



鱼袋保活中团头鲂存活率和肌肉品质的变化

杨 涵^{1,2}, 张童昊^{1,2}, YONGSAWADIGUL Jirawat³, 尹 涛^{1,2*},
尤 娟^{1,2}, 刘 茹^{1,2}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070;

2. 华中农业大学, 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 湖北 武汉 430070;

3. 苏兰拉里工业大学农业系食品技术学院, 呵叻府 那空叻差是玛 30000)

摘要: 为促进活鱼电商物流的发展, 本实验采用鱼袋保活运输团头鲂, 研究了保活条件对存活率的影响, 以及保活过程中血液应激指标、肌肉品质的变化。结果显示, 当运输环境温度为 10 °C, 鱼和水质量比为 1 : 3, 运输中使用水为曝气自来水时, 鱼体存活率最高。在保活过程中, 团头鲂血液的应激指标均呈现波动性变化趋势。但是整体上, 皮质醇、尿素和丙二醛含量先增加后降低; 乳酸脱氢酶含量先降低后增加; 超氧化物歧化酶含量逐渐降低; 过氧化氢酶、天冬氨酸转移酶和肌酐含量逐渐增加。在肌肉品质方面, 白度值、剪切力、滴水损失整体上呈现先增加后降低的趋势; 与 0 h 相比, 保活 72 h 后粗蛋白、乳酸和糖原含量分别下降了 19.0%、27.2% 和 50.0%; 鲜味和苦味核苷酸类物质以及鲜度值 K 整体上均呈现逐渐增加的趋势; 肌纤维间隙随保活时间的延长而逐渐增大。研究表明, 在保活过程中, 鱼体受到持续的应激, 肌肉品质劣变。本研究可为鱼类的电商活运提供理论依据。

关键词: 团头鲂; 肌肉品质; 存活率; 应激; 保活运输

中图分类号: S 981.14

文献标志码: A

在活鱼运输中, 传统的运输方式为高密度、有水保活运输, 最常见的运输工具为配备氧气罐和水箱的活鱼运输车, 其特点是运输密度大、易造成鱼体应激反应、涉及场地和环节多^[1]。近年来, 随着互联网技术和物流技术的革新, 促进了单体充氧袋装活鱼运输业的迅速发展。单体充氧袋装活鱼运输是指用鱼袋对单条活鱼包装后, 接着对鱼袋注水和充氧, 再进行运输, 这是一种由生产基地或商超到消费者之间点对点的新型运输方式, 可缩短运输中间环节、提高鱼体的存活率以及促进地方特色鱼类的销售, 实现了消费者足

不出户即可享受鲜活美食。

运输过程中鱼体会产生应激反应。鱼类的应激反应是指鱼类受到外界刺激(应激源)后所产生的一系列生理反应, 在外观上的表现是鳃盖运动, 呼吸速率、心跳和游动速度加快等^[2]。鱼体应激后血液指标会发生改变, 例如皮质醇(COR)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)、乳酸脱氢酶(LDH)、天冬氨酸转移酶(AST)、尿素(UREA)、肌酐(CR)等^[2]。皮质醇是典型的糖皮质激素, 其含量在应激反应的初期会显著升高, 因此常被应用于鱼类应激状况的评

收稿日期: 2024-03-23 修回日期: 2024-05-26

资助项目: 现代农业产业技术体系(CARS-45)

第一作者: 杨涵, 从事水产品贮运保鲜和加工研究, E-mail: 595608143@qq.com

通信作者: 尹涛(照片), 从事水产品贮运保鲜和加工研究, E-mail: yintao@mail.hzau.edu.cn



估^[3]。为消除呼吸作用增强后产生的过量氧自由基(ROS), SOD、CAT等表达和活化水平一般会增加^[4]。鱼的强烈应激反应还会引发肌肉成分(灰分、蛋白、乳酸、糖原)以及物理性质(白度、剪切力、滴水损失)的变化^[4-6], 导致肌肉品质劣变^[7]。为提升鱼的存活率, 运输过程中一般会采取保活措施, 其效果受多种条件的影响。在高密度活鱼运输中, 运输温度、鱼水比、氧气浓度等因素对鱼存活率和鱼体应激反应的影响已经比较清楚^[8-10]。然而, 目前关于鱼袋运输活鱼过程中, 保活条件对鱼存活率和肌肉品质影响的研究较少。

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)俗称武昌鱼, 是具有地方特色的淡水鱼, 主要产自湖北省。本实验以团头鲂为研究对象, 用鱼袋对其进行包装。首先研究保活温度、鱼水质量比和运输中使用水单因素对鱼存活率的影响; 在优化的保活条件下, 研究不同保活时间对血液应激指标和肌肉品质的影响。研究结果可为提高鱼的存活率和肌肉品质提供理论依据, 从而促进活鱼电商物流业的发展。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本实验所用的团头鲂来源于湖北省鄂州市杜山镇国家级团头鲂原种养殖基地, 实验鱼体长(32.48±0.76) cm, 体高(13.20±0.65) cm, 体重(455.94±46.25) g。活鱼运输袋为聚乙烯材料, 购于雄县雄州镇鑫塑埭塑料制品厂。

封口机, 苏州康鸣包装设备有限公司。氧气瓶, 武汉双龙和商贸有限责任公司。Chemray 240、Chemray 420、Chemray 800全自动生化分析仪, 深圳雷杜生命科学股份有限公司。Epoch酶标检测仪, 美国伯腾仪器有限公司。MX-F涡旋混合器, 武汉赛维尔生物科技有限公司。CR-400型色差仪, 日本柯尼卡美能达公司。TA-XT Plus型物性分析仪, 美国Stable Micro System公司。IKA2000型高速分散均质机, 德国IKA仪器设备有限公司。Waters 2D超高效液相色谱仪, 美国Waters公司。

无水乙醇、硫酸、氢氧化钠、磷酸(分析纯), 国药集团化学试剂有限公司。甲醇、乙腈, 色谱纯, 美国Muskegon公司。皮质醇试剂盒购于上海晶抗生物工程有限公司。乳酸、糖原试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。次黄嘌呤(Hx)、次

黄嘌呤核苷(HxR)、5'-次黄嘌呤核苷酸(IMP)、单磷酸腺苷(AMP)、5'-二磷酸腺苷(ADP)、5'-三磷酸腺苷(ATP)、5'-一磷酸鸟苷(GMP)标准品均购于上海源叶生物科技有限公司。天门冬氨酸氨基转移酶试剂盒、尿素测定试剂盒、肌酐测定试剂盒与乳酸脱氢酶测定试剂盒均购于深圳雷杜生命科学股份有限公司。过氧化氢酶(CAT)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)检测试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。

1.2 实验方法

单体充氧袋装程序 在池塘中将鱼围网禁食2 d。随后选取大小一致且健康有活力的团头鲂用于保活实验。在封口前, 向每个塑料鱼袋(宽25 cm, 长40 cm)内加水, 然后加入1尾鱼, 排出鱼袋内空气。用热塑机封口后, 向鱼袋中充氧, 使鱼袋内的初始压强达到约12 kPa, 再置于泡沫保温箱中。实验中对装有鱼的鱼袋进行梯度降温: 水温在20℃以上时, 以每小时3℃冷却至10℃; 再以每小时2℃降温至5℃; 水温低于5℃, 以每小时1℃降温至恒温4℃。本研究获得了华中农业大学实验动物管理和使用伦理委员会批准(HZAU-2022-0013), 实验过程中操作人员严格遵守华中农业大学伦理规范, 并按照华中农业大学伦理委员会制定的规章制度执行。

保活条件的设置 实验中设置不同的保活温度、鱼水质量比、运输中使用水共3个单因素实验, 每个单因素实验用鱼30尾, 共90尾鱼, 用于研究保活条件对存活率的影响。本实验中的曝气自来水是将自来水放入容器中, 使自来水与气体充分接触并静置48 h。第1组: 温度分别设置为4、10和25℃, 固定鱼水质量比为1:2, 运输中使用曝气自来水; 第2组: 鱼水质量比设置分别为1:1、1:2、1:3, 固定温度为10℃, 运输中使用曝气自来水; 第3组: 运输中使用水分别为湖水、井水、曝气自来水, 固定温度为10℃, 鱼水质量比为1:3。

