

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2025.80315

# 月桂烯对海参有水保活过程中品质的影响

米红波<sup>1,2</sup> 冯梦梦<sup>1,2</sup> 陈敬鑫<sup>1,2</sup> 刘超<sup>1,2</sup> 励建荣<sup>1,2</sup> 李学鹏<sup>1,2</sup>

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁 锦州 121013;

2. 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013)

**摘要:** [目的] 探究适合海参低温有水保活的月桂烯最佳浓度, 延长其有水保活时间。 [方法] 分析月桂烯浓度 (0, 10, 20, 30, 40, 50  $\mu\text{L/L}$ ) 对海参有水保活过程中海参体壁 pH、硬度和可溶性蛋白含量的影响, 比较保活前后海参感官评分、体壁水分状态 and 分布、微观结构的变化情况, 并探究最佳浓度的月桂烯对海参保活过程中免疫和抗氧化酶活性的影响。 [结果] 随着保活时间的延长, 海参体壁硬度和可溶性蛋白含量逐渐下降, 在同一保活时间下, 30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯处理组的海参体壁 pH、硬度和可溶性蛋白含量显著高于对照组。随着保活时间的延长, 海参肠中碱性磷酸酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、总抗氧化能力均先升高后降低, 在保活 6 d 或 8 d 时达到峰值, 而 30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯处理组的酶活性变化显著低于对照组。与对照组相比, 海参在 30  $\mu\text{L/L}$  的月桂烯水溶液中保活 12 d 后感官评分和体壁结合水含量显著升高, 肌原纤维组织保持完整, 自溶现象得到抑制。 [结论] 30  $\mu\text{L/L}$  的月桂烯可有效减缓海参有水保活过程中的氧化应激损伤程度, 提高海参品质。

**关键词:** 月桂烯; 海参; 有水保活; 品质

## Effect of myrcene on quality of sea cucumbers during keeping alive with water

MI Hongbo<sup>1,2</sup> FENG Mengmeng<sup>1,2</sup> CHEN Jingxin<sup>1,2</sup> LIU Chao<sup>1,2</sup> LI Jianrong<sup>1,2</sup> LI Xuepeng<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University, Jinzhou, Liaoning 121013, China;

2. National &amp; Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou, Liaoning 121013, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the optimal concentration of myrcene and prolong the time of keeping sea cucumbers alive with low-temperature and water. [Methods] The effect of of myrcene concentrations (0, 10, 20, 30, 40, 50  $\mu\text{L/L}$ ) on the pH, hardness and soluble protein content of sea cucumbers during keeping alive with water is analyzed. The changes in sensory scores, body wall moisture status and distribution, and microstructure of sea cucumbers before and after keeping alive are compared. The effect of myrcene with the optimal concentration on the immune and antioxidant enzyme activities of sea cucumbers during keeping alive [Results] As the keeping alive time prolongs, the hardness and soluble protein content of the sea cucumber body wall gradually decrease. With the same preservation duration, the pH, hardness, and soluble protein content of the sea cucumber body wall in the 30  $\mu\text{L/L}$  myrcene treatment group are significantly higher than those in the control group. With the longer keeping alive time, the activities of alkaline phosphatase, superoxide dismutase, catalase, and total antioxidant capacity in the sea cucumber intestine initially increase and then decrease, reaching their peaks at 6 or 8 days of preservation, while the enzyme activity changes in the 30  $\mu\text{L/L}$  myrcene treatment group are significantly lower than those in the control group. Compared with the control group, the sea cucumbers after keeping alive for 12 d in 30  $\mu\text{L/L}$  myrcene water solution are significantly higher in sensory scores and body wall-bound water contents. The myofibrillar tissues remain intact and autolysis is inhibited. [Conclusion]

基金项目: 辽宁省自然科学基金面上项目 (编号: 2025-MS-281)

通信作者: 李学鹏 (1982—), 男, 渤海大学教授, 博士。E-mail: xuepengli8234@163.com

收稿日期: 2025-04-08 改回日期: 2025-08-20

引用格式: 米红波, 冯梦梦, 陈敬鑫, 等. 月桂烯对海参有水保活过程中品质的影响 [J]. 食品与机械, 2026, 42(2): 109-117.

Citation: MI Hongbo, FENG Mengmeng, CHEN Jingxin, et al. Effect of myrcene on quality of sea cucumbers during keeping alive with water [J]. Food & Machinery, 2026, 42(2): 109-117.

30 μL/L myrcene solution could effectively alleviate the stress response of sea cucumbers during keeping alive with water and improve the quality of sea cucumbers.

**Keywords:** myrcene; sea cucumber; keeping alive with water; quality

海参是一种海洋无脊椎动物,约有 1 200 种,2024 年中国海参养殖总量达到 32.6 万 t,辽宁、河北、山东、福建为主要养殖区域<sup>[1]</sup>。海参体壁中蛋白质含量丰富、脂肪和胆固醇含量低,同时富含皂苷、多糖、多肽等多种生物活性物质<sup>[2]</sup>。干制和盐渍海参在烹饪前需复水、脱盐,容易造成海参中水溶性及热敏性营养物质的流失,降低海参品质<sup>[3]</sup>。随着现代生活水平的提高,消费者对口感更好的鲜活海参的需求变多,因此,海参的保活运输技术研究受到越来越多的关注。

海参在保活过程中的品质变化受许多因素的影响,如海参的健康状况、驯化时间、水质、温度、溶解氧等<sup>[4]</sup>。Xing 等<sup>[5]</sup>研究表明,25% 的含氧量是维持海参保活期间健康的最佳条件。长期的高浓度氨氮暴露会造成仿刺参的免疫、消化和抗氧化能力下降,生长和发育也会受到抑制,感染病原菌的几率增加,甚至会出现大规模死亡的现象<sup>[6]</sup>。

