

文章编号: 1004-7271(2003)02-0117-06

# 铜、镉、敌敌畏和甲胺磷对南美白对虾幼虾的急性致毒及相互关系

姚庆祯<sup>1,2</sup>, 臧维玲<sup>1</sup>, 戴习林<sup>1</sup>, 江敏<sup>1</sup>, 徐桂荣<sup>3</sup>, 丁福江<sup>3</sup>

(1. 上海水产大学渔业学院, 上海 200090; 2. 华东师范大学河口海岸重点实验室, 上海 200062; 3. 上海申漕特种水产有限公司, 上海 201507)

**摘要:** 在恒温(25±1℃)和充气条件下, 研究了铜、镉、敌敌畏和甲胺磷对南美白对虾的急性致毒效用, 得到了铜、镉、敌敌畏、甲胺磷对幼虾的 24hLC<sub>50</sub>、48hLC<sub>50</sub>、72hLC<sub>50</sub>、96hLC<sub>50</sub>, 四种毒物的安全浓度分别为 0.008、0.001、 $7.6 \times 10^{-4}$ 、 $7.8 \times 10^{-4}$  mg/L, 四种毒物的毒性大小顺序为: 甲胺磷 > 敌敌畏 > Cd<sup>2+</sup> > Cu<sup>2+</sup>。铜与敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性作用为相加作用, 镉与敌敌畏、甲胺磷的联合毒性作用为拮抗作用。

**关键词:** 南美白对虾, 铜, 镉, 敌敌畏, 甲胺磷, 急性致毒

中图分类号: S912 文献标识码: A

## A acute toxic effects of copper, cadmium, dichlorvos and methamidophos on *Penaeus vannamei* larval shrimp and their interactions

YAO Qing-zhen<sup>1,2</sup>, ZANG Wei-ling<sup>1</sup>, DAI Xi-lin<sup>1</sup>, JIANG Min<sup>1</sup>, XU Gui-rong<sup>3</sup>, DING Fu-jiang<sup>3</sup>

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

2. State Key Laboratory of Estuarine And Coastal Research, East China Normal University,

Shanghai 200062, China 3. Shencao Special Culture Company of Shanghai, Shanghai, 201507, China)

**Abstract:** Acute toxic effects of copper, cadmium, dichlorvos and methamidophos on *Penaeus vannamei* were investigated. The 24hLC<sub>50</sub>, 48hLC<sub>50</sub>, 72hLC<sub>50</sub>, 96hLC<sub>50</sub> of them were found. The safe concentrations of copper, cadmium, dichlorvos and methamidophos on larval shrimp, *Penaeus vannamei* were 0.008, 0.001,  $7.6 \times 10^{-4}$ ,  $7.8 \times 10^{-4}$  respectively. The order of the toxicity of these four materials was obtained, that is: methamidophos > dichlorvos > cadmium > copper. It was found that there were antagonistic relationships between cadmium and dichlorvos or methamidophos, and were additive relationships between copper and dichlorvos or methamidophos.

**Key words:** *Penaeus vannamei*; Copper; Cadmium; Dichlorvos; Methamidophos; acute toxicity

南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 由于其生长快、适应能力强, 其养殖生产近几年来在我国发展较快。而随着工业生产的迅速发展, 大量含重金属的工业废水和含农药的农业废水排入湖泊、河流、江海及养殖池塘, 由此可能对水产养殖品种及其它水生生物产生毒害作用甚至引起死亡。铜、镉是常见的重金属

污染物,它们对水生生物的毒性效应国内外已有一些报道,但对南美白对虾的毒性尚未见报道。农药对对虾的毒性作用研究相对较少,而且,目前对这些毒物的研究也只是停留在单一类型毒物的水平上,但在海水中实际上同时存在着多种毒物,它们对生物的毒性无疑是综合性的。为弄清这些常见有害物质对南美白对虾的单一危害和综合危害程度,我们于2002年5月在上海申漕特种水产有限公司进行了该项研究工作。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以上海申漕特种水产有限公司育苗室内的南美白对虾(*Penaeus vannamei*)幼虾为研究对象,试验前在塑料箱(68cm×51cm×37cm)内驯养5~7d,试验时选择无病伤的健壮个体,虾体长6~9mm,体重2.0~8.5mg,试验药品为分析纯CuSO<sub>4</sub>、CdCl<sub>2</sub>、二甲基二氯乙烯基磷酸酯(俗称敌敌畏)(80%乳油)、甲胺磷(30%乳油)。

