

Hg²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺对黄姑鱼幼鱼的急性致毒效应

王志铮¹, 刘祖毅², 吕敢堂¹, 许俊¹

(1. 浙江海洋学院 渔业学院, 浙江 舟山 316004; 2. 嵊泗县海洋与渔业局, 浙江 嵊泗 202450)

摘要:2004年8月,在浙江省舟山市定海区小沙镇浙江华兴海水种苗有限公司以日龄为56 d的黄姑鱼(*Nibea albiflora*)幼鱼作为实验动物,开展Hg²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺对黄姑鱼幼鱼的急性毒性和加和等毒性强度联合毒性试验。结果表明,Hg²⁺对黄姑鱼幼鱼24 h、48 h、72 h、96 h的半致死质量浓度分别为0.752 3 mg/L、0.661 6 mg/L、0.561 8 mg/L、0.495 9 mg/L; Zn²⁺对黄姑鱼幼鱼24 h、48 h、72 h、96 h的半致死质量浓度分别为22.990 8 mg/L、18.457 6 mg/L、14.530 6 mg/L、11.583 3 mg/L; Cr⁶⁺对黄姑鱼幼鱼24 h、48 h、72 h、96 h的半致死质量浓度分别为18.765 4 mg/L、16.741 5 mg/L、15.452 1 mg/L、13.127 6 mg/L。黄姑鱼幼鱼对Cr⁶⁺、Zn²⁺、Hg²⁺ 96 h安全质量浓度分别为1.31 mg/L、1.16 mg/L和0.050 mg/L。各重金属离子毒性由大到小依次为Hg²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺。Hg²⁺-Zn²⁺、Hg²⁺-Cr⁶⁺对黄姑鱼幼鱼的96 h联合急性毒性表现为协同作用。Zn²⁺-Cr⁶⁺对黄姑鱼幼鱼的96 h联合急性毒性表现为,低毒性强度的Zn²⁺对Cr⁶⁺具拮抗作用,Cr⁶⁺毒性强度略高于Zn²⁺时表现为相互独立作用,当Zn²⁺毒性强度高于Cr⁶⁺时则表现为协同作用。并就Hg²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺对黄姑鱼幼鱼的急性致毒效应特征,黄姑鱼幼鱼对Hg²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺的安全浓度以及Cr⁶⁺-Zn²⁺、Cr⁶⁺-Hg²⁺与Zn²⁺-Hg²⁺对黄姑鱼幼鱼的联合毒性效应机理进行了探讨。

关键词: Hg²⁺; Zn²⁺; Cr⁶⁺; 急性毒性; 联合毒性; 黄姑鱼; 幼鱼

中图分类号: S912 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2005)06-0745-06

黄姑鱼(*Nibea albiflora*)隶属于硬骨鱼纲,鲈形目,石首鱼科,黄姑鱼属,为太平洋西北部特有种,系中国沿海常见的经济鱼类,因其具有生长速度快、食性广谱、抗病力强、抗流能力强等优点,是开展人工养殖的优良品种之一^[1]。

毒物对养殖鱼类存活、生长及养成质量的影响研究一直被视作水产养殖学中的一个常规性命题,因而受到业内学者的广泛关注和重视。国内外除就黄姑鱼早期生活史及其形态、人工育苗、养殖技术^[1-5]和Hg²⁺、Cu²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺等4种重金属,以及敌百虫、敌敌畏、甲胺磷、呋喃丹、乐果等5种有机磷农药对棘状黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)的胚胎和仔鱼毒性^[6-7]开展了较为系统地研究外,迄今尚未见有关毒物对黄姑鱼影响的研究报道。

近年来工业“三废”和农业污染物在海域中大量排放,对海洋生物的生长、繁衍和海产品食品安全构成严重威胁^[8]。笔者于2004年8月8日至8月30日在浙江省舟山市定海区小沙镇浙江华兴海水种苗

