

# 氨氮胁迫对刺参几种免疫酶活性的影响

刘洪展<sup>1</sup>, 郑风荣<sup>2</sup>, 孙修勤<sup>2</sup>, 唐学玺<sup>3</sup>, 董双林<sup>3</sup>

(1. 山东大学 威海分校, 山东 威海 264209; 2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 3. 中国海洋大学, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 以养殖刺参(*Apostichopus japonicus*)为研究对象, 对不同浓度的氨氮处理及病菌感染条件下刺参体腔液免疫酶的变化进行了测定。结果表明: 随着氨氮处理强度的增加, 刺参体腔液中超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(ALP)、谷胱甘肽过氧化物酶(GP<sub>x</sub>)及溶菌酶(LSZ)活性呈现先升高后降低的趋势, 而同时感染病菌的情况下, 较低质量浓度的氨氮胁迫可使 SOD、GP<sub>x</sub>、ALP 及 LSZ 活性上升, 但在较高浓度氨氮处理时, 酶活性的诱导则受到抑制。说明适宜浓度的氨氮处理可增强刺参的免疫力, 从而减轻病菌感染对刺参造成的免疫功能损伤和提高刺参抗病力。刺参在感染病原菌假交替单胞菌(*Pseudoalteromonas* sp)的条件下, 3 mg/L、4 mg/L 和 6 mg/L 浓度的氨氮处理第 6 天, 刺参的累积发病死亡率分别为 44.4%、55.6% 和 72.2%, 高于对照组, 表明较高浓度的氨氮胁迫能够显著降低刺参的免疫力, 增加对病原菌的易感性。因此, 在刺参养殖过程中, 氨氮浓度的调控具有重要的意义。

**关键词:** 氨氮胁迫; 刺参(*Apostichopus japonicus*); 体腔液酶; 免疫反应

中图分类号: S91

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)08-0047-06

氨氮是水产养殖中重要的水体环境污染指标。养殖水体中, 由于养殖动物的排泄和残饵的氨化作用, 造成氨氮、硫化氢以及亚硝酸氮等有不断积累, 影响养殖生物的生长, 甚至发生毒害, 氨氮已成为水产养殖系统中最普遍的毒性物质。其中, 亚硝态氮是氨转化成硝态氮过程的中间产物, 硝态氮是氨氮在水体中有氧环境下的最终产物, 可以被浮游植物直接吸收利用<sup>[1]</sup>。Cheng 等<sup>[2]</sup>和 Wang 等<sup>[3]</sup>的研究表明氨态氮和亚硝态氮污染是导致免疫能力降低、疾病发生的重要外部因子之一, 并可引起生理生化因子、组织结构及免疫抗病能力有关酶类的活性的改变。Schuytema 等<sup>[4]</sup>研究则认为氨氮胁迫也会影响动物的生长和免疫功能。

刺参(*Apostichopus japonicus*), 也称仿刺参, 属于棘皮动物门(Echinodermata), 具有极高的营养和药用价值, 是我国北方海水养殖的重要经济种类, 为沿海地区创造了十分可观的社会效益和经济效益<sup>[5]</sup>。但由于近年来刺参养殖的过速发展和养殖环境的恶化, 导致了刺参病害问题的日趋严重, 因此, 进行环境污染对刺参免疫酶活性的研究, 有利于深层次了解其抵抗不良环境的能力。

目前还未见到国内外有关氨氮胁迫对养殖刺参免疫功能影响的研究报道, 基于此, 本试验在实验

室条件下通过观测刺参在不同浓度的氨氮连续作用下的若干非特异性免疫指标的变化, 初步探讨了养殖环境中氨氮污染对刺参免疫力的影响, 以期为刺参养殖的环境生理和免疫机制以及养殖水环境调控提供基础数据和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验刺参购自青岛李村海产品批发市场, 为当天捕捞大小基本一致的成体活刺参, 平均体质量为 62g±1g, 平均体长为 15cm±0.5cm。试验用氯化铵为国产分析纯。

