



温度和振动联合胁迫对花鲈有水保活运输中组织损伤及生化指标的影响

郭美洁¹, 梅俊^{1,2,3,4*}, 谢晶^{1,2,3,4*}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 上海市水产品加工保鲜工程技术研究中心, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 上海市冷链设备性能与节能评价专业技术服务平台, 上海 201306)

摘要: 为探究温度和振动强度联合胁迫在有水保活运输过程中对花鲈组织损伤及生化指标的影响, 本研究以 20 和 12 °C 的运输温度以及 0、20 和 50 r/min 的振动强度为变量, 设置 6 个实验组, 模拟运输 48 h 后, 测定氧化应激、组织损伤和免疫反应等变化。结果显示: ① 温度对花鲈存活率的影响大于振动强度。运输 24 h 后, 20 °C 的运输组, 0、20、50 r/min 的存活率分别为 72.70%、62.50% 和 18.2%; 而 12 °C 各运输组存活率均为 100%。② 不同温度下各指标变化趋势差异明显。在 20 °C 的运输条件下, 过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽-S-转移酶 (GST)、谷丙转氨酶 (ALT)、谷草转氨酶 (AST)、酸性磷酸酶 (ACP)、碱性磷酸酶 (AKP)、溶菌酶 (LZM) 活性和丙二醛 (MDA) 含量随着运输时间增加而升高, 超氧化物歧化酶 (SOD) 和免疫球蛋白 (IgM) 含量随运输时间增加呈现先升高后下降的趋势, 血糖 (GLU) 含量随着运输时间增加而下降。在 12 °C 的运输温度下, CAT、MDA、ALT、AST、LZM 呈现先上升后下降的趋势, SOD、GST、GLU、IgM 活性呈现先下降后上升的趋势。20 °C 和 50 r/min 的运输组, SOD 最高活性达 0.64 U/mg prot, 而 12 °C 和 50 r/min 的运输组最高值仅有 0.37 U/mg prot。研究表明, 花鲈保活运输过程中应采用 12 °C 的低温运输并尽量减少运输振动频率。本研究探索了温度和振动强度联合胁迫对海水鱼类组织损伤及生化指标的影响。研究结果可为花鲈短途运输提供参考依据。

关键词: 花鲈; 温度; 振荡强度; 氧化应激; 组织损伤; 免疫特性

中图分类号: S 981.14

文献标志码: A

花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 广泛分布于我国沿海地区, 是主要的经济鱼类之一, 其肉嫩味鲜, 富含多种营养物质^[1]。目前花鲈的售卖方式以活鱼鲜销为主, 其养殖产地多集中于广东、福建等南方省区, 因此需要进行活鱼运输以满足市场需要。活鱼运输指将花鲈置于与其原产地不同的环

境中, 这个过程中存在环境因素导致的应激响应。运输是花鲈保活运输过程中压力的强烈触发因素, 具有非典型环境条件, 包括温度、压力和振动^[2]。

花鲈具有生性凶猛和应激性强的特点, 在保活运输过程中极易造成个体受伤和死亡, 限制了鲜活花鲈的市场销售规模^[3]。在活鱼运输相关研

收稿日期: 2022-11-04 修回日期: 2022-12-28

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901601); 国家海水鱼产业技术体系 (CARS-47-G26)

第一作者: 郭美洁 (照片), 从事水产品保活研究, E-mail: m210311056@st.shou.edu.cn

通信作者: 梅俊, 从事食品冷链物流及品质控制研究, E-mail: jmei@shou.edu.cn;

谢晶, 从事食品冷冻冷藏技术研究, E-mail: jxie@shou.edu.cn



究中发现, 温度、振动等运输胁迫会影响斑石鲷 (*Oplegnathus punctatus*) 和金鱼 (*Carassius auratus auratus*) 的生理、生化特征^[4-5]。同时, 运输温度也会对鱼类的生化和生理机制有重要影响, 包括心脏功能、氧化应激、生长、新陈代谢、耗氧和繁殖性能等^[6-7]。Chang 等^[8]的研究表明, 运输过程中的温度升高或降低均会诱发鱼类的氧化应激并引发抗氧化防御。但是, 有关于温度和振动强度联合胁迫对海水鱼类影响的研究鲜有报道。本实验以花鲈为对象, 研究其在不同温度和振动频率胁迫下的氧化应激、组织损伤和免疫方面的变化。

1 材料与方法

1.1 实验材料

花鲈购自上海水产品市场, 挑选体质健康、无外伤、大小基本一致 (体长约 35 cm, 体重约 400 g) 的活花鲈作为实验材料。实验用水由经过滤后的水和海盐配制而成, 实验开始前 1 天配制, 连续曝气 24 h 后使用。盐度 16~17、溶解氧 5~7 mg/L、pH 为 8.0。本研究获得了上海海洋大学实验动物管理和使用伦理委员会批准 (SHOU-DW-2022-059), 实验过程中操作人员严格遵守上海海洋大学审批机构伦理规范, 并按照上海海洋大学审批机构伦理委员会制定的规章制度执行。

1.2 实验试剂与仪器设备

YEE 牌加热棒 (800W), 全自动循环冷水机 (广东海利集团), LX-100VTR 模拟运输振动台 (上海鲁轩仪器设备厂), SH-1000Lab-全波长酶标仪 (北京宏昌信科技有限公司), F2640 型多点温度采集仪 (美国 Fluke 公司), 5810R 高速冷冻离心机 (上海艾测电子科技有限公司), 迈瑞 BS-200 全自动生化分析仪、水族箱三合一曝气机、JPB-607 型便携式溶解氧测定仪 (上海精密科学仪器有限公司), FA25 电动匀浆机 (上海弗鲁克流体机械制造有限公司)、Hitachi SU5000 扫描电镜 (东京电力公司, 日本), AUW320 分析天平 (日本岛津公司), DWS-296 氨氮分析仪 (上海仪电科学仪器股份有限公司), 真空冷冻干燥机 (Minifast 04, 中国上海), SJH-4S 数控精密恒温水浴锅 (宁波天恒仪器厂), 暂养箱、纱布、注射器、电子秤、pH 计等。

1.3 实验方法

组别设计 根据文献^[9]及预实验得知, 花

鲈的最适生存温度为 20 °C, 最适低温运输的温度为 12 °C, 故选 12 °C 和 20 °C 为实验的高温组和低温组。根据东海近岸海浪起伏波动周期和车载运输对应的晃动频率, 确定振荡强度分别为 20 和 50 r/min^[10], 将实验共分为 6 组 (表 1), 每组样品 15 条, 实验总数为 100 条; 分别在 0、12、24、36 和 48 h 取样, 取样时随机取 3 条鱼进行指标测定。实验开始前 24 h 停止喂食, 然后将暂养池中的花鲈转入相同水温的保温箱中, 用加热棒和冷水机以 1~3 °C/h 的速率将水温调节到 12 和 20 °C^[11], 实验期间持续充氧, 保持水中溶解氧含量为 5~7 mg/L, 用冰袋和加热棒保持运输过程中温度恒定。

表 1 不同温度及振动强度实验组

Tab. 1 Different temperature and vibration strength test groups

实验组标号 test group label	处理方式 treatment
A	20 °C 运输温度+0 r/min 振荡强度
B	20 °C 运输温度+20 r/min 振荡强度
C	20 °C 运输温度+50 r/min 振荡强度
D	12 °C 运输温度+0 r/min 振荡强度
E	12 °C 运输温度+20 r/min 振荡强度
F	12 °C 运输温度+50 r/min 振荡强度

