

文章编号: 1004-7271(2002)03-0203-05

# 四种重金属对罗氏沼虾仔虾的毒性作用

江敏<sup>1,2</sup>, 臧维玲<sup>1</sup>, 姚庆祯<sup>1</sup>, 戴习林<sup>1</sup>, 朱正国<sup>1</sup>

(1. 上海水产大学渔业学院, 上海 200090; 2. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200090)

**摘要** 探讨了 Cu、Zn、Cr、Cd 四种重金属离子对罗氏沼虾仔虾的急性毒性及联合毒性作用。Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cr(VI)、Cd<sup>2+</sup> 对仔虾的 96h LC<sub>50</sub> 分别为 0.462mg/L、0.580mg/L、0.114mg/L、0.015mg/L, 急性毒性由强至弱依次为: Cd<sup>2+</sup> > Cr(VI) > Cu<sup>2+</sup> > Zn<sup>2+</sup>; Cu<sup>2+</sup> 和 Zn<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 和 Cd<sup>2+</sup> 对罗氏沼虾仔虾的联合作用表现为拮抗, Cu<sup>2+</sup> 和 Cd<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 和 Cr<sup>6+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 和 Cr(VI) 则为协同作用。

**关键词** 罗氏沼虾仔虾; Cu<sup>2+</sup>; Zn<sup>2+</sup>; Cd<sup>2+</sup>; Cr(VI); 急性毒性; LC<sub>50</sub>; 联合毒性

中图分类号: S912 文献标识码: A

## The toxicity of four heavy metals on *Macrobrachium rosenbergii* postlarva

JIANG Min, ZANG Wei-ling, YAO Qing-zhen, DAI Xi-lin, ZHU Zheng-guo

(1. Fisheries College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Institute of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200090, China)

**Abstract** This study deals with the acute toxicity of Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr(VI) and joint toxicity of Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr(VI) to *M. rosenbergii*. The median lethal concentrations of these four heavy metals to *M. rosenbergii* are 0.462mg/L, 0.580mg/L, 0.015mg/L and 0.114mg/L. The order of the toxicity of these four heavy metals is obtained as follows: Cd<sup>2+</sup> > Cr(VI) > Cu<sup>2+</sup> > Zn<sup>2+</sup>; Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> are antagonism; Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Cr(VI), Zn<sup>2+</sup> and Cr(VI) are synergism.

**Key words**: *Macrobrachium rosenbergii* postlarva; Cu<sup>2+</sup>; Zn<sup>2+</sup>; Cd<sup>2+</sup>; Cr(VI); acute toxicity; LC<sub>50</sub>; joint toxicity

近年来,由于中国对虾暴发性流行病的发生和蔓延,使罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)成为被广泛养殖的虾类品种,而大量重金属随着工业废水和生活污水排入湖泊、河流、江海及养殖池塘,则给罗氏沼虾的养殖带来了潜在的威胁。为此,本试验研究了四种常见重金属对罗氏沼虾仔虾的急性毒性和联合毒性作用,研究结果将为制订渔业水质标准提供一定的参考,同时对罗氏沼虾养殖中重金属的监测与治理有重要的指导意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验于 1999 年 3-5 月在上海水产大学水化学实验室进行。罗氏沼虾(平均全长 1.23cm,平均体重

0.0088g)取自上海漕泾对虾养殖公司育苗场;试验药品为分析纯  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$  及  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ 。

## 1.2 方法

### 1.2.1 仔虾的驯养

取 30L 塑料箱 3 只,放入经充分曝气除氯的自来水,控温  $25^\circ\text{C}$ ,箱中放入仔虾驯养 10 天。驯养期间每日投喂蛋羹 3 次,排污 2 次,并添加少量水作补偿蒸发用。

### 1.2.2 重金属急性毒性试验

根据预备试验结果,按表 1 所示的设计浓度准确配制各浓度系列(设双样平行试验)。为使各试液浓度保持恒定,每天排换 70% 的试液。试验容器为 1000mL 的聚乙烯烧杯,每杯放入仔虾 10 尾,试验期间连续曝气,以水浴控温( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ )。观察 24h、48h、72h、96h 受试仔虾存活数与中毒症状,以直线内插法求得半致死浓度  $\text{LC}_{50}$ <sup>[1]</sup>。