### 1.2 试验方法

挑选完好无损、健康活跃、规格基本一致的刺参用于试验, 刺参在试验室用自然沉降过滤海水暂

收稿日期: 2011-11-27; 修回日期: 2012-02-22

基金项目: 海洋公益专项(200905020); 国家海洋局海洋生物活性物质与现代分析技术重点实验室开放基金项目(MBSMAT-2011-06)

作者简介: 刘洪展(1975-), 男, 讲师, 山东潍坊人, 从事细胞毒理学研究, E-mail: hongzhan2002@163.com; 郑风荣, 通信作者, 副研究员, 从事海洋生物病害与免疫学研究, 电话: 15192602616, E-mail: zhengfr@fio.org.cn; 孙修勤, 通信作者, 研究员, 从事海洋生物学研究, 电话: 13608964893, E-mail: xiuqin\_sun@fio.org.cn

养 3 d, 暂养期间持续充氧, 每天投饵 1 次, 不完全换水 1 次, 及时清除水体中的排泄物及剩余饵料, 自然水温保持在 19~21℃, pH 7.9~8.2, 盐度 29~31。

试验设计分对照组和试验组 A 组和 B 组, 以自然海水(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 低于 0.05 mg/L)作为对照组, 设计 3 个重复。试验 A 组养殖水体添加 NH<sub>4</sub>Cl 溶液, 未感染细菌, 根据预试验, 铵态氮的浓度梯度为 1.0、2.0、3.0、4.0、6.0mg/L(以水体中的氨氮终浓度表示), 每个梯度设置 3 个重复, 试验水体为 10L, 每个重复刺参 6 只, 所有组的盐度、水温、饵料等养殖条件与暂养相同, 充气量也保持一致。试验期间, 每天定时用奈氏试剂法测定氨氮的浓度, 及时调整养殖水体中的氨氮浓度, 试验条件同暂养期条件。预试验结果表明, 在第 6 天时, 氨氮浓度为 6.0 mg/L 试验组的刺参开始出现发病现象, 因此, 本试验以 5d 作为氨氮胁迫的持续时间(各试验组均未出现死亡现象)。分别在处理 1、3、5d 后用无菌注射器抽取刺参体腔液, 其中每头刺参收集体腔液 0.2 mL, 将分别收集的各浓度梯度的每个重复组的刺参体腔液混合后立即放入 -80℃ 冰箱中备用, 待全部取完样后立即测定各酶活性。试验 B 组为感染细菌组, 浓度梯度设置同试验 A 组, 于每个整理箱中加入本实验室分离的刺参皮肤溃烂、围口部肿胀病害的病原菌假交替单胞菌 *Pseudoalteromonas sp.*, 使水体中 *Pseudoalteromonas sp.* 终浓度为 3.5×10<sup>8</sup> 个/mL<sup>[6]</sup>。试验条件同暂养期间条件, 分别于处理后 1、2、4 d 取刺参体腔液, 同试验 A 组。

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定参考常雅宁<sup>[7]</sup>的连苯三酚自氧化法, 按照以下公式计算 SOD 活力: 酶活力 (U/mL)=[(1- 样品氧化速率 / 自氧化速率)/0.5]×4.5×100; 谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)活性的

测定参考邓修惠等<sup>[8]</sup>的改良 DTNB 比色法, 以每升体液 37℃ 每分钟催化 1μmol GSH 氧化的酶量为一个酶活性单位, 计算公式为 GSH-Px(U/L)=(A<sub>对照</sub> - A<sub>测定</sub>)/A<sub>对照</sub>×0.4×1000÷5/0.4=(A<sub>对照</sub> - A<sub>测定</sub>)/A<sub>对照</sub>×200; 碱性磷酸酶(ALP)活性的测定参考磷酸苯二钠为底物的金氏法<sup>[9]</sup>, 磷酸酶活性定义为 100 mL 体液在 37℃ 与底物作用 30min 产生 1mg 酚为 1 个金氏单位, 酶活性(金氏单位)=测定管吸光值/标准管吸光值×酚含量×稀释倍数; 溶菌酶(LSZ)活性的测定参考 Hultmark 等<sup>[10]</sup>的溶壁微球菌粉法, 溶菌活力 U<sub>L</sub> 按(A<sub>0</sub> - A)/A 式计算。

