

DOI:10.3969/j.issn.2096-8248.2024.01.001

## 低盐驯化对台湾泥鳅抗氧化能力的影响\*

左梓臣<sup>1</sup>,朱明<sup>1</sup>,王纯<sup>1</sup>,颜秉龙<sup>2</sup>,陈建华<sup>1</sup>,张宇傲<sup>1</sup>,李文鑫<sup>1</sup>,  
张智翔<sup>1</sup>,陈嘉豪<sup>1</sup>,蒋壮<sup>1</sup>,苗德霞<sup>1</sup>,张家敏<sup>3</sup>

- 江苏海洋大学海洋科学与水产学院,江苏连云港 222005;
- 连云港市水利规划设计院有限公司,江苏连云港 222006;
- 连云港市银合泥鳅有限公司,江苏连云港 222000

**摘要:**台湾泥鳅对低盐度具有一定的耐受性,探讨通过低盐驯化来提高其耐盐特性的可行性。实验分为盐度骤变实验(0,4,8,12)和盐度驯化实验(每7 d增加盐度4,分别标记为0,4,4-8,4-12,4-8-12)两个部分,测定其肌肉组织在不同时间点的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)的活性及过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)与丙二醛(MDA)含量。实验结果表明:①盐度骤变实验中,各盐度组的SOD与CAT活性在1 d内呈先升高后下降趋势;盐度8与12组的SOD活性第6 d时显著低于对照组( $P < 0.05$ ),而CAT活性与对照组没有差异( $P > 0.05$ );各个盐度处理组的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量呈缓慢上升趋势;MDA含量在6 h内快速上升,随后下降并在第3 d时恢复至正常水平。②盐度驯化实验中,盐度4-12组的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>与MDA含量、SOD与CAT酶活性在1 d内显著高于盐度4-8-12组( $P < 0.05$ )。结果表明,盐度升高对台湾泥鳅生理具有显著的影响,并随盐度升高产生了一定的氧化胁迫作用。同时台湾泥鳅可以通过生理调节表现出较强的耐盐能力和适应性;多级盐度驯化有利于缓解高盐度的氧化胁迫。因此,以适当方式提高养殖水体盐度,有利于促进台湾泥鳅适应低盐度水体的能力,提高其在盐碱水体中的成活率和产量,从而为盐碱水体的综合利用提供一个新的养殖品种。

**关键词:**台湾泥鳅;盐度驯化;抗氧化能力;过氧化氢;丙二醛

**中图分类号:**S9 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-8248(2024)01-0001-08

**引用格式:**左梓臣,朱明,王纯,等.低盐驯化对台湾泥鳅抗氧化能力的影响[J].江苏海洋大学学报(自然科学版),2024,33(1):1-8.

## Effects of Low Salt Acclimation on the Antioxidant Capacity of *Paramisgurnus dabryanus* ssp.

ZUO Zichen<sup>1</sup>, ZHU Ming<sup>1</sup>, WANG Chun<sup>1</sup>, YAN Binglong<sup>2</sup>, CHEN Jianhua<sup>1</sup>, ZHANG Yuao<sup>1</sup>,  
LI Wenxin<sup>1</sup>, ZHANG Zhixiang<sup>1</sup>, CHEN Jiahao<sup>1</sup>, JIANG Zhuang<sup>1</sup>, MIAO Dexia<sup>1</sup>, ZHANG Jiamin<sup>3</sup>

- School of Marine Science and Fisheries, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;
- Lianyungang Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Lianyungang 222006, China;
- Lianyungang Yinhe Loach Co., Ltd., Lianyungang 222000, China)

**Abstract:** *Paramisgurnus dabryanus* ssp. has a certain tolerance to low salinity, and the feasibility of improving its salt tolerance characteristics through low salt domestication is explored. The salinity abrupt change (0,4,8,12) and salinity acclimation experiments were conducted on *Pa-*

\* 收稿日期:2023-07-05;修订日期:2023-10-13

基金项目:江苏省现代农机装备与技术示范推广项目(NJ2021-05);连云港市科技成果转化项目(CA202202)

