

文章编号: 1004-8227(2009)08-0719-08

三种重金属对长江口纹缟虾虎鱼 早期发育的毒性作用

庄平^{1,3}, 赵优^{1,2}, 章龙珍^{1,3}, 冯广朋^{1,3}, 刘鉴毅¹

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;

2. 唐山出入境检验检疫局, 河北 唐山 063000; 3. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201316)

摘要: 纹缟虾虎鱼广泛分布于长江口水域, 它摄食底栖生物, 同时又被大型鱼类所食, 在长江口水域食物链中处于重要地位。研究了 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 3种重金属离子对长江口纹缟虾虎鱼从受精卵到出膜期、器官形成初期到出膜期、眼点形成期到出膜期等3个早期发育阶段孵化率和初孵仔鱼畸形率的影响, 同时对早期仔鱼进行急性毒性试验。结果表明: 3种重金属对胚胎及初孵仔鱼毒性大小依次为 $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$ 。纹缟虾虎鱼胚胎在3种重金属影响下出现身体弯曲、萎缩和残缺, 未能形成体节, 心包囊肿等症状, 还会出现较少见的胚体分叉、增生现象。纹缟虾虎鱼初孵仔鱼出现胸腔膨大、身体畸形等现象。仔鱼受重金属影响后, 短期内表现出运动加剧, 而后逐渐活力下降, 个别仔鱼出现头部或者身体中部弯曲症状。 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 对早期仔鱼的安全浓度分别为 0.010、0.136 和 0.167 mg/L。研究结果可评估环境中重金属对纹缟虾虎鱼早期发育各个阶段的影响, 亦为长江口水质监测与净化、纹缟虾虎鱼的资源增值以及中华鲟幼鱼栖息地饵料资源的保障提供参考。

关键词: 纹缟虾虎鱼; 重金属污染; 毒性试验; 胚胎; 早期仔鱼

文献标识码: A

纹缟虾虎鱼 (*Tridentiger trignocephalus*), 属鲈形目 (Perciformes)、虾虎鱼科 (Gobiidae)、缟虾虎鱼属 (*Tridentiger*), 为沿岸底栖性鱼类, 广盐性, 是长江口浅滩咸淡水水域常见的一种小型鱼类^[1,2]。虾虎鱼在长江口生态系统食物链中处于重要的地位, 它主要摄食底栖生物, 又是许多较大型鱼类的饵料生物^[1-3]。国家一级重点保护动物中华鲟 (*Acipenser sinensis*) 幼鱼在由长江向大海的降海洄游过程中, 每年5~9月份在长江口停留, 完成必须的生理调节和营养积累, 这期间纹缟虾虎鱼是中华鲟幼鱼的重要饵料生物之一^[3]。因此长江口纹缟虾虎鱼资源量的丰欠直接关系到当年降海洄游中华鲟幼鱼的食物保障, 对中华鲟保护具有重要意义。

近年来, 随着社会经济的高速发展, 长江口面临着巨大的环境压力, 污染呈现加剧的趋势。鱼类早期生活史阶段对污染物十分敏感。已有的研究表

明, 利用鱼类胚胎及仔鱼进行毒性试验, 是评价物质毒性效应的理想方法^[4]。目前重金属对长江口纹缟虾虎鱼早期发育阶段的毒性作用尚未见研究报道, 本文选择目前长江口污染较为严重的 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 3种重金属离子对纹缟虾虎鱼胚胎及早期仔鱼进行毒性试验, 评估3种重金属离子的毒性效应, 旨在为长江口生态环境评价以及长江口中华鲟幼鱼的食物保障等提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料的采集和选取

2007年4月在上海市长江口中华鲟自然保护区水域采集纹缟虾虎鱼性腺发育成熟的亲鱼, 雌性亲鱼平均体长 61.86 ± 6.03 mm, 平均体重 5.89 ± 1.40g; 雄性亲鱼平均体长 76.47 ± 7.12mm, 平均

收稿日期: 2008-07-23; 修回日期: 2008-09-14

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(30490234); 国家高技术研究发展计划资助项目(2008AA10Z227); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2007M02, 2008M01); 国家科技基础条件平台资助项目(2006DKA30470-004); 上海市长江口中华鲟自然保护区资助项目(沪鲟保研 200708311001)

作者简介: 庄平(1960~), 男, 湖南省桃源人, 研究员, 博士, 主要从事鱼类生理生态学和保护生物学研究。

E-mail: pzhuan.g@online.sh.cn

体重 9.04 ± 3.48 g。选取体质较好的亲鱼暂养于实验室水泥池,暂养期间水温 21 ± 1.0 °C,盐度 4.0。

选择能自然流卵的雌性亲鱼,通过挤压腹部取卵;雄性亲鱼剖腹取出精巢,选择精子活力在 70% 以上精巢剪碎。将采集的精卵混合于容器中,加入盐度 4.0 的水激活精子授精。选择受精卵(受精后 0 h)、器官形成初期(受精后 30 h)和眼点形成期(受精后 110 h)的正常胚胎分别进行毒性试验,急性毒性试验仔鱼为健康、活力好的初孵仔鱼(孵化后 6 h 之内)。

