

盐度和溶解氧对刺参非特异性免疫酶活性的影响

郑 慧^{1,2} 李 彬² 荣小军² 廖梅杰² 陈贵平²

张 正² 王 岚² 王印庚^{2*} 邹安革³

(¹ 大连海洋大学水产与生命学院, 116023)

(² 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室

中国水产科学研究院黄海水产研究所, 266071)

(³ 山东安源水产股份有限公司, 烟台 265617)

摘 要 测定了不同盐度(20、25、30、35、40)和不同溶氧水平(充空气, DO 7~9 mg/L)充纯氧, DO 15~20 mg/L; 不充气, DO 2~5 mg/L)对刺参体腔液中酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)、溶菌酶(LZM)和超氧化物歧化酶(SOD)活性变化的影响。盐度试验结果表明, 盐度急性变化会引起刺参体腔液 ACP、AKP、LZM 活性的升高和 SOD 活性降低, 其中第 10 天时盐度对酶活性的影响最大。溶氧试验显示, 过饱和溶氧(DO 15~20 mg/L)可使刺参体腔液 ACP、AKP、LZM、SOD 活性维持在较高水平, 不充气组(DO 2~5 mg/L)刺参体腔液中 ACP、AKP、LZM 活性出现短暂升高。恢复性试验中, 盐度 20、25 组对 AKP 活性和盐度 20、40 组对 SOD 活性的影响未恢复到初始水平, 其余实验组均能恢复至初始水平, 说明低盐对刺参免疫力的影响较大。充纯氧组刺参的 AKP 活性显著高于充空气组, 表明高溶解氧水平在一定程度上提高了刺参免疫力。

关键词 溶解氧; 盐度; 海参; 非特异性免疫

中图分类号 S963.7 **文献标志码** A **文章编号** 1000-7075(2014)01-0118-07

Effects of salinity and dissolved oxygen variation on the non-specific immune response of *Apostichopus japonicus*

ZHENG Hui^{1,2} LI Bin² RONG Xiao-jun² LIAO Mei-jie² CHEN Gui-ping²

ZHANG Zheng² WANG Lan² WANG Yin-geng^{2*} ZOU An-ge³

(¹ College of Fisheries and Life Science, Dalian Ocean University, 116023)

(² Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, 266071)

(³ Shandong Anyuan Aquaculture Co., LTD, Yantai 265617)

ABSTRACT An experiment was conducted to evaluate the effect of different level of salinity stress(20, 25, 35, 40 and 30) and different dissolved oxygen concentration (DO 2-5 mg/L, 7-9mg/L, and 15-20 mg/L) on activity of non-specific immunity enzymes such as acid phosphatase (ACP), alkaline phosphatase (AKP), superoxide dismutase (SOD), and lysozyme (LSZ) of sea

十二五 863(2012AA10A412-4)、科研院所技术开发研究专项(2011EG34219)、国家自然科学基金(31202016)和青岛市科技计划项目(11-1-1-11-hy)共同资助

* 通讯作者。E-mail: wangyg@ysfri. ac. cn

收稿日期: 2013-03-11; 接受日期: 2013-04-12

作者简介: 郑 慧(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事海水健康养殖及疾病防控技术研究。E-mail: tiancaizhenghui@vip. qq. com

cucumber *Apostichopus japonicus*. The activity of ACP, AKP, and LZM increased and the activity of SOD decreased under acute salinity change. On the 10th day, the activity of non-specific immunity enzymes were highly influenced. The over-saturated oxygen treatment (DO 15-20 mg/L) maintained high activity level of ACP, AKP, LZM and SOD. The activity of ACP, AKP and LZM increased only on the 10th day in lower dissolved oxygen treatment (DO 2-5 mg/L). Activities of all the tested non-specific immunity enzymes in the experimental treatments recovered the initial level except the activity of AKP and SOD under the low salinity (20) stress. The results indicate that low salinity stress has a great effect on the immunity of sea cucumber. The AKP activity in over-saturated oxygen treatment were significantly higher than the control (DO 7-9 mg/L), indicating that high dissolved oxygen concentration improves the immunity of sea cucumber to some extent.

