

蔡思灿, 张方琪, 栗志民. 低盐胁迫对西施舌存活、非特异性免疫酶和 NKA 酶活性的影响[J]. 渔业研究, 2025, 47(2): 161 – 170.

Cai S C, Zhang F Q, Li Z M. Effects of low-salinity stress on survival, non-specific immune enzymes and NKA enzyme activities of *Coelomactra antiquata*[J]. Journal of Fisheries Research, 2025, 47(2): 161 – 170.

低盐胁迫对西施舌存活、非特异性免疫酶和 NKA 酶活性的影响



蔡思灿, 张方琪, 栗志民*

(广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088)

摘要: 【背景】西施舌 (*Coelomactra antiquata*) 是一种食药兼备的海水经济贝类。近年来, 广东省湛江沿海西施舌人工繁育取得成功, 并在其近岸海区进行大规模增殖放流。夏季, 湛江沿海大量降水造成近岸海水盐度大幅度降低, 对西施舌成贝的生长繁殖构成极大的威胁。【目的】考察西施舌的低盐耐受性及免疫相关酶活性的变化。【方法】以产自湛江徐闻海域的西施舌为实验材料, 设置盐度缓降组和盐度骤降组, 通过比较盐度缓降过程中半数西施舌存活时的临界盐度 (50%CSMin) 和盐度骤降过程中的 72 h 西施舌半数死亡时的盐度 (72 h LS₅₀) 进行探究。取盐度骤降组在 0、6、12、24、48 h 的西施舌鳃组织, 利用酶联免疫吸附试验 (ELISA) 法考察低盐胁迫下鳃组织的 Na⁺/K⁺-ATP 酶 (NKA)、超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、碱性磷酸酶 (AKP)、酸性磷酸酶 (ACP) 和溶菌酶 (LZM) 的酶活性。【结果】在盐度缓降过程中, 西施舌的最低存活盐度 (SSMin) 为 18.22, 最低临界盐度 (CSMin) 为 10.18, 50%CSMin 为 13.07。在盐度骤降过程中, 72 h LS₅₀ 为 16.86。盐度骤降胁迫 48 h 对西施舌鳃组织的 NKA、CAT、SOD、AKP、ACP 和 LZM 均产生显著影响 ($P<0.05$), 其中 CAT、SOD、ACP、AKP、LZM 酶活性均呈现先上升后下降的趋势, 最大值分别为 75.36 U/mL、293.8 U/mL、0.292 U/L、0.321 U/L 和 5.283 U/mL; NKA 酶活性呈现上升趋势, 且 48 h 内的最大值为 0.339 U/mL。【结论】在同一盐度下, 盐度缓降组的存活率显著高于盐度骤降组。本研究结果为西施舌低盐抗氧化机制分析提供理论支撑, 同时对西施舌人工养殖具有重要的指导意义。

关键词: 西施舌; 低盐胁迫; 存活; 酶活性

中图分类号: S966 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096 – 9848 (2025) 02 – 0161 – 10

近年来, 高温干旱和强降雨天气频发, 导致部分滩涂或浅海的盐度常发生急骤变化。盐度通过影响贝类机体渗透压、抗氧化酶活性和免疫相关因子的表达等, 进而影响其生存、发育、生长和繁殖^[1-2]。例如, 海湾扇贝 (*Argopecten irradians*) 幼贝在不同的降盐梯度中具有不同的耐盐极限, 其中幼贝在盐度每天降 1 时的耐受性最强, 在盐度

每天降 3 时次之, 在变梯度降盐时最弱^[3]。菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 的谷胱甘肽转移酶 (GST) 基因 (*RpGST*) 家族在应对盐度胁迫时发挥着解毒和抗氧化作用, 而其在急性低盐环境比在急性高盐环境需要更多的 GST 来维持细胞的正常稳态^[4]。在盐度胁迫下, 彩虹明樱蛤 (*Moerella iridescens*) 鳃和消化腺的超氧化物歧化酶 (SOD)、

收稿日期: 2024-09-30

修回日期: 2024-11-25

基金项目: 广东省教育厅项目 (2020ZDZX1031)

第一作者: 蔡思灿, 男, 研究方向为贝类遗传育种与增养殖。E-mail: 3156549939@qq.com

通信作者: 栗志民, 男, 教授, 博士, 研究方向为贝类遗传育种与增养殖。E-mail: lizhimin811@163.com

©《渔业研究》编辑部。本文为使用 CC BY-NC-ND 4.0 许可协议的开放获取作品。

© Editorial Office of Journal of Fisheries Research. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

过氧化氢酶 (CAT) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px) 酶活性随时间的延长呈先上升后下降并趋于稳定的变化趋势, 盐度过高或过低均会造成其自身抗氧化防御机能损伤, 最终导致死亡^[5]。紫石房蛤 (*Saxidomus purpurata*) 在急性低盐胁迫 (盐度 15) 下, Na^+/K^+ -ATP 酶 (NKA) 活性升高, 其血淋巴中无机离子的浓度会随 NKA 酶活性的变化而发生改变^[6]。盐度从 30 突降至 15 和 5, 而后又突升至 30, 这种盐度突变对中国血蛤 (*Hiatula chinensis*) 碱性磷酸酶 (AKP) 和酸性磷酸酶 (ACP) 的酶活性影响显著^[7]。此外, 盐度逐渐变化也显著影响了虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 血清中溶菌酶 (LZM) 的酶活性, 其呈现先显著下降后迅速上升最终趋于平缓的趋势, 且高于 0 h 时的水平^[8]。

西施舌 (*Coelomactra antiquata* Splengler) 隶属于软体动物门 (Mollusca)、瓣鳃纲 (Lamellibranchia)、异齿亚纲 (Heterodonta)、帘蛤目 (Veneroidea)、蛤蜊科 (Mactridae)、腔蛤蜊属 (*Coelomactra*), 主要分布于太平洋西部的日本、朝鲜、韩国、中国南北沿海以及印度半岛^[9-10]。作为一种名贵的海产底栖贝类, 西施舌喜栖息在低潮线附近至浅海 10 m 左右水深的细沙质或泥沙质海底, 通常埋栖生活, 埋栖深度可达 6~7 cm^[11]。西施舌肉质脆嫩, 味甘美, 不仅能够食用, 还可药用, 古人在《本草从新·西施舌》中记载“西施舌甘咸平, 益精, 润肺脏, 止烦渴, 为补阴要药”^[12]。近年来, 西施舌被大规模捕捞, 资源日益匮乏, 因而其人工繁育及养殖日益受到科技工作者和养殖户的关注。本课题组开展了该贝类的人工育苗工作, 成功繁育规格为 $(2.15 \pm 0.07) \text{ cm} \times (2.04 \pm 0.03) \text{ cm}$ 的西施舌中育苗 (幼贝) 257.99×10^4 粒, 然而在广东沿海, 特别是湛江海域, 西施舌的人工养殖依然是个空白, 加上中国南方夏季高温多雨, 近岸滩涂海水盐度时常出现大幅度下降, 因此本文考察盐度缓降和盐度骤降等低盐胁迫对西施舌存活的影响, 同时在盐度骤降下, 利用酶联免疫吸附试验 (Enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) 法考察西施舌鳃组织的 NKA 酶活性和免疫相关酶 (SOD、CAT、AKP、ACP、LZM) 酶活性的变化, 旨在为西施舌规模化近岸滩涂养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用西施舌于 2023 年 4 月 7 日采自湛江徐