表 1  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cr(VI)}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  对罗氏沼虾仔虾的急性毒性

Tab.1 The acute toxicity of  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Cr(VI)}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  to *M. rosenbergii* postlarva

重金属离子	浓度(mg/L)	死亡率(%)			
		24h	48h	72h	96h
$\text{Cd}^{2+}$	0	0	0	0	0
	0.010	10	10	30	40
	0.015	30	40	50	50
	0.022	30	50	60	60
	0.032	50	60	70	90
	0.046	70	90	90	100
	0.068	90	90	90	100
	0.100	100	100	100	100
$\text{Cr(VI)}$	0	0	0	0	0
	0.10	10	20	30	50
	0.13	30	40	50	50
	0.18	40	50	70	90
	0.24	40	70	90	100
	0.32	50	80	100	100
	0.43	50	80	100	100
	0.58	60	90	100	100
$\text{Cu}^{2+}$	0	0	0	0	0
	0.18	0	0	0	0
	0.34	20	40	50	50
	0.63	30	50	50	50
	1.16	90	100	100	100
	2.15	100	100	100	100
$\text{Zn}^{2+}$	0	0	0	0	0
	0.30	0	0	20	20
	0.58	30	30	40	50
	1.11	30	40	70	90
	2.12	30	70	80	90
	4.08	40	70	80	90
	7.83	40	80	80	90
	15.03	50	90	90	100

### 1.2.3 重金属对罗氏沼虾仔虾的联合毒性试验

根据急性毒性试验结果,按等毒性溶液法进行联合毒性试验<sup>[2]</sup>。每次试验取一个对照组及 6 个试验组(设双样平行试验),各组浓度设置为: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 个毒性单位 A 加 0.8 个毒性单位 B、1 个毒性单位 B (1 个毒性单位为某一试验重金属离子的 96h  $LC_{50}$ )。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>[2]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 四种重金属离子对罗氏沼虾仔虾的急性毒性

四种重金属离子对罗氏沼虾仔虾的急性毒性试验结果列于表 1、表 2。

表 2  $Cd^{2+}$ 、 $Cr(VI)$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$  对罗氏沼虾仔虾的半致死浓度

Tab.2 The  $LC_{50}$  values of  $Cd^{2+}$ 、 $Cr(VI)$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$  to *M. rosenbergii postlarva*

重金属离子	$LC_{50}$ (mg/L)			
	24h	48h	72h	96h
$Cd^{2+}$	0.032	0.022	0.015	0.015
$Cr(VI)$	0.320	0.180	0.130	0.114
$Cu^{2+}$	0.770	0.630	0.462	0.462
$Zn^{2+}$	15.030	1.377	0.720	0.580

$Cd^{2+}$  是一种累积性很强的重金属,在水环境中非常稳定,在生物体内有很强的富集能力,富集系数可达数千至一万以上<sup>[3]</sup>。由表 2 可知, $Cd^{2+}$  对罗氏沼虾仔虾 96h 的  $LC_{50}$  仅为 0.015mg/L,远远低于其余三种重金属离子的  $LC_{50}$  值,表明  $Cd^{2+}$  是一种毒性剧烈的重金属。试验发现,各浓度组在 24 小时受试虾均有死亡,且死亡率随着浓度的增加而上升,最高浓度组受试虾在 24h 内已全部死亡,可见  $Cd^{2+}$  对仔虾的毒性极强,且中毒时间极短,仔虾对  $Cd^{2+}$  的耐受性极差。

毒性仅次于  $Cd^{2+}$  的是  $Cr(VI)$ ,其 96h 的  $LC_{50}$  值为 0.114 mg/L。再次之为  $Cu^{2+}$ ,96h  $LC_{50}$  为 0.462 mg/L。试验发现,仔虾在 72h 后, $Cu^{2+}$  各浓度组死亡率保持恒定,表明随着时间的延长,部分仔虾对  $Cu^{2+}$  的敏感性大为降低。由表 2 可见, $Zn^{2+}$  对罗氏沼虾 24h 的  $LC_{50}$ (15.03mg/L)为 48h $LC_{50}$ (1.377mg/L)的 10.92 倍,48h $LC_{50}$ (1.377mg/L)是 72h $LC_{50}$ (0.720mg/L)的 1.91 倍,72h $LC_{50}$ (0.720mg/L)是 96h  $LC_{50}$ (0.580mg/L)的 1.24 倍,各时间段的  $LC_{50}$  之间的差距随着时间的延长而减少,表明随着时间的推移,仔虾对  $Zn^{2+}$  浓度变化的敏感性降低。 $Zn^{2+}$  对罗氏沼虾仔虾 96h $LC_{50}$  为 0.580mg/L,与试验中其它重金属离子的  $LC_{50}$  相比较为最高,表明  $Zn^{2+}$  对仔虾的毒性相对较小。