KEY WORDS Dissolved oxygen; Salinity; Sea cucumber; Non-specific immunity

仿刺参 *Apostichopus japonicus* 又称刺参,属于棘皮动物门 Echinodermata、海参纲 Holothuroidea,具有极高的营养和保健价值。随着刺参养殖业快速发展,各种病害接踵而至,病害问题成为制约其养殖产业健康发展的突出问题(张春云等 2004)。

水产动物病害的发生与环境因子突变引起水产动物免疫功能下降,进而造成病原微生物的感染。盐度和溶解氧是水产动物养殖过程中的两个关键性环境因子(郑萍萍等 2010;余德光等 2011;潘鲁青等 2012),其变化能够影响水产动物的代谢活动和免疫防御(袁秀堂等 2006;董晓煜等 2008;王吉桥等 2009;沈凡等 2010)。盐度和溶解氧也是刺参养殖中的重要环境因子,对刺参的生长发育和免疫机能有重要的影响,国内外有关盐度、溶解氧对养殖动物影响的研究多集中在虾蟹(潘鲁青等 2002;Jiang *et al.* 2005;Wang *et al.* 2006)、软体动物(Chen *et al.* 2007;Bussell *et al.* 2008;张晓梅等 2010)和鱼类(庄平等 2008;沈凡等 2010),而对刺参免疫力的影响研究报道相对较少(Wang *et al.* 2008;王吉桥等 2009a,b)。

本研究通过检测不同盐度和溶氧条件下刺参免疫酶活性的变化,分析了盐度和溶氧对刺参免疫能力的影响,结果可为刺参的健康养殖和环境调控提供理论基础依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

实验时间为 2012 年 3~5 月,共计 60 d。实验用刺参购买自山东青岛瑞滋海珍品发展有限公司,刺参平均体长(6.0±1.1)cm,平均体重(25.0±2.6)g。刺参暂养于 3 个试验水桶(200 L/桶)中,暂养时间为 10 d,水温为(15~18)℃,盐度为 30~31,pH 为 7~8,养殖用海水用 400 目筛绢过滤后 30 W 紫外灯杀菌 10 h,曝气 2 h 以上后使用,暂养期间投喂人工配合饲料为原养殖场投喂饲料比例经高压灭菌锅 106℃灭菌 30 min 后按刺参总体重 1%量与灭菌海泥成 1:2 进行投喂,每天清污换水 1 次,24 h 不间断充气。

1.2 实验设计

养殖用水桶容量为 55 L(直径 38 cm、高 48 cm),养殖用具使用前用 5×10^{-4} g/ml 浓度高锰酸钾浸泡 10 min 进行杀菌处理。每个桶(蓄水 43 L)中投放 20 头刺参,以坠有石块的纱网作为刺参附着基,饲养管理同暂养期。

1.2.1 盐度对刺参非特异性免疫酶活性的影响实验

本研究共设置 5 个盐度梯度,分别为 20、25、30(自然海水)、35、40 每组各设两个平行。不同的盐度用淡水、海水晶、自然海水调配,用 YSI-650 仪器进行盐度校正和测量。盐度改变为急性盐度改变,即直接将实验刺参投放入调整后的盐度实验桶中开始实验,实验期间水温为(15±1)℃,溶氧(7~9)mg/L,pH 为 7~8。

试验总周期为 60 d,其中前 30 d 为不同盐度对刺参免疫力的影响试验,后 30 d 不同盐度组均恢复为 30 (自然海水盐度),分析刺参免疫力恢复。试验的采样时间分别为 0、10、20、30、60 d,每个采样时间点随机从养殖桶中取出 3 头刺参进行分析。

