

盐度对花鲈幼鱼消化酶和抗氧化系统的影响

温久福^① 蓝军南^{①②} 周慧^① 区又君^{①*} 李加儿^①

① 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室 广州 510300;

② 上海海洋大学, 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 水产科学国家级实验教学示范中心,

海洋动物系统分类与进化上海高校重点实验室 上海 201306

摘要: 为探讨不同盐度对花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 幼鱼消化酶活性和抗氧化水平的影响, 经过 30 d 养殖, 应用试剂盒检测了盐度 0、10、20、30 条件下胃、幽门盲囊及肠道中胃蛋白酶、 α -淀粉酶、脂肪酶活力, 肝和肌肉组织中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶的活力以及总抗氧化能力和丙二醛含量。结果显示, 胃蛋白酶活力在 0 盐度组最高, 4 个盐度组间具有显著性差异 ($P < 0.05$); 同一盐度组, 胃蛋白酶活力在胃组织中高于幽门盲囊和肠道。随着盐度的增加, 胃组织的 α -淀粉酶活力呈逐渐降低趋势, 幽门盲囊和肠道的 α -淀粉酶活力则逐渐升高。胃组织中, 0 盐度组脂肪酶有较高活性, 10 盐度组脂肪酶活力最低, 20 和 30 盐度组酶活性逐渐升高, 并在 30 盐度组达最大值, 4 个盐度组之间差异显著 ($P < 0.05$); 幽门盲囊中, 脂肪酶活力随盐度的增加, 呈现先升高后降低趋势; 肠组织中, 0 盐度和 10 盐度组脂肪酶活力差异不显著 ($P > 0.05$), 20 盐度和 30 盐度组增加显著 ($P < 0.05$)。肝组织超氧化物歧化酶和过氧化氢酶在 0 盐度组活性最高, 随盐度变化, 呈现相似的变化趋势; 肌肉中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性整体上随盐度增高有上升趋势。0 盐度组和 30 盐度组肝组织丙二醛含量和总抗氧化能力观测值都较高。在肌肉中, 丙二醛含量在 10 盐度组达到较高值, 随后盐度增加丙二醛含量变化不显著 ($P > 0.05$); 总抗氧化能力含量也在 10 盐度组时达到最高值, 其余组均下降。本研究认为, 花鲈幼鱼不同消化酶活性所需的盐度条件各有差异, 同时抗氧化系统能够响应不同的盐度条件。

关键词: 盐度; 花鲈; 消化酶; 抗氧化系统

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2019) 05-719-08

Effects of Salinity on Digestive Enzymes and Antioxidant System of Juvenile *Lateolabrax maculatus*

WEN Jiu-Fu^① LAN Jun-Nan^{①②} ZHOU Hui^① OU You-Jun^{①*} LI Jia-Er^①

① Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300; ② Key Laboratory of Exploration and Utilization of

Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, National Demonstration Center for Experimental Fisheries, Science Education, Shanghai

Universities Key Laboratory of Marine Animal Taxonomy and Evolution, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

基金项目 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (No. 2016TS02);

* 通讯作者, E-mail: ouyoujun@126.com;