有限公司开展了Hg²⁺、Zn²⁺、Cr⁶⁺等3种常见重金属离子对黄姑鱼幼鱼致毒效应的实验研究,以期对养殖环境评价和相关污染事故处理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 鱼样品 2004年8月8日从浙江省海洋水产研究所试验场养殖网箱内,取日龄为56 d的全人工培育的黄姑鱼幼鱼作为实验动物,立即运回浙江华兴海水种苗有限公司室内水泥育苗池,挑选无伤病的健壮个体作为实验对象,规格为体长(7.75±1.12) cm、体重(5.97±0.84) g,驯养3~4 d,备用。

1.1.2 试剂 K₂Cr₂O₇、HgCl₂、Zn(C₂O₄H₃)₂分别购自天津化学试剂三厂、上海四维化学试剂厂和宜昌第三化学试剂厂,均为分析纯。实验前用蒸馏水将各实验药物配成一定质量浓度母液备用。

1.1.3 理化条件 实验用海水为经48 h暗沉淀处理、二级沙滤。水温29~31℃,盐度28~30,pH

收稿日期:2004-12-13; 修订日期:2005-03-20。

基金项目:国家科技部食品安全专项水产养殖安全操作规范与控制集成技术应用示范项目;浙江省科技厅科研计划项目(2002C33048);浙江省高校中青年学科带头人科研基金资助。

作者简介:王志铮(1970-),男,副教授。主要从事海洋生物学与水产养殖学方面研究。E-mail: waz_1225@163.com

8.24,水质符合渔业水质标准^[9]。

1.2 实验方法

1.2.1 单一重金属离子对黄姑鱼幼鱼的急性毒性实验 经预备实验,确定各实验药物浓度范围(96 h后全活浓度和全致死浓度)后,在室温条件下,以自然状态为对照,以45 cm×45 cm×25 cm泡沫箱为实验容器(实际实验容积20 L),按等差间距法设置若干质量浓度梯度组。采用不投饵、水体微量充气法,开展单一药物对黄姑鱼幼鱼的急性毒性实验。每一药物质量浓度梯度各放实验动物10尾,组内设平行组,每24小时更换1次实验液。连续观察受试对象的活动状况,及时取出死亡个体,2 h记录1次死亡率。为减少实验容器对重金属的吸附,实验前用对应的药物浓度浸泡实验容器24 h以上。

1.2.2 两种重金属离子对黄姑鱼幼鱼的联合毒性实验 以加和等毒性强度方式设置两种重金属离子联合毒性浓度梯度。以单一重金属离子96 h半致死浓度 LC_{50} 作为致死阈浓度,计为1个毒性强度单位。两种重金属离子毒性强度加和方式依次为1+0.0.8+0.2,0.6+0.4,0.4+0.6,0.2+0.8和0+1,其中第一组和最后一组为对照组。各梯度组总毒性强度均为1个毒性强度单位,组内设平行组,每24小时更换1次实验液,连续观察受试对象的活动状况,及时取出死亡个体,每2小时记录一次死亡率。

1.3 数据处理

根据单一重金属离子对黄姑鱼幼鱼的急性毒性实验结果,采用概率单位——浓度直线回归,分别求出各重金属离子影响下黄姑鱼幼鱼24 h、48 h、72 h和96 h的半致死浓度 LC_{50} ,并采用安全浓度常用公式 $SC=0.1 \times 96 \text{ h } LC_{50}$ 校验各重金属离子的安全浓度^[10]。

根据96 h内两种重金属离子联合毒性质量浓度梯度对黄姑鱼幼鱼的毒性影响结果,绘制各联合毒性质量浓度梯度与96 h黄姑鱼幼鱼死亡率的关系图,分析两种重金属离子对黄姑鱼幼鱼的毒性影响,若其毒性效应等于对照组,表明具有加和作用;若大于对照组,表明具有协同作用;若小于其中毒性强度较高者,则表明具有拮抗作用;若大于或等于其中毒性强度较高者,而小于对照组,则表明毒性作用具有相互独立性。