1.2.2 溶解氧实验

溶氧试验分为 3 个溶氧梯度,分别为不充气组(DO 值 2~5 mg/L)、普通充气组(DO 值 7~9 mg/L,设为对照组)和充纯氧组(DO 值 15~20 mg/L,达到过饱和水平),每组各设两个平行。

实验期间盐度为 30,水温为(15±1)℃,pH 为 7~8。实验周期及采样点设置同 1.2.1 盐度实验。

1.3 样品采集与分析

用 1 ml 无菌注射器从刺参腹部靠近口部 1/3 处抽取刺参体腔液 500 μl,抽提的体腔液于 4℃ 5 000 r/min 离心 15 min,取上清液进行酶活性测定。酶活性测定采用南京建成生物工程研究所的测定试剂盒。测定的免疫指标有酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(ACP)、过氧化物歧化酶(SOD)和溶菌酶(LSZ)。

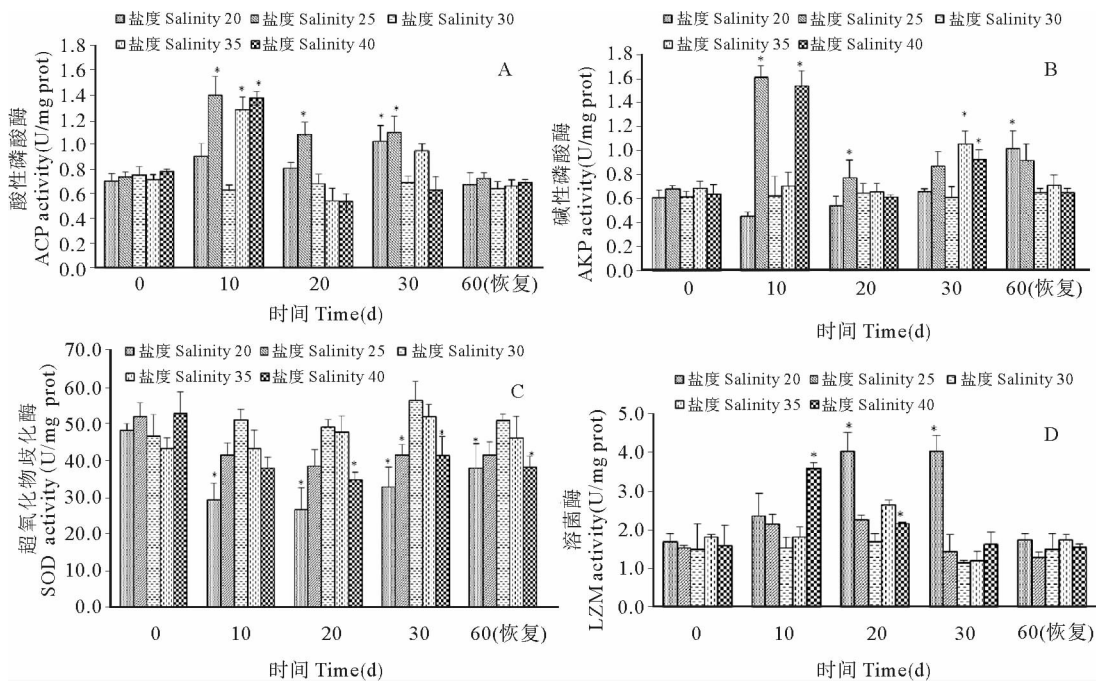
1.4 数据结果分析

利用统计学软件 SPSS 18.0 进行分析处理,对数据结果采用单因素方差分析(One-Way ANOVA),以 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 盐度对刺参非特异性免疫酶活性的影响

刺参急性盐度胁迫实验中,盐度 20 组刺参出现 1 头死亡,盐度 40 组有两头死亡化皮,其他组在整个实验周期中始终未发生化皮或者死亡。



注: * 表示与空白差异显著

Note: * means significant difference from the control

图1 盐度对刺参体腔液 ACP、AKP、SOD、LZM 活性的影响

Fig. 1 Effect of salinity on the activities of ACP, AKP, SOD and LZM in the coelomic fluid of *A. japonicas*