月桂烯(myrcene)作为一种单萜类化合物,具有强抗氧化、免疫刺激、麻醉与镇静作用,可减轻氨毒性下的氧化应激。20~30 μL/L 的月桂烯可减小鲤鱼在 6 h 运输期后的应激和氧化损伤<sup>[7]</sup>。月桂烯可抑制鱼体中自由基的产生,促进抗氧化酶的生成,从而增强抗氧化能力,缓解环境恶化引起的氧化应激<sup>[8-9]</sup>,同时,月桂烯还具有麻醉和镇静作用<sup>[10]</sup>。然而,月桂烯对海参保活过程中的品质变化研究尚未见报道。试验拟以海参为研究对象,分析低温有水保活过程中不同浓度的月桂烯对海参体壁肌肉品质、感官及微观结构等的影响,旨在为海参的有水保活技术提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

鲜活海参:质量 100~130 g,体长 12~15 cm,凌海市达蓬海珍品养殖有限公司;

PE 复合材料包装袋:20 cm×25 cm,河北雄安瓊辰纸

塑料包装制品销售有限公司;

月桂烯:上海阿拉丁生化科技有限公司;

海水晶:市售;

戊二醛:上海麦克林生化科技股份有限公司;

酸性磷酸酶(ACP)、碱性磷酸酶(AKP)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、总抗氧化能力(T-AOC)试剂盒:南京建成生物工程研究所。

### 1.2 仪器与设备

pH 计:Five Easy Plus 型,上海梅特勒托利多有限公司;

质构仪:TA-XT Plus 型,英国 Stale Micro System 公司;

光照培养箱:GDN 型,上海标卓科学仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-2550 型,苏州岛津仪器有限公司;

低场核磁共振分析仪:PQ001 型,苏州纽迈电子科技有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 样品处理 鲜活海参以有水、充氧的方式运到实验室后,人工海水[ $m_{\text{海水晶}}:V_{\text{去离子水}}$ 为 1:26 (g/mL)]中暂养 12 h,水温(15±1)℃。将暂养结束后的海参作为新鲜组标记为 Fresh。将月桂烯以  $V_{\text{月桂烯}}:V_{\text{乙醇}}$  为 1:9 溶解至无水乙醇中。海参共 108 只,每组平行 3 只,在 PE 复合材料包装袋中分别加入 300 mL 含有不同月桂烯浓度(0, 10, 20, 30, 40, 50 μL/L)的人工海水,分别标记为 M0、M10、M20、M30、M40、M50,每袋放入 1 只海参,充满纯氧后密封,4℃避光保活,分别于第 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 天取样。

1.3.2 感官评估 参照 NY/T 1514—2020 制定感官评定表见表 1,取样后对海参健康状况进行分类评估。

1.3.3 pH 值的测定 取 5.0 g 海参体壁,加入 45 mL 蒸馏水,均质,10 000 r/min 浸提 3 min,过滤,用 pH 计测定 pH 值。

表 1 海参外部健康状况分类评价表

Table 1 Classification and evaluation form for external health status of sea cucumber

指标	一级(20~25分)	二级(15~20分)	三级(10~15分)	四级(0~10分)
色泽	无褪色现象,呈自然棕色或墨绿色,水质澄清	颜色稍变浅,体壁稍变色,不明显,水质澄清	颜色变浅,体壁变色,水质混浊	褪色严重,体壁变色严重,水质混浊且有颜色
体壁	体壁上无明显变化,无自溶现象,肌肉正常背刺凸起坚硬	体壁自溶<10%,肌肉稍变软,背刺凸起稍融化	体壁自溶达到 10%~30%,肌肉变软,背刺凸起融化	体壁自溶>30%,肌肉极软,背刺凸起大部分融化
黏液	无黏液	带薄薄一层黏液	带黏液且粘手	黏液多,溢液
气味	有自然的腥味	略带腥味	较重腥味	腥臭味

1.3.4 可溶性蛋白含量测定 根据文献[11]并修改。称取 1.0 g 搅碎海参样品,加入 10 mL 蒸馏水,混匀,10 000 r/min 离心 10 min,取 1 mL 上清液,加入 5 mL 考马斯亮蓝染液,充分振荡混匀,静置 2 min 后测得 595 nm 处吸光度,对照标准曲线计算样品蛋白质浓度。

1.3.5 硬度测定 根据文献[12]并修改。取海参体壁背部中心位置,切成 2.0 cm×2.0 cm×2.0 cm 的小块,采用质构仪的 P/50 圆柱形探头进行 TPA 测定,测前速度 2.0 mm/s,测中、后速度 1.0 mm/s,触发力 0.05 N,变形率 50%,两次压缩间隔 5 s。

1.3.6 水分含量及分布测定 将海参体壁腹部切成 2.0 cm×2.0 cm×2.0 cm 的小块,用滤纸吸干表面水分,用保鲜膜包裹,放入低场核磁共振样品管中,进行水分分布及含量的测定。将海参沿中心腹部截成 5 cm×6 cm×2 cm 的组织块,进行核磁成像试验。通过自旋回波序列获得海参的 Ta 加权图像,通过 Osirix 软件进一步处理灰度图像获得伪彩色图像。

1.3.7 微观结构观察 将海参体壁样品切成 1 cm×1 cm×1 cm 组织块,于用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液配制的 2.5% 戊二醛溶液中固定 24 h,用磷酸缓冲液(0.2 mol/L, pH 7.2)漂洗 15 min,重复 3 次,去离子漂洗 1 h,依次用 50%, 70%, 90%, 100% 乙醇溶液梯度脱水 15 min,重复 3 次,将脱水后的组织块冷冻干燥,喷金(采用离子溅射镀膜法)后,利用扫描电子显微镜观察,加速电压 15 kV,放大倍数 2 000。

1.3.8 酶活性测定 按照 ACP、AKP、SOD 和 T-AOC 活性测定试剂盒进行操作。

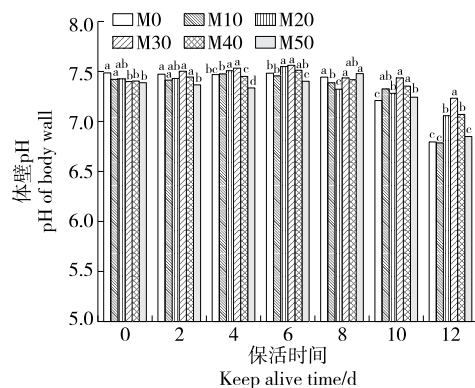
#### 1.4 数据处理

利用 SPSS 22.0 软件进行数据分析,采用单因素方差分析和 Duncan 多重比较分析, $P<0.05$  为差异显著。结果用平均值±标准差表示,采用 Origin 软件对数据进行统计和绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 对海参体壁 pH 值的影响