试验用海水经处理后将进入育苗池的漕泾沿岸河口水,其水质指标如表1,其盐度为26,试验时温度为(25±1)℃。

表1 试验用海水本底值

Tab.1 Context results of seawater

(mg/L)

pH	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	COD	Cu <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
8.24	0.25	0.007	6.00	0.020	0.0052	0.054

试验溶液:以蒸馏水溶解重金属和农药配制母液,再用试验海水稀释成所需浓度的溶液。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 毒物单一效应试验

(1)先做预试验,找出每种毒物的全活浓度和全致死浓度。然后,按等对数间距设6个浓度组,并设一对照组,每浓度设平行组。

毒性试验在恒温、充气条件下进行。将南美白对虾幼虾10尾放入每个盛有1L试验液的烧杯中,用气石借助压缩机充气。每隔24h观察,记录每组受试虾的死亡数(对玻璃棒触及无反应的幼体被鉴定为死亡),并更换试液。

(2)以浓度的常用对数为纵坐标,幼虾死亡率为横坐标,在常规坐标纸上以直线内插法推导处理,求出各自的半致死浓度(LC<sub>50</sub>),再按以下经验公式求出安全浓度,重金属安全浓度=96hLC<sub>50</sub>×0.01(mg/L);农药安全浓度=96hLC<sub>50</sub>×0.1(mg/L)。

#### 1.2.2 毒物综合效应试验

用每种毒物的24hLC<sub>50</sub>分别按表2中的比例相乘,求出A、B两种物质所需的浓度和体积,后将这两种溶液混合配成等毒性溶液进行试验。如果各组中幼虾的24h存活率相同,则说明这两种物质为相加效应;若2~5组各自的存活率均低于第1或第6组,表明两物质为协同作用;若其存活率高于第1或第6组,则为拮抗作用。

表2 等毒性溶液的配制比例

Tab.2 The confected proportion of identical toxic solution

试验组	1	2	3	4	5	6
物质A	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0
物质B	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1

## 2 结果与讨论

### 2.1 试验结果

$\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 、敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的急性致毒试验结果见表 3~表 6,数据的处理结果见表 7。从表 7 可看出,死亡率 Y 与浓度对数 X 呈密切的正线性相关, $\text{LC}_{50}$ 值随试验时间的延长而减小。

表 3  $\text{Cu}^{2+}$  对南美白对虾幼虾的急性致毒结果

Tab.3 The acute toxic effects of copper on *Penaeus vannamei*

试验组	1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{Cu}^{2+}$ (mg/L)	0	0.28	0.50	0.80	1.60	2.80	5.00	8.00
24h 死亡率	0	0	0	0	0	0	60	100
48h 死亡率	0	0	10	20	30	60	70	
72h 死亡率	0	10	20	30	60	70	100	
96h 死亡率	0	20	30	50	70	90		

表 4  $\text{Cd}^{2+}$  对南美白对虾幼虾的急性致毒结果

Tab.4 The acute toxic effects of cadmium on *Penaeus vannamei*

试验组	1	2	3	4	5	6	7
$\text{Cd}^{2+}$ (mg/L)	0	0.05	0.16	0.50	1.60	5.00	16.00
24h 死亡率	0	0	10	15	30	100	100
48h 死亡率	0	0	20	35	50	100	
72h 死亡率	0	10	50	65	80		
96h 死亡率	0	40	60	70	80		

表 5 敌敌畏对南美白对虾幼虾的急性致毒结果

Tab.5 The acute toxic effects of dichlorvos on *Penaeus vannamei*

试验组	1	2	3	4	5	6	7	8
敌敌畏 $\times 10^3$ (mg/L)	0	1.50	3.00	6.00	12.00	24.00	48.00	48.00
24h 死亡率	0	0	0	0	0	10	60	100
48h 死亡率	0	0	10	15	25	30	70	
72h 死亡率	0	10	15	40	65	70	80	
96h 死亡率	0	20	40	50	70	75	80	

表 6 甲胺磷对南美白对虾幼虾的急性致毒结果

Tab.6 The acute toxic effects of methamidophos on *Penaeus vannamei*

试验组	1	2	3	4	5	6	7	8
甲胺磷 $\times 10^3$ (mg/L)	0	1.00	1.60	3.20	5.60	10.00	16.00	32.00
24h 死亡率	0	0	0	10	20	30	40	60
48h 死亡率	0	0	10	20	30	40	60	80
72h 死亡率	0	10	20	30	40	50	70	100
96h 死亡率	0	15	20	30	40	60	80	

