

重金属离子对凡纳滨对虾的致病机理研究

韩照祥¹, 吕春霞²

(1. 淮海工学院化学工程系, 江苏 连云港 222005; 2. 青岛市胶南农业局, 山东 青岛 266400)

摘要: 研究了重金属离子 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 对凡纳滨对虾血清 SOD、CAT 活性的影响。结果表明, 低、中等浓度的 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 均对凡纳滨对虾血清 SOD 活性表现为较强的诱导作用。在一定的时间和较高浓度下, Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 均对凡纳滨对虾血清 SOD、CAT 活性表现出显著抑制作用, 具有一定的时间、剂量效应关系。在较低的 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 浓度下, SOD、CAT 活性明显高于对照, 且随着各处理浓度的增加和时间的延长 (72 h), Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 对血清 SOD、CAT 活性表现出更加明显的抑制作用, 即在低剂量、短时间内会导致酶活性提高; 而在高剂量或长时间作用下, 对虾 SOD、CAT 活性表现为抑制作用, 且表现出 2 种金属离子对血清 SOD、CAT 活性的抑制作用比单一的金属离子抑制作用更加显著, 显示出 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 复合污染具有明显协同作用。金属离子的胁迫迫使 SOD、CAT 的活性比例失调, 使对虾的生理代谢紊乱, 加速对虾的衰老和死亡。

关键词: 重金属离子; 凡纳滨对虾; 致病机理

中图分类号: X171.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2008)01-0069-06

研究表明环境污染、紫外线的辐射都会使对虾体内的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-PX) 和过氧化物酶 (POD) 活性下降, 使虾体内自由基过氧化物增多, 抵抗能力下降, 导致代谢紊乱, 生理功能失调和机体内的自由基代谢失调, 必将导致各种疾病的发生、恶化及衰老过程的加速 (Muhammad A L, 1992; Bouaricha N et al, 1991; Xu L et al, 1999)。水体中常见的污染物之一是重金属离子, 本文研究了 3 种重金属离子对凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 血清抗氧化酶活性的影响, 探讨了重金属污染对凡纳滨对虾的致病机理, 为水产养殖业的健康发展提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验所用凡纳滨对虾于 2006 年 9 月购自青岛市胶南金海养殖场, 选用无伤病个体, 体色正常, 健康活泼, 体长 8.0 cm 左右, 体重 10 g 左右。采用近海的自然海水暂养 7~10 d, 海水盐度为 30, pH 为

8.2, 温度为 $(24 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, 连续充气, 1 d 换水 2 次, 投喂对虾配合饲料。

1.2 实验方法

1.2.1 金属离子梯度的设置 经检测, 用沿海自然海水的 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 、 Pb^{2+} 的含量分别为 0.0001、0.0013、0.0025 mg/L。实验重金属离子的种类和来源为 Cd^{2+} ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、 Cr^{3+} ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、 Pb^{2+} ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$), 均为分析纯。3 种重金属离子按《渔业水质标准》中 $\text{Cd}^{2+} \leq 0.05$ mg/L、 $\text{Cr}^{3+} \leq 0.01$ mg/L、 $\text{Pb}^{2+} \leq 0.05$ mg/L 的 0、5、10、20、30、50 倍设置实验梯度。 Cd^{2+} 的实验梯度为 0、0.25、0.5、1.0、1.5、2.5 mg/L; Cr^{3+} 的梯度为 0、0.05、0.1、0.2、0.3、0.5 mg/L; Pb^{2+} 的梯度为 0、0.25、0.5、1.0、1.5、2.5 mg/L。所有实验梯度均设 3 个重复组, 并以不加重金属离子组为对照组。各梯度分别放健康的凡纳滨对虾 20 尾, 实验开始后于 0、6、12、24、48、72 h 取样。

1.2.2 血清的制备 每组各取 5 或 6 尾虾, 用 5 号针头和 2 mL 注射器从心脏取血, 每尾取血 0.5 mL 于离心管中, 4°C 冰箱中保存, 待血液凝固后, 5 000 r/min 离心 10 min, 移出上清即得血清。所得血细胞, 加入与血清等量的双蒸水, 震荡使细胞破碎, 15 000 r/min 离心 10 min, 得破碎血细胞上清, 置于冰箱中 (-18°C) 保存, 用于各种酶活性的测定。

