 Detection rate/%	文献 References
浙江 Zhejiang	饮用水源地 Drinking water source	N. D. ~5.930	27.6	[10]
江苏 Jiangsu	太湖 Taihu Lake	N. D. ~19.097	22.2	[11]
贵州 Guizhou	饮用水源地 Drinking water source	N. D. ~25.7	66.67	[12]
云南 Yunan	梯田生产区 Terrace production area	32.43~98.64	100	[6]
上海 Shanghai	水产养殖塘 Aquaculture pond	N. D. ~57	46.7	本研究

表2 不同地区土壤及沉积物中草甘膦残留情况  
Tab.2 Glyphosate residue in soil and sediment of different areas

国家 Countries	采样点类型 Sampling point type	含量 Content/(μg/kg)	检出率 Detection rate/%	文献 References
阿根廷 Argentina	农田土壤 Farmland soil	N. D. ~1 224	>93	[13]
希腊 Greece	农村及城市土壤 Rural and urban soil	26~40 600	36.7	[14]
阿根廷 Argentina	河流沉积物 Fluvial sediment	N. D. ~75.5	95	[13]
阿根廷 Argentina	湖泊沉积物 Lake sediment	0.13~20.34	21	[15]
中国 China	养殖池塘沉积物 Culture pond sediment	N. D. ~1 149	83.3	本研究
中国 China	养殖池塘塘埂土 Culture pond ridge soil	N. D. ~5 057	77.8	本研究

2.2 草甘膦来源分析

塘埂土中草甘膦的主要来源为草甘膦除草剂的直接施用。5月和6月塘埂土中有较高的草

甘膦残留(图3),且现场采样过程中观察到杂草有枯黄现象。经询问,养殖户在塘埂除草过程中使用了草甘膦除草剂。塘埂土中的草甘膦可通

过地表径流进入沉积物及养殖水体,并在沉积物及水相中进行分配。BENTO 等<sup>[16]</sup>研究发现,土壤草甘膦向非靶标区域的颗粒结合迁移率为施用量的 9.4%,水溶性迁移率为 2.8%。本研究中虾塘塘埂约占养殖塘总面积的 12%,土壤草甘膦向养殖水体及沉积物中的迁移有限。由图 1 和图 2 可知,5 月养殖塘水中草甘膦浓度较高,可能与进水前塘内土壤施用过草甘膦有关,进水后沉积物中的草甘膦部分迁移至养殖水所致。由图 2 和图 3 可知,6 月至 7 月受梅雨季雨水影响,养殖塘塘埂土中草甘膦含量有明显下降,而沉积物中草甘膦含量有所上升。降雨促进了塘埂土中草甘膦的生物降解过程,也增加了其向沉积物中的迁移。8 月 T2 养殖水及沉积物中草甘膦未检出,8—9 月 T2 塘埂土中草甘膦残留水平较低,但 9 月 T2 养殖水及沉积物中草甘膦浓度有明显升高。草甘膦施用于水体后会被沉积物大量吸附,使沉积物中草甘膦浓度升高。由于草甘膦可用

于清除水产养殖池塘中丝状绿藻等藻类<sup>[17]</sup>,不排除养殖户将草甘膦制剂直接用于养殖水体的情况。10 月,3 口养殖塘沉积物中均有草甘膦检出,除来源于塘埂土及养殖水外,排水时水体扰动引起底层沉积物中草甘膦的内源释放也可能是其来源之一。

### 2.3 草甘膦生态风险评估

绿藻、硅藻、水蚤等浮游生物是虾类的天然饵料,通过查询美国生态毒理数据库 ECOTOX (网址:https://cfpub.epa.gov/ecotox/) 和文献资料获得相关水生生物急性毒性数据,并计算得到  $PNEC_{water}$  和  $PNEC_{sed}$ ,见表 3。水体草甘膦风险商值 ( $RQ_{water}$ ) 和沉积物中草甘膦的风险商值 ( $RQ_{sed}$ ) 分别由 3 口罗氏沼虾养殖塘 5 月至 9 月养殖水及沉积物中实测草甘膦浓度与表 3 中各敏感生物的  $PNEC_{water}$  和  $PNEC_{sed}$  计算得到,见表 4 和表 5。

表 3 草甘膦水生生物急性毒性数据及  $PNEC$  值  
Tab. 3 Acute toxicity data and  $PNEC$  value of glyphosate in aquatic organisms

