

低温保活运输对海鲈鱼应激及品质的影响

王琪^{1,2,3}, 梅俊^{1,2,3}, 谢晶^{1,2,3*}

(¹上海海洋大学食品学院 上海 201306

²食品科学与工程国家级实验教学示范中心(上海海洋大学) 上海 201306

³上海水产品加工及贮藏工程技术中心(上海海洋大学) 上海 201306)

摘要 以海鲈鱼为研究对象,探讨低温保活运输对其血液生化和肌肉理化指标的影响。首先分别测定温度、盐度、密度和暂养时间对海鲈鱼运输存活率的影响;其次,将海鲈鱼以 3℃/h 的降温速率降温至保活运输温度 12、16℃和 20℃,以室温下不运输的海鲈鱼为对照组,分别在模拟运输第 12、24、36、48、60、72 h 和运输结束恢复 12 h 后测定水质、血液生化和肌肉理化指标。结果表明:在温度 12℃、盐度 16‰、鱼水比 1:10~1:8、暂养时间 36 h 条件下,保活运输后海鲈鱼的存活率最高。在整个保活运输过程中,水质随温度的升高呈显著下降趋势($P<0.05$)。血清乳酸脱氢酶、谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性以及皮质醇水平显著升高($P<0.05$),血糖和应激蛋白呈先升高后降低的趋势。运输结束恢复 12 h 后,12℃组海鲈鱼应激蛋白、乳酸脱氢酶、谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性恢复至对照组状态。肌肉中总蛋白和乳酸水平呈显著上升趋势,肌糖原、硬度和咀嚼性显著降低($P<0.05$),保活运输前、后海鲈鱼肌肉 pH 值、持水力 and 弹性无显著性变化($P>0.05$)。海鲈鱼长途运输的最佳保活温度为 12℃。该研究结果为海鲈鱼及其它海水鱼类的保活运输提供参考。

关键词 海鲈鱼; 保活运输; 应激; 代谢; 血液生化; 肌肉理化

文章编号 1009-7848(2022)07-0203-11 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.07.021

海鲈鱼(*Lateolabrax maculatus*),属硬骨鱼纲、鲈形目、鲈鱼种、鮨科,花鲈属,是我国养殖海水鲈鱼的主要品种^[1]。活鱼运输时海鲈鱼应激性强,在保活运输过程中受到环境胁迫会出现跳跃、撞击、浮头、侧翻以及呼吸困难等行为,且其性凶猛、自身鳞片粗糙、背部鳍极其锋利,极易造成个体间相互碰撞、引发机械损伤,从而使其生理代谢和免疫系统功能下降,导致运输存活率较低^[2],限制了活鱼销售的市场规模。目前对于大菱鲆^[3]、石斑鱼^[4]、大西洋鲑鱼^[5]等鱼类的保活运输已有研究,而海鲈鱼保活运输的研究报道较少。

在鱼类保活运输中,温度是整个运输过程中重要的条件之一,适宜的运输温度可以减少鱼类对环境胁迫所引起的应激反应。目前研究表明,海鲈鱼在低温条件下会降低体内酶的活性和新陈代

谢速率,使其处于低温休眠状态后进行短途(8 h)无水保活运输,可以提高鱼的短途运输存活率^[6]。范秀萍等^[7]在珍珠龙胆石斑鱼的保活运输中发现,低温有水运输可以减缓石斑鱼在环境胁迫诱发的应激反应,降低体内转氨酶的活性和血液中的激素水平,延长保活运输时间。为了实现海鲈鱼长途运输的产业需求,本研究考察低温长时间有水保活运输对海鲈鱼血液生化指标和肌肉理化性质的影响,以得出最佳有水保活工艺,为海鲈鱼的保活运输提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

海鲈鱼,购自上海当地水产品市场。挑选体质健康、无外伤、大小基本一致,平均体长约(39±1)cm,平均体重约(500±120)g 的鲜活海鲈鱼。

1.2 设备与仪器

HS28A 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;F2640 型多点温度采集仪,美国 Fluke 公司; Biophotometer RS-232 分光光度仪,德国 EPPENDORF 公司; JPSJ-605F 溶解氧测定仪,上海仪电

收稿日期: 2021-07-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2019YFD0901601);2019 年上海市科技兴农重点攻关项目(2019-02-08-00-10-F01143);上海市科委公共服务平台建设项目(19DZ2284000)

作者简介: 王琪(1998—),女,硕士生

通信作者: 谢晶 E-mail: jxie@shou.edu.cn

科学仪器股份有限公司; GL-200 氨氮检测仪, 山东格林凯瑞精密仪器有限公司; S230 电导率仪, 梅特勒-托利多 METTLER。

1.3 试验方法

1.3.1 运输条件对海鲈鱼运输存活率的影响

1.3.1.1 水温对海鲈鱼运输存活率的影响 选取大小、呼吸频率一致的海鲈鱼, 将其禁食暂养 24 h 后以 3 °C/h 的降温速率缓慢降温至 7 个运输温度(4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 °C), 在盐度 15‰(海水盐度)、溶解氧 4~6 mg/L、pH 7.5~8.5、鱼水比 1:10 的条件下模拟运输 72 h, 测定存活率。

1.3.1.2 盐度对海鲈鱼运输存活率的影响 选取大小、呼吸频率一致的海鲈鱼, 将其禁食暂养 24 h 后以 3 °C/h 的降温速率缓慢降温至 12 °C, 将海鲈鱼转移至 7 个盐度(6‰, 10‰, 14‰, 16‰, 18‰, 22‰, 26‰)的水体中, 在溶解氧 4~6 mg/L、pH 7.5~8.5、鱼水比 1:10 的条件下模拟运输 72 h, 测定存活率。

1.3.1.3 密度对海鲈鱼运输存活率的影响 选取大小、呼吸频率一致的海鲈鱼, 将其禁食暂养 24 h 后以 3 °C/h 的降温速率缓慢降温至 12 °C, 在盐度 16‰、溶解氧 4~6 mg/L、pH 7.5~8.5 的条件下按照不同密度(鱼水比分别为 1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:10)模拟运输 72 h, 测定存活率。

1.3.1.4 暂养时间对海鲈鱼运输存活率的影响 选取大小、呼吸频率一致的海鲈鱼, 分别暂养(0, 12, 24, 36, 48, 60 h)后, 以 3 °C/h 的降温速率缓慢降温至 12 °C, 在盐度 16‰、鱼水比 1:10~1:8、溶解氧 4~6 mg/L、pH 7.5~8.5 的条件下模拟运输 72 h, 测定存活率。

$$\text{存活率} = (\text{存活数}/\text{样品总数}) \times 100\% \quad (1)$$

1.3.2 海鲈鱼的包装与运输 海鲈鱼的禁食暂养时间为 36 h, 暂养期间鱼水比 1:50, 水温 20~22 °C、盐度 16‰、溶解氧 4~6 mg/L、pH 7.5~8.5。暂养后冷驯化, 设置冷水机以 3 °C/h 速率将暂养池中水温从 20~22 °C 分别降至 3 个运输温度 12, 16 °C 和 20 °C, 在鱼水比 1:10~1:8、盐度 16‰的条件下将海鲈鱼装入塑料袋, 然后曝气机空气曝气、扎紧袋口, 置于振动台上的大保温箱内, 室内曝气模拟运输 72 h。以室温下不运输的海鲈鱼作为对照组。运输过程^[8]: B 级路面(80 km/h)1 h→A 级路面