血清样品的制备 将花鲈用木棒敲击致晕, 在尾部进行静脉取血, 将血液放入 1.5 mL 的离心管中。取血完毕, 将其放在 4 °C 的冰箱中静置 12 h 后, 将血液取出在 4 °C 下以 4 000×g 离心 25 min, 用移液枪吸取上清液即血清, 将血清置于 -80 °C 暂存。用于测定血清中谷丙转氨酶 (ALT)、谷草转氨酶 (AST)、酸性磷酸酶 (ACP)、碱性磷酸酶 (AKP)、溶菌酶 (LZM)、免疫球蛋白 (IgM) 等活性。

组织样品的制备 采血后的花鲈置于冰盘解剖, 取花鲈肝脏, 按质量体积比 (1 : 9) 的比例加入 0.85% 生理盐水制成 10% 的组织匀浆, 然后在 4 °C 下以 2 500 × g 离心 10 min, 取上清液测定过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性及丙二醛 (MDA) 含量。

1.4 指标测定

存活率 实验过程中, 每隔 12 h 记录每个实验组的存活率:

$$\text{存活率}(\%) = (\text{存活数} / \text{样品总数}) \times 100\%$$

水质指标测定 实验过程中每隔 12 h 取

50 mL 海水, 将海水置于 100 mL 的聚乙烯离心管中, 并加盖密封。用 DWS-296 氨氮分析仪测定海水中总氨氮含量。

氧化应激测定 采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定谷胱甘肽 S 转移酶 (GST)、SOD、CAT 活性和血糖 (GLU) 活性。

组织损伤测定 采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定 ALT、AST 活性和 MDA 含量。

对于鳃的组织学分析, 采用 Wang 等^[3]的方法对花鲈的第二鳃弓的上鳃丝进行了切割和处理。花鲈鳃丝在浓度为 2.5% 的戊二醛溶液中固定 24 h, 然后用 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH=7.4) 冲洗 3 次。分别用 30%、50%、70%、80%、90% 和 100% 乙醇进行梯度洗脱 15 min, 乙酸异戊酯置换后置于真空冷冻干燥机中干燥 24 h。通过 Hitachi SU5000 扫描电镜观察鳃组织样品的形态。

免疫指标测定 采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定 AKP、ACP 和 LZM 活性, 使用雅吉试剂盒测定 IgM 活性。

1.5 数据分析

所有实验均重复 3 次, 实验数据使用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行显著性分析 ($P < 0.05$ 表明存在显著差异), 实验数值用平均值 \pm 标准差 (mean \pm SD) 表示, 采用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果

2.1 不同温度和振荡强度对花鲈氧化应激的影响

花鲈在不同温度运输条件下, CAT 活性呈现出不同的变化趋势 (图 1-a)。在 12 °C 运输温度下, 随着运输时间的增加, CAT 活性均呈现先上升后下降的趋势。而在 20 °C 运输温度下, 随着运输时间的增加, CAT 活性仅呈现上升趋势。运输 12 和 24 h 后, A、B 和 C 组的 CAT 活性显著高于 D、E 和 F 组 ($P < 0.05$)。运输 12 h 后, A、B 和 C 组的 CAT 活性分别为 D、E 和 F 的 1.438、1.797 和 1.703 倍。运输 24 h 后, A、B 和 C 组的 CAT 活性分别为 D、E 和 F 组的 1.648、2.054 和 1.967 倍。A、B 和 C 组的 SOD 活性随着运输时间的增加呈现上升趋势, 运输 12 h 后各实验组 SOD 活性均达到峰值, 之后呈现下降趋势 (图 1-b)。而 D、E 和 F 组的 SOD 活性呈现出不同的变化趋势。各实验组 SOD 活性随着运输时间的增加, 呈现先下降后上升的趋势。运输 36 h 后, D 组 SOD

活性显著高于 E、F 组 ($P < 0.05$)。A、B 和 C 组的 GST 活性与 CAT 活性呈现相同的变化趋势, 其活性均随着运输时间的增加而上升 (图 1-c)。D、E 和 F 组的 GST 活性与 SOD 活性呈现相同的变化趋势, 其活性随着运输时间的增加, 呈现先下降后上升的趋势。运输 36 h 后, F 组 SOD 活性显著低于 D、E 组 ($P < 0.05$)。在不同运输温度下, GLU 含量随运输时间增加呈现出不同的变化趋势。在 20 °C 运输条件下, GLU 含量随着运输时间的增加呈现出下降的趋势 (图 1-d)。在 12 °C 的条件下, GLU 含量随着运输时间的增加呈现出下降的趋势, 运输 12 h 后, 达到最低值, 之后随着运输时间的增加呈现上升的趋势。

2.2 不同温度和振荡强度对花鲈肝组织损伤的影响

A、B 和 C 组的 MDA 含量、ALT 和 AST 活性均呈现上升趋势 (图 2); D、E 和 F 组的 MDA 含量、ALT 和 AST 活性均呈现先上升后下降的趋势, 各实验组的 MDA 含量和 AST 活性在运输 24 h 时达到峰值, D 组 ALT 含量峰值出现在运输 12 h 后, E 和 F 组的 ALT 含量峰值出现在运输 12 h 后。在运输 24 h 后, A、B 和 C 组的 MDA 含量和 ALT 活性显著高于 D、E 和 F 组 ($P < 0.05$); D 组的 ALT 活性和 AST 活性显著低于 A、B、C、E 和 F 组 ($P < 0.05$)。

0 h 鱼鳃中存在正常的次级薄片, 鳃薄片被规则的层间空间分开。每个细胞没有损伤脱落 (图版)。D、E 和 F 组在 12 h 后仍观察到按层间间隔分离的鳃薄片, 然而, 鳃片的表面在 24 h 时也显示出轻微的收缩。A、B、C 组在 12 h 后鳃薄片之间的层间距离变短, 并且已经出现变形和收缩, 鳃片表面不再光滑, 并且出现一些细胞萎缩; 在 24 h 后, 鳃薄片之间的层间距离更短, 并且已经出现严重的变形和收缩, 鳃薄片折叠和弯曲更严重, 并且出现不规则的褶皱, 此时, C 组观察到更多的黏液细胞、受损的上皮细胞以及无组织的细丝和薄片。

2.3 不同温度和振荡强度对花鲈免疫指标的影响

花鲈在不同温度和振荡强度的胁迫下, 各实验组的 ACP、AKP 含量均随运输时间的增加而呈现上升趋势 (图 3)。运输 36 h 后, F 组 ACP 含量和 AKP 含量显著高于 D 和 E 组 (图 3-a, b)。在运输 24 h 后, A、B 和 C 组的 AKP 含量显著高于 D、E 和 F 组 ($P < 0.05$), A、B 和 C 组的 AKP 含量是 D、E 和 F 组的 1.540、1.654 和 1.679 倍 (图 3-b)。