敏感生物 Sensitive organisms	急性毒性数据 Acute toxicity data/(mg/L)	$PNEC_{water}/$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$PNEC_{sed}/$ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	文献 References
小球藻 <i>Chlorella kessleri</i>	96 h- $EC_{50} = 55.62$	55.62	1 547.81	[18]
菱形藻 <i>Nitzschia amplexans</i> Hustedt	96 h- $EC_{50} = 29.00$	29.00	807.02	[19]
大型溞 <i>Daphnia magna</i>	48 h- $LC_{50} = 51.12$	51.12	1 422.58	[20]
隆线溞 <i>Daphnia carinata</i>	48 h- $LC_{50} = 29.60$	29.60	823.72	[21]
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	96 h- $LC_{50} = 11.237$	11.237	312.71	[22]
尼罗米虾(仔虾) <i>Caridina nilotica</i> (juvenile)	96 h- $LC_{50} = 6.768$	6.768	188.34	[23]
尼罗米虾(成虾) <i>Caridina nilotica</i> (adult)	96 h- $LC_{50} = 27.785$	27.785	773.21	[23]

由表 4 可知,养殖周期内养殖水中残留草甘膦对所选敏感生物的生态风险主要为无明显风险和中等风险,占比分别为 53.3% 和 23.8%,其次是低风险和高风险,占比分别为 13.3% 和 9.5%。5 月投苗当日,养殖水中残留草甘膦的生态风险主要为中等风险,其中对尼罗米虾仔虾存在中等及高风险。9 月 T2 养殖塘水残留草甘膦对所选生物均存在高风险。MENSAH 等<sup>[24]</sup>采用物种敏感性分布(SSD)推导得到用于保护当地水生生物的草甘膦制剂的长期水质基准,其限值为 0.002 (N. D. ~0.021) mg/L。由于罗氏沼虾营底栖生活,除暴露于养殖水体中的草甘膦外,其与塘底的频繁接触也增加了其对沉积物中草甘膦的暴露。由表 5 可知,5 月至 9 月养殖塘沉积物中残留草甘膦对所选敏感生物的生态风险主要为中等风险和低风险,占比分别为 50.5% 和

21.0%,其次是无明显风险和高风险,占比分别为 20.0% 和 8.6%。其中,高风险主要出现在 5 月 T1 塘及 7 月和 9 月 T2 塘。作为周边土壤及水体中草甘膦的重要归宿,应重视沉积物中草甘膦的污染水平及其内源释放对水生生物的影响。此外,由现场水质数据分析发现,养殖周期内三口罗氏沼虾养殖水中 9 月 T2 水体 pH 和溶解氧含量较低,水体施用草甘膦或可增加罗氏沼虾缺氧风险。在罗氏沼虾养殖期内使用草甘膦除草剂除存在潜在生态风险外,还存在一定的食用风险。研究<sup>[25]</sup>发现金鱼藻和麦穗鱼对 14C-草甘膦 20 d 生物富集系数分别为 27.96 和 45.79,麦穗鱼对藻类的摄食可使草甘膦在鱼体内的积累增加。由于浮游生物是罗氏沼虾的天然饵料,草甘膦可能会通过食物链在罗氏沼虾体内累积。

表 4 养殖塘水中残留草甘膦的风险商值  
Tab.4 Risk quotient of residual glyphosate in aquaculture pond water

敏感生物 Sensitive organisms	$RQ_{water}$														
	T1					T2					T3				
	5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sept	5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sept	5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sept
小球藻 <i>Chlorella kessleri</i>	0.090	0.162	0.036	-	-	0.252	-	0.036	-	1.025	0.090	-	-	-	-
菱形藻 <i>Nitzschia amplexans</i> Hustedt	0.172	0.310	0.069	-	-	0.483	-	0.069	-	1.966	0.172	-	-	-	-
大型溞 <i>Daphnia magna</i>	0.098	0.176	0.039	-	-	0.274	-	0.039	-	1.115	0.098	-	-	-	-
隆线溞 <i>Daphnia carinata</i>	0.169	0.304	0.068	-	-	0.473	-	0.068	-	1.926	0.169	-	-	-	-
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	0.445	0.801	0.178	-	-	1.246	-	0.178	-	5.073	0.445	-	-	-	-
尼罗米虾(仔虾) <i>Caridina nilotica</i> (juvenile)	0.739	1.330	0.296	-	-	2.069	-	0.296	-	8.422	0.739	-	-	-	-
尼罗米虾(成虾) <i>Caridina nilotica</i> (adult)	0.180	0.324	0.072	-	-	0.504	-	0.072	-	2.051	0.180	-	-	-	-

注: $RQ_{water} < 0.01$ ,为无明显风险;  $0.01 \leq RQ_{water} < 0.1$ ,为低风险;  $0.1 \leq RQ_{water} < 1$ ,为中等风险;  $RQ_{water} \geq 1$ ,为高风险; -表示未检出。  
Notes:  $RQ_{water} < 0.01$  indicates no obvious risk;  $0.01 \leq RQ_{water} < 0.1$  indicates low risk;  $0.1 \leq RQ_{water} < 1$  indicates medium risk;  $RQ_{water} \geq 1$  indicates high risk; - indicates no detection.