1.2 实验药物和浓度设置

试验用药物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (上海科昌精细化学品公司)、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (上海精析化工科技有限公司)和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (上海精析化工科技有限公司)均为分析纯。实验前用去离子水将各实验药物配制成 1 000 mg/L 质量浓度的母液,再根据预实验的结果设置试验浓度并稀释成相应 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 试验溶液(见表 1),实验期间水体盐度 4.0、pH 7.3 ± 0.5 、总碱度 1.33 ± 0.11 mg/L,光照时间为 12 h/12 h。

表 1 重金属试验用液浓度

Tab. 1 Concentrations of Experimental Heavy Metal Ions

发育阶段	重金属	浓度(mg/L)					
受精卵阶段至出膜	Cu^{2+}	0	0.0125	0.025	0.05	0.1	0.2
	Pb^{2+}	0	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0
	Zn^{2+}	0	0.125	0.25	0.5	1.0	2.0
器官形成初期至出膜	Cu^{2+}	0	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4
	Pb^{2+}	0	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0
	Zn^{2+}	0	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0
眼点形成期至出膜	Cu^{2+}	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8
	Pb^{2+}	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
	Zn^{2+}	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
早期仔鱼	Cu^{2+}	0	0.01	0.032	0.1	0.32	1.0
	Pb^{2+}	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0
	Zn^{2+}	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0

1.3 实验设计

1.3.1 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对胚胎的毒性试验

将人工授精的受精卵、发育至器官形成期和眼点形成期的胚胎分别放入直径为 15 cm 的培养皿进行毒性试验,每个培养皿放受精卵 50 粒,每组 4 个平行,同时设置对照组,每个培养皿加入实验用液 50 mL,实验过程采用半流水式试验(Semi-static test),每 8 h 换 1 次实验用液,并且使整个实验过程中的温度控制在 $22 \sim 23.5$ °C、盐度 4.0、pH $7.3 \sim 7.5$,及时清除死亡胚胎。实验采取每 6 h 观察 1 次的方法,每次每个浓度组观察不少于 3 个平行,记录

各实验组孵化率、孵化时间和初孵仔鱼畸形率,并采用 Olympus SZX9 体视显微镜及 Nikon E-2000 倒置显微镜对各处理组胚胎和初孵仔鱼进行活体观察和显微摄影。以概率单位法(Probit)求 3 个不同发育时期至出膜期的半致死浓度 LC_{50} 值。

1.3.2 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对早期仔鱼急性毒性试验

实验在 300 mL 烧杯中进行,每个烧杯放 50 尾正常的初孵仔鱼,根据预试验结果设置浓度梯度,每组 4 个平行并设置对照组。试验期间水温控制在 22.5 ± 0.5 °C,盐度 4.0, pH $7.3 \sim 7.5$,自然光照,连续观察仔鱼的存活情况,每 12 h 换 1 次试验液,同时及时清除死亡鱼苗,在 Nikon 倒置显微镜下拍照,实验期间不投喂饵料。分别统计初孵仔鱼在不同浓度重金属溶液中 24、48、72 和 96 h 的死亡率,以概率单位法求 24、48、72 和 96 h 的半致死浓度(LC_{50}),安全浓度采用 $SC = 48 \text{ h } LC_{50} \times 0.3 / (24 \text{ h } LC_{50} / 48 \text{ h } LC_{50})^2$ 计算。

1.4 数据统计

胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率数据表达均为平均值 \pm S. D,利用 SPSS13.0 统计软件进行数据统计,采用方差分析进行显著性分析,当 $p < 0.05$,差异显著,如方差分析具有显著性,则进行组间多重比较。

2 结果

2.1 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对不同发育时期孵化率、初孵仔鱼畸形率的影响

2.1.1 对受精卵到出膜期胚胎孵化率及初孵仔鱼畸形率的影响

在水温 $22 \sim 23.5$ °C 条件下,对照组胚胎经 160 h 出膜,孵化率为 $71.38 \pm 1.91\%$,染毒试验组孵化时间平均为 172 h,初孵仔鱼畸形率为 $9.26 \pm 2.83\%$ 。0.2 和 0.1 mg/L 的 Cu^{2+} 浓度组胚胎分别暴露 36 h(器官形成期)和 108 h(眼点形成期)全部死亡,其余各组孵化率之间都存在显著差异($p < 0.05$);各组之间初孵仔鱼畸形率 0.0125 mg/L 浓度组与对照组以及 0.025 与 0.05 mg/L 的浓度组外其余各浓度组之间差异显著($p < 0.05$) (图 1)。

