

3种工业废水对牙鲆胚胎的毒性效应

曲克明, 陈民山, 马绍赛, 幸福言

(中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:通过室内实验,研究了印染废水、电镀废水、农药废水3种工业废水及其混合物(等体积混合)对牙鲆胚胎的毒性效应。印染废水的主要有毒物为苯胺(20 mg/L)和苯酚(24 mg/L),电镀废水主要有毒物为锌(1 970 mg/L)、铜(9 mg/L)和铅(7.5 mg/L);农药废水及混合物主要有毒物为久效磷和亚磷酸盐。实验表明,这4种类型废水对牙鲆胚胎发育孵化有显著影响的最低体积分数分别为0.5%、0.15%、0.25%和0.25%;对牙鲆胚胎起始半数致死浓度(95%可信限,体积分数)分别为3.38% (2.29% ~ 3.87%)、0.81% (0.71% ~ 0.92%)、1.57% (1.37% ~ 1.82%)和1.48% (1.24% ~ 1.76%)。以牙鲆胚胎起始半数致死浓度(体积分数)为指标,这几种工业废水的毒性顺序为电镀废水 > 农药废水 > 印染废水。

关键词:工业废水;牙鲆;胚胎;毒性效应

中图分类号:XS2

文献标识码:A

文章编号:1005-8737(2003)02-0155-05

印染废水、电镀废水和有机磷农药废水,都是常见的、易进入近岸海域,并造成海水污染的工业废水。通常,废水的水质状况是以其化学成分来描述,因而废水的监测也常通过化学分析来进行。但是,这种分析测定的结果并不能直接反映废水对水生生物的影响,以及环境因子对化学物质毒性的影响。采用生物测试法,则可以直接反映工业废水的毒性和几种化学物质混合后的联合毒性,也是评价水体污染的重要手段。

胚胎到仔鱼阶段,是鱼类的早期发育阶段,在鱼的整个生命周期中对各种污染物最为敏感^[1]。利用鱼类胚胎及仔鱼进行毒性实验,可以作为缩短的慢性实验,成为评价最大允许毒物浓度(MATC)的理想指示物^[2]。牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)是我国黄渤海重要的经济鱼类,也是海水增养殖的研究对象,其早期形态发育、人工育苗技术都有较详细的研究报道^[3-4]。印染废水、重金属离子和有机磷农药原药对海洋生物的毒性效应已经有许多报道^[5-13],但是印染废水、电镀废水和有机磷农药废水及其混

合污水对鱼类早期生命阶段的毒性效应尚未见报道。本实验通过生物测试法,研究了这3种工业废水及其混合物对牙鲆胚胎孵化发育的毒性影响,旨在评价工业废水对鱼类影响提供一种快捷的实验方法,同时也为污染水域生态环境的修复提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验用牙鲆鱼卵 取自中国水产科学研究院黄海水产研究所海阳高新技术研发基地,均系室内蓄养的亲鱼自然排卵受精。

1.1.2 工业废水 印染废水取自青岛印染厂(未经处理),主要有毒物质为苯胺和苯酚,其质量浓度分别为20 mg/L和24 mg/L。电镀废水取自青岛四方车辆厂电镀车间(未经处理),其主要有毒物质为锌、铜和铅,其质量浓度分别为1 970 mg/L、9 mg/L和7.5 mg/L。农药废水取自青岛第一农药厂久效磷车间(未经处理),其主要有毒物质为久效磷和亚磷酸盐二甲酯。混合废水由以上3种废水等体积混合而成。

1.2 试验方法

胚胎实验采用48 h静水法,实验容器为500 mL

收稿日期:2002-07-15.

基金项目:社会公益研究专项资金项目(2001DIB10082).

作者简介:曲克明(1964-),男,副研究员,硕士,从事渔业环境研究. E-mail: qukm@ysfri.ac.cn

玻璃烧杯,各放鱼卵 50 粒。实验开始时牙鲆胚胎已进入囊胚期。

所有实验均按等比间距系列设置实验浓度组,浓度用体积分数表示(%),同时设有对照组和 3 个平行样。实验用水采用沉淀过滤海水,盐度为 33.0。各实验均采用水浴恒温控制,温度为 $(16 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。光照为自然光,光照周期约为 L:D=13:11。

