网络出版时间:2026-04-08 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.10.004

低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼抗氧化酶和离子调节酶活性的影响

蒋飞[1,2],施永海[1,2],徐嘉波[1,2],邓平平[1,2],刘永士[1,2],袁新程[1,2],于爱清[1,2]
(1 上海市水产研究所,上海 200433;2 上海市水产技术推广站,上海 200433)

[摘 要] 【目的】研究褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)幼鱼肝脏抗氧化酶和鳃离子调节酶活性在低盐胁迫下的变化规律,探讨其适应盐度骤变的能力。【方法】用6,8,10和20(对照)g/L盐度的水处理褐菖鲉幼鱼,依次记为S6、S8、S10和S20,在处理0,24,48,72和96 h时随机选取4尾鱼,取肝脏和鳃,分别测定抗氧化酶(SOD、CAT和GSH-Px)和离子调节酶(NKA和CMA)的活性。【结果】S6、S8和S10组SOD、CAT和GSH-Px活性在低盐胁迫下均呈现先上升后下降的趋势;在低盐胁迫24 h时,S6、S8和S10组的SOD和CAT活性均显著高于S20对照组($P<0.05$);在低盐胁迫48 h时,S6、S8和S10组的GSH-Px活性均显著高于S20对照组($P<0.05$);S6、S8和S10组的MDA含量在24和72 h时均显著高于S20对照组($P<0.05$);在低盐胁迫96 h时,各低盐胁迫组与对照组MDA含量无显著性差异($P>0.05$)。低盐胁迫下S6、S8和S10组的鳃NKA和CMA活性均呈现先上升后下降并趋于稳定的趋势;在低盐胁迫24,48和72 h时,S6和S8组的NKA和CMA活性均显著高于S10和S20组($P<0.05$)。【结论】在盐度骤降时,褐菖鲉幼鱼可以通过提高抗氧化酶和离子调节酶活性来应对环境胁迫;随着胁迫时间的延长,抗氧化酶和离子调节酶活性逐渐下降并趋于平稳。

[关键词] 褐菖鲉;低盐胁迫;抗氧化酶;离子调节酶
[中图分类号] S965.399 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)10-0031-08

Effects of low salinity stress on the antioxidase enzymes and ion-regulating enzymes in juvenile *Sebastiscus marmoratus*

JIANG Fei[1,2],SHI Yonghai[1,2],XU Jiabo[1,2],DENG Pingping[1,2],
LIU Yongshi[1,2],YUAN Xincheng[1,2],YU Aiqing[1,2]
(1 *Shanghai Fisheries Research Institute*,*Shanghai* 200433,*China*;
2 *Shanghai Fisheries Technical Extension Station*,*Shanghai* 200433,*China*)

Abstract:【Objective】The study investigated the changes in the activities of antioxidant enzymes in the liver and ion-regulating enzymes in the gills of juvenile *Sebastiscus marmoratus* under low salinity stress,to explore its ability to adapt to sudden changes in salinity.【Method】The experiment comprised four salinity gradient treatments of 6,8,10,and 20 g/L (control),denoted as S6,S8,S10,and S20 respectively. At 0,24,48,72,and 96 h,4 individuals were randomly selected,and their livers and gills were collected to determine the activities of antioxidant enzymes (SOD,CAT and GSH-Px) and ion-regulating enzymes (NKA and CMA) respectively.【Result】Under low salinity stress,the activities of SOD,CAT,and GSH-Px in S6,S8,and S10 groups

[收稿日期] 2025-08-26 [修回日期] 2025-10-15
[基金项目] 上海市水产遗传资源保护和开发利用项目(沪农委〔2025〕170号);上海领军人才项目(沪人社专2021-67号);上海长江口主要经济水生动物人工繁育工程技术研究中心项目(13DZ2251800)
[作者简介] 蒋飞(1989—),男,江苏泰兴人,高级工程师,主要从事水产养殖及繁育研究。E-mail:ygljf214@163.com
[通信作者] 徐嘉波(1982—),男,江苏无锡人,正高级农艺师,主要从事水环境监测、水产养殖及繁殖生物学研究。E-mail:shxujiabo@ 163.com

initially increased and then decreased. After low salinity stress treatment for 24 hours, the activities of SOD and CAT in S6, S8, and S10 groups were significantly higher than those in the control group S20 ($P<0.05$). After low salinity stress treatment for 48 hours, the activities of GSH-Px in S6, S8, and S10 groups were significantly higher than those in the control group S20 ($P<0.05$). After low salinity stress treatment for 24 hours and 48 hours, the MDA content in S6, S8, and S10 groups was significantly higher than that in the control group S20 ($P<0.05$). After low salinity stress treatment for 96 hours, there was no significant difference in MDA content between the low salinity stress groups and the control group ($P>0.05$). Under low salinity stress, the activities of NKA and CMA in the gills of the fish in S6, S8, and S10 groups initially increased, then decreased, and finally stabilized. After low salinity stress treatment for 24 hours, 48 hours, and 72 hours, the activities of NKA and CMA in S6 and S8 groups were significantly higher than those in S10 and S20 groups ($P<0.05$). 【Conclusion】 When salinity drops abruptly, juvenile *Sebastiscus marmoratus* respond to environmental stress by enhancing the activities of antioxidant enzymes and ion-regulatory enzymes. However, as the duration of stress increases, the activities of these enzymes gradually decrease and finally stabilize.

