

DOI: 10.5846/stxb201402100226

李玉全, 李永生, 赵法箴. 盐度渐变与骤变对脊尾白虾渗透、代谢及免疫相关酶活力的影响. 生态学报, 2015, 35(21): - .

Li Y Q, Li Y S, Zhao F Z. Effect of salinity changes on osmotic-, metabolic-, and immune-related enzyme activities in *Exopalaemon carinicauda*. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): - .

盐度渐变与骤变对脊尾白虾渗透、代谢及免疫相关酶活力的影响

李玉全^{1,*}, 李永生¹, 赵法箴²

1 青岛农业大学海洋科学与工程学院, 青岛 266109

2 中国水产科学研究院黄海水产研究所 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 青岛 266071

摘要:为探讨盐度变化对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)渗透、代谢及免疫相关酶活力的影响,实验设置了盐度渐变和骤变两个实验。渐变实验,设置 5、10、15、20、25、30、33(CK)、40 和 45 共 9 个盐度梯度;骤变实验,盐度从 33 突变至 0、5、15、25 和 45,检测血清 ATP 酶(Adenosine triphosphate, 包括 Na⁺/K⁺-ATP 酶和总 ATP 酶)、碱性磷酸酶(AKP, Alkaline phosphatase)、酸性磷酸酶(ACP, Acidic phosphatase)及超氧化物歧化酶(SOD, Superoxide dismutase)活力。结果表明,渐变情况下,盐度为 5 时,ATP 酶活力出现最高值,然后随着盐度的升高表现出先降低后升高的趋势。总 ATP 酶活力在盐度为 15—30 之间较稳定,并在此范围内达到最低值。AKP 和 ACP 活力几乎不受盐度渐变的影响。SOD 活力随盐度的升高,先上升后下降,并在盐度为 33 时达到最大值。骤变情况下,ATP 酶活力随时间波动较大,AKP 和 SOD 随时间波动较小,而 ACP 几乎不受影响。结果说明,盐度骤变对脊尾白虾酶活力的影响较盐度渐变明显,ATPase 和 SOD 活力更易随盐度而变化,代谢酶(AKP、ACP)受盐度变化的影响较小,说明渗透调节和免疫相关酶活力对盐度变化反应敏感,养殖过程中应尽量保持盐度稳定。

关键词:脊尾白虾,盐度,酶活力

Effect of salinity changes on osmotic-, metabolic-, and immune-related enzyme activities in *Exopalaemon carinicauda*

LI Yuquan^{1,*}, LI Yongsheng¹, ZHAO Fazhen²

1 College of Marine Science & Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

2 Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: *Exopalaemon carinicauda* is an economically important shrimp species that is naturally distributed in the estuaries and coastal areas of China, especially in the Yellow Sea and the Bohai Sea, and contributes to one-third of the gross output of polyculture ponds in eastern China. Despite its economic importance, basic biological knowledge about this species remains limited. Salinity is one of the most important and changeable water quality factors affecting the physiology of aquatic organisms. Salinity variation may cause a variety of physiological responses, such as plasma enhanced stress-related hormones, stimulation of energy metabolism, and disruption of electrolyte equilibrium. Consequently, marine organisms have developed various survival mechanisms against salinity variation. For example, crustaceans adjust osmolarity and maintain an intra-corporal stable state by varying related enzyme activities. *E. carinicauda* live in estuaries and coastal areas with highly variable salinity; yet, little is known about the osmotic adjustment mechanisms of this species. Enzyme activity

基金项目:国家自然科学基金项目(31101916);山东省现代农业产业技术体系虾蟹类创新团队(SDAIT-15-011);山东省自然科学基金项目(ZR2010CM060);青岛市科技成果转化引导计划(14-2-4-87-jch)