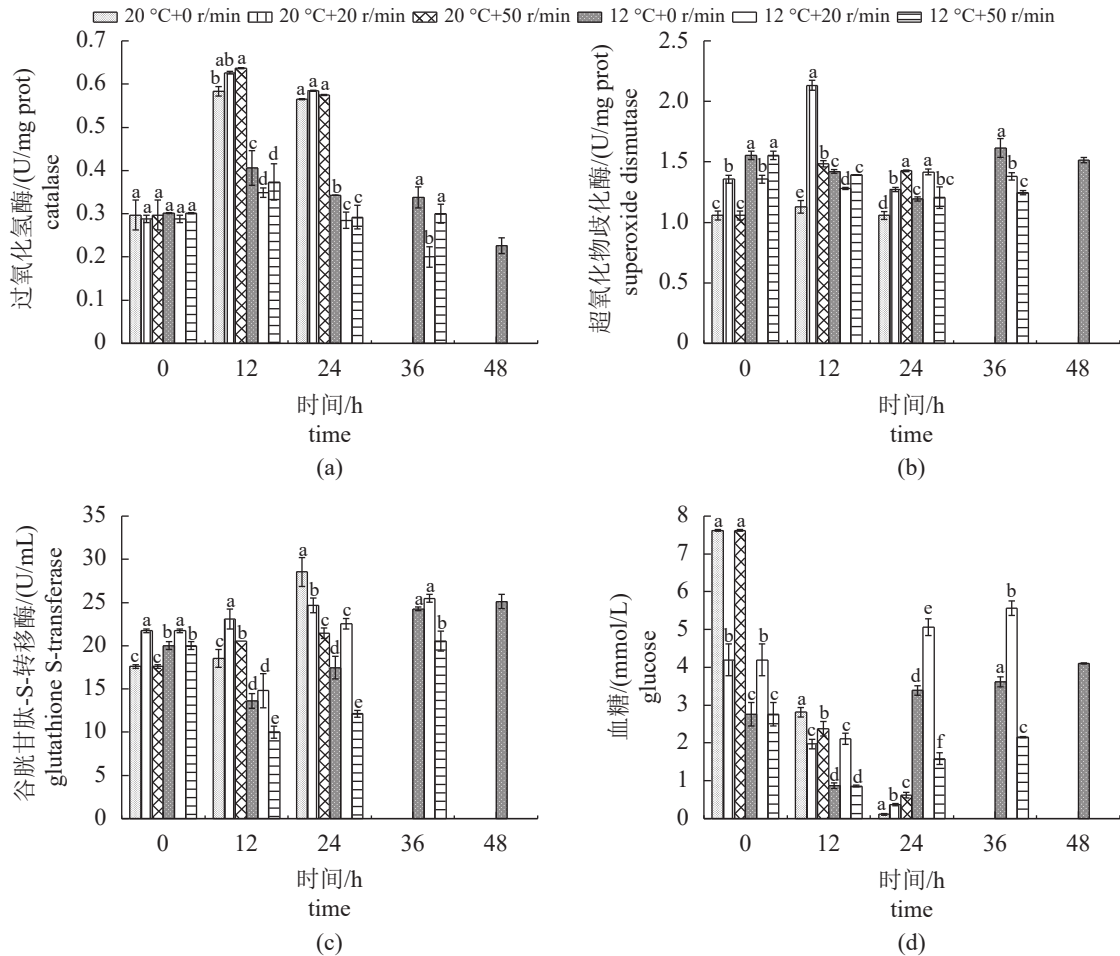


图 1 不同温度和振动强度对花鲈 CAT (a)、SOD (b)、GST (c) 活性以及 GLU (d) 含量氧化应激的影响

不同的小写字母表示同一时间不同运输组的平均值有显著差异 ($P<0.05$), 下同。

Fig. 1 Effects of different temperature and vibration intensity on CAT (a), SOD (b), GST (c) activity and GLU (d) content of *L. japonicus*

Different lowercase letters indicate that the average value of different transport groups at the same time has significant difference ($P<0.05$), the same below.

A、B 和 C 组的 IgM 含量随着运输时间的增加呈现出先上升后下降的趋势, 而 D、E 和 F 组的 IgM 含量随着运输时间的增加呈现先下降后上升的趋势, 不同运输温度的各实验组均在运输 12 h 后达到峰值 (图 3-c)。在运输 12 h 后 A 组 IgM 含量最低, 为 149.148 ng/mL。运输 36 h 后, F 组 IgM 含量显著高于 D 和 E 组。A、B 和 C 组的 LZM 含量与运输时间呈现正相关; D、E 和 F 组 LZM 含量随着运输时间的增加呈现先上升后下降的趋势, 在运输 24 h 后达到峰值 (图 3-d)。在模拟运输过程中, 相同振荡强度下, 20 °C 运输温度的实验组 LZM 含量显著高于 12 °C 运输温度的实验组 ($P<0.05$)。

2.4 不同温度和振荡强度对花鲈存活率的影响

不同温度和振荡强度对花鲈存活率的影响结

果显示, 在模拟运输 12 h 后, 存活率为 100%; 模拟运输 24 h 后, 12 °C 的三个实验组 (DEF) 存活率为 100%, 而 20 °C 的三个实验组 (ABC) 的存活率随振荡强度的增加而降低, 说明温度对花鲈存活率的影响大于振荡强度对花鲈的影响。模拟运输 36 h 后, 20 °C 的所有实验组 (ABC) 存活率为 0%, 12 °C 的实验组 (D) 存活率为 50% (表 2)。

2.5 花鲈不同温度和振荡强度对运输水质的影响

实验开始时, 海水是经过充分曝气的新鲜海水, 氨氮浓度为 0.375 $\mu\text{g/L}$ (图 4), 随着保活时间的延长, 其中的总氨氮含量呈上升趋势 ($P<0.05$); 当运输时间为 24 h 时, D 组的氨氮含量达到 8.53 mg/L, 水体较为清澈; C 组的氨氮浓度高达 21.45 mg/L, 此时水体开始变浑浊, 水体微黄。

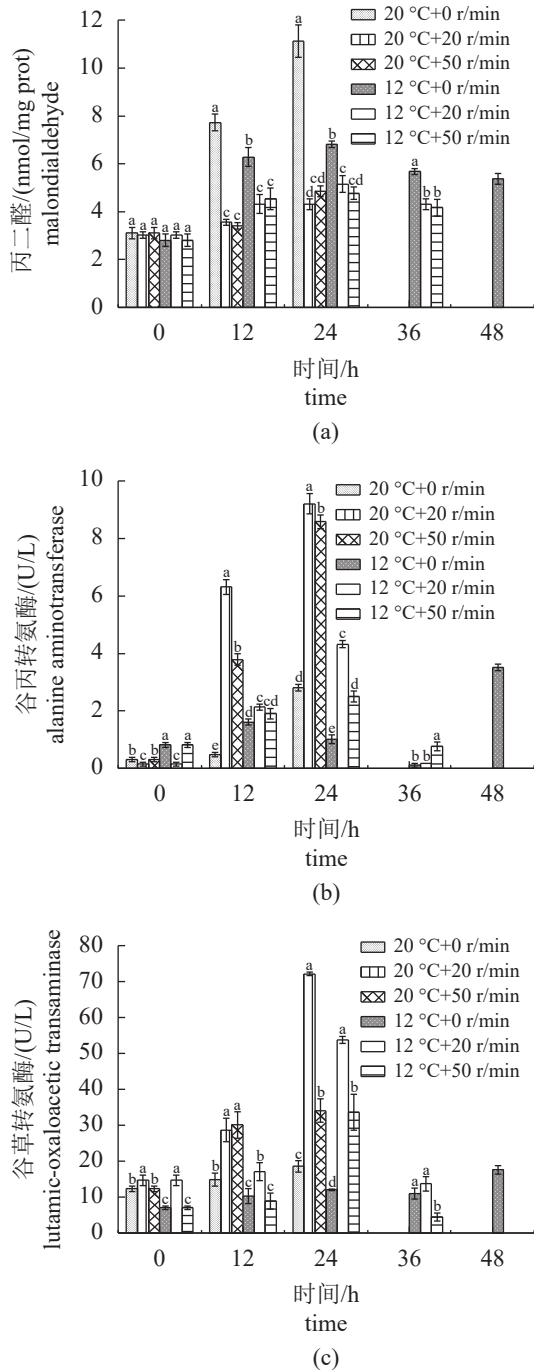


图2 不同温度和振动强度对花鲈 MDA 含量 (a)、ALT (b) 和 AST (c) 活性的影响

Fig. 2 Effects of different temperature and shock intensity on MDA content (a), ALT (b) and AST (c) activity of *L. japonicus*