Key words: *Sebastiscus marmoratus*; low salinity stress; antioxidant enzymes; ion-regulating enzymes

褐菖鲉(*Sebastiscus marmoratus*)俗称石狗公、虎头鱼等,隶属鲉形目(Scorpaeniformes)、鲉科(Scorpaenidae)、菖鲉属(*Sebastiscus*),为暖水性底层鱼类,主要分布于中国、朝鲜、韩国、日本、菲律宾等国近海岩礁海域。褐菖鲉肉质细嫩、味道鲜美,素有"假石斑鱼"之称,营养和经济价值较高,是开展人工养殖和增殖放流的优良海水鱼品种之一[1]。褐菖鲉为广盐性鱼类,其幼鱼在盐度为7.5~30 g/L的水域均能够存活,生长和代谢的最适盐度为15~25 g/L[2]。

盐度是影响鱼类生长、存活、代谢及免疫的重要环境因子[3-5],盐度骤变易导致养殖对象渗透压调节机制紊乱和机体免疫力下降等生理应激反应[6-7]。褐菖鲉属于暖温性近岸底层鱼类,通常栖息在近岸岩礁以及海藻丛中,而沿海海域很容易受地表径流、降雨以及潮汐等因素的影响,盐度会在短时间内发生变化,尤其是在台风和暴雨季节,盐度变化更剧烈[1]。肝脏是鱼体内氧化反应频繁发生的器官,同时还存有脂类物质氧化应激的代谢产物丙二醛(malondialdehyde,MDA)以及大量超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)、过氧化氢酶(catalase,CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase,GSH-Px)等抗氧化酶。而当环境突然发生变化时,这些酶会在鱼类抵抗外界不良环境过程中发挥关键作用[8]。鳃是鱼类呼吸和维持体内离子与外界环境平衡的关键器官,其一方面可确保气体能够正常交换,另一方面可调节体内与体外的酸碱平衡[9-10]。ATP酶是一类分布范围比较广的膜结合蛋白酶,可以充当离子载体和通道的初动力[11],其中Na^+/K^+-ATP酶(sodium-potassium adenosine triphosphatase,NKA)通过介导细胞内外Na^+与K^+的主动跨膜运输,维持胞内高K^+、胞外高Na^+的离子浓度梯度;而Ca^{2+}/Mg^{2+}-ATP酶(calcium-magnesium adenosine triphosphatase,CMA)主要负责将细胞内Ca^{2+}泵出到胞外,以维持胞内低Ca^{2+}稳态[12]。因此,当外界盐度发生变化时,NKA和CMA能维持细胞内外的渗透压平衡,还能为鳃、肾脏等运输系统提供驱动力[13]。

为评估褐菖鲉对盐度骤变的适应性,本试验对褐菖鲉幼鱼进行急性低盐胁迫处理,通过测定肝脏MDA含量,抗氧化酶SOD、CAT、GSH-Px活性以及鳃离子调节酶NKA和CMA活性,探究褐菖鲉对盐度骤降的应激反应,以期揭示褐菖鲉对盐度变化的响应机制,为褐菖鲉的健康养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验材料与养殖条件

本试验所用褐菖鲉幼鱼为当年人工繁育的幼鱼,平均体长为(5.20±0.38) cm,平均体质量为(4.62±0.92) g/尾。试验鱼正式试验前于30 m^3水泥池暂养7 d,利用气石曝气增氧,水温为(26.0±0.4) ℃,盐度为20 g/L,早晚投喂成年鳗鱼料兑水自制的软颗粒饲料。

1.2 试验设计

从盐度20 g/L的暂养池中随机挑选褐菖鲉幼鱼,直接放入盐度为6,8,10和20(对照)g/L的30 m^3水泥池中饲养,分别记为S6、S8、S10和S20,每个水泥池中放3个聚乙烯网箱作3个重复,每个重复

30尾鱼，网箱规格为100 cm×70 cm×40 cm。试验期间不投饵，分别在处理0，24，48，72和96 h时随机取样4尾。

1.3　样品制备

将试验鱼置于冰盆上解剖，取出肝脏和鳃，并剔除附着物，用预冷的生理盐水冲洗干净并用滤纸吸干，每个重复4尾鱼的肝脏和鳃分别组成1个样品，用于检测肝脏抗氧化酶和鳃离子调节酶活性，将制备好的样品置于－80 ℃冰箱保存，待测。测定酶活性前，先将冷冻样品置于4 ℃冰箱解冻，放入预冷的离心管中，加入9倍体积预冷生理盐水，冰浴匀浆，高速冷冻离心机离心（4 ℃，2 500 r/min离心10 min），取上清液备测。

1.4　MDA含量及抗氧化酶和离子调节酶活性检测

采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定褐菖鲉肝脏MDA含量、抗氧化酶（SOD、CAT、GSH-Px）和鳃离子调节酶（NKA、CMA）的活性。