闻海域。随机挑选 500 个大小相近的健康西施舌成贝, 壳长为 $(75.19 \pm 1.74) \text{ mm}$, 壳高为 $(63.58 \pm 1.56) \text{ mm}$, 壳宽为 $(35.61 \pm 1.48) \text{ mm}$, 鲜重为 $(81.65 \pm 9.31) \text{ g}$, 并将其暂养于广东海洋大学贝类遗传育种实验室。在暂养期间, 盐度为 27~28, pH 为 7.9~8.1, 温度为 25.5~26.5 °C, 24 h 连续充气, 每天投喂亚心形四片藻 (*Tetraselmis subcordiformis*) 2 次 (早、晚各 1 次), 每次的投喂量控制为养殖水体中藻细胞密度在 $5 \times 10^4 \sim 10 \times 10^4$ 个/mL 以内, 日换水 3 次, 每次换水 1/3。暂养 7 d 后, 进行低盐胁迫实验。广东海洋大学动物伦理委员会批准动物实验, 批准编码为 136015。

1.2 方法

1.2.1 实验设计

1) 盐度缓降对西施舌存活的影响

实验环境为 30 L 水族箱, 每箱放置 30 个西施舌, 设置 3 个重复组。实验期间, 将暂养盐度 28 以每天下降 2 的速度逐渐降至 10, 其他养殖条件与暂养时相同。每 3 h 检查西施舌的存活情况, 若发现有西施舌开壳, 且针刺外套膜无收缩, 则判断为死亡, 应将其清除。实验持续 9 d, 每 24 h 记录 1 次存活率。将发现第 1 个西施舌死亡时的盐度记为最低存活盐度 (Minimum survival salinity, SS-Min); 将所有西施舌全部死亡时的盐度记为最低临界盐度 (Minimum critical salinity, CSMin), 并利用 SPSS 软件中的概率分析计算半数西施舌存活时的临界盐度, 记为 50%CSMin。

2) 盐度骤降对西施舌存活的影响

将暂养于盐度 28 的西施舌直接转移至各盐度实验组 (盐度 18、盐度 15、盐度 12 和盐度 9), 每组设置 3 个重复。实验环境为 30 L 水族箱, 每箱放置 30 个西施舌, 其他养殖条件与暂养时相同。实验期间, 每 3 h 检查西施舌的存活情况, 记录 0、12、24、48、72 h 时西施舌的存活率, 将 72 h 50% 西施舌存活的盐度记为 72 h 半致死盐度 (72 h median lethal salinity, 72 h LS_{50})。

3) 盐度骤降对西施舌鳃组织酶活性的影响

依据盐度骤降对西施舌存活的影响实验结果设计盐度实验组, 其中对照组盐度设置为 28, 盐度骤降组盐度设置为 14, 每组设置 3 个重复。于 0、6、12、24、48 h, 分别从每个实验组中取出 3 个西施舌。取约 500 mg 西施舌鳃组织, 将其与 0.86% 生理盐水按 1:9 (W:V) 混合, 利用匀浆机制成 10% 组织匀浆, 4 °C 下 3 000 r/min 离心 10 min,

取上清液，用于免疫相关酶活性的测定。

1.2.2 酶活性的测定

与赵伟等^[13]使用的研究方法类似，采用 ELISA 法测定 CAT、SOD、ACP、AKP、LZM、NKA 的酶活性，所有操作均参照酶联生物公司提供的试剂盒说明书进行。设置标准品孔和样本孔，其中不同的标准品孔分别加入不同浓度的标准液 50 μL ；样本孔依次加入待测液 10 μL 和稀释液 40 μL ，空白孔则不加。分别向标准品孔和样本孔中加入辣根过氧化物酶（HRP）标记的检测抗体 100 μL ，封孔，37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴锅温育 60 min。弃去液体，吸水纸拍干，每孔加满洗涤液，静置 1 min，甩去洗涤液，吸水纸拍干，重复洗板 5 次。加入底物 3,3',5,5'-四甲基联苯胺（Tetramethylbenzidine, TMB）（A、B 各 50 μL ），37 $^{\circ}\text{C}$ 避光孵育 15 min，加入终止液 50 μL ，并于 15 min 内，在 450 nm 波长处测定各孔的光密度（Optical density, OD）值。绘制标准品线性回归曲线，计算各样本浓度值。

1.2.3 数据处理与分析

利用 SPSS 27.0 软件中的直线内插法计算 SSMin、CSMin 和 50%CSMin，使用概率分析法计算 72 h LS_{50} ，以及对存活率进行单因素方差分析（ANOVA）和 Duncan 法多重比较使用“T 检验”进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 盐度缓降对西施舌存活的影响

如图 1 所示，在盐度缓降过程中，当盐度 ≥ 20 时，西施舌的存活率为 100%；当盐度降至 18 时，西施舌开始出现死亡；在盐度为 10 时，西施舌全部死亡。在盐度 20 到盐度 10 的缓降过程中，盐度变化对西施舌的存活率存在显著影响（ $P < 0.05$ ）。在盐度缓降过程中，西施舌的 SSMin 为 18.22，CSMin 为 10.18，50%CSMin 为 13.07（表 1）。

2.2 盐度骤降对西施舌存活的影响

如图 2 所示，盐度骤降对西施舌的存活具有显著影响（ $P < 0.05$ ）。在盐度骤降 24 h 时，盐度 18、15、12 和 9 组西施舌的存活率分别为 93.33%、91.11%、84.44% 和 57.78%；在盐度骤降 48 h 时，盐度 9 组西施舌全部死亡，盐度 18、15 和 12 组西施舌的存活率分别为 91.11%、75.56% 和 53.33%；在盐度骤降 72 h 时，盐度 18 和 15 组西施舌的存活率分别降至 86.67% 和 6.67%，盐度 12 和 9 组西施舌全部死亡。西施舌 72 h LS_{50} 为 16.86（表 1）。