2.1.1 盐度对刺参酸性磷酸酶(ACP)活性的影响

盐度对刺参 ACP 活性变化影响如图 1-A 所示。结果显示,除盐度 30 组外,其余各组刺参在经过盐度胁迫后,其 ACP 活性出现了先升高后降低的变化,且都在第 10 天达到最高值。在第 30 天后的盐度恢复试验中,经过 30 d 的恢复,各盐度组 ACP 活性均能恢复正常水平。在 10 d 时,盐度 25、35、40 组 ACP 活性与盐度 30 组(自然海水)相比显著升高($P < 0.05$);第 20 天时,各盐度变化组 ACP 活性较第 10 天有所降低,并呈现高盐度 35、40 组 ACP 活性低于盐度 30 组,盐度 20 与 25 组 ACP 活性均高于盐度 30 组,但只有盐度为 25 组与盐度 30 组差异显著($P < 0.05$);在第 30 天时盐度 20、25 组与盐度 30 组差异显著($P < 0.05$)。第 30 天后的盐度恢复试验中,经过 30 d 的恢复,各盐度组 ACP 活性均能恢复正常水平。

2.1.2 盐度对刺参碱性磷酸酶(AKP)活性的影响

盐度对刺参 AKP 活性影响如图 1-B 所示。盐度为 25 和盐度为 40 试验组刺参的体腔液 AKP 活性在第 10 天时显著高于盐度 30 组($P < 0.05$),第 20 天时下降恢复到与盐度 30 组接近水平,盐度 25 组与 30 组差异显著,其余组别在前 20 d AKP 活性较稳定,达到一个最高值后出现下降;盐度 20 组随时间延长而 AKP 活性出现升高,而盐度 35 组与盐度 30 组比较,无显著差异;第 30 天时,不同盐度组 AKP 的活性均呈现上升,其中盐度 35、40 组与盐度 30 组差异显著($P < 0.05$)。第 30 天后的盐度恢复试验中,盐度 20、25 组的 AKP 保持较高的水平,与盐度 30 比较,存在显著差异($P < 0.05$)。

2.1.3 盐度对刺参超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

盐度对刺参 SOD 活性影响如图 1-C 所示。除盐度 30 组外,其余各组刺参在经过盐度急性胁迫后,其 SOD 活性均表现出先降低后升高的变化,但变化趋势较为平缓。前 30 d 不同盐度实验中,各个盐度组的 SOD 活性均低于盐度 30 组,其中盐度 20、40 组与盐度 30 组差别显著($P < 0.05$),并在试验期间各实验组 SOD 活性相对稳定。第 30 天后的盐度恢复试验中,盐度 25、35 组 SOD 活性没有恢复到盐度 30 的水平,但差异不显著,盐度 20、40 组与盐度 30 组差异显著($P < 0.05$)。

2.1.4 盐度对刺参溶菌酶(LZM)活性的影响

盐度对刺参 LZM 活性影响如图 1-D 所示。前 30d 不同盐度实验中,除盐度 30 组外,其余盐度组的体腔液 LZM 活性呈现先上升后下降的趋势,其中盐度 40 组在第 10 天时 LZM 活性达到最高值,与盐度 30 组存在显著差异($P < 0.05$),第 20 天时恢复正常;盐度 20 组,在第 20 天时达到最高值,与盐度 30 组存在显著差异($P < 0.05$),并持续到第 30 天;盐度变化(以盐度 30 为对照组)能提高刺参体腔液 LZM 活性。第 30 天后的盐度恢复试验中,各盐度组 LZM 活性均能恢复正常水平,与盐度 30 比较无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 溶解氧对刺参非特异性免疫酶活性的影响