作者简介:左梓臣(1998—),男,江苏宿迁人,硕士研究生,研究方向为水产健康养殖,(E-mail)844036503@qq.com。

通信作者:朱明(1967—),男,江苏宿迁人,教授,博士,研究方向为水产健康养殖,(E-mail)zhuming2382@163.com。

*ramisgurnus dabryanus* ssp. (4 salinities were added every 7 days, denoted as 0, 4, 4-8, 4-12, 4-8), and samples were taken at different time points. The activities and contents of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in muscle tissue were determined. The results showed as follows: ① In the salinity mutation experiment, salinity had a significant effect on the activity of related antioxidant enzymes in muscle tissue of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. SOD in each salinity group increased continuously within 1 day, and then began to decline. The salinity in group 8 reached its maximum value on the first day and was significantly higher than that in the control group, and was significantly lower than that in the control group on the sixth day ( $P < 0.05$ ). The trend of CAT activity was similar to that of SOD activity ( $P > 0.05$ ). The variation trend of MDA content was firstly increased and then decreased with time, and the content of MDA in all groups reached the highest level at 6 h, and basically recovered to the normal level at the third day. ② In the salinity acclimation experiment, the  $H_2O_2$  and MDA content, SOD and CAT enzyme activity of the salinity 4-12 group were significantly higher than those of the salinity 4-8-12 group within 1 day ( $P < 0.05$ ). The above results showed that the increase of salinity had a significant effect on the physiology of *Paramisgurnus dabryanus* ssp., and with the increase of salinity, there was a certain stress effect. Meanwhile, *Paramisgurnus dabryanus* ssp. showed strong salt tolerance and adaptability through physiological regulation, and could generally adapt to the changes of water salinity. Therefore, increasing the salinity of aquaculture water in an appropriate way is beneficial for promoting the ability of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. to adapt to low salinity water, improving its survival rate and yield in saline alkali water, and thus providing a new breeding variety for the comprehensive utilization of saline alkali water.

**Key words:** *Paramisgurnus dabryanus* ssp.; salinity acclimation; antioxidant capacity; hydrogen peroxide; malondialdehyde

## 0 引言

台湾泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus* ssp.)属鳅科、副泥鳅属<sup>[1]</sup>,主要分布于我国台湾地区的浅滩、沟渠以及大陆地区东南部淡水水域。台湾泥鳅具有生长快、个体大、抵御病害能力强、能够进行高密度人工养殖、易捕捞且兼具药食两用价值等优点,被引进到内陆地区进行规模化养殖。目前关于台湾泥鳅养殖的研究报道多集中于生长特性<sup>[1]</sup>、养殖与鱼苗培育技术<sup>[2-3]</sup>、人工繁殖和早期发育<sup>[4]</sup>、营养成分<sup>[5-7]</sup>等方面。

近年来,由于淡水养殖水域面积不断减小和高密度集约化养殖等带来泥鳅病害流行等问题的加剧,探索在盐碱水体中进行泥鳅养殖是解决上述问题的方法之一,有助于泥鳅人工养殖产业的可持续和健康发展。有研究表明,在盐度2的水体中饲养淡水鱼鲤鱼、草鱼和俄罗斯鲟,它们对饲料的转化率明显增高,生长性能较好<sup>[8]</sup>。在适宜的盐度范围内,它们能够获得相对较好的生长性能,且生长率较高;

但是当水体盐度超过该范围时,就会对鱼类的生理机能产生一定的负面影响<sup>[9]</sup>。有研究表明,盐度等环境因子发生改变时,鱼类将产生相应的应激反应,并依靠激活机体自身的免疫力加以应对。比如外界盐度发生变化导致鱼体氧自由基激增,当其数量累积到一定程度时,会激活鱼体自身的防御功能,其中过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)的功能是消除氧自由基。当鱼类受到不适的环境条件胁迫时,其体液与外界水环境间渗透压平衡会被破坏,从而引发一系列的应激行为发生。一些如超氧阴离子( $O_2^-$ )、过氧化氢( $H_2O_2$ )等活性氧自由基会在此过程中产生,其中过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)的功能是消除氧自由基;而当这些产物的量超过一定限度时,就会损害鱼体细胞膜造成损伤,并引发脂质过氧化反应的发生,所衍生出的中间代谢产物为丙二醛(MDA)。由于盐度变化导致鱼体体内有害自由基数量猛增,发生脂质过氧化反应,而MDA含量的变化情况能够直接表达细胞受侵害情况<sup>[10]</sup>。

本研究通过考察不同盐度处理及盐度驯化对台湾泥鳅肌肉组织中过氧化氢( $H_2O_2$ )与丙二醛(MDA)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)与过氧化氢酶(CAT)活性生理指标的影响,旨在揭示台湾泥鳅对低盐度的适应能力,探讨通过盐度驯化提高其耐盐水平的可行性,为解释台湾泥鳅对盐度胁迫的适应机制提供理论依据,并为台湾泥鳅的盐度驯化和半咸水综合养殖提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验所用台湾泥鳅由连云港市银合泥鳅有限公司人工繁殖获得,随机抽取规格整齐、健康且游动正常的个体,平均体质量为 $(19.34 \pm 3.12)$ g,体长 $(10.55 \pm 0.59)$ cm;在直径 120 cm、高 60 cm 的养殖桶(70 L)内暂养,温度为 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,水体溶解氧维持在 6.5 mg/L 以上。每天早 8:00、晚 17:00 分别按照泥鳅体质量的 2% 投喂泥鳅膨化配合饲料(江