Pb^{2+} 各浓度组之间孵化率除 0.125 和 0.25 mg/L 浓度组以及 0.5 和 1.0 mg/L 浓度组外,其余各组之间均存在显著差异($p < 0.05$);各浓度组之间初孵仔鱼畸形率 0.5 和 1.0 mg/L 浓度组与对照组、0.125 mg/L 两个浓度组差异显著($p < 0.05$) (图 2)。

Zn^{2+} 各实验组中 2.0 和 1.0 mg/L 浓度组分别

暴露 42 h (晶状体形成期) 和 108 h (眼点形成期) 全部死亡, 其它各浓度组之间孵化率比较均存在显著差异 ($p < 0.05$); 初孵仔鱼畸形率除对照组与 0.125 mg/L 浓度组、以及 0.25 和 0.5 mg/L 浓度组以外, 其余各组之间差异均显著 ($p < 0.05$) (图 3)。比较 3 种重金属对纹缟虾虎鱼胚胎孵化率的影响大小依次为: $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Pb^{2+}$ 。

2.1.2 对器官形成期初期到出膜期胚胎孵化率及初孵仔鱼畸形率的影响

发育至器官形成期初期的胚胎 (受精后 30 h) 对照组孵化率为 $82.20 \pm 2.55\%$, 初孵仔鱼畸形率为 $7.00 \pm 1.99\%$ 。0.2 mg/L 浓度 Cu^{2+} 试验组 60 h 后 (心跳形成期) 全部死亡, 各组孵化率之间比较差异均显著 ($p < 0.05$); 比较 Cu^{2+} 各组初孵仔鱼畸形率发现, 0.1 mg/L 浓度组分别与对照组、0.0125 mg/L 以及 0.05 mg/L 浓度组差异显著 ($p < 0.05$) (图 4)。

Pb^{2+} 各浓度组之间比较孵化率均差异显著 ($p < 0.05$); 对初孵仔鱼畸形率进行比较发现, 1.0 和 4.0 mg/L 分别与对照组、0.25 和 0.5 mg/L 浓度组差异显著, 2.0 mg/L 浓度组与对照组差异显著 ($p < 0.05$) (图 5)。

4.0 mg/L 的 Zn^{2+} 浓度组在暴露 96 h (眼点形成期) 全部死亡, 比较 Zn^{2+} 各组孵化率差异均显著 ($p < 0.05$); 比较初孵仔鱼畸形率发现, 1.0 和 2.0 mg/L 浓度组分别与其他各组差异显著 ($p < 0.05$) (图 6)。其中 Cu^{2+} 处理组孵化率最低, Pb^{2+} 处理组孵化率最高。

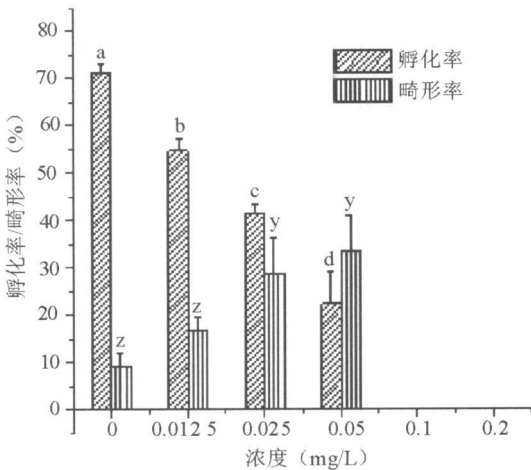


图 1 Cu^{2+} 对受精卵到出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率的影响

Fig. 1 Effects of Cu^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Fertilized Egg to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

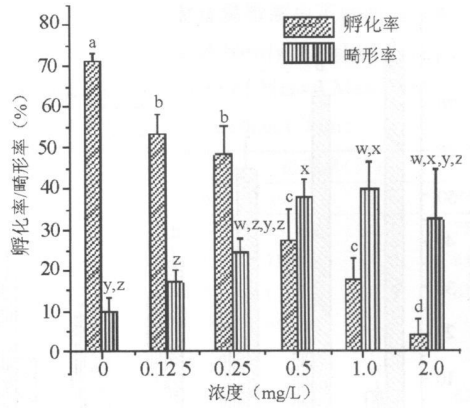


图 2 Pb^{2+} 对受精卵到出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率的影响

Fig. 2 Effects of Pb^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Fertilized Egg to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

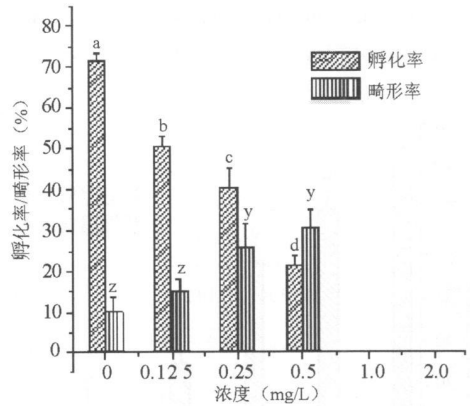


图 3 Zn^{2+} 对受精卵到出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 3 Effects of Zn^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Fertilized Egg to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