1.2.3 酶活力测定 超氧化物歧化酶 (SOD) 活力的测定采用改进后的邻苯三酚自氧化法 (Florence G et al, 2002), 在 325 nm 波长下每隔 30 s 测吸光值 A

收稿日期: 2007-05-14

基金项目: 江苏省海洋生物重点实验室资助项目 (2005HS008)、淮海工学院人才引进基金项目 (KK01062)、淮海工学院自然基金项目 (KX06031)。

作者简介: 韩照祥, 1969 年生, 男, 博士, 副教授, 主要从事环境毒理学和环境生态学的教学和研究工作。E-mail: hjyyzx@sina.com

1 次。

酶活力 $U = [(A - A_0) / A] \times 100\% \times \text{反应液体积} \times \text{样液稀释倍数} / \text{样液体积}$, A_0 为空白对照的吸光值。

过氧化氢酶(CAT)活力的测定依据 Marks 等的方法进行。酶活力单位定义: 每 1 g 蛋白质每 1 s 分解底物过氧化氢的相对量定义为 1 个酶活力单位(1U)。酶活力按下式计算: $\text{CAT 酶活力} = \ln(OD_1 / OD_2) \times 2.303 \times \text{样液稀释倍数} / 60 \times \text{样液蛋白质含量}$, 其中血清蛋白质含量的测定, 采用考马斯亮蓝法 (Mater - Mihaich E et al, 1986), OD 为光密度值。

2 结果与分析

2.1 Cd^{2+} 对血清 SOD、CAT 活性的影响

图 1 表明, 低、中等浓度的 Cd^{2+} 均对凡纳滨对虾血清 SOD 活性表现为较强的诱导作用。高浓度 Cd^{2+} 处理组的对虾血清 SOD 活性仅为对照组的 75.0%。对虾血清 SOD 活性与 Cd^{2+} 浓度呈抛物线型相关, 2 者间有良好的相关性 ($P < 0.01$)。国内外大量研究表明, 小剂量与大剂量的同一重金属离子对生物同一生理生态反应具有相反的效应, 即小剂量的重金属离子对代谢有一定的促进作用, 大剂量则有抑制效应。Stebbing 认为毒物在低浓度下出现的这种现象是无毒情况下的刺激反应, 这一现象称为“毒物兴奋效应”; 而大剂量的重金属离子则抑制正常的生理过程, 称为“毒物抑制效应”(Canli M & Furness R W, 1995)。当对虾暴露于重金属 Cd^{2+} 的低浓度中, 对虾血清 SOD 活性比对照组有明显升高, 表明在一定时间内低浓度的 Cd^{2+} 胁迫时出现了“毒物兴奋效应”, 期间对虾体内产生过量的活性氧诱导 SOD 活性提高; 但当 Cd^{2+} 处理浓度过大 (0.5 mg/L)、时间过长, 对虾体内产生的活性氧超过对虾体内 SOD 清除能力时, 便产生“毒物抑制效应”, 对组织和细胞造成损伤, 影响对虾的正常生理活动, 使 SOD 活性降低和丧失甚至导致细胞或者生物体死亡。

图 2 表明, Cd^{2+} 各处理组对虾血清的 CAT 活力在 6 h 内均被显著诱导 ($P < 0.05$) 并随浓度增大和作用时间延长而升高, 具有一定的时间、剂量效应。之后在不同时间达到最高值后逐渐降低, 在 72 h 各 Cd^{2+} 处理组除 0.5 mg/L 组外, 其它各处理浓度对虾血清的 CAT 活力均低于对照水平 ($P < 0.05$) 且与离子浓度负相关。可见, 在一定时间、高浓度下, Cd^{2+} 各处理组对虾血清 CAT 活力显著受到抑制 (P