在盐度缓降过程中，当盐度高于 18 时，西施

舌均未出现死亡；当盐度降至 14（72 h）时，西施舌存活率为 73.33%（图 1）。当盐度骤降 12 h 时，盐度 9 组西施舌开始出现死亡；在盐度骤降 72 h 时，仅盐度 18 和 15 组西施舌有部分存活（图 2）。对比可发现，72 h LS_{50} （16.86）显著高于 50% CSMin（13.07）（ $P < 0.05$ ），表明西施舌对盐度缓降的耐受性强于盐度骤降。

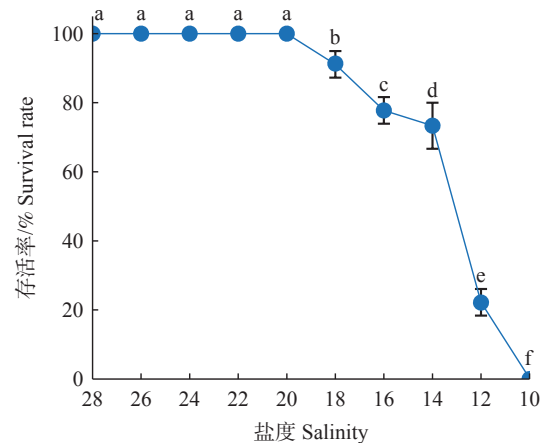


图 1 盐度缓降时西施舌的存活率

Fig. 1 The survival rate of *C. antiquata* exposed to the gradual dropping salinity

注：不同小写字母表示组间差异显著（ $P < 0.05$ ），相同则差异不显著（ $P > 0.05$ ）。

Notes: The different lowercase letters mean significant differences between groups ($P < 0.05$), and the same letters mean no significant differences ($P > 0.05$).

表 1 西施舌的 CSMin、SSMin、50%CSMin 和 72 h LS_{50}
Tab. 1 The CSMin, SSMin, 50%CSMin and 72 h LS_{50} of *C. antiquata*

重复实验 Repeat experiments	盐度缓降 Gradual dropping salinity			盐度骤降 Acute dropping salinity
	CSMin	SSMin	50%CSMin	72 h LS_{50}
1	10.21	17.70	12.90	16.96
2	10.20	18.38	13.11	16.92
3	10.12	18.58	13.19	16.71
$\bar{x} \pm \text{SD}$	10.18 $\pm$ 0.05	18.22 $\pm$ 0.46	13.07 $\pm$ 0.15	16.86 $\pm$ 0.13

2.3 盐度骤降对西施舌鳃组织免疫指标的影响

2.3.1 CAT 和 SOD 酶活性变化

如图 3 和图 4 所示，在盐度骤降 0~48 h 内，盐度 14 组西施舌的 CAT 和 SOD 酶活性随实验时间的延长，均呈先上升后下降的趋势，其中在盐度骤降 6~48 h 时，2 种酶的酶活性与盐度 28（对照组）存在显著差异（ $P < 0.05$ ）。CAT 酶活性在盐度骤降 6 h 时发生显著变化（ $P < 0.05$ ），为 74.98 U/mL；

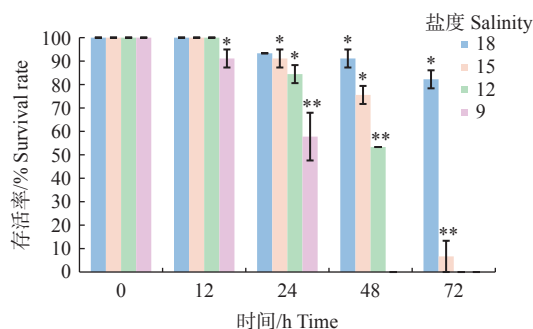


图2 盐度骤降时西施舌的存活率

Fig. 2 The survival rate of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

注: *表示该时刻的存活率与0时差异显著 ($P<0.05$), **表示该时刻的存活率与0时差异极显著 ($P<0.01$)。

Notes: * means the survival rate at the certain moment is significant difference from that at 0 h ($P<0.05$), and ** means the survival rate at the certain moment is extremely significant difference from that at 0 h ($P<0.01$).

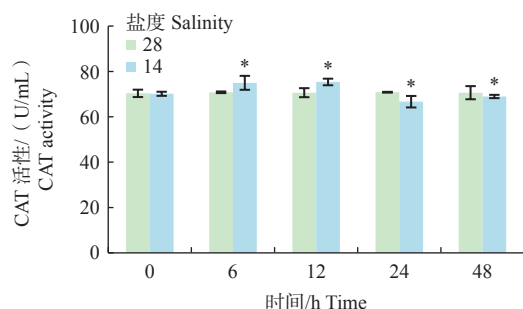


图3 盐度骤降时西施舌 CAT 活性变化

Fig. 3 Changes in CAT activity of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

注: *表示实验组 (盐度 14) 与对照组 (盐度 28) 差异显著 ($P<0.05$), **则表示差异极显著 ($P<0.01$)。以下同此。

Notes: * means there's a significant difference between the experimental group (salinity 14) and the control group (salinity 28) ($P<0.05$), while ** means there's a extremely significant difference between them ($P<0.01$). It's the same as the following figures.

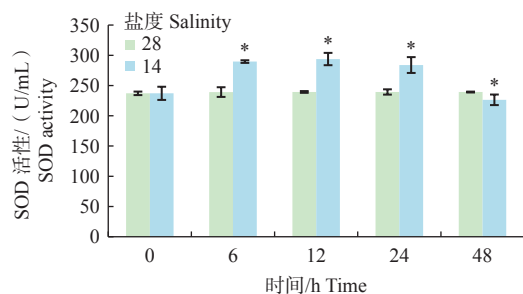


图4 盐度骤降时西施舌 SOD 活性变化

Fig. 4 Changes in SOD activity of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

在盐度骤降 12 h 时, 达最大值 75.36 U/mL; 在盐度骤降 48 h 时, 降至 68.96 U/mL, 低于起始水平 (70.15 U/mL)。SOD 活性在盐度骤降 6 h 时, 发生显著变化 ($P<0.05$), 为 289.6 U/mL; 在盐度骤降 12 h 时, 达最大值 293.8 U/mL; 在盐度骤降 48 h 时, 降至 226.4 U/mL, 低于起始水平 (237.1 U/mL)。

