

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20240305002

http://www.yykxjz.cn/

刘思炜, 钟家美, 范秀萍, 秦小明, 沈建. 电晕休眠对卵形鲳鲹的生理应激和保活运输中主要营养成分的影响. 渔业科学进展, 2025, 46(1): 210-221

LIU S W, ZHONG J M, FAN X P, QIN X M, SHEN J. The effect of corona dormancy on the physiological stress and main nutritional components in the transport of *Trachinotus ovatus* during survival. Progress in Fishery Sciences, 2025, 46(1): 210-221

# 电晕休眠对卵形鲳鲹的生理应激和保活运输中 主要营养成分的影响\*

刘思炜<sup>1</sup> 钟家美<sup>1</sup> 范秀萍<sup>1,2</sup> 秦小明<sup>1,2①</sup> 沈建<sup>3</sup> 徐文其<sup>3</sup>

(1. 广东海洋大学食品科技学院 广东省水产品加工与安全重点实验室 广东省海洋食品工程技术研究中心 水产品深加工  
广东普通高等学校重点实验室 广东 湛江 524088; 2. 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心  
大连工业大学 辽宁 大连 116034; 3. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所 上海 200092)

**摘要** 探究电晕休眠对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)的生理应激指标的影响以及在保活运输过程中主要营养成分的变化, 研发绿色、安全、高效的水产品保活运输诱导休眠新技术。采用脉冲直流电对卵形鲳鲹进行电击, 以休眠率、休眠时间和72 h存活率作为评价指标, 优化脉冲直流电晕休眠的最佳处理条件, 并测定其血清、脑组织、肌肉和肝脏生化、氧化应激及代谢指标。结果显示, 在20℃水温, 140 V电压、4 s处理时间的条件下, 鱼体休眠率与保活72 h存活率达可达100%, 保活时间为(165.6±42.7) h。经电晕休眠处理后, 鱼血清中谷草转氨酶(GOT)活性、葡萄糖(GLU)和皮质醇(COR)含量显著升高, 在保活4~12 h内恢复正常水平; 肝脏、脑组织中的热休克蛋白70 (Hsp70)含量与谷胱甘肽巯基转移酶(GST-S)活性, 肝脏中过氧化氢酶(CAT)活性以及肝脏、肌肉乳酸(LD)含量显著提高, 脑组织丙二醛(MDA)含量在保活4~72 h内显著低于对照组水平, 肝糖原(GLY)含量整体呈下降趋势; 鱼肉中粗灰分、粗蛋白和粗脂肪在保活过程中整体呈下降趋势, 其中, 粗脂肪含量下降幅度最大, 且与对照组相比, 实验组下降占比减少。研究表明, 适宜条件的脉冲直流电能诱导卵形鲳鲹休眠, 提高Hsp70的释放和抗氧化酶的活性以减缓保活胁迫下鱼体应激响应, 减少组织的损伤, 且保活后鱼体能维持较低的代谢水平, 可提升保活运输过程中的效率与品质。

**关键词** 卵形鲳鲹; 电晕休眠; 基本营养成分; 氧化应激

**中图分类号** TS254 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2025)01-0210-12

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)又称金鲳鱼, 属于硬骨鱼纲(Osteichthyes)、鲈形目(Perciformes)、鲳科(Carangidae)、鲳属(*Trachinotus*) (区又君等, 2017), 分布在我国东海、南海、黄渤海等热带及亚热带海

域, 是我国现代化和集约化程度最高的海水养殖鱼类, 也是拓展深远海养殖空间的首选品种, 发展潜力巨大(韩丽娜等, 2016)。卵形鲳鲹无肌间刺、肉质细嫩、味道鲜美并富含蛋白质, 亚油酸、DHA等多种

\*“十三五”国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2019YFD0901601)、广东省基础与应用基础研究基金(2021A1515110621)、湛江市科技计划(2021E05017)、广东海洋大学科研启动经费(060302042101)和现代农业产业技术体系专项(CARS-49)共同资助。刘思炜, Email: 13393844889@163.com