(100 km/h)3 h→B 级路面(80 km/h)1 h, 分别在模拟运输第 12, 24, 36, 48, 60, 72 h 和运输结束恢复 12 h 后随机选取 3 尾海鲈鱼取样, 测定相关指标。

1.4 指标测定

1.4.1 水质指标测定 在运输的每个测试点用离心管取 100 mL 运输水体, 测定水质指标。pH 值采用 pH 计检测; 电导率采用电导率仪测定; 总氨氮的测定采用纳氏试剂法(GB 3097-1997 海水水质标准); 溶解氧使用溶解氧测定仪测定(单位为 mg/L)。

1.4.2 血液生化指标测定 取血方法: 海鲈鱼经木棒敲击致死, 尾部静脉取血后 4 °C 静置 2 h, 4 °C, 10 000 r/min 离心 5 min, 上清液即制备的血清, 存放于-80 °C 冰箱, 用于血液生化指标的测定。

1.4.2.1 皮质醇、应激蛋白质量浓度 采用鱼皮质醇(Cortisol, COR)和鱼热应激蛋白(Heat shock proteins, HSP)ELISA 试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

1.4.2.2 血糖、谷草转氨酶、谷丙转氨酶和乳酸脱氢酶 分别采用葡萄糖(Glucose, GLU)、谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)和乳酸脱氢酶(Lactate dehydrogenase, LDH)试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

1.4.3 肌肉理化指标测定 取背部肌肉, 用蒸馏水冲洗干净, 滤纸吸干肌肉表面水分, 用于肌肉指标的测定。

1.4.3.1 总蛋白、乳酸和肌糖原 分别采用总蛋白(Total protein, TP)、乳酸(Lactate, LD)和糖原(Glycogen, Gly)试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

1.4.3.2 质构 选取海鲈鱼背部肌肉(20 mm×15 mm×10 mm), 用质构仪分析其硬度、弹性和咀嚼性。测试条件: 测试前速率 3 mm/s, 测试速率 1 mm/s, 测试后速率 1 mm/s; 压缩程度 50%; 停留间隔 5 s; 探针类型 P/5。随机挑选 2 尾海鲈鱼, 每条鱼取背部肌肉 3 块, 每块重复测量 1 次, 取平均值。

1.4.3.3 持水力 取 5 g 鱼肉块(M, g), 用滤纸包裹后置离心管中, 6 000 r/min 离心 5 min, 沥干表面水分称量(m, g), 重复 3 次, 取平均值。

$$\text{持水力} = (M-m)/M \times 100\% \quad (2)$$

1.4.3.4 pH 值 准确称量 2 g 鱼肉于烧杯中,加 0.85% 生理盐水 18 mL,均质后 5 000 r/min 离心 2 min,上清液 pH 值使用 pH 计测定。

1.5 数据处理

应用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行处理,采用 Origin 软件作图。

2 结果与分析

2.1 温度、盐度、鱼水比和暂养时间对海鲈鱼运输存活率的影响

不同运输条件对海鲈鱼运输存活率的影响见图 1。

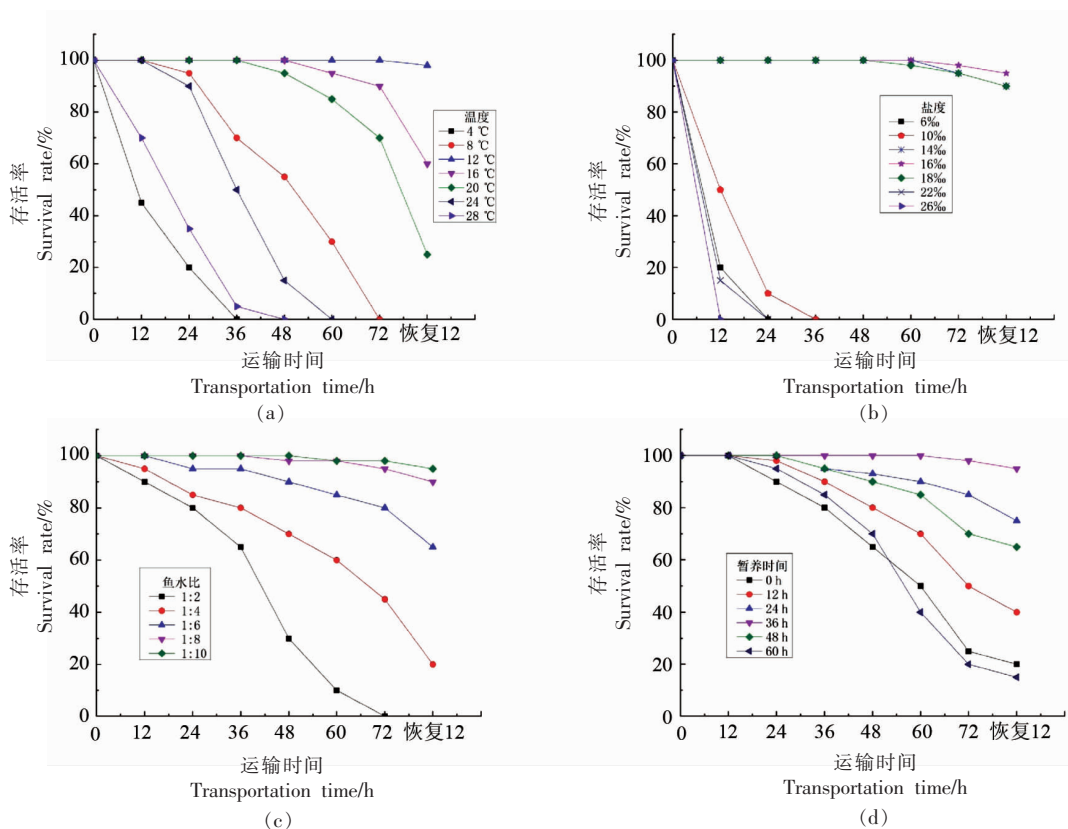


图 1 温度(a)、盐度(b)、鱼水比(c)和暂养时间(d)对海鲈鱼运输存活率的影响

Fig.1 Effects of temperature (a), salinity (b), fish to water ratio (c) and temporary culture time (d) on transport survival rate of sea bass

水温较高时鱼体新陈代谢旺盛,容易产生有害代谢物;水温过低时影响其生命活动相关酶的活性^[9-10]。海鲈鱼在温度 12 °C 的水中进行模拟运输时,保活 72 h 的存活率为 100%,即运输成活率最高(图 1a)。4 °C 和 28 °C 条件下运输 24 h 的存活率分别为 20% 和 35%,出现大批量死亡,表明过高或过低的温度均影响海鲈鱼生命活动。水温 4~8 °C 时,海鲈鱼新陈代谢较低,呼吸频率较低,建议采用无水保活短途运输^[6]。长途运输的适宜水温为 12~20 °C,最佳运输温度为 12 °C。