第一作者介绍 温久福, 男, 助理研究员; 研究方向: 海水鱼类繁育和育种; E-mail: nhswj@163.com。

收稿日期: 2018-12-05, 修回日期: 2019-05-29 DOI: 10.13859/j.cjz.201905013

Abstract: To investigate the effects of salinity on digestive ability and antioxidant capacity in juvenile *Lateolabrax maculatus*, four salinity levels (0, 10, 20, 30) were set in this study. After 30 days' culture, tissue samples were collected and preserved in liquid nitrogen for later use. According to the manufacturer's instructions, the activities of pepsin (PPS), amylase (AMS), lipase (LPS), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and total antioxidant capacity (T-AOC) and malondialdehyde (MDA) content were measured using kit analysis. The results showed that the PPS activity was higher at salinity 0 than at higher salinities, and there were significant differences among different salinity groups. In the same salinity group, the enzyme activity of peptic cathepsin was higher than that of pyloric caecum and intestinal tract (Fig. 1). With the increase of salinity, the activity of AMS in gastric tissue decreased gradually, while the activity of AMS in pyloric caecum and intestinal tract increased gradually (Fig. 2). In gastric tissues, LPS at salinity 0 had a high activity, LPS at salinity 10 had the lowest activity, enzyme activity increased at salinity 20 and salinity 30 gradually, reaching the maximum at salinity 30, and there was significant difference among groups ($P < 0.05$); in pyloric caecum, the activity of LPS increased firstly and then decreased with the increase of salinity; in intestinal tissue, there was no significant difference in LPS activity between salinity 0 and salinity 10 group ($P > 0.05$), and then gradually increased (Fig.3). The highest activities of SOD and CAT in liver were found in group salinity 0 and the other three groups showed similar values (Fig. 4); the activities of SOD and CAT in muscle increased with salinity increase as a whole (Fig. 5). MDA and T-AOC were higher in liver at salinity 30 and 0 (Fig. 6), while in muscle, MDA content reached a higher value at salinity 10 and then increased with higher salinities ($P < 0.05$), but the difference was not significant ($P > 0.05$); T-AOC content also reached the highest value at salinity 10 and decreased in other groups (Fig. 7). The results show that different digestive enzymes need different salinity conditions for their proper functions in juvenile *L. maculatus*, and that the changes of salinity may induce the response of antioxidant system.

Key words: Salinity; *Lateolabrax maculatus*; Digestive enzyme; Antioxidase system

盐度是影响鱼类生存最重要的环境因子之一, 养殖水体盐度的波动对鱼类的生长、发育、代谢及非特异性免疫产生直接影响 (Imstrand et al. 2008)。盐度变化能够引发鱼类多种生理应激反应, 往往伴随着活性氧自由基 (reactive oxygen species, ROS) 的增多。过量活性氧会引起鱼体氧化损伤, 抗氧化系统是鱼类防止氧化损伤的主要屏障 (Saoud et al. 2007)。总抗氧化能力 (total antioxidant capacity, T-AOC) 是用于衡量机体抗氧化系统功能状况的综合性指标。超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 具有特殊的生理活性, 是生物体内清除自由基的首要物质。过氧化氢酶 (catalase, CAT) 能够催化过氧化氢分解为水和氧气, 可对细胞起保护作用, 使机体免受过氧化氢的危

害。丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 是脂质过氧化物, 可以间接反应组织细胞脂质过氧化的程度 (Pipe et al. 1993)。

消化酶活力是决定机体营养吸收与生长性能的重要指标, 环境因子对其活性有显著影响, 温度和盐度是主要的影响因素 (欧志联 2018)。盐度能激活或抑制机体消化酶活性, 进而影响机体对食物的消化吸收和生长。对施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*, 庄平等 2008) 和点带石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*, 余燕等 2009) 的研究显示, 不同组织的消化酶活力亦有差别。

花鲈 (*Lateolabrax maculatus*) 隶属于鲈形目 (Perciformes) 鲈科 (Serranidae) 花鲈属, 主要分布于太平洋西部, 在我国及日本、朝鲜

半岛均有分布。具有生长快速, 肉质鲜美等特点, 使其在我国大范围推广养殖, 是我国重要经济鱼类之一。花鲈为广盐性鱼类, 在海水、半咸水、淡水中均有养殖。研究花鲈幼鱼在不同盐度下的消化酶和抗氧化水平的变化有助于弄清其响应盐度胁迫的生理机制。本文主要测定不同盐度下花鲈幼鱼胃蛋白酶 (pepsin, PPS)、 α -淀粉酶 (amylase, AMS)、脂肪酶 (lipase, LPS)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 的活力以及丙二醛 (MDA) 含量和总抗氧化能力 (T-AOC) 的变化, 探讨不同盐度对花鲈幼鱼消化酶活力和抗氧化能力的影响。通过该研究, 进一步明确花鲈消化酶活性和相关抗氧化指标在不同盐度条件下的变化规律。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用鱼由南海水产研究所珠海实验基地培育, 体长约 (4.01 ± 0.27) cm ($n = 360$), 为淡化幼苗。在经 24 h 曝气的自来水中暂养, 水体盐度为 0、水温为 (27 ± 2) °C。暂养期间连续 24 h 充气, 溶氧维持在 6.0 mg/L 以上, 每日 8:00 时和 17:00 时投喂配合饲料, 按鱼体重的 5% 左右确定投喂量, 投喂 0.5 h 后清除残饵。日换水量 1/3, 同时吸去底部废物及残饵, 暂养时间为 7 d。暂养结束后挑选体格健壮、规格相近的个体进行实验。

