

东湖茶港排污口底泥对稀有鮕鲫的毒性

姜福全^{1,2} 王剑伟¹ 邵 燕^{1,2} 何勇凤^{1,2}

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:以东湖茶港排污口底泥复溶水为试验相,采用 96h 急性毒性试验和胚胎—卵黄囊吸收阶段毒性试验方法,研究了东湖茶港排污口底泥对稀有鮕鲫的毒性。结果显示,高浓度的复溶水对稀有鮕鲫胚胎、仔鱼和幼鱼具有明显的毒性效应,而胚胎—卵黄囊吸收阶段更为敏感。随着复溶水浓度的增加,稀有鮕鲫受精卵孵化率降低,仔鱼畸形率增高、成活率降低、生长减慢;对胚胎—卵黄囊吸收阶段的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 12.5%、25% 和 17.68%;对幼鱼 96h LC₅₀ 为 69.1%。本文的研究还表明,底泥经晾晒后毒性大幅降低,暗示恢复东湖通江状态并让水位自然涨落,可能有助于缓解污染、恢复生态环境。

关键词: 东湖; 底泥; 毒性; 稀有鮕鲫

中图分类号: X503.225 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2007)06-0829-07

在天然水体中,沉积物是有毒污染物的汇集点,沉积物中的有害物质的含量常比水体中的浓度高几个数量级^[1]。当环境条件相对稳定时,污染物在泥水之间处于动态平衡;当环境因子发生变化时这些有害物质就将从沉积物中释放出来造成二次污染,从而直接或间接地危害水生生物^[2,3]。东湖位于武汉市武昌东北部,是典型的城市浅水湖泊,受点源、面源污染的影响,东湖水体污染与富营养化十分严重。东湖底泥中营养盐、重金属、有机污染物浓度均很高,当外源性污染被控制之后,内源性污染成为人们十分关注的问题^[4-6]。

沉积物毒理学研究首选受试生物应为底栖动物,但由于底栖动物对化学物质的敏感性一般较低,因而大量的沉积物毒理学研究还是以非底栖动物进行^[3]。在淡水生态系统中,鱼类处于食物链的更高等级,通过富集作用可能会受到更大的危害,而且最终将不可避免地影响到人类的健康,因此一些研究者采用鱼类研究沉积物的毒性效应^[7,8]。稀有鮕鲫(*Gobiocypris rarus* Ye et Fu)是我国特有的一种小型鲤科鱼类,因具有饲养简便、繁殖周期短、对污染物敏感等特点^[9],先后被《化学品测试方法》和《水和废水监测分析方法》推荐为我国的供试生物,近年来被较多地应用于生态毒理学研究中^[10-12]。然而,迄今

尚未见有关稀有鮕鲫胚胎—卵黄囊吸收阶段毒性试验的正式报道,也无稀有鮕鲫应用于沉积物毒理学研究的实例。

本文以 60 日龄稀有鮕鲫幼鱼以及胚胎—卵黄囊吸收阶段作为试验材料,对东湖的一个主要的生活污水排放口—茶港排污口底泥的毒性进行研究,以期丰富稀有鮕鲫在毒理学研究中的资料,同时,探讨降低底泥毒性的可行性,为恢复东湖生态环境提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验生物 本研究使用 60 日龄稀有鮕鲫作为急性毒性试验材料,以受精卵及卵黄囊仔鱼进行亚慢性毒性试验。研究材料为中国科学院水生生物研究所自行培养,其亲本为 2003 年捕于四川省彭州市的野生稀有鮕鲫。

1.2 底泥的采集和试验相的制备 2005 年 12 月 16 日用彼得森采泥器采集东湖茶港生活污水排放口处(30°32.95'N, 114°21.03'E)底泥,搅拌均匀,分成若干份。一部分底泥即时处理后用于试验,另一部分经室外晾晒后再用于试验。试验相选用复溶水相(Elutriate),参照 USEPA 推荐的方法制备^[13]。新鲜底泥按体积比 1:4 加入经过曝气的自来水,搅拌