< 0.05)。

2.2 Cr^{3+} 对血清 SOD、CAT 活性的影响

图 3 表明, 在低浓度 Cr^{3+} 作用下, 对虾血清的 SOD 活性呈现逐渐上升的趋势, 低、中浓度组在实验的第 72 h 测量值均比对照组低, 分别比对照组降低 11.9% 和 33.3%; 高浓度处理组, 在实验的第 72 h 测得 SOD 活性值最高, 为对照组的 33.8%。可见, 在一定时间内, 低、中等浓度的 Cr^{3+} 对对虾血清 SOD 有显著的抑制作用。

图 4 表明, 低浓度处理组对虾血清的 CAT 活力在 72 h 时表现出抑制作用 ($P < 0.05$); 中等浓度的 Cr^{3+} 下, 对虾血清的 CAT 活力明显高于对照组; 而高浓度处理组 CAT 活力在实验时间内与离子浓度呈显著负相关 ($P < 0.05$)。

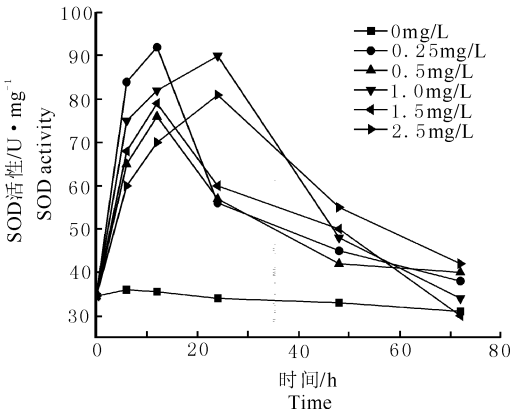


图 1 Cd^{2+} 对凡纳滨对虾血清的 SOD 活性的影响
Fig. 1 Effects of Cd^{2+} on the SOD Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

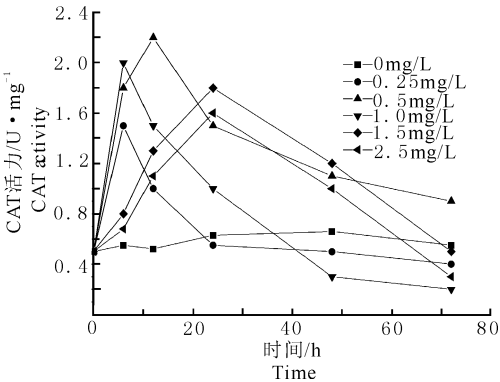


图 2 Cd^{2+} 对凡纳滨对虾血清的 CAT 活力的影响
Fig. 2 Effects of Cd^{2+} on the CAT Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

2.3 Pb^{2+} 对血清 SOD、CAT 活性的影响

图 5 表明, 在低浓度 Pb^{2+} 下, 对虾血清 SOD 活力在 12 h 内被显著诱导 ($P < 0.05$), 且随实验时间延长均呈现峰值变化, 而对照组变化不显著 ($P >$

0.05);在时间达到 48 h 后,除 0.5 mg/L 的 Pb^{2+} 外,其它各处理组对虾血清 SOD 活力均表现出抑制作用($P<0.05$),并显著低于对照组;当时间达到 72 h 后,所有处理组都表现出对虾血清 SOD 活力的抑制作用,并显著低于对照水平($P<0.05$)。

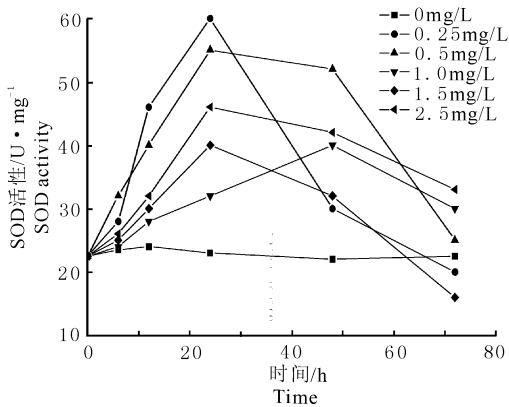


图 3 Cr^{3+} 对凡纳滨对虾血清的 SOD 活性的影响
Fig. 3 Effects of Cr^{3+} on the SOD Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