收稿日期:2014-02-10; 网络出版日期:2015-04-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangfangqian@163.com

regulation is one of the most important osmotic adjustment mechanisms. To investigate the effects of acute and gradual salinity changes on enzyme the enzyme activity of *E. carinicauda*, two different experiments (acute change and gradual change) were performed. In the gradual change experiment, we used two different treatments. In the first treatment, the salinity was gradually raised from 33 to 40 and 45. In the second treatment, the salinity was gradually reduced from 33 to 5, 10, 15, 20, 25, and 30. For each salinity level, a group of 45 animals were randomly selected and cultured for two weeks. In the acute change experiment, five groups of 45 animals were randomly selected at 33 salinity, which was then abruptly changed to 0, 5, 15, 25, and 45. In each group, blood was collected from the animals for further enzyme activity analysis. ATPase (Na^+/K^+ -ATPase and total ATPase), alkaline phosphatase (AKP), acidic phosphatase (ACP), and superoxide dismutase (SOD) activity was detected. In the gradual change experiment, maximum ATPase activity occurred at salinity 5. Interestingly, at the start of increasing salinity, ATPase activity rapidly decreased, but then increased with increasing salinity. Total ATPase activity was more stable in the range of salinity changes between 15 and 30, and reached a minimum level within this range. However, AKP and ACP activity was not significantly affected by gradual salinity changes. SOD activity initially increased, but then decreased with increasing salinity, with the maximum being detected at salinity 33. In the acute salinity changes experiment, ATPase activity fluctuated more intensely than AKP and SOD activity, while ACP activity was minimally affected. The results indicate that the effects of acute change on related enzyme activity were greater than those obtained through gradual change. ATPase and SOD activity was more vulnerable to salinity change than AKP and ACP activity. Overall, osmotic adjustment and immune related enzyme activity are very sensitive to salinity changes. These results are expected to help improve our understanding about the mechanisms of osmotic, metabolic, and immune regulation of *E. carinicauda* responses to salinity changes. Which are expected to set a foundation for future breeding and resource protection for this species.

Key Words: *Exopalaemon carinicauda*; Salinity; Enzyme activity

脊尾白虾(*Exopalaemon Carinicauda*)是我国特有的重要经济虾类,广泛分布于我国河口、浅海及近海区,以渤海和黄海海区分布最为广泛。该虾是我国传统渔业物种,除直接销售外,还可加工成虾仁,被誉为“金钩虾米”,其卵还可制作成虾子酱,是深受人们喜爱的美食。近年来对其生物学特性、繁育、养殖等各方面的研究日趋增多^[1-2]。

河口、浅海及近海水体理化因子多易变动,生活在该区域的水生动物会通过多种调节机制以适应外界环境的变化,其中,酶活力调节是最为重要的方式之一。ATPase 是一类膜结合蛋白酶,是评价离子转运能力的生物学指标^[3]。在各种 ATPase 中, Na^+/K^+ -ATPase 是组成 Na^+/K^+ 泵活力的主要部分,其任务是催化 Na^+/K^+ -ATP 水解,为细胞内外 Na^+ 与 K^+ 的主动跨膜转运提供能量,维持细胞内高 K^+ 、细胞外高 Na^+ 的离子浓度梯度^[4]。磷酸酶又称磷酸单酯水解酶,是可以催化各种含磷化合物水解的酶类,根据它们催化作用的最适 pH 特性,可分为碱性磷酸酶(AKP)和酸性磷酸酶(ACP)^[5]。碱性磷酸酶能催化有机磷分解释放正磷酸盐,这种转化是生物可利用性磷的重要补充途径^[6]。酸性磷酸酶是在酸性范围里催化磷酸单酯水解和无机磷酸释放的磷酸酶,是生物磷代谢的重要酶类,它与物质代谢关系密切,还可以作为检出细胞中溶酶体的一种标志酶^[7]。超氧化物歧化酶(SOD)是广泛存在于动物、植物、微生物中的一种专一清除超氧阴离子自由基($\text{O}_2 \cdot^-$)的金属蛋白酶^[8]。它能催化 $\text{O}_2 \cdot^-$ 发生歧化反应以清除 $\text{O}_2 \cdot^-$,从而具有抗炎、抗病毒等作用^[9]。此外,超氧化物歧化酶还对增强吞噬细胞防御能力和整个机体的免疫功能具有重要作用^[10]。因此,它与水生生物疾病抵抗能力密切相关。