存活率测定 随机选取10尾团头鲂用于每个条件下存活率的测定。在本实验中, 团头鲂出现浮头、翻白肚等特征, 并在5~10 min内完全失去呼吸, 可判定为死亡^[11]。存活率的计算公式:

$$\text{存活率}(\%) = \frac{\text{不同时间下每组存活数量}}{10} \times 100\%$$

血液采集与应激指标的测定 在保活中

存活率的变化所探究的最优保活条件下, 于第 0、6、12、24、36、48、60 和 72 小时随机选取 3 尾鱼进行取样, 保证每个时间点的样本数一致, 测定血液应激指标。采集血清前, 将 MS-222 (间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐) 溶液 (120 mg/L) 使用注射器注入鱼袋中, 使团头鲂应激反应程度降至最小。待鱼进入深度麻醉期^[12]后, 将鱼取出备用。本实验采取尾部静脉取血法。取出的全血样本暂存于 2 mL 离心管中, 将全血标本置于 4 °C 下贮存, 于 2~8 °C、3 000 r/min 条件下离心 15 min, 待血清与血浆分离后取上层血清, 进行分装, 并将样本放于 -80 °C 保存备用。COR、AST、LDH、UREA、CR、CAT、MDA、SOD 等血清生化指标按照试剂盒说明书进行操作。

鱼肌肉的采集与理化指标的测定 在保活中存活率的变化所探究的最优保活条件下, 于第 0、6、12、24、36、48、60 和 72 小时随机选取 3 尾鱼, 保证每个时间点的样本数一致, 用于测定背部肌肉的品质。将如上麻醉的团头鲂采用刀背快速敲击致死。去鳞、去头和去内脏后, 将团头鲂背部肌肉分割, 分别用于测定剪切力、蛋白含量、灰分含量、白度、乳酸含量、肌糖原含量等肌肉品质指标, 具体方法:

①剪切力: 采用配备刀片的质构仪测定。实验鱼的每一肌肉节由纵向排列的肌纤维构成, 因此, 在测定中沿肌纤维纵向进行剪切^[13]。在最佳保活条件下, 于每个时间点随机选取 3 尾实验鱼, 将每尾团头鲂背部肌肉切成 20 mm×20 mm×10 mm 的小方块, 对每个时间点下的 3 个样品进行测定。使用 XL 1155 刀头 (南京协力电子科技集团有限公司) 对鱼肌肉样品进行切割, 剪切力以克数表示。

②蛋白质: 按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[14]中凯氏定氮法测定。

③灰分: 按照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[15]中灰化消解法测定。

④滴水损失: 参考 Subbaiah 等^[16]方法, 采用悬挂后称重法测定。在保活后, 将鱼背部肌肉切成 20 mm×20 mm×10 mm 的小方块并称重。取称重后的新鲜背部肌肉于 4 °C 冰箱内悬挂贮存, 分别于 0、6、12、24、36、48、60 和 72 h 称量肌肉重量。滴水损失计算公式:

$$\text{滴水损失}(\%) = \frac{\text{贮存前肉重}(\text{g}) - \text{贮存后肉重}(\text{g})}{\text{贮存前肉重}(\text{g})} \times 100\%$$

⑤白度: 用色彩色差仪测定样品亮度值 L^* 、红绿值 a^* 、黄蓝值 b^* 。先对仪器进行校准, 再对样品进行测量。白度的计算公式:

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

⑥乳酸: 准确称量肌肉组织重量, 按重量 (g): 体积 (mL) = 1: 9 的比例倒入生理盐水, 在冰水浴条件下用均质机进行均质, 均质条件为 4 000 r/min, 均质 2 min; 随后在 4 °C、2 500 r/min 离心 10 min; 将离心后的上清液用生理盐水稀释后, 按照试剂盒操作说明书测定乳酸的含量。肌肉组织中乳酸的计算公式:

$$\text{组织中乳酸含量}(\text{mmol/g prot}) = \frac{\text{OD}_{\text{测定}} - \text{OD}_{\text{空白}}}{\text{OD}_{\text{标准}} - \text{OD}_{\text{空白}}} \times \frac{\text{标准品浓度}}{\text{待测样本蛋白浓度}}$$

⑦肌糖原: 参照乳酸测定的方法, 提取样品后, 按照试剂盒操作说明书测定肌糖原的含量。

⑧细胞结构: 参考 Liu 等^[13]的方法, 按照流程操作: 样品→乙醇脱水→石蜡包埋→伊红 (H.E) 染色→切片→光学显微镜观察。

⑨ATP 及代谢关联产物: 参考陈周等^[17]的方法, 采用高效液相色谱仪 (HPLC) 测定 Hx、HxR、IMP、AMP、ADP 及 ATP 含量。将所取团头鲂背部肌肉样品置于离心管中, 加入 20 mL 预先冷却的 5% 高氯酸溶液, 用高速分散均质机匀浆 2 次 (10 000 r/min, 2×20 s); 用同浓度的高氯酸 10 mL 洗涤分散均质机的刀具 1 次, 洗液并入离心管中, 离心 (4 °C, 10 000 r/min, 10 min) 后吸取上清液; 沉淀物用 10 mL 同浓度的高氯酸洗涤、离心, 合并 2 次上清液后用 10 mol/L 和 1 mol/L NaOH 调节 pH 至 6.4; 用超纯水定容至 50 mL, 然后取 1 mL 经 0.45 μm 滤膜过滤, 滤液供 HPLC 上机分析。HPLC 主要条件: 色谱柱为 XBridge BEH C₁₈ 柱 (5 μm, 4.6 mm×250 mm), 柱温: 室温; 进样量: 10 μL; 流动相为 0.02 mol/L 磷酸盐缓冲液 (PBS, pH = 6.4), 流速 0.7 mL/min, 检测波长为 254 nm。鲜度值 $K(\%)$ ^[18] 计算公式:

$$K = \frac{\text{HxR} + \text{Hx}}{\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}} \times 100\%$$

1.3 数据分析

实验数据使用 SPSS 软件进行分析处理和显

显著性分析, 显著性分析取 95% 置信区间 ($P < 0.05$), 使用 Prism 9.5 软件作图。细胞切片的图像经数码相机拍照后, 由 Case Viewer 软件进行分析。

2 结果

2.1 保活中存活率的变化

环境温度对团头鲂存活率的影响 当环境温度为 4 °C 时, 实验鱼存活率最低、存活时间

最短。保活时间为 6 h 时, 实验鱼全部死亡。当环境温度为 10 °C 时, 在 72 h 内, 实验鱼的存活时间最长且存活率最高, 其最长存活时间达到 60 h, 半数致死时间为 48 h。保活时间为 36 h 时, 仍然能保持 90% 的存活率。当环境温度为 25 °C 时, 实验鱼死亡时间多处于 24~36 h。保活时间为 48 h 时, 鱼体全部死亡(图 1-a)。因此, 环境温度 10 °C 为最适宜的保活温度。

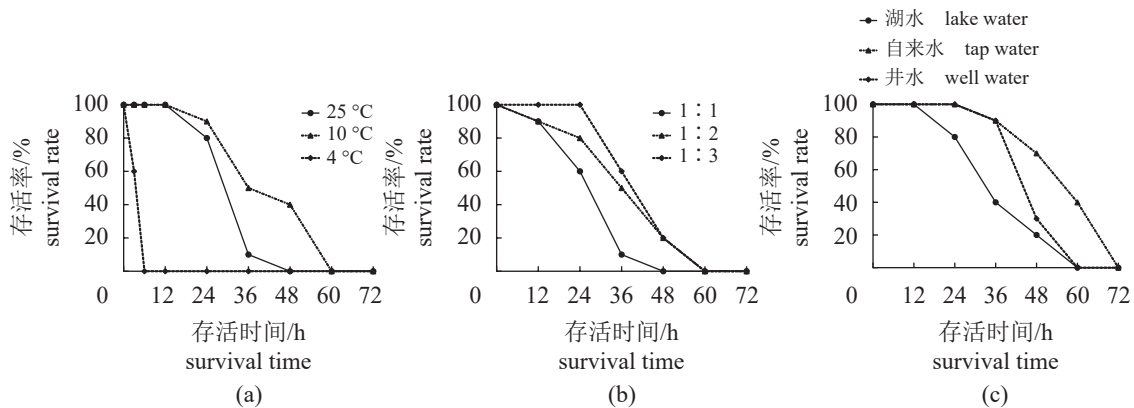


图 1 不同保活条件下团头鲂的存活率

(a) 环境温度; (b) 鱼水质量比; (c) 运输中使用水。

Fig. 1 Survival rate of *M. amblycephala* under different keeping-alive conditions

(a) environment temperature; (b) fish-water ratio; (c) source of water.