苏长寿集团生产),及时清理残饵、粪便及杂质等,经过 1 周适应后开始正式实验。

### 1.2 实验方法

台湾泥鳅进行盐度骤变实验(盐度 0, 4, 8, 12)和盐度驯化实验(每 7 d 盐度提高 4, 分别记为盐度 0, 4, 4-8, 4-12, 4-8-12)。实验用水为经 24 h 曝气的自来水与速溶海水晶(浙江蓝海星生产),盐度 0 为对照组,每个处理设 3 个重复。停止投喂饲料 24 h 后,随机选取体色正常、游动正常且无伤病的台湾泥鳅。每个重复组盐度处理方法与取样时间如表 1 所示。实验条件、日常管理条件与暂养期间保持一致。采用 SMART SENSOR AR8012 型盐度计测定和校准盐度。实验结束后,各组存活率为 100%,各取 10 尾泥鳅。台湾泥鳅肌肉组织中的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢( $H_2O_2$ )、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)的含量及活性的测定均采用南京建成生物工程研究所的检测试剂盒,实验按照相应说明书进行操作,测得吸光值后按照说明书相应公式计算酶活力值。

表 1 盐度驯化实验各盐度组加盐方法

Table 1 Salinity increment gradient in salinity acclimatization trial

盐度	第 6 h	第 1 d	第 3 d	第 7 d	加盐后				再次加盐后			
					第 6 h	第 1 d	第 3 d	第 7 d	第 6 h	第 1 d	第 3 d	第 7 d
0	0	0	0	0	/	/	/	/	/	/	/	/
4	4	4	4	4	/	/	/	/	/	/	/	/
4-8	4	4	4	4	8	8	8	8	/	/	/	/
4-12	4	4	4	4	12	12	12	12	/	/	/	/
4-8-12	4	4	4	4	8	8	8	12	12	12	12	12

注:表中“/”表示该组已取样完毕。

### 1.3 数据处理

实验数据利用 Excel 办公软件进行整理,运用软件 Origin 9.1 进行数据分析;其中差异性使用 one-way ANOVA 和 LSD 进行分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐度处理对台湾泥鳅肌肉组织过氧化氢( $H_2O_2$ )质量浓度的影响

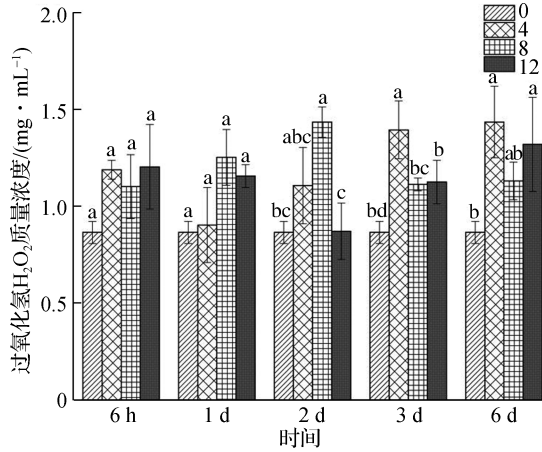
在不同盐度处理条件下,台湾泥鳅肌肉组织中  $H_2O_2$  质量浓度变化情况如图 1 所示。所有盐度处理组的  $H_2O_2$  质量浓度逐步升高后并保持在稳定的水平;1 d 内盐度组与对照组相比无显著性差异( $P > 0.05$ );盐度 4、盐度 8 和盐度 12 处理组分别在第 3 d、2 d 和 6 d 显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

经过不同盐度驯化处理的台湾泥鳅肌肉组织中过氧化氢( $H_2O_2$ )质量浓度变化如图 2 所示。不同盐度驯化组的  $H_2O_2$  质量浓度均有上升的趋势,其中 4-12 组  $H_2O_2$  质量浓度在 1 d 内显著高于其他各处理组( $P < 0.05$ ),而在第 3 d 与盐度 4-8-12 组之间没有显著差异( $P > 0.05$ ),在第 7 d 与其他盐度驯化组没有显著差异( $P > 0.05$ ),但仍然显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同盐度处理对台湾泥鳅肌肉组织超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

在不同盐度处理条件下,台湾泥鳅肌肉组织中超氧化物歧化酶(SOD)活性变化如图 3 所示。所有盐度处理组的 SOD 活性存在先升高后降低的趋势,并在 1 d 达到峰值;但与对照组相比,盐度 4 和 12 组均无显著差异( $P > 0.05$ );而盐度 8 组高于其他

盐度处理组( $P < 0.05$ )。第3 d所有盐度处理组与对照组无显著差异( $P > 0.05$ ),而在第6 d盐度8与12组则显著低于对照组( $P < 0.05$ )。



注:不同小写字母表示不同处理组之间存在显著差异, $P < 0.05$ ;竖线表示 $\pm$ SD( $n=3$ )。下同。

图1 不同盐度条件下台湾泥鳅肌肉过氧化氢( $H_2O_2$ )质量浓度变化

Fig. 1 Changes of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) content in muscle of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity conditions