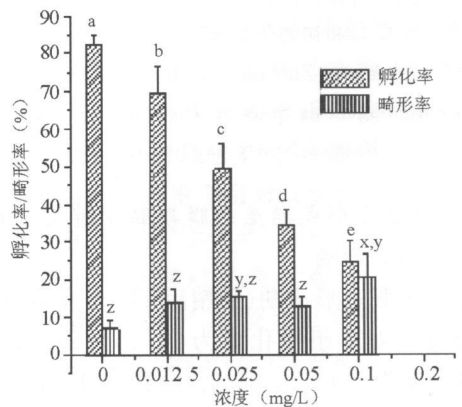


图 4 Cu^{2+} 对器官形成期初期至出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 4 Effects of Cu^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Organogenesis Stage to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

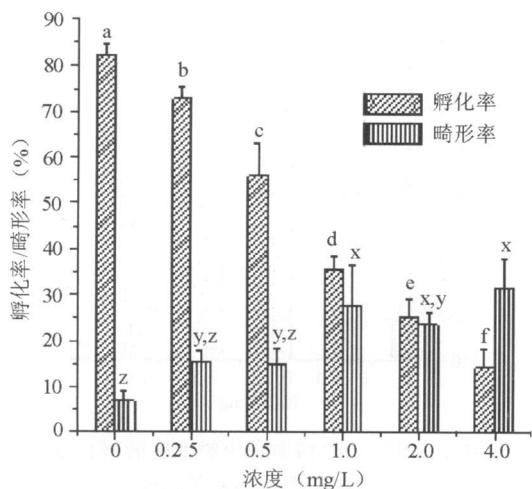


图 5 Pb^{2+} 对器官形成期初期至出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 5 Effects of Pb^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Organogenesis Stage to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

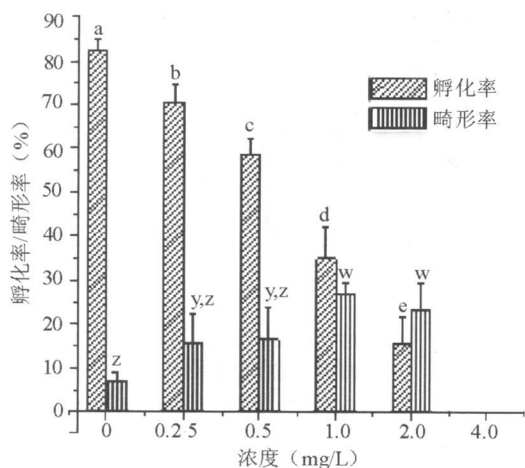


图 6 Zn^{2+} 对器官形成期初期至出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 6 Effects of Zn^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Organogenesis Stage to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

2.1.3 对眼点形成期至出膜期胚胎孵化率及初孵仔鱼畸形率的影响

发育至眼点形成期(受精后 110 h 左右)的纹缟虾虎鱼胚胎对照组孵化率为 $91.26 \pm 2.82\%$, 初孵仔鱼畸形率为 $7.40 \pm 0.85\%$ 。0.8 mg/L Cu^{2+} 浓度组 36 h(眼点形成期后期)全部死亡, Cu^{2+} 各组孵化率差异均显著($p < 0.05$); 各组之间初孵仔鱼畸形率除对照组与 0.05 mg/L 浓度组以及 0.2 mg/L 与 0.4 mg/L 浓度组外, 其余各组差异显著($p < 0.05$) (图 7)。

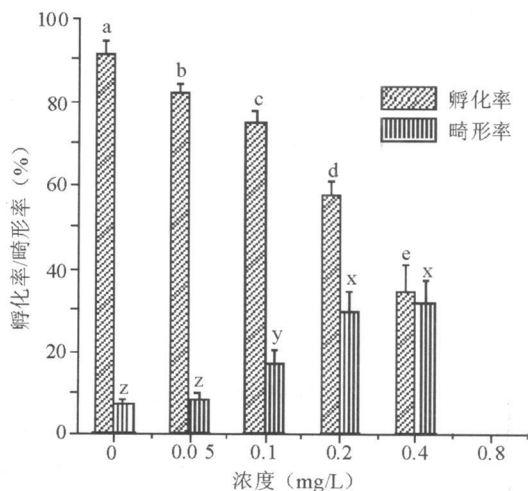


图 7 Cu^{2+} 对眼点形成期至出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 7 Effects of Cu^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Eyed Stage to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

比较 Pb^{2+} 浓度组发现, 除浓度组 0.5 mg/L 与 1.0 mg/L、1.0 mg/L 与 2.0 mg/L、2.0 mg/L 与 4.0 mg/L 以外, 其余各组差异显著($p < 0.05$); 比较初孵仔鱼畸形率发现, 8.0 mg/L 浓度组与其它各组差异显著, 2.0、4.0 mg/L 浓度组分别与对照组、0.5 mg/L、1.0 mg/L 浓度组差异显著($p < 0.05$) (图 8)。

