

文章编号: 1004-7271(2007)06-0549-06

## Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和Hg<sup>2+</sup>对青虾的 毒性和联合毒性研究

吕耀平<sup>1,2</sup>, 李小玲<sup>1,3</sup>, 贾秀英<sup>4</sup>

(1. 丽水学院化学与生命科学学院, 浙江 丽水 323000;  
2. 上海水产大学生命学院, 上海 200090; 3. 浙江大学 浙江 杭州 310027;  
4. 杭州师范大学生命与环境科学分院, 浙江 杭州 310036)

**摘要:**探讨了Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和Hg<sup>2+</sup>三种重金属离子对青虾(*Macrobrachium nipponense*)的急性毒性及联合毒性作用。结果表明:Cr<sup>6+</sup>对青虾的24、48、72、96h的半致死浓度LC<sub>50</sub>分别为8.937、5.001、3.484、2.241mg/L; Mn<sup>7+</sup>对青虾24、48、96h的LC<sub>50</sub>分别为45.497、34.191、13.293、2.460mg/L; Hg<sup>2+</sup>对青虾的24、48、72、96h的LC<sub>50</sub>分别为0.0415、0.0239、0.0168、0.0131mg/L。急性毒性由强至弱依次为: Hg<sup>2+</sup> > Cr<sup>6+</sup> > Mn<sup>7+</sup>。Cr<sup>6+</sup> - Hg<sup>2+</sup>对青虾96h的联合作用表现为协同作用; Mn<sup>7+</sup> - Hg<sup>2+</sup>对青虾的96h联合急性毒性表现为:低浓度的Mn<sup>7+</sup>对Hg<sup>2+</sup>表现为协同作用,低浓度的Hg<sup>2+</sup>对Mn<sup>7+</sup>表现为拮抗作用; Mn<sup>7+</sup> - Cr<sup>6+</sup>96h联合急性毒性表现为:高浓度的Mn<sup>7+</sup>对Cr<sup>6+</sup>表现为拮抗作用,而非低浓度的Cr<sup>6+</sup>对Mn<sup>7+</sup>均表现为协同作用。并就Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和Hg<sup>2+</sup>对青虾的急性致毒效应特征、安全浓度以及重金属离子间联合毒性效应进行了分析与探讨。

**关键词:**青虾; Cr<sup>6+</sup>; Mn<sup>7+</sup>; Hg<sup>2+</sup>; 急性毒性; 联合毒性

中图分类号: S 966.12 文献标识码: A

## Study on the acute toxicity and joint toxicity of Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup> and Hg<sup>2+</sup> on the *Macrobrachium nipponense*

LV Yao-ping<sup>1,2</sup>, LI Xiao-ling<sup>1,3</sup>, JIA Xiu-ying<sup>4</sup>

(1. College of Chemistry and Life Sciences, Lishui University, Zhejiang Lishui 323000, China;  
2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;  
3. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;  
4. School of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of the acute toxicity and combination toxicity of Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup> and Hg<sup>2+</sup> on *Macrobrachium nipponense* were investigated. The results indicated that the median lethal concentrations (LC<sub>50</sub>) of Cr<sup>6+</sup> for 24h, 48h, 72h and 96 h to *Macrobrachium nipponense* were 8.937, 5.001, 3.484, 2.241 mg/L, respectively, those of LC<sub>50</sub> of Mn<sup>7+</sup> were 45.497, 34.191, 13.293, 2.460 mg/L, respectively, while those of LC<sub>50</sub> of Hg<sup>2+</sup> were 0.0415, 0.0239, 0.0168, 0.0131 mg/L, respectively. The toxicity order of these heavy metals was: Hg<sup>2+</sup> > Cr<sup>6+</sup> > Mn<sup>7+</sup>. The combination toxicities of these heavy metals for *Macrobrachium nipponense* 96 h were as follows: the combination toxicity of Cr<sup>6+</sup> - Hg<sup>2+</sup> was synergistic.