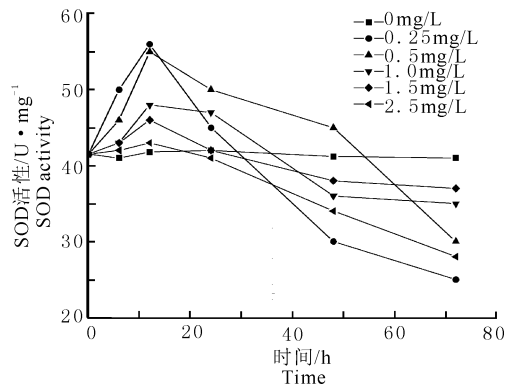


图 4 Cr^{3+} 对凡纳滨对虾血清的 CAT 活力的影响
Fig. 4 Effects of Cr^{3+} on the CAT Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

图 6 表明,在低的 Pb^{2+} 浓度下,对虾血清的 CAT 活力在 24 h 内被显著诱导,之后便逐渐降低;在中、高浓度下,随着时间的延长,CAT 活力诱导作用逐渐增大,当时间达到 48 h、 Pb^{2+} 浓度达到 1.0 mg/L 后,CAT 活力诱导达到最大;当时间达到 72 h 后,所有处理组 CAT 活力均低于对照组的 CAT 活力($P<0.05$),具有一定的时间、剂量效应。

2.4 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 对血清 SOD、CAT 活性的影响

从表 1 可以看出,当 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 2 种离子同时存在时,在较低的 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 浓度下,SOD 活性明显高于对照,且随着各处理浓度的增加,SOD 活性表现为先升高后降低的趋势,对虾血清 SOD 活性比一种离子 Cd^{2+} 或 Cr^{3+} 单独存在时的 SOD 活性明显降低,随着时间的延长(72 h),2 种离子 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 对

血清 SOD 活性表现出更加明显的抑制作用($P<0.05$)。随着 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} (Cd^{2+} 2.5 mg/L, Cr^{3+} 0.5 mg/L)浓度的增大, Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 对血清 SOD 活性的抑制作用比低浓度 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 离子更加显著,SOD 活性比对照组 SOD 活性下降了 62.6%,2 种离子共同存在时 SOD 活性表现出明显的抑制作用($P<0.05$)。可见, Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 复合污染时对虾血清 SOD 的活性均低于单一污染时的 SOD 的活性,表明 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 对 SOD 活性的影响具有协同作用。

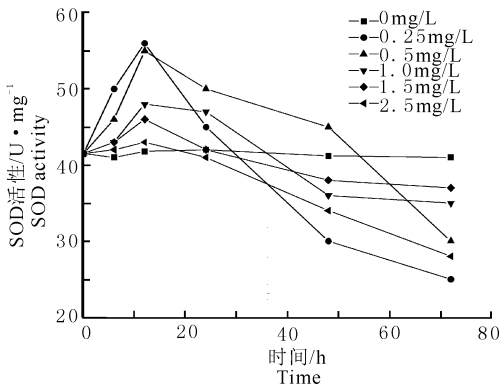


图 5 Pb^{2+} 对凡纳滨对虾血清的 SOD 活性的影响
Fig. 5 Effects of Pb^{2+} on the SOD Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

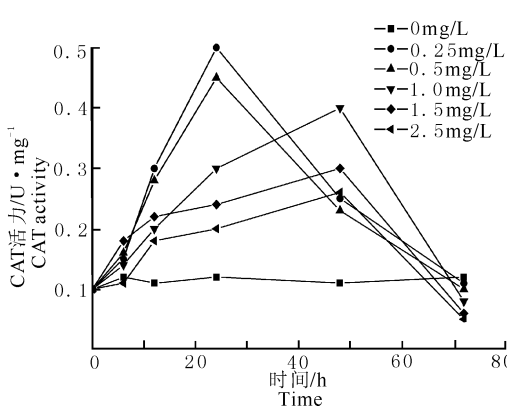


图 6 Pb^{2+} 对凡纳滨对虾血清的 CAT 活力的影响
Fig. 6 Effects of Pb^{2+} on the CAT Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