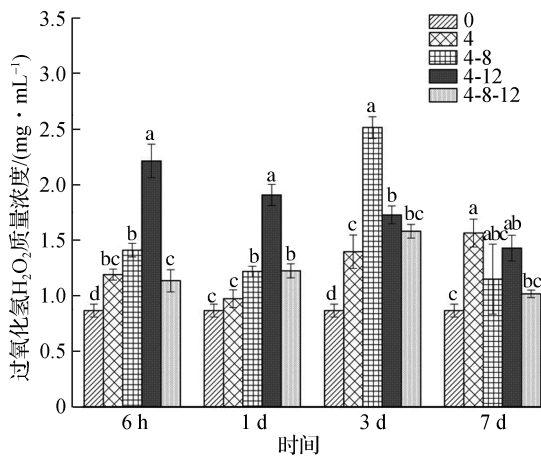


图2 不同盐度驯化处理台湾泥鳅肌肉过氧化氢( $H_2O_2$ )质量浓度变化

Fig. 2 Changes of hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) content in muscle of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity acclimation

经过不同盐度驯化处理的台湾泥鳅肌肉组织中超氧化物歧化酶(SOD)活性变化如图4所示。其中盐度4-12组SOD活性始终处于较高水平,并在第7 d显著高于其他盐度驯化组( $P < 0.05$ ),与对照组

相比没有显著差异( $P > 0.05$ )。4-8组和4-8-12组的酶活性在7 d内没有显著差异( $P > 0.05$ ),并在第7 d与盐度4组没有显著差异( $P > 0.05$ )。

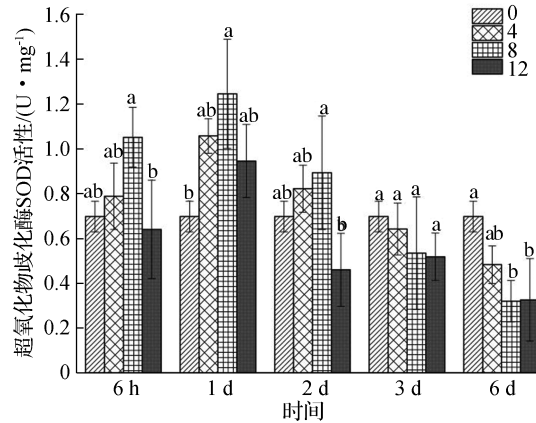


图3 不同盐度条件下台湾泥鳅肌肉超氧化物歧化酶(SOD)活性变化

Fig. 3 Changes of superoxide dismutase (SOD) activity in muscle of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity conditions

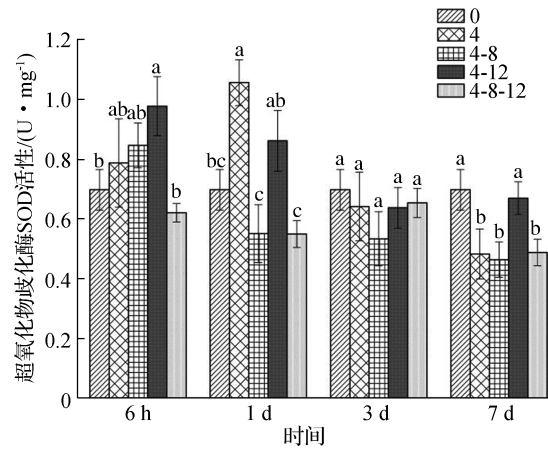


图4 不同盐度驯化处理台湾泥鳅肌肉超氧化物歧化酶(SOD)活性变化

Fig. 4 Changes of superoxide dismutase (SOD) activity in muscle of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity acclimation

### 2.3 不同盐度处理对台湾泥鳅肌肉组织过氧化氢酶(CAT)活性的影响

在不同盐度处理条件下,台湾泥鳅肌肉组织中过氧化氢酶(CAT)活性变化如图5所示。所有盐度处理组CAT活性先升高后降低,在6 d时基本恢复至对照组水平,其中盐度4组CAT活性在6 h达到峰值,且显著高于对照组和其他盐度组( $P$

$<0.05$ ),并在 6 d 内保持较高水平;盐度 8 和 12 组 CAT 活性在 1 d 内则显著高于盐度 4 及对照组;盐度 12 组第 2 d 的酶活性显著高于其他各组 ( $P<0.05$ ),第 6 d 的活性与盐度 8 和对照组没有显著差异 ( $P>0.05$ ),但显著低于盐度 4 组 ( $P<0.05$ )。

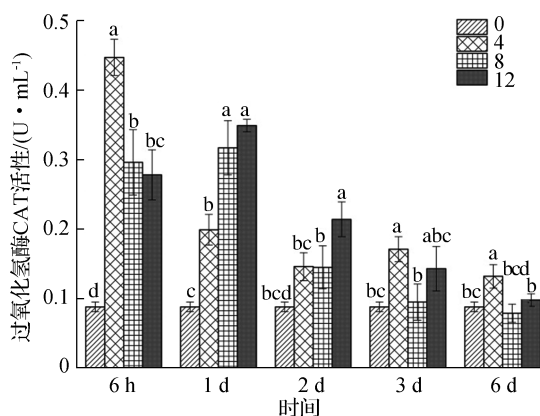


图 5 不同盐度条件下台湾泥鳅肌肉过氧化氢酶 (CAT) 活性变化

Fig. 5 Changes of muscle catalase (CAT) activity of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity conditions