在氨氮胁迫后第 6 天和第 10 天, 根据每个处理的病参数目占试验用参的比例计算累计死亡率。

### 1.3 实验数据分析

实验所得数据以平均数±标准差(M±SD)表示, 运用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 对刺参超氧化物歧化酶活性的影响

由图 1 可知, 在未病菌感染的处理中, 在处理后 1 d, 随着氨氮浓度的增加, 刺参体腔液 SOD 活性增加, 但随着处理时间的延长, SOD 活性则随着氨氮处理浓度的增加呈现先增加后降低的趋势, 处理后第 3 天不同浓度的氨氮处理刺参体腔液 SOD 活性分别比对照组高 26.7%、63.4%、58.5%、51.8%和 26.7%, 差异显著(P<0.05); 而处理后第 5 天不同浓度的氨氮处理刺参体腔液的 SOD 活性分别为对照组的 130.2%、139.2%、135.3%、115.5%和 84.0%, 1、2 和 3 mg/L 氨氮处理组 SOD 活性与对照组相比差异显著(P<0.05)。在有病菌感染的处理中, 刺参体腔液中

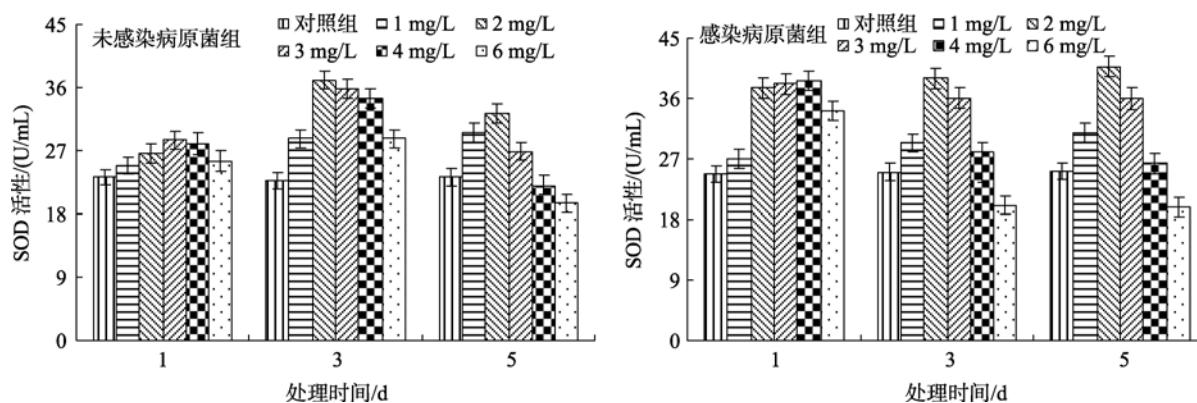


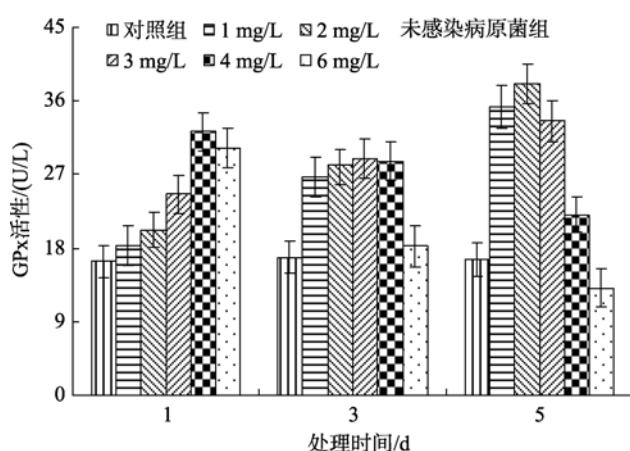
图 1 不同浓度的氨氮处理对刺参体腔液超氧化物歧化酶活性的影响

Fig. 1 Effect of ammonia-N concentrations on superoxide dismutase activity in the coelomic fluid of sea cucumbers