1.5　数据统计分析

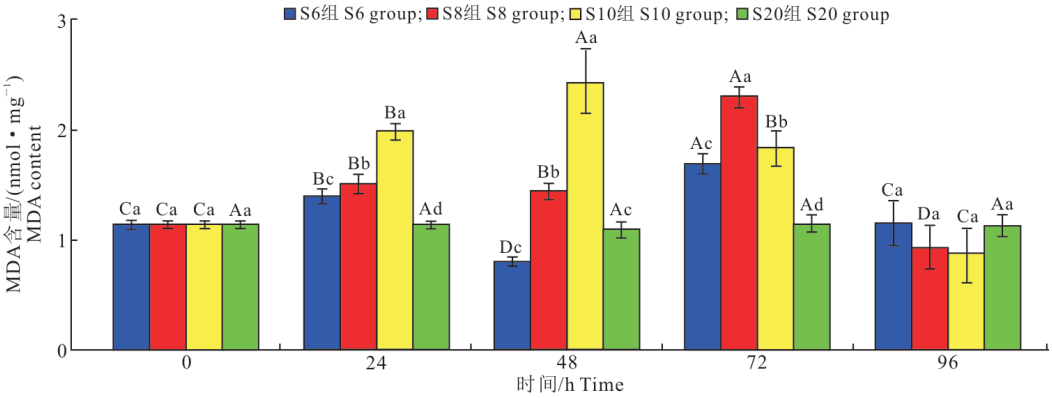
数据以“平均值±标准差”表示；采用SPSS23软件进行单因素方差分析（One-way ANOVA）和Duncan多重比较，$P<0.05$表示组间差异显著。

2　结果与分析

2.1　低盐胁迫下褐菖鲉幼鱼肝MDA含量的变化

低盐胁迫下，褐菖鲉幼鱼肝MDA含量变化情况如图1所示。由图1可知，S6和S8组MDA含量均呈现升-降-升-降的趋势，S6组MDA含量在48 h最低，并在96 h恢复至初始水平；S10组MDA含量在不同时间点呈现先上升后下降的趋势，并在96 h恢复至初始水平。S20组MDA含量在各时间点均无显著性差异（$P>0.05$）。

在24 h时，各盐度组MDA含量存在显著性差异（$P<0.05$），其大小顺序为S10>S8>S6>S20；在48 h时，S10组MDA含量显著高于其余各组（$P<0.05$），S6和S20组MDA含量无显著性差异（$P>0.05$），但均显著低于S8组（$P<0.05$）；在72 h时，各盐度组MDA含量均存在显著性差异（$P<0.05$），其大小顺序为S8>S10>S6>S20；在96 h时，各盐度组MDA含量无显著性差异（$P>0.05$）。



图柱上标不同大写字母表示同一盐度组不同时间点之间存在显著差异（$P<0.05$），标不同小写字母表示同一时间点不同盐度组之间存在显著差异（$P<0.05$）。下图同。

Different uppercase letters on the bars represent significant differences between different time points under the same salinity ($P<0.05$), and different lowercase letters represent significant differences between different salinity groups at the same time point ($P<0.05$). The same below.

图1　低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝MDA含量的影响

Fig. 1　Effects of low salinity stress on the liver MDA content of juvenile *S. marmoratus*

2.2　低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝抗氧化酶活性的影响

2.2.1　SOD活性变化　如图2所示，在0～96 h内，不同盐度组SOD活性均呈现先上升后下降的趋势。S6组SOD活性在24和48 h无显著性差异（$P>0.05$），但均显著高于其余时间点（$P<0.05$）。S8组SOD活性在24 h时最高，显著高于其余各时间点（$P<0.05$）；在96 h时活性最低，显著低于其余各时间点（$P<0.05$）。S10组SOD活性在24，48，72和96 h时逐步降低，均存在显著性差异（$P<0.05$），且在96 h时恢复至初始水平；S20组SOD活性在各时间点均无显著性差异（$P>0.05$）。

在24 h时，S6组SOD活性显著高于S20组（$P<0.05$），S8组SOD活性显著高于S6和S20组（$P<0.05$）。在48 h时，S6组SOD活性显著高于S8组和S20组（$P<0.05$）。在24，48和72 h时，S10组

SOD 活性均显著高于其余各组($P<0.05$);在 96 h 时,各盐度组 SOD 活性均无显著性差异($P>0.05$)。

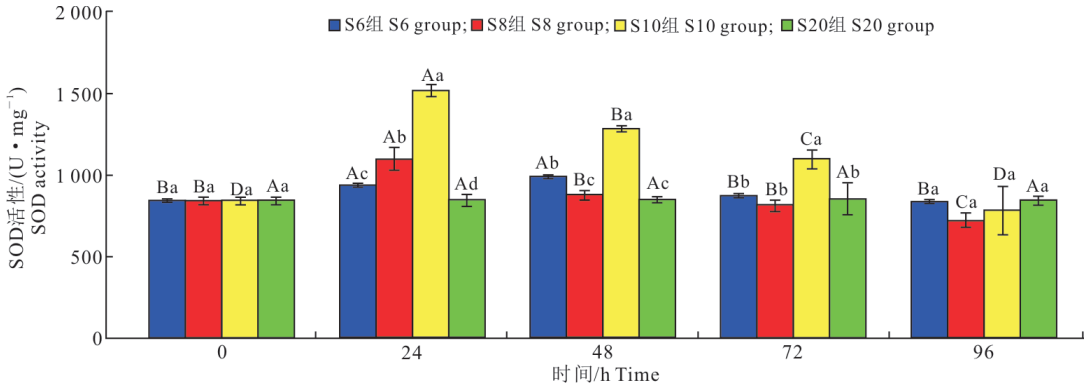


图 2 低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝 SOD 活性的影响

Fig. 2 Effects of low salinity stress on the liver SOD activity of juvenile *S. marmoratus*