1.2 实验设计

实验在长 60 cm、宽 25 cm、高 30 cm 的水族箱进行。设 4 个盐度组, 盐度 0 (对照组)、盐度 10、盐度 20、盐度 30, 各实验组用水由净化处理的海水稀释配置而成。每组设 3 个平行实验, 每一平行实验组放幼鱼 30 尾, 每个盐度组共 90 尾实验鱼。实验开始前, 盐度每隔 24 h 提高 5, 用 SALscan20 盐度计 (上海般特仪器有限公司) 校准, 误差不超 0.5, 分别升调至 0、10、20、30 后开始实验。实验期间充气、水温控制及投喂管理与暂养时相同。实验时间为 30 d。

1.3 实验方法

实验结束后, 禁食 24 h, 将花鲈幼鱼置于冰盘上解剖, 分别取胃、幽门盲囊、肠、肝、肌肉组织, 用预冷生理盐水冲洗干净并用脱脂棉擦干, 置于液氮中暂时保存, 后转移至 -80 °C 超低温冰箱保存备用, 在 30 d 内完成胃蛋白酶 (PPS)、 α -淀粉酶 (AMS)、脂肪酶、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 的活力以及丙二醛 (MDA) 和总抗氧化能力 (T-AOC) 的检测。所有测定均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定, 分别为胃蛋白酶试剂盒 (产品编号 A080-1, 单位为 U/mg)、 α -淀粉酶 (AMS) 试剂盒 (产品编号 C016, 单位为 U/mg)、脂肪酶试剂盒 (产品编号 A054-2, 单位为 U/g)、总超氧化物歧化酶 (SOD) 试剂盒 (产品编号 A001-3, U/mg)、过氧化氢酶 (CAT) 试剂盒 (产品编号 A007-1, 单位为 U/mg)、丙二醛 (MDA) 试剂盒 (产品编号 A003-1, mmol/g) 和总抗氧化能力 (T-AOC) 试剂盒 (产品编号 A015-2, 单位为 mmol/g)。严格按照试剂盒提供的说明书进行实验操作。取适量组织样品放入预冷的离心管中, 按照重量与体积比为 1:9 的比例加入预冷的生理盐水进行组织匀浆, 在 4 °C、5 000 r/min 的条件下离心 30 min, 取上清液作为粗酶提取液, 进行相关指标检测。

1.4 数据分析

采用 One-way ANOVA 检验盐度对测定指标影响的显著性, 用 Duncan 法进行多重比较。实验结果均用平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示, $P < 0.05$ 为具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 胃蛋白酶 (PPS)

胃肠组织中胃蛋白酶活力随盐度的变化见图 1。胃组织中, 胃蛋白酶活力在 0 盐度组显著高于其他 3 个盐度实验组, 其余各组之间也表现出显著差异 ($P < 0.05$), 30 盐度组活力最低。在幽门盲囊中, 胃蛋白酶在 0 盐度组和 10

盐度组之间变化不大, 20 盐度组达到峰值, 30 盐度组又下降, 差异显著 ($P < 0.05$)。肠组织中, 胃蛋白酶活力在 0 盐度组最大, 在 10 盐度组最低, 在 20 和 30 盐度组又升高到 0 盐度组水平。上述 3 种组织的胃蛋白酶活力各不相同, 胃组织的胃蛋白酶活力在各组实验盐度中都显著高于幽门盲囊和肠组织 ($P < 0.05$)。