同样,在较低的 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} (Cd^{2+} 0.25 mg/L, Cr^{3+} 0.05 mg/L)复合浓度的胁迫下,对虾血清 CAT 活性明显高于对照,当处理浓度为 Cd^{2+} 0.5 mg/L、 Cr^{3+} 0.1 mg/L 时,血清 SOD 活性随着浓度的增大、时间的延长表现出逐渐减小的趋势。可见重金属 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 同时存在对 CAT 活性的影响存在“时间-剂量模型”的作用特点,即在低剂量、短时间内会导致酶活性提高,而在高剂量或长时间作用下,酶活性最终受抑制。处理初期、低剂量作用下 CAT 活性升高,表明对虾对重金属 Cd^{2+} 、 Cr^{3+} 离子具有

一定的抗性,而在处理后期 CAT 活性降低,表明超过了对虾防御反应的极限,此时对虾外观形态上已出现可见的中毒症状。

2.5 Cd²⁺、Pb²⁺对血清 SOD、CAT 活性的影响

由表 2 可知,在低浓度处理(Cd²⁺ 0.25 mg/L, Pb²⁺ 0.05 mg/L)时, SOD 活性出现一个高峰, SOD 活性比对照升高了 10.7%,表明血清 SOD 对 Cd²⁺、Pb²⁺复合污染也具有一定的应激性反应。随着 Cd²⁺、Pb²⁺的增大, Cd²⁺、Pb²⁺对血清 SOD 活性的影响表现为明显的抑制作用。当 Cd²⁺、Pb²⁺ (Cd²⁺ 0.5 mg/L, Pb²⁺ 0.5 mg/L)达到中等浓度时,与对照

相比, SOD 活力大幅度降低,达到显著水平。且随着各组实验时间的延长, SOD 活力也呈现出显著的抑制作用。SOD 是一种需氧有机体清除 O₂⁻ 保护肌体免受伤害的一种关键性酶。Cd²⁺、Pb²⁺胁迫降低对虾体内 SOD 活力,将使肌体清除 O₂⁻ 累积会导致机体的自由基损伤,使细胞膜的结构及选择性透过能力发生改变,蛋白质、酶及核酸等变性失活,引起细胞代谢和结构、功能发生变化,甚至死亡,进一步破坏对虾的各种正常代谢和功能。

表 1 不同浓度 Cd²⁺、Cr³⁺对凡纳滨对虾血清 SOD、CAT 活性的影响

Tab.1 Effects of different Pb²⁺、Cr³⁺ concentration on the SOD、CAT Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

浓度/mg · L ⁻¹ Concentration		SOD 活性 SOD activity		CAT 活力 CAT activity	
Cd ²⁺	Cr ³⁺	24 h	72 h	24 h	72 h
0	0	22.575 ± 0.061	22.519 ± 0.015	0.258 ± 0.025	0.250 ± 0.036
0.25	0.05	23.629 ± 0.032	20.005 ± 0.037 *	0.263 ± 0.042	0.238 ± 0.061 *
0.5	0.1	19.329 ± 0.045 *	20.091 ± 0.051	0.226 ± 0.019 *	0.218 ± 0.013
1	0.2	16.265 ± 0.023 *	14.513 ± 0.005 *	0.195 ± 0.016 *	0.192 ± 0.043 *
1.5	0.3	12.335 ± 0.038 *	10.421 ± 0.023 *	0.163 ± 0.021 *	0.141 ± 0.012 *
2.5	0.5	8.437 ± 0.021 *	6.348 ± 0.035 *	0.119 ± 0.017 *	0.103 ± 0.030 *

* P < 0.05,显著水平

表 2 不同浓度 Cd²⁺、Pb²⁺对凡纳滨对虾血清 SOD、CAT 活性的影响

Tab.2 Effects of different Cd²⁺、Pb²⁺ concentration on the SOD、CAT Activity in serum of *Litopenaeus vannamei*