2.2.2 CAT 活性变化 低盐胁迫下,褐菖鲉幼鱼肝 CAT 活性变化情况如图 3 所示。由图 3 可知,S6、S8 和 S10 组 CAT 活性随时间的延长呈现先上升后下降的趋势,且均在 24 h 达到峰值,显著高于其他时间点($P<0.05$)。S6 组 CAT 活性在 48 和 72 h 显著高于 96 h($P<0.05$);S8 和 S10 组在 48 h 时 CAT 活性显著高于 72 和 96 h($P<0.05$),且 S10 组 CAT 活性在 72 h 时显著高于 96 h($P<0.05$);S20 组 CAT 活性在各时间点均无显著性差异($P>0.05$)。

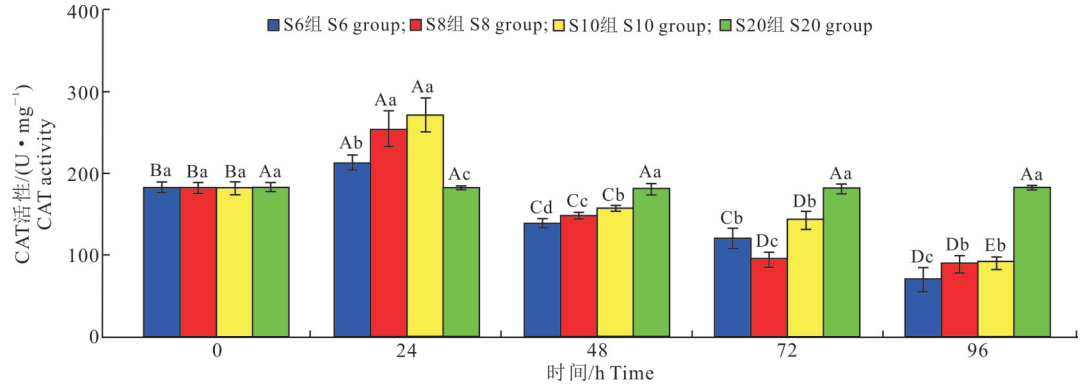


图 3 低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effects of low salinity stress on the liver CAT activity of juvenile *S. marmoratus*

在 24 h 时,S8 和 S10 组 CAT 活性无显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 S6 和 S20 组($P<0.05$)。在 48 h 时,CAT 活性和盐度呈正相关,且各盐度组间均存在显著差异($P<0.05$)。在 72 和 96 h 时,S20 组 CAT 活性均显著高于其余各组($P<0.05$);在 72 h 时 S6 和 S10 组 CAT 活性无显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 S8 组($P<0.05$);在 96 h 时 S8 和 S10 组 CAT 活性无显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 S6 组($P<0.05$)。

2.2.3 GSH-Px 活性变化 低盐胁迫下,褐菖鲉幼鱼肝 GSH-Px 活性变化情况如图 4 所示。由图 4 可知,各盐度组 GSH-Px 活性随时间的延长呈现先上升后下降的趋势。S6、S8 和 S10 组在 24 h 时 GSH-Px 活性显著高于 72 和 96 h($P<0.05$);S6、S8 和 S10 组在 48 h 时 GSH-Px 活性出现峰值,均显著高于其他时间点($P<0.05$);S6、S8 和 S10 组在 72 h 时 GSH-Px 活性显著高于 96 h($P<0.05$);S20 组 GSH-Px 活性在各时间点均无显著性差异($P>0.05$)。

在 24 h 时,各盐度组 GSH-Px 活性无显著性差异($P>0.05$)。在 48 h 时,S10 组 GSH-Px 活性显著高于其余各组($P<0.05$);S6 和 S8 组 GSH-Px 活性无显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 S20 组。在 72 h,S6 组 GSH-Px 活性显著低于其余各组;S10 和 S20 组 GSH-Px 活性无显著性差异($P>0.05$),但均显著高于 S8 组($P<0.05$)。在 96 h 时,各盐度组 GSH-Px 活性均存在显著性差异($P<0.05$),其大小顺序为 S20>S10>S6>S8。

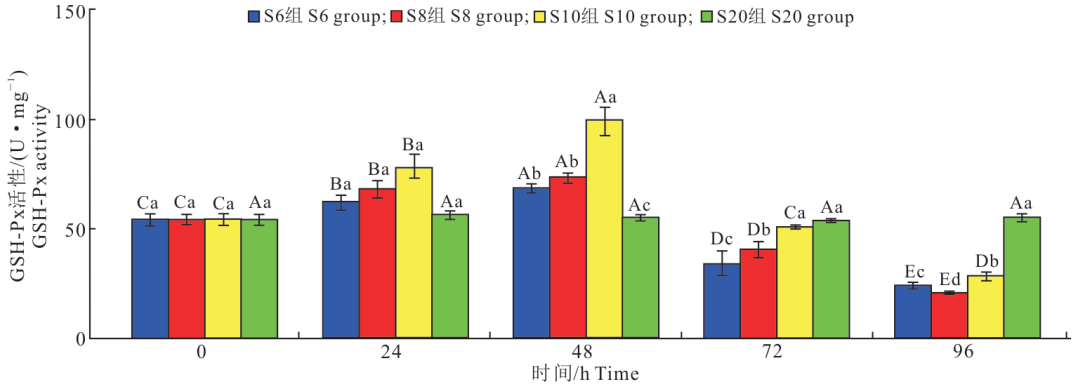


图 4　低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝 GSH-Px 活性的影响

Fig. 4　Effects of low salinity stress on the liver GSH-Px activity of juvenile *S. marmoratus*