2 结果与分析

2.1 中毒死亡症状

3种重金属溶液在不同实验质量浓度下,黄姑鱼幼鱼出现不同的中毒反应。低质量浓度组的幼鱼活动状况与对照组基本相似,在实验容器底部缓慢游动;高质量浓度组幼鱼放入实验容器后显得十分不安,在容器内作快速游动。48 h内低质量浓度组幼鱼绝大多数活动状况几无变化,而高质量浓度组随着实验时间的延长活力逐渐减弱,游速明显减慢,活力明显弱于低质量浓度组幼鱼,对外界刺激反应也变得较为迟钝。随着实验鱼中毒程度的提高,逐渐表现出胸鳍和腹鳍部出现充血等较为明显的中毒症状。黄姑鱼幼鱼的中毒死亡过程表现为:鱼体上浮,呈现为头部朝上,腹部侧斜并朝向水面,鱼体与水面约呈45°,而后鱼体腹部逐渐与水面平行,继而沉入水底静卧于实验容器底部直至完全死亡。

2.2 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼的急性毒性效应

由表1可见,随着实验质量浓度的提高和实验时间的延长,3种重金属离子对黄姑鱼幼鱼的急性毒性效应均明显增强,死亡率也明显升高。从实验质量浓度范围以及对黄姑鱼幼鱼的急性毒性结果来看, Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 的毒性强度较为相近,而以 Hg^{2+} 的毒性强度为最大,是 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 的20倍以上。

2.3 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼的联合毒性效应

Cr^{6+} — Zn^{2+} 各梯度组对幼鱼的致死效果随 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 间毒性强度匹配情形的改变而发生根本性的变化(图1)。从各梯度组对幼鱼的实际致死效果来看,有的出现离子间作用的协同特征(Cr^{6+} — Zn^{2+} 为0.2+0.8,0.4+0.6),有的出现离子间作用的拮抗特征(Cr^{6+} — Zn^{2+} 为0.8+0.2),有的则出现离子间的相互独立性作用(Cr^{6+} — Zn^{2+} 为0.6+0.4),即在加和等毒性强度水平下,随着 Cr^{6+} 毒性强度的增加对 Zn^{2+} 的致毒效应,由低质量浓度的协同作用,相互独立作用,转变为掩盖作用;反之,随着 Zn^{2+} 毒性强度的增加对 Cr^{6+} 的致毒效应,由原来的干扰作用,相互独立作用,转变为协同作用。表明低毒性强度的 Zn^{2+} 对 Cr^{6+} 具拮抗作用,低毒性强度的 Cr^{6+} 对 Zn^{2+} 具协同作用,当 Zn^{2+} 与 Cr^{6+} 毒性强度相当时表现为相互独立作用。

表1 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼的急性毒性Tab.1 Acute toxicity of Cr^{6+} , Zn^{2+} and Hg^{2+} to *Nibea albiflora* juvenile

离子 Ion	实验浓度 / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) Experimental concentration	不同实验时间下的死亡率/% Mortality in different experimental time			
		24 h	48 h	72 h	96 h
对照组 Control	0.00	0	0	0	0
	10.00	0	0	0	20
	12.50	0	5	20	40
	15.00	5	20	50	70
	17.50	30	50	80	90
	20.00	70	95	100	-
Zn^{2+}	7.50	0	0	20	30
	11.00	0	20	30	50
	14.50	10	30	50	60
	18.00	30	50	70	80
	21.50	40	60	80	90
	25.00	60	80	90	100
Hg^{2+}	0.40	0	0	20	30
	0.50	10	20	40	50
	0.60	20	30	50	70
	0.70	40	60	80	90
	0.80	60	80	100	-