3 讨论

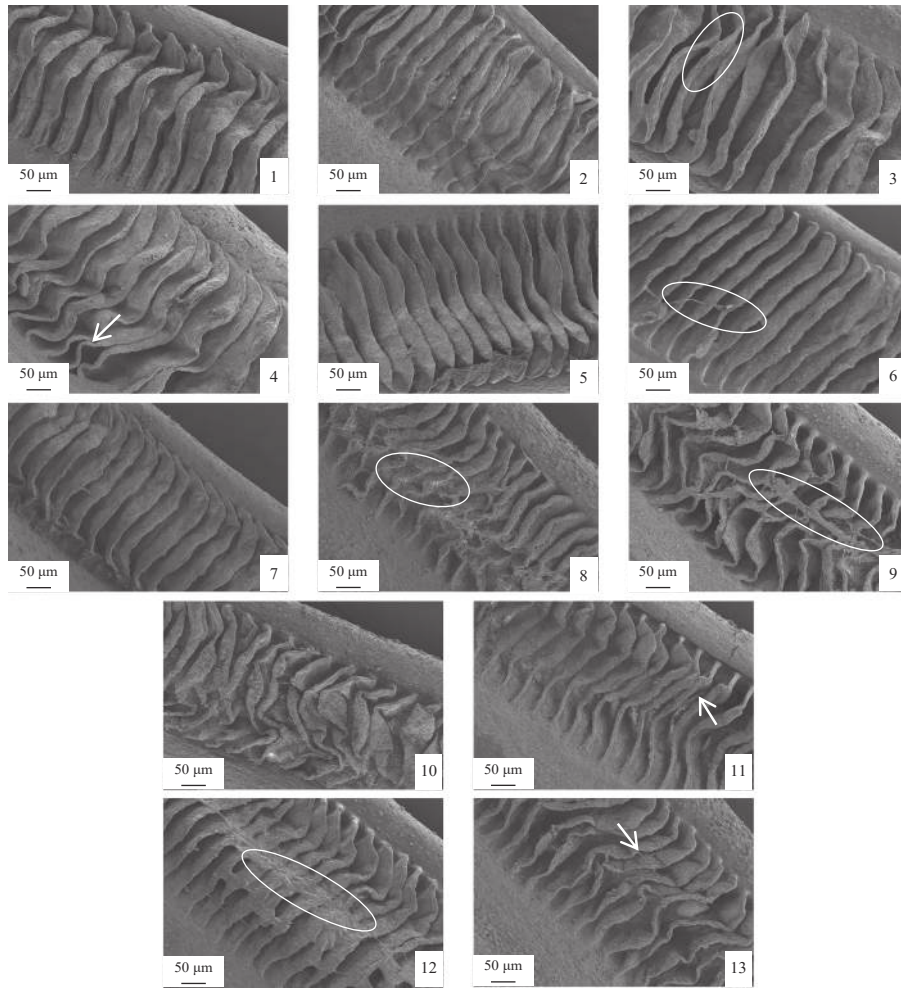
3.1 不同温度和振荡强度对花鲈氧化应激的影响

鱼类在运输过程中由于外界环境的不断变化, 如水质恶化、温度波动、机械振动及捕捞等, 均

会引起鱼类的应激反应。运输应激会引起生理功能和细胞代谢等出现紊乱。温度是导致海水鱼氧化应激的重要非生物因素, 海水鱼在高温或低温下会增加氧化应激水平并诱导抗氧化机制。温度升高会导致水生动物的氧化应激, 如花鲈等河口鱼类^[12-13]。低温胁迫会增加活性氧的产生, 导致氧化应激, 而抗氧化系统在维持自由基平衡和减少氧化损伤的温度响应中起着关键作用^[14-15]。抗氧化机制或氧化损伤标志物的酶活性是用于确定不同温度处理下氧化还原状态的常用指标。SOD、CAT 是两种最重要的抗氧化酶。SOD 可以将细胞内的氧自由基 ($\cdot\text{O}_2^-$) 转化为过氧化氢 (H_2O_2) 和分子氧 (O_2), 而 CAT 将其转化为 H_2O 和 O_2 ^[16]。GST 可以通过催化一些氧化反应的中间产物与 GSH 连接而使其被机体清除^[17]。

SOD 和 CAT 酶在短期暴露于升高的温度后, 可以通过消除自由基从而保护肝脏免受氧化损伤^[18]。在 20 °C 的温度下, 各组肝脏 SOD 活性呈先升高后降低的趋势。在花鲈保活运输前期, 肝脏 SOD 水平呈上升趋势, 可能是较高的温度诱导了酶的激活^[19]。后期 SOD 活性下降可能是因为机体受到严重氧化应激损伤。Luo 等^[20]研究表明, 严重的氧化应激会降低斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 肝脏中的 CAT 和 SOD 活性, 导致脂肪酸 β -氧化和免疫系统紊乱。Chang 等^[21]也发现舌齿鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 在适应环境时, 温度越高会产生越多的氧化损伤。此外, 低温胁迫会增加活性氧的产生, 从而诱导氧化应激, 但抗氧化酶在冷胁迫下的反应因种类、强度、胁迫持续时间等而异^[8]。花鲈在 12 °C 的运输条件下, CAT 活性也随着运输时间均呈增加趋势, 表明抗氧化防御得到增强, 以保护细胞免受低水温诱导的氧化应激的有害影响, 这与 Cheng 等^[22]的实验结果一致。因此, 温度的高低可能都会降低抗氧化防御能力。

血糖在鱼体中上调以维持能量供应和代谢产生, 且与不同鱼体的生理状态有关^[23]。血糖水平下降可能是因为低温条件下鱼类代谢较慢, 消耗的能量较少^[24]。而血糖含量在反映鱼体糖代谢的同时也反映鱼体应激, 正常情况下, 机体血糖含量处于动态平衡状态, 但在胁迫下会发生变化^[25]。12 °C 运输条件下, 前期血糖含量下降的原因可能是在低温条件下, 鱼体活动少、代谢慢, 减少了对能量的消耗^[26]。葡萄糖是许多组织的必需燃料,



图版 花鲈鳃丝的扫描电子显微镜 (SEM) 显微照片

1. 0 h 的鳃组织形态变化, 2~7. A、B、C、D、E、F 实验组运输 12 h 后鳃组织形态变化, 8~13. A、B、C、D、E、F 实验组运输 24 h 后鳃组织形态变化, 白圈代表体表黏液, 箭头代表鳃丝紊乱。

Plate Scanning electron microscope (SEM) micrograph of *L. japonicus* gill-filaments

1. the morphological changes of gill tissue at 0 h, 2-7. the morphological changes of gill tissue after 12 h transportation for experimental groups A, B, C, D, E, and F, 8-13. the morphological changes of gill tissue after 24 h transportation for experimental groups A, B, C, D, E, and F; the white circle represents the body surface mucus, and the arrow represents the gill-filaments disorder.