脊尾白虾盐度适应范围很广,可适应 4—35 变幅,最适盐度 22—28^[11-12],驯化后甚至可以在纯淡水中生长和繁殖^[13]。虾体生活在盐度为 4.5—35.5 的海水(渗透压 114—1178 mOsm/kg)中,其血淋巴渗透压 587—797 mOsm/kg^[14],即当外界环境的渗透压发生大幅变化时,机体血淋巴的渗透压较为稳定。这说明,在半咸水

条件下,脊尾白虾可能采取高渗调节的方式维持渗透压平衡,而在真盐水中则可能采取低渗调节维持渗透压平衡。无论是低渗调节和还是高渗调节都是伴随水体盐度变化而产生的,即在外界盐度发生变化时脊尾白虾机体会产生一系列调节适应,其中酶活力是重要的调节方式之一。然而,目前盐度变化对脊尾白虾相关酶活力的影响未见相关报道。本文拟探讨盐度渐变和骤变对脊尾白虾相关酶的影响,实验结果将有助于了解脊尾白虾渗透、代谢以及免疫等调节的机理,从而为脊尾白虾增殖及资源保护提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于青岛农业大学海洋科学与工程学院水循环实验室进行,所用脊尾白虾购自青岛市城阳水产零售市场,为胶州湾野生群体,原初水体盐度 31。选择体色透明、健康活跃、无外伤、规格一致者作为实验材料,实验前暂养 7 d。

1.2 实验方法

实验分盐度渐变和骤变两组进行。以自然海水为基础,盐度 33、pH 值 8.3 ± 0.2 ,水温控制在 $(15\pm 0.5)^\circ\text{C}$,用曝气 24 h 的自来水和粗盐调配实验所需的低盐或高盐水。

1.2.1 渐变实验

渐变实验共设置了 9 个盐度梯度,分别为 5、10、15、20、25、30、33、40 和 45。其中 33 为自然海水的盐度。实验中脊尾白虾分为两组,一组进行升盐处理,每天升 5 个盐度,升到盐度分别为 40 或 45 时适应 24 h,并随机取 45 尾,放到对应盐度的处理中进行实验。另一组进行降盐处理,盐度降为 15 之前每天降 5 个盐度,并在盐度降为 30、25、20、15 时分别适应 24 h,并随机取 45 尾分别放入对应盐度的处理中进行实验。盐度降为 15 后,每 2 天降 5 个盐度,并在盐度降为 10、5 时分别适应 24 h,并随机取 45 尾分别放入对应盐度的处理中进行实验。每天的盐度升降为分 2 次进行,采样逐渐换水的方式,时间间隔为 10—12 h。各盐度梯度下养殖 2 周,随机取虾抽取血淋巴混合液 1.0 mL 置于 1.5 mL 离心管中,4 °C 冰箱中过夜,5000 r/min 离心 10 min,取上清液放入 -20 °C 冰箱中保存以备酶活测定用。

1.2.2 骤变实验

骤变实验共设置 5 个盐度梯度,分别为 0、5、15、25 和 45。从盐度为 33 的暂养桶中分别随机取 45 尾脊尾白虾,放入对应盐度的处理中进行实验,并分别于放入虾后 1 h、6 h、12 h、18 h、24 h、36 h 和 48 h 时随机取 5 尾左右脊尾白虾抽取血淋巴混合液,4 °C 冰箱中过夜,5000 r/min 离心 10 min,取上清液放入 -20 °C 冰箱中保存以备酶活测定用。

1.3 酶活力的测定

本实验共测定 4 种相关酶的活力:ATPase(包括 Na^+/K^+ -ATPase 和总 ATPase(T-ATPase))、AKP、ACP 和 SOD。酶活力测定采用南京建成科技有限公司生产的相应酶试剂盒,按说明书描述的步骤进行。