2.3.2 AKP 和 ACP 酶活性的变化

如图 5 和图 6 所示, 在盐度骤降 0~48 h 内, 盐度 14 组西施舌的 AKP 和 ACP 酶活性随实验时间的延长, 均呈先上升后下降的趋势, 盐度骤降对西施舌 AKP 和 ACP 酶活性均存在显著影响 ($P<0.05$)。盐度 14 组西施舌的 AKP 酶活性在盐度骤降 0、6、12、24、48 h 时, 分别为 0.199、0.234、0.286、0.321、0.275 U/L, 且在盐度骤降 6~48 h 时, 与盐度 28 (对照组) 相比, 均存在显著差异 ($P<0.05$); ACP 活性在盐度骤降 0、6、12、24、48 h 时, 分别为 0.198、0.210、0.276、0.292、0.267 U/L, 且在盐度骤降 6~48 h 时, 与盐度 28 (对照组) 相比, 均存在显著差异 ($P<0.05$)。

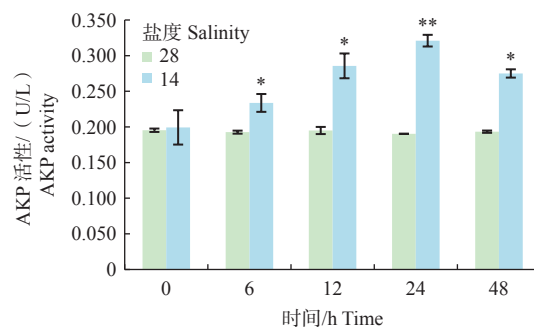


图5 盐度骤降时西施舌 AKP 活性变化

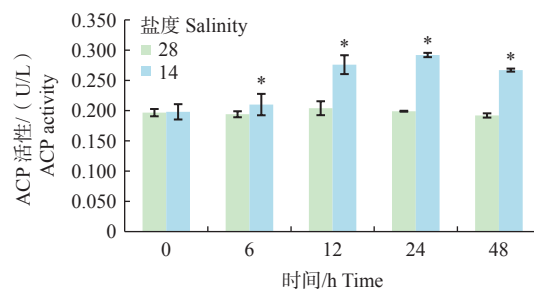
Fig. 5 Changes in AKP activities of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

图6 盐度骤降时西施舌 ACP 活性变化

Fig. 6 Changes in ACP activities of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

2.3.3 LZM 酶活性的变化

如图 7 所示, 在盐度骤降 0~48 h 内, 盐度 14 组西施舌的 LZM 酶活性呈先上升后下降的趋

势, 盐度骤降对西施舌 LZM 活性存在显著影响 ($P<0.05$)。在盐度骤降 0、6、12、24、48 h 时, 盐度 14 组西施舌的 LZM 酶活性分别为 3.213、4.470、4.775、5.283、5.220 U/mL, 其中在盐度骤降 6、12 h 时与盐度 28 (对照组) 存在显著差异 ($P<0.05$); 在盐度骤降 24、48 h 时与盐度 28 (对照组) 存在极显著差异 ($P<0.01$)。

2.3.4 NKA 酶活性的变化

如图 8 所示, 在盐度骤降 0~48 h 内, 盐度 14 组西施舌的 NKA 酶活性随实验时间的延长而不断升高, 盐度骤降对西施舌 NKA 酶活性存在显著影响 ($P<0.05$)。盐度 14 组西施舌的 NKA 酶活性在盐度骤降 0、6、12、24、48 h 时, 分别为 0.186、0.246、0.264、0.328、0.339 U/mL, 其中在盐度骤降 6、12 h 时与盐度 28 (对照组) 存在显著差异 ($P<0.05$), 在盐度骤降 24、48 h 时与盐度 28 (对照组) 存在极显著差异 ($P<0.01$)。

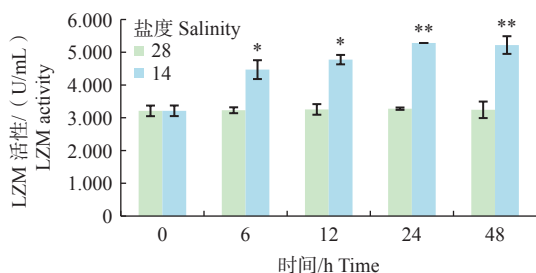


图 7 盐度骤降时西施舌 LZM 活性变化

Fig. 7 Changes in LZM activities of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

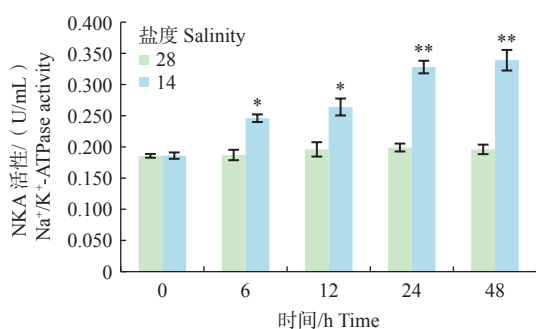


图 8 盐度骤降时西施舌 NKA 活性变化

Fig. 8 Changes in NKA activities of *C. antiquata* exposed to the acute dropping salinity

3 讨论

3.1 西施舌对盐度缓降和盐度骤降的耐受性

低盐胁迫会对贝类不同生长阶段的生理功能产生影响, 如渗透压调节能力、代谢率和生长率等都

会发生改变, 进而影响其对盐度的耐受性^[2]。不少学者开展了西施舌盐度耐受性的研究, 如林志钦等^[14]探究了西施舌精子在不同盐度下的活力; 高如承等^[15]利用生物统计法研究了西施舌 D 形幼虫、壳顶幼虫和贝苗对盐度的耐受性; 刘德经等^[16]对福建西施舌的盐度耐受范围进行了考察。为解决湛江夏季高温多雨而导致的西施舌大量死亡的养殖难题, 本研究开展了盐度缓降和盐度骤降对西施舌成贝耐受性影响的研究, 结果发现本研究使用降盐与生物统计的方法所得的 SSMIn 值 (18.22), 与刘德经等^[16]采用人工养殖实验与行为观察方法所得的结果类似。本研究中, 西施舌盐度骤降时的 72 h LS_{50} (16.86) 显著高于盐度缓降时的 50%CSMin (13.07), 表明西施舌对盐度缓降胁迫具有更高的耐受性。关于盐度幅度变化对水生生物的影响的研究已有报道, 如采用等速驯化、交替驯化、梯度驯化 3 种方式对缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 进行盐度 16 到盐度 2 的低盐驯化处理, 结果表明梯度驯化下缢蛏的存活率和潜泥率均显著高于等速驯化和交替驯化^[17]。即使口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 仔虾对盐度的耐受能力相对较强, 但其突变和渐变的耐盐范围也存在一定的差异, 突变组的存活盐度为 15~45, 渐变组的存活盐度为 5~54^[18]。彭宇濠^[19]在研究高体鲷 (*Seriola dumerili*) 幼鱼的盐度适应性过程中, 发现当盐度胁迫 72 h 时, 在鳃和肾的转录组测序分析中, 分别鉴定出 49 个和 47 个与急性盐度适应相关的差异基因, 以及 11 个和 24 个信号通路; 当盐度胁迫 30 d 时, 则分别鉴定出 435 个和 917 个与慢性盐度适应相关的差异基因, 以及 99 个和 113 个信号通路。综上分析, 降盐方式对水生生物的行为、存活和基因表达等均存在一定的影响。本课题组在实验过程中也发现, 在受到盐度骤降胁迫时, 西施舌会出现紧闭外壳、关闭进水管和出水管等行为变化。由此推测, 在生理承受限度下, 西施舌机体通过调节体内一系列的生理代谢, 而维持细胞正常的生理功能和渗透压平衡, 但一旦超出其生理承受限度, 便会产生机体损伤和死亡。因此, 相比盐度骤降胁迫, 西施舌在盐度缓降胁迫下具有更长的时间进行生理反应调节, 从而使机体最大限度地维持内环境的稳态。