收稿日期:2006-05-11;修订日期:2007-07-05

基金项目:中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-SW-125);湖北省科技基础条件平台专项项目资助

作者简介:姜福全(1979—),男,汉族,山东平度市人;硕士研究生,主要从事生态毒理学方面的研究

通讯作者:王剑伟, E-mail: wangjw@ihb.ac.cn

1h,常温下以 4200 r/min 离心 15min,所得上清液经 0.45 μm 微孔滤膜(上海兴亚净化材料厂生产)抽滤后即得复溶水。制备的复溶水于 4℃ 避光保存备用,存放时间不超过 1 周。为了研究晾晒后底泥的毒性,将新鲜底泥摊在解剖盘内,厚度约 3 cm,置于室外晾晒 1 个月。实际晾晒过程中直接日晒时间约 150h。在处理晾晒后的底泥时,为了获得更高的浓度组,部分泥样按鲜泥时体积比 1:2 加入经过曝气的自来水,其余过程同上,所得的试验液浓度相当于用鲜泥制备复溶水的 2 倍,记为 200 %。

1.3 生物测试

1.3.1 急性试验 按照几何级数系列设置 6.25 %、12.5 %、25 %、50 %和 100 %共 5 个浓度组和 1 个对照组,每组设 3 个平行。试验容器为 20 cm × 20 cm ×20 cm 的方形玻璃缸,盛 2 L 试验溶液,每个缸中随机放入 10 尾 60 日龄、平均体长为 17.0 mm、平均体重为 0.09 g 的稀有鮎鲫。试验期间温度控制在 (24.5 ±0.5)℃,光暗比为 12h:12h,溶氧保持在 5 mg/L 以上。整个试验持续 96h,每 12h 记录死亡数,并及时捞出死亡个体。所得数据用软件 Trimmed Spearman Karber Estimation of LC₅₀ Values (Version 1.00) 计算半数致死浓度 LC₅₀。

1.3.2 底泥对胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验 预试验浓度设置为 6.25 %、12.5 %、25 %、50 %和 100 %共 5 个复溶水浓度组,结果 100 %浓度组稀有鮎鲫受精卵未孵出 1 尾。正式试验设 3.125 %、6.25 %、12.5 %、25 %和 50 %的 5 个暴露组和 1 个对照组,每组均设 3 个平行,正式试验重复 2 次。试验用容器为直径 12 cm 高 7 cm 的玻璃结晶皿,盛 500 mL 试验液。为确保用于试验的卵全部经过受精,在解剖镜下观察早期发育,取原肠胚期的胚胎(受精后约 8h)用于试验,每个结晶皿随机放入 30 个胚胎。试验采用静态换水式,每 24h 更换试验溶液。试验温度用水浴控制在 (25 ±0.5)℃,光暗比为 12h:12h,试验期间溶氧均保持在 5 mg/L 以上。观察记录各试验容器的死卵数和死鱼数,及时将死卵和死鱼挑出。解剖镜下观察到任一浓度组仔鱼的卵黄囊完全吸收时试验结束。将各试验容器的鱼用 100 mg/L 的苯佐卡因使其安乐死,在解剖镜下测量体长,然后在 104℃ 下烘干,1/10⁵g 电子天平称量干重。采用方差分析和 Dunnett's 多重比较估算最低可观察效应浓度(LOEC)和无可观察效应浓度(NOEC)。用 LOEC 和 NOEC 的几何平均数近似地估算最大允许毒物浓度 MATC。

1.3.3 晾晒后底泥对胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验 试验浓度设置为相当于鲜泥制备的复溶水 3.125 %、6.25 %、12.5 %、25 %、50 %、100 %和 200 %的 7 个浓度组,试验进行 1 次,其余操作与鲜泥部分相同。