因而恒定的血糖浓度对维持鱼类正常生命活动有重要的作用, 低温运输后血糖有明显的上升, 可能与运输刺激后皮质醇激素增高有关^[27-28]。皮质类固醇可使机体各组织对葡萄糖的利用率降低, 同时使肝脏的糖原异生作用增强, 结果使血糖升高^[26]。杜浩等^[29]的研究表明, 美洲鲈 (*Alosa sapidissima*) 处于应激时肾上腺髓质释放肾上腺素的量也增加, 可促使糖原分解成葡萄糖进入血液, 引起血糖升高。贾明亮^[30]在研究中也指出, 奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. oaures*) 在受到 14、16 和 18 °C 低温胁迫时会消耗血糖从而抵抗环境变化, 但在适应环境后, 体内会趋于新的稳态, 并使血糖浓度上升, 这与本研究结果一致。

3.2 不同温度和振荡强度对花鲈组织损伤的影响

MDA 是多不饱和脂肪酸脂质过氧化的最终产物^[31]。MDA 水平升高通常被认为是鱼类暴露于不良环境条件下产生的氧化应激诱导的脂质过氧化的迹象, 是氧化应激的早期检测^[32]。开始运输一段时间后, MDA 含量随运输时间延长没有显著升高, 这一发现可能是由于肝脏中的抗氧化系统消除了活性氧。之后 MDA 水平开始显著升高, 表明机体因为温度过高, 产生的组织损伤并不能够被消除^[33]。

除 MDA 含量外, 血清中 ALT 和 AST 活性的变化往往反映肝细胞损伤^[34]情况。正常情况下鱼体血清中 ALT、AST 酶的活性相对较低且稳定,

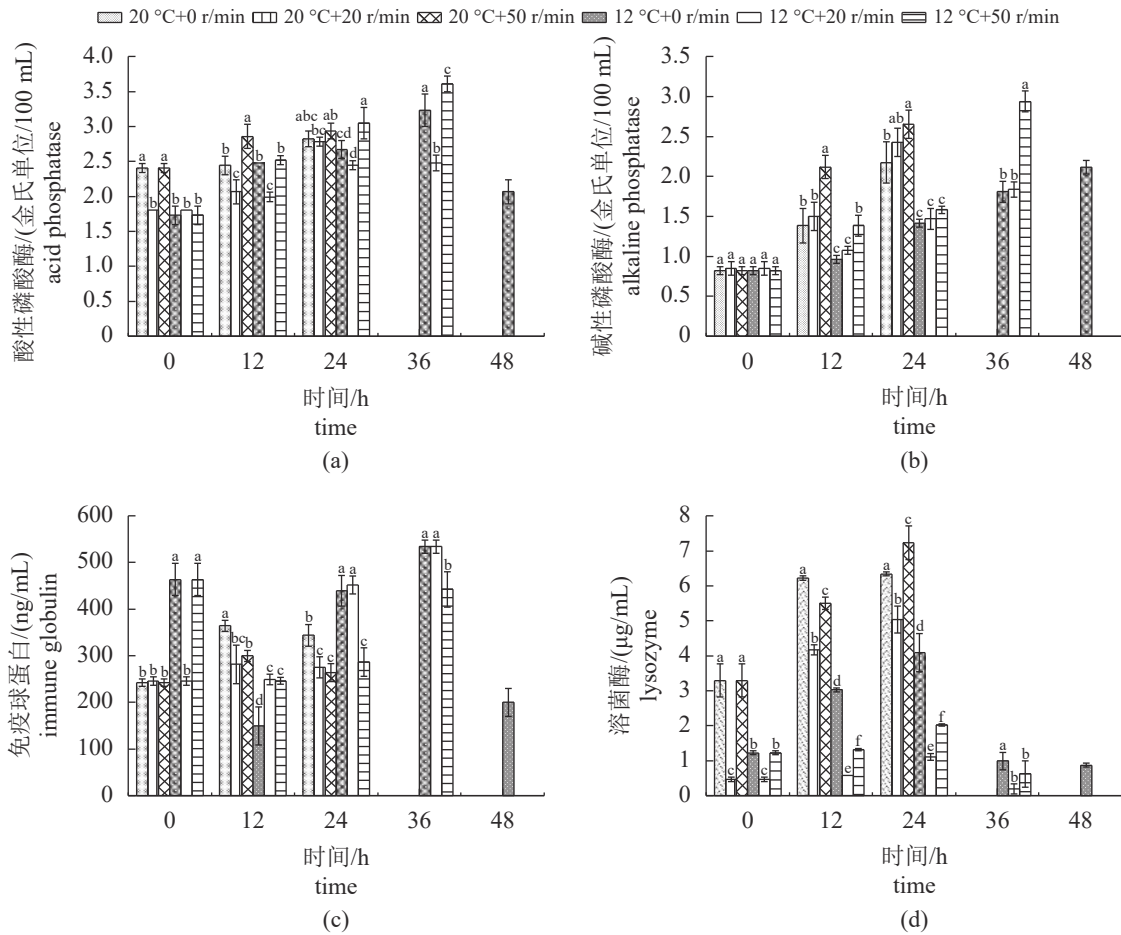


图3 不同温度和振动强度对花鲈 ACP (a)、AKP (b)、IgM (c) 和 LZM (d) 活性的影响

Fig. 3 Effects of different temperature and vibration intensity on ACP (a), AKP (b), IgM (c) and LZM (d) activities of *L. japonicus*

表 2 不同运输组花鲈的存活率

Tab. 2 Survival rate of *L. japonicus* in different transportation groups and preservation time

运输组 transport group	保活时间/h time				
	0	12	24	36	48
A	100.00	100.00	72.70	0.00	0.00
B	100.00	100.00	62.50	0.00	0.00
C	100.00	100.00	18.20	0.00	0.00
D	100.00	100.00	100.00	71.40	50.00
E	100.00	100.00	100.00	75.00	0.00
F	100.00	100.00	100.00	42.90	0.00

当肝脏或心肌受到损伤时, 血清中二者的活性会显著升高。AST、ALT 活性与体内氨基酸的分解转化关系密切, 这两种酶活性的提高说明氨基酸被大量分解用以供能^[35]。在本研究中, ALT 和 AST 活性随着运输时间的增加而呈现上升趋势, 表明花鲈的肝脏受到了一定程度的损害。此外,

在 20 °C 运输条件下, ALT 与 AST 活性较高的原因可能还与其体内蛋白质代谢率较高有关^[36]。在 12 °C 的温度下, AST 和 ALT 活性达到峰值后降低可能是肝组织功能障碍的结果^[37]。Ming 等^[38] 的研究结果也发现, 温度胁迫可以使团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 中的 AST 和 ALT 活性呈现

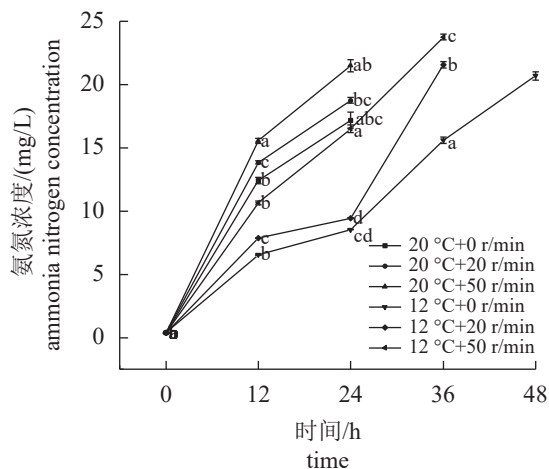


图4 不同温度和振动强度对运输水质的影响

Fig. 4 Influence of different temperature and vibration intensity on transportation water quality

先升高后下降的趋势。

由于鱼鳃是黏膜相关的淋巴组织, 并且与水直接接触, 因此它们是研究花鲈对运输应激反应机制的合适组织。当处于应激时, 鱼类可以调节黏液的分泌作为应对机制^[39]。运输可导致花鲈的皮肤黏液细胞数量发生变化。运输 24 h 后, 黏液细胞数量与对照组鳃组织相比显著增加, 这可能是鳃黏液细胞免疫力增强的表现。Al-Zaidan 等^[40]将斑马鱼 (*Danio rerio*) 暴露于 25.81 mg/L 非离子氨后, 发现鳃中的黏液细胞数量增加。