3.2 盐度骤降对西施舌鳃组织免疫指标的影响

3.2.1 盐度骤降对 CAT 和 SOD 酶活性的影响

环境胁迫易使机体产生更多的活性氧物质 (Reactive oxygen species, ROS), 如 H_2O_2 、 $\cdot O^-$ 、

OH⁻、O₂⁻等,而过多的 ROS 最终可能引起机体新陈代谢紊乱,甚至死亡^[20-21]。CAT 和 SOD 是清除活性氧自由基的重要酶蛋白,对机体产生的应激反应具有重要的防御作用^[5]。王新星等^[22]在研究缢蛏时,发现不同规格缢蛏的鳃组织在急性低盐胁迫下的 CAT 和 SOD 酶活性随实验时间的延长均呈现先上升后下降的趋势。张雨等^[23]研究盐度胁迫对大竹蛏(*Solen grandis* Dunker)抗氧化酶活性的影响时发现,其鳃组织的 CAT 酶活性变化幅度不大,而 SOD 酶活性则在前 12 h 保持稳定,在 12~96 h 内先上升后下降。谭春明等^[24]则在研究方斑东风螺(*Babylonia areolata*)幼螺免疫酶活性时,发现与盐度 33(对照组)相比,降盐组的 CAT 酶活性呈“抑制-诱导”的趋势,总 SOD 酶活性呈“抑制-诱导-抑制”的趋势。本研究结果表明,在温度骤降 48 h 内,西施舌鳃组织的 CAT 和 SOD 酶活性随实验时间的延长均呈先上升后下降的趋势,其抗氧化反应的机制与缢蛏类似,与大竹蛏、方斑东风螺不同,这可能与细胞代谢的改变有关,因生物体未能及时清除自由基而使其残留在机体内,导致细胞受到氧化损伤。

3.2.2 盐度骤降对 ACP 和 AKP 酶活性的影响

ACP 和 AKP 都是溶酶体的标志酶,其中 ACP 可水解破坏表面带有磷酸酯的异物;AKP 可改变病原菌的表面结构,发挥调理素的作用^[25]。盐度胁迫使贝类的血淋巴渗透压发生改变,从而引起贝类免疫指标的改变^[26]。曹伟等^[27]在研究高盐胁迫对缢蛏软体部 AKP 和 ACP 酶活性的影响时,发现其 AKP 和 ACP 酶活性整体呈先上升再下降后稳定的趋势。杨跃明等^[28]在研究低盐胁迫对缢蛏血淋巴影响时,发现其 ACP 和 AKP 酶活性均随盐度的降低而先上升后下降。张玉玉等^[29]研究盐度胁迫对长蛸(*Octopus variabilis*)体内酶活力的影响时发现,其血清中 AKP 酶活性随盐度的上升而变化不大,ACP 酶活性则呈先上升后下降的趋势;其肝组织中的 AKP 和 ACP 酶活性均呈先上升后下降的趋势。王帅等^[7]在研究盐度突变对中国血蛤(*Hiatula chinensis*)的影响时,发现其 ACP 和 AKP 酶活性均随实验时间的延长而先下降后上升。本研究结果表明,ACP 和 AKP 酶活性均随实验时间的延长而先上升后下降,且最大值均出现在盐度骤降 24 h 时,此时 ACP 酶活性为 0.292 U/L、AKP 酶活性为 0.321 U/L,该结果与缢蛏的抗氧化机制类似,与长蛸、中国血蛤不同,这可能是西施舌在

受到盐度骤降胁迫时,其免疫相关的信号通路被激活,从而同时调节 ACP 和 AKP 的表达和酶活性,并且这 2 种酶在免疫过程中可能存在协同作用,但长蛸、中国血蛤中不存在类似情况。

3.2.3 盐度骤降对 LZM 酶活性的影响

LZM 是贝类非特异性免疫系统的重要组成部分,主要通过分裂肽聚糖破坏细胞壁来抵抗细菌,从而担负起机体的防御与免疫功能^[30]。盐度骤降胁迫会产生大量的 ROS,进而导致细胞损伤和抗原物质侵染的可能性增大,最终引起机体 LZM 酶活性的变化。杨跃明等^[28]在研究低盐胁迫对缢蛏血淋巴影响时,发现其盐度 1 组的 LZM 酶活性在胁迫 7 d 后发生显著的下降。孙静^[31]在研究低盐胁迫对 2 种壳色合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)肝脏 LZM 酶活性影响时,发现黑壳色合浦珠母呈现倒“U”型分布,红壳色合浦珠母呈现“U”型分布。杨东敏等^[32]在研究低盐对菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)免疫能力的影响时,发现 LZM 酶活性在 72 h 内随实验时间的延长,整体呈先下降后上升再下降后上升的趋势。时少坤等^[33]在研究近江牡蛎(*Crassostrea ariakensis*)时,发现其盐度 3 组的 LZM 酶活性与盐度 18(对照组)相比差异不显著。本研究中发现,西施舌鳃组织 LZM 的酶活性随实验时间的延长,整体呈上升趋势,这一结果与缢蛏、菲律宾蛤仔、近江牡蛎的 LZM 酶活性变化规律不同,分析原因可能与实验条件和种类的不同存在一定的关系。