2.2.1 溶解氧对刺参体腔液酸性磷酸酶(ACP)活性的影响

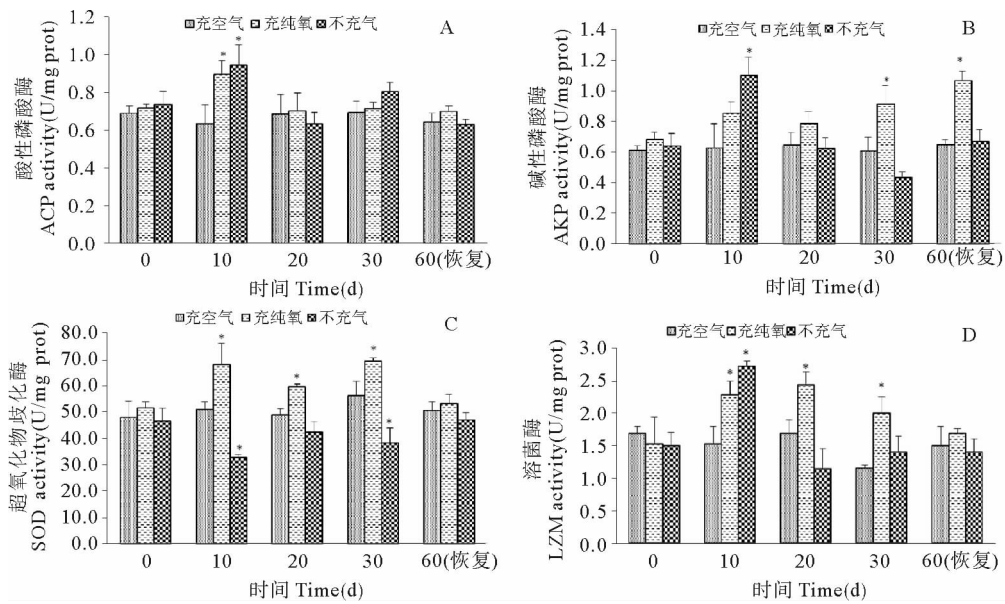
不同溶氧试验组刺参体腔液 ACP 活性随时间变化如图 2-A 所示。前 30 d 不同溶氧实验中,充空气组刺参体腔液中 ACP 活性趋于稳定,第 10 天时充纯氧和不充气组 ACP 活性均有大幅度提升,与充空气组比较存在显著差异($P < 0.05$),第 20、30 天时实验组 ACP 活性较第 10 天时都有所下降,但差异不显著。第 30 天后的恢复试验中,各实验组 ACP 活性均能恢复正常水平。

2.2.2 溶解氧对刺参体腔液碱性磷酸酶(AKP)活性的影响

不同溶氧试验组刺参体腔液 AKP 活性随时间变化如图 2-B 所示。第 10 天不充气组 AKP 活性显著高于充空气组($P < 0.05$);第 20 天时各试验组 AKP 活性都呈现下降,与充空气组差异不显著($P > 0.05$);第 30 天时充纯氧组 AKP 活性上升,与充空气组比较存在显著差异($P < 0.05$),不充气实验组 AKP 活性与充空气组差异不显著($P > 0.05$)。第 30 天后的恢复试验中,不充气试验组 AKP 能恢复至正常水平,与充空气组差异不显著($P > 0.05$),充纯氧试验组 AKP 活性继续保持较高水平,与充空气组差异显著($P < 0.05$)。

2.2.3 溶解氧对刺参超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

不同溶氧试验组刺参体腔液 SOD 活性随时间变化如图 2-C 所示。不同试验组刺参体腔液的 SOD 活性相比为充纯氧组 > 充空气组 > 不充气组。第 10 天时充纯氧组 SOD 活性显著高于充空气组($P < 0.05$),不充气组



注: * 表示与空白差异显著

Note: * means significant difference from the control

图 2 溶解氧对刺参体腔液 ACP、AKP、SOD、LZM 活性的影响

Fig. 2 Effect of dissolved oxygen on the activities of ACP, AKP, SOD and LZM in the coelomic fluid of *A. japonicas*