SOD 活性均随氨氮处理的增加呈现先增加后降低的趋势, 随着处理时间的延长, SOD 活性也有所下降, 处理后第 3 天不同浓度的氨氮处理刺参体腔液的 SOD 活性分别为对照组的 117.6%、156.0%、143.9%、111.9%和 79.9%; 处理后第 5 天不同浓度的氨氮处理刺参体腔液的 SOD 活性分别为对照组的 122.8%、162.1%、143.0%、104.5%和 78.7%。说明高浓度氨氮处理抑制 SOD 活性, 而适当病菌感染可诱导 SOD 活性。

### 2.2 对刺参谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响

由图 2 可知, 在未病菌感染的处理中, 随着处理



时间的延长, 体腔液 GPx 活性表现为逐渐升高的趋势, 但高浓度氨氮处理则导致 GPx 活性下降, 处理后第 5 天, 不同浓度的氨氮处理刺参体腔液的 GPx 活性分别为对照组的 212.7%、266.3%、202.4%、133.3%和 79.1%, 差异显著( $P < 0.05$ ); 在病菌感染的处理中, 随着处理时间的延长, GPx 活性也表现为逐渐升高的趋势, 处理后第 5 天, 不同浓度的氨氮处理刺参体腔液的 GPx 活性分别为对照组的 170.4%、189.9%、178%、148.7%和 77.4%, 差异显著( $P < 0.05$ ), 说明在较低浓度氨氮处理时, 可促进刺参的 GPx 活性, 而病原菌感染则抑制了氨氮胁迫对 GPx 活性的诱导作用。

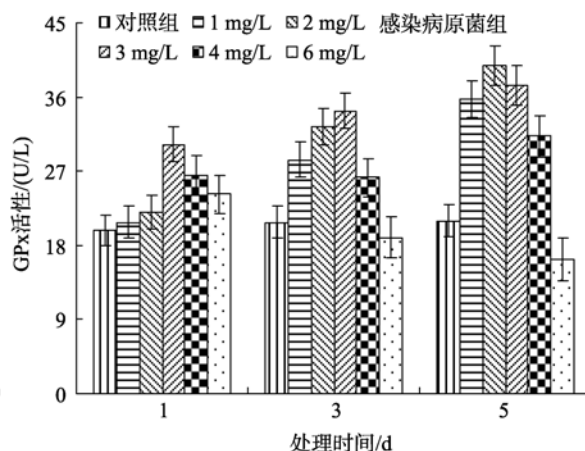


图 2 不同浓度的氨氮处理对刺参体腔液谷胱甘肽过氧化物酶活性的影响

Fig.2 Effect of ammonia-N concentrations on glutathione peroxidase activity in the coelomic fluid of sea cucumbers