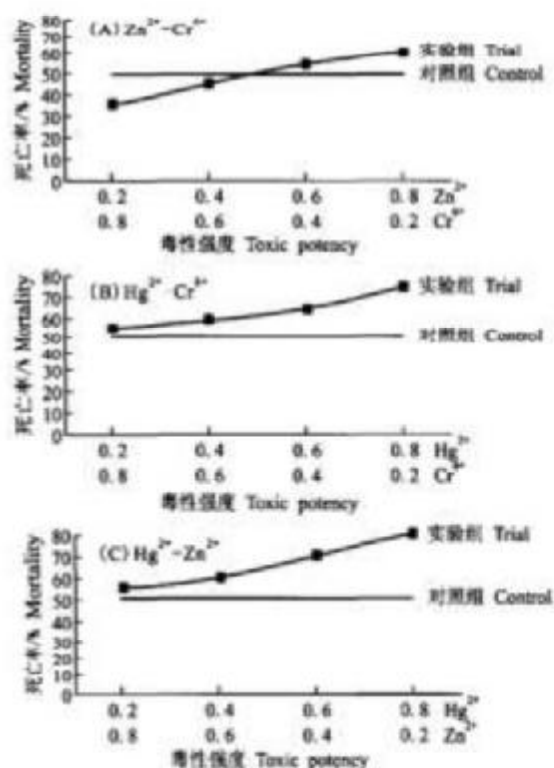


图1 重金属对黄姑鱼幼鱼的联合毒性

注:以单一重金属离子96 h 半数死浓度 LC_{50} 作为致死阈浓度,计为1个毒性强度。

Fig.1 Joint toxicity of heavy metals to *Nibea albiflora* juvenile
Note: One toxic unit is counted by single heavy metal ion 96 h LC_{50} as the threshold concentration.

Cr^{6+} - Hg^{2+} 、 Zn^{2+} - Hg^{2+} 各梯度组对黄姑鱼幼鱼的致死率均高于对照组,表明 Cr^{6+} 与 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 与 Hg^{2+} 间均具协同效应[图 1(B)、(C)]。从各梯度组对黄姑鱼幼鱼的实际致死效果来看,在加和等毒性强度水平下,随着 Hg^{2+} 毒性强度的增加,致死效果明显增加;随着 Cr^{6+} 或 Zn^{2+} 毒性强度的增加,致死效果明显降低,表明随着 Hg^{2+} 毒性强度的增加,可以进一步发挥 Cr^{6+} 或 Zn^{2+} 的致毒潜力。

3 讨论

3.1 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{6+} 对黄姑鱼幼鱼的急性致毒效应特征

通过对表1数据作统计学处理得表2。由表2可见,3种重金属离子在相同实验时间条件下,不同实验质量浓度梯度组的致死效果存在显著差异(F 值均大于相应的 $F_{0.05}$),通过建立概率单位-质量浓度回归方程,均显示出较好的正相关性(r 均大于0.9143)。

Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼半致死质量浓度 LC_{50} 值,随实验时间的延长而减少,表明各金属离子的致毒能力均随实验时间的延长而明显增强。48 h 内, Cr^{6+} 半致死浓度 LC_{50} 值较 Zn^{2+} 大,72 h 及 96 h 内 Cr^{6+} 半致死浓度 LC_{50} 值比 Zn^{2+} 小,表明 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 对黄姑鱼幼鱼的致毒效果有随时间更迭

的现象,但两者对黄姑鱼幼鱼的致毒效果差别不大,基本处于同一水平; Hg^{2+} 的半致死浓度 LC_{50} 值均远低于 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} ,这些均与表1的实验结果相吻合。 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 对其他水生生物的毒性强度由大到小依次呈现为 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{6+} 的顺序,这与本研究结果相一致^[6,11-22]。

表2 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼急性毒性特征的分析Tab.2 Analysis of acute toxicity of Cr^{6+} , Zn^{2+} and Hg^{2+} on *Nibea albiflora* juvenile