实验结束后检查记录各实验组胚胎的孵化率、孵化仔鱼的存活死亡情况、胚胎的发育速度及各发育期的变化。

1.3 实验数据的处理

采用 t 检验法检验各浓度组的孵化率与对照组差异的显著性意义,并求出对胚胎发育的无影响浓度。

利用校正公式:

$$\text{死亡率}(\%) = \frac{x-y}{x} \times 100\%$$

式中: x 为对照组的孵化率,

y 为实验浓度组的孵化率。

得出各浓度组胚胎的死亡率,然后采用移动平均角法,计算得出各工业废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度(incipient LC_{50})及 95% 可信限。

2 结果

2.1 印染废水对牙鲆胚胎发育的影响

印染废水对牙鲆卵子孵化影响的实验结果见表 1。实验期间各对照组的孵化率都在 90% 以上,属正常范围。随着印染废水体积分数的增加,胚胎的孵化率呈明显下降趋势。在废水体积分数为 0.5% 时,牙鲆胚胎的孵化未受到明显影响;废水体积分数为 1% 时,牙鲆胚胎的孵化率显著低于对照组($P < 0.05$)。在废水体积分数达到 2% 和 4% 时,牙鲆胚胎的孵化率与对照组有非常显著差异($P < 0.01$)。当废水体积分数为 8% 和 16% 时,会导致牙鲆胚胎的全部死亡。通过实验数据处理,得出印染废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度(体积分数)及 95% 可信限为 3.38% 和 2.29% ~ 3.87%。

另外,随着印染废水含量的升高,孵化出的前期仔鱼的健康情况也受到了很大影响。体积分数为 4% 的实验组,孵化出的前期仔鱼大都死亡或即将死亡;体积分数为 1% 和 2% 组,孵化出的前期仔鱼活泼程度也明显不如对照组,有的游动迟缓,有的甚至呈类似麻醉状态或半垂死状态。

表 1 印染废水对牙鲆胚胎的影响

Table 1 Effects of dyeing effluents on hatch of *P. olivaceus* embryos

体积分数/% Volume fraction of effluent	孵化率/% Hatching rate	死亡率/% Mortality	起始半数 致死浓度 Incipient LC_{50}	95% 可信限 95% confid- ence limits
0	93 ± 3.0			
0.5	87 ± 2.8	0.06		
1	85 ± 0.6 ¹⁾	0.09		
2	74 ± 2.1 ²⁾	0.20	3.38% ³⁾	2.29% ~ 3.87% ³⁾
4	56 ± 4.3 ²⁾	0.40		
8	0	1		
16	0	1		

注:1) 表示与对照组有显著差异($P < 0.05$); 2) 表示与对照组有极显著差异($P < 0.01$); 3) 百分数为体积分数。

Notes: 1) Significant difference compared with control ($P < 0.05$); 2) Significant difference compared with control ($P < 0.01$); 3) The percentage means volume fraction.

2.2 电镀废水对牙鲆胚胎发育的影响

与前一实验类似,实验期间各对照组的孵化率都在 90% 以上,属正常范围。牙鲆胚胎的孵化率,也是随着电镀废水浓度的增加,呈明显下降趋势(表 2)。在废水体积分数为 0.15% 时,牙鲆胚胎的孵化未受到明显影响;废水体积分数为 0.3% 时,牙鲆胚胎的孵化率显著低于对照组($P < 0.05$)。在废水体积分数为 0.6% 和 1.2% 时,牙鲆胚胎的孵化率与对照组有非常显著差异($P < 0.01$)。在废水体积分数为 2.4% 时,会导致牙鲆胚胎的全部死亡。通过实验结果数据处理,得出电镀废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度(体积分数)及 95% 可信限分别为 0.81% 和 0.71% ~ 0.92%。

对孵化的前期仔鱼进行检查,发现电镀废水体积分数为 1.2% 的实验组,孵化出的前期仔鱼大部分死亡或处于半垂死状态。体积分数为 0.6% 的实验组,孵化出的前期仔鱼也出现部分死亡;体积分数为 0.3% 实验组孵化出的前期仔鱼,活动能力明显降低,大都倾向沉在杯底。

2.3 农药废水对牙鲆胚胎发育的影响

表 3 为农药废水对牙鲆胚胎影响的实验结果。实验期间各对照组的孵化率都在 90% 以上,属正常范围。各实验组牙鲆卵子的孵化率均比对照组明显减少,并随农药废水体积分数的增加呈明显下降趋势。在废水体积分数为 0.25% 时,牙鲆胚胎的孵化率显著低于对照组($P < 0.05$),当废水体积分数为

0.5%时,牙鲆胚胎的孵化率与对照组有非常显著差异($P < 0.01$)。在废水体积分数为4%时,会导致牙鲆胚胎的全部死亡,完全不能孵化。通过实验数据处理,得出农药废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度(体积分数)及95%可信限分别为1.57%和1.37%~1.82%。