3.3 不同温度和振荡强度对花鲈免疫指标的影响

主要的免疫参数 (ACP、AKP 和 LZM) 在防御微生物病原体方面发挥着关键作用。LZM 活性是鱼类适应性免疫的关键指标^[41]。一般认为, 急性应激会导致鱼类血液溶菌酶活性升高。这些趋势可能受到多种因素的影响, 例如压力类型、强度和时长^[38]。LZM 在急性应激下, 比如温度、氨氮胁迫等会导致鱼类血液溶菌酶水平 LZM 活性升高, Ndong 等^[42]的研究表明, 温度升高, LZM 活性增加, 这与本研究结果一致。本研究中 12 °C 的运输温度下, 各组 LZM 活性随运输时间增加呈先上升后下降趋势, 而 IgM 含量呈现先下降后上升的趋势, LZM 活性前期升高, 以应对外界压力变化。随着温度胁迫时间的延长, 皮质醇水平可能会持续升高, 导致溶菌酶活性和免疫力下降, 从而增加机体对病原体的易感性^[43]。李伟业等^[44]也发现条纹锯鲈 (*Centropristis striata*) 幼鱼处于长期

不适的温度时, LZM 活性降低, 机体免疫力也随之下降。

AKP 是生物体健康情况和免疫状况的参考指标, 可催化多种与磷有关的水解反应, 可通过改变病原菌表面结构, 增强对病原菌的识别和吞噬能力^[45]。ACP 是巨噬细胞溶酶体酶的标志酶, 其基本功能是消化生物大分子以维持细胞正常的代谢活动。某些宿主可以识别并吞噬入侵的病菌, 在溶酶体的作用下将其杀死并降解, 因此酸性磷酸酶活性直接影响机体的免疫功能^[46]。ACP、AKP 含量受营养状况、环境变化、疾病和生长阶段等的影响, 当免疫水平降低或增高时它们也会产生相应的变化^[47]。本实验中, 各实验组 ACP 和 AKP 活性均随运输时间的增加呈现上升趋势, 这与白海文^[48]对施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 幼鱼和李文龙等^[49]对大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼的研究结果类似。

IgM 在体液免疫中发挥重要作用, 也是在鱼类免疫反应表达的第一种抗体, 尤其是针对细菌抗原^[50]。本实验中, 20 °C 运输温度下, IgM 呈现先升后降的变化趋势, 12 °C 运输温度下, IgM 呈现先降后升的趋势, 与何杰等^[51]研究低温胁迫对吉富罗非鱼 (*O. niloticus*, GIFT) 血清 IgM 影响结果不同, 当水温由 26 °C 降到 20 °C 时, 吉富罗非鱼血清 IgM 水平上升。上述研究结果的不同说明不同鱼类血清 IgM 随温度的变化有较大差异^[51]。

3.4 不同温度和振荡强度对花鲈水质和存活率的影响

鱼类在运输过程中, 由于捕捞、搬运、振动等因素会出现行为应激反应, 如跳跃、躲避、侧翻等行为, 引起机体的损伤^[52]。因此, 鱼类在运输过程中的行为变化直接反映机体的应激程度。温度是影响鱼类生存重要的环境因子之一, 主要对鱼类代谢反应起控制作用, 从而影响鱼类的成活率。不同鱼类的生理生态特性对于振动的响应不尽相同。综合本实验结果, 温度对花鲈的影响远大于振荡强度。温度过高或过低均不利于鱼体运输。温度较高时, 鱼体新陈代谢旺盛, 水中氨氮浓度增加快, 致使鱼体血液中氨氮浓度升高, 对鱼体产生毒性作用, 导致鱼体死亡, 从而降低存活率; 水温低时, 鱼体新陈代谢减慢, 但遭到长期冷应激也会产生严重的损伤和死亡, 导致存活率下降^[53-54]。

4 结论

综上所述, 不同运输温度和振荡强度胁迫会导致花鲈发生氧化应激反应, 造成花鲈的组织损伤并且破坏其免疫系统, 随着运输时间的增加, 对花鲈的影响增加, 从而降低花鲈在运输过程中的存活率。综合分析, 温度对花鲈的影响大于振荡强度, 且温度越低, 对花鲈造成的影响越小, 振荡强度越低, 对花鲈的影响也越小。研究结果可为花鲈短途运输提供参考依据, 在花鲈运输过程中应尽量使用低温, 并尽可能地减少路途上的颠簸, 从而减少对花鲈的影响, 提高运输过程中的存活率。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 李秀霞, 刘孝芳, 刘宏影, 等. 超声波辅助冷冻与低温速冻对海鲈鱼冰晶形态及冻藏期间鱼肉肌原纤维蛋白结构的影响 [J]. 中国食品学报, 2021, 21(10): 169-176.
Li X X, Liu X F, Liu H Y, *et al.* Effects of ultrasound-assisted freezing and cryogenic quick freezing on ice crystal morphology and myofibrin structure of Sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during frozen storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(10): 169-176.
- [2] Purbosari N, Warsiki E, Syamsu K, *et al.* Natural versus synthetic anesthetic for transport of live fish: a review[J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2019, 4(4): 129-133.
- [3] Wang Q, Mei J, Cao J, *et al.* Effects of *Melissa officinalis* L. Essential oil in comparison with anaesthetics on gill tissue damage, liver metabolism and immune parameters in Sea bass (*Lateolabrax maculatus*) during Simulated Live Transport[J]. *Biology*, 2021, 11(1): 11.
- [4] 张宇雷, 管崇武. 船载振动胁迫对斑石鲷影响实验研究 [J]. 渔业现代化, 2017, 44(3): 29-34.
Zhang Y L, Guan C W. Experimental study on effects of ship vibration stress on *Oplegnathus punctatus*[J]. *Fishery Modernization*, 2017, 44(3): 29-34 (in Chinese).
- [5] 张饮江, 黎臻, 谢文博, 等. 金鱼对低温、振动胁迫应激反应的试验研究 [J]. 水产科技情报, 2012, 39(3): 116-122.
Zhang Y J, Li Z, Xie W B, *et al.* Experimental study on stress response of goldfish to low temperature and vibration stress[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2012, 39(3): 116-122 (in Chinese).
- [6] Topal A, Özdemir S, Arslan H, *et al.* How does elevated water temperature affect fish brain? (A neurophysiological and experimental study: assessment of brain derived neurotrophic factor, cFOS, apoptotic genes, heat shock genes, ER-stress genes and oxidative stress genes)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2021, 115: 198-204.
- [7] 张克烽, 王艺磊, 张子平. 鮑高温胁迫响应机制的研究进展 [J]. 水产学报, 2023, 47(5): 059601.
Zhang K F, Wang Y L, Zhang Z P. Research progress on response mechanism to high temperature stress in abalone[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(5): 059601 (in Chinese).
- [8] Chang C H, Zhou X W, Wang Y C, *et al.* Differential effects of hypothermal stress on lactate metabolism in fresh water- and seawater-acclimated milkfish, *Chanos chanos*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2020, 248: 110744.
- [9] 王琪, 梅俊, 谢晶. 低温保活运输对海鲈鱼应激及品质的影响 [J]. 中国食品学报, 2022, 22(7): 203-213,
Wang Q, Mei J, Xie J. Effects of low temperature and alive transportation on stress and meat quality of sea bass (*Lateolabrax maculatus*)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(7): 203-213,
- [10] 朱学旺, 田光明. 制定室内模拟运输试验条件的一种方法 [J]. 环境技术, 2009, 27(3): 7-9.
Zhu X W, Tian G M. A study on the lab test conditions for transportation environment simulation[J]. *Environmental Technology*, 2009, 27(3): 7-9 (in Chinese).
- [11] 张玉晗, 谢晶. 低温休眠预处理对花鲈无水保活效果的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(23): 221-226.
Zhang Y H, Xie J. Effect of precooling treatment on survival of *Lateolabrax maculatus* during live transportation without using water[J]. *Food Science*, 2018, 39(23): 221-226 (in Chinese).
- [12] Madeira D, Narciso L, Cabral H N, *et al.* Influence of temperature in thermal and oxidative stress responses in estuarine fish[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2013, 166(2): 237-243.