收稿日期: 2007-03-20

基金项目: 浙江省丽水市科技局项目(20063-7)

作者简介: 吕耀平(1967-), 男, 浙江缙云人, 副教授, 硕士, 主要从事水产动物养殖及环境生态方面的研究。E-mail: kyc@ls0578.net

The low intensity of  $Mn^{7+}$  and the high intensity of  $Hg^{2+}$  were synergistic; the low intensity of  $Hg^{2+}$  and the high intensity of  $Mn^{7+}$  were antagonistic. The low intensity of  $Mn^{7+}$  and the high intensity of  $Cr^{6+}$  were synergistic; the non-low intensity of  $Cr^{6+}$  and  $Mn^{7+}$  were antagonistic. In addition, the effect characteristics of secure concentration (SC) and combination toxicity of  $Cr^{6+}$ ,  $Mn^{7+}$  and  $Hg^{2+}$  *Macrobrachium nipponense* were discussed as well in this report.

**Key words:** *Macrobrachium nipponense*;  $Cr^{6+}$ ;  $Mn^{7+}$ ;  $Hg^{2+}$ ; acute toxicities; combination toxicity

青虾(*Macrobrachium nipponense*)是我国最主要的经济淡水虾类。在分类学上属节肢动物门,甲壳纲,十足目,长臂虾科,沼虾属。近年来,由于城市建设、工矿企业的迅猛发展,大量污染物排入瓯江水系,对水质带来了严重的影响,并影响青虾养殖生产。经分析目前瓯江水系中主要的污染物是六价铬、高锰酸盐、总汞等<sup>[1-3]</sup>。六价铬、高锰酸钾和汞对虾类的毒理效应研究国内已有很多报道<sup>[4-6]</sup>,但对青虾毒性效应研究尚未见报道。本文以瓯江水系中主要的养殖对象——青虾为试验对象,研究了  $Cr^{6+}$ 、 $Mn^{7+}$  和  $Hg^{2+}$  单一及复合情况下对青虾的毒性,探讨了  $Cr^{6+}$ 、 $Mn^{7+}$  和  $Hg^{2+}$  共存时对青虾的联合毒性效应,为瓯江水域青虾养殖水质风险评价提供一定的参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验动物

采自瓯江上游浙江省云和县紧水滩水库,实验前将青虾在玻璃水族箱(50cm×40cm×45cm)暂养6天,实验用水取自上游的天然水,其基本指标如表1<sup>[2-3]</sup>。每天不间断充气,每天投喂饲料一次,试验前一天停止喂食,选取个体相近,体重相近健康虾进行毒性实验,实验虾体长为  $3.57 \pm 0.65$  cm,体重为  $1.80 \pm 0.37$  g。

表1 实验用水水质

Tab.1 The water quality for experiment (mg/L)

pH	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> - N	DO	COD	Cr <sup>6+</sup>	Mn <sup>7+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
7.48	0.575	0.004	6.6175	4.88	0.004	0.479	0.0014

### 1.2 试验试剂

采用试剂  $K_2Cr_2O_7$ 、 $HgCl_2$  和  $KMnO_4$  均为分析纯。用双蒸水配制母液,试验时稀释成所需要的各浓度。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 急性毒性试验

正式实验前进行浓度范围选择,观察24h及48h青虾的反应,在各污染物虾的最小致死率和最大致死率区间内按等对数间距各设7个浓度组,每组设3个平行。 $Cr^{6+}$ :2.17、3.00、4.15、5.74、7.95、11.00、15.22 mg/L;  $Mn^{7+}$ :0.4489、1.34、4.00、11.96、35.78、107.00、320.00 g/L;  $Hg^{2+}$ :0.0103、0.0206、0.0309、0.0412、0.0516、0.0619、0.0740 mg/L。实验采用96h静水实验法。实验容器为1000 mL烧杯,连续用充气泵接一次性输液器进行充气,每组实验随机放虾10尾,实验期间不投喂饵料,观察记录,随时捞出死亡个体,并记录各组暴露24h、48h和96h的死亡数,用直线内插法,以浓度的常用对数为横坐标,死亡率的概率单位为纵坐标,求出各自的半数致死浓度(LC<sub>50</sub>),并按照公式  $SC = LC_{50}/100$  求出安全质量浓度(SC)。

#### 1.3.2 联合毒性实验

以加和等毒性强度(本研究以单一重金属离子96h半致死质量浓度LC<sub>50</sub>计为1个毒性强度单位)

方式设置两种重金属离子联合毒性浓度梯度,每次实验取 2 个对照组及 4 个处理组,每组设 3 个平行,各组浓度设置为(A-B):1 个毒性单位 A;0.8 个毒性单位 A 加 0.2 个毒性单位 B;0.6 个毒性单位 A 加 0.4 个毒性单位 B;0.4 个毒性单位 A 加 0.6 个毒性单位 B;0.2 毒性单位 A 加 0.8 毒性单位 B;1 个毒性单位 B。