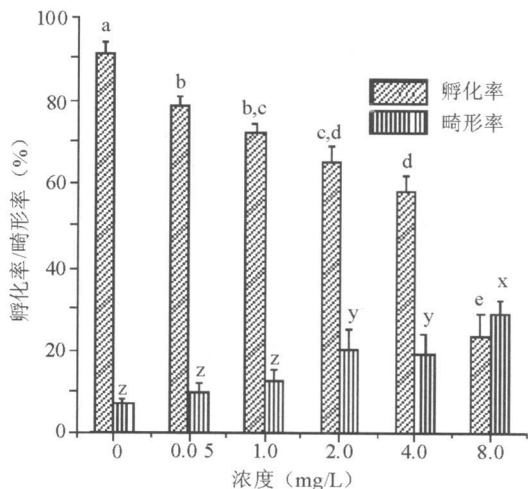


图 8 Pb^{2+} 对眼点形成期至出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 8 Effects of Pb^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Eyed Stage to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

比较 Zn^{2+} 各组发现, 各组孵化率差异均显著; 初孵仔鱼畸形率除对照组与 0.5 mg/L 浓度组以及 1.0、2.0 与 4.0 mg/L 浓度组外, 其余各组差异显著 ($p < 0.05$) (图 9)。从 3 种重金属对胚胎孵化率、畸形率影响大小来看: $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Pb^{2+}$ 。

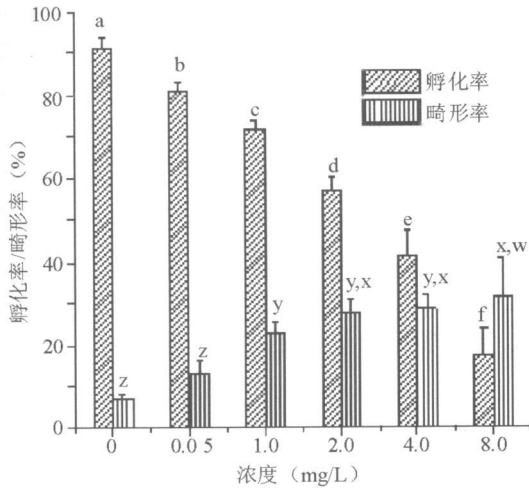


图 9 Pb^{2+} 对眼点形成期至出膜期胚胎孵化率和初孵仔鱼畸形率影响

Fig. 9 Effects of Zn^{2+} on Hatching Rate of Embryos from Eyed Stage to Hatching and Deformity Rate of Newly-hatched Larvae

2.2 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对纹缟虾虎鱼胚胎及初孵仔鱼的致畸作用

重金属作用于胚胎一定时间后对胚胎致畸作用主要表现为: 胚胎胚体肿胀 (图版 I, 2)、胚体增生 (图版 I, 3)、胚体畸形 (图版 I, 4)、心基囊肿 (图版 I, 5)、心跳缓慢等。在 3 种重金属中孵化的仔鱼出膜后活力较弱, 尤其是高浓度组, 出现运动失调等。畸形主要表现为: 仔鱼身体弯曲 (图版 I, 7)、身体增生 (图版 I, 8)、卵黄囊肿胀 (图版 I, 9)、卵黄囊畸形 (图版 I, 10)、身体侧弯 (图版 I, 11) 等。从受精卵开始暴露于 2 mg/L 的 Pb^{2+} 浓度组的初孵仔鱼出现活力差, 身体过细, 黑色素形成异常现象; Cu^{2+} 高浓度组仔鱼身体成深褐色, 并在短期内死亡。

2.3 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对早期仔鱼的急性毒性试验

选择健康、活力好的初孵仔鱼进行急性毒性试验, 仔鱼进入高浓度重金属溶液中, 短时间内就表现出运动加剧, 而后逐渐活力下降, 个别高浓度组出现运动失调, 主要表现为游动失去平衡或者不停转圈, 随着染毒时间延长, 仔鱼出现头部或者身体中部弯曲的症状。纹缟虾虎鱼初孵仔鱼 24、48、72 和 96 h 的存活率、死亡率与安全浓度结果见表 2、表 3。

表 2 早期仔鱼在不同重金属溶液中不同时间的存活率
Tab. 2 Survival Rate of Newly Hatched Larvae in Different Concentrations of Heavy Metal Ions at Different Treatment Time