经过一段时间的盐度驯化,台湾泥鳅肌肉组织中 CAT 活性变化情况如图 6 所示。其中盐度 4-12 组 CAT 活性在 6 h 达到峰值,并显著高于其他盐度组 ( $P<0.05$ );在 1 d 内显著高于对照组和 4-8-12 组,第 3 d 则与盐度 4-8, 4-12 和 4-8-12 组的 CAT 活性无显著差异 ( $P>0.05$ ),显著高于对照组 ( $P<0.05$ ),在 7 d 内降至最低点,并显著低于其他盐度组 ( $P<0.05$ )。

#### 2.4 不同盐度处理对台湾泥鳅肌肉组织丙二醛 (MDA) 含量的影响

急性盐度胁迫对台湾泥鳅肌肉组织中丙二醛 (MDA) 含量的影响作用是显著的,如图 7 所示。所有盐度处理组的 MDA 含量均先升高后降低再升高,并在 6 h 达到峰值,2 d 降至最低,而第 3 d 基本恢复至对照组水平。盐度 4 组 MDA 含量在 6 h 达到峰值,并显著高于淡水组和盐度 12 组 ( $P<0.05$ ),与盐度 8 组相比无显著差异 ( $P>0.05$ ),第 2 d 与对照组没有显著差异 ( $P>0.05$ ),但显著高于盐度 8 和 12 组 ( $P<0.05$ )。

不同盐度驯化处理组的 MDA 含量变化如图 8 所示。不同盐度驯化处理组的台湾泥鳅肌肉组织

中的 MDA 含量仍然呈现先上升后下降的趋势,并在第 2 d 基本恢复至对照组水平。盐度 4-12 组在 6 h 内显著高于其他处理组和对照组 ( $P<0.05$ ),并在 1 d 内保持较高水平,但在第 3 d 与其他各组没有显著差异 ( $P>0.05$ ),第 7 d 则显著高于 4-8-12 组 ( $P<0.05$ )。

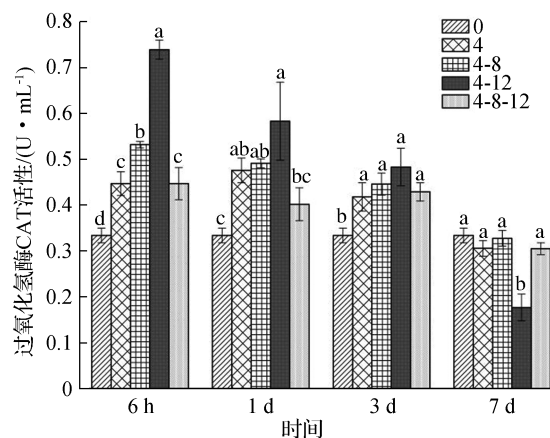


图 6 不同盐度驯化处理台湾泥鳅肌肉过氧化氢酶 (CAT) 活性变化

Fig. 6 Changes of muscle catalase (CAT) activity of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity acclimation

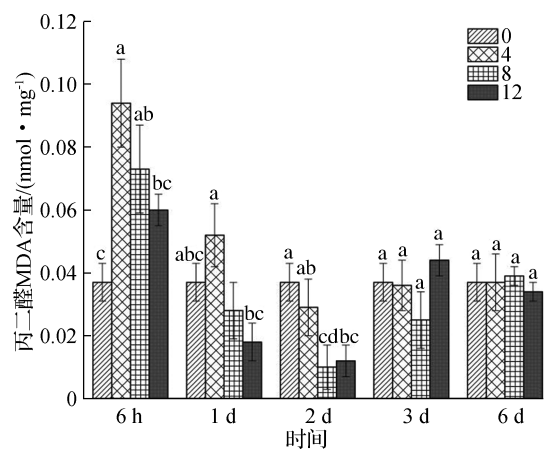


图 7 不同盐度条件下台湾泥鳅肌肉丙二醛 (MDA) 含量变化

Fig. 7 Changes of malondialdehyde (MDA) content in muscle of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity conditions

### 3 讨论

在遭遇外界环境胁迫和抗病防御时,鱼类等水

生动物主要依靠其非特异性免疫系统发挥作用,鱼类体内各种组织器官中非特异性免疫酶活性的变化情况在一定程度上反映了鱼体对外部环境胁迫的适应能力。鱼类的主要非特异性免疫调节分子含以下几种:酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、补体、溶菌酶和抗氧化酶等<sup>[11]</sup>。