1.4 数据处理与统计分析

实验数据借助 SPSS 13.0 进行统计分析,利用单因素方差分析和 LSD 检验法统计分析差异性。借助 EXCEL 2003 进行作图,所有数据用 3 个平行组数据的平均值 \pm 标准差来表示。

2 结果与分析

2.1 盐度变化对 ATPase 活力的影响

由图 1 可知,盐度渐变对 Na^+/K^+ -ATPase 和 T-ATPase 活力具有极显著影响($P<0.01$)。其中,盐度从 10 渐变到 5 时, Na^+/K^+ -ATPase 活力升高了 65%,T-ATPase 活力升高了 62%。这有可能说明 Na^+/K^+ -ATPase 和 T-ATPase 在脊尾白虾由低渗调节转变为高渗调节时发挥重要作用。 Na^+/K^+ -ATPase 活力在盐度为 10 到 45 之间没有显著变化($P>0.05$),T-ATPase 活力在 10 到 33 之间和 40 到 45 之间没有显著变化($P>0.05$),33

到 40 之间上升了 63%。 Na^+/K^+ -ATPase 和 T-ATPase 活力随盐度变化的总体趋势是先大幅度下降,盐度为 10 到 33 之间相对平稳,盐度大于 30 后又有所上升。

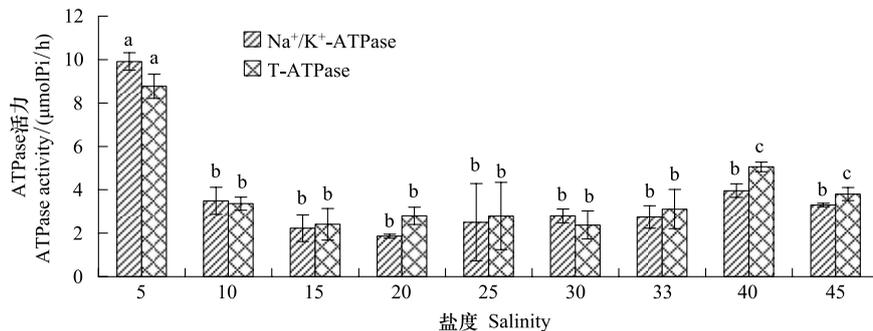


图 1 盐度渐变对脊尾白虾 ATP (Adenosine triphosphate) 酶活力的影响

Fig. 1 Effects of salinity gradient on ATPase activity of *E. carinicauda*

不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

盐度骤变实验中,盐度骤变为 0 处理的脊尾白虾在 1 h 左右全部死亡;骤变为 5 处理的脊尾白虾在 4—5 h 内全部死亡;骤变为 45 处理的脊尾白虾从 17 h 到 48 h 之间死亡较多。由图 2 可知,盐度从 33 骤变到 45 过程中, Na^+/K^+ -ATPase 和 T-ATPase 都具有极显著的变化 ($P < 0.01$)。总体来看, Na^+/K^+ -ATPase 活力出现双峰曲线变化,峰值分别出现在骤变后 6 h 和 36 h,其中 36 h 时出现最高值;T-ATPase 活表现为单峰曲线变化,峰值出现在盐度骤变后 36 h。