重金属	浓度 (mg/L)	存活率 (%)			
		24 h	48 h	72 h	96 h
Cu^{2+}	0.01	93.0	88.5	83.0	75.3
	0.032	88.9	72.5	67.2	53.3
	0.10	74.8	67.5	60.8	31.5
	0.32	63.5	36.7	17.5	0
	1.00	0	0	0	0
Pb^{2+}	0.5	89.5	80.5	78.2	65.8
	1.0	85.0	70.5	57.0	50.5
	2.0	70.5	56.8	49.0	32.5
	4.0	38.8	28.5	21.7	10.0
	8.0	13.5	0	0	0
Zn^{2+}	0.5	80.3	75.2	64.7	58.8
	1.0	77.0	67.5	53.5	37.2
	2.0	56.8	39.9	32.0	24.6
	4.0	38.1	16.0	8.2	0
	8.0	9.5	0	0	0
对照组	0	100	100	98	98

表 3 早期仔鱼的 LC_{50} 值和安全浓度计算

Tab. 3 LC_{50} Value of Newly Hatched Larvae and Safety Concentration

重金属	24h LC_{50}	48h LC_{50}	72h LC_{50}	96h LC_{50}	安全浓度	渔业水质标准
Cu^{2+}	0.170	0.098	0.068	0.032	0.010	< 0.01
Pb^{2+}	2.722	1.604	1.371	0.959	0.167	< 0.05
Zn^{2+}	1.870	1.293	0.941	0.670	0.136	< 0.10

3 讨论

3.1 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对纹缟虾虎鱼胚胎孵化率的影响

鱼类早期发育阶段对毒性物质最敏感, 利用胚胎研究污染物毒性, 能较为精确地掌握污染物对鱼类的毒性效应, 因此国内外在水质环境评价中普遍采用鱼类早期发育阶段进行生态毒理学研究^[4,5]。本试验结果表明 3 种重金属对纹缟虾虎鱼胚胎孵化毒性大小依次为 $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Pb^{2+}$, 此结果与柳学周等报道的重金属对半滑舌鲷 (*Areliscus semilaevis*) 胚胎毒性大小^[4] 以及吴玉霖等重金属对褐牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 胚胎的毒性大小顺序一致^[5], 周立红等报道的重金属对泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 的胚胎发育的影响大小为 $Cu^{2+} > Hg^{2+} > Zn^{2+} > Pb^{2+}$ ^[6], 刘敏海等报道重金属对早繁鲮鱼 (*Müchthysmiluy*) 胚胎的毒性效应大小依次为 $Cu^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Pb^{2+} > Cr^{6+}$ ^[7], 毒性效

应大小顺序与本文研究结果相似。经重金属作用后,鱼类胚胎的孵化时间均有所延长,可能是由于 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 破坏了胚胎孵化酶或其使胚体运动减慢导致胚胎破膜时间延长^[4]。

3.2 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对胚胎和初孵仔鱼畸形率的影响

重金属会导致胚胎产生一些畸形现象,通常认为化学致畸主要有如下几种机制:(1)细胞死亡或细胞增殖速度减慢;(2)胚胎细胞代谢障碍;(3)突变引起胚胎发育异常;(4)胚胎组织发育过程的不协调等。本实验观察到在 3 种重金属溶液中出现身体弯曲、萎缩和缺失,未形成体节,心包囊肿、心跳缓慢和初孵仔鱼畸形等与其它一些胚胎毒性研究结果相似^[4,7-9],但在 3 种重金属毒性作用下,纹缟虾虎鱼胚胎均出现胚体增生或者分叉现象,从而形成 2 个尾部,并且出现此种畸形现象的胚胎可持续发育甚至破膜而出。这种畸形现象在其他污染物对胚胎发育影响的报道中较为罕见,具体原因还有待于进一步研究。

3.3 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对早期仔鱼的急性毒性试验

3 种重金属对纹缟虾虎鱼初孵仔鱼毒性效应大小为 $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$,与周立红等报道的重金属对泥鳅初孵仔鱼^[6]以及吴玉霖等报道的重金属对牙鲆初孵仔鱼毒性大小结果一致^[5],而与柳学周等报道的重金属对半滑舌鲷初孵仔鱼的结果不同^[4]。 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 对纹缟虾虎鱼初孵仔鱼的安全浓度中 Cu^{2+} 安全浓度等于渔业水质标准,其他两种离子的安全浓度高于渔业水质标准。3 种重金属对纹缟虾虎鱼初孵仔鱼的安全浓度高于泥鳅的初孵仔鱼^[6],除了 Zn^{2+} 外, Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 安全浓度均高于半滑舌鲷^[4]、淡水石斑鱼^[11]和早繁鲷鱼^[7]的初孵仔鱼的安全浓度,其原因可能由于纹缟虾虎鱼栖息在河口沿岸,受涨落潮的影响生活环境变化较大,污染物含量也存在较大波动,因此对外界较高浓度污染物有一定的承受能力。