浓度/mg · L ⁻¹ Concentration		SOD 活性 SOD activity		CAT 活力 CAT activity	
Cd ²⁺	Pb ²⁺	24 h	72 h	24 h	72 h
0	0	38.129 ± 0.042	37.452 ± 0.022	0.311 ± 0.029	0.323 ± 0.015
0.25	0.25	42.235 ± 0.013 *	36.095 ± 0.025 *	0.364 ± 0.011 *	0.387 ± 0.031 *
0.5	0.5	34.007 ± 0.032 *	32.120 ± 0.010 *	0.208 ± 0.021 *	0.141 ± 0.022 *
1.0	1.0	33.256 ± 0.040 *	30.433 ± 0.021 *	0.190 ± 0.032 *	0.112 ± 0.019 *
1.5	1.5	29.307 ± 0.015 *	27.171 ± 0.042 *	0.176 ± 0.026 *	0.088 ± 0.031 *
2.5	2.5	22.474 ± 0.036 *	18.986 ± 0.050 *	0.105 ± 0.019 *	0.085 ± 0.025

* P < 0.05,显著水平

在 Cd²⁺、Pb²⁺浓度分别为 0.25 mg/L、0.05 mg/L 时,暴露时间 24 h 后, CAT 活性比对照组的活性升高了 17.0%;暴露时间 72 h 后, CAT 活性比对照组的活性升高了 19.8%;此后,随着 Cd²⁺、Pb²⁺浓度的升高、时间的延长, CAT 活性的抑制作用呈现出显著水平,当 Cd²⁺、Pb²⁺浓度分别为 2.5 mg/L、2.5 mg/L 时,暴露时间分别为 24 h、72 h 后, CAT 活性比对照组的活性分别降低了 196.2%、280.0%。可见,当 Cd²⁺、Pb²⁺共存、浓度大、暴露时间长时, Cd²⁺、Pb²⁺毒性效应是非常显著的,表现出明显的协同作用。CAT 是一种含 Fe 的血蛋白抗氧化酶类,能催化 H₂O₂ 分解成水和氧,因此,与对虾的代谢强度及抗逆境能力密切相关, CAT 活性的提高能更有效的清除 H₂O₂, SOD 和 CAT 的共同作用能把

体内具潜在危害的 H₂O₂、O₂⁻ 转化为无害的 H₂O 和 O₂,并且能减少具毒性的、高活性的氧化剂羟自由基(·OH)的形成,从而阻止由 H₂O₂ 和 ·OH 导致的氧伤害。逆境条件下,研究表明 CAT 活性的下降可以导致 H₂O₂ 的累积从而使动物细胞膜结构受到损伤。

2.6 Pb²⁺、Cr³⁺对血清 SOD、CAT 活性的影响

在 Pb²⁺、Cr³⁺浓度分别为 0.25 mg/L、0.25 mg/L 时,暴露时间 24 h 后,对虾血清 SOD、CAT 活性与对照组相比没有显著的变化(P < 0.05),但当暴露时间延长时, SOD、CAT 活性分别比对照组下降了 6.3%、4.8%, Pb²⁺、Cr³⁺对 SOD、CAT 活性抑制作用并不显著,但随着 Cd²⁺、Pb²⁺离子浓度分别为 2.5 mg/L、0.5 mg/L,暴露时间 72 h 后, SOD、CAT 活性

分别比对照组的活性下降了 166.7%、147.0%,对 Cr³⁺ 复合污染具有明显的协同作用的趋势。
虾 SOD、CAT 活性表现为抑制作用,显示出 Pb²⁺、