新鲜水产品 pH 偏弱碱性。由图 1 可知,新鲜海参体壁 pH 值为  $7.48\pm 0.03$ 。随着保活时间的延长,海参体壁 pH 值呈先上升后下降趋势。保活 12 d 时,对照组海参体壁 pH 值下降为  $6.78\pm 0.07$ 。一方面,长时间保活导致海参氧气摄入量减少,无氧呼吸产生乳酸,从而降低肌肉 pH 值<sup>[13]</sup>。另一方面,可能是机体新陈代谢受到了一定的影响,使得肌肉中的酸性物质无法排泄<sup>[14]</sup>。张美迪<sup>[15]</sup>研究表明,海参体壁 pH 值随着运输时间的延长呈先上升后下降趋势。保活 12 d 时,30  $\mu$ L/L 月桂烯处理组海参体壁 pH 值为  $7.24\pm 0.06$ ,显著高于对照组( $P<0.05$ ),说明月桂烯保活可有效延缓肌肉成酸性,提高海参品质。

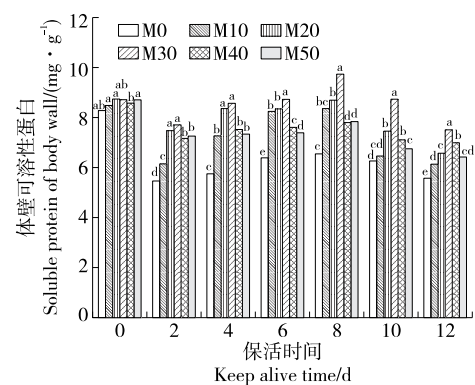


小写字母不同表示不同月桂烯浓度相同保活时间下样品差异显著( $P<0.05$ )

图1 月桂烯浓度对有水保活过程中海参体壁 pH 的影响  
Figure 1 Effect of myrcene concentrations on pH of sea cucumber body wall during keeping alive with water

### 2.2 对海参体壁可溶性蛋白含量的影响

海参的蛋白质含量占干重的 65%~85%,可溶性蛋白含量可能受 pH 值、温度等因素的影响,其变化可以反映生物体内蛋白质合成和降解的动态过程,以及生物体对外部环境变化的反应<sup>[16]</sup>。由图 2 可知,新鲜海参体壁可溶性蛋白含量为  $(8.68\pm 0.04)$  mg/g,有水保活 8 d 时,对照组海参可溶性蛋白含量迅速下降至  $(6.54\pm 0.09)$  mg/g,可能是因为海参缺乏保护性外骨骼,长时间氨氮应激导致海参自溶现象严重,使海参体壁变软并产生不均匀的色斑。此外,海参体内蛋白质在内源酶和水中微生物作用下不断分解。王艳杰<sup>[17]</sup>研究表明,氨氮浓度升高会影响海参



小写字母不同表示不同月桂烯浓度相同保活时间下样品差异显著( $P<0.05$ )

图2 月桂烯浓度对有水保活过程中海参体壁可溶性蛋白含量的影响  
Figure 2 Effect of myrcene concentrations on soluble protein content of sea cucumber body wall during keeping alive with water

的代谢功能、生长发育和存活率,为了维持自身的生命活动,海参体壁中的蛋白质被消耗以满足自身的能量需求。有水保活 12 d 时,30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯组可溶性蛋白含量为  $(7.51 \pm 0.21) \text{ mg/g}$ ,显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),可能是月桂烯的抗氧化作用抑制了海参在有水保活过程中的自溶,从而有效控制海参可溶性蛋白含量的下降,保持了体壁肌肉的品质。

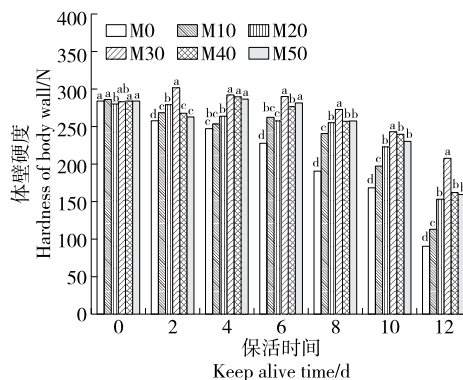
### 2.3 对海参体壁硬度的影响

硬度是使肌肉组织保持形状的结合力,水分损失和蛋白质变性会影响硬度特性<sup>[18]</sup>。由图 3 可知,新鲜海参体壁硬度为  $(283.09 \pm 1.80) \text{ N}$ 。随着低温有水保活时间的延长,海参体壁硬度逐渐降低,自溶现象使硬度下降。在相同保活时间下,月桂烯处理组的海参体壁硬度明显高于对照组 ( $P < 0.05$ ),保活 12 d 时,30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯处理组海参体壁硬度下降了 26.75%,而对对照组下降了 67.85%。对照组海参为了抵抗氨氮胁迫,提升了自身新陈代谢水平,加速了体内营养物质消耗,从而使肌肉硬度降低<sup>[19]</sup>。此外,肌肉中 pH 值的明显下降(图 1)会使一些纤维蛋白变性,从而导致硬度等质地性能的下降低<sup>[20]</sup>。然而,适宜浓度的月桂烯处理可显著提升海参在有水保活过程中的品质稳定性,有效延缓海参品质变差,可能是月桂烯的镇定作用,使海参保持休眠状态,应激反应较低。

### 2.4 对海参感官特性的影响

由图 4 可知,新鲜海参体壁坚挺且色泽鲜艳。有水保活 12 d 后,海参体壁变软,出现了化皮和吐肠现象,表明海参发生了自溶,在不良环境下体壁易受损。在保活水中添加不同浓度的月桂烯可减轻海参的化皮程度,其中 30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯处理组的海参化皮程度最轻。20~40  $\mu\text{L/L}$  月桂烯处理组的海参未出现吐肠现象。利用 30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯有水保活 12 d 的海参整体状态最佳,体壁坚挺,背刺凸出,且颜色鲜艳、纹路清晰,说明 30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯保活海参对其体壁有一定的保护作用,保活效果最佳。