### 2.2 四种毒物的致毒效应

铜在溶液中以  $\text{Cu}^{2+}$  为主要形式,作为生命活动必需的微量元素之一,是多种酶的组成成分和酶的活性中心,能促进对铁的吸收和利用,但超出一定剂量就产生危害。在实验中发现,当  $\text{Cu}^{2+}$  浓度超过 5.0mg/L 时,海水中许多离子与  $\text{Cu}^{2+}$  生成浅蓝色沉淀,从而降低自由态  $\text{Cu}^{2+}$  的浓度,并使试验结果偏

高。迄今尚不知镉的生理功能,镉的存在不管浓度高低都是有毒的。一般认为,当重金属在对虾体内累积到一定程度之后,继续合成金属硫蛋白又不能满足进入细胞的金属结合的需要时,多余的重金属就会与其体内的其他生物分子,包括酶和核酸等生物大分子相互作用,并引起中毒现象。

表7 四种毒物对南美白对虾幼虾毒性试验数据分析结果

Tab.7 Linear regression analysis of acute toxicity of four poisons on *Penaeus vannamei*

毒物	时间 (h)	概率单位 - 浓度对数 回归方程	样本数 (n)	相关系数 r	LC <sub>50</sub> (mg/L)	95%置信限
Cd <sup>2+</sup>	24	$Y = 0.3968x + 0.3942$	6	0.9474	2.22	2.40 ~ 9.10
	48	$Y = 0.4796x + 0.5434$	5	0.9630	1.93	1.16 ~ 5.90
	72	$Y = 0.4493x + 0.7589$	4	0.9653	0.16	0.34 ~ 1.95
	96	$Y = 0.2595x + 0.7674$	4	0.9830	0.11	0.23 ~ 1.04
Cu <sup>2+</sup>	24				4.50	
	48	$Y = 0.5795x + 0.2781$	6	0.9794	2.80	2.71 ~ 6.34
	72	$Y = 0.7184x + 0.4355$	6	0.9864	1.60	1.69 ~ 3.96
	96	$Y = 0.7178x + 0.563$	5	0.9943	0.80	1.20 ~ 2.90
敌敌畏	24				$44.0 \times 10^{-3}$	
	48	$Y = 0.3991x + 1.077$	6	0.9153	$37.8 \times 10^{-3}$	$14.3 \times 10^{-3} \sim 39.2 \times 10^{-3}$
	72	$Y = 0.4951x + 1.526$	6	0.9321	$10.0 \times 10^{-3}$	$4.74 \times 10^{-3} \sim 14.8 \times 10^{-3}$
	96	$Y = 0.4046x + 1.397$	6	0.9744	$7.6 \times 10^{-3}$	$3.58 \times 10^{-3} \sim 12.1 \times 10^{-3}$
甲胺磷	24	$Y = 0.4003x + 1.134$	6	0.9785	$22.4 \times 10^{-3}$	$11.4 \times 10^{-3} \sim 27.0 \times 10^{-3}$
	48	$Y = 0.5124x + 1.502$	6	0.9837	$13.0 \times 10^{-3}$	$6.76 \times 10^{-3} \sim 16.7 \times 10^{-3}$
	72	$Y = 0.5560x + 1.172$	6	0.9706	$10.0 \times 10^{-3}$	$4.21 \times 10^{-3} \sim 10.6 \times 10^{-3}$
	96	$Y = 0.4858x + 1.553$	5	0.9471	$7.80 \times 10^{-3}$	$3.51 \times 10^{-3} \sim 9.53 \times 10^{-3}$

敌敌畏和甲胺磷皆属有机磷农药,有机磷对动物体内 AchE (乙酰胆碱脂酶)有着显著抑制作用<sup>[1]</sup>,而动物体内和学习记忆有关的神经通路属胆碱能回路,敌敌畏、甲胺磷是 AchE 的抑制剂,导致神经系统传递阻抑。当敌敌畏、甲胺磷的磷原子与 AchE 的活性部位共价结合并形成磷酰化酶后,阻断了 AchE 的水解,造成 AchE 在体内的大量蓄积,引起中枢神经系统、横纹肌、平滑肌、腺体等因受过度刺激而功能失调。此外,也有报道指出有机磷农药易从细胞表面膜的脂溶性结构渗入,影响膜的结构和功能<sup>[2,3]</sup>。