表2 电镀废水对牙鲆胚胎的影响

Table 2 Effects of electroplating effluents on hatch of *P. olivaceus* embryos

体积分数/% Volume fraction of effluent	孵化率/% Hatching rate	死亡率/% Mortality	起始半数 致死浓度 Incipient LC ₅₀	95%可信限 95% confid- ence limits
0	93 ± 2.7			
0.15	88 ± 2.3	0.05		
0.3	85 ± 2.7 ¹⁾	0.09		
0.6	67 ± 6.9 ²⁾	0.28	0.81% ³⁾	0.71% ~ 0.92% ³⁾
1.2	30 ± 1.7 ²⁾	0.68		
2.4	0	1		

注:1)表示与对照组有显著差异($P < 0.05$);2)表示与对照组有极显著差异($P < 0.01$);3)百分数为体积分数。

Note:1) Significant difference compared with control ($P < 0.05$); 2) Significant difference compared with control ($P < 0.01$); 3) The percentage means volume fraction.

表3 农药废水对牙鲆胚胎的影响

Table 3 Effects of pesticide effluents on hatch of *P. olivaceus* embryos

体积分数/% Volume fraction of effluent	孵化率/% Hatching rate	死亡率/% Mortality	起始半数 致死浓度 Incipient LC ₅₀	95%可信限 95% confid- ence limits
0	93 ± 2.0			
0.25	83 ± 4.4 ¹⁾	0.11		
0.5	78 ± 1.3 ²⁾	0.16		
1	72 ± 1.2 ²⁾	0.23	1.57% ³⁾	1.37% ~ 1.82% ³⁾
2	51 ± 1.9 ²⁾	0.45		
4	0	1		
8	0	1		

注:1)表示与对照组有显著差异($P < 0.05$);2)表示与对照组有非常显著差异($P < 0.01$);3)百分数为体积分数。

Note:1) Significant difference compared with control ($P < 0.05$); 2) Significant difference compared with control ($P < 0.01$); 3) The percentage means volume fraction.

对孵化的前期仔鱼进行检查发现,农药废水体积分数为2%的实验组中,孵化出的前期仔鱼大部分都已死亡。农药废水体积分数为1%的实验组

中,孵化出的前期仔鱼有部分死亡。低浓度实验组中,孵化后存活的前期仔鱼,许多都处于形态失常、游动紊乱的状态,如有的在原地打转,有的只能间断性地抖动。

2.4 混合废水对牙鲆胚胎发育的影响

混合废水对牙鲆卵子孵化影响的实验结果(表4)表明,实验期间,各对照组的孵化率都在90%以上,属正常范围。随着混合废水浓度的增加,牙鲆胚胎的孵化率呈明显下降趋势。在废水体积分数为0.25%时,牙鲆胚胎的孵化未受到明显影响;废水体积分数为0.5%时,牙鲆胚胎的孵化率显著低于对照组($P < 0.05$)。在废水体积分数为1%和2.5%时,牙鲆胚胎的孵化率与对照组有非常显著差异($P < 0.01$)。在废水体积分数为5%时,会导致牙鲆胚胎的全部死亡。通过实验数据处理,得出混合废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度(体积分数)及95%可信限分别为1.48%和1.24%~1.76%。

对孵化的前期仔鱼进行检查,发现混合废水体积分数为2.5%的实验组,孵化出的前期仔鱼大部分都已死亡。体积分数为1%的实验组,孵化出的前期仔鱼有部分死亡。低浓度实验组,孵化后存活的前期仔鱼,活动能力明显减弱。

表4 混合废水对牙鲆胚胎的影响

Table 4 Effects of intermixture effluents on hatch of *P. olivaceus* embryos

体积分数/% Volume fraction of effluent	孵化率/% Hatching rate	死亡率/% Mortality	起始半数 致死浓度 Incipient LC ₅₀	95%可信限 95% confid- ence limits
0	93 ± 2.6			
0.25	91 ± 0.1	0.02		
0.5	84 ± 1.9 ¹⁾	0.10		
1	65 ± 4.8 ²⁾	0.30	1.48% ³⁾	1.24% ~ 1.76% ³⁾
2.5	32 ± 4.2 ²⁾	0.66		
5	0	1		

注:1)表示与对照组有显著差异($P < 0.05$);2)表示与对照组有极显著差异($P < 0.01$);3)百分数为体积分数。

Note:1) Significant difference compared with control ($P < 0.05$); 2) Significant difference compared with control ($P < 0.01$); 3) The percentage means volume fraction.