当盐度过高或过低时,海鲈鱼出现剧烈游动、

撞击、挣扎等应激反应,若在此状态下继续模拟运输,应激程度超出海鲈鱼机体所承受的阈值,机体发生咧腮死亡,说明海鲈鱼对高盐和低盐的耐受力不强。用盐度 16‰ 的水体运输,72 h 时存活率为 98%,此时存活率最高(图 1b)。在盐度为 14‰ 和 18‰ 时,模拟运输,72 h 时存活率为 95%。说明海鲈鱼最佳运输盐度为 16‰。

由图 1 可知,模拟保活运输至 12 h 时,鱼水比为 1:6,1:8 和 1:10 的存活率均为 100%。鱼水比为 1:10 的运输条件下模拟运输至 72 h,存活率为 98%。运输结束恢复 12 h 后,存活率为 95%(图

1c)。海鲈鱼的运输存活率随鱼水比的减小而升高。运输结束后海鲈鱼在新鲜海水中恢复时,有个体出现死亡,可能是因海鲈鱼运输过程中受到机械损伤,加剧其应激反应,导致运输存活率下降^[2]。也可能是鱼水比大,导致水体中的氨氮等代谢物过高,对鱼鳃及肝脏造成不可逆损伤,导致鱼类氨氮中毒而亡^[11]。

由图1可知,暂养时间从0 h延长至36 h,海鲈鱼的运输存活率逐渐升高。暂养时间从36 h延

长至60 h时,海鲈鱼的运输存活率开始逐渐下降,海鲈鱼适宜的暂养时间为36 h(图1d)。适当延长暂养时间可以使海鲈鱼排泄出体内大量的代谢物质^[12],从而减缓后续运输过程中水质的恶化。暂养时间的过度延长,因禁食暂养而导致鱼体能量摄入不足,机体免疫能力下降,存活率下降。

2.2 低温保活运输对水质指标的影响

随保活时间的延长,水质逐渐恶化,海鲈鱼在低温运输条件下对水体指标的影响见图2。

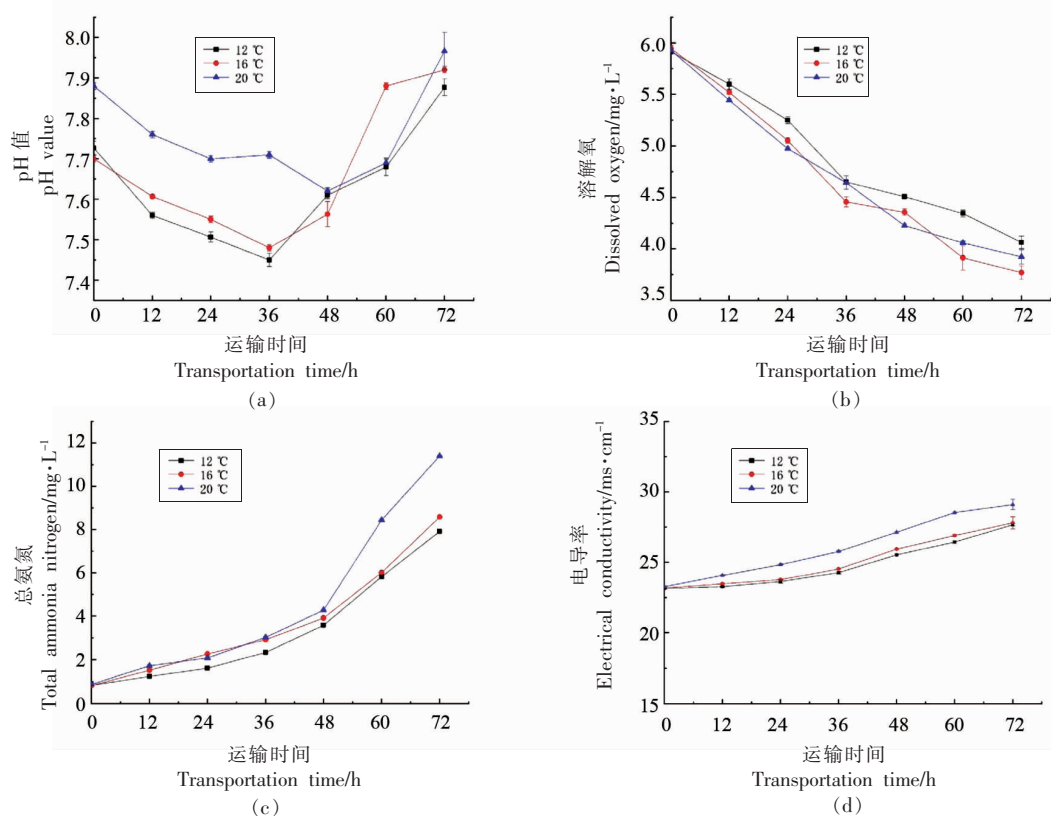


图2 温度对保活运输水体中pH值(a)、溶解氧(b)、总氨氮(c)与电导率(d)的影响

Fig.2 Effects of temperature on pH value(a), dissolved oxygen (b), total ammonia nitrogen (c) and electrical conductivity (d) in water for keeping alive transportation

如图2a所示,整个保活运输过程中,水体中的pH值维持在7.4~8.0之间,呈先降低后升高的趋势。12°C与16°C组无显著性变化($P>0.05$)。

有研究表明,水体中的溶解氧是影响水产品新陈代谢中有氧代谢的主要限制因素^[13]。随着保活运输时间的延长,溶解氧水平逐渐下降,保活运输至72 h时,水体中溶解氧在3.7~4.1 mg/L(图2b)。Sun等^[14]研究表明大口黑鲈在溶解氧含量过低的环境下加速其肝脏的氧化应激,甚至导致机

体死亡。12°C组中水体溶解氧水平略高于其它两组,无显著性差异变化。

温度作为影响鱼类生命活动及代谢程度的最主要因素之一^[7],与鱼体代谢能力成正比。随着保活时间的延长,鱼体排泄物和其体表分泌的蛋白黏液增加,导致水体中氨氮水平过高,容易引起鱼类氨氮中毒^[15-16],由图2c可明显看出随着保活运输时间的延长,水体中氨氮水平显著升高。运输72 h后,12°C的水体中氨氮水平最低。

电导率主要反映水体中的离子浓度,12~20℃运输条件下水体中电导率呈现缓慢上升趋势(图 2d),且无显著性差异。其中在 20℃的水体中离子浓度增加的最快,说明温度越高,保活运输水体中的离子浓度越高,鱼体的新陈代谢越快。