由表 2 可见,四种重金属的急性毒性由强至弱依次为  $Cd^{2+} > Cr(VI) > Cu^{2+} > Zn^{2+}$ 。试验结果与侯兰英等报道重金属对梭鱼的急性致毒及姜礼蟠等报道重金属对白鲢的毒性相比较有一定差异<sup>[4,5]</sup>,他们认为  $Cd^{2+}$  对这两种鱼类的毒性小于  $Cu^{2+}$  和  $Zn^{2+}$ ,而在本试验中, $Cd^{2+}$  对罗氏沼虾仔虾的毒性远大于  $Cu^{2+}$  和  $Zn^{2+}$ ,可见,重金属对生物的毒性是随生物而异的。

将 96h  $LC_{50}$  乘以 0.01 可得四种重金属离子对罗氏沼虾仔虾的安全浓度<sup>[2]</sup>,根据试验结果计算而得的安全浓度与几种水质标准进行比较可见(表 3)<sup>[1,2,6]</sup>,计算值均较各类标准低,因此,作为综合考虑多

表 3 计算安全浓度与各国水质标准的比较

Tab.3 Comparison between the safety concentrations and the water quality standards

重金属离子	安全浓度计算值 (mg/L)	中国渔业水质 标准	美国水质基准 (淡水)	前苏联渔业用水 水质标准	罗马尼亚水质 标准(二级)
总镉	0.00015	0.005	0.0039	0.005	0.03
六价铬	0.00114	0.05	0.016	0.1	0.1
总铜	0.00462	0.01	0.018	0.01	0.1
总锌	0.00580	0.1	0.32	0.01	0.1

种因素的渔业水质标准在进一步修订时,还有必要考虑一些有毒物质对于罗氏沼虾等特种水产养殖品种的危害。

### 2.2 四种重金属对罗氏沼虾仔虾的联合毒性试验结果

在人工培养液或天然水体中,重金属的种类与含量都不可能是单一的和固定不变的。各种水生生物常受到多种重金属联合作用的综合影响,重金属间的相互作用大致有拮抗、协同、相加等类型<sup>[2]</sup>。四种重金属对罗氏沼虾仔虾的联合毒性试验结果见图 1 至图 6。

由图 1 可见,Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>联合试验中所作的浓度—死亡曲线位于 100% Cu<sup>2+</sup> 组与 100% Zn<sup>2+</sup> 组死亡百分数连线的下方,可见 Cu<sup>2+</sup> 与 Zn<sup>2+</sup> 对罗氏沼虾仔虾的联合毒性作用表现为拮抗。究其原因,可能是 Cu<sup>2+</sup> 和 Zn<sup>2+</sup> 在与生物大分子结合时发生竞争性抑制所致。Cu<sup>2+</sup> 和 Zn<sup>2+</sup> 能与生物体内的硫蛋白结合生成铜硫蛋白、锌硫蛋白,而各种金属硫蛋白的稳定性存在一定差异,锌硫蛋白稳定性小于铜硫蛋白,Cu<sup>2+</sup> 与锌硫蛋白中的 Zn<sup>2+</sup> 发生置换反应生成铜硫蛋白,从而降低了体液中 Cu<sup>2+</sup> 的浓度,致使 Cu<sup>2+</sup> 毒性降低<sup>[7]</sup>。与 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 的联合作用类型一样,Zn<sup>2+</sup> 与 Cd<sup>2+</sup> 也表现出拮抗作用(图 2)。当 Zn<sup>2+</sup> 与 Cd<sup>2+</sup> 同时作用于生物体时,体内硫蛋白优先与 Cd<sup>2+</sup> 结合,从而降低了 Cd<sup>2+</sup> 的毒性。