2 结果

2.1 急性毒性

高浓度的底泥复溶水对稀有鮎鲫具有很强的毒性(表 1)。当复溶水浓度低于 50 %时,稀有鮎鲫幼鱼无一死亡;而当浓度为 50 %时,部分个体死亡;浓度 100 %时,幼鱼全部死亡。通过计算,东湖茶港排污口底泥复溶水对稀有鮎鲫 96h LC₅₀ 为 69.1 %,95 %可信限为 66.03 %—72.31 %。试验过程中还发现,幼鱼死亡均发生在开始暴露的 24h 内,因此 24h、48h、72h 和 96h 的 LC₅₀ 相同。在所有浓度组和平行组中共有 31 尾鱼死亡,其中试验开始后 0—12h 死亡 26 尾,12—24h 死亡 5 尾。

表 1 东湖茶港排污口底泥对稀有鮎鲫 96h 急性试验的死亡率

Tab. 1 Mortality of *G. rarus* in 96h acute toxicity test of sediment in Chagang sewage entrance of Donghu Lake

复溶水浓度	Control	6.25	12.5	25	50	100
Elutrate concen-tration (%)						
死亡率 Mortality	0	0	0	0	3.33 %	100 %

2.2 鲜泥对稀有鮎鲫胚胎-卵黄囊吸收阶段的毒性

高浓度的底泥复溶水对稀有鮎鲫胚胎、仔鱼具有明显的毒性效应。随着复溶水浓度增加,受精卵孵化率有所降低,而仔鱼畸形率增高(表 2)。从孵化率看,第一次试验 3.125 %—12.5 %各浓度组与对照组均无显著性差异($p > 0.05$),25 %和 50 %浓度组与对照组之间差异显著($p < 0.05$)。由孵化率确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 12.5 %、25 %和 17.68 %。第二次试验 25 %及以下浓度组与对照组间均无显著性差异,50 %组与对照组差异显著,因此,第二次试验由孵化率求得的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 25 %、50 %和 35.36 %。

从仔鱼畸形率看,两次试验的结果是吻合的。当浓度为 3.125 %—12.5 %时,仔鱼畸形率与对照组均无显著性差异,而当浓度增加到 25 %和 50 %浓度时,仔鱼畸形率明显增高。畸形个体主要表现为脊柱弯曲,卵黄囊形状异常,围心腔水肿增大,个体比正常偏小,游泳无力(图 1)。由仔鱼畸形率确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 12.5 %、25 %和 17.68 %。

表 2 东湖茶港排污口底泥对稀有鮡孵化率、仔鱼畸形率的影响

Tab. 2 Effect of sediment in Chagang sewage entrance of Donghu Lake on hatching rate of *G. rarus* embryo and abnormality rate of larva

复溶水浓度 Elutriate concentration (%)	孵化率 Hatching rate (%)		仔鱼畸形率 Abnormality rate of larva (%)	
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1	Exp. 2
Control	100	100	0	0
3.125	100	98.89 ±1.92	1.11 ±1.92	0
6.25	100	98.89 ±1.92	2.22 ±1.92	0
12.5	98.89 ±1.92	98.89 ±1.92	2.26 ±1.96	4.52 ±2.06
25	62.22 ±10.18 *	97.78 ±3.85	93.60 ±6.86 *	13.65 ±3.38 *
50	5.56 ±5.09 *	86.67 ±6.66 *	100 *	100 *

注:标星号的表示与对照组差异显著($p < 0.05$)
Note: Asterisk indicates statistical significance ($p < 0.05$) compared to the control



图 1 东湖茶港排污口底泥复溶水对稀有鮡仔鱼的致畸效应

Fig. 1 Abnormality of *G. rarus* Larva exposed to elutriate of sediment in Chagang sewage entrance of Donghu Lake

1. 对照组,正常仔鱼; 2. 25 %浓度组,围心腔水肿; 3. 50 %浓度组,脊柱弯曲,尾部未分离; 4. 50 %浓度组,脊柱弯全
1. Normal Larva in control group; 2. Larva exposed to 25 % elutriate, Pericardial edema; 3. Larva exposed to 50 % elutriate, abnormality of tail and spine; 4. Larva exposed to 50 % elutriate, Malformed spine