3.2.4 盐度骤降对 NKA 酶活性的影响

NKA 是鳃组织细胞上重要的功能性蛋白,参与有机物(葡萄糖、氨基酸等)的吸收、渗透压调节和跨细胞离子转运等生理反应^[34]。因此,NKA 酶活性的变化能够在一定程度上反映生命代谢过程的情况。葛红星等^[35]在研究低盐对青蛤(*Cyclina sinensis*)NKA 酶活性的影响时,发现低盐组 NKA 酶活性随实验时间的延长,整体呈先下降后上升的趋势。李智等^[36]在研究急性低盐对缢蛏 NKA 酶活性时,发现在 24 h 内,NKA 酶活性随实验时间的延长而呈下降趋势。张广明等^[37]在研究盐度胁迫对魁蚶(*Scapharca broughtonii*)鳃组织 NKA 酶活性的影响时,发现盐度 10 组随实验时间的延长,整体呈先下降后上升的趋势。李敏等^[38]在研究盐度胁迫对泥蚶(*Tegillarca granosa*)血浆 NKA 酶活性的影响时,发现低盐组呈先下降后上升的趋势,且不同组 NKA 酶活性表现为低盐组>

对照组>高盐组。本研究发现, 盐度 14 组西施舌的 NKA 酶活性随实验时间的延长, 整体呈上升趋势, 与盐度 28 组相比未出现显著变化, 这一结果与缢蛏、青蛤、泥蚶、魁蚶等均不同, 分析原因可能是 NKA 酶活性变化规律并不是由抗氧化免疫机制决定的, 而是在盐度骤降胁迫过程中, 因机体内 ROS 的堆积而造成细胞膜损伤或流动性降低^[39], 最终导致 NKA 活性的变化。

4 结论

通过设置盐度缓降组和盐度骤降组, 考察西施舌的低盐耐受性, 获得盐度缓降过程中西施舌的 SSM_{in} 为 18.22、CSM_{in} 为 10.18、50%CSM_{in} 为 13.07, 以及盐度骤降过程中 72 h LS₅₀ 为 18.86。通过比较 50%CSM_{in} (13.07) 和 72 h LS₅₀, 发现不同降盐方式对西施舌存活的影响具有显著差异。利用 ELISA 法测定了盐度骤降胁迫 48 h 内西施舌鳃组织的 NKA、CAT、SOD、ACP、AKP 和 LZM 的酶活性, 最大值分别为 0.339 U/mL、75.36 U/mL、293.8 U/mL、0.292 U/L、0.321 U/L 和 5.283 U/mL, 进一步探究了西施舌低盐胁迫下的抗氧化应答机制。本研究结果可为西施舌对盐度骤降胁迫的抗氧化响应机制分析提供参考, 同时为西施舌的健康养殖提供基础资料。

参考文献 (References):

- [1] 范超. 盐度和温度对菲律宾蛤仔生长和存活的影响及抗高温配套系选育 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2016.
Fan C. The influence of salinity and temperature stress on growth and survival of Manila clam *Ruditapes philippinarum* and selection of complete set line of thermal resistance [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016.
- [2] 金鑫, 左骐玮, 李伟燕, 等. 高温、低盐环境对贝类生理、免疫酶活和基因表达的影响研究 [J]. 科学养鱼, 2024 (3): 79–81.
Jin X, Zuo Q W, Li W Y, et al. Effects of high temperature and low salt environment on physiology, immunoenzyme activity and gene expression of shellfish [J]. *Scientific Fish Farming*, 2024(3): 79–81.
- [3] 王吉桥, 靳翠丽, 姜静颖. 不同降盐度方式对海湾扇贝幼贝存活的影响 [J]. 中国水产科学, 2001, 8 (3): 35–39.
Wang J Q, Jin C L, Jiang J Y. Influence of salinity-decreasing regimes on survival of juvenile *Argopecten irradians* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2001, 8(3): 35–39.
- [4] 蒋欣月, 周丽青, 孙秀俊, 等. 菲律宾蛤仔 GST 基因家族的全基因组鉴定及急性盐度胁迫下的表达特征 [J]. 中国水产科学, 2023, 30 (9): 1055–1066.
Jiang X Y, Zhou L Q, Sun X J, et al. Genome-wide identification of the *Ruditapes philippinarum* GST gene family and its expression characteristics in the hepatopancreas under acute salinity stress [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(9): 1055–1066.
- [5] 裴瑞华, 郑梓瑶, 张诺, 等. 盐度胁迫对彩虹明樱蛤存活、抗氧化酶和 Na⁺/K⁺-ATP 酶活性的影响 [J]. 海洋渔业, 2023, 45 (2): 162–171.
Pei R H, Zheng Z Y, Zhang N, et al. Effects of salinity stress on survival, antioxidant enzymes and Na⁺/K⁺-ATPase activities of *Moerella iridescens* [J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(2): 162–171.
- [6] 王怡, 胡婉彬, 李家祥, 等. 急性盐度胁迫对紫石房蛤 (*Saxidomus purpurata*) 鳃组织结构及 4 种酶活性的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2016, 18 (5): 178–186.
Wang Y, Hu W B, Li J X, et al. Effects of acute salinity stress on gill structure and four enzyme activities in *Saxidomus purpurata* [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2016, 18(5): 178–186.
- [7] 王帅, 高如承, 温扬敏, 等. 盐度突变对中国血蛤非特异性免疫酶活性的影响 [J]. 江苏农业科学, 2008 (5): 213–215.
Wang S, Gao R C, Wen Y M, et al. Effect of abrupt decline in salinity on nonspecific immune enzyme activities of *Hiatula chinensis* [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2008(5): 213–215.
- [8] 刘美剑, 常亚青, 杨芸菲, 等. 盐度渐变对虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*) 免疫指标的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2011, 13 (3): 129–135.
Liu M J, Chang Y Q, Yang Y F, et al. Effects of gradual salinity changes on immune parameters of scallop (*Patinopecten yessoensis*) [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011, 13(3): 129–135.
- [9] 孟学平, 程汉良, 董志国. 我国西施舌研究现状及展望 (综述) [J]. 河北科技师范学院学报, 2005, 19 (4): 71–75.
Meng X P, Cheng H L, Dong Z G. The study status quo and prospect of *Coelomactra antiquata* in China (summary)