2.3　低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼鳃离子调节酶活性的影响

2.3.1　NKA 活性变化　低盐胁迫下，褐菖鲉幼鱼鳃 NKA 活性变化情况如图 5 所示。由图 5 可知，不同盐度组 NKA 活性随时间的延长均呈现先上升后下降的趋势，S6 组 NKA 活性在 24，48，72 和 96 h 时均存在显著性差异（$P<0.05$），S6 和 S10 组 NKA 活性在 96 h 时均恢复至初始（0 h）水平。S8 组 NKA 活性在 24 和 48 h 时无显著性差异（$P>0.05$），但均显著高于其余各时间点，在 72 h 时与其余时间点均存在显著差异（$P<0.05$）。S10 组 NKA 活性在 24 和 48 h 时无显著性差异（$P>0.05$），但均显著高于 72 和 96 h 时（$P<0.05$），在 72 和 96 h 时无显著性差异（$P>0.05$），且试验期间 S10 组 NKA 活性与初始值均无显著性差异（$P>0.05$）。

在 24，48 和 72 h 时，S6 和 S8 组 NKA 活性均显著高于 S10 和 S20 组，且 S6 组 NKA 活性也均显著高于 S8 组。在 96 h 时，各盐度组 NKA 活性均无显著性差异（$P>0.05$）。

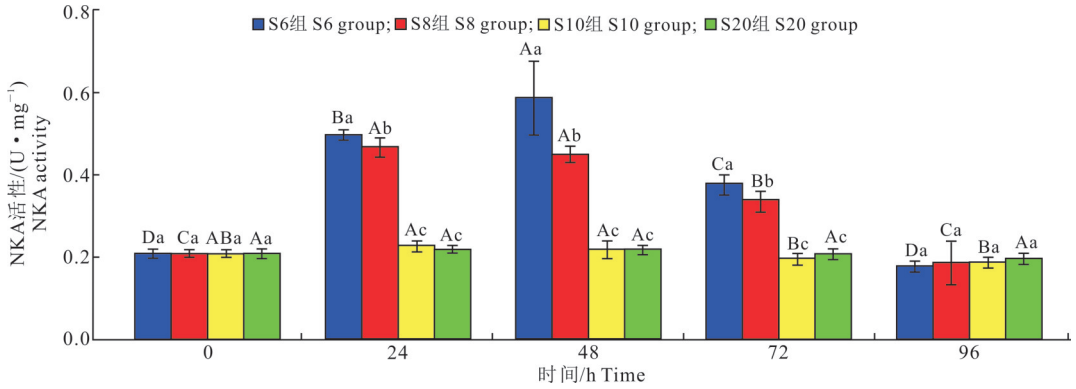


图 5　低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝 NKA 活性的影响

Fig. 5　Effects of low salinity stress on the liver NKA activity of juvenile *S. marmoratus*

2.3.2　CMA 活性变化　如图 6 所示，在 0～96 h 内，不同盐度组 CMA 活性均呈现先上升后下降的趋势，S6 组 CMA 活性在 48 h 达到峰值，且显著高于其他时间点（$P<0.05$）；S8 组 CMA 活性在 24 和 48 h 时无显著性差异（$P>0.05$），但是均显著高于其他时间点（$P<0.05$）；S10 组 CMA 活性在 24 h 达到峰值，且显著高于其他时间点（$P<0.05$）；S20 对照组 CMA 活性在各时间点均无显著性差异（$P>0.05$）。

在 24，48，72 h 时，S6 和 S8 组 CMA 活性均显著高于 S10 和 S20 组（$P<0.05$）；在 48 和 72 h 时，S6 组的 CMA 活性显著高于 S8 组，而在 24 h 时两者无显著性差异（$P>0.05$）；在 96 h 时，S6 组 CMA 活性显著高于其余 3 组（$P<0.05$），而其余 3 组间无显著性差异（$P>0.05$）。

3　讨　论

3.1　低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼脂质过氧化与氧化损伤的影响

盐度骤变对鱼类的应激刺激极强，易引发机体代谢紊乱，同时加剧其氧化应激的压力[14]。MDA 作为氧化损伤标志物，能够反映机体细胞遭受氧化损伤的严重程度[15-16]，其含量变化与机体氧化应激

水平呈正相关,氧化应激增强,MDA含量升高,鱼体所受的压力增大[17]。有研究表明,大黄鱼(*Larimichthys crocea*)[18]、褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)[19]和大海马(*Hippocampus kuda*)[20]在低盐胁迫下,其MDA含量均呈上升趋势。本研究中S6、S8和S10组的MDA含量在24和72 h时均显著高于对照组S20组,说明低盐胁迫后褐菖鲉幼鱼代谢加快,脂质过氧化程度增强,但随着胁迫时间的延长,在96 h时各低盐胁迫组的MDA含量均恢复至初始水平,与对照组MDA含量无显著性差异,说明褐菖鲉幼鱼对低盐胁迫具有较强的适应能力,可以通过调节体内抗氧化酶活性,使体内脂质过氧化程度降低,这与前人在点篮子鱼(*Siganus guttatus*)上的研究结果[21]相似。