底泥对稀有鮡胚胎-卵黄囊吸收阶段的毒性还表现在累计死亡率和仔鱼生长上(表 3)。从胚胎与仔鱼的累计死亡率看,第一次试验中 3.125 %—12.5 %浓度组与对照组均无显著性差异($p > 0.05$),而 25 %和 50 %浓度组与对照组之间差异显著($p < 0.05$),由此求得的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 12.5 %、25 %和 17.68 %。第二次试验中 3.125 %—

25 %浓度组与对照组间均无显著性差异,50 %组与对照组差异显著,因此,第二次试验由累计死亡率确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 25 %、50 %和 35.36 %。

从试验结束时仔鱼的平均干重来看,第一次试验 3.125 %—12.5 %浓度组每尾干重与对照组无显著性差异,25 %浓度组因样本少未测量;第二次试验 3.125 %—25 %各浓度组每尾干重与对照组无显著性差异,50 %浓度组因样本少未测量。因此,根据干重的数据难以确定 NOEC 和 LOEC。

从试验结束时仔鱼的平均体长来看,两次试验结果非常吻合:3.125 %—12.5 %组与对照组均无显著性差异,25 %和 50 %浓度组与对照组之间差异显著,由此确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 12.5 %、25 %和 17.68 %。

2.3 晾晒后的底泥对稀有鮡胚胎-卵黄囊吸收阶段的毒性

晾晒 1 个月之后的底泥对稀有鮡的毒性效应见表 4。孵化率、累计死亡率、平均体重、平均体长 4 个指标反映的情况是一致的。当复溶水浓度在 3.125 %至 100 %之间时,这些指标与其对照组均无显著性差异($p > 0.05$),而当浓度为 200 %时,它们与对照之间差异显著($p < 0.05$)。因此,4 个指标确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 均为 100 %、200 %和 141.42 %。

3 讨论

3.1 稀有鮡胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验

在鱼类整个生命周期中,胚胎-卵黄囊吸收阶段对被试验过的绝大多数有毒化学品来说是最敏感的生活阶段。胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验不仅能

表 3 东湖茶港排污口底泥复溶水暴露后稀有鮎鲫胚胎-卵黄囊吸收阶段的累计死亡率与生长数据

Tab. 3 Total mortality, dry weight and length of *G. rarus* embryo-larva exposed to elutriate of sediment in Chagang sewage entrance of Donghu Lake

复溶水浓度 Elutriate concentration (%)	累计死亡率 Total mortality (%)		干重 Dry weight (mg)		体长 Body length (mm)	
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 1	Exp. 2
Control	0	0	0.10 ±0.02	0.10 ±0.01	4.54 ±0.04	5.06 ±0.05
3.125	0	1.11 ±1.92	0.11 ±0.04	0.10 ±0.01	4.50 ±0.12	5.08 ±0.01
6.25	1.11 ±1.92	2.22 ±3.85	0.10 ±0.03	0.10	4.62 ±0.06	4.98 ±0.05
12.5	1.11 ±1.92	3.33 ±3.34	0.11 ±0.02	0.10	4.56 ±0.11	4.95 ±0.09
25	95.56 ±5.09 *	2.22 ±3.85	—	0.10 ±0.01	3.86 ±0.19 *	4.69 ±0.08 *
50	100 *	84.45 ±6.94 *	—	—	—	3.82 ±0.06 *

注:标星号的表示与对照组差异显著 ($p < 0.05$)
Note: Asterisk indicates statistical significance ($p < 0.05$) compared to the control

表 4 晾晒后底泥对稀有鮎鲫胚胎-卵黄囊吸收阶段的毒性效应

Tab. 4 Toxicity of sundried sediment in Chagang sewage entrance of Donghu Lake on embryo and yolk-sac larva of *G. rarus*