- mary)[J]. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*, 2005, 19(4): 71 – 75.
- [10] 吴进锋, 张汉华, 梁超愉, 等. 广东沿海西施舌资源及增殖保护对策 [J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22 (3): 68 – 69.
- Wu J F, Zhang H H, Liang C Y, *et al.* The resources and proliferation protection countermeasures of *Coelomactra antiquata* in Guangdong coast[J]. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2002, 22(3): 68 – 69.
- [11] 刘德经. 西施舌养殖生物学及人工养殖发展前景 [J]. 齐鲁渔业, 2004, 21 (2): 15 – 18.
- Liu D J. Biological characteristic and culture prospect of *mactra antiquata* spengles[J]. *Shandong Fisheries*, 2004, 21(2): 15 – 18.
- [12] 朱漂漂. 海洋贝类文化探究——名称考释、资源开发 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Zhu P P. An exploration of the marine shellfish culture: denomination explanation, resources exploitation[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [13] 赵伟, 唐荣杰, 杨珊珊, 等. Klotho 在盐敏感性高血压肾损伤中的作用及分子机制研究 [J]. 中国全科医学, 2023, 26 (24): 3042 – 3049.
- Zhao W, Tang R J, Yang S S, *et al.* The role and molecules mechanism of klotho in renal injury in salt-sensitive hypertension[J]. *Chinese General Practice*, 2023, 26(24): 3042 – 3049.
- [14] 林志钦, 高如承, 黄振彬, 等. 盐度对西施舌精子活力及受精孵化的影响 [J]. 齐鲁渔业, 2007, 24 (10): 9 – 11, 7.
- Lin Z Q, Gao R C, Huang Z B, *et al.* Effects of salinity on sperm motility, and fertilization and hatching rate of *Coelomactra antiquata*[J]. *Shandong Fisheries*, 2007, 24(10): 9 – 11, 7.
- [15] 高如承, 齐秋贞, 黄雪琴, 等. 盐度对西施舌 *Coelomactra antiquata* (Spengler) 幼虫和贝苗生长发育的影响 [J]. 福建师范大学学报 (自然科学版), 1995, 11 (3): 82 – 88.
- Gao R C, Qi Q Z, Huang X Q, *et al.* Effects of salinity on the growth and survival of larvae and spats of *Coelomactra antiquata* (Spengler)[J]. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 1995, 11(3): 82 – 88.
- [16] 刘德经, 邱文仁, 齐秋贞. 西施舌栖息环境及人工养殖的研究 [J]. 动物学杂志, 1997, 32 (4): 7 – 9.
- Liu D J, Qiu W R, Qi Q Z. Study on habitat environ-
- ment and artificial breeding of *Coelomactra antiquata* [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1997, 32(4): 7 – 9.
- [17] 杨栋, 韩雨婷, 高葛琪, 等. 不同低盐驯化方式对缢蛏行为及生理的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33 (5): 1120 – 1131.
- Yang D, Han Y T, Gao G Q, *et al.* Behavioral and physiological responses of *Sinonovacula constricta* to different low-salt domestication patterns[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2024, 33(5): 1120 – 1131.
- [18] 刘海映, 张嵩, 邢坤, 等. 盐度对口虾蛄仔虾摄食、存活和掘穴的影响 [J]. 海洋科学, 2016, 40 (11): 121 – 128.
- Liu H Y, Zhang S, Xing K, *et al.* The effect of salinity on survival, food intake, and burrowing behavior in post-settlement mantis shrimp, *Oratosquilla oratoria*[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(11): 121 – 128.
- [19] 彭宇濠. 高体鲷 (*Seriola dumerili*) 幼鱼盐度适应特性及渗透压调节分子机制的初步研究 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2022.
- Peng Y H. Preliminary study on the characteristics of salinity adaptation and the molecular mechanism of osmotic pressure regulation in juvenile of greater amberjack (*Seriola dumerili*)[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2022.
- [20] Zhang Y, Tang H R, Luo Y. Variation in antioxidant enzyme activities of two strawberry cultivars with short-term low temperature stress[J]. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 4(4): 458 – 462.
- [21] Greco L, Pellerin J, Capri E, *et al.* Physiological effects of temperature and a herbicide mixture on the soft-shell clam *Mya arenaria* (Mollusca, Bivalvia)[J]. *Environmental toxicology and chemistry*, 2011, 30(1): 132 – 141.
- [22] 王新星, 杜鑫鑫, 杨栋, 等. 不同低盐驯化方式对缢蛏生存、生理代谢及抗氧化水平的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32 (4): 708 – 715.
- Wang X X, Du X X, Yang D, *et al.* Effects of different hyposaline acclimation methods on survival, physiological metabolism and antioxidant levels of *Sinonovacula constricta*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2023, 32(4): 708 – 715.
- [23] 张雨, 陈爱华, 曹奕, 等. 盐度胁迫对大竹蛏成活率与抗氧化酶活性的影响 [J]. 海洋渔业, 2018, 40 (3): 351 – 359.
- Zhang Y, Chen A H, Cao Y, *et al.* Effects of salinity