离子 Ion	时间/h Time	回归方程 Regression equation	r	n	F	$\text{LC}_{50}/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	LC_{50} 置信限/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) LC_{50} confidence limit	SC/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
Cr^{6+}	24	$Y = -3.107 + 0.432X$	0.999 7	3	1 093.5	18.765 4	18.596 0 - 18.934 9	1.31
	48	$Y = -2.152 + 0.427X$	0.982 4	4	8.334 6	16.741 5	16.148 8 - 17.334 3	
	72	$Y = -6.384 + 0.734 4X$	0.914 3	4	8.155 3	15.452 1	13.432 9 - 17.471 2	
	96	$Y = 1.256 + 0.285 2X$	0.998 2	4	844.466 8	13.127 6	13.006 7 - 13.248 6	
Zn^{2+}	24	$Y = 1.808 + 0.138 9X$	0.982 4	4	55.160 2	22.990 8	22.240 1 - 23.741 4	1.16
	48	$Y = 2.922 + 0.118X$	0.993 1	5	214.732 3	18.457 6	18.146 7 - 18.768 5	
	72	$Y = 3.197 + 0.124 1X$	0.997 5	6	787.636 4	14.530 6	14.335 4 - 14.725 9	
	96	$Y = 3.531 + 0.126 9X$	0.994 7	5	281.087 5	11.583 3	11.283 1 - 11.883 6	
Hg^{2+}	24	$Y = 1.103 + 5.18X$	0.998 6	4	1 299 029	0.752 3	0.648 8 - 0.855 8	0.050
	48	$Y = 1.156 + 5.81X$	0.988 9	4	162 263.4	0.661 6	0.417 9 - 0.905 3	
	72	$Y = 2.028 + 5.29X$	0.979 6	4	57 993.21	0.561 8	0.190 6 - 0.933 0	
	96	$Y = 2.064 + 5.92X$	0.995 1	4	371 151.1	0.495 9	0.122 3 - 0.869 5	

注:1) $F_{0.05}(1,1) = 161.45$; $F_{0.05}(1,2) = 98.50$; $F_{0.05}(1,3) = 34.12$; $F_{0.05}(1,4) = 21.20$.

2) SC: 安全浓度.

Note: 1) $F_{0.05}(1,1) = 161.45$; $F_{0.05}(1,2) = 98.50$; $F_{0.05}(1,3) = 34.12$; $F_{0.05}(1,4) = 21.20$.

2) SC: Safety concentration.

3.2 关于黄姑鱼幼鱼对 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{6+} 安全浓度的评价

Cr^{6+} 是鱼等动物体必需的微量元素之一,微量 Cr^{6+} 对生物无毒害作用,并能促进其生长发育^[12],但过量可影响其体内氧化、还原和水解过程,并可使蛋白质变性,使核酸、核蛋白沉淀,干扰酶系统而引起中毒^[23]; Zn^{2+} 作为动物与人的必需微量元素,在生物体中它既是许多酶的组成部分,又可影响某些非酶有机分子配位基的结构构型^[18]; Hg^{2+} 则是一种不具备任何生理功能的有害元素,对生物具有剧毒性。因此,有效控制养殖环境中重金属离子的浓度水平,为养殖生物提供安全的生存环境,对于实现养殖生物的正常生长与繁殖,保障养殖生物的食品安全具有较为重要的现实意义。

由表2可见,黄姑鱼幼鱼对 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 安全浓度分别为 1.31 mg/L 、1.16 mg/L 和 0.050 mg/L ,均高于渔业水质标准^[9]所规定的指标,表明黄姑鱼幼鱼对 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 具有较强的耐受特性。其中 Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼呈现出剧毒

性, Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 则均表现为中等强度的毒性^[24]。

3.3 Cr^{6+} - Zn^{2+} 、 Cr^{6+} - Hg^{2+} 与 Zn^{2+} - Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼联合毒性效应及其机理的初步探讨

在加和等毒性强度下, Hg^{2+} - Zn^{2+} 、 Hg^{2+} - Cr^{6+} 对水生生物的联合毒性效应多呈现为协同效应^[11,20],这与本研究结果一致;而 Zn^{2+} - Cr^{6+} 对生物的联合毒性效应,则较为复杂,有的呈现出明显的协同效应^[19],有的随两者毒性强度匹配的情形不同而变化^[20],本研究与后者的结果相吻合,这可能是由于实验对象不同所致。