3.4 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 对纹缟虾虎鱼早期发育毒性效应的生态学意义

长江口具有重要的经济和生态地位,随着沿江

经济的迅速发展,城市生活污水和工农业废水的大量排放,导致水域环境恶化,其中重金属作为主要环境污染物在长江口超标较为严重。纹缟虾虎鱼为沿岸底栖鱼类,同时又是国家一级保护动物中华鲟幼鱼 5~9 月份的主要饵料生物之一,其资源量的多少关系到中华鲟幼鱼饵料丰欠^[4],因此纹缟虾虎鱼研究对保护中华鲟和长江口生态系统研究具有重要意义。由于鱼类早期发育阶段对污染物最敏感,在水温 $22.5 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 中,胚胎发育时期至少需 $160 \text{ h}^{[12]}$,胚胎发育历时相对较长,通过 3 种重金属对纹缟虾虎鱼胚胎不同发育阶段毒性效应研究,可初步估测环境中重金属对纹缟虾虎鱼早期发育各个阶段的影响,也为长江口水质净化与监测、纹缟虾虎鱼的资源增值以及中华鲟幼鱼栖息地的修复提供参考。

参考文献:

- [1] 庄平,王幼槐,李圣法,等.长江口鱼类[M].上海:上海科学技术出版社,2006:76~79,105~108,216~217.
- [2] 中国水产科学研究院东海水产研究所,上海市水产研究所.上海鱼类志[M].上海:上海科学技术出版社,1990:302~321.
- [3] 罗刚,庄平,章龙珍,等.长江口中华鲟幼鱼的食物组成及摄食习性[J].应用生态学报,2008,19(1):144~150.
- [4] 柳学周,徐永江,兰功刚.几种重金属对半滑舌鲷胚胎发育和仔稚鱼的毒性效应[J].海洋水产研究,2006,27(2):33~42.
- [5] 吴玉霖,赵鸿儒,侯兰英.重金属对牙鲆胚胎和仔鱼的影响[J].海洋与湖沼,1990,21(4):386~393.
- [6] 周立红,陈学豪,秦德忠.四种重金属对泥鳅胚胎和仔鱼毒性的研究[J].厦门水产学院学报,1994,16(1):11~19.
- [7] 柳敏海,陈波,罗海忠,等.五种重金属对早繁鲷鱼胚胎和仔鱼的毒性效应[J].海洋渔业,2007,29(1):57~62.
- [8] 周宇,于红霞,丁翔,等.氯代苯类有机污染物对斑马鱼胚胎联合毒性效应的研究[J].农业环境科学学报,2003,22(3):340~344.
- [9] 王佳佳,徐超,屠云杰,等.斑马鱼及其胚胎在毒理学中的实验研究与应用进展[J].生态毒理学报,2007,2(2):132~135.
- [10] 吴鼎勋,洪万树.四种重金属对鲷状黄姑鱼胚胎和仔鱼的毒性[J].台湾海峡,1999,18(2):186~191.
- [11] 何斌,何利君,杜军,等.4种重金属离子对淡水石斑鱼胚胎及仔鱼急性毒性的研究[J].水利渔业,2006,26(4):94~95.
- [12] 赵优,庄平,章龙珍,等.纹缟虾虎鱼胚胎与早期仔鱼的发育特征[J].中国水产科学,2008,15(4):532~541.