### 2.3 对刺参溶菌酶活性的影响

由图 3 可知, 处理初期, 在未病菌感染的处理中, 体腔液中 LSZ 的活性呈现逐渐升高的趋势, 但

随着处理时间的延长和氨氮处理浓度的增加, 体腔液 LSZ 活性表现为先上升后下降的趋势, 处理后第 5 天, 不同浓度的氨氮处理刺参体腔液的 LSZ 活性分

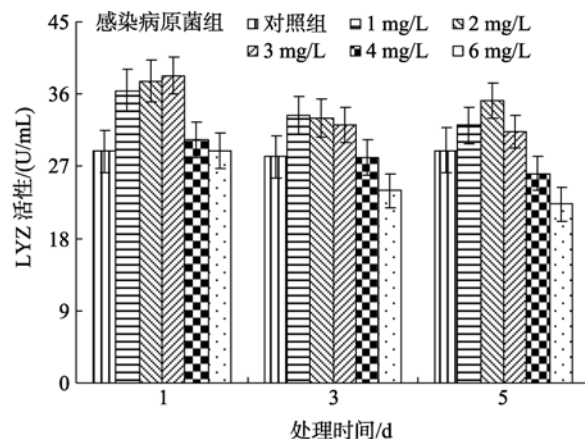
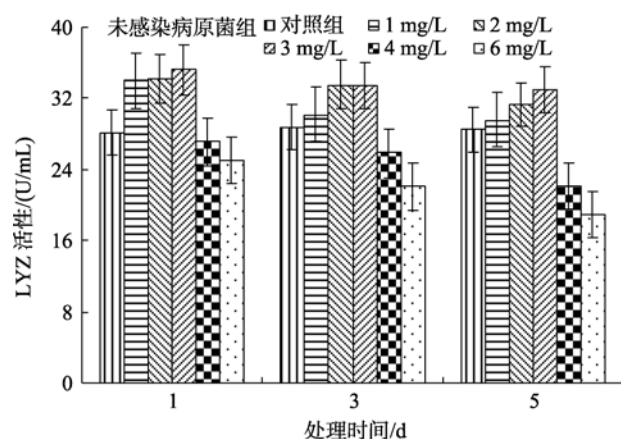


图 3 不同浓度的氨氮处理对刺参体腔液溶菌酶活性的影响

Fig.3 Effect of ammonia-N concentrations on lysozyme activity in the coelomic fluid of sea cucumbers

别为对照组的 102.9%、109.6%、115.5%、77.0%和 66.5%，4 mg/L 和 63 mg/L 氨氮处理组 SOD 活性与对照组相比差异显著( $P<0.05$ )；在病菌感染的处理中，随着处理时间的延长和氨氮处理浓度的增加，刺参体腔液 LSZ 活性呈现先增加后降低的趋势，处理后第 5 天，活性分别为对照组的 110.7%、121.5%、107.9%、90.4%和 70.7%。说明高浓度氨氮处理强度可降低 LSZ 活性，而适宜浓度氮处理可提高病菌感染情况下的 LSZ 活性。

### 2.4 对刺参碱性磷酸酶活性的影响

由图 4 可知，在未病菌感染的处理中，随着处理时间的延长和氨氮处理浓度的增加，体腔液 ALP 活性先增加后降低，较高浓度氨氮处理导致 ALP 活性的降低；在病菌感染的处理中，随着处理时间的延长和氨氮处理浓度的增加，ALP 活性先上升后下降的趋势更加明显，处理后第 5 天，不同浓度氨氮处理的刺参体腔液的 ALP 活性分别为对照组的 104.3%、138.8%、119.1%、76.3%和 70.9%。说明高浓度氨氮

胁迫处理降低了 ALP 活性，而适宜浓度的氮处理可促进病菌感染诱导的 ALP 活性。

### 2.5 对刺参发病情况的影响

在有病原菌感染的情况下，随着处理氨氮处理浓度升高和处理时间的延长，发病刺参的症状表现为排脏，触手伸缩活力下降，腹部管足出现溃疡状病斑，然后围口处溃烂，最终导致刺参死亡。由图 5 可知，在处理后第 6 天，随着处理强度的增加，刺参的累计发病死亡率明显上升，3、4 和 6 mg/L 的氨氮胁迫下刺参死亡率比对照组增加了 11.1%、22.3%和 40.9%，4 和 6 mg/L 的氨氮胁迫下刺参死亡率与对照组差异显著( $P<0.05$ )，在处理后第 12 天，4 和 6 mg/L 的氨氮胁迫下刺参死亡率均比对照组增加了 22.2%，差异显著( $P<0.05$ )；在没有病菌感染的情况下，只有 4 和 6 mg/L 浓度的氨氮处理组的刺参发病死亡，死亡率为 11.1%和 33.3%；而在病原菌感染的情况下，刺参从较低浓度氨氮处理组就开始出现发病症状，并且随着氮源浓度升高发病死亡率增加。