鱼水比对团头鲂存活率的影响 当保活时间为 36 h 时, 鱼和水质量比分别为 1 : 1、1 : 2、1 : 3 时, 存活率分别为 10%、50%、60%; 进一步延长到 48 h 时, 它们的存活率分别为 0、20%、20%; 当鱼水质量比为 1 : 2 和 1 : 3 时, 存活率在 60 h 时都降为 0 (图 1-b)。因此, 在综合考虑存活率和运输成本的条件下, 1 : 3 是较为适宜的鱼水质量比。

运输中使用水对团头鲂存活率的影响 在相同的温度和鱼水比下, 当运输中使用水分别为井水和湖水时, 团头鲂在 60 h 时存活率为 0; 当运输中使用水为曝气自来水时, 团头鲂在 72 h 时存活率为 0。在 48 h 时, 使用曝气自来水条件下的鱼存活率能够保持在 70%。尽管曝气自来水和井水都能使其在 36 h 时的存活率达到 90%, 但保活时间为 48 h 时, 井水组的存活率只有 30%, 而曝气自来水组的存活率达到 70% (图 1-c)。因此, 曝气自来水是最适宜的运输中使用水。因此, 本课题选定的最优保活条件: 环境为 10 °C, 鱼水质量比为 1 : 3, 运输中使用水为曝气自来水。

2.2 保活中血液应激指标的变化

COR 在 0~6 h 内, 血液中的 COR 含量显著升高, 并在 6 h 时达到最大值 526.53 ng/L; 在 12 h 时, 血液中的 COR 含量显著降低且在 12~36 h 内保持较低水平; COR 在 48 h 时又升高, 且达到 6 h 时水平; 在 60~72 h 内, COR 含量较 48 h 相比显著下降, 并在 72 h 出现最小值 368.13 ng/L (图 2-a)。

SOD、CAT、MDA SOD 在 0 h 时有最大浓度 499.11 U/mL, 并且在 12~60 h 内逐渐降低 (图 2-b)。CAT 浓度在初始时有最小值 0.17 U/mL, 在 0~24 h 内浓度呈逐渐增加的趋势; 在 36 和 48 h 时, 浓度较 24 h 的显著降低; 随着保活时间的进一步延长, 浓度先显著增加后显著降低 (图 2-c)。0~24 h 内, MDA 的含量处于上下波动的状态; 在 24 h 时, MDA 含量的最大值为 21.46 nmol/L; 在 36 h 时, MDA 浓度下降, 随后一直降低, 在 72 h 有最小值为 15.27 nmol/L (图 2-d)。

LDH LDH 在 12~48 h 内浓度较为稳定, 在 12 h 时为最小浓度 445.13 U/L; 在 48 h 之后,

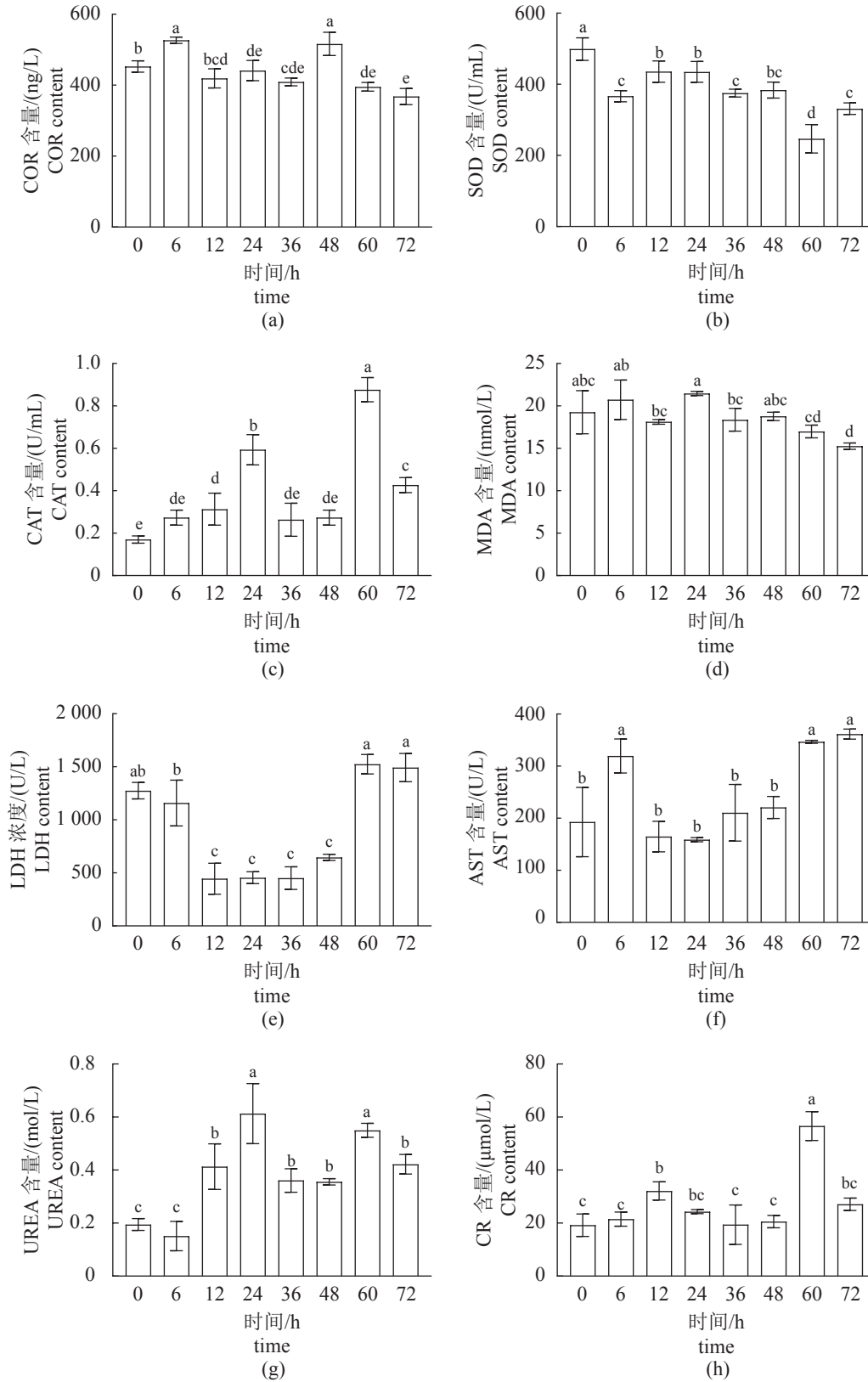


图2 保活过程中团头鲂血液应激指标的变化

(a) COR, (b) SOD, (c) CAT, (d) MDA, (e) LDH, (f) AST, (g) UREA, (h) CR; 不同字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$), 下同。

Fig. 2 Changes in blood stress indexes of *M. amblycephala* in the process of keeping-alive

(a) COR, (b) SOD, (c) CAT, (d) MDA, (e) LDH, (f) AST, (g) UREA, (h) CR; different letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