根据试验结果绘制浓度-死亡曲线分析确定各离子之间联合作用的类型<sup>[7]</sup>,若两种重金属离子对青虾的毒性效应等于对照组,表明两者具有加和作用;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 中毒症状

试验开始,高浓度重金属组试验虾反应激烈,显得十分活跃,在水体上层或沿杯壁或呈圆形轨迹剧烈游动,击壁浮头,乱窜和急躁不安,受惊吓反应迟缓。过一段时间后,出现死亡的虾,且死亡虾的头部、尾巴、游泳足有被残食的现象。临死前腹变为弓形,这与王春风等学者<sup>[6]</sup>研究结果有相似之处,鳃为淡紫色,全身僵硬,腹肢不再运动。

### 2.2 单一毒性试验

3 种重金属对青虾的急性致毒结果分列于表 2,半致死浓度和安全浓度见表 3。可见,对应 24h、48h、72h 和 96h 的半致死浓度最大的是 Mn<sup>7+</sup>,最小的是 Hg<sup>2+</sup>,三种重金属急性毒性由强至弱依次为: Hg<sup>2+</sup> > Cr<sup>6+</sup> > Mn<sup>7+</sup>。

表 2 Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和Hg<sup>2+</sup>对青虾的急性毒性  
Tab. 2 The acute toxicity of Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup> and Hg<sup>2+</sup> to *Macrobrachium nipponense*

重金属种类	浓度(mg/L) (mg/L)	不同实验时间下的死亡率(%)			
		24(h)	48(h)	72(h)	96(h)
对照组	0.00	0	0	0	0
	2.17	0	0	22	54
	3.00	0	34	46	64
	4.15	15	43	56	73
	5.74	36	56	64	76
	7.95	45	64	73	86
	11.00	50	74	83	95
	15.22	64	100	-	-
Cr <sup>6+</sup>	0.45	0	0	5	24
	1.34	0	0	14	43
	4.00	19	25	40	55
	11.96	30	44	60	68
	35.78	44	53	61	74
	107.00	60	60	73	84
	320.00	100	-	-	-
	0.010	0	0	46	54
Mn <sup>7+</sup>	0.021	30	49	61	70
	0.031	39	55	74	78
	0.041	45	64	81	85
	0.052	54	75	86	90
	0.062	69	83	94	95
	0.074	85	100	-	-
	0.062	69	83	94	95
	0.074	85	100	-	-
Hg <sup>2+</sup>	0.010	0	0	46	54
	0.021	30	49	61	70
	0.031	39	55	74	78
	0.041	45	64	81	85
	0.052	54	75	86	90
	0.062	69	83	94	95
	0.074	85	100	-	-
	0.074	85	100	-	-

表3  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Mn}^{7+}$ 和 $\text{Hg}^{2+}$ 对青虾的急性毒性特征的分析  
 Tab. 3 Analysis of acute toxicity of  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Mn}^{7+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$  acting on the *Macrobrachium nipponense*

重金属	时间(h)	回归方程	n	r	LC <sub>50</sub> (mg/L)	SC (mg/L)	95%置信区间	
							上限 (mg/L)	下限 (mg/L)
$\text{Cr}^{6+}$	24	$Y = -3.984 + 4.188X$	5	0.908	8.937	0.0894	8.653	9.222
	48	$Y = -1.311 + 1.876X$	5	0.948	5.001	0.0500	4.728	5.274
	72	$Y = -0.988 + 1.822X$	5	0.916	3.484	0.0348	2.462	4.506
	96	$Y = -0.755 + 2.154X$	5	0.962	2.241	0.0224	2.050	2.432
$\text{Mn}^{7+}$	24	$Y = -2.173 + 1.310X$	5	0.930	45.497	0.455	40.733	50.261
	48	$Y = -2.017 + 1.315X$	5	0.885	34.191	0.342	32.685	35.697
	72	$Y = -0.926 + 0.824X$	5	0.939	13.293	0.133	11.752	14.834
	96	$Y = -0.238 + 0.608X$	5	0.938	2.460	0.0246	2.312	2.608
$\text{Hg}^{2+}$	24	$Y = 2.715 + 1.965X$	5	0.956	0.0415	0.000415	0.0337	0.0494
	48	$Y = 3.296 + 2.033X$	5	0.961	0.0239	0.000239	0.0184	0.0294
	72	$Y = 4.369 + 2.460X$	5	0.972	0.0168	0.000168	0.0120	0.0216
	96	$Y = 4.243 + 2.255X$	5	0.925	0.0131	0.000131	0.0104	0.0158