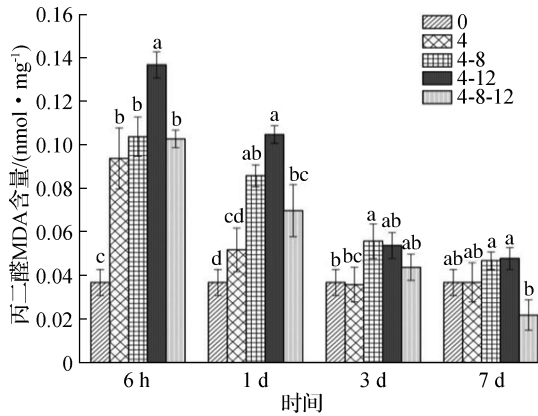


图8 不同盐度驯化处理台湾泥鳅肌肉丙二醛(MDA)含量变化

Fig. 8 Changes of malondialdehyde (MDA) content in muscle of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. under different salinity acclimation

### 3.1 盐度胁迫对台湾泥鳅肌肉组织中抗氧化酶活性的影响

生物体的抗氧化酶能够抑制自由基链发生反应,或者与自由基发生反应,使之转化为非自由基。常见的抗氧化酶主要包括过氧化氢酶、超氧化物歧化酶、谷胱甘肽转移酶、谷胱甘肽过氧化物酶等。由于人为或自然原因改变养殖水体盐度时,鱼类正常的新陈代谢能力和渗透压调节等发生紊乱,同时这一过程促使鱼类体内产生过多的活性氧自由基(ROS),一旦过量就会造成鱼类体内蛋白、脂质发生氧化反应,甚至造成细胞膜损伤、酶活性受到抑制,进而影响鱼类的正常生理活动和生长生存。

超氧化物歧化酶(SOD)广泛存在于水生生物体内,在遇到环境胁迫时SOD能够在第一时间发生作用。因此鱼类遭受外部环境等因素胁迫时,会首先发生作用,将超氧阴离子转化为 $H_2O_2$ 和 $O_2$ ,以消除外界环境刺激而产生过量的氧自由基,维持生物体的正常生理状态。过氧化氢酶(CAT)主要存在于氧化物酶体中,可以直接将SOD酶歧化反应过程

中产生的过氧化氢( $H_2O_2$ )转化为水( $H_2O$ )和分子氧( $O_2$ )<sup>[12]</sup>,使机体免受 $H_2O_2$ 的伤害,保护机体细胞功能的稳定性<sup>[13]</sup>。因外界环境盐度发生改变导致机体内氧自由基数量激增,当数量累积到一定程度时,SOD与CAT发生作用,将其清除。

有研究表明,在受到外界环境盐度胁迫时,鱼类机体内的新陈代谢速度会加快并激活体内的抗氧化系统,相关抗氧化酶活性会增强以应对环境的变化,而当机体基本适应该环境后,其抗氧化酶水平则会恢复<sup>[14]</sup>。王好等<sup>[15]</sup>研究发现,点篮子鱼(*Siganus guttatus*)在经过40 d的盐度驯养后,其肌肉组织中测得的两种重要的抗氧化酶——超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活性,与对照组相比差异不显著( $P > 0.05$ );而温久福等<sup>[16]</sup>研究发现花鲈幼鱼肌肉中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活性受到盐度变化的影响显著。田璐<sup>[11]</sup>认为,盐度对鱼类抗氧化系统的影响的主要特征之一是,鱼类在遭受外部环境因子胁迫的初期,其机体抗氧化酶活性变化显著。但是,大多数鱼类在经历一定时间的养殖实验后,经测定它们能够适应新的水体环境,具体体现在它们体内的部分抗氧化酶指标会降低或者升高至对照组水平,最终盐度组与对照组几乎无差异。

本研究发现,急性盐度胁迫对台湾泥鳅肌肉组织中SOD和CAT的活性具有显著的影响作用,二者都在实验初期呈上升的变化趋势,推测这可能是由于盐度胁迫使实验鱼产生了应激反应,其体内新陈代谢速度加快,SOD酶被激活并迅速升高,清除鱼体由于应激反应所产生的大量有害物质。而这一过程又伴随着 $H_2O_2$ 的生成和积累,CAT酶活性升高将 $H_2O_2$ 转化为无害的 $H_2O$ 和 $O_2$ 以保护鱼体免受 $H_2O_2$ 的攻击和伤害,从而保护鱼体细胞内环境的稳定性。而实验鱼组织中SOD和CAT酶活性呈逐渐下降的变化趋势,至6 d时基本恢复到正常水平,可能是因为经过一段时间的适应过程,台湾泥鳅对盐度具备了一定的耐受性,已经逐步适应了周围的盐度环境。杨建<sup>[17]</sup>对大鳞鲃(*Luciobarbus brachycephalus*)不同组织中SOD和CAT活性的研究结果显示,随着时间的推移,两种酶活性逐渐趋于稳定,这一结论与本研究结果一致。