复溶水浓度 Elutriate concentration (%)	孵化率	累计死亡率	干重	体长
	Hatching rate (%)	Total mortality (%)	Dry weight (mg)	Body length (mm)
Control	100	0	0.08	4.82 ±0.10
3.125	93.33 ±3.34	7.78 ±5.09	0.08	4.74 ±0.06
6.25	97.78 ±1.92	4.44 ±1.92	0.08 ±0.01	4.83 ±0.04
12.5	98.89 ±1.92	1.11 ±1.92	0.08 ±0.01	4.78 ±0.04
25	93.33 ±3.34	6.67 ±3.33	0.08	4.74 ±0.07
50	93.33	6.67	0.09 ±0.01	4.84 ±0.07
100	92.22 ±5.09	7.78 ±5.09	0.08	4.79 ±0.06
200	87.78 ±5.09 *	37.78 ±5.09 *	0.07 *	4.35 ±0.04 *

* 标星号的表示与对照组差异显著 ($p < 0.05$)
Note: Asterisk indicates statistical significance ($p < 0.05$) compared to the control

够确定污染物的致死效应和亚致死效应,也可用作鱼类早期生活史阶段试验和慢性试验的筛选试验^[14]。在沉积物毒理学研究中,由于制备复溶水或间隙水过程比较繁琐,往往难以获得足够的试验水样以满足慢性试验的需要,因此,胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验是一个较好的选择。

本研究表明,稀有鮎鲫胚胎、仔鱼对东湖茶港排污口底泥复溶水是敏感的,复溶水浓度与孵化率、仔鱼畸形率、累计死亡率、平均体重、平均体长均存在明显的剂量效应关系,而且这些指标所反映的毒性大小也大致相同。根据多数试验组的结果,东湖茶港排污口底泥复溶水的 NOEC、LOEC 和 MATC 分别为 12.5 %、25 %和 17.68 %,低于 96h 急性试验的 LC₀ (25 %)。在研究中还发现,稀有鮎鲫胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验的稳定性较好,主要表现在:平行组间差异较小、对照组的孵化率和最终存活率均达到 100 %、两次试验结果的重现性较好。分析不同指标

的试验结果可以发现,由仔鱼畸形率、体长确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 相同,两次试验结果是重复的。由孵化率、累计死亡率确定的 NOEC、LOEC 和 MATC 两次试验不完全相同,但差异不大。由于仔鱼体重很小,特别是在死亡率较高的试验组,准确称量存在一定困难,且该指标并不比其它指标敏感(表 3、表 4),今后可以不观测这一指标。

过去的研究已经证明,稀有鮎鲫对许多有毒物质敏感,适合于作为毒理学研究的材料^[9-12,15]。在水温 25 °C 条件下,稀有鮎鲫胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验持续 8d,与经济合作与发展组织(OECD)推荐试验鱼相比,试验周期与黑头软口鲮(*Pimephales promelas*)相当,而明显短于斑马鱼(*Danio rerio*)、青鳉(*Oryzias latipes*)等鱼类^[14],因而试验条件容易控制,试验成本更低。综上所述,稀有鮎鲫胚胎-卵黄囊吸收阶段毒性试验是一种快速、准确、灵敏的试验方法,可以用于沉积物毒理学研究。

3.2 东湖底泥的毒性与生态环境恢复措施

20 世纪 60 年代以前,东湖湖水清澈见底,水质良好。自 1957 年青山港武丰闸改建以后,东湖与长江隔绝,水质开始恶化,其污染主要源于湖周边的生活污水及工厂“三废”大量排放入湖所致。有资料显示,东湖的污染包括富营养化污染、重金属污染、有机污染物,此外微囊藻毒素也会使生物尤其是处于高营养级的生物受到毒害^[4,5,15]。可见,东湖水、底泥中的有毒成分是比较复杂的,所以将其作为一个整体来评价其危害,效果可能会更好一些。李莉等研究了东湖水对稀有鮎鲫的毒性效应,发现东湖水对稀有鮎鲫孵化率、鱼苗畸形率、存活率均有显著的影响^[16]。从孵化率看,当污水浓度小于或等于 50% 时,孵化率均在 90% 以上;当污水浓度为 100% 时,孵化率仅为 23.80%。从存活率看,浓度为 12.5% 的污水对鱼苗的成活率几乎没有影响,而当污水浓度增加到 25% 时,成活率下降为 81.67%,75% 的污水中鱼苗存活率为 39.19%,污水浓度 100% 时无一鱼苗存活。另外,当污水浓度达到 50% 时出现大量畸形鱼苗。需要说明的是,在本研究底泥采集地点与其采水点同为茶港排污口,本文从孵化率、畸形率、存活率确定的 LOEC 为 25%,如果排除采样时间的差异,底泥复溶水的毒性要高于现场污水。