SOD 活性下降,显著低于充空气组 ($P < 0.05$),第 20、30 天时充纯氧组继续保持较高的 SOD 活性。第 30 天后的溶解氧恢复试验中,各试验组刺参 SOD 活性均恢复正常水平。

2.2.4 溶解氧对刺参溶菌酶(LZM)活性的影响

不同溶氧试验组刺参体腔液 LZM 活性随时间的变化如图 2 所示。充空气组刺参体腔液 LZM 活性稳定,充纯氧组和不充气组在第 10 天达到最高值,与空气组存在显著差异 ($P < 0.05$),而且不充气组 LZM 活性大于充纯氧组,差异不显著 ($P > 0.05$);第 20 天时不充气组 LZM 的活性低于充空气组 ($P > 0.05$);第 30 天时不充气组 LZM 出现小幅上升,而充纯氧气组 LZM 活性持续保持较高的水平。在第 60 天的溶解氧恢复试验中,各组 LZM 活性均恢复到了正常水平,各试验组之间 LZM 活性差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 盐度和溶解氧对刺参体腔液 ACP、AKP 的影响

酸性磷酸酶(ACP)和碱性磷酸酶(AKP)都是巨噬细胞溶酶体酶的重要组成部分,在体内直接参与磷酸基团的转移和代谢,作为代谢调控酶在免疫反应中发挥重要作用(郑萍萍等 2010)。盐度和溶解氧是影响其变化的重要环境因子,本研究中各盐度组的 ACP、AKP 活力呈现短期升高而后出现下降的原因可能是机体通过消耗 ATP 去调节渗透压来适应外界环境中盐度变化影响,而 ATP 合成所需的无机磷酸可由 ACP、AKP 催化磷酸酯类水解产生,从而造成了 ACP、AKP 活力的升高。充纯氧组 ACP、AKP 活力大于充空气组,而不充气组 ACP、AKP 活力要小于充空气组,推测是由于水体中溶氧水平的增高,刺参体内有氧呼吸作用随之逐渐升高,ATP 合成量增多,能够造成 ACP、AKP 活力升高。

3.2 盐度和溶解氧对刺参体腔液 SOD 的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是一种重要的抗氧化蛋白酶,能够增强吞噬细胞的防御能力和机体的免疫功能(牟海津等 1999),是生物体防御氧毒性的关键(田春美等 2005)。叶建生等(2008)研究了盐度对凡纳滨对虾非特异性免疫因子的影响,结果表明,盐度突变越大,SOD 活性越小,盐度突变组 SOD 活性均显著低于盐度

30组。张玉玉等(2009)发现,无论低盐度还是高盐度,体内SOD活力均呈下降趋势。Wang等(2008)研究了盐度突变对刺参SOD急性变化,在72h内各盐度组SOD均呈现上升波动趋势。本研究结果与上述的研究结果相似。盐度胁迫导致SOD活性降低可能有两种途径:一是降低酶自身的催化效率,二是减少酶蛋白的合成,从而减少酶蛋白的总量(季延滨等 2008)。盐度变化造成刺参SOD活性变化可能由于机体大量吸水或失水,体内渗透压变化影响了免疫相关的细胞活性,造成SOD活力的下降。

溶氧试验结果显示,不同溶解氧对SOD活性影响为充纯氧组>充空气组>不充气组。溶解氧水平的提高,造成超氧阴离子自由基和羟自由基等的数量增加,而SOD具有清除细胞体内这些自由基的能力。因此,随着水体中溶解氧水平的提高,刺参体内的SOD活性逐渐增强。