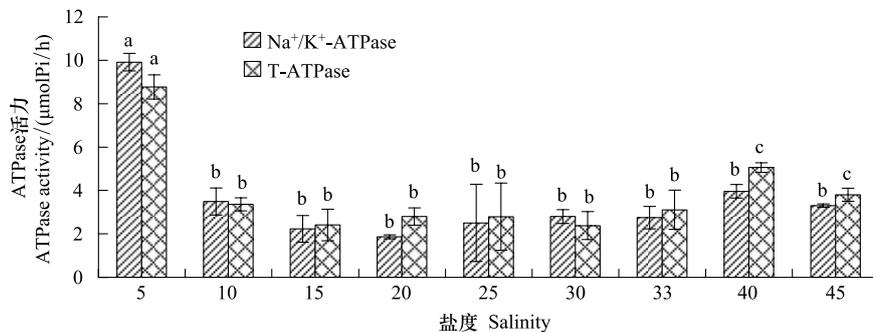


图 2 盐度骤变对脊尾白虾 ATP 酶活力的影响

Fig. 2 Effects of salinity abrupt on ATPase activity of *E. carinicauda*

2.2 盐度变化对 AKP 活力的影响

由图 3 可知,AKP 活力受盐度渐变的影响不显著 ($P > 0.05$),但随着盐度升高,AKP 的活力有升高的趋势。而盐度从 33 渐变到 30 或从 33 渐变到 40 时,AKP 活力均有显著变化 ($P < 0.05$)。

由图 4 可知,盐度骤变到 25 或 45 时,AKP 活力变化极显著 ($P < 0.01$);骤变到 25 时 AKP 活力随时间变化呈现出先上下波动后上升的趋势;骤变到 45 时,AKP 活力呈现先下降后上升的趋势。

2.3 盐度变化对 ACP 活力的影响

由图 5 可知,渐变实验中,ACP 活力受海水盐度变化的影响不显著 ($P > 0.05$)。

由图 6 可知,盐度骤变到 25 或者 45 均对 ACP 活力有极显著的影响 ($P < 0.05$)。总体来看,盐度骤变到 25 时,随着时间的变化,ACP 活力呈先下降后上升的趋势,并渐趋于稳定;骤变到 45 时,ACP 活力则呈下降趋势;骤变到 15 时,ACP 活力略高于自然海水 (33),差异不显著 ($P > 0.05$)。

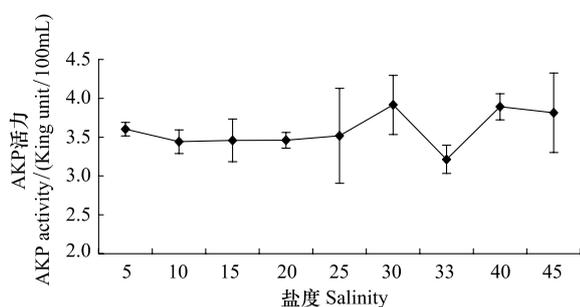


图3 盐度渐变对脊尾白虾碱性磷酸酶 (AKP, Alkaline phosphatase) 活力的影响

Fig. 3 Effects of salinity gradient on AKP activity of *E. carinicauda*

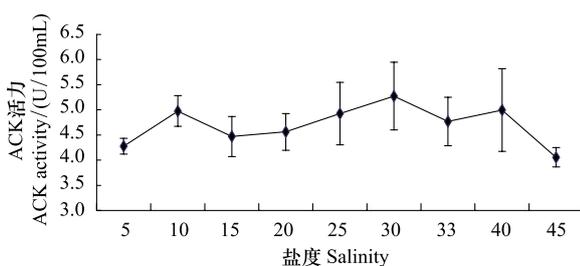


图5 盐度渐变对脊尾白虾酸性磷酸酶 (ACP, Acidic phosphatase) 活力的影响

Fig. 5 Effects of salinity gradient on ACP activity of *E. carinicauda*

2.4 盐度变化对 SOD 活力的影响

由图7可知,SOD酶活力随着盐度的变化总体具有上升的趋势,盐度为33时出现最大值,但盐度渐变对SOD酶活力的影响未达到显著水平($P>0.05$)。

由图8可知,盐度骤变到25或45时,SOD活力变化极显著($P<0.01$)。总体来看,骤变到25时,SOD活力先上升,达到渐变到该盐度时的SOD活力水平时稳定下来;骤变到45时,SOD活力在24h内呈剧烈波动状态,后趋于稳定。