实际上,人们早就认识到在东湖的污水排放被逐步控制之后,底泥这一巨大的缓释库是东湖治理的关键。为改善东湖水质,除有计划地兴建截污工程之外,鲢鳙控制水华、恢复水生植被、局部底泥清除,甚至引江灌湖等措施都在进行或研究之中,但从目前的情况来看,这些措施似乎很难从根本上解决东湖的生态环境问题。近年来,国内外学者已注意到,太阳光对湖泊中的有机污染物有光降解作用^[17],微囊藻毒素在紫外光的照射下也可被降解而丧失了其毒性^[18],光降解将来可能成为一种重要的污染处理技术。本研究表明,底泥经过晾晒 1 个月之后对稀有鮎鲫的 LOEC 从 25% 升至 200%,晾晒后底泥的毒性相当于鲜泥的 1/8。尽管目前尚不清楚底泥晾晒后哪些有毒物质被降解,但这一简单的实验初步证实晾晒底泥是降低底泥毒性的有效途径,也让我们可以用一个新的思路来考虑东湖的治理问题。

东湖原为敞水湖泊,通过青山港与长江连接在一起,湖水夏涨冬枯,基本上受江水涨落所制约。建国前后,东湖的水位虽然受武丰闸开闭的影响,但每年枯水期东湖与长江是相通的^[19]。依据文献资料估计,建国初期东湖冬季水位不足 20m,水位年变幅

1.5m 左右^[19,20]。1957 年青山港武丰闸改建以后,其水位完全受到人为控制,东湖由通江湖泊转变成人工控制的内陆水体。近年来东湖水位一直被控制在稍稍超过 21m,相应的湖泊面积约 33km²,湖滨没有消落带。如果恢复东湖通江状态并让其水位自然涨落,那么冬季水位降低时可露出部分湖底,使其暴露在太阳光的照射之下,从而达到降低其毒性的目的。根据东湖水位与面积的关系^[20],当水位恢复到解放初的 20m 时,湖面面积仅 26km²,可使 7km²的底泥得到晾晒;如果辅以局部疏浚的措施,可使冬季水位降到 19m 或更低,相应的面积 20 km²左右,可让 1/3 的湖底接受阳光照射,这无疑可大幅降低东湖底泥的毒性。此外,有研究表明,低水位有利于湖泊中沉水植物和挺水植物等高等水生植物的生长^[21,22],进而有利于恢复东湖的生态环境、防治富营养化。因此,作者认为,有计划地降低冬季水位,保留一定幅度的消落带,逐步恢复水生植物及通江湖泊水生生物群落结构,是一条缓解东湖污染、恢复生态环境的经济、可行的措施。

参考文献:

- [1] Shea D. Developing national sediment quality criteria [J]. *Environ Sci Technol*, 1988, 22: 1256
- [2] Di Toro D M, Zarba C S, Hansen D J, et al. Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals using equilibrium partitioning [J]. *Environ Toxicol. Chem.*, 1991, 10: 1541—1583
- [3] Hu W, Zhou Y X. The bioassay of freshwater-sediment toxicology [J]. *Research of Environmental Sciences*, 1997, 10: 12—16 [胡炜,周永欣. 淡水沉积物的生物测试方法研究. 环境科学研究, 1997, 10: 12—16]
- [4] Wang H, Wang C X, Chen W, et al. Organic pollutants in surface sediment of Donghu Lake, Wuhan [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22: 434—438 [王海,王春霞,陈伟,等. 武汉东湖表层沉积物有机物污染状况. 环境科学学报, 2002, 22: 434—438]
- [5] Hu R C, Liu G Q, Quan H L. Study on geochemical characteristics of pollution in the east Lake of Wuhan [J]. *Hubei Geology & Mineral Resources*, 2003, 17: 26—30 [胡瑞春,刘光强,全浩理. 武汉东湖湖泊污染地球化学特征研究. 湖北地矿, 2003, 17: 26—30]
- [6] Yang H, Yi C L, Xie P, et al. Vertical distribution of carbon, nitrogen and phosphorus of sediment at Stations and in Lake Donghu, Wuhan [J]. *Geochimica*, 2004, 33: 507—514 [杨洪,易朝路,谢平,等. 武汉东湖沉积物碳氮磷垂向分布研究. 地球化学, 2004, 33: 507—514]
- [7] Sherman R E, Steven P, et al. A comparison of toxicity tests conducted in the laboratory and in experimental ponds using cadmium and the fathead minnow (*Pimephales promelas*) [J]. *Water Research*,