表 5 养殖塘沉积物中残留草甘膦的风险商值  
Tab.5 Risk quotient of residual glyphosate in aquaculture pond sediment

敏感生物 Sensitive organisms	$RQ_{sed}$														
	T1					T2					T3				
	5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sept	5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sept	5月 May	6月 Jun	7月 Jul	8月 Aug	9月 Sept
小球藻 <i>Chlorella kessleri</i>	0.742	0.049	0.112	0.023	-	0.109	0.103	0.327	-	0.262	0.052	0.093	0.090	0.036	-
菱形藻 <i>Nitzschia amplexans</i> Hustedt	1.424	0.094	0.216	0.045	-	0.209	0.198	0.627	-	0.503	0.099	0.178	0.173	0.069	-
大型溞 <i>Daphnia magna</i>	0.808	0.053	0.122	0.025	-	0.119	0.112	0.356	-	0.285	0.056	0.101	0.098	0.039	-
隆线溞 <i>Daphnia carinata</i>	1.395	0.092	0.211	0.044	-	0.205	0.194	0.614	-	0.493	0.097	0.175	0.170	0.068	-
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponensis</i>	3.674	0.243	0.556	0.115	-	0.540	0.512	1.618	-	1.298	0.256	0.460	0.448	0.179	-
尼罗米虾(仔虾) <i>Caridina nilotica</i> (juvenile)	6.101	0.404	0.924	0.191	-	0.897	0.850	2.687	-	2.156	0.425	0.765	0.743	0.297	-
尼罗米虾(成虾) <i>Caridina nilotica</i> (adult)	1.486	0.098	0.225	0.047	-	0.219	0.207	0.654	-	0.525	0.103	0.186	0.181	0.072	-

注: $RQ_{sed} < 0.01$ ,为无明显风险;  $0.01 \leq RQ_{sed} < 0.1$ ,为低风险;  $0.1 \leq RQ_{sed} < 1$ ,为中等风险;  $RQ_{sed} \geq 1$ ,为高风险; -表示未检出。  
Notes:  $RQ_{sed} < 0.01$  indicates no obvious risk;  $0.01 \leq RQ_{sed} < 0.1$  indicates low risk;  $0.1 \leq RQ_{sed} < 1$  indicates medium risk;  $RQ_{sed} \geq 1$  indicates high risk; - indicates no detection.

为防范相关风险,建议虾塘尽可能采用机械或手工方式除草或将塘埂用水泥或石板进行硬化。当采用草甘膦等除草剂时应严格控制使用剂量和频度。塘埂施用草甘膦除草应在晴天进行,干塘施用草甘膦可在杂草死亡后进水冲洗塘底以减少残留。在罗氏沼虾养殖期间应避免将草甘膦制剂直接施用于养殖水中。

### 3 结论

以上海市金山区 3 口罗氏沼虾养殖塘为研究对象,得到如下结论:(1)养殖周期内,养殖水、沉积物和塘埂土中草甘膦的检出率分别为 46.7%、83.3% 和 77.8%,最大残留值分别为 57

$\mu\text{g/L}$ 、1 149  $\mu\text{g/kg}$  和 5 057  $\mu\text{g/kg}$ 。(2)草甘膦残留水平与其他地区相比处于中等水平,主要来源为虾塘除草过程中草甘膦除草剂的使用。(3)生态风险评估表明,养殖周期内养殖水体及沉积物中残留草甘膦对罗氏沼虾养殖存在潜在风险。(4)建议虾塘合理使用草甘膦除草剂以规避相关风险。为更好了解水产养殖环境中草甘膦的来源及其食用风险,在以后的研究中可增加对周边农业环境中草甘膦残留情况的调查并对水产品中草甘膦的含量进行检测。