3 讨论

3.1 盐度变化对脊尾白虾渗透相关酶的影响

水生生物在长期的进化过程中,已经逐渐适应外界环境中的盐度变化。它们主要通过调控血淋巴的渗透压维持内液的稳态,以保证机体正常的生命活动^[15]。机体血淋巴中的钠离子和氯离子是形成渗透压的主要因子^[16],离子调控主要靠鳃上皮细胞膜上的离子转运酶来实现,其中 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$ 是维持机体 Na^+ 、 K^+ 离子平衡的关键酶^[17]。当盐度发生变化时, Na^+ 、 K^+ 离子渗透压发生变化,为维持 Na^+ 、 K^+ 离子的平衡,机体需要 $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATP}$ 来协助调节机体内部的 Na^+ 、 K^+ 离子浓

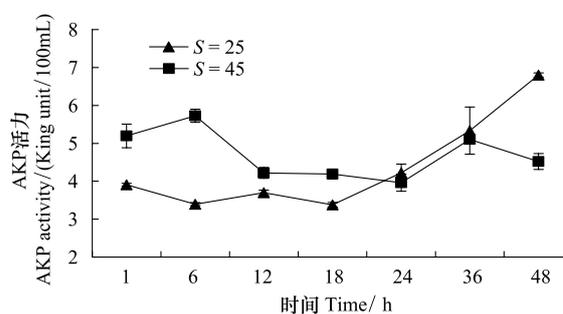


图4 盐度骤变对脊尾白虾 AKP 活力的影响

Fig. 4 Effects of salinity abrupt on AKP activity of *E. carinicauda*

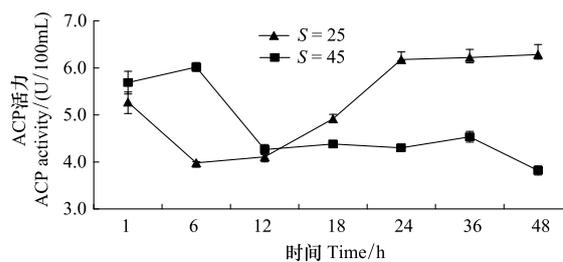


图6 盐度骤变对脊尾白虾 ACP 活力的影响

Fig. 6 Effects of salinity abrupt on ACP activity of *E. carinicauda*

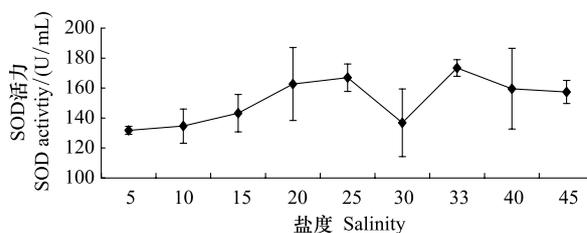


图7 盐度渐变对脊尾白虾 SOD (Superoxide dismutase) 活力的影响

Fig. 7 Effects of salinity gradient on SOD activity of *E. carinicauda*

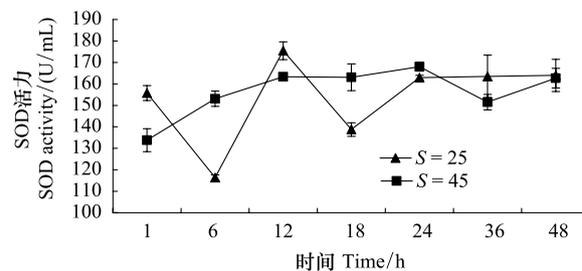


图8 盐度骤变对脊尾白虾 SOD 活力的影响

Fig. 8 Effects of salinity abrupt on SOD activity of *E. carinicauda*

度,并且,在高盐和低盐环境下,维持 Na^+ 、 K^+ 离子平衡所付出的 Na^+/K^+ -ATP 会增加,因此, Na^+/K^+ -ATPase 活力会提高。本实验还发现,盐度在 10—45 范围内时, Na^+/K^+ -ATPase 活力变化不显著,说明此盐度范围内脊尾白虾可以快速调节维持 Na^+ 、 K^+ 离子的平衡,而当盐度低于 10 时,机体需付出大量的 Na^+/K^+ -ATP 来维持平衡。而当盐度骤变时, Na^+/K^+ -ATPase 活力会发生大幅度的波动,可能与机体的应激反应难以适应短时间大幅度的渗透压变化有关。结合实验过程中脊尾白虾的成活率,发现当盐度渐变降至 10 以下或升至 40 以上时会显著降低其成活率,说明过高或过低盐度脊尾白虾短时间内很难适应。因此,在进行脊尾白虾淡化养殖或高盐养殖时当盐度降至 10 或升至 40 时应放慢驯化速度,使其充分适应后再进行下一步盐度驯化,具体驯化措施还需进一步探讨。