由图 5 可知,新鲜组海参的感官评分为 97.67 分。经不同浓度的月桂烯有水保活 12 d 后,海参的感官评分均



小写字母不同表示不同月桂烯浓度相同保活时间下样品差异显著 ( $P < 0.05$ )

图 3 月桂烯浓度对有水保活过程中海参体壁硬度的影响  
Figure 3 Effect of myrcene concentrations on the hardness of sea cucumbers body wall during keeping alive with water

显著降低 ( $P < 0.05$ ),其中 30  $\mu\text{L/L}$  月桂烯处理组的海参感官品质综合评分为 88.57 分,显著高于其他处理组 ( $P < 0.05$ )。有水保活 12 d 后,月桂烯浓度  $< 30 \mu\text{L/L}$  的处理组海参出现轻微自溶现象,表明低浓度的月桂烯对海参的镇静效果不佳,呼吸代谢较快,水质差、饥饿胁迫使海参出现化皮等现象,严重的会导致海参死亡<sup>[21]</sup>。Cai 等<sup>[22]</sup>研究显示,在海参的有水保活运输中,添加 25  $\text{mg/L}$  的抗坏血酸可保持海参原有的外观状态,未出现吐肠现象且死亡率  $< 20\%$ 。暂养水中添加牛磺酸和谷氨酰胺可使石斑鱼在保活过程中的相关指标变化幅度显著低于对照组,表明抗应激剂可有效减缓水产品的氧化应激损伤程度,延长保活时间<sup>[23]</sup>。

### 2.5 对有水保活前后海参水分分布及含量的影响

2.5.1 水分分布及含量 水分是水产品的主要组成部分,低场核磁共振技术可快速、无损且直观地展示出水产品内部的质子信号及其变化,反映水产品中水分的结合状态、含量及迁移<sup>[24-25]</sup>。根据水分子流动性强弱,可将横向弛豫时间分为  $T_{21}$  (0.1~10.0 ms)、 $T_{22}$  (10~1 000 ms) 和  $T_{23}$

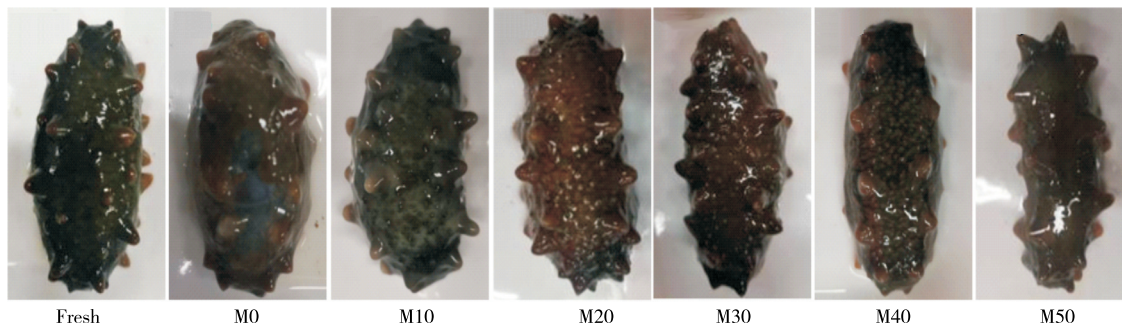
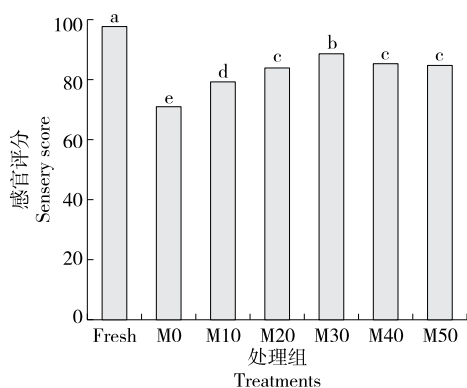


图 4 有水保活前后海参感官特性的变化

Figure 4 Changes in sensory features of sea cucumber before and after keeping alive with water



小写字母不同表示不同月桂烯浓度相同保活时间下样品差异显著( $P < 0.05$ )

图5 月桂烯浓度对有水保活前后海参感官评分的影响  
Figure 5 Effect of myrcene concentrations on sensory scores of sea cucumber before and after keeping alive with water

(1 000~10 000 ms),分别反映水产品中的结合水、不易流动水和自由水。

由图6(a)可知,不同浓度的月桂烯有水保活12 d的海参横向弛豫图谱中均存在3种状态的水分峰,其中, $T_{23}$ 峰的比例最大,为自由水。与新鲜海参相比,有水保活12 d后,海参的 $T_{22}$ 和 $T_{23}$ 峰信号均发生右移,表明海参体壁水分从结合水向不易流动水转化。海参组织内出现了峰迁移,可能是因为长时间保活引起海参出现应激反应,导致细胞结构受损。这种情况使得原本细胞膜束缚的水分释放出来,促进了水分与羟基质子的化学交换,并影响膜的通透性,从而使得弛豫时间的峰值分布改变<sup>[26]</sup>。保活12 d后,与新鲜海参相比,对照组比30  $\mu\text{L}/\text{L}$ 月桂烯处理组海参中的 $T_{23}$ 和 $T_{22}$ 峰向右迁移明显,表明对照组水分流动性提高并转化为自由水。这种现象证明了对照组海参中

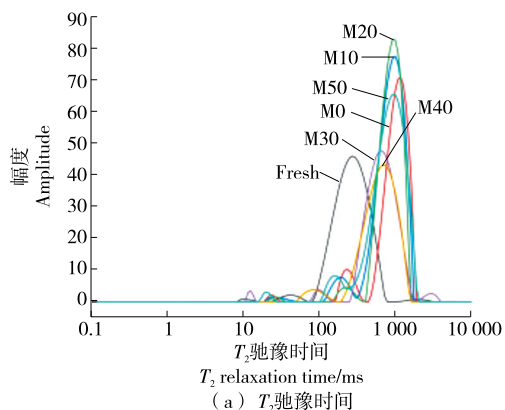


图6 月桂烯浓度对有水保活前后海参 $T_2$ 弛豫图谱及峰面积所占比例的影响

的胶原蛋白纤维内部的水分正在逐渐流失<sup>[27]</sup>。由图6(b)可知,有水保活12 d后,对照组海参的结合水峰值面积减小,表明与蛋白质等大分子结合的水分比例下降,说明氨基酸胁迫不良应激会使肌肉水分含量下降。有水保活12 d后,30  $\mu\text{L}/\text{L}$ 月桂烯处理组的海参 $P_{21}$ 与新鲜海参的最为接近,表明此时海参中结合水最多,月桂烯的添加有助于缓解海参保活过程中游离水分的流失,保持海参的健康品质。