2.3 低温保活运输对海鲈鱼应激的影响

血液生化指标的变化反映动物应激程度。低温保活运输对海鲈鱼 COR、GLU、HSP、LDH、ALT 和 AST 的影响见表 1。

当鱼类受到环境胁迫时会出现一系列应激反应,首先是神经内分泌系统作出初级反应,通过下丘脑-垂体-肾间组织轴促进肾上腺皮质激素的合成及释放,此时皮质醇(COR)水平迅速上升^[17],因此血清 COR 水平常作为应激反应的灵敏指标之一^[18]。由表 1 可知,在整个保活运输过程中,与对照组相比,随着保活时间的延长,海鲈鱼的血清 COR 水平显著升高($P<0.05$),其中在运输 12 h 和 72 h 后其血清 COR 处于最高水平,可能是由于机体不适应环境的改变以及运输过程中的机械损伤诱发的应激反应,这与 Nie 等^[13]和 Vanderzwalmen 等^[19]的研究结果相一致。运输结束恢复 12 h 后,血清 COR 显著下降 ($P<0.05$),未恢复至对照组状态,可能是由于保活运输结束后恢复时间太短,鱼体应激反应未完全恢复^[19]。刘骁等^[20]研究团头鲂在无水保活条件下血清 COR 水平显著升高,保活结束 24 h 后未降至对照组状态,与本试验结果相似。在 12,16℃和 20℃3 个处理组中,较高温组的血清 COR 水平显著高于较低温组($P<0.05$),这可能是由于较高温组的机体新陈代谢较旺盛,水质恶化较快,对环境及水质的敏感度较高,因此其 COR 水平高于较低温组^[7]。有研究发现 COR 的分泌能够促进糖原的生成和脂肪的降解,释放氨基酸、葡萄糖及脂肪酸,同时伴有能量的生成,供给机体能量的消耗,从而减缓鱼类在环境胁迫诱导下的应激反应^[21]。

鱼类在出现应激反应时,可以通过糖异生作用提高体内的葡萄糖(GLU)水平,从而维持体内的 GLU 平衡^[22]。在保活运输过程中,血清 GLU 水平呈现先上升后下降的趋势,运输结束恢复 12 h 后未回至对照组状态,其中温度 12℃下保活运输结束恢复 12 h 后的 GLU 水平最高(为对照组的

2.72 倍),这可能是海鲈鱼在较低温条件下其代谢水平和能量消耗较低,从而导致血清 GLU 处于较高的水平,也可能是由于在机体受到刺激后,COR 水平升高,导致机体对葡萄糖的利用率下降^[22],加之 COR 的分泌促进糖原的生成,从而使其血液中 GLU 水平升高。随着保活时间的延长,12,16℃和 20℃3 个处理组中,20℃组的海鲈鱼血清 GLU 水平显著低于 12℃($P<0.05$),可能是保活过程中由于运输中的机械损伤、饥饿以及水体质量的下降,导致鱼体出现胁迫应激,其体内能量代谢增强,且温度越高鱼体代谢速率和能量消耗越高,糖原的分解及消耗使其 GLU 水平在运输 60 h 时出现下降,这与范秀萍等^[7]对珍珠龙胆石斑鱼的代谢研究结果一致。然而,有研究发现,由于鱼种类的不同,其体内的代谢机制和对环境胁迫程度的适应性存在差异,无水保活后与保活过程中相对比,鱼类体内的 GLU 水平显著降低^[23]。

鱼类在非应激状态时,机体内的应激蛋白(HSP)常保持一定水平,当发生应激反应时,应激蛋白是鱼类机体自身诱导产生的具有保护细胞免受机体组织和器官受损的一类蛋白质,可以激活超氧化物歧化酶、过氧化氢酶等,抑制线粒体膜的去极化以减缓细胞的损伤^[9]。由表 1 可知,在整个保活运输过程中,海鲈鱼体内 HSP 合成量呈现先升高后降低的趋势,这与吴波等^[24]对石斑鱼温度及盐度的优化结果一致。12,16℃和 20℃3 个保活运输温度处理组间的 HSP 水平差异性显著($P<0.05$),温度越高其体内合成量越高。在保活运输结束恢复 12 h 后其体内 HSP 水平显著下降 ($P<0.05$),12℃组恢复至对照组水平,其余两组均未恢复,可能是由于海鲈鱼肝脏细胞的自身保护机制受损,短期无法恢复至正常状态,这可能是导致较高温组运输存活率下降的原因之一^[20]。

乳酸脱氢酶(LDH)是糖代谢中催化丙酮酸转化成乳酸的一类酶,当海鲈鱼运输至 72 h 时,体内的 LDH 活性显著升高($P<0.05$),说明在保活运输期间机体参与无氧呼吸,这与尤宏争等^[25]研究结果一致。12,16℃和 20℃3 个处理组中,温度越高,与之相对应的 LDH 活性越高。运输结束恢复 12 h 后,在水温 12℃的运输条件下恢复至对照组状态,其余两组均显著高于对照组($P<0.05$),说

表1 海鲈鱼在低温条件下保活运输前、后血清生化指标的变化

Table 1 The changes of blood biochemical indexes of *Lateolabrax maculatus* before and after transportation at low temperatures