3.3 盐度和溶解氧对刺参体腔液溶菌酶的影响

王吉桥等(2009)报道低盐可以引起刺参LZM活力增高。冯 娟等(2007)研究发现,低盐度在短期内可引起军曹鱼稚鱼溶菌酶活性升高,但随后都能恢复至对照水平。王晓杰等(2005)发现,随海水盐度的降低,许氏平鲷的溶菌酶活力逐渐上升。魏 然等(2003)发现,盐度突然升高或降低,牙鲆溶菌酶出现先升高而后又降低的变化。本研究结果显示,不同盐度组刺参体内溶菌酶活性也出现了先上升后下降的趋势,且低盐和高盐组能造成溶菌酶水平显著升高,与上述文献研究结果相似。溶菌酶广泛分布于水产动物的组织和体腔液中,是体内非特异性免疫重要组成部分,盐度变化引起刺参体内溶菌酶活性升高的原因可能是机体对外界盐度变化的应激反应造成,盐度变化幅度越大应激表达越强。溶氧的变化能够影响刺参体内溶菌酶活性,可能是由于溶氧变化引起环境中菌群发生了变化,对溶菌酶活力产生了促进作用(Demers *et al.*, 1997)。

3.4 刺参非特异性免疫力的恢复实验

低盐度20、25组对AKP和极端盐度20、40组对SOD影响,难以恢复到正常水平,说明盐度胁迫对刺参的免疫力影响较大。溶氧水平恢复后,纯氧组的AKP活性仍高于对照组,说明高溶解氧可以较长时间影响其活性水平;而其他组ACP、SOD和LZM的活性均恢复到正常水平,可能是由于刺参营底栖性生活,对低溶解氧的耐受能力较强,可承受短期溶解氧变化对机体免疫力的影响。

综上所述,盐度和溶解氧的变化能够对刺参非特异性免疫力产生影响。刺参对高盐环境有一定的耐受能力,而经低盐度胁迫后,刺参的部分免疫酶活难以恢复至初始水平;低氧条件下刺参免疫力酶活性水平有所下降。在刺参养殖过程中,一定要注意养殖池塘中的盐度和溶解氧变化,要采取有利措施保证养殖用水盐度和溶氧的稳定,特别是在夏季多雨高温季节及冬季冰封季节,水体中盐度和溶解氧有可能出现大幅度的降低,影响刺参免疫力,容易造成疾病发生。目前,在盐度和溶解氧影响刺参免疫系统机理方面的基础研究还很薄弱,深入分析盐度和溶解氧变化的长期效应以及机体免疫水平变化后对病原的易感性将有助于认知刺参免疫应答机制。

参 考 文 献

- 王吉桥,张筱娜,姜玉声,张剑诚,柳圭泽. 2009a. 盐度骤降对不同发育阶段仿刺参存活和生长的影响. 大连水产学院学报, 24(S1):139-146
- 王吉桥,张筱娜,姜玉声,张剑诚,柳圭泽. 2009b. 盐度骤降对幼仿刺参生长、免疫指标及呼吸树组织结构的影响. 大连水产学院学报, 24(5):387-392
- 王晓杰,张秀梅,李文涛. 2005. 盐度胁迫对许氏平鲷血液免疫酶活力的影响. 海洋水产研究, 26(6):17-21
- 叶建生,王兴强,马 牲,阎斌伦. 2008. 盐度突变对凡纳滨对虾非特异性免疫因子的影响. 海洋水产研究, 29(1):38-43
- 田春美,钟秋平. 2005. 超氧化物歧化酶的现状研究进展. 中国热带医学, 5(8):1730-1732
- 冯 娟,徐力文,林黑着,郭志勋,郭根喜. 2007. 盐度变化对军曹鱼稚鱼相关免疫因子及其生长的影响. 中国水产科学, 14(1):120-124
- 庄 平,章龙珍,田宏杰,赵 峰,宋 超. 2008. 盐度对施氏鲷幼鱼消化酶活力的影响. 中国水产科学, 15(2):198-203
- 牟海津,江晓路,刘树青,管华诗. 1999. 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. 青岛海洋大学学报, 29(3):463-468
- 余德光,杨宇晴,王海英,谢 骏,郁二蒙,王广军,龚望宝. 2011. 盐度变化对斜带石斑鱼生理生化因子的影响. 水产学报, 35(5):719-727
- 沈 凡,樊启学,杨 凯,李 波,张 磊,杨 磊,赵巧娥,孙存军,杨 威. 2010. 不同溶氧条件下黄颡鱼免疫机能及抗病力的研究. 淡水渔业,