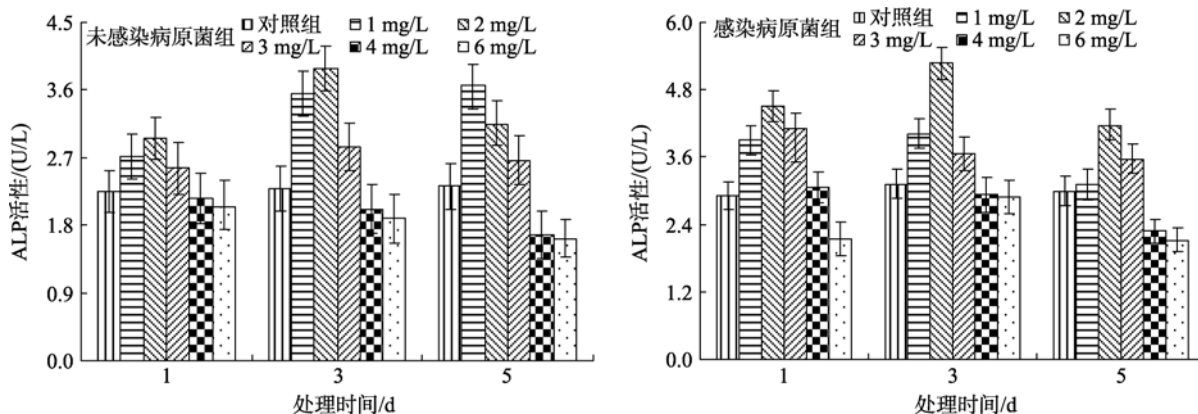


图 4 不同浓度的氨氮处理对刺参体腔液碱性磷酸酶活性的影响

Fig. 4 Effect of ammonia-N concentrations on alkaline phosphatase activity in the coelomic fluid of sea cucumbers

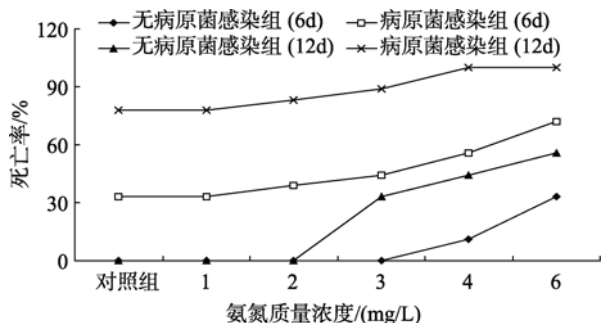


图 5 不同浓度的氨氮处理对刺参发病情况的影响

Fig. 5 Effect of ammonia-N concentrations on the infection incidence of sea cucumbers

## 3 讨论

刺参同其他棘皮动物一样，进化地位较低，不具备专门的免疫组织、器官和特异性免疫系统，主要依赖由细胞免疫和体液免疫组成的非特异性免疫系统来预防疾病。体液性免疫因子对无脊椎动物机体的免疫防御反应具有极为重要的作用，体液性免疫因子包括天然形成的或诱导产生的各种生物活性分子，以及各种免疫活性的酶类。超氧化物歧化酶是生物体内抗氧化防御性功能的酶，是活性氧自由基的天然消除剂。研究证明，周围环境的污染物质量浓度

升高可导致机体内活性氧的增加<sup>[11-12]</sup>,而超氧化物歧化酶可消除体内多余的自由基,使自由基的形成与消除处于动态平衡之中,进而免除对生物体的伤害,因此,超氧化物歧化酶与生物体的免疫水平密切相关,对增强吞噬细胞的防御能力和机体的免疫功能具有重要作用<sup>[13]</sup>。本试验中,2、3和4 mg/L浓度的氨氮处理组的SOD活性最高,而同时病原菌感染的情况下,SOD活性被进一步诱导,并且随着感染时间的延长,SOD活性增加的趋势愈加明显(图1)但较高浓度的氨氮处理下,SOD活性增加趋势减弱,这表明适宜浓度的氮可以减轻活性氧对刺参造成的机体损伤,也能促进刺参的免疫水平,从而提高对病原的免疫防御能力。谷胱甘肽过氧化物酶能保护生物膜和生物大分子结构免受氧化损伤,而且可以清除由活性氧和·OH诱发的脂质过氧化物,保护细胞膜结构和功能的完整性,还具有抑制细菌的作用<sup>[14]</sup>。本试验中,水体中的氮处理诱导GPx活性,其中2和3 mg/L浓度氮处理组促进GPx活性的作用最强,在高浓度氮处理同时感染病原菌的情况下,GPx活性明显受到抑制,而病原菌却增强了较低浓度氨氮处理下的GPx活性(图2),这表明氮处理可以减轻活性氧对刺参造成的细胞膜损伤,而只有适宜浓度的氨氮才能促进刺参体腔液的抑菌作用。