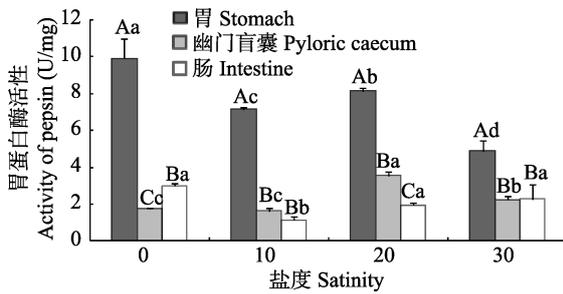


图 1 盐度对花鲈幼鱼胃蛋白酶 (PPS) 活性的影响

Fig. 1 Effect of salinities on pepsin activity in juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同大写字母表示同一盐度下不同消化器官有显著性差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示同一消化器官在不同盐度下有显著性差异 ($P < 0.05$)

Different upper case letters above the icon indicate significant differences in different digestive organs under the same salinity ($P < 0.05$); Different lowercase letters indicate that the same digestive organ has significant differences under different salinities ($P < 0.05$).

2.2 α 淀粉酶 (AMS)

胃肠组织中 α 淀粉酶活力随盐度变化见图 2。胃组织中, α 淀粉酶活力在 0 盐度组最高, 随着盐度增加有降低趋势, 4 组之间差异显著 ($P < 0.05$)。幽门盲囊中 α 淀粉酶活力在 0 盐度组最低, 且随盐度的增加而升高, 在 30 盐度组达到最大值, 4 组之间差异显著 ($P < 0.05$)。肠组织 α 淀粉酶活力在 0 盐度组与 10 盐度组之间差异不显著 ($P > 0.05$), 20 盐度和 30 盐度条件下逐渐升高, 差异显著 ($P < 0.05$)。在 0 盐度组和 10 盐度组, 不同消化器官 α 淀粉酶活力由大到小顺序为胃、肠、幽门盲囊, 三者间差异显著 ($P < 0.05$); 在 20 盐度组大到小顺

序为肠、胃、幽门盲囊, 三者间差异显著 ($P < 0.05$); 在 30 盐度组, 肠 α 淀粉酶活力最高, 胃与幽门盲囊 α 淀粉酶活力差异不显著 ($P > 0.05$), 肠与胃、幽门盲囊之间均具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

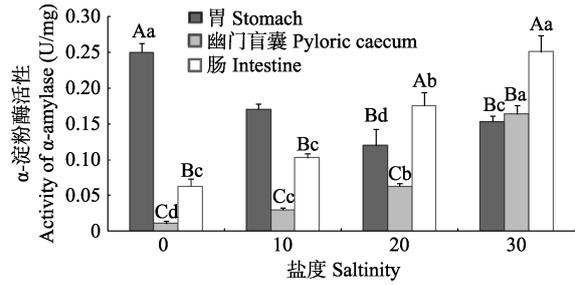


图 2 盐度对花鲈幼鱼 α 淀粉酶 (AMS) 活性的影响

Fig. 2 Effect of salinities on α amylase activity in juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同大写字母表示同一盐度下不同消化器官有显著性差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示同一消化器官在不同盐度下有显著性差异 ($P < 0.05$)

Different upper case letters above the icon indicate significant differences in different digestive organs under the same salinity ($P < 0.05$); Different lowercase letters indicate that the same digestive organ has significant differences under different salinities ($P < 0.05$).

2.3 脂肪酶 (LPS)

胃肠组织中脂肪酶活力随盐度变化见图 3。胃组织中, 0 盐度组脂肪酶有较高活性, 10 盐度组酶活性最低, 20 和 30 盐度组酶活性逐渐升高, 30 盐度组达到最大值, 4 组之间差异显著 ($P < 0.05$)。幽门盲囊中, 脂肪酶活力随盐度的增加, 呈现先升高后降低趋势。肠组织中, 0 盐度组和 10 盐度组脂肪酶活性差异不显著 ($P > 0.05$), 20 盐度组和 30 盐度组的脂肪酶活力也没有显著性差异 ($P > 0.05$), 但是, 20 盐度组和 30 盐度组酶活力均大于 0 盐度组和 10 盐度组 ($P < 0.05$)。在 0 盐度组, 胃组织脂肪酶活力最大, 且与幽门盲囊、肠组织的脂肪酶活力差异显著 ($P < 0.05$); 在 10 盐度组, 胃和幽门盲囊脂肪酶活力差异不显著 ($P > 0.05$), 但是, 它们与肠组织组织的脂肪酶活力