血液中 LDH 的含量极显著增加, 且其浓度超过 0 h 的 1 274.97 U/L, 在 60 h 出现最大浓度 1 523.89 U/L (图 2-e)。

AST、UREA、CR 在 6 h 时血清中的 AST 含量显著上升到 319.43 U/L, 随后又下降至 164.72 U/L, 并在保活时间为 24 h 时有最小值 158.79 U/L; 在 24~72 h 内, AST 在血清中的含量一直上升, 并在 72 h 有最大值 361.50 U/L (图 2-f)。UREA 在 6 h 时有最小值 0.151 mol/L, 随后显著增加至 24 h 的 0.613 mol/L (图 2-g)。CR 含量在 0 h 时有最小值 19.20 $\mu\text{mol/L}$, 并在 12 h 时显著升高, 随后又呈下降趋势, 且在 24~48 h 内保持较低水

平; 在 60 h 时, CR 的浓度显著升高, 并达到最大值 56.63 $\mu\text{mol/L}$ (图 2-h)。

2.3 保活中肌肉品质的变化

肌肉物理性质的变化 肌肉在 0 h 的白度值最低, 为 46.70; 在 0~24 h 内, 肌肉的白度值逐渐显著上升至 59.45; 与 24 h 相比, 白度值在 36 h 显著降低; 随着保活时间进一步延长, 白度值逐渐缓慢降低 (图 3-a)。

剪切力随保活时间的延长而变化 ($P < 0.05$)。在 0 h 时的剪切力最低, 为 409.37 g; 在 36 h 时出现最大值, 为 999.11 g (图 3-b)。

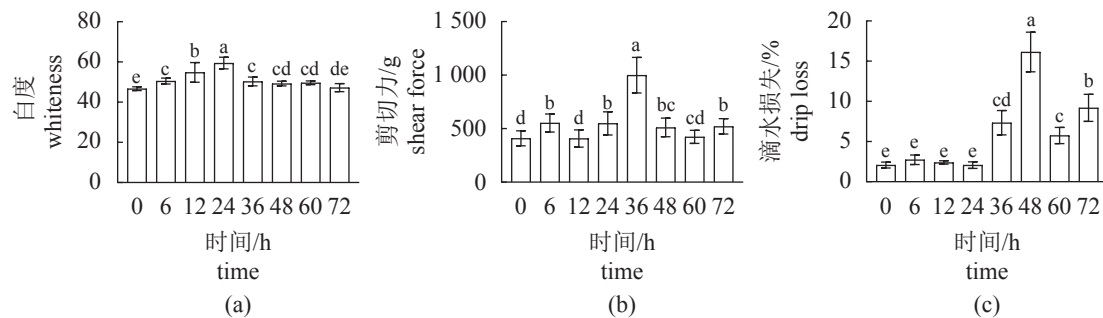


图 3 保活过程中团头鲂肌肉物理性质的变化

(a) 白度, (b) 剪切力, (c) 滴水损失。

Fig. 3 Changes in physical properties of *M. amblycephala* muscles during the process of keeping-alive

(a) whiteness, (b) shear force, (c) drip loss.

在 0~24 h 内, 肌肉的滴水损失为 2.07%~2.73%; 在 36 h 时, 滴水损失显著增加; 在 48 h 时滴水损失达到最大值 16.15%; 在 60 和 72 h 时, 滴水损失分别显著下降至 5.76% 和 9.17% (图 3-c)。

肌肉成分的变化 灰分、粗蛋白: 在 0~24 h 内, 灰分含量逐渐上升, 在 24 h 时, 灰分含量有最大值 1.37%; 在 36 h 时其含量突然下降, 随后又呈上升趋势。在保活过程中, 粗蛋白含量呈现逐渐下降趋势, 由 19.48 g/100 g 下降至 15.78 g/100 g (表 1)。

乳酸、糖原: 随着保活时间的延长, 肌肉中乳酸含量整体呈现先增加后降低的趋势, 在 12 h 出现最大值为 1.59 mmol/g prot, 在 60 h 出现最小值 1.05 mmol/g prot。保活前, 糖原有最大值, 为 0.72 mg/g; 在 0~24 h 内, 糖原含量逐渐下降, 在 36 h 时立即升高, 随后又开始下降, 在 72 h 时有最小值 0.36 mg/g (表 1)。

肌肉 ATP 及代谢关联产物的变化 在保活中, ATP 含量先增加后降低, 在 36 h 时有最大

值, 为 30.09 mg/100 g, 约为初始值 (26.22 mg/100 g) 的 1.15 倍。ADP 的初始值为 22.53 mg/100 g, 在 36 h 时有最小值, 为 22.01 mg/100 g; ADP 含量在 48~72 h 内显著上升, 在 72 h 时有最大值, 为 38.24 mg/100 g, 约为初始值的 1.70 倍。AMP 的含量在 6~36 h 内逐渐降低, 由 8.77 mg/100 g 降至 7.55 mg/100 g, 随后逐渐升高, 在 72 h 时有最大值 10.78 mg/100 g, 约为初始值 (8.37 mg/100 g) 的 1.29 倍。在保活前, IMP 的初始值为 564.28 mg/100 g; 在 36~72 h 内, IMP 含量逐渐增加; 在 72 h 时, IMP 有最大值 694.28 mg/100 g, 约为初始值的 1.23 倍 (表 2)。

HxR 在 0~36 h 内没有显著变化, 在运输后期 (48~72 h) 才出现显著升高, 并在 72 h 有最大值 38.75 mg/100 g, 约为初始值 (25.36 mg/100 g) 的 1.51 倍; Hx 在 0~12 h 内呈现显著升高趋势, 在 12~24 h 内又突然降低至 12.77 mg/100 g, 随后 Hx 的含量逐渐显著升高, 并在 72 h 时出现最大值 29.86 mg/100 g, 约为初始值 (11.30 mg/100 g)

表 1 保活过程中团头鲂肌肉成分的变化

Tab. 1 Changes in *M. amblycephala* muscle composition during the process of keeping-alive

时间/h time	灰分/% ash	粗蛋白/(g/100 g) crude protein	乳酸/(mmol/g prot) lactic acid	糖原/(mg/g) glycogen
0	1.24±0.15 ^a	19.48±0.45 ^a	1.47±0.01 ^{bc}	0.72±0.01 ^a
6	1.29±0.09 ^a	19.27±0.32 ^a	1.51±0.02 ^{ab}	0.62±0.02 ^b
12	1.34±0.01 ^a	18.72±0.26 ^{ab}	1.59±0.05 ^a	0.57±0.02 ^{bc}
24	1.37±0.13 ^a	18.53±0.37 ^{ab}	1.27±0.02 ^d	0.55±0.05 ^c
36	1.29±0.14 ^a	18.08±0.28 ^{bc}	1.50±0.03 ^{abc}	0.59±0.02 ^{bc}
48	1.30±0.08 ^a	17.07±1.19 ^c	1.40±0.13 ^c	0.47±0.02 ^d
60	1.32±0.04 ^a	16.02±0.39 ^d	1.05±0.02 ^e	0.42±0.03 ^d
72	1.31±0.04 ^a	15.78±0.74 ^d	1.07±0.02 ^e	0.36±0.03 ^e

注: 同列不同字母表示具有显著差异($P<0.05$), 下同。

Notes: Different letters indicate significant differences in the same column ($P<0.05$), the same below.