- [13] Vinagre C, Madeira D, Narciso L, *et al.* Effect of temperature on oxidative stress in fish: lipid peroxidation and catalase activity in the muscle of juvenile seabass, *Dicentrarchus labrax*[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 23: 274-279.
- [14] Otitolaju A, Olagoke O. Lipid peroxidation and antioxidant defense enzymes in *Clarias gariepinus* as useful biomarkers for monitoring exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 182(1): 205-213.
- [15] Yang S, Yan T, Wu H, *et al.* Acute hypoxic stress: effect on blood parameters, antioxidant enzymes, and expression of *HIF-1alpha* and *GLUT-1* genes in largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 67: 449-458.
- [16] Cheng C H, Guo Z X, Luo S W, *et al.* Effects of high temperature on biochemical parameters, oxidative stress, DNA damage and apoptosis of pufferfish (*Takifugu obscurus*)[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 150: 190-198.
- [17] Kregel K C. Invited review: heat shock proteins: Modifying factors in physiological stress responses and acquired thermotolerance[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2002, 92(5): 2177-2186.
- [18] Klein R D, Borges V D, Rosa C E, *et al.* Effects of increasing temperature on antioxidant defense system and oxidative stress parameters in the Antarctic fish *Notothenia coriiceps* and *Notothenia rossii*[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2017, 68: 110-118.
- [19] Parihar M S, Dubey A K, Javeri T, *et al.* Changes in lipid peroxidation, superoxide dismutase activity, ascorbic acid and phospholipid content in liver of freshwater catfish *Heteropneustes fossilis* exposed to elevated temperature[J]. *Journal of Thermal Biology*, 1996, 21(5-6): 323-330.
- [20] Luo S W, Cai L, Liu Y, *et al.* Functional analysis of a dietary recombinant fatty acid binding protein 10 (FABP10) on the *Epinephelus coioides* in response to acute low temperature challenge[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2014, 36(2): 475-484.
- [21] Chang C H, Mayer M, Rivera-Ingraham G, *et al.* Effects of temperature and salinity on antioxidant responses in livers of temperate (*Dicentrarchus labrax*) and tropical (*Chanos chanos*) marine euryhaline fish[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2021, 99: 103016.
- [22] Cheng C H, Ye C X, Guo Z X, *et al.* Immune and physiological responses of pufferfish (*Takifugu obscurus*) under cold stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 64: 137-145.
- [23] 李庆昌, 陈小明, 刘贤德. 突变高温胁迫对大黄鱼血清生理指标的影响 [J]. *渔业研究*, 2016, 38(6): 437-444.
Li Q C, Chen X M, Liu X D. Acute heat stress on the influence of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) serum physiological indicators[J]. *Journal of Fisheries Research*, 2016, 38(6): 437-444 (in Chinese).
- [24] Lee P P, Lin Y H, Chen M C, *et al.* Dietary administration of sodium alginate ameliorated stress and promoted immune resistance of grouper *Epinephelus coioides* under cold stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 65: 127-135.
- [25] 曹杰, 王琪, 梅俊, 等. 有水与无水保活运输对大菱鲆生理应激及鱼肉品质的影响 [J]. *水产学报*, 2021, 45(7): 1034-1042.
Cao J, Wang Q, Mei J, *et al.* Effects of transport in water and waterless transport on physiological stress and flesh quality of turbot (*Scophthalmus maximus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(7): 1034-1042 (in Chinese).
- [26] 张坤, 周结, 范秀萍, 等. 海水温度对金鲳鱼保活过程中应激和代谢的影响 [J]. *包装工程*, 2022, 43(9): 92-99.
Zhang K, Zhou J, Fan X P, *et al.* Effect of temperature on stress and metabolism of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) during keep-alive[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(9): 92-99 (in Chinese).
- [27] Sandodden R, Finstad B, Iversen M. Transport stress in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): anaesthesia and recovery[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32(2): 87-90.
- [28] Barcellos L J G, Nicolaiewsky S, De Souza S M G, *et al.* Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), previously exposed to chronic stress[J]. *Aquaculture Research*, 1999, 30(6): 437-444.
- [29] 杜浩, 危起伟, 甘芳, 等. 美洲鲈应激后皮质醇激素和血液生化指标的变化 [J]. *动物学杂志*, 2006, 41(3): 80-84.
Du H, Wei Q W, Gan F, *et al.* Changes in serum cortisol and blood biochemical parameters after stress in American shad[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41(3): 80-84.

- 80-84 (in Chinese).
- [30] 贾明亮. 低温胁迫对奥尼罗非鱼的生长、肌肉组成和血液生理生化指标的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2010.
Jia M L. The Effect of low temperature stress on growth, muscle composition and hematological and biochemical indices of tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aures*)[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2010 (in Chinese).
- [31] Gao Q, Liu B, Shan F, *et al.* Effects of oxidized fish oil on digestive enzyme activity and antioxidant system in *Macrobrachium rosenbergii* post-larvae[J]. *Aquaculture Reports*, 2022, 23: 101062.
- [32] Zhang H Z, Fang D, Mei J, *et al.* A preliminary study on the effects of nitrite exposure on hematological parameters, oxidative stress, and immune-related responses in Pearl gentian grouper[J]. *Fishes*, 2022, 7(5): 235.
- [33] Wang Y F, Li C J, Pan C L, *et al.* Alterations to transcriptomic profile, histopathology, and oxidative stress in liver of pikeperch (*Sander lucioperca*) under heat stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 95: 659-669.
- [34] Malandrakis E E, Dadali O, Golomazou E, *et al.* DNA damage and differential gene expression associated with physical stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*)[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2016, 236: 98-104.
- [35] 胡毅, 黄云, 钟蕾, 等. 氨氮胁迫对青鱼幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶、组织结构及血清部分生理生化指标的影响 [J]. *水产学报*, 2012, 36(4): 538-545.
Hu Y, Huang Y, Zhong L, *et al.* Effects of ammonia stress on the gill Na^+/K^+ -ATPase, microstructure and some serum physiological-biochemical indices of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(4): 538-545 (in Chinese).
- [36] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 温度对中华鲟幼鱼代谢酶和抗氧化酶活性的影响 [J]. *水生生物学报*, 2012, 36(1): 137-142.
Feng G P, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Effects of water temperature on metabolic enzyme and antioxidant activities in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(1): 137-142 (in Chinese).
- [37] Li C J, Wang Y F, Wang G C, *et al.* Physicochemical changes in liver and Hsc70 expression in pikeperch *Sander lucioperca* under heat stress[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 181: 130-137.
- [38] Ming J H, Xie J, Xu P, *et al.* Effects of emodin and vitamin C on growth performance, biochemical parameters and two HSP70s mRNA expression of Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala* Yih) under high temperature stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2012, 32(5): 651-661.
- [39] Xu Z K, Zhang H Z, Guo M J, *et al.* Analysis of acute nitrite exposure on physiological stress response, oxidative stress, gill tissue morphology and immune response of Large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. *Animals*, 2022, 12(14): 1791.
- [40] Al-Zaidan A S, Endo M, Maita M, *et al.* A toxicity bioassay study concerning the effect of un-ionized ammonia on the mucus cells response originating from the gills of zebrafish *Danio rerio*[J]. *Fisheries Science*, 2013, 79(1): 129-142.
- [41] Naiel M A E, El-hameed S A A A, Arisha A H, *et al.* Gum Arabic-enriched diet modulates growth, antioxidant defenses, innate immune response, intestinal microbiota and immune related genes expression in tilapia fish[J]. *Aquaculture*, 2022, 556: 738249.
- [42] Ndong D, Chen Y Y, Lin Y H, *et al.* The immune response of tilapia *Oreochromis mossambicus* and its susceptibility to *Streptococcus iniae* under stress in low and high temperatures[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2007, 22(6): 686-694.
- [43] Fevolden S E, Røed K H, Fjalestad K. A combined salt and confinement stress enhances mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) selected for high stress responsiveness[J]. *Aquaculture*, 2003, 216(1-4): 67-76.
- [44] 李伟业, 徐志进, 殷小龙, 等. 温度对美洲黑石斑 (*Centropristis striata*) 幼鱼生长和免疫因子活力与相关基因表达的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2021, 52(3): 708-717.
Li W Y, Xu Z J, Yin X L, *et al.* Effects of temperature on growth, immune factor activity and related gene expression of juvenile *Centropristis striata*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2021, 52(3): 708-717 (in Chinese).
- [45] 米博瀚, 赵雪飞, 高珊, 等. 碱胁迫对瓦氏雅罗鱼 *AKP* 基因表达及生理应答的影响 [J]. *农业生物技术学报*, 2021, 39(1): 1-7.