均具有显著性差异 ($P < 0.05$); 20 盐度组 3 组织间脂肪酶活力均不具显著性差异 ($P > 0.05$); 30 盐度组, 胃和肠两组织之间脂肪酶活力差异不显著 ($P > 0.05$), 但是与幽门盲囊相比具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

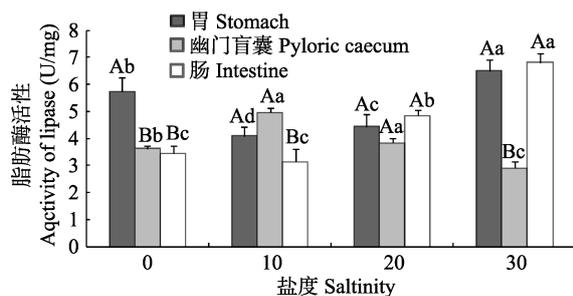


图 3 盐度对花鲈幼鱼肠脂肪酶活性的影响

Fig. 3 Effect of salinities on lipase activity in juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同大写字母表示同一盐度下不同消化器官有显著性差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示同一消化器官在不同盐度下有显著性差异 ($P < 0.05$)

Different upper case letters above the icon indicate significant differences in different digestive organs under the same salinity ($P < 0.05$); Different lowercase letters indicate that the same digestive organ has significant differences under different salinities ($P < 0.05$).

2.4 超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT)

在肝组织中 (图 4), 过氧化氢酶活力均随盐度的增加而逐渐下降。在 0 盐度组过氧化氢酶活力最高, 但是 10、20 和 30 盐度组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。超氧化物歧化酶活力随盐度增加也呈现降低趋势, 在 0 盐度组酶活力最高, 10 盐度组和 20 盐度组居中, 且二者之间差异不显著 ($P > 0.05$), 30 盐度组最低。在肌肉组织中 (图 5), 10 盐度组和 20 盐度组过氧化氢酶活力最高, 且两者之间差异不显著 ($P > 0.05$), 0 盐度组最低且与 10、20 以及 30 盐度组之间均有显著性差异 ($P < 0.05$)。超氧化物歧化酶活性随盐度升高有增加趋势, 在 30 盐度组达到最大值, 0 盐度组最低, 各盐度组之间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

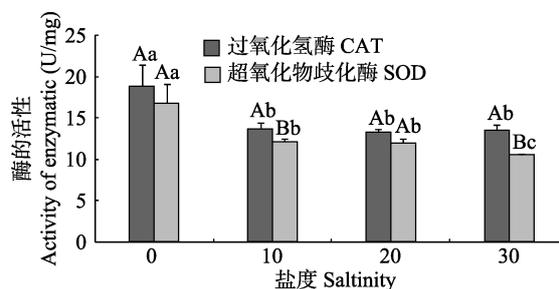


图 4 盐度对花鲈幼鱼肝过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

Fig. 4 Effect of salinities on catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) activity in liver of juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同大写字母表示同一盐度下不同种酶有显著性差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示不同盐度下同一种酶有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Different upper case letters above the icon indicate significant differences in different enzymes under the same salinity ($P < 0.05$); Different lowercase letters indicate significant differences in the same enzyme under different salinity ($P < 0.05$).