注: Y是死亡率概率;X是浓度对数

### 2.3 联合毒性试验

联合毒性的结果如图1,2和3所示。

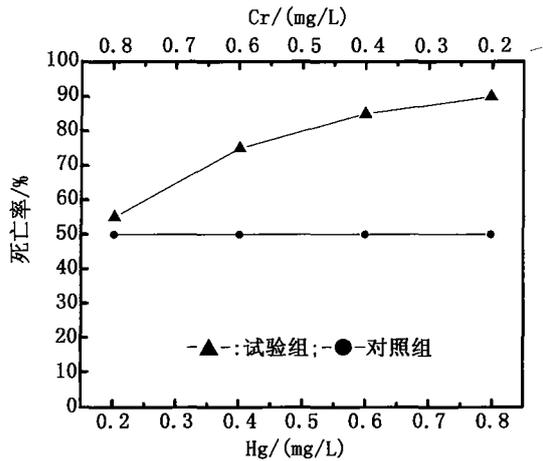


图1  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 对青虾的联合毒性  
 Fig. 1 The joint toxicity of  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  to freshwater shrimp

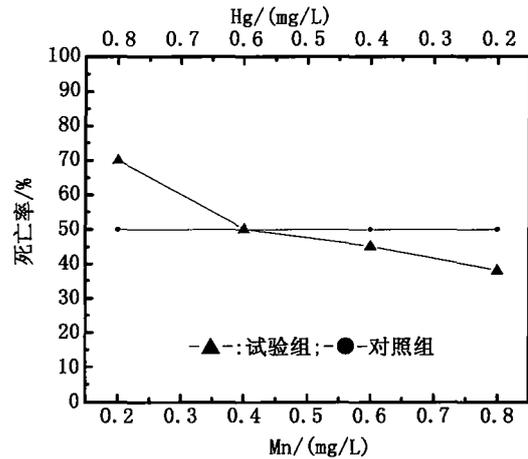


图2  $\text{Mn}^{7+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 对青虾的联合毒性  
 Fig. 2 The joint toxicity of  $\text{Mn}^{7+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  to freshwater shrimp

由图1可见, $\text{Hg}^{2+}$  -  $\text{Cr}^{6+}$ 各梯度组对青虾的致死率均高于对照组,表明 $\text{Hg}^{2+}$ 和 $\text{Cr}^{6+}$ 具协同效应。

由图2可见,当 $\text{Hg}^{2+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 为 $0.8 + 0.2$ 时,表现为协同作用;当 $\text{Hg}^{2+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 为 $0.6 + 0.4$ 时,表现为加和作用,当 $\text{Hg}^{2+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 为 $0.4 + 0.6$ 时,表现为独立作用;当 $\text{Hg}^{2+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 为 $0.2 + 0.8$ 时,表现为拮抗作用,可见,高强度的 $\text{Mn}^{7+}$ 对 $\text{Hg}^{2+}$ 有拮抗作用,而高强度的 $\text{Hg}^{2+}$ 对 $\text{Mn}^{7+}$ 具有协同作用。

由图3可见,当 $\text{Cr}^{6+}$ 毒性强度大于 $0.35$ 时, $\text{Cr}^{6+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 对青虾的致死率均高于对照组,表现为协同效应,且当 $\text{Cr}^{6+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 为 $0.6 + 0.4$ 时,协同效果最明显;当 $\text{Cr}^{6+}$  -  $\text{Mn}^{7+}$ 为 $0.2 + 0.8$ 时,其对青虾毒性作用小于其中毒性强度较高者,具有拮抗作用。结果表明,高强度的 $\text{Mn}^{7+}$ 对 $\text{Cr}^{6+}$ 有拮抗作用,而非低强度的 $\text{Cr}^{6+}$ 对 $\text{Mn}^{7+}$ 具有协同效应。