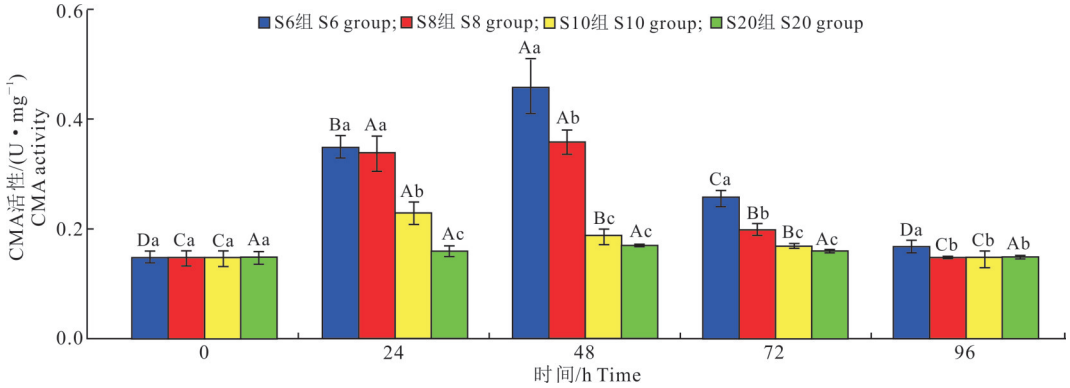


图6 低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝CMA活性的影响

Fig. 6 Effects of low salinity stress on the liver CMA activity of juvenile *S. marmoratus*

3.2 低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼肝抗氧化能力的影响

鱼类的肝脏是其新陈代谢的重要器官[22],而肝脏中抗氧化酶活性能够反映鱼类自身的抗氧化能力[23-24]。当鱼类遭遇盐度胁迫时,会引发抗氧化应激反应,这一过程会促使机体生成过量氧自由基,进而造成氧化胁迫,最终导致机体代谢出现紊乱[25]。在鱼类抗氧化系统中,SOD与CAT能有效清除机体内的活性氧自由基,GSH-Px则将过氧化物还原成羟基化合物,在抵御氧化胁迫中发挥重要的保护作用[1]。有研究表明,黄姑鱼(*Nibea albiflora*)[14]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)[18]、点篮子鱼(*Siganus guttatus*)[26]、黑鲷(*Acanthopagrus schlegeli*)[27]和钝吻黄盖鲽(*Pleuronectes yokohama*)[28]在低盐胁迫下,其抗氧化酶活性呈先上升后下降的趋势。本研究中,在低盐胁迫24 h时,S6、S8和S10组的SOD和CAT活性均显著高于S20对照组;在低盐胁迫48 h时,S6、S8和S10组的GSH-Px活性均显著高于S20对照组,说明低盐胁迫可诱导抗氧化应激反应,从而导致褐菖鲉幼鱼产生过多的氧自由基,导致其代谢紊乱。而S6、S8和S10组SOD、CAT和GSH-Px活性在低盐胁迫下均呈现先上升后下降的趋势,和上述研究结果相符,说明褐菖鲉幼鱼在应对低盐胁迫时首先激活抗氧化酶活性,以消除机体产生的过多活性氧自由基,但随着低盐胁迫时间的延长,其对低盐胁迫的反应降低,表现出抗氧化酶活力下降。

3.3 低盐胁迫对褐菖鲉幼鱼渗透压调节的影响

鳃是鱼类离子调控的重要器官之一,ATP酶是机体渗透压调节的重要蛋白酶,其中离子调节酶NKA和CMA在离子转运方面发挥着重要作用[29]。有研究表明,在斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)[30]和多鳞四指马鲅(*Eleutheronema rhadinum*)[31]的低盐驯化过程中,其鳃丝NKA活性均呈现先升高后降低并趋于稳定的趋势。黄鳍棘鲷幼鱼在盐度从20 g/L降至5 g/L时,鳃丝NKA和CMA活性均出现先升高后下降的趋势。本研究结果显示,S20对照组的NKA和CMA活性在各时间点均比较稳定,无显著性变化;低盐胁迫S6、S8和S10组的NKA和CMA活性均呈现先上升后下降并趋于稳定的趋势;褐菖鲉幼鱼在24,48和72 h时,S6和S8组的NKA和CMA活性均显著高于S10和S20组,且S10组除了在24 h时CMA活性显著高于S20组外,其余时间点与S20组的NKA和CMA活性均无显著性差异,表明盐度下降至10 g/L时,褐菖鲉幼鱼在胁迫短时间内就可以将渗透压调节平衡,恢复至对照组S20组的正常水平。而盐度下降至6和8 g/L时,褐菖鲉幼鱼体内的渗透压失去平衡,因此通过NKA和CMA活性升高来进行调节,随着低盐胁迫时间的延长,渗透压平衡逐步稳定,NKA和CMA活性又逐渐下降并趋于平稳。

4　结　论

褐菖鲉幼鱼在盐度骤降时可以显著提高机体抗氧化水平，从而消除机体产生的过多活性氧自由基，同时盐度骤降也会促使褐菖鲉幼鱼离子调节酶升高，以调节体内渗透压的平衡。在养殖生产实践中，应充分考虑盐度骤降对褐菖鲉幼鱼的影响，通过盐度的及时调整，降低氧化应激，减少渗透生理的耗能，以保障褐菖鲉幼鱼良好的生长环境。

[参考文献]

[1] 蒋飞，徐嘉波，林琪，等. 盐度胁迫对褐菖鲉幼鱼消化酶和非特异性免疫酶的影响[J]. 渔业研究，2024，46(2)：129-135.
JIANG F，XU J B，LIN Q，et al. Effects of salinity on digestive enzyme and non-specific immune enzyme of juvenile *Sebastiscus marmoratus*[J]. Journal of Fisheries Research，2024，46(2)：129-135.