表 2 保活过程中团头鲂肌肉 ATP 及代谢产物的变化

Tab. 2 Changes in ATP and metabolites of *M. amblycephala* muscle during the process of keeping-alive

时间/h time	ATP/(mg/100 g)	ADP/(mg/100 g)	AMP/(mg/100 g)	IMP/(mg/100 g)	HxR/(mg/100 g)	Hx/(mg/100 g)	K/%
0	26.22±2.91 ^b	22.53±1.23 ^e	8.37±1.34 ^e	564.28±8.87 ^d	25.36±2.02 ^c	11.30±1.42 ^d	5.90±0.25 ^d
6	22.31±0.62 ^{cd}	26.24±0.79 ^d	8.77±0.49 ^{bc}	589.70±35.47 ^d	26.74±0.59 ^c	13.71±0.92 ^d	6.26±0.32 ^{cd}
12	20.34±0.50 ^d	27.34±0.08 ^d	8.67±0.20 ^{bc}	628.04±3.04 ^{bc}	26.78±0.94 ^c	18.41±0.72 ^c	6.60±0.12 ^c
24	25.33±0.67 ^{bc}	28.19±1.67 ^{cd}	8.45±0.46 ^c	600.52±19.24 ^{cd}	25.94±0.70 ^c	12.77±0.70 ^d	5.85±0.35 ^d
36	30.09±1.26 ^a	22.01±1.72 ^e	7.55±0.50 ^e	594.81±8.15 ^{cd}	25.34±0.96 ^c	13.81±0.58 ^d	5.98±0.13 ^d
48	26.52±1.16 ^b	30.86±2.82 ^{bc}	9.15±0.72 ^{abc}	648.68±12.73 ^b	28.76±1.11 ^c	19.13±2.23 ^{bc}	6.69±0.32 ^c
60	25.57±0.74 ^{bc}	33.96±1.60 ^b	10.48±0.84 ^{ab}	656.80±7.50 ^b	33.61±1.10 ^b	21.48±0.46 ^b	7.58±0.24 ^b
72	26.45±3.30 ^b	38.24±1.39 ^a	10.78±1.69 ^a	694.28±25.42 ^a	38.75±3.92 ^a	29.86±2.49 ^a	8.92±0.15 ^a

的 2.64 倍 (表 2)。

鲜度值 K 值呈现先升高后下降再升高的趋势, 在 72 h 有最大值 8.92% (表 2)。

细胞结构 当保活时间为 0 h 时, 肌肉细胞之间缝隙均匀, 细胞无破碎。在保活时间为 6、12 与 24 h 时, 背部细胞间隙较为均匀 (图版)。随着保活时间的延长, 部分细胞出现破碎, 且肌肉细胞间出现较大的缝隙, 丧失紧密结构, 这种现象在第 48、60 与 72 小时尤为明显。

3 讨论

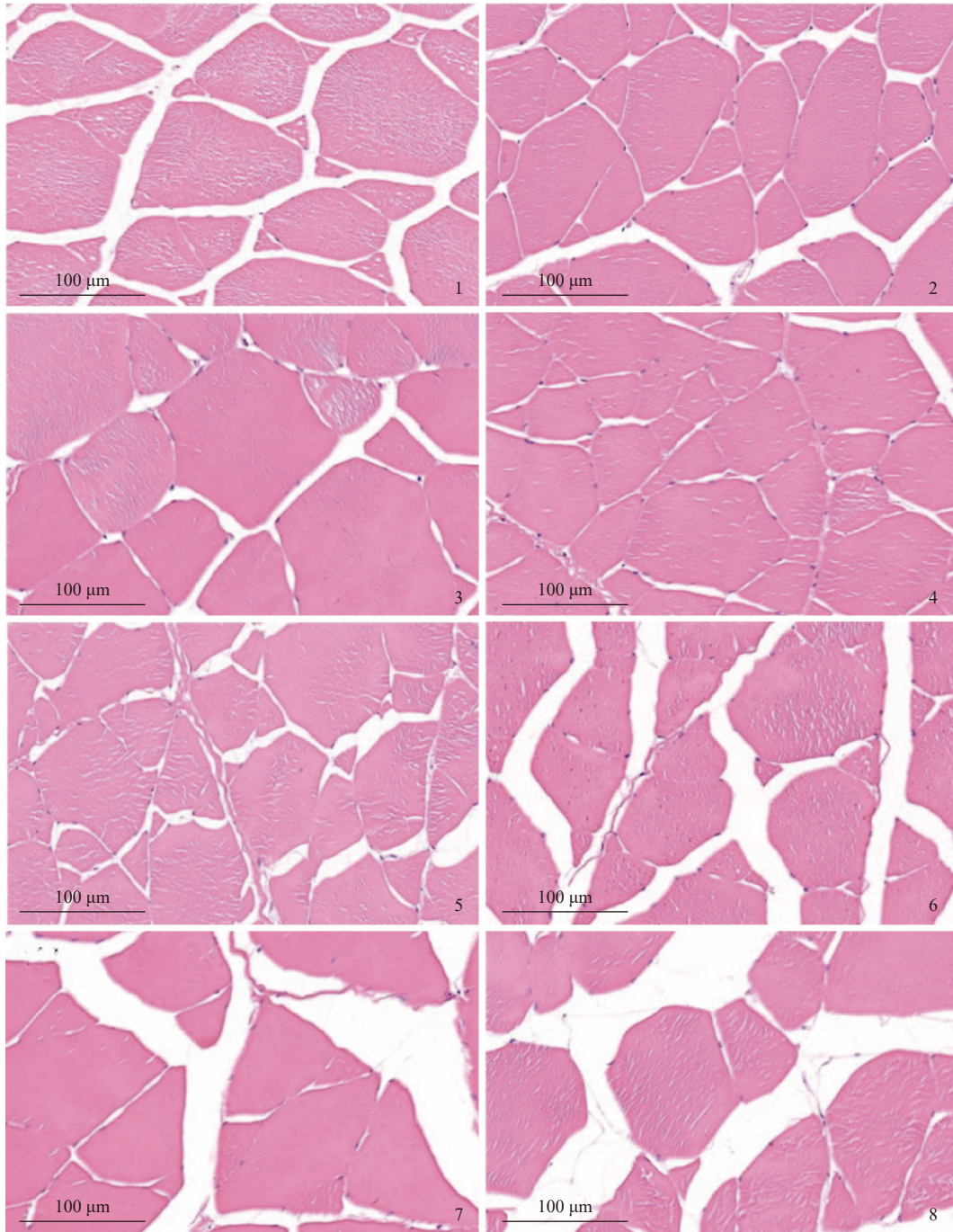
3.1 保活条件对存活率的影响

鱼类对温度变化敏感, 因此需控制运输中的水温或者空气温度, 从而提高存活率。在高温下, 鱼类的呼吸和代谢作用增强, 使得 ROS 和氨氮积累量增加, 会降低运输中鱼的存活率^[2]。鱼体从常温 (~25 °C) 转移到低温环境时经历了温度骤变,

使鱼体产生强烈的冷应激, 也会降低存活率^[2]。因此, 10 °C 为鱼袋运输团头鲂适宜的温度。鱼类对环境温度的耐受性与鱼的种类有关, 还受到变温模式、鱼体大小等多种因素的影响^[19-21]。王焱纬^[22] 和丁亚涛^[2] 在对团头鲂高密度保活研究中发现, 团头鲂难以适应高温环境, 其最适宜生存温度 (约 10 °C) 低于一些常见鱼类, 这与本实验的研究结果一致。

王琪等^[23] 发现大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 幼鱼的存活率会随着鱼水质量比降低而显著增加。丁亚涛^[2] 报道了保活运输中鱼水质量比为 1 : 3 时团头鲂有最大存活率。运输密度小, 鱼体受到的氨氮应激强度低, 存活率高; 但运输等量的鱼需要更大的空间装载, 无疑提高了运输成本。因此, 在运输过程中应综合考虑应激反应、鱼种、鱼体大小、运输时间等因素, 在保证存活率的同时增加运输密度, 从而提高经济效益^[24]。

不同的水体中初始 pH 值、盐度 TDS 值 (总



图版 保活过程中肌肉样品细胞结构变化

Plate Changes of cell structure of muscle samples during the process of keeping-alive

1. 0 h, 2. 6 h, 3. 12 h, 4. 24 h, 5. 36 h, 6. 48 h, 7. 60 h, 8. 72 h.