另外,盐度的变化还会引起活性氧分子大量生成,从而产生与之有关的应激反应^[4]。这一过程会造成组织的氧化损伤以及机体的渗透失衡。机体需要消耗大量的 ATP 进行调节。当盐度变化幅度过大时,机体调节平衡所消耗的 ATP 就会增多,当盐度的变化超出机体自身的耐受范围时,这种平衡往往会被打破^[18]。本实验证明,盐度的渐变和骤变都会对脊尾白虾的总 ATPase 活力产生极显著的影响,盐度的骤变会使总 ATPase 活力大幅度波动,这可能是盐度骤变导致 ATP 的异常消耗,这与前人的观点一致^[19]。

3.2 盐度变化对脊尾白虾代谢相关酶的影响

AKP 和 ACP 在蛋白(酶)的去磷酸化过程中起着十分重要的作用。它们不仅参与一些营养物质的消化、吸收、运输,而且还是生物体内重要的解毒体系^[4]。因此,通过探讨盐度变对 AKP 和 ACP 活性的影响,有助于了解盐度对机体的营养物质消化、吸收、运输以及生物体内抗氧化系统的影响。王维娜等分析了盐度等环境因子对日本沼虾消化酶和碱性磷酸酶的影响^[20],刘存歧等分析了金属离子对中国对虾幼体内碱性磷酸酶和 ATPase 的影响^[21],发现外界环境因子变化会影响磷酸酶的活力,认为磷酸酶活力的高低可作为判别环境因素是否适合对虾生存的指标。本实验证明,盐度渐变对 AKP 和 ACP 活力均未产生显著影响,但盐度在 30—40 范围内 AKP 活力产生显著波动;盐度骤变对 AKP 和 ACP 活力均产生了显著影响。由此推断,盐度渐变对脊尾白虾磷代谢相关酶活力影响较小,不会显著影响机体的磷代谢,但盐度骤变可能会对脊尾白虾的磷代谢产生显著影响。这与季延滨等在凡纳滨对虾上的研究结果相一致^[22]。

3.3 盐度变化对脊尾白虾免疫相关酶的影响

有研究发现血液中 SOD 活性更为敏感,能更迅速的反应出环境中有害物质对机体的毒性作用^[23]。本实验发现,盐度渐变,SOD 活力变化活跃。当盐度在 20 到 33 的范围内时,SOD 活力维持在较高水平,盐度为 33 时出现最大值。换言之,盐度的升高或者降低都会对 SOD 活力产生负面影响。因此,盐度在 20 到 33 范围内时,脊尾白虾具有相对较高的免疫抵抗能力,盐度过低或者过高都会影响其免疫活力。而盐度骤变实验表明,当盐度发生骤变时,脊尾白虾 SOD 活力都会在短时间内降低。随着时间的增长,又会逐渐恢复到对应盐度的水平。由此可知,盐度发生骤变时会短时间内降低机体的免疫力,从而增大患病的几率。这与前人在凡纳滨对虾上的研究结果相一致^[22]。因此,养殖过程中维持盐度的相对稳定是非常重要的。

参考文献 (References):