- 1987, **21**: 317—323
- [8] Li W, Chan P, Chan K. Metal uptake in zebrafish embryo-larva exposed to metal-contaminated sediment [J]. *Mar Environ Res*, 2004, **58**: 829—832
- [9] Cao W X, Wang J W. Rare minnow: a new laboratory animal in China [J]. *Laboratory Animal Science and Management*, **20** (Supplementary Issue): 2003, 96—99 [曹文宣, 王剑伟. 稀有鮎鲫——种新的鱼类实验动物. 实验动物科学与管理, 2003, **20** (增刊): 96—99]
- [10] Zhou Y X, Cheng S P, Hu W, *et al.* A new toxicity test organism *Gobiocypris rarus* [J]. *Zoological Research*, 1995, **16** (1): 59—63 [周永欣, 成水平, 胡炜, 等. 稀有鮎鲫——一种新的鱼类毒性试验材料. 动物学研究, 1995, **16** (1): 59—63]
- [11] Lu L, Shen Y W. Acute toxicity of phenol, alkyl benzene, nitrobenzene and water sample to sword fish (*Xiphophorus helleri*) and rare minnow (*Gobiocypris rarus*) [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2002, **15** (4): 57—59 [卢玲, 沈英娃. 酚类、烷基苯类、硝基苯类化合物和环境水样对剑尾鱼和稀有鮎鲫的急性毒性. 环境科学研究, 2002, **15** (4): 57—59]
- [12] Zhong X P, Xu Y, Liang Y, *et al.* The Chinese rare minnow (*Gobiocypris rarus*) as an in vivo model for endocrine disruption in freshwater teleosts: a full life-cycle test with diethylstilbestrol [J]. *Aquatic Toxicology*, 2005, **71**: 85—95
- [13] U. S. EPA/ ACOE. Evaluation of dredged material proposed for ocean disposal (testing manual) [S]. 1991. EPA-503/8-91/001, U. S. EPA Office of Water (WH-556F) and US Army Corps of Engineers, Washington, D C
- [14] OECD. OECD guidelines for testing of chemicals, 212 fish, short-term toxicity test on embryo and sac-fry stages [S]. 1998 (adopted), Paris: OECD
- [15] Sui H X, Yan W X, Xu H B, *et al.* Investigation of microcystin pollution on dong lake, Wuhan city [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2004, **33**: 39—41 [隋海霞, 严卫星, 徐海滨, 等. 武汉东湖微囊藻毒素污染及其在鱼体内的动态研究. 卫生研究, 2004, **33**: 39—41]
- [16] Li L, Ma T W, Wu Z B. Toxic effect of domestic sewage on rare minnow [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**: 40—44 [李莉, 马陶武, 吴振斌. 生活污水对稀有鮎鲫的毒性效应研究. 水生生物学报, 2004, **28**: 40—44]
- [17] Tan P, Zhang J D, Guo S L. Advances in the research on the solar radiation photodegradation of organic pollutants in lakes [J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2003, **4**: 13—18 [谭平, 张敬东, 郭生练. 太阳光对湖泊中有机污染物降解的研究进展. 环境污染治理与设备, 2003, **4**: 13—18]
- [18] Tsuji K, Watanuki T, Kondo F, *et al.* Stability of microcystins from cyanobacteria. Effect of UV light on decomposition and isomerization [J]. *Toxicon*, 1995, **33**: 1619—1631
- [19] Bi L J. The morphometry of Donghu Lake, Wuchang [J]. *New Science Quarterly*, 1950, **1**: 69—75 [毕列爵. 武昌东湖的形态测量. 新科学季刊, 1950, **1**: 69—75]
- [20] Gong L J, Guan Z H, Huang Y T, *et al.* The types and distribution of sediment in Donghu Lake, Wuchang [J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1965, **7**: 181—194 [龚伦杰, 官子和, 黄耀桐, 等. 武昌东湖底质的类型及其分布. 海洋与湖沼, 1965, **7**: 181—194]
- [21] Chen Z Y, Lei Z X, Zhou J, *et al.* Monthly quantitative and biomass dynamics of six submerged macrophytes populations in Liangzi Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**: 582—588 [陈中义, 雷泽湘, 周进, 等. 梁子湖六种沉水植物种群数量和生物量周年动态. 水生生物学报, 2000, **24**: 582—588]
- [22] Li W, Cheng Y. Aquatic Higher Plants [A]. In: Chen Y Y, Xu Y G (Eds.), *Hydrobiology and Resources Exploitation in Honghu Lake* [C]. Beijing: Science Press. 1995, 44—63 [李伟, 程玉. 水生高等植物. 见: 陈宜瑜, 许蕴卿. 洪湖水生生物及其资源开发. 北京: 科学出版社. 1995, 44—63]