①通信作者: 秦小明, 教授, Email: xiaoming0502@21cn.com

收稿日期: 2024-03-05, 收修改稿日期: 2024-04-03

不饱和脂肪酸含量丰富,一定程度上可预防和治疗各种心脑血管疾病(戴梓茹等, 2013)。卵形鲳鲅是一种喜温的杂食性洄游型鱼类,昼夜不停游动,耗氧量高、代谢旺盛,捕捞会产生强烈的应激,在低温环境( $<13\text{ }^{\circ}\text{C}$ )下易导致死亡(熊添等, 2018),是其保活运输困难、活鱼在海鲜市场上难觅踪影的主要原因。

海水鱼类在保活运输过程中受多个胁迫因素的交互影响,如捕捞期间受到惊吓、保活运输时机器产生的震动与噪音、保活过程的水体质量恶化(总氨氮、二氧化碳、酸碱度等)、环境温度的波动等,都会导致鱼类产生强烈的应激,出现行为、生理、代谢等方面的紊乱,进而降低鱼体抗逆能力,影响其健康与品质(丁亚涛等, 2019)。为解决上述问题,保活运输过程中一般采用化学麻醉、物理休眠等方法来提高鱼类的存活率和保持良好的营养品质(Pirhonen *et al.*, 2003)。化学麻醉法存在药物残留风险,保活运输的鱼类有一定的休药期限制;物理休眠中,生态冰温诱导休眠方法应用较广,但处理前需进行低温驯化,耗时较长。电晕休眠是一种绿色安全、新型高效的物理休眠方式,拥有广阔的应用前景。Chakraborty 等(2022)研究发现,电晕休眠技术经济便捷且使用后无药物残留,适合将其代替化学麻醉剂用于水产养殖;Faust 等(2017)将电晕休眠成功运用在繁殖培育、注射疫苗、标志投放等鱼类外科操作上;Bouwsema 等(2022)研究得出,电击可以为鲑鱼(*Salmo salar*)幼鱼提供即时和持久的昏迷,适合进行人道扑杀或后续活运处理;凌长明等(2004)使用周期性电场刺激罗非鱼(*Oreochromis*)幼鱼,可以使存活率跨越式提高。

目前,在海水鱼的保活运输前处理技术中,大多采用化学麻醉和低温诱导休眠进行,而有关电晕休眠技术的研究较少,且国内外对电晕休眠卵形鲳鲅研究和应用未见报道。本研究以卵形鲳鲅为研究对象,采用脉冲直流电晕休眠方式,研究在不同电压、时间和温度条件下鱼体的各项生理生化、氧化应激指标,优化电晕的最佳条件,同时探讨卵形鲳鲅在保活运输过程中主要营养成分的变化规律,以期为其后续保活运输提供理论依据与技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

从广东省湛江市水产批发市场购买有活性、鳞片完整、体质量为 $(490\pm 30)\text{ g}$ 的鲜活卵形鲳鲅,并安置于暂养池,实验海水的盐度为 20~25,温度为 22~25  $^{\circ}\text{C}$ 。同时采用水体、空气循环系统不间断过滤

海水与充氧,保证水体的溶解氧 $>7\text{ mg/L}$ 。

葡萄糖(GLU)、谷草转氨酶(GOT)、谷胱甘肽巯基转移酶(GST)、丙二醛(MDA)、乳酸脱氢酶(LDH)、糖原(GLY)和乳酸(LD)检测试剂盒,南京建成生物工程研究所;过氧化氢酶(CAT)测定试剂盒,江苏省苏州格锐思生物科技有限公司;皮质醇(COR)测定试剂盒、热休克蛋白(HSP70)酶联免疫试剂盒,上海酶联生物科技有限公司。硫酸,分析纯,广州化学试剂公司;硫酸铜、硫酸钾,分析纯,上海国药化学试剂有限公司;石油醚,分析纯,罗恩化学试剂公司。

### 1.2 仪器与设备

YDMZ-Lab 型便携式鱼类电麻醉设备,输出电压 50~990 V,输出频率 1~120 Hz,输出功率 25~400 W,通电区域 1 000 $\times$ 400 mm 可调节,上海渔业机械研究所;ATY 124 型电子天平,日本岛津公司;Varioskan Flash 全自动酶标仪、Forma370 恒温箱,美国 Thermo 公司;5810R 型高速台式冷冻离心机,美国 Eppendorf 公司;HH-S4 数显恒温水浴锅,朗博仪器制造有限公司。