2.5.2 核磁共振成像图 由图7可知,新鲜海参的腹部中心区域呈现出的颜色深厚且鲜艳,具有较高的信号强度,表明样品中的水分含量较高,且其水分在样品中的分布清晰可见。海参有水保活12 d后红色和黄色区域减少,蓝色区域增加,表明水分流失<sup>[28]</sup>。与新鲜海参相比,月桂烯处理组海参成像中水分分布变化较小,30  $\mu\text{L}/\text{L}$ 月桂烯处理组的红色信号强度最高,表明月桂烯能够改变海参体内的水分迁移路径,从而维持较高的水分含量,并增强肌肉的持水性和保水性<sup>[29]</sup>。王艳杰<sup>[17]</sup>研究表明,有水保活运输中添加抗坏血酸可降低海参体内水分的流动性,增加体壁结合水和不易流动水含量。

## 2.6 对有水保活前后海参组织结构的影响

由图8可知,新鲜海参的体壁真皮层致密,无可见孔隙,形态完整且结构整齐,有一定的方向性。有水保活12 d后,对照组海参体壁组织结构发生了显著变化,体壁胶原纤维发生解聚、变粗,表面变得粗糙,且纤维间间隙增大。一方面,长时间氨基酸应激使海参肌肉组织中诱发孔洞,这些孔洞成为游离水渗入肌肉组织的通道,从而降低了肌肉的储水能力。另一方面,游离水分不断从组织中渗出的过程使原本不可溶的物质转变为可溶性物质,反过来加剧孔洞扩大,引发海参胶原纤维和凝胶结构的分解<sup>[30]</sup>。邢洁<sup>[31]</sup>研究发现,海参在模拟运输6 d后组织结构受损严重,肠壁变薄。然而,30  $\mu\text{L}/\text{L}$ 月桂烯保活的海

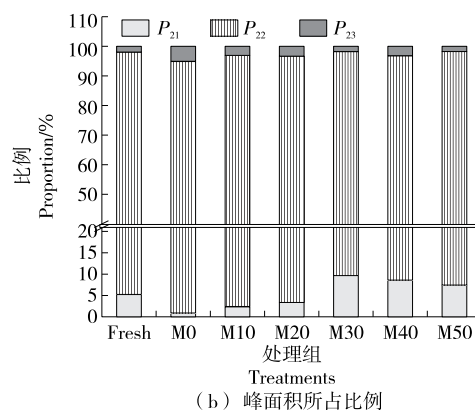


Figure 6 Effect of myrcene concentrations on  $T_2$  relaxation spectra and peak area percentage of sea cucumber before and after keeping alive with water

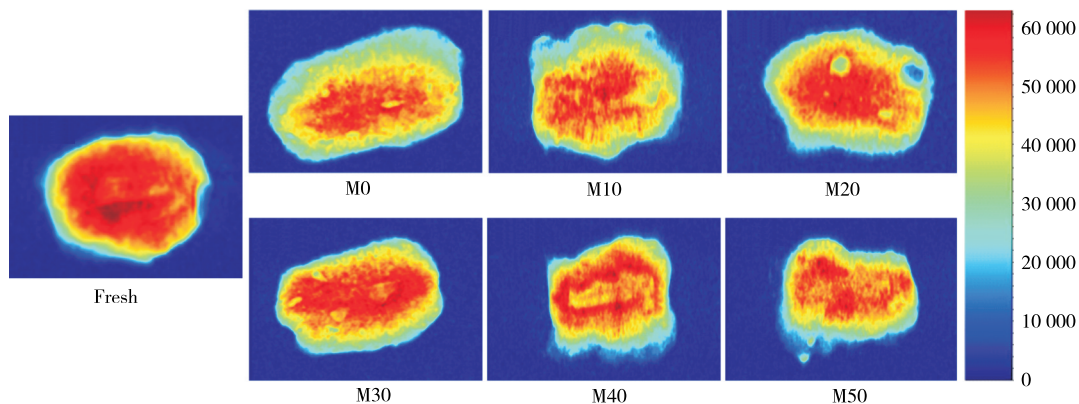


图 7 月桂烯浓度对有水保活前后海参 T<sub>2</sub> 分布图像的影响

Figure 7 Effect of myrcene concentrations on T<sub>2</sub> distribution images of sea cucumber before and after keeping alive with water

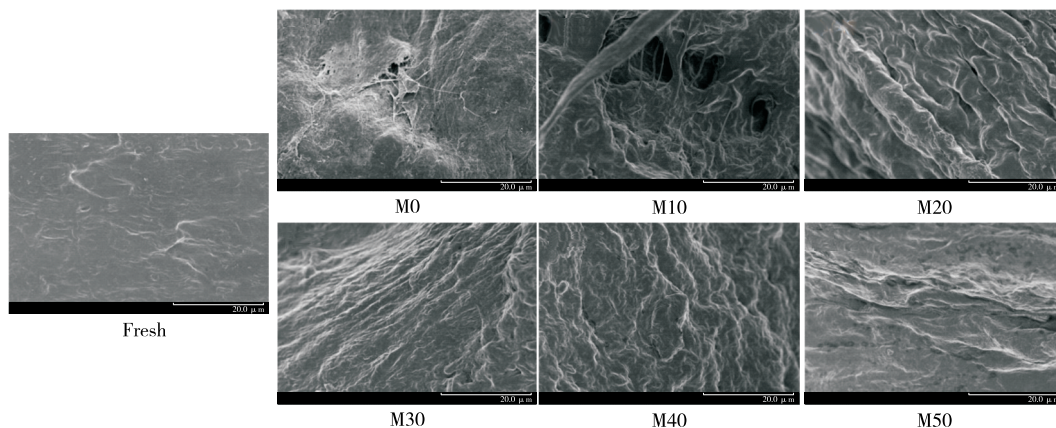


图 8 月桂烯浓度对有水保活前后海参微观结构的影响

Figure 8 Effect of myrcene concentrations on microstructure of sea cucumber before and after keeping alive with water