### 参考文献:

[1] 沈路遥,彭自然,戴智.草甘膦水生生物毒性、环境行

- 为、检测方法研究进展[J]. 农药, 2020, 59(1): 6-10, 33.
- SHEN L Y, PENG Z R, DAI Z. Advances in aquatic Biototoxicity, environmental behavior and detection of glyphosate[J]. Agrochemicals, 2020, 59(1): 6-10, 33.
- [2] DE MELO M S, DOS SANTOS T P G, JARAMILLO M, et al. Histopathological and ultrastructural indices for the assessment of glyphosate-based herbicide cytotoxicity in decapod crustacean hepatopancreas[J]. Aquatic Toxicology, 2019, 210: 207-214.
- [3] DE MELO M S, NAZARIE M, JOAQUIM-JUSTO C, et al. Effects of low glyphosate-based herbicide concentrations on endocrine-related gene expression in the decapoda *Macrobrachium potiuna* [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(21): 21535-21545.
- [4] 中华人民共和国生态环境部. HJ 1071—2019 水质草甘膦的测定高效液相色谱法[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- Ministry of Ecology and Environment of People's Republic of China. HJ 1071 - 2019 Water quality - determination of glyphosate - high performance liquid chromatography [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2019.
- [5] 中华人民共和国生态环境部. HJ 1055—2019 土壤和沉积物草甘膦的测定高效液相色谱法[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- Ministry of Ecology and Environment of People's Republic of China. HJ 1055 - 2019 Soil and sediment - determination of glyphosate - high performance liquid chromatography [S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2019.
- [6] 李岩, 王红斌. 草甘膦在水-土两相中的吸附行为研究[J]. 云南民族大学学报: 自然科学版, 2013, 22(6): 399-402.
- LI Y, WANG H B. Adsorption behaviors of herbicide glyphosate on soil [J]. Journal of Yunnan University of Nationalities: Natural Sciences Edition, 2013, 22(6): 399-402.
- [7] 冯奇飞, 臧维玲, 戴习林, 等. 罗氏沼虾养殖塘底质硫化物含量及其与其他因子关系的研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(12): 175-182, 188.
- FENG Q F, ZANG W L, DAI X L, et al. Sulfide content in sediment of *Macrobrachium rosenbergii* culture ponds and relationship between sulfide content and other parameters [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(12): 175-182, 188.
- [8] 张石云, 宋超, 张敬卫, 等. 哈尼梯田稻鱼共作系统中除草剂的污染特征[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(S1): 184-192.
- ZHANG S Y, SONG C, ZHANG J W, et al. Occurrence of herbicides in rice fish system at Honghe Hani terrace fields [J]. Environmental Science and Technology, 2018, 41(S1): 184-192.
- [9] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB5749—2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration. GB 5749 - 2006 Standards for drinking water quality [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [10] 王静, 刘铮铮, 许行义, 等. 浙江省饮用水源有机毒物污染特征及健康风险研究[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(7): 29-33.
- WANG J, LIU Z Z, XU X Y, et al. Study on pollution pattern and health risk of organic toxicants in Zhejiang source water [J]. Environmental Pollution and Control, 2010, 32(7): 29-33.
- [11] 范瑾焯. 水环境中低浓度草甘膦及制剂对鲫鱼的毒性效应研究[D]. 南京: 南京大学, 2013: 54-55.
- FAN J Y. The toxicological effects of low concentration of glyphosate and its Roundup of formulation in aquatic environment on *Carassius auratus* [D]. Nanjing: Nanjing University, 2013: 54-55.
- [12] 杨卫萍. 贵州省城市典型水源地农药面源污染特征及风险研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015: 46-47.
- YANG W P. Study on characteristics and risk assessment of pesticide non-point pollution in the typical drinking water of Guizhou [D]. Guiyang: Guizhou University, 2015: 46-47.
- [13] OKADA E, PÉREZ D, DE GER? NIMO E, et al. Non-point source pollution of glyphosate and AMPA in a rural basin from the southeast Pampas, Argentina [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25(15): 15120-15132.
- [14] HELEN K, GEORGE P, ANNA M. Investigation of the presence of glyphosate and its major metabolite AMPA in Greek soils [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(36): 36308-36321.
- [15] CASTROBERMAN M, MARINO D J G, QUIROGA M V, et al. Occurrence and levels of glyphosate and AMPA in shallow lakes from the Pampean and Patagonian regions of Argentina [J]. Chemosphere, 2018, 200: 513-522.
- [16] BENTO C P M, COMMELIN M C, BAARTMAN J E M, et al. Spatial glyphosate and AMPA redistribution on the soil surface driven by sediment transport processes-a flume experiment [J]. Environmental Pollution, 2018, 234: 1011-1020.
- [17] 张云杰, 许洪杰. 水产养殖中青苔防治技术[J]. 科学养鱼, 2017(5): 87.
- ZHANG Y J, XUN H J. Control technology of moss in aquaculture [J]. Scientific Fish Farming, 2017(5): 87.
- [18] ROMERO D M, DE MOLINA M C R, JUÁREZ Á B. Oxidative stress induced by a commercial glyphosate formulation in a tolerant strain of *Chlorella kessleri* [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011, 74(4): 741-747.
- [19] 李培林, 支崇远, 李娅, 等. 菱形藻生长及运动状态对农