表 3 不同浓度 Pb²⁺、Cr³⁺ 对凡纳滨对虾血清 SOD、CAT 活性的影响

Tab.3 Effects of different Pb ²⁺ 、Cr ³⁺ concentration on the SOD、CAT Activity in serum of <i>Litopenaeus vannamei</i>					
浓度/mg · L ⁻¹ Concentration		SOD 活性 SOD activity		CAT 活力 CAT activity	
Pb ²⁺	Cr ³⁺	24 h	72 h	24 h	72 h
0	0	32.042 ± 0.033	33.002 ± 0.016	0.151 ± 0.012	0.148 ± 0.009
0.25	0.05	32.179 ± 0.012	31.036 ± 0.033	0.102 ± 0.030	0.100 ± 0.011
0.5	0.1	26.015 ± 0.028 *	24.325 ± 0.024 *	0.100 ± 0.016 *	0.077 ± 0.022 *
1.0	0.2	23.206 ± 0.039 *	20.303 ± 0.010 *	0.006 ± 0.011 *	0.050 ± 0.005 *
1.5	0.3	20.007 ± 0.045 *	16.070 ± 0.022 *	0.003 ± 0.001 *	0.002 ± 0.001 *
2.5	0.5	14.975 ± 0.019 *	12.375 ± 0.013 *	0.001 ± 0.001 *	0.001 ± 0.002 *

* P < 0.05,显著水平

3 讨论

重金属离子 Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 等对水生环境的污染日趋严重,事实证明,高浓度重金属离子能危及甲壳动物生长发育,并引起死亡。Lorenzon 等报道,分别暴露 0.1 mg/L Cu²⁺, 0.05 mg/L Hg²⁺, 0.1 mg/L Cd²⁺, 0.5 mg/L Cr²⁺, 1.0 mg/L Zn²⁺ 或 10 mg/L Pb²⁺ 的条件下,在开始 8 h,岩虾(*Palaemon elegans*)的 SOD、CAT 均降,但 16 h 以后,SOD、CAT 活性又会恢复到原来的水平。说明宿主本身对重金属离子具有一定的适应性,且在较低浓度时,对宿主的毒害性较小。Vega - villasante 等对加州美对虾(*Farfantepenaeus californiensis*) SOD、CAT 的研究表明,在 1 × 10⁻² mol/L 浓度下,Mg²⁺、Ca²⁺ 对 SOD、CAT 活性无影响,Hg²⁺、Zn²⁺、Cu²⁺ 对 SOD、CAT 活性有抑制作用,Ca²⁺ 对 SOD、CAT 活性具有促进作用,Hg²⁺、Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 对 SOD、CAT 活性有明显的抑制作用。本实验的低、中等浓度的 Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 均对凡纳滨对虾血清 SOD 活性表现为较强的诱导作用。在一定的时间和较高浓度下,Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 均对凡纳滨对虾血清 SOD、CAT 活性表现出显著抑制作用,具有一定的时间、剂量效应关系。Stebbing 认为毒物在低浓度下出现的活性升高的现象是无毒情况下的刺激反应,这一现象称为“毒物兴奋效应”;而大剂量的重金属离子则抑制正常的生理过程,称为“毒物抑制效应”(Canli M & Furness R W,1995)。生物体受到污染物刺激,会产生大量活性氧,如 H₂O₂、O₂⁻、·OH⁻ 等,如不及时清除,会对生物体造成氧化损伤,而在抗氧化系统中,SOD 能将 O₂⁻ 转变成 O₂ 和 H₂O₂,CAT 能进一步将 H₂O₂ 转化成水,减轻对生物的伤害。但是,当重金属离子浓度过高时,会使其体内 SOD、CAT 活性发生显著

变化,影响对虾内部生理机制,引起机体的氧化应激反应如脂质过氧化、酶蛋白失活、DNA 损伤等。所以,对水生生物来说,SOD、CAT 是一类敏感的分子生态毒理学指标。