- stress on survival and antioxidant enzymes activities of *Solen grandis*[J]. Marine Fisheries, 2018, 40(3): 351 – 359.
- [24] 谭春明, 赵旺, 吴开畅, 等. 盐度胁迫对方斑东风螺免疫酶活性的影响 [J]. 水产科学, 2020, 39 (5): 677 – 684.
- Tan C M, Zhao W, Wu K C, *et al.* Effects of salinity stress on activities of enzymes related to immune of snail *Babylonia areolata*[J]. Fisheries Science, 2020, 39(5): 677 – 684.
- [25] 李肖凡, 王荣月, 黄冲, 等. 饲料中间隔添加壳寡糖对仿刺参生长、非特异性免疫和消化的影响 [J]. 水产学报, 2024, 48 (4): 323 – 335.
- Li X F, Wang R Y, Huang C, *et al.* Effects of feeding chitosan oligosaccharide intermittently on growth, non-specific immunity activities and disease resistance of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(4): 323 – 335.
- [26] 牛东红, 王宏蕾, 李家乐. 海洋贝类对盐度胁迫适应机制的研究进展 [J]. 水产学报, 2024, 48 (4): 33 – 45.
- Niu D H, Wang H L, Li J L. Research progress on adaptation mechanism of marine shellfish to salinity stress[J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(4): 33 – 45.
- [27] 曹伟, 迟长风, 董迎辉, 等. 高盐胁迫对缢蛏幼贝存活和三种酶活性的影响 [J]. 海洋科学, 2022, 46 (7): 44 – 51.
- Cao W, Chi C F, Dong Y H, *et al.* Effects of high salt stress on survival and enzyme activities of *Sinonovacula constricta* juvenile[J]. Marine Sciences, 2022, 46(7): 44 – 51.
- [28] 杨跃明. 缢蛏新品系应对高温和低盐胁迫的生长和生理响应 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- Yang Y M. Growth and physiological response of the new strain of razor clam (*Sinonovacula constricta*) to high temperature and low salinity stress[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.
- [29] 张玉玉, 王春琳, 李来国. 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 [J]. 台湾海峡, 2010, 29 (4): 452 – 459.
- Zhang Y Y, Wang C L, Li L G. Tolerance of *Octopus variabilis* to salinity changes and the effects of salinity changes on parameters of haemocytes and the vitality of enzyme activity[J]. Journal of Applied Oceanography, 2010, 29(4): 452 – 459.
- [30] 张淑娟. 有机硒对皱纹盘鲍生长的影响及其机理研究 [D]. 烟台: 鲁东大学, 2023.
- Zhang S J. Study on the effect of organic selenium on the growth and mechanism of *Haliotis discus* Hanna[D]. Yantai: Ludong University, 2023.
- [31] 孙静. 盐度胁迫对两种壳色合浦珠母贝渗透调节、呼吸代谢、免疫及抗氧化系统的影响 [D]. 天津: 天津农学院, 2021.
- Sun J. Effects of salinity stress on osmotic adjustment, respiratory metabolism, immunity and antioxidant system of *Pinctada fucata* with two shell colors[D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2021.
- [32] 杨东敏, 张艳丽, 丁鉴锋, 等. 高温、低盐对菲律宾蛤仔免疫能力的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32 (3): 302 – 309.
- Yang D M, Zhang Y L, Ding J F, *et al.* Synergistic effects of high temperature and low salinity on immunity of Manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2017, 32(3): 302 – 309.
- [33] 时少坤, 王瑞旋, 王江勇, 等. 盐度胁迫对近江牡蛎几种免疫因子的影响 [J]. 南方水产科学, 2013, 9 (3): 26 – 30.
- Shi S K, Wang R X, Wang J Y, *et al.* Effects of salinity stress on immune factors of *Crassostrea hongkongensis*[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(3): 26 – 30.
- [34] 吴静. 温度和盐度对华贵栉孔扇贝 (*Mimachlamys nobilis* Reeve) 存活、免疫指标及生理指标的影响 [D]. 福州: 福建师范大学, 2016.
- Wu J. Effects of temperature and salinity on survival, immune indexes and physiological indexes of *Mimachlamys nobilis* Reeve[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2016.
- [35] 葛红星, 李雯倩, 柳佳玲, 等. 低盐对青蛤抗氧化酶和 ATP 酶的影响及碳酸酐酶基因的克隆与表达 [J]. 中国水产科学, 2021, 28 (8): 968 – 977.
- Ge H X, Li W Q, Liu J L, *et al.* Effects of salinity stress on antioxidant, ATPase, and carbonic anhydrase gene expression in *Cyclina sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(8): 968 – 977.
- [36] 李智, 彭茂潇, 叶博, 等. 急性低盐度对缢蛏存活率、Na⁺/K⁺-ATPase 活性以及血淋巴细胞吞噬能力的影响 [J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29 (4): 489 – 495.

- Li Z, Peng M X, Ye B, *et al.* Effects of acute low salinity on *Sinonovacula constricta* survival rate, Na^+/K^+ -ATPase activity and phagocytosis of hemocytes[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(4): 489 – 495.
- [37] 张广明, 吴彪, 杨爱国, 等. 盐度胁迫对魁蚶耐受性及体内酶活性的影响 [J]. 鲁东大学学报 (自然科学版), 2017, 33 (2): 159 – 163.
- Zhang G M, Wu B, Yang A G, *et al.* Influence of low salinity challenge on survival and enzyme activities in *Scapharca broughtonii*[J]. Journal of Ludong University (Natural Science Edition), 2017, 33(2): 159 – 163.
- [38] 李敏, 郑伊诺, 许凯伦, 等. 盐度胁迫对泥蚶存活率及 3 种酶活力的影响 [J]. 浙江农业科学, 2018, 59 (4): 650 – 653, 657.
- Li M, Zheng Y N, Xu K L, *et al.* Effects of salinity stress on survival rate of *Tegillarca granosa* and enzyme activity[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2018, 59(4): 650 – 653, 657.
- [39] 井浩. 低氧和高温胁迫对菲律宾蛤仔的组织结构、基因表达及能量代谢的影响研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.
- Jing H. Effects of hypoxia and heat stress on tissue structure, gene expression and energy metabolism of clam *Ruditapes philippinarum*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023.

Effects of low-salinity stress on survival, non-specific immune enzymes and NKA enzyme activities of *Coelomacra antiquata*

CAI Sican, ZHANG Fangqi, LI Zhimin*

(College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: [Background] *Coelomacra antiquata* is an economically important marine shellfish species that is valued for both its culinary and medicinal properties. In recent years, the artificial breeding of *C. antiquata* along the coast of Zhanjiang has been successful, and large-scale proliferation and release have been carried out in the coastal areas. The large amount of precipitation in summer in the coastal area of Zhanjiang has caused a significant decrease in the salinity of the coastal waters, which poses a great threat to *C. antiquata*. [Objective] The changes of low salinity tolerance and related enzyme activities of *C. antiquata* were investigated. [Methods] *C. antiquata*, collected from the Xuwen sea area of Zhanjiang, was used as experimental materials. The gradual and acute dropping salinity groups were set up to explore the low salinity tolerance of *C. antiquata* through comparing the 50%CSMin (the salinity at which half of the *C. antiquata* survived) during the gradual dropping salinity process and the 72 h LS₅₀ (the salinity at which the survival rate was 50% within 72 hours) during the acute dropping salinity process. The gill tissues of acute dropping salinity groups at 0 h, 6 h, 12 h, 24 h and 48 h were taken to investigate the immune indicators under low salinity stress, including Na^+/K^+ -ATPase (NKA), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), alkaline phosphatase (AKP), acid phosphatase (ACP) and lysozyme (LZM). [Results] The minimum survival salinity (SSMin) was 18.22, the minimum critical salinity (CSMin) was 10.18, and the salinity at which the survival rate was 50% (50%CSMin) was 13.07. The median lethal salinity after 72 h (72 h LS₅₀) was 16.86. The NKA, CAT, SOD, AKP, ACP and LZM of gill tissue were significantly affected by acute dropping salinity stress for 48 h ($P < 0.05$). CAT, SOD, ACP, AKP and LZM all showed a trend of increasing first and then decreasing, and their minimum values were 75.36 U/mL, 293.8 U/mL, 0.292 U/L, 0.321 U/L and 5.283 U/mL, respectively. NKA showed an upward trend, and the minimum value within 48 h was 0.339 U/mL. [Conclusion] At the same salinity, the survival rate of the acute dropping salinity groups were significantly lower than that of the gradual dropping salinity groups. This study provides an important theoretical basis for the further study of the low salinity antioxidant response mechanism in *C. antiquata*, and also offers an important guiding for the artificial breeding of *C. antiquata*.

Key words: *Coelomacra antiquata*; low-salinity stress; survival; enzyme activities