参肌原纤维结构仍保持完整, 结缔组织也相互紧密黏附, 表现出最小的肌肉组织破坏, 与 Cai 等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。

### 2.7 对保活过程中海参肠道 AKP 和 ACP 活性的影响

AKP 是一种金属酶, 在应激条件下参与碳水化合物、外来蛋白和脂质的分解过程<sup>[32]</sup>。ACP 作为溶酶体标志酶, 可促进细菌异物在溶酶体内的消化, 增强异物识别与清除, 对机体免疫至关重要<sup>[33]</sup>。由图 9 可知, 新鲜海参的 AKP、ACP 活性分别为 (0.18±0.006), (0.15±0.015) 金氏单位/g 蛋白; 随着保活时间的延长, 海参肠中 AKP 活性呈先升后降趋势, ACP 活性呈逐渐上升趋势。有水保活 8 d 时, 对照组 AKP 达到峰值, 海参发生免疫反应, 可能是水质中氨氮的累积引发了海参的应激反应, 为了应对外界环境的变化, 海参需要消耗更多的 ATP 来调节其渗透压, AKP 能催化磷酸酯水解, 参与 ATP 合成。有水保活 12 d 时, 对照组 ACP 达到峰值, 说明水体持续恶化, 环境中外源物质和海参体内有害物质升高, 导致机体组织代谢紊

乱, 需要激活自身免疫系统释放更多的细胞因子来调节应激反应<sup>[34]</sup>。在相同保活时间下, 月桂烯处理组的 AKP 和 ACP 活性显著低于对照组 ( $P < 0.05$ ), 可能是月桂烯缓解了氨氮导致的 AKP 活性上升, 减弱了氨诱导的免疫活性增加, 对组织起到了一定的保护作用<sup>[8]</sup>。因此, 保活水中添加月桂烯可增强海参的免疫能力, 使其在长时间保活过程中仍能维持正常生理机能, 避免免疫酶活性升高而导致的海参组织损伤。

### 2.8 对有水保活过程中海参肠道 SOD、CAT 和 T-AOC 活性的影响

SOD 和 CAT 是生物体内重要的抗氧化酶之一, 具有清除代谢产生的活性氧和自由基的功能<sup>[35]</sup>。T-AOC 可用于衡量鱼类总的抗氧化能力, 包括酶系统 (SOD、CAT 等) 和非酶系统 (谷胱甘肽、氨基酸、维生素等)<sup>[36]</sup>。由图 10 可知, 新鲜海参的 SOD、CAT 和 T-AOC 活性分别为 (117.99±6.44) U/mg、(96.68±0.54) U/mg 和 (0.26±0.01) mmol/L。随着保活时间的延长, 海参肠中 SOD、

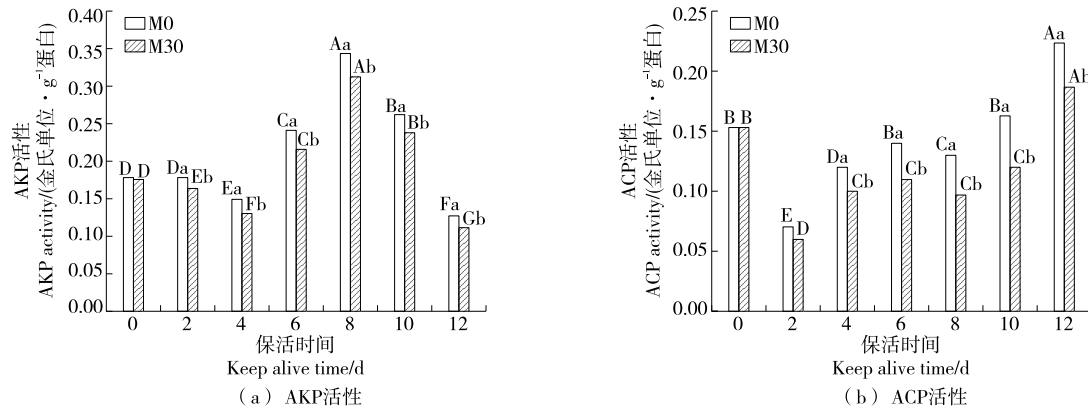


图9 海参保活过程中AKP和ACP活性的变化  
Figure 9 Changes of AKP and ACP activity in the sea cucumber during keeping alive

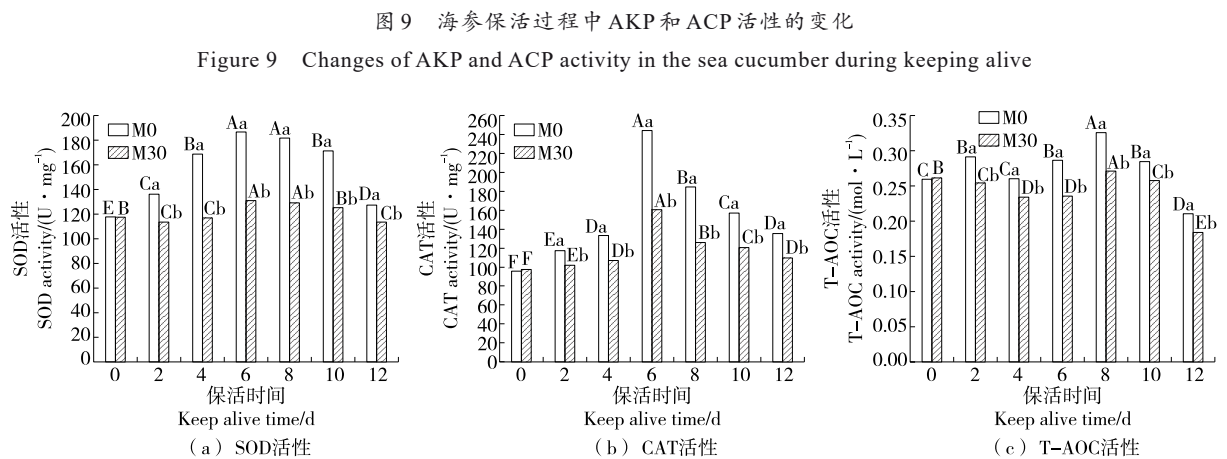


图10 海参保活过程中SOD、CAT和T-AOC活性的变化  
Figure 10 Changes of SOD, CAT and T-AOC activity in the sea cucumber during keeping alive