研究表明:(1)当生物受到 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{6+} 等重金属离子污染时,会诱导其体内合成一定数量的金属结合蛋白(MT),而当这些重金属离子在生物体内积累到一定程度以后,进入细胞的金属离子超过对生物合成 MT 速率对它的需求时,多余的金属离子就会与其体内的其他生物分子,包括酶和核酸等大分子相互作用,引起中毒现象^[23,25-26];(2)随着实验时间的延长,离子间的联合致毒效应也会因毒性强度配置的不同而产生一定的消长变

化^[11,18,27]; (3) 在同等实验条件下, 重金属对海洋生物的毒性效应取决于其化学本质(电负性、离子电位等)^[23,28], 一般离子半径大的重金属离子即分子量大的重金属离子, 其对生物的毒性比离子半径小的重金属离子即分子量小的重金属离子强^[6,9,11-22,29]。

初步探讨: (1) 不同金属离子与 MT 的亲合力存在差异, 一般对生物具较高毒性的重金属首先被整合(如 Cd 能取代与 MT 整合的 Zn^{2+}), 研究证实 Cd 对海洋生物毒性一般较 Zn 强^[6,9,12,16,19,22]。本研究 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 安全浓度分别为 1.31 mg/L、1.16 mg/L 和 0.050 mg/L, 因此 Hg^{2+} 被优先选择, Zn^{2+} 次之, Cr^{6+} 最后; (2) 不同重金属离子与 MT 间的整合饱和度存在差异, 一般离子半径较大的重金属与 MT 整合并使之达到饱和和所需的浓度较其他重金属低。其实这也是由于重金属间的毒性强弱所致, 即毒性强的其安全浓度较低, 毒性弱的其安全浓度较高^[6,9,11-22,29]。离子半径由大到小依次呈现为 Hg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cr^{6+} , 故重金属与 MT 的整合饱和度由大到小依次表现为 Cr^{6+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} ; (3) 因离子间作用机制的不同^[12-13,18,23,28], 混合离子的作用干扰了生物体 MT 合成的速率, 当重金属离子完成与 MT 整合达到饱和(整合速率大于细胞内 MT 的合成速率)后, 诸重金属离子对生物的致毒潜力获得显著增强^[25-26,28]。

基于以上对金属离子与 MT 的整合特征的探讨, 笔者对本研究中 Cr^{6+} - Zn^{2+} 、 Cr^{6+} - Hg^{2+} 、 Zn^{2+} - Hg^{2+} 间对黄姑鱼幼鱼的联合毒性效应机理[图 1(A、B、C)]做如下诠释: (1) Cr^{6+} - Zn^{2+} 对黄姑鱼幼鱼的联合毒性效应, 当 Zn^{2+} 毒性强度为 0.2 时, 因未达到细胞内 MT 的整合饱和度, 致使部分 Cr^{6+} 也因参与金属结合蛋白整合而被去毒化或低毒化, 表现为低浓毒性强度 Zn^{2+} 与 Cr^{6+} 的拮抗效应; 而当 Zn^{2+} 与细胞内 MT 达到整合过饱和态时, Zn^{2+} 开始与 Cr^{6+} 一道对黄姑鱼幼鱼表现出毒性作用, 这种作用随 Zn^{2+} 毒性强度的提高而明显增强(图 1)。(2) Cr^{6+} - Hg^{2+} 、 Zn^{2+} - Hg^{2+} 对黄姑鱼幼鱼的联合毒性效应, 由于 Cr^{6+} 或 Zn^{2+} 的存在, 干扰了生物体 MT 合成的速率, 当 Hg^{2+} 毒性强度为 0.2 时就已与细胞内 MT 达到整合过饱和态, 并开始与 Cr^{6+} 或 Zn^{2+} 一道对黄姑鱼幼鱼表现出毒性作用, 这种作用随 Hg^{2+} 毒性强度的提高而明显增强[图 1