溶解固体) 和氨氮浓度不同。湖水中 TDS 值、盐度与氨氮浓度比井水和自来水更大^[23]。除此之外, 湖水中还有微生物等因素影响存活率^[2]。综上, 灌装曝气过的自来水能获得更高的存活率。

3.2 保活运输过程中血液应激指标的变化

COR 是一种在肾上腺皮质中分泌的激素, 其

通过血液传递到靶细胞或靶器官, 加快代谢反应, 以抵抗应激^[25]。因此, 在保活 6 h 后, COR 显著增加。而随着保活时间的延长, COR 整体呈现波动性的变化趋势, 即降低-增加-降低。COR 是一类释放速率快、易降解的激素。虽然在保活过程中, 鱼体受到持续性的应激, 但是团头鲂在新环境适应性增强、肾上腺功能损坏和负反馈调节启

动, 导致出现 COR 波动性的变化^[2]。COR 的结果说明, 在保活中应激反应的强度逐渐减弱。

SOD 是一种抗氧化的酶, 能催化超氧阴离子自由基歧化生成氧和过氧化氢。CAT 的生物功能是促进细胞中的过氧化氢分解, 使其不会进一步产生具有毒性的氢氧自由基。MDA 是氧化应激后的产物。SOD、CAT 和 MDA 的含量变化常用于评价鱼体的氧化平衡状态^[8]。在鱼装袋过程中, 由于抓捕和环境突变使得鱼体剧烈挣扎, 从而造成应激, 这可能导致 ROS 和 SOD 含量增加^[4]。在保活过程中, 随着鱼体适应性的增强和应激强度逐渐减弱, 产生超氧阴离子自由基的速率可能下降, 并导致 SOD 的表达量呈现逐渐降低的趋势。因此, 相比于 0 h 的 SOD 含量, 保活后鱼体 SOD 含量降低 ($P < 0.05$), 且随着保活时间的延长, SOD 含量逐渐下降。前期 CAT 浓度呈逐渐增加的趋势, 中期浓度降低, 后期浓度又增加并达到最大值, 整体呈现逐渐上升的趋势。CAT 的变化可能主要与过氧化氢在鱼体中积累量有关^[26]。团头鲂在保活初始阶段就受到强烈刺激, 细胞膜可能遭受过氧化物攻击, 因此在 24 h 时细胞内积累的 MDA 量达到最大值; 24 h 后, 团头鲂逐渐适应新环境、应激反应强度减弱, 产生 MDA 的量随之降低^[21]。

LDH 是无氧糖酵解反应与糖异生反应的重要酶类之一。通过对能量的产生速率和分布的改变来对抗应激, 是鱼体一种自发调节的策略^[27]。在 0~6 h 内 LDH 的浓度过高, 说明在装袋与新环境的刺激下, 团头鲂通过增加无氧呼吸强度来弥补有氧呼吸产生能量不足的问题。与 0 h 时的原因不同, 60~72 h 内, 血液中 LDH 的浓度达到顶峰, 主要是由于水中的溶解氧含量下降, 无氧呼吸逐渐成为主要的能量代谢方式。本实验结果与吴炜俊等^[28]报道的关于珍珠龙胆石斑鱼 [*Epinephelus fuscoguttatus* (♀) × *E. lanceolatus* (♂)] LDH 活性变化的研究结果相似。

AST 和 CR 含量整体呈现随保活时间延长而逐渐增加的趋势, 说明肝脏和肾脏功能逐渐受损^[29]。血液中的 UREA 主要来自蛋白质的分解, UREA 含量随时间延长呈现增加-降低-增加-降低的波动式变化趋势, 这与 AST 和 CR 的变化趋势不同。保活中蛋白质逐渐降解, 导致 UREA 含量增加; 积累的 UREA 被排出到体外, 使含量下降。有研究表明, 珍珠龙胆石斑鱼在暂养 36 h 的过程

中, UREA 含量会先增加后降低, 这与本实验结果一致^[28]。

3.3 保活运输过程中肌肉指标的变化

肌肉的物理性质 团头鲂的背部肌肉主要以白肌为主。彭玲等^[30]的研究表明, 在团头鲂高密度运输的过程中, 随着时间的延长, 白度先升高后降低。其趋势与本实验结果相似, 区别在于其白度的最大值出现在第 6 小时, 而本实验肌肉白度最大值出现在第 24 小时。应激会导致鱼肌肉形成 PSE (pale soft exudative) 肉^[31], 也称苍白肉, 表现为颜色苍白、质地松软、渗水率高。一般认为, 颜色苍白的的原因主要与持水性降低使得更多的水分从肌肉内迁移到胞外空间有关, 还可能与肌细胞间隙增大从而增强光的反射有关^[27]。高密度运输中, 鱼体应激反应更强烈, 因此会更快形成 PSE 现象。在保活时间为 36 h 时, 白度值显著下降, 其原因可能是与鱼体组织充血和蛋白质氧化有关^[32]。应激中产生的 MDA 是一种强氧化物质, 能够促进蛋白质的影响。随着时间进一步延长, 白度值变化没有显著差异, 其可能是受到持水性下降、鱼体组织充血和蛋白质氧化等多种因素共同影响的结果^[32]。

鱼肉剪切力的变化受多种因素的共同影响, 包括肌细胞结构、胶原蛋白含量、乳酸含量、糖原含量等^[33]。在应激作用下水产品肌肉细胞结构在凋亡等作用下破裂, 会导致剪切力下降^[34]。另外, 运输过程中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, 使鱼肉的剪切力降低。肌肉剪切力的大小与细胞的形态结构密切相关^[35]。保活时间延长后, 肌肉中细胞膜破裂, 胶原蛋白降解, 肌肉间隙增大。因此, 随着保活时间的延长, 剪切力整体上呈现先增加后降低的趋势。

彭玲等^[30]的结果指出, 在 0~24 h 内, 高密度运输条件下团头鲂肌肉的持水性先增大后减小, 这与本实验结果相似。在保活初期, 滴水损失显著增加, 这与形成 PSE 现象有关^[36]。保活后期 (60 和 72 h), 肌肉的滴水损失值较 48 h 显著降低, 但仍显著高于初始水平, 滴水损失下降的原因可能与肌纤维裂解后蛋白持水能力增强有关^[37]。

肌肉成分 随着保活时间的延长, 肌肉中的灰分含量出现小幅度波动。Refaey 等^[38]在研究斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*) 后也得出相似的结果

论。保活中鱼体需要大量能量对抗应激^[2], 蛋白质和糖原的含量逐渐下降。肌肉中的粗蛋白含量在前期下降但并不显著, 因为蛋白在能量代谢中一般不是被优先消耗的物质^[39]; 而在超过48 h后快速降低, 表明此时鱼体储能物质已经严重不足。丁亚涛^[2]在其研究中表明, 在高密度保活的48 h内, 团头鲂肌肉中的乳酸含量逐渐上升, 并在24 h有最大值, 随后肌肉中的乳酸含量保持稳定, 这与本实验中测定乳酸含量的结果相似。李佩等^[40]在鱼袋中保活黑尾近红鲌(*Ancherythroculter nigrocauda*) 10 h, 观察到乳酸含量与时间成正比, 由初始的1.41 mmol/g prot升高至保活10 h时的2.89~3.07 mmol/g prot。鱼体应激后, 无氧呼吸作用增强, 导致乳酸含量增加。随后, 乳酸含量逐渐下降, 其原因可能主要与鱼体代谢降低、LDH对乳酸的分解有关^[30]。糖原是鱼类和动物的糖贮存库, 也可看作体内能源库。在保活中鱼体受到持续应激, 因此鱼体内糖原含量逐渐降低。