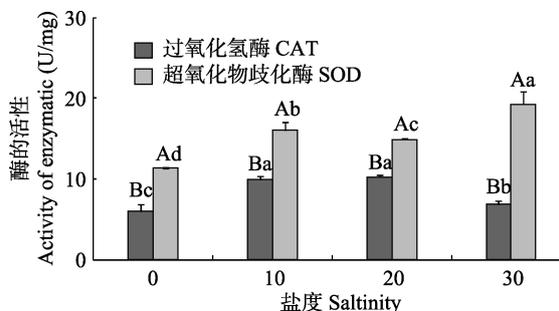


图 5 盐度对花鲈幼鱼肌肉过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

Fig. 5 Effect of salinities on catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) activity in muscle of juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同大写字母表示同一盐度下不同种酶有显著性差异 ($P < 0.05$); 不同小写字母表示不同盐度下同一种酶有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Different upper case letters above the icon indicate significant differences in different enzymes under the same salinity ($P < 0.05$); Different lowercase letters indicate significant differences in the same enzyme under different salinities ($P < 0.05$).

2.5 丙二醛 (MDA) 含量和总抗氧化能力 (T-AOC)

在肝组织中 (图 6), 丙二醛含量在 10 盐度组最高, 30 盐度组次之, 20 盐度组达到最低, 各组之间差异显著 ($P < 0.05$); 总抗氧化能力则在 0 盐度组达到峰值, 10 盐度组最低, 随后逐渐升高, 差异显著 ($P < 0.05$)。肌肉组织中 (图 7), 丙二醛含量在 0 盐度组最低, 之后逐渐升高, 但是 10、20 和 30 盐度组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 总抗氧化能力在 10 盐度组最高, 0 盐度组最低, 4 盐度组之间差异显著 ($P < 0.05$)。

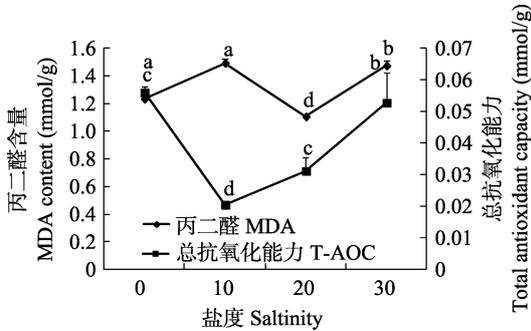


图 6 盐度对花鲈幼鱼肝丙二醛 (MDA) 含量和总抗氧化能力 (T-AOC) 的影响

Fig. 6 Effect of salinities on malondialdehyde (MDA) content and total antioxidant capacity (T-AOC) in liver of juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同小写字母表示不同盐度下有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters above the icon indicate significant differences under different salinities ($P < 0.05$).

3 讨论

在水产养殖中, 盐度对鱼类的生理活动具有重要的调节作用, 盐度通过影响鱼类的消化生理、免疫等生命活动来调控机体的生长发育 (尤宏争等 2013)。消化酶活力是鱼类消化生理特征的主要判断指标。有研究表明, 盐度变化对消化酶活力的影响主要有激活作用、抑制作用和无显著影响三种情况 (Moutou et al.

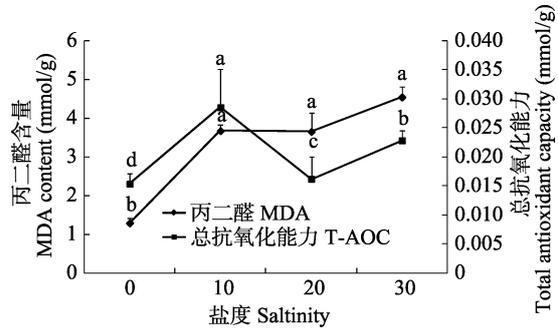


图 7 盐度对花鲈幼鱼肌肉丙二醛 (MDA) 含量和总抗氧化能力 (T-AOC) 的影响

Fig. 7 Effect of salinities on malondialdehyde (MDA) content and total antioxidant capacity (T-AOC) in muscle of juvenile *Lateolabrax maculatus*

图标上方不同小写字母表示不同盐度下有显著性差异 ($P < 0.05$)。Different lowercase letters above the icon indicate significant differences under different salinities ($P < 0.05$).