TOXICITY OF SEDIMENT IN CHAGANG SEWAGE ENTRANCE OF DONGHU LAKE ON GOBIOCYPRIS RARUS

JIANG Fu-Quan^{1,2}, WANG Jian-Wei¹, SHAO Yan^{1,2} and HE Yong-Feng^{1,2}

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract : Donghu Lake is a typical shallow lake in the northeast of Wuhan city. It has been badly polluted by point and area sources and becomes severely eutrophic since 1950s. Anterior studies have shown that high concentration of nutrients, heavy metal and organic contamination existed both in water and sediment. In order to repair the ecological environment, more attention is being paid to inner contamination after outer contamination is controlled. In the present study, toxicity of the sediment collected from a main sewage entrance of Donghu Lake was studied, using *Gobiocypris rarus* as experimental animal because this species is sensitive to many poisons and has been widely used in toxicology in China.

In this study, 96h acute toxicity test and embryo-yolk sac stage larva toxicity test were made on the elutriate phase of sediment. The result showed that high concentration of elutriate had obvious toxicity effect on embryo, yolk-sac larva and young of *G. rarus*. Dose-effect relations between the concentration of elutriate and hatching rate, abnormality rate, survival rate and growth were analyzed. As the concentration of the elutriate increasing, decreasing of hatching rate and survival rate, increasing abnormality rate, as well as delay on growth were observed. It was proved that toxicity test on embryo-yolk sac stage was more sensitive than the 96h acute toxicity test. The no observed effect concentration (NOEC), the lowest observed effect concentration (LOEC) and the maximum acceptable toxicant concentration (MATC) for embryo-yolk sac stage were 12.5%, 25% and 17.68%, respectively, while the median lethal concentration (LC50) for young was 69.1%. These results suggested that the embryo-yolk sac stage larva toxicity test of *Gobiocypris rarus* was a rapid, exact and sensitive test method and could be used in sediment toxicology in the future. Moreover, test on sundried sediment revealed that the NOEC was 100%, which was 8 times higher than that of fresh sediment. This result implies that toxicity of sediment could be reduced by solar radiation photodegradation. In the end, the authors suggest that Donghu Lake should be re-connected with the Yangtze River to let the water level fluctuate seasonally. It would be in favor of controlling pollution and repairing ecological environment because the exist of hydro-fluctuation land is helpful for solar radiation photodegradation and growth of aquatic plants.

Key words : Donghu Lake ; Sediment ; Toxicity ; *Gobiocypris rarus*