### 3 讨论

#### 3.1 Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和Hg<sup>2+</sup>对青虾的毒性

微量的 Cr<sup>6+</sup> 对生物无毒害作用,并能促进其生长发育<sup>[8]</sup>,但过量可影响其生成代谢过程,并可使蛋白质变性,使核酸和核蛋白沉淀,干扰酶系统而引起中毒<sup>[9]</sup>。

高锰酸钾是一种强氧化剂,在容易被水中有机物还原成二氧化锰,二氧化锰沉淀对对虾的鳃有毒害作用,从而影响对虾的呼吸。高锰酸钾也是多种虾酶的激活剂和酶的抑制剂<sup>[10]</sup>,而大量进入时也会对神经细胞产生毒害<sup>[11]</sup>。

关于 Hg<sup>2+</sup> 对生物毒性的研究已经有许多报道<sup>[12-13]</sup>,由于受试生物所处生活周期的不同,使得其结果也不尽相同。一来说,幼体比成体敏感,胚胎期由于受卵膜的保护而如幼体敏感, Frias - Espericueta M G 等<sup>[14]</sup>对南美白对虾(*Penaeus Vannamei*)的研究发现,胚后期虽有约 20% 在蜕皮,但其 96h LC<sub>50</sub> 仍高达 1.23mg/L 可能存在某种防御机制,如存在可活跃结合汞的属硫蛋白。

#### 3.2 关于青虾对 Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和Hg<sup>2+</sup>安全浓度的评价

从表 2 可见, Cr<sup>6+</sup>、Mn<sup>7+</sup>和 Hg<sup>2+</sup>对青虾急性毒性的 24 hSC 分别为 0.089 4 mg/L、0.455 mg/L 和 0.000 4 mg/L。Cr<sup>6+</sup> 24 hSC 比王志铮等人<sup>[7]</sup>研究凡纳滨对虾幼虾(*Litopenaeus vannamei*) (4.76 ± 0.50 cm, 水温 29 ~ 31 °C, 盐度 28 - 3) 的 24 h 安全浓度 0.409 mg/L 要小很多。可说明青虾对 Cr<sup>6+</sup> 的敏感性比凡纳滨对虾幼虾更明显。Mn<sup>7+</sup> 24 hSC 比徐镇等人<sup>[15]</sup>研究秀丽白虾(*Palaemon modestus* Heller) (水温为 18 ~ 23 °C, pH 值为 7.51 - 7.54, 硬度为 6.712 mmol/L) 的 SC(0.007 0 mg/L) 要大很多,说明青虾对锰耐性比秀丽白虾强很多。Hg<sup>2+</sup> 的安全浓度比高淑英等人<sup>[16]</sup>研究日本对虾幼虾(28 ± 0.5 °C 和充气条件下)的 24 hSC(0.001 3 mg/L) 小很多,比王志铮等人<sup>[7]</sup>研究凡纳滨对虾幼虾 24 hSC(0.004 2 mg/L) 要小 10 倍左右,推测青虾比对虾和凡纳滨对虾幼虾的对 Hg<sup>2+</sup> 敏感性更明显。

#### 3.3 关于重金属对青虾的联合毒性效应

三种重金属对青虾的联合毒性试验结果见图 1 - 3,由图 1 可见 Hg<sup>2+</sup> - Cr<sup>6+</sup> 对青虾的联合毒性作用表现为协同作用,刘清等<sup>[17]</sup>认为这些金属共同存在于虾体内,细胞膜的通透性增加,毒性增强的缘故;由图 2 可见低浓度的 Mn<sup>7+</sup> 对 Hg<sup>2+</sup> 表现为协同作用,高浓度的 Mn<sup>7+</sup> 对 Hg<sup>2+</sup> 表现为拮抗作用,这可能是 Mn<sup>7+</sup> 和 Hg<sup>2+</sup> 在与生物大分子结合时发生竞争性抑制所致,Mn<sup>7+</sup> 和 Hg<sup>2+</sup> 能与生物体内的硫蛋白结合成锰硫蛋白和汞硫蛋白,而各种金属硫蛋白的稳定性存在一定差异,汞硫蛋白稳定性小于锰硫蛋白,Mn<sup>7+</sup> 与锰硫蛋白中的 Hg<sup>2+</sup> 发生置换反应生成锰硫蛋白,致使 Hg<sup>2+</sup> 毒性降低<sup>[18]</sup>;由图 3 可见高浓度的 Mn<sup>7+</sup> 对 Cr<sup>6+</sup> 表现为拮抗作用,而非低浓度的 Cr<sup>6+</sup> 对 Mn<sup>7+</sup> 均表现为协同作用,其实验结果有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 朱圣潮,何爱兰. 浙江开潭水库库区浮游植物与水质的关系[J]. 湖泊科学,2003,15(4):353 - 358.
- [2] 朱圣潮. 大溪的浮游藻类与水体污染[J]. 杭州师范学院学报,2001,18(2):26 - 28.
- [3] 许伟明,姜永达,艾碧英. 大溪水污染现状调查[J]. 丽水师范专科学校学报,1999,21(2):52 - 56.
- [4] 王安利,王维娜,王建平,等. 海水中铬和镉对中国对虾体内氨基酸含量的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版),2000,39(增刊):128 - 131.
- [5] 吴志新,陈孝焯,李良华,等. 红螯螯虾对高锰酸钾、敌百虫和漂白粉耐受性的研究[J]. 华中农业大学学报,1998,17(1):61 - 66.