刺参由于缺乏特异性免疫反应,机体只能依靠各种非特异性免疫细胞或体液免疫因子来清除异物,在多种体液因子中,溶菌酶、磷酸酶等常被用作衡量免疫活力高低的参照指标。表现溶菌活性的因子主要是溶菌酶<sup>[15]</sup>,溶菌酶是由单核细胞、巨噬细胞和嗜中性细胞产生的能溶解细胞壁、具有抗氧化作用的酶,在非特异性免疫中起着重要作用,有文献推测胁迫强度可能对溶菌酶活性的变化有影响<sup>[16]</sup>。血清中的溶菌酶(LSZ)主要由吞噬细胞释放,故可作为吞噬系统功能的指标。本试验中,较低浓度的氨氮处理可促进溶菌酶活性的升高,而同时病原菌感染的情况下,溶菌酶活性增加明显,但3mg/L以上浓度会较快地降低溶菌酶活力,且随着时间的延长,其活力降低的幅度越明显(图3),表明在氨氮胁迫初期,刺参受到较强应激,溶菌酶活力因此而升高,而此后刺参机体则产生了一定的耐受性,溶菌酶活力趋于降低,该结果也表明刺参在高浓度氨氮环境或长期处于较低氨氮环境下,均会降低其血清溶菌酶活力,溶菌酶活力的下降可能是导致吞噬细胞吞噬活性降低的重要因素之一。

ALP是溶酶体的标志酶之一,可通过改变细菌表面结构而增强其异己性,起调理素的作用,从而加速吞噬细胞的吞噬和异物的降解速度<sup>[17]</sup>。本试验中,水体低浓度的氨氮胁迫明显可诱导ALP活性的产生,同时病原菌感染的情况下,ALP增加趋势更加明显,但在氨氮浓度为4 mg/L和6 mg/L的胁迫下,ALP活性则降低(图4),说明当氨氮浓度大于3 mg/L时,超过了刺参机体的调节范围。因此适宜浓度的氨氮可增强刺参体腔液对病原的杀灭作用以减轻组织受损。刺参体腔液免疫酶的变化表明,较低浓度的氨氮胁迫处理对刺参免疫性刺激最强,然而在菌感染的情况下刺参发病症状在胁迫解除后可恢复,较高浓度氨氮处理的情况在胁迫解除后很难恢复(图5),这表明刺参组织损伤相对于体腔液酶活变化有一定的滞后性,适宜浓度氮处理刺激的免疫性增强需要一定时间才表现出抗病性。

#### 参考文献:

- [1] 高才全,李秀华,裴秀艳,白连英.“三氮”在水产养殖中的意义及其管理[J].河北渔业,2004,2:19,28.
- [2] Cheng W, Hsiao I S, Chen Jianchu. Effect of ammonia on the immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and its susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus* [J]. Fish & Shellfish Immunol, 2004, 3: 193
- [3] Wang W N, Wang A L, Zhang Y J, et al. Effects of nitrite on lethal immune response of *Macrobrachium nipponense* [J]. Aquaculture, 2004, 232: 679-686.
- [4] Schuytema G S, Nebeker A V. Comparative toxicity of ammonium and nitrate compound to pacific tree frog and African clawed frog tadpoles [J]. Environ Toxicol Chem, 1999, 18(10): 2251.
- [5] 常亚青,丁君,宋坚,等.海参、海胆生物学研究与养殖[M].北京:海洋出版社,2004.
- [6] Liu Hongzhan, Zheng Fengrong, Sun Xiuqin, et al. Identification of the pathogens associated with skin ulceration and peristome tumescence in cultured sea cucumbers *Apostichopus japonicus* (Selenka) [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2010, 105(3): 236-242.
- [7] 常雅宁.两种连苯三酚自氧化法测定超氧化物歧化酶的比较[J].药物分析杂志,2001(5):328-331.
- [8] 邓修惠,黄学梅,李伟道,等.改良DTNB比色法测定血清GSH-Px活力[J].重庆医学,2000,29(5):445.
- [9] 上海市医学化验所.临床生化检验/上册[M].上海:上