而在慢性盐度胁迫下,盐度4-8-12组泥鳅肌肉组织中SOD和CAT酶活性变化不明显,二者的水平一直处于比较稳定的状态,说明经过驯化的台湾泥鳅已经逐渐适应了盐度为12的水体环境,盐度刺

激对其影响不大。盐度 4-12 组泥鳅肌肉组织中 SOD 和 CAT 酶活性均在 6 h 时取得最大值,可能是因为盐度从 4 直接升至 12 对鱼体的抗氧化系统造成影响,激活了机体的抗氧化酶,抗氧化酶活性快速升高以应对和抵抗盐度胁迫带来的压力。本实验能够得出研究结果也表明,外界水体盐度呈梯度式增加能够正向影响鱼体的免疫功能,而直接放入高盐度水体中则会打破鱼体自身免疫力从而产生抑制作用<sup>[18-19]</sup>。

### 3.2 盐度胁迫对台湾泥鳅肌肉组织中丙二醛(MDA)含量的影响

鱼类在正常生长发育繁殖过程中所产生的活性氧自由基,能够正向维持鱼体自身的新陈代谢需要,此时这些氧自由基对机体是无害的,能够正常参与到机体的正常代谢过程中,此时它的出现与消除能够确保机体维持动态平衡的稳定<sup>[20]</sup>;而当鱼类受到不适的外部环境条件胁迫时,会引发鱼体内一系列的应激行为反应的发生。一些如超氧阴离子( $O_2^-$ )、过氧化氢( $H_2O_2$ )等活性氧自由基会在此过程中产生,当这些产物的量超过一定限度时,就会损害鱼体的细胞膜造成损伤并引发脂质过氧化反应的发生,所衍生出的中间代谢产物为丙二醛(MDA)。由于盐度变化导致鱼体体内有害自由基数量猛增,发生脂质过氧化反应,而 MDA 含量的变化情况能够直接表达细胞受侵害情况<sup>[10]</sup>。因此,MDA 通常被认为是一种诊断细胞膜受氧化反应后鱼体受侵害过程的标志性产物<sup>[21]</sup>。因活性氧自由基产量的增加,脂质过氧化物含量激增,从而导致 MDA 含量的迅速增加,说明机体内发生了产生与清除氧自由基的过程<sup>[21]</sup>。吴庆元<sup>[20]</sup>对鲮鱼(*Mugil cephalus*)幼鱼的研究结果表明鲮鱼幼鱼对盐度变化敏感,另外,该研究在比较了幼鱼的鳃丝、肠和肌肉 3 种组织中 MDA 含量后认为,鲮鱼的肌肉组织对盐度变化更为敏感。齐明<sup>[22]</sup>研究了 3 种盐度驯养模式下,盐度对多鳞四指马鲛鱼(*Eleutheronema rhadinum*)幼鱼体内 MDA 变化的影响情况:盐度突变组实验鱼 MDA 含量随着时间的延长先升后降,阶段降盐驯养组实验鱼 MDA 含量下降,而渐变组实验幼鱼 MDA 含量呈升高的变化趋势。

本研究中,急性胁迫组的实验结果为,在 6 h 时各盐度组台湾泥鳅肌肉组织中 MDA 含量与对照组相比,显著升高。这可能是因为实验鱼在实验初期不能适应盐度骤然升高的水体环境而产生了应激反应,鱼体要通过调节自身体内外的渗透压平衡来适

应这种变化,而调节渗透压平衡过程中会导致活性氧自由基含量迅速增加,如果产生的过量,就会损害鱼体细胞膜造成损伤并引发脂质过氧化反应的发生,进而导致鱼体内 MDA 含量升高,对鱼体造成损害。而之后 SOD 和 CAT 酶的活性被激活并升高,以便于将超过正常范围的活性氧自由基去除,MDA 含量在 1 d 时迅速降低,3 d 时基本恢复到正常水平。这说明经过 7 d 的养殖和盐度适应,实验鱼可能已经适应了所生活水体的盐度,其体内氧自由基的产生与消除达到了一种新的动态平衡的状态。而驯化实验中实验鱼 MDA 含量在 6 h 时达到最大值后开始逐渐降低,在第 3 d 时基本恢复到对照组水平,则说明盐度驯化可能有利于提高台湾泥鳅的抗应激能力,能够在一定程度上促进台湾泥鳅对盐度的适应性。

## 4 结论

实验结果表明,盐度升高对台湾泥鳅生理状况具有显著的影响,并随盐度升高产生了一定的胁迫作用。同时台湾泥鳅可以通过生理调节表现出较强的耐盐能力和适应性;多级盐度驯化有利于缓解高盐度的氧化胁迫。因此以适当方式提高养殖水体盐度,有利于促进台湾泥鳅适应低盐度水体的能力,提高其在盐碱水体中的成活率和产量,从而为盐碱水体的综合利用提供一个新的养殖品种。