Cu<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>、敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的 LC<sub>50</sub>值见表 7。随毒物浓度的增加以及中毒时间的延长,幼虾成活率逐渐降低。培育南美白对虾幼虾的安全浓度为 0.008mg Cu<sup>2+</sup>/L、0.0011mg Cd<sup>2+</sup>/L、 $7.60 \times 10^{-4}$  mg 敌敌畏/L、 $7.80 \times 10^{-4}$  mg 甲胺磷/L。敌敌畏与甲胺磷的安全浓度均较低,说明敌敌畏和甲胺磷对南美白对虾幼虾有较强的毒性作用。我国渔业水质标准规定甲胺磷 ≤ 1mg/L,此数值为甲胺磷对仔虾安全浓度的 1000 倍以上。因此,南美白对虾养殖塘所用水源应严禁农药厂废水和农业废水的排入。从半致死浓度和安全浓度可看出四种毒物的毒性大小为:甲胺磷 > 敌敌畏 > Cd<sup>2+</sup> > Cu<sup>2+</sup>。不同虾类对同种毒物的耐受能力差异很大,从表 8 可看出,南美白对虾幼虾耐受 Cu<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 的能力与长毛对虾和日本对虾相当,而明显低于斑节对虾和中国对虾。而南美白对虾耐受敌敌畏的能力与中国对虾相当,而甲胺磷对对虾类的毒性尚未见报道,只有江敏等<sup>[8]</sup>报道了甲胺磷对罗氏沼虾的毒性作用,甲胺磷对南美白对虾的毒性为罗氏沼虾的 10 倍。

### 2.3 Cu<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 与敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性

在水体中往往多种毒物并存,它们之间通过拮抗或协同作用,往往使其毒性与单独存在时相差很大,若不清楚它们之间的综合效应,而只以单一指标为依据,就会得出错误结论。铜、镉是海水中常见的重金属污染物,其来源广泛。敌敌畏、甲胺磷是常见的有机磷农药,在农业上使用广泛,常常会随雨水、灌溉废水进入养殖水体,造成生物的中毒。

表 9 ~ 表 12 为 Cu<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 与敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性作用。分别用 Cu<sup>2+</sup> 和敌

敌畏进行单一致毒试验时,幼虾的存活率皆在 50% 左右,若将两者混合使用,幼虾的存活率也在 50% 左右。若单独使用  $Cd^{2+}$  和敌敌畏,幼虾的存活率皆在 50% 左右,而混合使用则使幼虾的存活率平均提高到 75%。 $Cu^{2+}$  与甲胺磷、 $Cd^{2+}$  与甲胺磷的试验结果分别与  $Cu^{2+}$  与敌敌畏、 $Cd^{2+}$  与敌敌畏基本相近。因而  $Cu^{2+}$  与敌敌畏、甲胺磷的联合毒性作用为相加作用; $Cd^{2+}$  与敌敌畏、甲胺磷的联合毒性作用为拮抗作用,可能为  $Cd^{2+}$  与敌敌畏、甲胺磷生成络合物,从而降低了各自的毒性。

表 8 虾类幼虾耐受毒物的  $LC_{50}$  值 (mg/L) 的比较

Tab.8 The toxicity comparison of four poisons on different shrimps

毒物	时间 (h)	$LC_{50}$ 值 (mg/L)					
		南美白对虾	长毛对虾 <sup>[4]</sup>	斑节对虾 <sup>[5]</sup>	中国对虾 <sup>[6]</sup>	日本对虾 <sup>[7]</sup>	罗氏沼虾 <sup>[8]</sup>
$Cd^{2+}$	24	2.22	2.4	4.365			
	48	1.93	0.9	1.264			
	72	0.16		0.118			
	96	0.11	0.035	0.2656			
$Cu^{2+}$	24	4.50	4.15	7.978	11.48		
	48	2.80	1.50	3.869	5.30	1.82	
	72	1.60		1.125			
	96	0.80	0.32	0.5710	3.42		
敌敌畏	24	$44.0 \times 10^{-3}$			0.048		
	24	$22.4 \times 10^{-3}$					0.350
甲胺磷	48	$13.0 \times 10^{-3}$					0.288
	72	$10.0 \times 10^{-3}$					0.272
	96	$7.80 \times 10^{-3}$					0.158