- [1] 梁俊平,李健,李吉涛,刘萍,赵法箴,刘德月,戴芳钰.不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响.生态学报,2013,33(4):1142-1152.
- [2] 段亚飞,刘萍,李吉涛,李健,高保全,陈萍.脊尾白虾抗细胞凋亡因子 *DAD1* 基因的克隆及其组织表达分析.中国水产科学,2014,21(1):44-52.
- [3] Mancera J M, McCormick S D. Rapid activation of gill Na^+ , K^+ -ATPase in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*. Journal of Experimental Zoology, 2000, 287(4): 263-274.
- [4] 尹飞,孙鹏,彭士明,施兆鸿.低盐度胁迫对银鲳幼鱼肝脏抗氧化酶、鳃和肾脏 ATP 酶活力的影响.应用生态学报,2011,22(4):1059-1066.
- [5] Hernández I, Pérez-Pastor A, Lloréns J L P. Ecological significance of phosphomonoesters and phosphomonoesterase activity in a small

- Mediterranean river and its estuary. *Aquatic Ecology*, 2000, 34(2): 107-117.
- [6] Yokota Y, Nakano E. Comparative studies on particulate acid phosphatases in sea urchin eggs. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 1982, 71(4): 563-567.
- [7] Yun Y S, Lee Y N. Purification and some properties of superoxide dismutase from *Deinococcus radiophilus*, the UV-resistant bacterium. *Extremophiles*, 2004, 8(3): 237-242.
- [8] 张俊艳, 贺阳. 超氧化物歧化酶研究与应用. *食品工业*, 2012, (3): 119-121.
- [9] 牟海津, 江晓路, 刘树青, 管华诗. 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*, 1999, 29(3): 463-468.
- [10] 张林娟, 潘鲁青, 栾治华. pH变化对日本囊对虾仔虾离子转运酶活力和存活、生长的影响. *水产学报*, 2008, 32(5): 758-764.
- [11] 王庚申, 谢建军, 施慧, 张涛, 许文军. 不同盐度对脊尾白虾非特异性免疫及抗氧化酶活性的影响. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2013, 32(6): 499-502.
- [12] 梁俊平, 李健, 刘萍, 李吉涛, 陈萍. 脊尾白虾生物学特性与人工繁育的研究进展. *中国农学通报*, 2012, 28(17): 109-116.
- [13] 王春琳, 张芬来, 宋利平, 何天北. 脊尾白虾 *Palaemon carinicauda* 淡水驯化的研究. *浙江水产学院学报*, 1995, 14(2): 105-110.
- [14] 房文红, 王慧, 来琦芳, 俞鲁礼. 不同盐度对中国对虾血淋巴渗透浓度和离子浓度的影响. *上海海洋大学学报*, 1995, 4(2): 122-127.
- [15] Chen J C, Chia P G. Osmotic and ionic concentrations of *Scylla serrate* (Forsk 1) subjected to different salinity levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1997, 117(2): 239-244.
- [16] Péqueux A. Osmotic regulation in crustaceans. *Journal of Crustacean Biology*, 1995, 15(1): 1-60.
- [17] Choi C Y, An K W, An M I. Molecular characterization and mRNA expression of glutathione peroxidase and glutathione S-transferase during osmotic stress in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2008, 149(3): 330-337.
- [18] 高举, 赵欣平, 詹付凤, 程凯. 铅对鲫鱼碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性的影响. *四川动物*, 2008, 27(2): 201-204.
- [19] 亓磊, 顾孝连, 蒋科技, 乔振国. 盐度对拟穴青蟹幼蟹存活、生长和 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的影响. *海洋科学*, 2013, 37(2): 56-60.
- [20] 王维娜, 孙儒泳, 王安利, 鲍蕾, 汪鹏. 环境因子对日本沼虾消化酶和碱性磷酸酶的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(9): 1153-1156.
- [21] 刘存歧, 王安利, 王维娜, 刘媛. 海水中几种金属离子对中国对虾幼体体内碱性磷酸酶和 ATPase 的影响. *水产学报*, 2001, 25(4): 298-303.
- [22] 季延滨, 于雯雯, 孙金辉, 王庆奎, 赵丛明, 陈成勋. 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*, 2008, 15(4): 19-23.
- [23] Li W, Yin D, Zhang A, Wang L. Toxicity of chloroanilines and effects on superoxide dismutase activities in serum of crucian carp (*Carassius auratus*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, 68(5): 630-636.