3 讨论

(1)电镀废水、农药废水和印染废水对牙鲆胚胎的发育都产生了明显的毒性效应,主要表现为滞

缓发育、抑制孵化、降低生理功能、导致死亡和畸形等。根据实验得出的3种废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度可以看出,3种废水的毒性都很大。其中,电镀废水的毒性最高,其次为农药废水,最后是印染废水。

(2) 由于不同种类和不同来源的工业废水所含有的化学有毒物质及浓度各不相同,因此不同的工业废水的毒性实验难以进行直接的比较。但从工业废水所含有的主要化学有毒物质的具体情况,可以作一概括的类比分析。以电镀废水为例,所含有的主要化学有毒物质是锌、铜和铅。有关这些单一有毒物质对水生生物的毒性,都有大量的研究报道。吴玉霖等^[6]的研究表明:Zn的质量浓度为16 mg/L会导致牙鲆卵子全部死亡;Cu的质量浓度为0.8 mg/L时,42 h会导致牙鲆卵子全部死亡。本实验得出电镀废水对牙鲆胚胎的起始半数致死浓度为0.81% (体积分数),根据电镀废水中重金属的质量浓度,可计算得出起始半数致死浓度中所含的锌、铜、铅的质量浓度分别为15.96、0.073和为0.61 mg/L。显然,Zn的浓度足以导致牙鲆卵子的大量死亡,而Cu和Pb的浓度相对较低,不会引起牙鲆卵子的死亡。因此可以认为,电镀废水的毒性主要表现为Zn的毒性。但需要特别强调的是,由于电镀废水中所含有多重有毒物质,不仅会表现出,锌、铜、铅这些单一有毒物质的毒性,还会由于多种化学物质的存在,而产生联合作用。

(3) 3种工业废水都是含有多重化学有毒物质的混合物。但是其含有的主要化学有毒物质的种类较为单一,分别是重金属(电镀废水)、有机磷农药(农药废水)和酚类等(印染废水)。因此,可以把3种工业废水混合而成的废水看作含有重金属、有机磷农药和酚类3类毒性物质的混合污水,其毒性则应该是3种废水联合作用的结果。按照联合作用浓度相加模式^[14],则: $\frac{C}{LC_{50}} = \frac{C_1}{LC_{50}^1} + \frac{C_2}{LC_{50}^2} + \frac{C_3}{LC_{50}^3}$ 式中:C、C₁、C₂和C₃分别是混合污水、电镀废水、农药废水和印染废水的体积分数,LC₅₀是混合污水预测起始半数致死浓度(体积分数),LC₅₀¹、LC₅₀²和LC₅₀³分别是电镀废水、农药废水和印染废水的起始半数致死浓度(体积分数)。由此可得出混合污水预测起始半数致死浓度为1.38% (体积分数)。实

验结果计算得出的混合污水起始半数致死浓度为1.48% (体积分数),预测值的LC₅₀与测定的LC₅₀的比值为0.93,表明混合污水对牙鲆卵子的毒性呈相加作用。当然,随混合污水的浓度、各组分的混合比例、致毒时间、试验生物的种类等不同,联合作用的表现形式可能会有所不同。

致谢:青岛市环保局环境监测站协助采集了工业废水样品,谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Mokia J M. Evaluation of tests with the early life stages of fish for prediction long-term toxicity[J]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 148-154.
- [2] Buikema J R, Niederlehner B R, Cairns J R. Biological monitoring Part IV-Toxicity testing[J]. Water Res, 1982, 16(2): 239-262.
- [3] 张崇理. 比目鱼-牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 的早期史发育[J]. 1959, 1(4): 71-89.
- [4] 张孝威, 何桂芬, 沙学坤. 牙鲆和条斑鲆卵子及仔、稚鱼的形态观察[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(2): 158-174.
- [5] 安永义. 仔稚鱼的生理生态关系研究[J]. 水产工学研究所报, 1988, 9: 9-85.
- [6] 吴玉霖, 赵鸿儒, 侯兰英. 重金属对牙鲆胚胎和仔鱼的影响[J]. 1990, 21(4): 386-391.
- [7] 王安利, 王维娜, 李铁水, 等. 铜、锌、锰和铬对中国对虾仔虾的急性致毒及相互关系的研究[J]. 海洋学报, 1992, 14(4): 134-139.
- [8] 李永祺, 丁美丽. 海洋污染生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 277-305.
- [9] 闫雨平. 中国近海海域经济鱼类重金属污染及其评价[J]. 海洋环境科学, 1983, 12(3-4): 99-103.
- [10] 吴影宽, 陈国江. 二十三种有害物质对对虾的急性致毒试验[J]. 海洋科学, 1988, (4): 36-39.
- [11] Metayer C. Transfer of several trace elements in Neritic and estuarine food chains: bioaccumulation in Omnivorous and Carnivorous fishes[J]. Helgolander Meeresunters, 1980, 34(2): 179-191.
- [12] Niehoer E, Richardson D H S. The replacement of the non-descript term heavy metals by a biologically and chemically significant classification of metal ions[J]. Envir Pollut, 1980, (3): 3-26.
- [13] White S L, Rainbow P S. Regulation of zinc concentration by *Palaeomon elegans*, Zinc flux and effects of temperate zinc concentration and moulting[J]. Mar Ecol Prog, 1984, 16: 135-149.
- [14] 林琼芳, 刘筱桐, 梁浩才, 等. 环境医学统计学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1989. 267.