表 9  $Cu^{2+}$  与敌敌畏对南美白对虾幼虾的联合毒性

Tab.9 The interaction between copper and dichlorvos

试验组	1	2	3	4	5	6	7
$Cu^{2+}$ (mg/L)	4.50	3.60	2.70	1.80	0.90	0	0
敌敌畏 $\times 10^3$ mg/L	0	8.8	17.6	26.4	35.2	44.0	0
24h 存活率 (%)	50	45	60	50	60	50	100

表 10  $Cd^{2+}$  与敌敌畏对南美白对虾幼虾的联合毒性

Tab.10 The interaction between cadmium and dichlorvos

试验组	1	2	3	4	5	6	7
$Cd^{2+}$ (mg/L)	2.54	2.03	1.52	1.02	0.51	0	0
敌敌畏 $\times 10^3$ mg/L	0	8.8	17.6	26.4	35.2	44.0	0
24h 存活率 (%)	50	70	90	80	60	50	100

表 11  $Cu^{2+}$  与甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性

Tab.11 The interaction between copper and methamidophos

试验组	1	2	3	4	5	6	7
$Cu^{2+}$ (mg/L)	4.50	3.60	2.70	1.80	0.90	0	0
甲胺磷 $\times 10^3$ mg/L	0	4.5	9.0	13.4	17.9	22.4	0
24h 存活率 (%)	55	50	60	65	50	50	100

表 12  $\text{Cd}^{2+}$  与甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性  
Tab.12 The interaction between cadmium and methamidophos

试验组	1	2	3	4	5	6	7
$\text{Cd}^{2+}$ ( mg/L)	2.54	2.03	1.52	1.02	0.51	0	0
甲胺磷 $\times 10^3$ mg/L	0	4.5	9.0	13.4	17.9	22.4	0
24h 存活率( % )	55	50	60	65	50	50	100

### 3 结论

(1) 铜、镉对南美白对虾幼虾的 24  $\text{LC}_{50}$ 、48  $\text{LC}_{50}$ 、72  $\text{LC}_{50}$ 、96  $\text{LC}_{50}$  分别为 4.50、2.22、2.80、1.93、1.60、0.16、0.80、0.11mg/L, 其安全浓度分别为 0.008、0.001 mg/L。

(2) 敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的 24  $\text{LC}_{50}$ 、48  $\text{LC}_{50}$ 、72  $\text{LC}_{50}$ 、96  $\text{LC}_{50}$  分别为  $44.0 \times 10^{-3}$ 、 $22.4 \times 10^{-3}$ 、 $37.8 \times 10^{-3}$ 、 $13.0 \times 10^{-3}$ 、 $10.0 \times 10^{-3}$ 、 $10.0 \times 10^{-3}$ 、 $7.6 \times 10^{-3}$ 、 $7.80 \times 10^{-3}$ mg/L, 其安全浓度分别为  $7.6 \times 10^{-4}$ 、 $7.80 \times 10^{-4}$ mg/L。

(3) 铜、镉、敌敌畏、甲胺磷四种毒物对南美白对虾幼虾的毒性大小顺序为: 甲胺磷 > 敌敌畏 >  $\text{Cd}^{2+}$  >  $\text{Cu}^{2+}$ 。

(4) 铜与敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性作用为相加作用, 而镉与敌敌畏、甲胺磷对南美白对虾幼虾的联合毒性作用为拮抗作用。

### 参考文献:

- [1] 吴鼎勋, 柴敏娟, 邓小红, 等. 敌敌畏对金鱼摄食行为的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 40(3): 827-831.
- [2] Yawetz A, Manelies T. Cholinesterase enzymatic profiles and the exposure of fish to organophosphorus and carbamate pesticides in Israel[J]. Water Sci. and Tech. 1993, 27(7-8): 465-472.
- [3] Balint t, Segletes T. Biochemical and subcellular changes in carp exposed to the organophosphorus methidathion and the pyrethroid deltamethrin[J]. Aquatic Toxicology. 1995, 33(3-4): 279-295.
- [4] 黄美玲. 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): 25-28.
- [5] 邹栋梁, 高淑英. 铜、锌、镉、汞、锰和铬对斑节对虾仔虾急性致毒的研究[J]. 海洋环境科学, 1994, 13(3): 13-18.
- [6] 王安利, 李铁水. 银、铜、锰对日本沼虾的急性致毒剂量[J]. 河北大学学报, 1993, 13(4): 58-61.
- [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] 江敏, 臧维玲, 戴习林, 等. 甲胺磷、杀草丹乳油、敌草胺、复方胶悬剂对罗氏沼虾的毒性作用[J]. 上海水产大学学报, 1997, 1(1): 18-24.