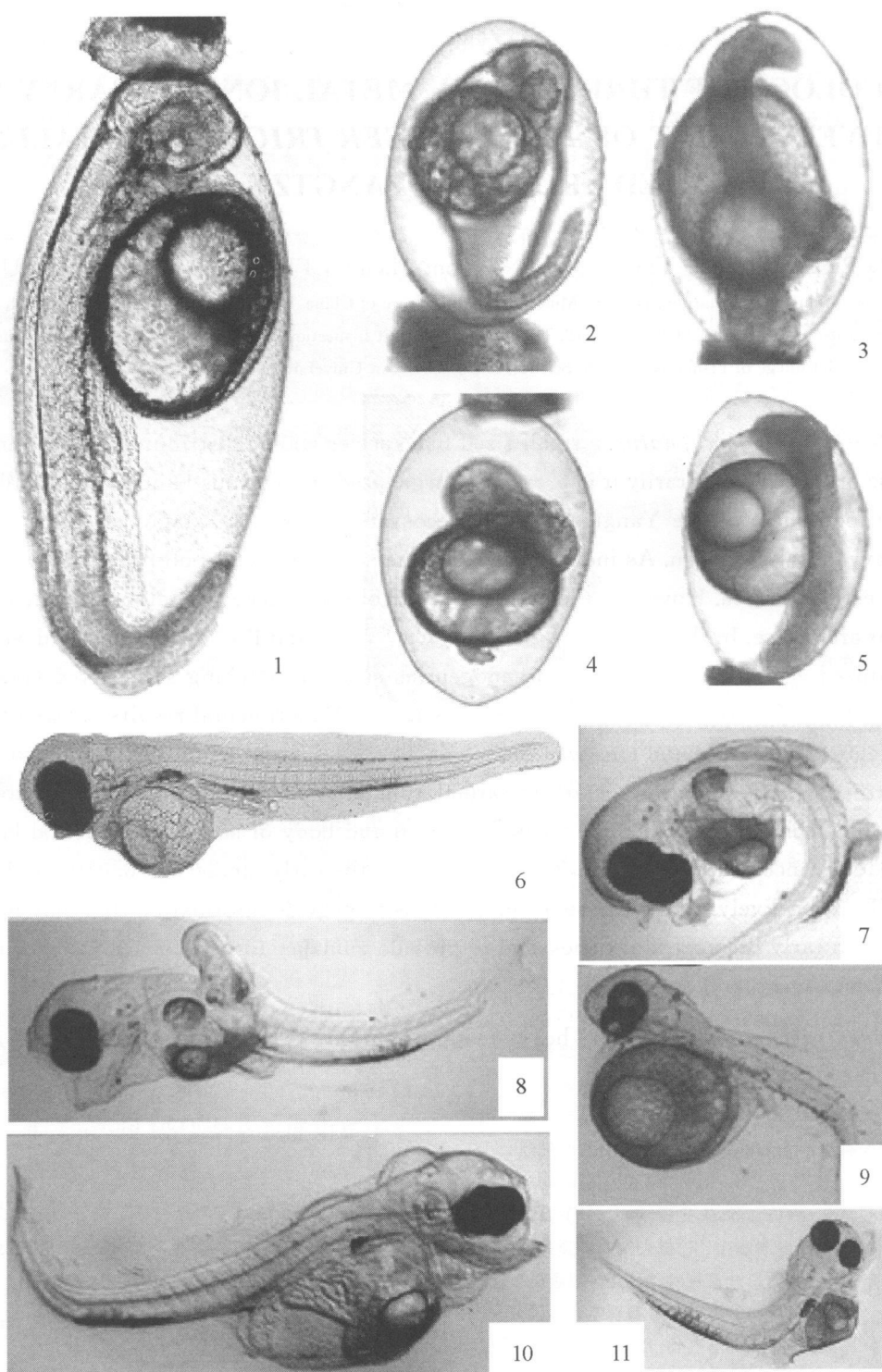
TOXICOLOGY OF THREE HEAVY METAL IONS TO EARLY LIFE DEVELOPMENT OF *TRIDENTIGER TRIGONOCEPHALUS* COLLECTED FROM THE YANGTZE ESTUARY

ZHUANG Ping^{1,3}, ZHAO You^{1,2}, ZHANG Long-zhen^{1,3}, FENG Guang-peng^{1,3}, LIU Jian-yi¹

(1. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. Tangshan Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Tangshan 063000, China; 3. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201316, China)

Abstract: *Tridentiger trigonocephalus*, a small-sized fish species widely distributed in the Yangtze estuary, feeds on benthic organisms; contrarily it is preyed by large-sized carnivorous fishes. Thus, it plays an important role in the food chain of the Yangtze estuarine ecosystem. Early life stages of many fish species are sensitive to heavy metal pollution. As industrial development, heavy metal pollution has become a problem in the Yangtze estuarine area. However, the studies of toxicology of heavy metal ions to the early life of *T. trigonocephalus* are scarce. In this study, the effects of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Pb^{2+} on four early developmental periods, i. e., fertilized egg to hatching stage, organogenesis stage to hatching stage, eyed stage to hatching stage and larval stage of *T. trigonocephalus* were investigated. Experimental results showed that the intensity of toxic effects of 3 heavy metal ions was $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$. Toxic symptom of embryo was body curvature, body atrophy, body deformity and pericardial tumefaction. At the beginning of toxicosis larvae moved acutely, and then gradually became weak. The head and body of some experimental larvae appeared curving. The safety concentration of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Pb^{2+} to the early larvae was 0.010 mg/L, 0.136 mg/L and 0.167 mg/L, respectively. The purpose of this study is to provide information that may help to evaluate pollution effects on early life stages of fishes, and to provide guidance for the conservation of important fish species in the Yangtze estuary.

Key words: *Tridentiger trigonocephalus*; heavy metal pollution; toxicity, embryo; early larvae



图版I 纹缟虾虎鱼正常与畸形的早期发育形态

Plate I Normal and M alformed M odality of Early Development in *T. trigonocephalus*

1. 正常心跳期胚胎 Normal embryo of heart stage;
2. 胚胎胚体肿胀 Tumorous body of embryo;
3. 胚胎胚体增生 Hyperplastic body of embryo;
4. 胚胎胚体畸形 Deformed body of embryo;
5. 胚胎心基囊肿 Pericardial tumefaction of embryo;
6. 正常0日龄仔鱼 Normal newly-hatched larvae;
7. 仔鱼身体弯曲 Curving body of larvae;
8. 仔鱼身体增生 Hyperplastic body of larvae;
9. 仔鱼卵黄囊肿胀 Yolk sac tumefaction of larvae;
10. 仔鱼卵黄囊畸形 Yolk sac deformity of larvae;
11. 仔鱼身体侧弯 Side curving body of larvae