[2] 严银龙，袁新程，施永海，等. 盐度对褐菖鲉幼鱼生长、耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报，2019，34(4)：545-551.
YAN Y L，YUAN X C，SHI Y H，et al. Effects of salinity on growth，oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of juvenile marbled rockfish *Sebastisucus marmoratus*[J]. Journal of Dalian Ocean University，2019，34(4)：545-551.

[3] 孙鹏，尹飞，彭士明，等. 盐度对条石鲷幼鱼肝脏抗氧化酶活力的影响[J]. 海洋渔业，2010，32(2)：154-159.
SUN P，YIN F，PENG S M，et al. Effects of salinity on the activity of antioxidant enzymes in livers of juvenile *Oplegnathus fasciatus*[J]. Marine Fisheries，2010，32(2)：154-159.

[4] IMSLAND A K，GÚSTAVSSON A，GUNNARSSON S，et al. Effects of reduced salinities on growth，feed conversion efficiency and blood physiology of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.)[J]. Aquaculture，2008，274(2/3/4)：254-259.

[5] 强俊，任洪涛，徐跑，等. 温度与盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼生长和肝脏抗氧化酶活力的协同影响[J]. 应用生态学报，2012，23(1)：255-263.
QIANG J，REN H T，XU P，et al. Synergistic effects of water temperature and salinity on the growth and liver antioxidant enzyme activities of juvenile GIFT *Oreochromis niloticus*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2012，23(1)：255-263.

[6] 何亮银，史晓丽，周逢芳，等. 低盐胁迫对大黄鱼非特异性免疫酶活力的影响[J]. 应用海洋学学报，2022，41(2)：347-354.
HE L Y，SHI X L，ZHOU F F，et al. Effect of low salinity stress on non-specific immunity enzymetic activity of *Larimichthys crocea*[J]. Journal of Applied Oceanography，2022，41(2)：347-354.

[7] JARVIS P L，BALLANTYNE J S. Metabolic responses to salinity acclimation in juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*[J]. Aquaculture，2003，219(1/2/3/4)：891-909.

[8] KANAK E G，DOGAN Z，E ROGLU A，et al. Effects of fish size on the response of antioxidant systems of *Oreochromis niloticus* following metal exposures[J]. Fish Physiology and Biochemistry，2014，40(4)：1083-1091.

[9] HUANG C Y，CHAO P L，LIN H C. Na^+/K^+-ATPase and vacuolar-type H^+-ATPase in the gills of the aquatic air-breathing fish *Trichogaster microlepis* in response to salinity variation[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A：Molecular & Integrative Physiology，2010，155(3)：309-318.

[10] ROMBOUGH P. The functional ontogeny of the teleost gill：which comes first，gas or ion exchange?[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A：Molecular & Integrative Physiology，2007，148(4)：732-742.

[11] YANG W K，HSEU J R，TANG C H，et al. Na^+/K^+-ATPase expression in gills of the euryhaline sailfin molly，*Poecilia latipinna*，is altered in response to salinity challenge[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology，2009，375(1/2)：41-50.

[12] 朱友芳，肖懿哲，李文辉，等. 低盐胁迫对黄鳍棘鲷幼鱼存活率、鳃ATP酶和肝脏抗氧化酶的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版)，2013，52(3)：414-420.
ZHU Y F，XIAO Y Z，LI W H，et al. Effects of low salinity stress on survival rate，gill ATPase and liver antioxidant enzymes in the Young Yellowfin porgy *Acanthopagrus latus*[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science)，2013，52(3)：414-420.

[13] LIN C H，TSAI R S，LEE T H. Expression and distribution of Na，K-ATPase in gill and kidney of the spotted green pufferfish，*Tetraodon nigroviridis*，in response to salinity challenge[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A：Molecular & Integrative Physiology，2004，138(3)：287-295.

[14] 张晨捷，张艳亮，高权新，等. 低盐胁迫对黄姑鱼幼鱼肝脏抗氧化功能的影响[J]. 南方水产科学，2015，11(4)：59-64.
ZHANG C J，ZHANG Y L，GAO Q X，et al. Effect of low salinity stress on antioxidant function in liver of juvenile *Nibea albiflora*[J]. South China Fisheries Science，2015，11(4)：59-64.

[15] 廖雅丽，张晨捷，彭士明，等. 盐度对云纹石斑鱼抗氧化酶及溶菌酶活性的影响[J]. 上海海洋大学学报，2016，25(2)：169-176.
LIAO Y L，ZHANG C J，PENG S M，et al. Effects of salinity on activities of liver antioxidant enzymes and plasma lysozyme of *Epinehelus moara*[J]. Journal of Shanghai Ocean University，2016，25(2)：169-176.

[16] LASAR A，MARENFELD R，WIRTH T，et al. NF-κB：critical regulator of inflammation and the immune response[M]. Berlin，Heidelberg：Springer-Verlag Berlin Heidelberg，2004：325-376.

[17] 王小燕，周胜杰，汪迎港，等. 海水酸化对黄鳍金枪鱼幼鱼抗氧化和免疫能力的影响[J]. 南方水产科学，2024，20(3)：85-91.
WANG X Y，ZHOU S J，WANG Y G，et al. Effects of acidification stress on antioxidant and immunity in juvenile yellowfin

tuna (*Thunnus albacares*)[J]. South China Fisheries Science, 2024,20(3):85-91.