- 药草甘膦原粉的毒性响应[J]. 农药, 2015, 54(2): 108-111.
- LI P L, ZHI C Y, LI Y, et al. The response of *Nitzschiaamplctens* in growth and kinestate to glyphosate original powder[J]. Agrochemicals, 2015, 54(2): 108-111.
- [20] 许杨贵, 李晶, 秦俊豪, 等. 水环境中草甘膦和三价砷对大型溞的联合毒性评价[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(11): 2076-2082.
- XU Y G, LI J, QIN J H, et al. Joint toxicity of glyphosate and As(Ⅲ) to *Daphnia magna* in aquatic environment[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2015, 34(11): 2076-2082.
- [21] 李佳, 袁玲. 草甘膦与氰氟草酯对隆线溞的急性毒性研究[J]. 草业学报, 2017, 26(9): 148-155.
- LI J, YUAN L. Acute toxicity study of glyphosate and cyhalofop-butyl to *Daphnia carinata*[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(9): 148-155.
- [22] HONG YH, YANG X Z, HUANG Y, et al. Assessment of the oxidative and genotoxic effects of the glyphosate-based herbicide roundup on the fresh water shrimp, *Macrobrachium nipponensis*[J]. Chemosphere, 2018, 210: 896-906.
- [23] MENSAH P K, MULLER W J, PALMER C G. Acute toxicity of Roundup? herbicide to three life stages of the freshwater shrimp *Caridina nilotica* (Decapoda: Atyidae) [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2011, 36(14/15): 905-909.
- [24] MENSAH P K, PALMER C G, MULLER W J. Derivation of South African water quality guidelines for Roundup® using species sensitivity distribution [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2013, 96: 24-31.
- [25] 朱国念, 郭江峰, 孙锦荷. 应用 <sup>14</sup>C 核素研究草甘膦在水域生态系统中的迁移、生物富集与消失动态[J]. 核农学报, 2002, 16(3): 185-190.
- ZHU G N, GUO J F, SUN JH. Studies on transfer, bioaccumulation and disappearance of glyphosate in the aquatic ecosystem by utilizing <sup>14</sup>C tracer technique [J]. ActaAgriculaeNucleataeSinica, 2002, 16(3): 185-190.

## Residual characteristics and ecological risk assessment of glyphosate in *Macrobrachium rosenbergii* culture ponds

SHEN Luyao<sup>1</sup>, PENG Ziran<sup>1</sup>, HE Wenhui<sup>1</sup>, FENG Minjie<sup>1</sup>, DAI Xilin<sup>2</sup>

(1. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Residual characteristics and ecological risk of glyphosate in the culture environment of *Macrobrachium rosenbergii* (*M. rosenbergii*) were studied. From May to October 2019, the concentrations of glyphosate in aquaculture water, sediment and ridge soil samples of three *M. rosenbergii* ponds in Jinshan District of Shanghai were monitored, and the ecological risk of glyphosate in aquaculture water and sediment was assessed by the risk quotient method. Results show that the detection rate of glyphosate in aquaculture water was 46.7%, and the maximum residue value was 57 μg/L. The detection rate of glyphosate in culture pond sediment and ridge soil was 83.3% and 77.8%, and the maximum residue value was 1 149 μg/kg and 5 057 μg/kg, respectively. The results of ecological risk assessment showed that the ecological risk level of glyphosate in aquaculture water to the sensitive organisms was mainly no obvious risk and medium risk, while the ecological risk levels in sediment were mainly medium risk and low risk. Research shows that the residual level of glyphosate in the culture environment of *M. rosenbergii* in Jinshan was at the middle level compared with other areas at home and abroad, and the main source was the use of glyphosate in pond ridge weeding. The residual glyphosate in aquaculture water and sediment had potential risks to *M. rosenbergii*.

**Key words:** *Macrobrachium rosenbergii*; aquaculture pond; glyphosate; residual characteristics; ecological risk assessment