- 2020, 28(6): 1052-1059.
- Mi B H, Zhao X F, Gao S, *et al.* Effects of alkaline stress on *AKP* gene expression and physiology response in *Leuciscus waleckii*[J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2020, 28(6): 1052-1059 (in Chinese).
- [46] 张龙岗, 安丽, 孙栋, 等. 盐度对澳洲宝石鲈幼鱼 3 个免疫因子活力的影响 [J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(6): 110-114.
- Zhang L G, An L, Sun D, *et al.* Effect of salinity on activity of three immune factors of juvenile *Scortum barcoo*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(6): 110-114 (in Chinese).
- [47] 张小明, 土志涵, 肖海明, 等. 低氧胁迫对瘤背石磺能量代谢、氧化应激和免疫功能的影响 [J/OL]. *水产学报*, 1-11 [2022-01-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20220111.0950.002.html>.
- Zhang X M, Tu Z H, Xiao H M, *et al.* Effects of hypoxia stress on energy metabolism, oxidative stress and immune function[J/OL]. *Journal of Fisheries of China*, 1-11 [2022-01-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.S.20220111.0950.002.html> (in Chinese).
- [48] 白海文. 温度对施氏鲟幼鱼生长、消化及免疫功能影响的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Bai H W. A studies on the effects of water temperature on growth, digestion and immune function of juvenile *Acipenser schrenckii*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012 (in Chinese).
- [49] 李文龙, 梁兴明, 梁萌青, 等. 温度对大菱鲆幼鱼生长及免疫相关酶活性的影响 [J]. *水产科学*, 2017, 36(3): 311-316.
- Li W L, Liang X M, Liang M Q, *et al.* Effects of temperature on growth and enzyme activity related to immunity in juvenile turbot *Scophthalmus maximus*[J]. *Fisheries Science*, 2017, 36(3): 311-316 (in Chinese).
- [50] Bilal S, Lie K K, Karlsen O A, *et al.* Characterization of IgM in Norwegian cleaner fish (lumpfish and wrasses)[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016, 59: 9-17.
- [51] 何杰, 强俊, 徐跑, 等. 低温驯化下 4 种不同品系罗非鱼血清皮质醇与免疫相关指标的变化 [J]. *中国水产科学*, 2014, 21(2): 266-274.
- He J, Qiang J, Xu P, *et al.* Change in serum cortisol and immune-related indices in four strains of tilapia during low-temperature acclimation[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(2): 266-274 (in Chinese).
- [52] 范秀萍. 珍珠龙胆石斑鱼低温休眠无水保活的胁迫响应与机制研究 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2019.
- Fan X P. Stress response and mechanism of waterless preservation after low-temperature induced dormancy on pearl gentian grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*)[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [53] Zhang Y J, Xiao X Q, Yan L, *et al.* Survival prediction system for waterless live Chinese sturgeon transportation based on temperature related glucose changes[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2018, 41(2): e12646.
- [54] Stockman J, Weber E S P, Kass P H, *et al.* Physiologic and biochemical measurements and response to noxious stimulation at various concentrations of MS-222 in Koi (*Cyprinus carpio*)[J]. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 2013, 40(1): 35-47.

Effects of temperature and vibration stress on tissue damage and biochemical indices in sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during the process of keeping-alive

GUO Meijie¹, MEI Jun^{1,2,3,4*}, XIE Jing^{1,2,3,4*}

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing and Preservation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Shanghai Professional Technology Service Platform on Cold Chain Equipment Performance and Energy Saving Evaluation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to explore the effects of combined stress of temperature and vibration intensity on tissue damage and biochemical indexes of sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during in-water keep-alive transportation, six experimental groups were designed with transportation temperature of 20 °C and 12 °C and vibration intensity of 0, 20 and 50 r/min as variables. After simulated transportation for 48 h, the effects of temperature and vibration stress on *L. japonicus* during simulated transportation were studied by analyzing oxidative stress, tissue damage and immune indexes. The results show that: ① The vibration intensity of different temperature ratios has great influence on the survival rate of *L. japonicus*. After 24 h transportation, the survival rates of the transportation group at 20 °C at 0, 20 and 50 r/min were 72.70, 62.50 and 18.2% respectively. However, the survival rate of all transport groups at 12 °C is 100%. ② The change trend of each index is different at different temperatures. Under the transport conditions of 20 °C, catalase (CAT), glutathione-S-transferase (GST), malondialdehyde (MDA), glutamic acid transaminase (ALT), aspartate transaminase (AST), acid phosphatase (ACP), alkaline phosphatase (AKP), and lysozyme (LZM) increased with the increase of transport time, and superoxide dismutase (SOD), immunoglobulin (IgM) showed a tendency to increase and then decrease with increasing transport time, and blood glucose (GLU) showed a tendency to decrease with increasing transport time. Among them, low temperature treatment can reduce the oxidative stress, tissue damage and immune system damage of *L. japonicus*. At the transportation temperature of 12 °C, the activities of CAT, MDA, ALT, AST and LZM increased first and then decreased, while the activities of SOD, GST, GLU and IgM decreased first and then increased. The highest value of SOD was 0.64 U/mgprot in the transportation groups at 20 °C and 50 r/min, but only 0.37 U/mgprot in the transportation group at 12 °C and 50 r/min. The research shows that the *L. japonicus* should be transported at low temperature, the temperature should be kept at 12 °C, and the flat transportation road should be chosen to reduce vibration frequency during transportation. This study explored the effects of combined stress of temperature and vibration intensity on marine fish. The results can provide reference for short-distance transportation of *L. japonicus* and improve the survival rate of live fish during transportation.

Key words: *Lateolabrax japonicus*; temperature; oscillation intensity; oxidative stress; tissue damage; immunity

Corresponding authors: MEI Jun. E-mail: jmei@shou.edu.cn;

XIE Jing. E-mail: jxie@shou.edu.cn

Funding projects: National Key R & D Program of China (2019YFD0901601); National Marine Fish Industry Technology System (CARS-47-G26)