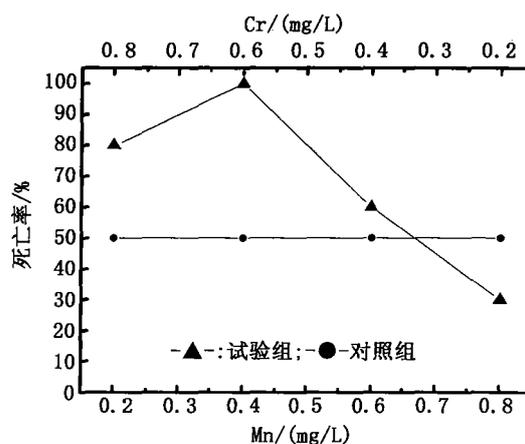


图 3 Mn<sup>7+</sup>、Cr<sup>6+</sup>对青虾的联合毒性

Fig. 3 The joint toxicity of Mn<sup>7+</sup>、Cr<sup>6+</sup> to freshwater shrimp

- [6] 王春风,方展强.汞和硒对剑尾鱼的急性毒性及其安全浓度评价[J].环境科学与技术,2005,28(2):32-36.
- [7] 王志铮,吕敢堂,许俊,等.  $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$ 对凡纳滨对虾幼虾急性毒性和联合毒性研究[J].海洋水产研究,2005,26(2):6-12.
- [8] 吴贤汉,江新舜.几种重金属对青岛文昌鱼的毒性及生长的影响[J].海洋与湖沼,1999,30(6):604-608.
- [9] 廖自基.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,1992:210-323.
- [10] 李荷芳,赫斌,刘发义,等.饲料中添加锰对中国对虾的影响[J].海洋科学,1993(4):48-51.
- [11] Macdonald J M, shields J D, Zimmer-Faust P K. Acute toxicity of eleven metals to early lifehistory stages of the yellow crab *Cancer anthonyi* [J]. *Marine Biology*, 1988, 88:201-207.
- [12] Frias-Espicueta M G, Voltolina D, Osunalopez J L. Acute toxicity of cadmium, mercury and lead to white leg toxicity of cadmium, mercury and lead to white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) post larvae[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicity*, 2000, 67: 580-586.
- [13] Garcia E M, Reyes R E. Synthesis pattern of an  $\text{Hg}^{2+}$  binding protein in *Acetabularia calyculus* during short-term exposure to mercury [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicity*, 2001, 66:357-364.
- [14] Frias-Espicueta M G, Voltolina D, Osuna-lopez J L. Acute toxicity of cadmium, mercury and lead to white leg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) post larvae[J]. *Bullet of Environmental Contamination and Toxicity*, 2000, 67:580-586.
- [15] 徐镇,徐如卫,周志明,等.四种常用渔药对秀丽白虾的急性毒性试验[J].水产科学,2005,24(7):29-31.
- [16] 高淑英,邹栋梁,厉红梅.汞、镉、锌、锰对日本对虾幼虾的急性毒性[J].海洋通报,1999,18(2):93-97.
- [17] 刘清,马梅,童中华,等. Cu、Zn、Cd、Hg对青海弧菌联合毒性的研究[J].中国环境科学,1997,17(4):301-303.
- [18] 山根靖弘.环境污染物质与毒性(无机篇)[M].成都:四川人民出版社,1981:39-75.