指标	组别	保活运输时间/h									
		对照组	12	24	36	48	60	72	恢复12		
COR/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	12 °C	165.67 ± 8.58 ^a	288.06 ± 3.01 ^{ab}	236.17 ± 9.05 ^{ad}	197.67 ± 6.18 ^{af}	216.33 ± 2.86 ^{ag}	267.66 ± 9.39 ^{ag}	348.33 ± 18.73 ^{ag}	192.33 ± 5.31 ^{af}		
	16 °C		337.16 ± 4.32 ^{bg}	279.66 ± 7.93 ^{be}	261.66 ± 2.05 ^{bd}	198.33 ± 6.94 ^{ab}	299.33 ± 6.18 ^{af}	317.06 ± 16.17 ^{af}	216.66 ± 7.03 ^{bc}		
	20 °C		365.03 ± 7.84 ^{cf}	324.06 ± 3.65 ^{ce}	288.66 ± 5.73 ^{ce}	210.66 ± 10.62 ^{ab}	306.66 ± 5.43 ^{bd}	338.33 ± 4.78 ^{ag}	204.33 ± 4.64 ^{bd}		
GLU/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	12 °C	1.31 ± 0.02 ^a	4.78 ± 0.02 ^{ac}	6.89 ± 0.04 ^{af}	6.17 ± 0.01 ^{ag}	7.84 ± 0.03 ^{ag}	6.92 ± 0.05 ^{af}	5.26 ± 0.05 ^{ad}	3.56 ± 0.04 ^{ab}		
	16 °C		5.16 ± 0.01 ^{bd}	6.37 ± 0.01 ^{be}	6.47 ± 0.02 ^{bf}	7.06 ± 0.01 ^{bg}	6.14 ± 0.04 ^{bf}	4.51 ± 0.02 ^{bc}	3.06 ± 0.01 ^{bb}		
	20 °C		5.58 ± 0.01 ^{cb}	5.24 ± 0.03 ^{ce}	7.86 ± 0.01 ^{cf}	3.24 ± 0.04 ^{ca}	1.95 ± 0.01 ^{cf}	1.66 ± 0.08 ^{ca}	1.43 ± 0.01 ^{ca}		
HSP/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	12 °C	223.33 ± 7.93 ^a	329.33 ± 2.49 ^{bc}	381.33 ± 2.05 ^{af}	394.2 ± 2.26 ^{bc}	412.66 ± 2.86 ^{bc}	307.66 ± 3.09 ^{af}	262.33 ± 3.39 ^{ag}	232.66 ± 2.05 ^{bc}		
	16 °C		352.33 ± 2.62 ^{bd}	425.33 ± 4.02 ^{bf}	402.66 ± 3.29 ^{bc}	282.06 ± 3.03 ^{bc}	418.16 ± 1.84 ^{bf}	281.33 ± 3.39 ^{bc}	259.16 ± 1.43 ^{ab}		
	20 °C		387.33 ± 2.49 ^{ce}	431.66 ± 2.49 ^{bd}	502.1 ± 3.08 ^{ce}	463.66 ± 2.05 ^{cd}	393.16 ± 1.92 ^{ce}	280.33 ± 2.05 ^{bb}	261.66 ± 3.09 ^{bc}		
LDH/ $\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$	12 °C	283.07 ± 5.62 ^a	529.66 ± 4.64 ^{ab}	636.19 ± 3.72 ^{ac}	422.30 ± 1.68 ^{ab}	552.38 ± 1.75 ^{ac}	530.25 ± 0.73 ^{bc}	582.80 ± 4.85 ^{ac}	273.36 ± 5.92 ^{ba}		
	16 °C		498.64 ± 2.03 ^{ab}	838.04 ± 2.49 ^{bc}	901.47 ± 5.48 ^{bd}	440.90 ± 4.78 ^{bc}	481.66 ± 3.08 ^{bb}	1147.92 ± 29.53 ^{bf}	934.97 ± 7.76 ^{bg}		
	20 °C		755.80 ± 3.84 ^{bb}	978.77 ± 3.44 ^{ce}	618.33 ± 5.31 ^{cd}	1029.47 ± 4.67 ^{ce}	723.36 ± 3.33 ^{cf}	891.94 ± 2.86 ^{ce}	706.47 ± 2.81 ^{cb}		
ALT/ $\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$	12 °C	51.83 ± 0.84 ^a	64.07 ± 0.74 ^{abc}	67.07 ± 1.55 ^{abd}	65.34 ± 2.86 ^{abc}	72.26 ± 5.34 ^{af}	62.66 ± 1.24 ^{ab}	66.5 ± 1.77 ^{abd}	50.33 ± 1.24 ^{ab}		
	16 °C		65.2 ± 0.99 ^{ab}	69.33 ± 2.05 ^{ac}	74.33 ± 1.69 ^{bd}	63.73 ± 1.31 ^{bb}	53.33 ± 1.24 ^{ba}	63.46 ± 1.11 ^{ab}	53.83 ± 1.31 ^{bc}		
	20 °C		59.17 ± 0.85 ^{bb}	65.33 ± 1.24 ^{af}	62.06 ± 0.73 ^{bc}	59.66 ± 1.69 ^{cb}	50.5 ± 1.22 ^{ba}	76.06 ± 2.13 ^{bc}	59.07 ± 0.89 ^{cb}		
AST/ $\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$	12 °C	91.71 ± 2.10 ^a	140.33 ± 1.24 ^{af}	146.26 ± 0.89 ^{ag}	116.2 ± 2.35 ^{ac}	106.17 ± 0.62 ^{ab}	178.33 ± 1.69 ^{af}	145.33 ± 2.05 ^{ag}	106.17 ± 1.43 ^{ab}		
	16 °C		124.06 ± 2.06 ^{bc}	139.16 ± 0.62 ^{bd}	125.13 ± 0.83 ^{bc}	99.66 ± 3.85 ^{bb}	160.66 ± 3.39 ^{bc}	150.66 ± 3.09 ^{af}	97.6 ± 1.97 ^{bb}		
	20 °C		115.3 ± 2.87 ^{cb}	132.66 ± 4.10 ^{cd}	115.66 ± 2.05 ^{ab}	124.06 ± 0.89 ^{ca}	150.66 ± 4.49 ^{ce}	161.66 ± 2.86 ^{bf}	119.33 ± 4.11 ^{ca}		

注: 数据表示为“平均数±标准差”, 同一行上标标注不同字母表示差异显著($P<0.05$), 同一列上标标注不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

表 2 海鲈鱼在低温条件下保活运输前、后肌肉理化指标的变化
 Table 2 The changes of physicochemical indexes of *Lateolabrax maculatus* muscle before and after transportation at low temperatures