2015)。盐度还通过影响鱼类消化道内的 pH 来影响消化酶的活性 (Noda et al. 1981)。本研究结果显示, 在 0 盐度组, 胃和肠组织胃蛋白酶活力显著高于幽门盲囊, 这与真鲷 (*Pagrosomus major*) (陈品健等 1998)、奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) (强俊等 2009) 以及点篮子鱼 (*Siganus guttatus*) (罗集光等 2011) 的研究结果基本一致。本研究发现, 在同一盐度下, 胃蛋白酶活力在胃组织中显著高于幽门盲囊和肠道。对暗纹东方鲀 (*Takifugu obscurus*) (殷宁等 2001)、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) (余涛等 2002) 以及卵形鲳鲆 (*Trachinotus ovatus*) (区又君等 2011) 的研究中也有类似的发现。由此推断, 胃是花鲈幼鱼消化食物中蛋白质的主要器官, 胃蛋白酶的活力直接影响消化道对蛋白质的消化和代谢。

α -淀粉酶原主要由肝分泌, 其需要在肠道中经过肠激活酶激活才有酶活力。在本研究中, 随着盐度的增加, 胃组织的 α -淀粉酶活力呈逐渐降低趋势, 幽门盲囊和肠道的 α -淀粉酶活力则逐渐升高, 表明高盐度条件对胃组织的 α -淀

粉酶活性产生抑制作用, 却能激活幽门盲囊和肠道的 α -淀粉酶活性。在 30 盐度组, 胃、幽门盲囊和肠的 α -淀粉酶活力均表现出较高水平, 表明该盐度是花鲈幼鱼淀粉类物质消化吸收的适宜条件。

花鲈幼鱼胃组织脂肪酶在淡水 (0 盐度组) 和高盐度 (30 盐度组) 条件下表现出较高活性, 在 10 盐度组和 20 盐度组时活性降低。幽门盲囊脂肪酶则在 10 盐度组和 20 盐度组时活性较高, 淡水 (0 盐度组) 和高盐度 (30 盐度组) 条件下降低。肠组织脂肪酶活性在淡水 (0 盐度组) 和低盐 (10 盐度组) 条件下较低, 随盐度增加 (20 盐度组和 30 盐度组) 逐渐升高。肠道和胃的脂肪酶活性在低盐度差异不显著 ($P > 0.05$), 在高盐度条件差异显著 ($P < 0.05$)。在 0~30 盐度范围内, 盐度增加能显著提高肠道脂肪酶活性, 表明高盐度对肠道脂肪酶活性有刺激作用, 更有利于肠道对脂肪的消化, 这与真鲷(陈品健等 1998)和点篮子鱼(罗集光等 2011)的等鱼类中的研究结果相似。

鱼类在受盐度胁迫时会产生大量自由基, 使机体细胞氧化受损, 鱼类自身的抗氧化机制能够清除体内氧自由基, 增强机体的抵抗力, 防止氧化损伤, 进而维持体内动态平衡 (Saoud et al. 2007)。本研究结果显示, 肝超氧化物歧化酶和过氧化氢酶在淡水条件下 (0 盐度组) 活性最高, 表明高盐度对肝超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性有抑制作用。花鲈幼鱼肝超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性受到盐度胁迫时表现出一致的变化趋势, 这种现象在其他鱼类研究亦中有发现 (潘桂平等 2016, 刘玲等 2018), 显示其功能的保守性。花鲈幼鱼肌肉中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶整体上随盐度增高有上升趋势。在 0 盐度组和 30 盐度组, 肝丙二醛和总抗氧化能力观测值都较高, 盐度过高或过低都会对肝产生胁迫 (季延滨等 2014, 廖雅丽等 2016)。在肌肉中, 丙二醛含量在 10 盐度组观测值较高, 随盐度增加, 丙二醛含量变化不显著 ($P < 0.05$), 总抗氧化能力含量也

在 10 盐度组时达到最高值, 其余组均下降, 这可能与肌肉组织对不同盐度条件有一个适应过程有关。综合分析肝和肌肉相关抗氧化指标在不同盐度下的变化规律, 表明肝和肌肉对盐度胁迫的感知具有组织特异性。