ATP及其关联产物 0~12 h内, 肌肉中ATP含量有所下降, 鱼的代谢活动增强消耗了部分ATP以适应保活环境。24~36 h, 鱼体处于稳定状态, ATP含量增加。48~72 h内, 肌肉中ATP的浓度出现波动, 这可能是由于在保活后期, 营养成分逐渐减少, 肌肉中能量代谢不足以弥补消耗的ATP。ADP与ATP的变化相关联, 0~24 h与48~72 h内ADP的含量高于ATP, 说明肌肉消耗大量ATP作为能量来源。而24~36 h内由于应激强度减缓, ATP与ADP的浓度相对平衡^[30]。AMP和IMP是呈鲜味物质^[1]。有研究表明, 不同鱼类中ATP及其代谢关联产物的含量一般以IMP最高, 其含量范围为485.10~632.30 mg/100 g^[41-42]。在运输的后期, ADP的增加促使AMP增加, 进一步导致48 h后AMP与IMP在肌肉中的积累^[43]。HxR与Hx均会使鱼肉呈苦味^[44]。过长的保活时间会使肌肉中的HxR和Hx逐渐积累, 降低肌肉的滋味品质^[5]。K值随保活时间延长而整体呈现增加的趋势, 说明在持续应激作用下鱼肉的新鲜度下降。

细胞结构 Peng等^[34]的研究表明, 随着运输时间的延长, 团头鲂的肌肉细胞间隙逐渐增大、肌纤维结构被破坏, 这与本实验结果一致。应激作用下产生ROS对肌肉纤维具有重要的影响, 表现在ROS会扰乱肌肉中的钙离子吸收, 导致肌动蛋白-肌球蛋白之间相互作用, 使肌纤维的直径

减小、肌原纤维断裂^[45]。另外一方面, ROS的氧化产物MDA会诱导细胞膜发生脂质过氧化, 破坏细胞膜的功能和形态, 引起细胞破裂和组织损伤, 最终使细胞发生凋亡或自噬^[46]。

综上所述, 采用鱼袋保活运输团头鲂, 适宜的条件为环境温度10℃, 鱼水质量比1:3和曝气自来水作为运输中的使用水。保活过程中, 鱼产生应激反应, 能量物质(糖原和蛋白质)逐渐被消耗, 肌肉品质下降(白度、剪切力、滴水损失、K值等)。采用鱼袋运输团头鲂, 可以实现活鱼的电商物流, 进一步完善我国水产品物流体系。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 彭玲, 尤娟, 熊光权, 等. 物流运输对鱼类肌肉品质影响研究进展 [J]. 肉类研究, 2021, 35(12): 54-63.
Peng L, You J, Xiong G Q, et al. Progress in research on the effects of logistics and transportation on the quality of fish muscle[J]. Meat Research, 2021, 35(12): 54-63 (in Chinese).
- [2] 丁亚涛. 鲮鱼保活运输技术的研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
Ding Y T. Study on the keep-alive transportation technology for bream[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [3] Tabart J, Kevers C, Pincemail J, et al. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests[J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 1226-1233.
- [4] Zhang T H, Zhang L Z, Yin T, et al. Recent understanding of stress response on muscle quality of fish: from the perspective of industrial chain[J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 140: 104145.
- [5] 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).
- [6] Becker A G, Parodi T V, Heldwein C G, et al. Transportation of silver catfish, *Rhamdia quelen*, in water with eugenol and the essential oil of *Lippia alba*[J]. Fish

- Physiology and Biochemistry*, 2012, 38(3): 789-796.
- [7] Peng L, Zhang L Z, Xiong S B, *et al.* A comprehensive review of the mechanisms on fish stress affecting muscle qualities: nutrition, physical properties, and flavor[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2024, 23(3): e13336.
- [8] 常成, 陈艺焯, 曹菲薇, 等. 食物提供充足营养时 3 种常见饮水对斑马鱼幼鱼抗氧化能力的影响 [J]. *中国食品学报*, 2020, 20(12): 103-113.
- Chang C, Chen Y X, Cao F W, *et al.* Effects of three popular drinking water on antioxidant capacity of juvenile zebrafish (*Danio rerio*) in the condition of adequate nutrition from food[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(12): 103-113 (in Chinese).
- [9] 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 X, *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 (in Chinese).
- [10] 王锦绣, 王炬光, 李伟, 等. 运输密度和时间对大口黑鲈幼鱼生理生化和肝肠结构的影响 [J]. *广东海洋大学学报*, 2023, 43(4): 93-102.
- Wang J X, Wang J G, Li W, *et al.* Effects of transportation density and duration on the physiological and biochemical indicators, liver and intestine structure of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2023, 43(4): 93-102 (in Chinese).
- [11] Guan W L, Nong W Q, Wei X B, *et al.* Impacts of a novel live shrimp (*Litopenaeus vannamei*) water-free transportation strategy on flesh quality: insights through stress response and oxidation in lipids and proteins[J]. *Aquaculture*, 2021, 533: 736168.
- [12] 丁亚涛, 杨丰, 王林林, 等. 丁香油在鳊模拟保活运输中的效果 [J]. *水生生物学报*, 2020, 44(2): 407-414.
- Ding Y T, Yang F, Wang L L, *et al.* Study of the effect of clove oil on the simulated transport of live bream[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, 44(2): 407-414 (in Chinese).
- [13] Liu Y, Zhou X W, Ding H T, *et al.* Effects of tricaine methanesulfonate (MS-222) on sedation and responses of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) subjected to simulated transportation stress[J]. *Aquaculture*, 2022, 549: 737789.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, State Food and Drug Administration. National food safety standards determination of protein in foods: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC. National food safety standards determination of ash in foods: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [16] Subbaiah K, Majumdar R K, Choudhury J, *et al.* Protein degradation and instrumental textural changes in fresh Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) during frozen storage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 2206-2214.
- [17] 陈周, 胡杨, 安玥琦, 等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用 [J]. *水产学报*, 2020, 44(7): 1198-1210.
- Chen Z, Hu Y, An Y Q, *et al.* Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) cultured in a pond[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(7): 1198-1210 (in Chinese).
- [18] 杜凤霞, 马春颖, 赵楠, 等. 低温贮藏过程中海鲈鱼片 ATP 及相关物质的降解规律 [J]. *包装与食品机械*, 2020, 38(6): 17-22.
- Du F X, Ma C Y, Zhao N, *et al.* Degradation of atp-related compounds of weever filets during low temperature storage[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2020, 38(6): 17-22 (in Chinese).
- [19] 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 temper-

- ature 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 (in Chinese).
- [20] 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 (in Chinese).
- [21] 周文, 白婵, 王炬光, 等. 无水保活运输温度对史氏鲟氧化应激的影响 [J]. *肉类研究*, 2021, 35(7): 32-37.
Zhou W, Bai C, Wang J G, *et al.* Effects of different temperatures during waterless live transportation on oxidative stress in Amur sturgeon (*Acipenser schrencki*)[J]. *Meat Research*, 2021, 35(7): 32-37 (in Chinese).
- [22] 王焱纬. 低氧、养殖密度对团头鲂生理生化指标和组织结构的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
Wang Y W. Effects of hypoxia and culture density on physiological and biochemical indexes and tissue structure of *Megalobrama amblycephala*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [23] 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 (in Chinese).
- [24] 彭玲, 尤娟, 汪兰, 等. 运输密度对团头鲂肌肉特性的影响 [J]. *淡水渔业*, 2023, 53(2): 77-83.
Peng L, You J, Wang L, *et al.* Effects of transportation density on muscle characteristics of blunt snout bream[J]. *Freshwater Fisheries*, 2023, 53(2): 77-83 (in Chinese).
- [25] 陈敏. 皮质醇拮抗剂挽救高温诱导 XX 遗传型黄颡鱼雄性化的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
Chen M. Cortisol antagonists rescue high temperature-induced masculinization of XX genotypic female in yellow catfish (*Tachysurus fulvidraco*)[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023 (in Chinese).
- [26] 张亮子, 黄泽南, 尤娟, 等. 鱼类运输应激反应及其对存活率影响研究进展 [J]. *广东海洋大学学报*, 2024, 44(2): 24-31.
Zhang L Z, Huang Z N, You J, *et al.* Research progress in stresses and survival rate of aquatic products during live transportation[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2024, 44(2): 24-31 (in Chinese).
- [27] 张亮子, 黄泽南, 尤娟, 等. 保活运输应激对水产动物肌肉品质影响的研究进展 [J]. *广东海洋大学学报*, 2024, 44(1): 35-43.
Zhang L Z, Huang Z N, You J, *et al.* Research progress on the stress affecting muscle quality of aquatic animals during live transportation[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2024, 44(1): 35-43 (in Chinese).
- [28] 吴炜俊, 梁喜丽, 陈伟澎, 等. 罗勒精油对运前暂养珍珠龙胆石斑鱼应激缓解作用 [J]. *广东海洋大学学报*, 2023, 43(2): 43-50.
Wu W J, Liang X L, Chen W P, *et al.* Stress-relieving effect of basil essential oil on temporarily cultured pearl gentian grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*♀×*E. lanceolatus*♂) before transportation[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2023, 43(2): 43-50 (in Chinese).
- [29] Yang S S, Zhao T T, Ma A J, *et al.* Metabolic responses in *Scophthalmus maximus* kidney subjected to thermal stress[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 103: 37-46.
- [30] 彭玲, 尤娟, 汪兰, 等. 保活运输过程中武昌鱼肌肉品质的变化 [J]. *肉类研究*, 2022, 36(6): 42-47.
Peng L, You J, Wang L, *et al.* Changes in muscle quality of Wuchang bream during live transportation[J]. *Meat Research*, 2022, 36(6): 42-47 (in Chinese).
- [31] 梁晓龙. PSE 条件下肌浆蛋白对肌原纤维蛋白及肌纤维维持水性影响机制的研究 [D]. 武汉: 中南民族大学, 2022.
Liang X L. The effect of sarcoplasmic protein on myofibrillar protein and water holding capacity of myofibrils under PSE condition[D]. Wuhan: South-Central Minzu University, 2022 (in Chinese).
- [32] 何静怡, 魏涯, 岑剑伟, 等. 活鱼长途运输关键技术及多组学技术在运输应激评价的研究进展 [J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(16): 305-313.
He J Y, Wei Y, Cen J W, *et al.* Research progress of key technologies for long-distance transportation of live fish and multi-omics technologies in transportation stress assessment[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(16): 305-313 (in Chinese).