[18] 李莉珍,张惠,曾霖,等. 盐度胁迫对大黄鱼肝脏氧化损伤的作用机制[J]. 海洋渔业,2024,46(3):334-342.
LI L Z, ZHANG H, ZENG L, et al. Mechanism of salinity stress on oxidative damage in the liver of *Larimichthys crocea* [J]. Marine Fisheries,2024,46(3):334-342.

[19] 郭勤单,王有基,吕为群. 温度和盐度对褐牙鲆幼鱼渗透生理及抗氧化水平的影响[J]. 水生生物学报,2014,38(1):58-67.
GUO Q D, WANG Y J, LÜ W Q. Combined effects of temperature and salinity on the physiological osmotic induction and antioxidant responses in the juvenile Japanese Flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(1):58-67.

[20] 徐永健,孙彬. 盐度胁迫对大海马(*Hippocampus kuda*)幼体生长、组分及酶活力的影响[J]. 海洋与湖沼,2012,43(6):1279-1285.
XU Y J, SUN B. Effect of salinity stress on the growth, body composition and enzyme activities of juvenile *Hippocampus kuda* [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(6):1279-1285.

[21] 宋志明,刘鉴毅,庄平,等. 低温胁迫对点篮子鱼幼鱼肝脏抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 海洋渔业,2015,37(2):142-150.
SONG Z M, LIU J Y, ZHUANG P, et al. Influence of low-temperature stress on the antioxidant enzymes activities and malondialdehyde contents in liver of juvenile *Siganus guttatas* [J]. Marine Fisheries,2015,37(2):142-150.

[22] 陈庆凯. 低盐胁迫对黄姑鱼幼鱼血清免疫和抗氧化性能的影响[J]. 海洋渔业,2014,36(6):516-522.
CHEN Q K. Effects of low salinity stress on antioxidant and immune parameters in serum of juvenile *Nibea albiflora*[J]. Marine Fisheries,2014,36(6):516-522.

[23] 强俊,王辉,李瑞伟,等. 盐度对奥尼罗非鱼仔、稚鱼生长、存活及其消化酶活力的影响[J]. 南方水产,2009,5(5):8-14.
QIANG J, WANG H, LI R W, et al. Effects of salinities on growth, survival and digestive enzymes activity of larval hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)[J]. South China Fisheries Science,2009,5(5):8-14.

[24] FILHO D W, GIULIVI C, BOVERIS A. Antioxidant defences in marine fish: I. teleosts[J]. Comparative Biochemistry and Physiology part C: Pharmacology Toxicology and Endocrinology, 1993, 106(2):409-413.

[25] MARTÍNEZ-ÁLVAREZ R M, MORALES A E, SANZ A. Antioxidant defenses in fish: biotic and abiotic factors[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2005, 15(1/2):75-88.

[26] 庄平,王好,章龙珍,等. 盐度骤降对点篮子鱼存活率及肝脏抗氧化酶活性的影响[J]. 复旦学报(自然科学版),2011,50(3):366-372.
ZHUANG P, WANG Y, ZHANG L Z, et al. The effects of ambient salinity decrement on survival and the activity of antioxidant enzymes in livers of *Siganus guttatus*[J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2011, 50(3):366-372.

[27] AN K W, KIM N N, SHIN H S, et al. Profiles of antioxidant gene expression and physiological changes by thermal and hypoosmotic stresses in black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*)[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2010, 156(2):262-268.

[28] 崔前进,陈冰,邱丽华,等. 低盐胁迫对钝吻黄盖鲽幼鱼鳃Na^+/K^+-ATP酶、肝脏抗氧化酶和非特异免疫酶的影响[J]. 广东海洋大学学报,2017,37(6):26-32.
CUI Q J, CHEN B, QIU L H, et al. Influence of low salinity stress on the gill Na^+/K^+-ATPase, liver antioxidase, and non-specific immune enzyme in juvenile *Peneuploa marmorata*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2017, 37(6):26-32.

[29] 施兆鸿,张晨捷,彭士明,等. 低盐胁迫对黄姑鱼(*Nibea albiflora*)幼鱼鳃离子调节、呼吸代谢酶和皮质醇的影响[J]. 渔业科学进展,2015,36(6):22-28.
SHI Z H, ZHANG C J, PENG S M, et al. Effects of low-salinity stress on the ion regulation, respiratory metabolic enzymes and serum cortisol in the gill of *Nibea albiflora* Juvenile[J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(6):22-28.

[30] 余德光,杨宇晴,王海英,等. 盐度变化对斜带石斑鱼生理生化因子的影响[J]. 水产学报,2011,35(5):719-727.
YU D G, YANG Y Q, WANG H Y, et al. The effect of salinity change on physiology and biochemistry of *Epinephelus coioides*[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(5):719-727.

[31] 张琴星,张涛,侯俊利,等. 盐度变化对多鳞四指马鲅幼鱼鳃丝Na^+/K^+-ATP酶及肝脏抗氧化酶活性的影响[J]. 海洋渔业,2013,35(3):324-330.
ZHANG Q X, ZHANG T, HOU J L, et al. Effects of salinity on activities of gill Na^+/K^+-ATPase and liver antioxidase in juvenile *Eleutheronema rhadinum*[J]. Marine Fisheries, 2013, 35(3):324-330.

(责任编辑:马秋明)