### 参考文献:

- [1] 韩财安,黄根勇,杨明容,等.深红酵母菌对台湾泥鳅养殖水质及生长性能的影响[J].科学养鱼,2022(10):68-69.
- [2] 郭雄通.台湾泥鳅土池养殖技术[J].科学养鱼,2022(6):42-43.
- [3] 梁德进,黄维,林碧海.台湾泥鳅的人工繁殖及育苗技术[J].海洋与渔业,2014(7):52-53.
- [4] 王甦,王顺廷,王明强,等.台湾泥鳅双季繁育养成技术试验[J].渔业致富指南,2023(2):67-72.
- [5] 周美玉,周晓英,杨明容,等.野生泥鳅和台湾泥鳅营养与滋味物质初步分析[J].湖北农业科学,2022,61(23):165-168.
- [6] 王茵,郭书悦,何国森,等.台湾泥鳅的营养成分分析及评价[J].渔业研究,2017,39(5):371-378.
- [7] 蒲宗旺,王永明,张运邦,等.台湾泥鳅含肉率及肌肉营养成分分析与评价[J].食品工业科技,2017,38(18):300-305.

- [8] 李金兰. 大规格卵形鲳鲹幼鱼 (*Trachinotus ovatus*, L.) 呼吸代谢的研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
- [9] 刘静. 盐度对鲤鱼繁殖及相关指标的影响[D]. 大连: 大连海洋大学, 2015.
- [10] 王海亮, 温海深, 张晓燕. 盐度胁迫对花鲈幼鱼肠道抗氧化和非特异性免疫能力的影响[J]. 现代农业科技, 2016(4): 261-263.
- [11] 田璐. 盐度对黄姑鱼生存生长、非特异性免疫及肠道菌群的影响[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019.
- [12] 王思婷. 盐度对黑鲷抗氧化系统的影响及杂交鲷鱼与亲本的脂肪酸成分比较[D]. 南京: 南京师范大学, 2018.
- [13] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 盐度对大麻哈鱼幼鱼肝脏组织学、非特异性免疫酶及消化酶活力的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(19): 145-151.
- [14] 胡静, 吴开畅, 叶乐, 等. 急性盐度胁迫对克氏双锯鱼幼鱼过氧化氢酶的影响[J]. 南方水产科学, 2015, 11(6): 73-78.
- [15] 王好, 庄平, 章龙珍, 等. 盐度对点篮子鱼的存活、生长及抗氧化防御系统的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 66-73.
- [16] 温久福, 蓝军南, 周慧, 等. 盐度对花鲈幼鱼消化酶和抗氧化系统的影响[J]. 动物学杂志, 2019, 54(5): 719-726.
- [17] 杨建. 盐碱胁迫下 5 种鱼类的耐受性和免疫应激反应[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [18] CHOI K, COPE W G, HARMS C A, et al. Rapid decreases in salinity, but not increases, lead to immune dysregulation in *Nile tilapia*, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. Journal of Fish Diseases, 2013, 36(4): 389-399.
- [19] 周显青, 孙儒泳, 牛翠娟. 应激对水生动物生长、行为和生理活动的影响[J]. 动物学研究, 2001, 22(2): 61-62.
- [20] 吴庆元. 低盐胁迫对鲮鱼 (*Mugil cephalus*) 幼鱼生理生化的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014.
- [21] 孙学亮, 郭永军, 华旭峰, 等. 盐度胁迫对饲喂不同蛋白饲料的革胡子鲶血清生化指标的影响[J]. 经济动物学报, 2016, 20(3): 145-151.
- [22] 齐明. 多鳞四指马鲛幼鱼盐度适应性调节机制[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2014.

(责任编辑: 褚金红 实习编辑: 易圣杰)

## 郑重声明

为了适应我国信息化建设发展的需要,有力地促进科研学术信息交流和信息资源开发利用的有效性,严肃科学研究成果发布的科学化和规范化,从根本上杜绝和防范学术不端行为发生,打击学术成果造假和学术剽窃,本刊根据已先后加入《中国核心期刊(遴选)数据库》《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》《中国学术期刊综合评价数据库》“万方数据网”和“万方数据——数字化期刊群”,以及《中文科技期刊数据库》《教育阅读网》全文收录期刊序列的实际情况,从 2011 年 6 月 30 日起,正式签约并执行“《中国学术期刊网络出版总库》删除学术不端文献暂行办法”(简称《暂行办法》)。同时在此郑重声明,本刊根据《暂行办法》的规定,要求投稿本刊的所有作者应自觉查阅和遵守相关规定要求,并按照文责自负的原则对所投稿件承担相应学术责任,一经“学术不端文献检测系统”(简称 AMLC)检测发现有严重抄袭、一稿多投,或不当署名、伪造、篡改等学术不端行为者,均在本刊所加入的文献收录数据库和文献资料信息存储单位中自动删除该文献,并在此基础上由作者承担因学术不端行为所造成的其他后果。

特此声明,望所有投稿本刊的作者充分理解和自觉遵守,同时知会其他同行和好友悉知。

《江苏海洋大学学报(自然科学版)》编辑部