综上所述, 养殖水体盐度的变化会对花鲈幼鱼消化酶和抗氧化酶系统产生影响, 这些指标的变化规律反应出花鲈幼鱼消化酶活性和机体抗氧化能力应对不同盐度时的生理特征, 此结果可为花鲈的健康养殖提供理论依据。

参 考 文 献

- Imsland A K, Gústavsson A, Gunnarsson S, et al. 2008. Effects of reduced salinities on growth, feed conversion efficiency and blood physiology of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 274(2/4): 254–259.
- Moutou K A, Panagiotaki P, Mamuris Z. 2015. Effects of salinity on digestive protease activity in the euryhaline sparid *Sparus aurata* L.: A preliminary study. *Aquaculture Research*, 35(9): 912–914.
- Noda M, Murakami K. 1981. Studies on proteinases from the digestive organs of sardine. II. Purification and characterization of two acid proteinases from the stomach. *Biochim Biophys Acta*, 658(1): 27–34.
- Pipe R K, Porter C, Livingstone D R. 1993. Antioxidant enzymes associated with the blood cells and haemolymph of the mussel *Mytilus edulis*. *Fish and Shellfish Immunology*, 3(3): 221–233.
- Saoud I P, Kreydiyyeh S, Chalfoun A, et al. 2007. Influence of salinity on survival, growth, plasma osmolality and gill Na^+ - K^+ -ATPase activity in the rabbitfish *Siganus rivulatus*. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 348(1): 183–190.
- 陈品健, 王重刚, 郑森林. 1998. 盐度影响真鲷幼鱼消化酶活力的研究. *厦门大学学报: 自然科学版*, 37(5): 754–756.
- 季延滨, 孙学亮, 陈成勋. 2014. 盐度对革胡子鲶部分抗氧化指标的影响. *江苏农业科学*, 42(11): 233–235.
- 廖雅丽, 张晨捷, 彭士明, 等. 2016. 盐度对云纹石斑鱼抗氧化酶及溶菌酶活性的影响. *上海海洋大学学报*, 25(2): 169–176.

- 刘玲, 陈超, 李炎璐, 等. 2018. 短期低盐度胁迫对驼背鲈(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交子代幼鱼抗氧化及消化生理的影响. 海洋科学, 42(2): 78–87.
- 罗集光, 章龙珍, 庄平, 等. 2011. 盐度对点篮子鱼消化酶活性的影响. 海洋渔业, 33(1): 33–38.
- 区又君, 罗奇, 李加儿, 等. 2011. 卵形鲳鲹消化酶活性的研究 I. 成鱼和幼鱼消化酶活性. 南方水产科学, 7(1): 50–55.
- 欧志联. 2018. 鱼类消化酶研究及其在水产养殖中的应用. 江西水产科技, 25(3): 27–28.
- 潘桂平, 刘本伟, 周文玉. 2016. 低温胁迫对云纹石斑鱼幼鱼抗氧化和免疫指标的影响. 上海海洋大学学报, 25(1): 78–85.
- 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 2009. 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. 南方水产科学, 5(5): 8–14.
- 殷宁, 赵强, 李朝晖, 等. 2001. 暗纹东方鲀蛋白酶活性的研究. 南京师大学报: 自然科学版, 24(1): 101–104.
- 尤宏争, 郑艳坤, 尤广超. 2013. 不同盐度对鱼类养殖生物学的影响研究进展. 河北渔业, 231(3): 47–52.
- 余涛, 史立才, 曲东风, 等. 2002. 黄颡鱼消化酶活性的初步研究. 吉林农业大学学报, 24(5): 96–98.
- 余燕, 徐维娜, 刘兆普, 等. 2009. 低盐度胁迫对点带石斑鱼幼鱼消化酶、抗应激酶和存活率的影响. 渔业科学进展, 30(4): 21–26.
- 庄平, 章龙珍, 田宏杰, 等. 2008. 盐度对施氏鲟幼鱼消化酶活力的影响. 中国水产科学, 15(2): 198–203.