(B、C)], 表现为 Cr^{6+} - Hg^{2+} 的协同效应。

当然, 以上就金属离子与 MT 整合特征的探讨及其对本研究中 Cr^{6+} - Zn^{2+} 、 Cr^{6+} - Hg^{2+} 、 Zn^{2+} - Hg^{2+} 间对黄姑鱼幼鱼的联合毒性效应机理的探讨性诠释, 还有待于进一步的实验验证。

致谢: 蒙浙江省海洋水产研究所试验场、浙江华兴海水种苗有限公司提供实验场地和部分试验用具, 浙江省海洋水产研究所陈雪昂、浙江海洋学院渔业学院 2001 级水产养殖专业杨阳、方华良等同学参与本研究部分实验工作, 一并表示谢忱!

参考文献:

- [1] 蔡厚财, 林炎旋, 陈传再. 南澳海区黄姑鱼网围养殖技术研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2000, 20(1): 66-69.
- [2] 雷霖霖, 陈超, 徐延康, 等. 黄姑鱼工厂化育苗技术研究[J]. 海洋科学, 1992, 16(6): 5-10.
- [3] 雷霖霖. 黄姑鱼 *Nibea albiflor* 胚胎及仔、稚、幼鱼形态特征的初步观察[J]. 海洋水产研究, 1981, 4(2): 77-84.
- [4] 陈超, 徐延康, 雷霖霖. 黄姑鱼人工育苗初步试验[J]. 水产科学, 1989, 8(1): 7-11.
- [5] 田北徹, 有明海コイチの初期生活史に關する研究[A]. 日崎大學水產學部研究報告第 38 號[C], 1974. 1-55.
- [6] 吴燕娟, 洪万树. 四种重金属对棘状黄姑鱼胚胎和仔鱼毒性的研究[J]. 台湾海峡, 1999, 18(2): 186-190.
- [7] 洪万树, 卓保堂, 蔡光波, 等. 5 种有机磷农药对棘状黄姑鱼胚胎和仔鱼毒性的研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(1): 43-45.
- [8] 林洪, 王唯芬, 李德猛, 等. 水产品安全性现状与质量管理[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2002, 30(增刊): 681-685.
- [9] GB11607-1989. 渔业水质标准[S].
- [10] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒性实验方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1989. 1-157.
- [11] 高晓莉, 齐凤生, 罗胡英, 等. 铜、汞、镉对泥鳅的急性毒性和联合毒性实验[J]. 水利渔业, 2003, 23(2): 63-64.
- [12] 吴燕娟, 江振霖, 张宝录, 等. 几种重金属对青鳉鱼苗的毒性及生长的影响[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(6): 604-608.
- [13] 杨丽华, 方洲强, 郑文彪. 重金属对鲫鱼的急性毒性及安全浓度评价[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2003(2): 101-106.
- [14] 吴玉霖, 赵鸿儒, 侯兰英. 重金属对牙鲆胚胎和幼鱼的影响[J]. 海洋与湖沼, 1999, 31(4): 386-392.
- [15] 崔可祥, 刘玉梅, 侯兰英. 汞等六种重金属对鱼卵孵化和幼鱼成鱼的影响[J]. 海洋与湖沼, 1987, 18(2): 138-144.
- [16] 杨晓莉, 郑微云, 陈明达, 等. 重金属对真鲷幼鱼和黑鲷幼鱼的毒性效应[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1994, 33(增刊): 28-31.