由图 3、4、5 可见,Cu<sup>2+</sup> 与 Cd<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 与 Cr(VI)、Zn<sup>2+</sup> 与 Cr(VI) 各试验组所作浓度—死亡曲线位于 100% 各试验金属死亡百分线连线的上方,表明 Cu<sup>2+</sup> 与 Cd<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup> 与 Cr(VI)、Zn<sup>2+</sup> 与 Cr(VI) 对罗氏沼虾仔虾均表现为协同作用。这可能是这些金属共同存在于沼虾体内,细胞膜的通透性增加,毒性增强缘故<sup>[8]</sup>。

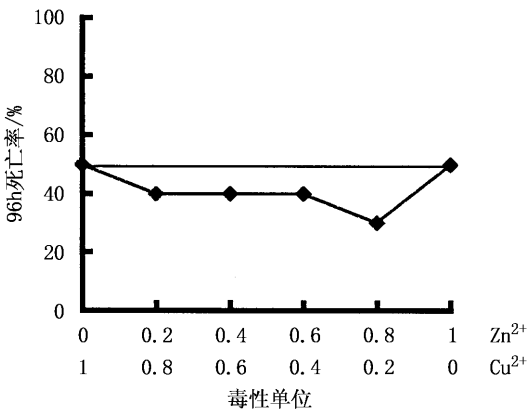


图 1 Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 对罗氏沼虾仔虾的联合毒性  
Fig.1 The joint toxicity of Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> to *M. rosenbergii* postlarva

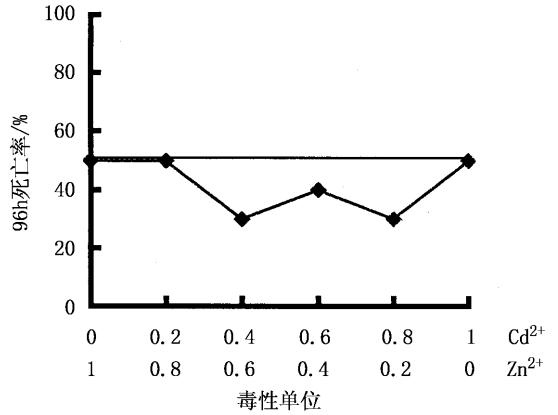


图 2 Zn<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 对罗氏沼虾仔虾的联合毒性  
Fig.2 The joint toxicity of Zn<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> to *M. rosenbergii* postlarva

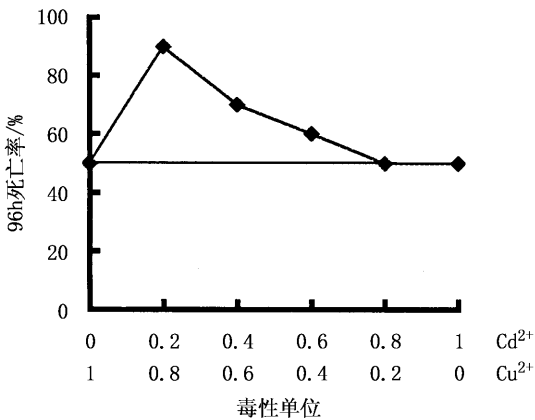


图 3 Cu<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 对罗氏沼虾仔虾的联合毒性  
Fig.3 The joint toxicity of Cu<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> to *M. rosenbergii* postlarva

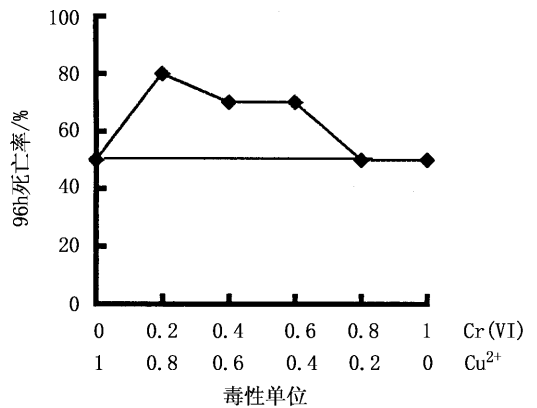


图 4 Cu<sup>2+</sup>、Cr(VI) 对罗氏沼虾仔虾的联合毒性  
Fig.4 The joint toxicity of Cu<sup>2+</sup>、Cr(VI) to *M. rosenbergii* postlarva