指标	组别	保活运输时间/h							
		对照	12	24	36	48	60	72	恢复 12
TP/ $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	12 °C	540.14 ± 1.03 ^a	572.82 ± 1.77 ^{ab}	567.74 ± 1.08 ^{bc}	538.03 ± 2.44 ^{bc}	514.77 ± 2.94 ^{cd}	486.50 ± 1.78 ^{de}	450.97 ± 0.51 ^{de}	506.06 ± 1.02 ^{de}
	16 °C		606.40 ± 2.45 ^{bb}	563.70 ± 4.25 ^{bc}	506.76 ± 1.78 ^{bcd}	493.43 ± 2.31 ^{bc}	472.15 ± 1.06 ^{bc}	334.31 ± 3.42 ^{bc}	525.14 ± 4.27 ^{bb}
	20 °C		631.81 ± 2.29 ^{cb}	588.60 ± 2.22 ^{bc}	576.12 ± 2.91 ^{cd}	526.07 ± 4.04 ^{cd}	515.39 ± 2.57 ^{cd}	503.06 ± 2.88 ^{cd}	550.83 ± 2.11 ^{ch}
Gly/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	12 °C	1.65 ± 0.19 ^a	1.06 ± 0.02 ^{bc}	0.86 ± 0.01 ^{bc}	1.16 ± 0.01 ^{bc}	1.54 ± 0.03 ^{cd}	1.17 ± 0.03 ^{bc}	1.26 ± 0.02 ^{bc}	1.55 ± 0.02 ^{cd}
	16 °C		1.59 ± 0.02 ^{bb}	1.52 ± 0.02 ^{bc}	1.32 ± 0.01 ^{bc}	1.43 ± 0.02 ^{bc}	1.13 ± 0.03 ^{bc}	1.40 ± 0.03 ^{bc}	1.60 ± 0.01 ^{bb}
	20 °C		1.44 ± 0.01 ^{cb}	1.38 ± 0.01 ^{cd}	1.07 ± 0.03 ^{cd}	1.26 ± 0.02 ^{cd}	1.05 ± 0.01 ^{cd}	1.44 ± 0.04 ^{bb}	1.62 ± 0.01 ^{ba}
LD/ $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 蛋白	12 °C	0.51 ± 0.007 ^a	0.56 ± 0.001 ^{ab}	0.49 ± 0.001 ^{bc}	0.48 ± 0.005 ^{cd}	0.48 ± 0.008 ^{cd}	0.52 ± 0.003 ^{bc}	0.53 ± 0.009 ^{bc}	0.51 ± 0.007 ^{ba}
	16 °C		0.65 ± 0.001 ^{bb}	0.56 ± 0.002 ^{bc}	0.54 ± 0.003 ^{bc}	0.50 ± 0.003 ^{bc}	0.49 ± 0.004 ^{bc}	0.50 ± 0.002 ^{bc}	0.51 ± 0.002 ^{ba}
	20 °C		0.53 ± 0.036 ^{cb}	0.60 ± 0.095 ^{cd}	0.58 ± 0.004 ^{cd}	0.58 ± 0.06 ^{cd}	0.46 ± 0.016 ^{cd}	0.49 ± 0.018 ^{cd}	0.52 ± 0.004 ^{ab}
pH 值	12 °C	6.51 ± 0.04 ^a	6.59 ± 0.03 ^{abc}	6.60 ± 0.09 ^{abcd}	6.66 ± 0.01 ^{cd}	6.67 ± 0.02 ^{cd}	6.69 ± 0.01 ^{cd}	6.64 ± 0.02 ^{cd}	6.52 ± 0.01 ^{AbBb}
	16 °C		6.72 ± 0.01 ^{Bl}	6.55 ± 0.03 ^{bc}	6.57 ± 0.04 ^{abc}	6.62 ± 0.01 ^{bc}	6.72 ± 0.01 ^{cd}	6.77 ± 0.03 ^{Bl}	6.54 ± 0.01 ^{Bab}
	20 °C		6.54 ± 0.07 ^{Aa}	6.45 ± 0.11 ^{Aa}	6.63 ± 0.06 ^{ab}	6.60 ± 0.17 ^{ab}	6.51 ± 0.07 ^{ba}	6.75 ± 0.01 ^{Bb}	6.49 ± 0.02 ^{Aa}
持水力/%	12 °C	5.66 ± 0.23 ^a	5.65 ± 0.18 ^{Aa}	6.04 ± 0.19 ^{ab}	7.22 ± 0.73 ^{bc}	6.67 ± 0.79 ^{bc}	8.86 ± 0.16 ^{cd}	5.95 ± 0.24 ^{ab}	5.75 ± 0.10 ^{abc}
	16 °C		12.17 ± 0.20 ^{Bbl}	8.75 ± 0.25 ^{Bbc}	10.11 ± 2.28 ^{bc}	8.28 ± 0.73 ^{bc}	9.95 ± 0.18 ^{bc}	9.41 ± 0.76 ^{bc}	5.39 ± 0.19 ^{Bab}
	20 °C		8.77 ± 0.16 ^{Cl}	7.98 ± 0.91 ^{Bel}	7.27 ± 1.09 ^{bc}	6.85 ± 0.47 ^{ab}	8.44 ± 0.24 ^{cd}	6.60 ± 0.33 ^{ab}	5.86 ± 0.36 ^{Aa}
硬度	12 °C	9 256 ± 45 ^a	8 617 ± 99 ^{ab}	8 689 ± 163 ^{ab}	8 267 ± 112 ^{bc}	7 821 ± 282 ^{cd}	8 140 ± 110 ^{cd}	8 029 ± 205 ^{cd}	8 093 ± 47 ^{cd}
	16 °C		8 363 ± 113 ^{ab}	8 344 ± 255 ^{abc}	8 035 ± 69 ^{cd}	8 169 ± 132 ^{abcd}	8 340 ± 163 ^{abc}	7 910 ± 89 ^{cd}	8 240 ± 117 ^{abc}
	20 °C		8 599 ± 218 ^{ab}	8 143 ± 251 ^{abc}	8 088 ± 116 ^{abc}	7 846 ± 175 ^{bc}	8 375 ± 421 ^{abc}	8 290 ± 302 ^{abc}	8 271 ± 67 ^{abc}
弹性	12 °C	0.51 ± 0.02 ^{abc}	0.48 ± 0.03 ^{Aa}	0.53 ± 0.04 ^{Aa}	0.73 ± 0.05 ^{bc}	0.55 ± 0.04 ^{bc}	0.74 ± 0.05 ^{ab}	0.51 ± 0.02 ^{bc}	0.52 ± 0.04 ^{Aa}
	16 °C		0.47 ± 0.04 ^{Aa}	0.49 ± 0.02 ^{ab}	0.71 ± 0.02 ^{bc}	0.57 ± 0.01 ^{cd}	0.58 ± 0.04 ^{Bl}	0.49 ± 0.01 ^{ab}	0.54 ± 0.01 ^{Abcd}
	20 °C		0.50 ± 0.06 ^{Aa}	0.68 ± 0.02 ^{Bl}	0.67 ± 0.01 ^{cd}	0.60 ± 0.03 ^{abc}	0.60 ± 0.01 ^{Bbc}	0.56 ± 0.05 ^{ab}	0.66 ± 0.03 ^{Bel}
咀嚼性	12 °C	1 892 ± 25 ^a	1 301 ± 106 ^{bc}	1 530 ± 93 ^{bc}	1 551 ± 132 ^{ab}	1 793 ± 115 ^{bc}	1 589 ± 51 ^{ab}	1 269 ± 22 ^{bc}	1 341 ± 65 ^{Abc}
	16 °C		1 262 ± 60 ^{Abc}	1 597 ± 125 ^{ab}	1 623 ± 168 ^{ab}	1 597 ± 49 ^{AbBb}	1 634 ± 283 ^{ab}	1 331 ± 96 ^{Abc}	1 221 ± 33 ^{bc}
	20 °C		1 065 ± 68 ^{Bb}	1 539 ± 162 ^{bc}	1 557 ± 59 ^{bc}	1 477 ± 133 ^{bc}	1 494 ± 148 ^{bc}	1 163 ± 121 ^{ab}	1 461 ± 122 ^{Bc}

明水温 12 ℃进行保活运输时,对海鲈鱼的心肌功能影响较小,可正常有氧呼吸,这与朱乾峰等^[12]的研究结果一致。

谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)是鱼类重要的转氨酶,正常情况下这两种转氨酶的活性较低且较稳定,当肝脏、心脏等器官受到损伤或病变时,血液中的 ALT 和 AST 含量显著升高^[18,26]。在保活运输前期,海鲈鱼血清 ALT 和 AST 显著上升($P<0.05$)。在保活运输中期(12~60 h)变化相对较平稳,ALT 水平在保活运输 72 h 达到最高值,AST 水平在保活运输 60 h 达到最高值,表明运输过程中的胁迫应激对鱼的肝脏有一定程度损伤^[27]。保活运输至 72 h、水温 12 ℃和 16 ℃的低温条件下酶活性降低,显著低于 20 ℃组($P<0.05$)。保活运输结束恢复 12 h 后两种转氨酶活性显著下降($P<0.05$)。除 20 ℃组外,其余两组 ALT 和 AST 均恢复至对照组水平,这表明 12~16 ℃低温保活运输不会给机体造成肝脏组织损伤,较低温保活运输比高温保活运输存活率高。