40(4):44-49

- 张玉玉,王春琳,李来国. 2010. 长蛸的盐度耐受性及盐度胁迫对其血细胞和体内酶活力的影响. 台湾海峡, (4):452-459
- 张春云,王印庚,荣小军,孙惠玲,董树刚. 2004. 国内外海参自然资源、养殖状况及存在问题. 海洋水产研究, 25(3):89-97
- 张晓梅,王春琳,李来国,陈武. 2010. 耗氧率及溶氧胁迫对长蛸体内酶活力的影响. 水生态学杂志, 3(2):72-79
- 季延滨,于雯雯,孙金辉,王庆奎,赵丛明,陈成勋. 2008. 盐度骤降对南美白对虾仔虾抗氧化机能的影响. 天津农学院学报, 4:19-23
- 郑萍萍,王春琳,宋微微,吴丹华. 2010. 盐度胁迫对三疣梭子蟹血清非特异性免疫因子的影响. 水产科学, 29(11):634-638
- 袁秀堂,杨红生,周毅,毛玉泽,张涛,刘鹰. 2006. 盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)呼吸和排泄的影响. 海洋与湖沼, 37(4):348-354
- 董晓煜,张秀梅,张沛东. 2008. 溶解氧与养殖密度对褐牙鲆幼鱼血细胞数量及血红蛋白含量影响的研究. 海洋水产研究, 29(6):40-46
- 潘鲁青,朱现晔,景福涛. 2012. 低溶解氧对凡纳滨对虾酚氧化酶原激活系统和相关免疫因子的影响. 海洋湖沼通报, 2:1-8
- 潘鲁青,姜令绪. 2002. 盐度、pH突变对2种养殖对虾免疫力的影响. 青岛海洋大学学报, 32(6):903-910
- 魏然,张士瑾,王长法,柳学周,姜国湖. 2003. 盐度对牙鲆非特异性免疫功能的影响. 海洋科学进展, 21(2):209-213
- Chen JH, Mai KS, Ma HM and 8 others. 2007. Effects of dissolved oxygen on survival and immune responses of scallop (*Chlamys farreri* Jones et Preston). Fish Shellfish Immunol 22(3):272-281
- Demers ND, Bayne CJ. 1997. The immediate effects of stress on hormones and plasma lysozyme in rainbow trout. Dev Comp Immunol 21(4):363-371
- Bussell JA, Gidman EA, Causton DR and 5 others. 2008. Changes in the immune response and metabolic fingerprint of the mussel, *Mytilus edulis* (Linnaeus) in response to lowered salinity and physical stress. J Exp Mar Biol Ecol 385(1):78-85
- Jiang LX, Pan LQ, Fang B. 2005. Effect of dissolved oxygen on immune parameters of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Fish Shellfish Immunol 18(2):185-188
- Wang F I, Chen JC. 2006. Effect of salinity on the immune response of tiger shrimp *Penaeus monodon* and its susceptibility to *Photobacterium damsela* subsp. *damsela*. Fish Shellfish Immunol 20(5):671-681
- Wang FY, Yang HS, Gao F, Liu GB. 2008. Effects of acute temperature or salinity stress on the immune response in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Comp Biochem Physiol Part A 151(4):491-498

《渔业科学进展》编辑部声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在CNKI中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。

该著作权使用费及相关稿酬,本刊均用于作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意我编辑部上述声明。

《渔业科学进展》编辑部

2014年2月20日