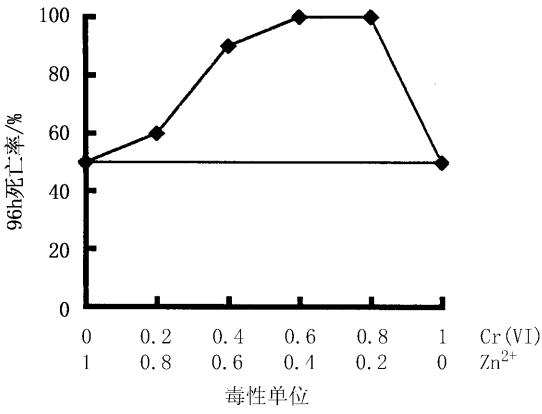
图 5 Zn<sup>2+</sup>、Cr(VI)对罗氏沼虾仔虾的联合毒性

Fig.5 The joint toxicity of Cu<sup>2+</sup>、Cr(VI) to *M. rosenbergii* postlarva

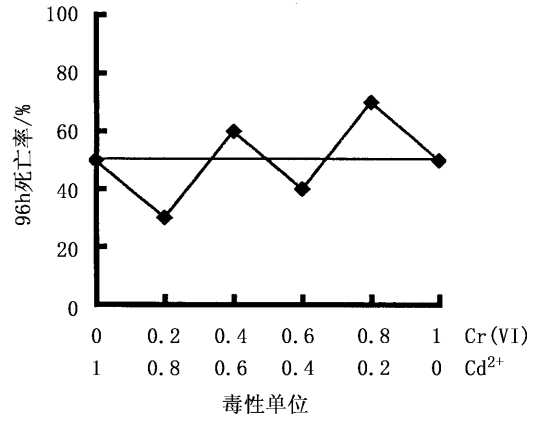
图 6 Cd<sup>2+</sup>、Cr(VI)对罗氏沼虾仔虾的联合毒性

Fig.6 The joint toxicity of Cd<sup>2+</sup>、Cr(VI) to *M. rosenbergii* postlarva

Warne 等人研究指出,对于非特异性的化学毒物,联合作用方式将随着组分的增加而趋向于相加作用<sup>[9]</sup>。试验中发现,Cd<sup>2+</sup>与Cr<sup>6+</sup>对罗氏沼虾仔虾表现为相加作用(图6)。但在试验中,仅以死亡率作为观察指标,毒理学试验中,仅以死亡率区分相加作用与独立作用是远远不够的。对于Cd<sup>2+</sup>与Cr(VI)的试验结果尚有待于进一步探讨。

### 3 结论

Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>、Cr(VI)四种重金属离子对罗氏沼虾仔虾 96h LC<sub>50</sub>分别为 0.462mg/L、0.580mg/L、0.015mg/L、0.114mg/L;其毒性大小依次为 Cd<sup>2+</sup> > Cr(VI) > Cu<sup>2+</sup> > Zn<sup>2+</sup>;Cu<sup>2+</sup>和 Zn<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>和 Cd<sup>2+</sup>为拮抗作用;Cu<sup>2+</sup>和 Cd<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>和 Cr(VI)、Zn<sup>2+</sup>和 Cr(VI)均为协同作用。

### 参考文献:

- [1] 邱郁春. 水污染鱼类毒性试验方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992. 54-61,175.
- [2] 周永欣,章宗涉. 水生生物毒性试验方法[M]. 北京:农业出版社,1989. 5-9,202-205,261-263.
- [3] 陈佳荣. 水化学[M]. 北京:中国农业出版社,1993. 201-205.
- [4] 侯兰英,赵鸿儒,吴玉霖. 几种重金属对梭鱼的急性致毒及梭鱼回避反应的试验研究[J]. 海洋与湖沼,1993,24(5):507-510.
- [5] 姜礼蟠,潘炳炎. 鱼类对重金属及农药的回避反应研究[J]. 环境科学,1982,(6):1-7.
- [6] 夏青,张旭辉. 水质标准手册[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990. 223-230.
- [7] 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.
- [8] 刘清,马梅,童中华等. Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>、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.
- [9] Warne M S, Connell D W, Hauker D W. Prediction of the toxicity of mixtures of shale oil component[J]. Ecotoxic and Environ Safety, 1989, 18(2):121-128.