2.4 低温保活运输对海鲈鱼品质的影响

保活运输过程中鱼类因受到环境胁迫所诱发的应激反应而对其肌肉品质产生一定的影响^[28]。低温保活运输中海鲈鱼肌肉理化指标的变化见表 2。在保活运输前期,肌肉中总蛋白(TP)和乳酸(LD)水平显著上升,糖原(Gly)显著下降($P<0.05$),之后随着保活时间的延长乳酸缓慢变化,总蛋白和肌糖原水平显著降低($P<0.05$),这与王学娟等^[29]对波纹巴非蛤的研究结论一致。在运输结束恢复 12 h 后,3 个处理组的乳酸恢复至对照组状态且无显著性差异($P>0.05$),16 ℃和 20 ℃两个处理组总蛋白和糖原含量均恢复至对照组状态,12 ℃组未恢复至对照组状态。保活运输前、后海鲈鱼肌肉 pH 值、保水性和弹性无显著性变化($P>0.05$),且不同温度处理组在恢复 12 h 后无显著性差异。在运输结束恢复 12 h 后硬度和咀嚼性显著降低($P<0.05$)。

海鲈鱼在饥饿条件下保活运输时,机体为了维持体内能量代谢平衡,主要靠分解体内储存的糖原、脂肪及蛋白质获得能量^[30]。在保活运输初期,由于低温条件下鱼体需要分解糖原抵御寒冷,

较低温组的肌糖原比较高温组下降更显著。随着保活时间的延长,较高温组的海鲈鱼因应激反应较强烈,其体内糖原被分解时机体无氧呼吸导致乳酸水平上升,糖原被分解为葡萄糖,葡萄糖可继续被分解为水和二氧化碳,导致肌肉中的水分含量增加,从而降低鱼肉的硬度和咀嚼性^[31]。随着机体内糖原逐渐被消耗,肌肉中蛋白质含量出现下降趋势^[32]。机体在较低温条件下(12 ℃)代谢程度较低,能量的消耗比较高温组小^[33],这也是较低温条件可延长保活时间的原因之一。持水力是指肌肉对水的保持能力,主要与机体蛋白质的三维网状结构和变性程度相关^[34]。低温保活运输前、后海鲈鱼持水力无显著性变化,表明海鲈鱼肌肉中的蛋白质网状结构未被破坏,不会发生蛋白降解,这与刘骁等^[20]的研究结果相一致。

3 结论

整个保活运输过程中,保活运输温度越高,氨氮浓度越高,水体溶解氧水平越低。本试验中,12 ℃组水质恶化程度最小。20 ℃保活运输组海鲈鱼的机体活跃程度较高,呼吸代谢旺盛,导致其应激响应程度最高,然而,海鲈鱼体内激素水平过高会造成生理代谢和免疫系统紊乱,导致运输存活率下降。与对照组相比,20 ℃组在运输结束恢复 12 h 后,血清 HSP 水平以及 ALT、AST 和 LDH 酶活性显著上升。12 ℃组在运输结束恢复 12 h 后海鲈鱼血清 HSP 水平以及 ALT、AST 和 LDH 酶活性无显著性变化,这表明机体应激响应基本消除。海鲈鱼在 12 ℃低温条件下代谢较低,对环境胁迫应激的耐受力较强,运输存活率最高,且运输前、后血清生化和肌肉理化指标基本恢复至未处理组状态。保活运输结束恢复 12 h 后各组与对照组相比,除硬度和咀嚼性出现下降,总蛋白、肌糖原、乳酸、pH 值、持水力和弹性均无显著性变化。综上,海鲈鱼长途保活运输的推荐工艺为:在保活运输前禁食暂养 36 h,以 3 ℃/h 的降温速率将运输水温降至运输温度 12 ℃,在盐度 16‰,鱼水比 1:10~1:8 的条件下保活运输至 72 h,海鲈鱼存活率为 100%,恢复 12 h 后的存活率为 98%。

参 考 文 献

- [1] 蔡路响, 马帅, 曹爱玲, 等. 6-姜酚协同超高压处理对冷藏海鲈鱼品质的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(11): 158-165.
CAI L Y, MA S, CAO A L, et al. Effects of ultra-high pressure combined with 6-gingerol on the quality of Japanese sea bass during refrigerated storage[J]. Chinese Journal of Food Science and Technology, 2017, 17(11): 158-165.
- [2] MALTHE H, FRODE O. Physiological responses of farmed Atlantic salmon and two cohabitant species of cleaner fish to progressive hypoxia[J]. Aquaculture, 2019, 512: 734353.
- [3] NIE X, ZHANG F, WANG T, et al. Physiological and morphological changes in Turbot (*Psetta maxima*) gill tissue during waterless storage[J]. Aquaculture, 2019, 508: 30-35.
- [4] WU B, WANG Q, CAO J, et al. Effects of ascorbic acid and β -1, 3-glucan on survival, physiological response and flesh quality of cultured tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) during simulated transport in water[J]. Biology, 2020, 9(2): 37.
- [5] DIGRE H, ROSTEN C, ERIKSON U, et al. The on-board live storage of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) caught by trawl: Fish behaviour, stress and fillet quality[J]. Fisheries Research, 2017, 189: 42-54.
- [6] 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.
- [7] 范秀萍, 秦小明, 章超桦, 等. 温度对有水保活石斑鱼代谢与鱼肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 241-248.
FAN X P, QIN X M, ZHANG C H, et al. Effects of temperature on metabolism function and muscle quality of grouper during process of keeping alive with water[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(14): 241-248.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] BOAVENTURA T P, SOUZA C F, FERREIRA A L, et al. The use of *Ocimum gratissimum* L. essential oil during the transport of *Lophiosilurus alexandri*: Water quality, hematology, blood biochemistry and oxidative stress [J]. Aquaculture, 2021, 531: 735964.
- [11] 封琦, 朱光来, 王建国, 等. 氨氮对中华鲮的急性毒性及2种代谢酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2018, 48(1): 91-96.
FENG Q, ZHU G L, WANG J G, et al. Acute toxicity of ammonia nitrogen to *Rhodeus sinensis* and its effects on two metabolism enzymes [J]. Freshwater Fisheries, 2018, 48(1): 91-96.
- [12] 朱乾峰, 陈鹏文, 范秀萍, 等. 珍珠龙胆石斑鱼低温有水保活条件优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 276-282.
ZHU Q F, CHEN P W, FAN X P, et al. Optimization of low temperature water conservation for ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(22): 276-282.
- [13] CLAIREAUX G, CHABOT D. Responses by fishes to environmental hypoxia: Integration through Fry's concept of aerobic metabolic scope [J]. Journal of Fish Biology, 2016, 88(1): 232-251.
- [14] SUN J, ZHAO L, LIAO L, et al. Interactive effect of thermal and hypoxia on largemouth bass (*Micropterus salmoides*) gill and liver: Aggravation of oxidative stress, inhibition of immunity and promotion of cell apoptosis [J]. Fish and Shellfish Immunology, 2020, 98: 923-936.
- [15] KIR M, SUNAR M C, GOK M G. Acute ammonia toxicity and the interactive effects of ammonia and salinity on the standard metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 2019, 511: 734273.
- [16] SHABNAI F, ERIKSON U, BELI E, et al. Live transport of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*)