Effects of three industrial effluents on embryos of lefteye flounder *Paralichthys olivaceus*

QU Ke-ming, CHEN Min-shan, MA Shao-sai, XIN Fu-yan

(Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: Dyeing, electroplating and pesticide effluents are common industrial effluents, liable to enter inshore sea areas. The study was carried out in laboratory on the effects of dyeing effluent (with aniline 20 mg/L and phenic acid 24 mg/L), electroplating effluent (with Zn^{2+} 1 970 mg/L, Cu^{2+} 9 mg/L and Pb^{2+} 7.5 mg/L), pesticide effluent (main toxicants are monocrotophos and dimethyl phosphorous) and their intermixture (at volume ratio 1:1:1) on embryos of lefteye flounder, *Paralichthys olivaceus*. The results indicated that the lowest volume percentages of dyeing, electroplating, pesticide effluents and their intermixture, which have significant effect on hatch and development of *P. olivaceus* embryos, were 0.5%, 0.15%, 0.25% and 0.25%, respectively; and the incipient LC_{50} (volume percentage) of dyeing, electroplating, pesticide effluents and their intermixture were 3.38% (2.29% - 3.87%), 0.81% (0.71% - 0.92%), 1.57% (1.37% - 1.82%) and 1.48% (1.24% - 1.76%). Based on the incipient LC_{50} values, the toxicity sequence of the three industry effluents was in the order of electroplating effluent > pesticide effluent > dyeing effluent.

Key words: industrial effluent; *Paralichthys olivaceus*; embryos; toxicity effect

· 快 报 ·

散鳞镜鲤(♀)与团头鲂(♂)亚种间杂交获高成活率杂交后代

金万昆, 朱振秀, 王春英, 余勇奇, 王绍全, 赵宜双

(国家级天津换新水产良种场, 天津 301500)

A high survival rate of hybrid F_1 was got from *Cyprinu carpio* L. mirror (♀) × *Megalobrama amblycephala* (♂)

JIN Wan-qun, ZHU Zhen-xiu, WANG Chun-ying, YU Yong-qi, WANG Shao-quan, ZHAO Yi-shuang

(Tianjin Huanxin Excellent Fisheries Seed Farm, Tianjin 301500, China)

散鳞镜鲤(*Cyprinu carpio* L. mirror)和团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)分属鲤科中的不同亚科,这两个亚科之间的杂交至今未见报道。本实验以29尾3龄散鳞镜鲤(♀,体长34.0-36.5 cm,体重3.0-3.8 kg)与33尾3龄团头鲂(♂,体长28.0-33.6 cm,体重1.4-1.6 kg)进行人工催情与干法授精。2次实验共获得受精卵2020万粒,受精率平均为84.2%,孵出鱼苗1700余万尾。取子一代与亲本各15尾进行26项形态学指标测定与比较,其中,有20项指数为负值,6项为正值;在负值中有14项指数偏向母本,有6项指数完全偏向母本;在正值中,有4项指数偏向父本,2项指数完全偏向父本,表现出偏母遗传的特性。根据其形态学性状遗传表现,既有来自母本的遗传性状,又有来自父本的遗传性状,初步判定本实验所得子一代为杂交种 F_1 ,但该种的染色体倍数尚需进一步的染色体核型分析及DNA含量测定。

关键词: 散鳞镜鲤; 团头鲂; 杂交

Key words: *Cyprinu carpio* L. mirror; *Megalobrama amblycephala*; hybridization

收稿日期: 2002-11-25.

作者简介: 金万昆(1942-),男,高级工程师,场长. Tel: 022-69572770.