- [33] Wang W S, Zhang Y J, 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.
- [34] Peng L, You J, Wang L, *et al.* Insight into the mechanism on texture change of Wuchang bream muscle during live transportation using a UPLC-QTOF-MS based metabolomics method[J]. *Food Chemistry*, 2023, 398: 133796.
- [35] Lonergan E H, Zhang W G, Lonergan S M. Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization[J]. *Meat Science*, 2010, 86(1): 184-195.
- [36] Mora D A, Hamada Y, Okamoto A, *et al.* Characteristics of burnt meat in cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata*[J]. *Fisheries Science*, 2007, 73(3): 651-659.
- [37] Refaey M M, Tian X, Tang R, *et al.* Changes in physiological responses, muscular composition and flesh quality of channel catfish *Ictalurus punctatus* suffering from transport stress[J]. *Aquaculture*, 2017, 478: 9-15.
- [38] Refaey M M, Li D P, Tian X, *et al.* High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*[J]. *Aquaculture*, 2018, 492: 73-81.
- [39] Song L Y, Zhao Y, Song Y D, *et al.* Effects of saline-alkaline water on growth performance, nutritional processing, and immunity in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 544: 737036.
- [40] 李佩, 陈见, 余登航, 等. 运输密度和时间对黑尾近红鮰皮质醇、乳酸、糖元含量的影响 [J]. *水生生物学报*, 2020, 44(2): 415-422.
- [41] Li P, Chen J, Yu D H, *et al.* Effects of transportation density and time on cortisol, lactate and glycogen of *Ancherythroculter nigrocauda*[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2020, 44(2): 415-422 (in Chinese).
- [42] 苏欣, 黄春红, 曹菊花. 淡水鱼鱼肉风味物质及其影响因素研究进展 [J]. *肉类研究*, 2018, 32(8): 64-68.
- [43] Su X, Huang C H, Cao J H. Review of flavor substances in freshwater fish and factors influencing them[J]. *Meat Research*, 2018, 32(8): 64-68 (in Chinese).
- [44] Peng L, You J, Wang L, *et al.* Effect of respite time before live transportation on muscle quality of blunt snout (Wuchang) bream[J]. *Foods*, 2022, 11(15): 2254.
- [45] 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.
- [46] 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).
- [47] 吴波, 谢晶. 溶解氧水平和振动对有水活运过程中石斑鱼氧化应激的影响 [J]. *食品与机械*, 2019, 35(8): 137-142,182.
- [48] Wu B, Xie J. Effects of the dissolved oxygen level and the vibration on oxidative stress of grouper during water transport[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(8): 137-142,182 (in Chinese).
- [49] Yu E M, Fu B, Wang G J, *et al.* Proteomic and metabolomic basis for improved textural quality in crisp grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* C. et V) fed with a natural dietary pro-oxidant[J]. *Food Chemistry*, 2020, 325: 126906.
- [50] Sierra V, Olivan M. Role of mitochondria on muscle cell death and meat tenderization[J]. *Recent Patents on Endocrine, Metabolic & Immune Drug Discovery*, 2013, 7(2): 120-129.

Changes in survival rate and muscle quality of *Megalobrama amblycephala* in fish bags during the process of keeping-alive

YANG Han^{1,2}, ZHANG Tonghao^{1,2}, YONGSAWADIGUL Jirawat³, YIN Tao^{1,2*},
YOU Juan^{1,2}, LIU Ru^{1,2}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing,

Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. School of Food Technology, Institute of Agricultural Technology,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand)

Abstract: With the development of aquatic logistics industry, China has now formed a live fish transportation system mainly based on high-density live transportation, supplemented by single fish transportation through plastic fish bag filled with oxygenated water. Although keeping-alive with fish bags has the advantages of shortening the transportation intermediate link, improving the survival rate of fish, and promoting the sales of local specialty fish, there is relatively little research on stress response and muscle quality changes in live fish transported with fish bags, which greatly limits the development of this transportation method. In order to promote the development of live fish transportation industry, this study adopts the fish bag to preserve the survival of the blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*). Firstly, the influence of survival conditions (temperature, fish-water ratio, and water source) on the survival rate was studied, and the optimal survival conditions were determined; then, the changes in blood stress indicators and muscle quality of fish during the keeping-alive process were studied under the optimal conditions. The results showed that when the transportation environment temperature was 10 °C, the fish to water mass ratio was 1:3, and the water source was aerated tap water, the fish survival rate was the highest. The survival rates were 90% and 70% at 36 and 48 hours of keeping-alive process, respectively. During the keeping-alive process, the stress indicators in the blood of the bream showed a fluctuating trend. However, overall, the content of cortisol (COR), urea (URA), and malondialdehyde (MDA) increased first and then decreased; the content of lactate dehydrogenase (LDH) first decreased and then increased; the content of superoxide dismutase (SOD) gradually decreased; the content of catalase (CAT), aspartate transferase (AST), and creatinine (CR) gradually increased. In terms of muscle quality, physical indicators such as whiteness value, shear force, and drip loss show an overall trend of first increasing and then decreasing, which was consistent with the formation of pale, soft and exudative (PSE) meat after stress. Compared with 0 hour, the crude protein, lactate, and glycogen content decreased by 19.0%, 27.2%, and 50.0% respectively after 72 hours of keeping-alive process; The nucleotide compounds of freshness (ADP, AMP, IMP) and bitterness (HxR, Hx), as well as the freshness value *K*, showed an overall increasing trend; the gap between muscle fibers gradually increased with the prolongation of survival time. This study has shown that during the keeping-alive process, fish are subjected to sustained stress, and the intensity of single stress may gradually weaken. The main reason for the deterioration of fish muscle quality may be related to physiological processes such as energy metabolism disorders. This study can provide a theoretical basis for the e-commerce logistics of fish by fish bags. However, further research is needed on how to effectively alleviate the stress response of fish during the transportation, thereby improving survival rate and muscle quality.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; muscle quality; survival rate; stress; live transportation

Corresponding author: YIN Tao. E-mail: yintao@mail.hzau.edu.cn

Funding projects: Modern Agricultural Industry Technology System (CARS-45)