在自然环境中,分析 2 种离子对生物联合毒性效应时,从静态角度来看,其联合致毒效应可分为加和、协同、拮抗和相互独立作用 4 种基本方式;从动态角度来看,随着实验时间的延长,其联合致毒效应也可能会因毒性强度配置的不同而产生一定的消长变化。本实验中 Cd²⁺、Cr³⁺,Cd²⁺、Pb²⁺ 和 Pb²⁺、Cr³⁺ 3 组离子之间的关系较为简单,在较低的 Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 浓度下,SOD、CAT 活性明显高于对照,且随着各处理浓度的增加和时间的延长(72 h),Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 对血清 SOD、CAT 活性表现出更加明显的抑制作用,即在低剂量、短时间内会导致酶活性提高,而在高剂量或长时间作用下,对虾 SOD、CAT 活性表现为抑制作用,且 2 种金属离子对血清 SOD、CAT 活性的抑制作用比单一的金属离子抑制作用更加显著,显示出 Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 复合污染具有明显协同作用的趋势。在复合离子处理的后期,SOD、CAT 活性降低显著,表明超过了对虾防御反应的极限,此时对虾外观形态上已出现可见的中毒症状。可见,金属离子的胁迫下使 SOD、CAT 的活性比例失调,从而导致对虾体内活性氧的产生和清除失衡,使对虾的生理代谢紊乱,加速对虾的衰老和死亡。因此,Cd²⁺、Pb²⁺、Cr³⁺ 对对虾的毒害并不是影响某一种酶,而是影响整个防御体系,造成清除自由基的整体反应不相协调,从而对凡纳滨对虾整个的生理活动和生化反应造成整体伤害(Perazzolo L M et al,2002;Moullac G L & Haffner P,2000)。

参考文献:

Bouaricha N, Thuet P, charmantier G, et al,1991. The ATPase and carbonic anhydrase activity in larvae, postlarvae and a-

- dults of the shrimp *Penaeus japonicus* (DECAPODA, PENAEIDEA) [J]. *Comp Biochem Physiol*, 100 (A2) : 433 – 437.
- Canli M, Furness R W. 1995. Mercury and cadmium uptake from seawater and from food by the Norway lobster *Nephrops norvegicus* [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 14(5) : 819 – 828.
- Florence G, Angela S, Luisa B, et al, 2002. Response of antioxidant systems to copper in the gills of the clam *Ruditapes decussatus* [J]. *Mar Environ Res*, 54: 413 – 417.
- Perazzolo L M, Gargioni R, Ogliari P, et al, 2002. Evaluation of some hemato – immunological parameters in the shrimp *Farfantepenaeus paulensis* submitted to environmental and physiological stress. *Aquaculture*, 214: 19 – 33.
- Muhammad A L. 1992. A study of the effects of alkalinity and hardness on postlarvae and juveniles of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man) [D]. U K: Institute of Aquaculture, University of Stirling.
- Moullac G L, Haffner P. 2000. Environmental factors affecting immune responses in Crustacea [J]. *Aquaculture*, 191: 121 – 131.
- Mater – Mihaich E, Richard T, Di Giulio R T. 1986. Antioxidant enzyme activities and malonaldehyde, glutathione and methemoglobin concentrations in channel fish exposed to DEF and N – butylmercaptan [J]. *Comp Biochem Physiol*, 85C: 427 – 432.
- Xu L, Zheng G J, Lam P K S, et al, 1999. Relationship between tissue concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons and DNA adducts in green – lipped mussels (*Perna viridis*) [J]. *Ecotoxicology*, 8: 73 – 82.

(责任编辑 杨春艳)

Pathogenetic Mechanism of Heavy Metal Ions on *Litopenaeus vannamei*

HAN Zhao-xiang¹, LV Chun-xia²

(1. School of Chemical Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang, Jiangsu 222005, China ;

2. Jiaonan agricultural bureau, Qingdao 266400, China)

Abstract: This paper studied the effects of Cd^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} on the superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) activity of *Litopenaeus vannamei* in serum. The results showed that the SOD and CAT activity were induced significantly under low – lying – moderate concentration of Cd^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} ions. The SOD and CAT activity was inhibited significantly under definite time and upper concentration of Cd^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} ions, while there was an obvious dose – time response relationship. Low Cd^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} ion concentrations increased the activities of SOD and CAT activity significantly ($P < 0.05$) in postlarvae, the SOD and CAT activity was significantly inhibited with increased concentration and prolonged exposure of Cd^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} ions, and that the effects of combined pollutant was heavier than those of single pollutant. The synergistic function of Cd^{2+} , Pb^{2+} and Cr^{3+} ions was obvious, thus, the active proportion of SOD and CAT was maladjusted under intimidated metal ions, which brought physiological decompensation, senescence and death.

Key words: heavy metal ions; *Litopenaeus vannamei*; pathogenetic mechanism