- 海科技出版社, 1979: 354-356.
- [10] Hultmark D, Steiner H, Rasmuson T, et al. Insect immunity: purification and properties of three inducible bactericidal proteins from hemolymph of immunized pupae of *Hyalophora cecropia* [J]. *Eur J Biochem*, 1980, 106: 7-16.
- [11] Winston G W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals[J]. *Comp Biochem Physiol.*, 1991, 100C: 173-176.
- [12] Lackner R. *Fish Ecotoxicology*[M]. Basel, Switzerland: Birkhauser Publishers, 1998: 203-224.
- [13] 王明, 胡义波, 姜乃澄. 氨态氮、亚硝态氮对罗氏沼虾免疫相关酶类的影响[J]. *浙江大学学报(理学版)*, 2005, 32(6): 698-705.
- [14] 华雪铭, 周洪琪, 邱小琼, 等. 饲料中添加芽孢杆菌和硒酵母对异育银鲫的生长及抗病力的影响[J]. *水产学报*, 2001, 25(5): 448-453.
- [15] Moyer R, Road K H, Sevatdal S, et al. Change in non specific immune parameters in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., induced by *Aeromonas salmonicida* infection[J]. *Fish & Shellfish Immunol*, 1993(3): 253.
- [16] Möck A, Peters G. Lysozyme activity in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), stressed by handling, transport and water pollution [J]. *Journal of Fish Biology*, 1990, 37: 873.
- [17] 牟海津, 江晓路, 刘树青, 等. 免疫多糖对栉孔扇贝酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. *青岛海洋大学学报*, 1999, 29(3): 463-468.

## Effect of exposure to ammonia nitrogen stress on immune enzyme of holothurian *Apostichopus japonicus*

LIU Hong-zhan<sup>1</sup>, ZHENG Feng-rong<sup>2</sup>, SUN Xiu-qin<sup>2</sup>, TANG Xue-xi<sup>3</sup>,  
DONG Shuang-lin<sup>3</sup>

(1. Marine College of Shandong University at Weihai, Weihai 264209, China; 2. First Institute of Oceanography SOA, Qingdao 266061, China; 3. College of Marine Life Sciences of Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Received:** Nov., 27, 2011

**Key words:** ammonia nitrogen stress; holothurian; enzyme of coelomic fluid; immune response

**Abstract:** The change of immune enzyme in the coelomic fluid of holothurian *Apostichopus japonicus* under ammonia treatment and pathogen-infected condition was investigated. The results indicated that with the increase of ammonia-N concentration, the activities of superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), alkaline phosphatase (ALP) and lysozyme (LYZ) were first increased and then decreased. In the presence of bacteria infection, lower concentrations of ammonia nitrogen could increase the activities of SOD, GPX, ALP and LSZ, but higher concentrations of ammonia nitrogen treatment inhibited the enzyme activities. This suggested that moderate aquatic ammonia nitrogen stresses may enhance the immunity of sea cucumber, reduce the immune damage caused by bacteria infection, and promote the disease resistance ability of sea cucumber. The cumulative mortality of sea cucumber were 44.4%, 55.6% and 72.2% in the presence of pathogen (*Pseudoalteromonas* sp.) infection and 3, 4 and 6 mg/L ammonia nitrogen treatment, which were higher than that of control group, suggesting that higher concentrations of ammonia nitrogen stress can significantly reduce the immunity of the sea cucumber, increase susceptibility to pathogens. Therefore, regulation and control of ammonia nitrogen concentration are very important during sea cucumber cultivation.

(本文编辑: 梁德海)