- [17] 李国基, 刘明星, 张首临, 等. 金属离子对牙鲆幼鱼的毒性影响[J]. 海洋学报, 1996, 18(6): 34-39.
- [18] 修瑞琴, 许永香. 铜、锌离子对斑马鱼的联合毒性[J]. 卫生研究, 1996, 25(2): 101-102.
- [19] 江 敏, 戚维珍, 姚庆楠, 等. 四种重金属对罗氏沼虾的毒性作用[J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(3): 203-207.
- [20] 王志伟, 吕敬京, 许 俊, 等. Cr^{6+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} 对凡纳对虾幼虾急性毒性和联合毒性[J]. 海洋水产研究, 2005, 28(2): 6-12.
- [21] 周立红. 四种重金属对泥鳅胚胎与仔鱼毒性的研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 16(1): 11-19.
- [22] 黄美珍. 重金属汞、铜、锌等对长毛对虾仔虾的毒性影响[J]. 福建水产, 1990, (2): 26-29.
- [23] 廖台基. 微量元素的环境化学及生物效应[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 210-223.
- [24] 张志杰, 张维平. 环境污染生物监测与评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 69.
- [25] 蓝伟光, 吴永萍. 海水污染物对对虾毒性研究的进展[J]. 对虾的重金属毒性研究[J]. 福建水产, 1990(1): 41-45.
- [26] George S, Hodgson P, Todd K, et al. Metallothionein protects against cadmium toxicity-proof from studies developing turbot larvae[J]. Mar Envir Res, 1996, 42: 52.
- [27] 倪丽萍, 马广智, 顾 辉. 铜对草鱼种的急性毒性和联合毒性研究[J]. 淡水渔业, 2002, 32(3): 44-46.
- [28] 赵红霞, 周 萌, 詹 勇, 等. 重金属对水生生物毒性的研究进展[J]. 中国兽医杂志, 2004, 40(4): 39-41.
- [29] 姜彬慧, 林碧琴. 重金属对藻类的毒性作用研究进展[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2001, 27(3): 281-287.

Acute toxic effects of Hg^{2+} , Zn^{2+} and Cr^{6+} on *Nibea albiflora* juvenile

WANG Zhi-zheng¹, LIU Zu-yi², LÜ Gan-tang¹, XU Jun¹

(1. Fishery College of Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316004 China; 2. Ocean and Fisheries Bureau of Shengsi County, Shengsi 202450, China)

Abstract: *Nibea albiflora* is a common economic species along China coastal areas, with high growth, wide feeding, better ability to resist sick and current, and has become one of excellent mari-culture species. In view of large amount of industrial wastes and agricultural pollutants discharging into sea areas, which have made great potential danger on the growth and propagation of marine living things and the safety of sea products. Up to now, almost no reports of the effect of poisons on *Nibea albiflora* have been reported to guide the mari-culture production. In this study, the acute toxicity tests of Cr^{6+} , Zn^{2+} and Hg^{2+} on *Nibea albiflora* juvenile were conducted at water temperature 29-31 °C in HuaXing Breeding Ltd in August 2004. The results showed that the median lethal concentrations (LC_{50}) of Hg^{2+} for 24 h, 48 h, 72 h and 96 h to *Nibea albiflora* juvenile were 0.752 3 mg/L, 0.661 6 mg/L, 0.561 8 mg/L and 0.495 9 mg/L respectively; LC_{50} of Zn^{2+} were 22.990 8 mg/L, 18.457 6 mg/L, 14.530 6 mg/L and 11.583 3 mg/L respectively and LC_{50} of Cr^{6+} were 18.765 4 mg/L, 16.741 5 mg/L, 15.452 1 mg/L and 13.127 6 mg/L respectively. The safety concentrations (SC) of Cr^{6+} , Zn^{2+} and Hg^{2+} for 96 h were 1.31 mg/L, 1.16 mg/L and 0.050 mg/L respectively; the order of the toxicity of these heavy metals was $\text{Hg}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cr}^{6+}$ in turn; the joint toxicity of Hg^{2+} and Zn^{2+} , Hg^{2+} and Cr^{6+} were synergism; low intensity Zn^{2+} and high intensity Cr^{6+} were antagonism. Slightly higher intensity of Cr^{6+} showed absolute effect compared with Zn^{2+} , yet slightly higher intensity of Zn^{2+} showed combination.

Key words: Zn^{2+} ; Hg^{2+} ; Cr^{6+} ; acute toxicity; joint toxicity; *Nibea albiflora*; juvenile