CAT和T-AOC活性均呈先升高后下降趋势,有水保活6d时,抗氧化酶活性达到峰值。这可能是因为保活水中氨氮累积导致海参体内活性氧含量升高,从而激活了抗氧化酶系统以清除过量的活性氧,维持机体代谢稳定。在相同保活时间下,月桂烯处理组抗氧化酶活性显著低于对照组( $P<0.05$ ),可能是由于月桂烯的抗氧化作用,缓解了海参在保活过程中产生的氧化应激;此外,月桂烯的镇静作用导致海参在保活过程中代谢水平降低,酶活性下降<sup>[7]</sup>。因此,添加月桂烯可降低海参的氧化应激水平,使其在长时间保活过程中维持正常生理机能,避免抗氧化酶升高而导致的肌肉组织受损。

### 3 结论

随着保活时间的延长,海参肌肉pH值、硬度、可溶性蛋白含量、水分分布和组织微观结构等质量指标发生劣变。月桂烯可抑制海参体壁pH、硬度和可溶性蛋白含量的下降。保活12d后,海参感官评分下降、不易流动水含

量降低,而自由水含量上升。然而,30  $\mu\text{L/L}$ 月桂烯处理组的海参体壁pH、硬度、可溶性蛋白含量、水分分布状态与新鲜海参最为接近,且组织结构较为完整,表现出最小的肌肉组织破坏。在相同保活时间下,30  $\mu\text{L/L}$ 月桂烯可显著抑制海参肠中酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、总抗氧化能力活性的升高,能减弱应激胁迫诱导免疫活性增加,缓解长时间保活对海参造成的氧化应激。因此,30  $\mu\text{L/L}$ 的月桂烯能够有效抑制海参在保活过程中的自溶,延长保活时间,延缓海参的品质劣变。后续可进一步研究月桂烯对海参模拟运输过程中生理生化反应的影响。

### 参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2025: 23.  
Fisheries Administration of Ministry of Agriculture and Rural

- Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2025: 23.
- [2] GIANASI B L, HAMEL J F, MERCIER A. Experimental test of optimal holding conditions for live transport of temperate sea cucumbers[J]. Fisheries Research, 2016, 174: 298-308.
- [3] 林雅文, 李艾青, 谭卓弘, 等. 干燥条件对干海参复水动力学及品质的影响[J]. 中国食品学报, 2025, 25(2): 280-289.  
LIN Y W, LI A Q, TAN Z H, et al. Effects of drying conditions on rehydration kinetics and quality of dried sea cucumber[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2025, 25(2): 280-289.
- [4] ZHOU Y, ZHENG J, ZHAO J, et al. Oxygenated storage alleviates autolysis of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* during transport[J]. Aquaculture International, 2023, 31(5): 2 779-2 798.
- [5] XING J, ZHANG M D, ZHENG J, et al. Effect of extra oxygen on *Apostichopus japonicus* life sustainability during commercial transport[J]. Food Control, 2021, 125: 108022.
- [6] 胡炜, 赵斌, 李成林, 等. 慢性氨氮胁迫对刺参摄食与消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 137-146.  
HU W, ZHAO B, LI C L, et al. Effects of chronic ammonia nitrogen stress on the feeding and digestive enzyme activities of sea cucumber (*Apostichopus japonicus* Selenka) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1): 137-146.
- [7] EBRAHIMZADEH MOUSAVI H, TAHERI MIRGHAED A, HOSEINI S M, et al. Myrcene as water conditioner, stress-reducing and antioxidant agent in transportation of common carp, *Cyprinus carpio*, with plastic bags[J]. Aquaculture Reports, 2023, 28: 101458.
- [8] HOSEINI S M, YOUSEFI M, HOSEINIFAR S H, et al. Antioxidant, enzymatic and hematological responses of common carp (*Cyprinus carpio*) fed with myrcene-or menthol-supplemented diets and exposed to ambient ammonia[J]. Aquaculture, 2019, 506: 246-255.
- [9] HOSEINI S M, KHALILI M, RAJABIESTERABADI H, et al. Effects of dietary monoterpene, myrcene, administration on immune-and health-related genes expression in common carp gill following exposure to copper sulfate[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2020, 98: 438-445.
- [10] KHALILI M, ATTAR M, AMIRLATIFI R, et al. Effects of dietary myrcene administration on antioxidant gene responses in common carp (*Cyprinus carpio*), exposed to copper sulphate [J]. Aquaculture Research, 2020, 51(4): 1 653-1 659.
- [11] 朱璐璐, 农绍庄, 李江阔, 等. 两种生物保鲜液对鲜活海参贮藏品质的影响[J]. 食品工业, 2015, 36(6): 128-132.  
ZHU L L, NONG S Z, LI J K, et al. Effect of two kinds of biological preservation solution on the storage quality of fresh sea cucumber[J]. The Food Industry, 2015, 36(6): 128-132.
- [12] 高汉朴, 苏兆新, 刘婷, 等. 转谷氨酰胺酶添加量及暂存条件对传统鱼糕品质的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(6): 121-128.  
GAO H P, SU Z X, LIU T, et al. Effects of transglutaminase addition amount and temporary storage conditions on the quality of traditional fish cake[J]. Food & Machinery, 2025, 41(6): 121-128.
- [13] JØRPELAND G, IMSLAND A, STIEN L H, et al. Effects of filleting method, stress, storage and season on the quality of farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L) [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(7): 1 597-1 607.
- [14] 米红波, 张婷, 鹿悦, 等. 不同氧气含量条件下无水保活珍珠龙胆石斑鱼品质预测模型的建立[J]. 食品科学技术学报, 2024, 42(2): 162-176.  
MI H B, ZHANG T, LU Y, et al. Establishment of quality prediction model of pearl gentian grouper during waterless keeping alive with different oxygen content[J]. Journal of Food Science and Technology, 2024, 42(2): 162-176.
- [15] 张美迪. 海参运输过程中最佳保活条件的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2020: 39.  
ZHANG M D. The optimal transportation condition study of alive sea cucumber[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2020: 39.
- [16] 肖水水, 张鹏, 李江阔, 等. 不同浓度食用级木醋液对鲜活海参保鲜效果的研究[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 35-40.  
XIAO S S, ZHANG P, LI J K, et al. Effect on fresh-keeping of fresh sea cucumber with different concentration edible wood vinegar[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(5): 35-40.
- [17] 王艳杰. 抗坏血酸在海参保鲜保活运输中的作用及机制研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2022: 18.  
WANG Y J. Study on the effect and mechanism of ascorbic acid on maintaining fresh and alive during sea cucumber transportation[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2022: 18.
- [18] CHENG S W, ZHAO J, WANG Y J, et al. The impact of oxygen and ascorbic acid treatments on the physicochemical attributes of live sea cucumber during extended transportation/storage[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2024, 33(4): 315-327.
- [19] CAO J, WANG Q, MEI J, et al. Effect of 3-aminobenzoic acid ethyl ester methanesulfonate (MS-222) on quality of marine cultured turbot (*Scophthalmus maximus*) during simulated transport in water[J]. Fishes, 2021, 6(2): 20.
- [20] COTTIN D, SHILLITO B, CHERTEMPS T, et al. Identification of differentially expressed genes in the hydrothermal vent shrimp *Rimicaris exoculata* exposed to heat stress[J]. Marine Genomics, 2010, 3(2): 71-78.
- [21] 李根瑞. 仿刺参对环境低氧胁迫的生理生化响应研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 4.  
LI G R. Study on the physiological and biochemical responses of *Apostichopus japonicus* to environmental hypoxia stress[D].

- Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016: 4.
- [22] CAI H, ZHAO J, WANG L, et al. Ascorbic acid alleviates the autolysis of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* via the activation of antioxidant enzymes to remove reactive oxygen species during live storage[J]. *Aquaculture International*, 2024, 32(4): 4 207-4 224.
- [23] 米红波, 鹿悦, 陈敬鑫, 等. 牛磺酸和谷氨酰胺对石斑鱼的应激缓解作用[J]. *水产科学*, 2024, 43(6): 865-874.
- MI H B, LU Y, CHEN J X, et al. Stress relieving effect of taurine and glutamine on grouper hybrid[J]. *Fisheries Science*, 2024, 43(6): 865-874.
- [24] SHI G P, GAO T Q, LI X H, et al. Integrating transcriptomic and metabolomic analysis to understand muscle qualities of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) under transport stress[J]. *Food Research International*, 2023, 164: 112361.
- [25] 胡筱波, 陈文飞, 顾泽茂, 等. 抗冻剂对蒸煮小龙虾虾仁冻融后品质的影响[J]. *食品与机械*, 2023, 39(1): 116-124, 151.
- HU X B, CHEN W F, GU Z M, et al. Effect of antifreeze on the quality of cooked crawfish tail meat after freeze-thawed[J]. *Food & Machinery*, 2023, 39(1): 116-124, 151.
- [26] LIU Z L, XIE L, ZIELINSKA M, et al. Pulsed vacuum drying enhances drying of blueberry by altering micro-, ultrastructure and water status and distribution[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 142: 111013.
- [27] LI S, ZHOU Y, SUN L M, et al. Effects of storage method on the quality of processed sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) [J]. *Foods*, 2022, 11(24): 4 098.
- [28] CHENG S S, WANG X H, LI R R, et al. Influence of multiple freeze-thaw cycles on quality characteristics of beef semimembranous muscle: with emphasis on water status and distribution by LF-NMR and MRI[J]. *Meat Science*, 2019, 147: 44-52.
- [29] CHENG S S, WANG X H, YANG H M, et al. Characterization of moisture migration of beef during refrigeration storage by low-field NMR and its relationship to beef quality[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(5): 1 940-1 948.
- [30] 何秀. 基于微波真空干燥过程的海参水分迁移及品质变化规律研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2021: 22-25.
- HE X. Moisture migration and quality change of sea cucumber based on microwave vacuum drying process[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2021: 22-25.
- [31] 邢洁. 海参加氧保鲜保活运输过程中组织结构和相关代谢酶变化的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2021: 50.
- XIE J. Study on the changes of tissue structure and related metabolic enzymes of sea cucumber during the process of oxygenated preservation and alive transportation[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2021: 50.
- [32] CHAN Q X, WANG F Q, HAN Y Z, et al. An investigation on dietary chromium picolinate supplementation in the juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus*: growth, digestive enzyme activity, growth-related genes expression, immune and antioxidant capacity[J]. *Aquaculture Reports*, 2022, 24: 101099.
- [33] GUO J S, WU P H, CAO J L, et al. The PFOS disturbed immunomodulatory functions via nuclear Factor- $\kappa$ B signaling in liver of zebrafish (*Danio rerio*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 91: 87-98.
- [34] HUO D, SUN L N, RU X S, et al. Impact of hypoxia stress on the physiological responses of sea cucumber *Apostichopus japonicus*: respiration, digestion, immunity and oxidative damage[J]. *PeerJ*, 2018, 6: 4 651.
- [35] 王旖雪, 覃思, 周润泽, 等. 铁皮石斛典型黄酮抗氧化活性及分子机制研究[J]. *食品与机械*, 2025, 41(7): 130-136.
- WANG Y X, QIN S, ZHOU R Z, et al. Antioxidant activity and molecular mechanisms of typical flavonoids in *Dendrobium officinale*[J]. *Food & Machinery*, 2025, 41(7): 130-136.
- [36] 陈旭, 左涛, 周胜杰, 等. 饲喂甘草后低盐胁迫对尖吻鲈相关酶活性的影响[J]. *水产科学*, 2023, 42(3): 404-412.
- CHEN X, ZUO T, ZHOU S J, et al. Effects of dietary radix glycyrrhizae powder on antioxidant capacity of Asian seabass *Lates calcarifer* under low salinity stress[J]. *Fisheries Science*, 2023, 42(3): 404-412.