- and subsequent live storage in market: Water quality, stress and welfare considerations[J]. *Aquaculture*, 2016, 453: 110-115.
- [17] KING H R. Fish transport in the aquaculture sector: An overview of the road transport of Atlantic salmon in Tasmania[J]. *Journal of Veterinary Behavior*, 2009, 4(4): 163-168.
- [18] WANG W, ZHANG Y, LIU Y, et al. Effects of waterless live transportation on survivability, physiological responses and flesh quality in Chinese farmed sturgeon (*Acipenser schrenckii*) [J]. *Aquaculture*, 2020, 518: 734834.
- [19] VANDERZWALMEN M, MCNEILL J, DELIEUVIN D, et al. Monitoring water quality changes and ornamental fish behaviour during commercial transport [J]. *Aquaculture*, 2021, 531: 735860.
- [20] 刘骁, 谢晶, 杨茜, 等. 无水保活条件下团头鲂生理应激及鱼肉品质的变化[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(3): 295-300.
- LIU X, XIE J, YANG Q, et al. Change of physiological stress and flesh quality of *Megalobrama amblycephala* during suitable waterless keep alive conditions[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(3): 295-300.
- [21] PICKERING A D. Environmental stress and the survival of brown trout, *Salmo trutta* [J]. *Freshwater Biology*, 1989, 21(1): 47-55.
- [22] 许友卿, 郑一民, 丁兆坤. 冷应激对水生动物代谢的影响及调控研究进展[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 1149-1159.
- XU Y Q, ZHENG Y M, DING Z K, et al. Change of physiological stress and flesh quality of *Megalobrama amblycephala* during suitable waterless keep alive conditions [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 1149-1159.
- [23] ZENG P, CHEN T, SHEN J. Effects of cold acclimation and storage temperature on crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) in a waterless preservation [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2014, 40(3): 973-982.
- [24] 吴波, 谢晶. 石斑鱼有水活运工艺中温度、盐度的优化[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 235-241.
- WU B, XIE J. Optimization of water temperature and salinity for live transportation of grouper [J]. *Food Science*, 2019, 40(16): 235-241.
- [25] 尤宏争, 石洪玥, 贾磊, 等. 短途运输胁迫对珍珠龙胆石斑鱼血清酶活力及葡萄糖含量的影响[J]. *经济动物学报*, 2018, 22(2): 72-77.
- YOU H Z, SHI H Y, JIA L, et al. Effect of short-distance transportation stress on serum enzyme activity and glucose content of pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) [J]. *Journal of Economic Animal*, 2018, 22(2): 72-77.
- [26] HONG J, CHEN X, LIU S, et al. Impact of fish density on water quality and physiological response of golden pompano (*Trachinotus ovatus*) flingerlings during transportation [J]. *Aquaculture*, 2019, 507: 260-265.
- [27] 谢晶, 王琪. 水产动物保活运输中环境胁迫应激及生理调控机制的研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 319-325.
- XIE J, WANG Q. Research progress of environmental stress and physiological regulation mechanism in aquatic animal during keep live transportation [J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 319-325.
- [28] 周翠平, 钟赛意, 秦小明, 等. CO₂麻醉无水保活过程中罗非鱼主要呈味成分的变化[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(5): 247-254.
- ZHOU C P, ZHONG S Y, QIN X M, et al. The variation of taste components in the muscle of tilapia anaesthetized by CO₂ during keeping alive without water [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(5): 247-254.
- [29] 王学娟, 秦小明, 林华娟, 等. 波纹巴非蛤在低温保活过程中主要营养成分变化[J]. *食品科技*, 2008, 33(6): 90-93.
- WANG X J, QIN X M, LIN H J, et al. The changes of the main nutritional components of *Paphia undulata* during keeping alive at low temperature [J]. *Food Science and Technology*, 2008, 33(6): 90-93.
- [30] 李宁, 白婵, 熊光权, 等. 无水保活时间对斑点叉尾鲷血液生化及肌肉品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(12): 74-81.
- LI N, BAI C, XIONG G Q, et al. Effects of waterless keep alive time on physiological and biochemical index of *Ictalurus punctatus* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(12): 74-81.
- [31] 林婉玲, 王瑞旋, 王锦旭, 等. 影响脆肉鲩不同部位肌肉的质构特性分析[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(3): 211-218.

- LIN W L, WANG R X, WANG J X, et al. Texture analysis of different parts of muscles in crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V)[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(3): 211–218.
- [32] 潘澜澜, 林成新, 张国琛, 等. 净化暂养及低温离水保活运输对虾夷扇贝品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(19): 301–307.
- PAN L L, LIN C X, ZHANG G C, et al. Effects of purification, temporary rearing and low temperature waterless-keeping alive-transportation on quality characteristics of live *Patinopecten yessoensis* [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2017, 33(19): 301–307.
- [33] 王彩霞, 白婵, 李宁, 等. 不同降温速率休眠的加州鲈无水保活品质比较[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(5): 129–137.
- WANG C X, BAI C, LI N, et al. Comparison of dormancy at different cooling rates on the survival of *Micropterus salmoides* without water[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(5): 129–137.
- [34] JO Y, JUNG K, LEE M, et al. Effect of high-pressure short-time processing on the physicochemical properties of abalone (*Haliotis discus hannai*) during refrigerated storage[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014, 23: 33–38.

Effects of Low Temperature and Alive Transportation on Stress and Meat Quality of Sea Bass (*Lateolabrax maculatus*)

Wang Qi^{1,2,3}, Mei Jun^{1,2,3}, Xie Jing^{1,2,3*}

¹College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306

²National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science and Engineering (Shanghai Ocean University), Shanghai 201306

³Shanghai Aquatic Products Processing and Storage Engineering Technology Research Center (Shanghai Ocean University), Shanghai 201306

Abstract This experiment was conducted to investigate the effects of low-temperature alive transportation on the blood biochemical and muscle physicochemical indexes of sea bass. Firstly, the effects of temperature, salinity, density and holding time on the survival rate of sea bass after transportation were measured. Secondly, the sea bass were cooled down to the alive transportation temperature 12, 16 °C and 20 °C at a cooling rate of 3 °C/h. Sea bass that were not transported at room temperature were used as the control group, the water quality indexes, blood biochemical and muscle physicochemical indexes were measured at the 12, 24, 36, 48, 60 and 72 hour of transportation and 12 hours after the end of transportation. The results showed that the survival rate was highest in the conditions of 12 °C, 16‰ salinity, 1:10–1:8 fish–water ratio and 36 h temporary storage time. During the whole keeping alive transportation process, the water quality showed a significant decreasing trend with the increase of temperature ($P < 0.05$). Serum lactate dehydrogenase, aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase activities and cortisol levels were significantly increased ($P < 0.05$), and glucose and heat shock proteins showed a trend of first increase and then decrease. After 12 h of recovery at the end of transportation, the heat shock proteins, lactate dehydrogenase, aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase activities of sea bass in the 12 °C group returned to those of the control group. The total protein and lactate levels in the muscles showed a significant increasing trend, and glycogen, hardness and chewiness decreased significantly ($P < 0.05$). There were no significant changes in pH value, water-holding capacity and springiness of sea bass muscles before and after the alive transportation ($P > 0.05$). The optimal holding temperature for long-distance transportation of sea bass was 12 °C. The results of this study provided a reference for the alive transportation of sea bass and other marine fishes.

Keywords *Lateolabrax maculatus*; alive transportation; stress; metabolize; blood biochemistry; physical and chemical properties of muscle