### 1.3 实验方法

**1.3.1 行为学实验** 依据 Chatakondi 等(2019)的实验方法,电源采用标准脉冲直流电,电压区间设定在 120~200 V,每 20 V 为一个梯度,输出频率 30 Hz,占空比 25%,电击时间 6 s,每个梯度 3 尾鱼,每尾仅电击 1 次。卵形鲳鲅于温度 $(25\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、盐度 23 的水体中,鱼水比 1:20 的条件下暂养 6 h 后实验。实验时,往电击箱捞入 1 尾鱼并使其身体平行居于正负电极板间,电击时让电流以最大面积穿过鱼体,记录电晕休眠期间鱼体的行为表现、休眠率、休眠时间、72 h 存活率以及保活时间(张坤等, 2022; 杜欢等, 2022; Rous *et al.*, 2015)。

**1.3.2 指标判定** 电击阶段:参考 Henyey 等(2002)对短鼻鲟鱼(*Shortnose sturgeon*)电晕休眠效应的描述,将卵形鲳鲅在电击阶段的行为表现分为  $A_0$ (电刺激)与  $A_1$ (电麻痹) 2 个时期。

完全休眠阶段:依据冯广朋等(2011)对西伯利亚鲟幼鱼(*Acipenser baerii*)电晕休眠后不同状态阶段进行归类,当鱼体僵直,鳃盖停止张合,对外界刺激无反应时,认定进入完全休眠阶段,该时期为  $R_0$ (休眠状态)。

复苏阶段:参考白贞等(2022)对珍珠龙胆石斑鱼(*Epinephelus fuscoguttatus*  $\text{♀}$   $\times$  *E. lanceolatus*  $\text{♂}$ )电晕休眠效应的描述,将其结束通电进入暂养环境后复苏至

可以独立自主正常游动,并对会对外部刺激产生条件反射能力的复苏行为划分为5个不同阶段,即 $R_0$ (休眠状态)、 $R_1$ (不完全复苏)、 $R_2$ (轻度复苏)、 $R_3$ (有跳跃行为)和 $R_4$ (正常期),而这段时间称为复苏时间。

(4)休眠率:经首次电击后,取达到 $R_0$ 时期的实验鱼统计休眠率,按公式(1)计算。

$$A = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $A$ 表示休眠率(%); $n$ 表示进入 $R_0$ 时期的数量(尾); $N$ 表示每组实验总数(尾)。

**1.3.3 不同电压下电晕休眠对卵形鲳鲈的休眠效应实验** 实验时间为2023年4月,采用单因素实验设计,分别选择120、130、140、150、160、180和200 V电压,在20℃水温下对卵形鲳鲈电击6 s,取未电击组作为对照组,标记为0 V。实验共8组,每组8尾鱼,记录不同实验组休眠率、复苏时间、72 h存活率及保活时间。

**1.3.4 不同电击电压、电击时间和电击温度对卵形鲳鲈的休眠效应实验** 实验时间为2023年6月。根据单因素实验结果筛选出对卵形鲳鲈保活时间影响较大的3个因素分别为电击电压、电击时间和电击温度,采用 $L_9(3^4)$ 设计表设计三因素三水平正交实验。实验共9组,每组6尾鱼,以复苏时间和保活时间为指标,正交实验设计方案见表1。

表1 正交实验设计

Tab.1 Design table of orthogonal test

组别 Group	电击电压 Shock voltage/V	电击时间 Shock time/s	电击温度 Shock temperature/℃
1	130	4	18
2	130	6	22
3	130	8	20
4	140	4	22
5	140	6	20
6	140	8	18
7	150	4	20
8	150	6	18
9	150	8	22

## 1.4 电晕休眠对卵形鲳鲈理化指标的影响

**1.4.1 卵形鲳鲈血清及组织处理** 将卵形鲳鲈分为7组,每组6尾鱼,按1.3.1条件暂养后,以2℃/h梯度将水温降至20℃,在电压140 V、时间4 s条件下电击,取仅暂养6 h的对照组为第1组,电晕休眠

后立即取样的休眠组为第2组;第3~7组为电晕休眠处理后至完全复苏状态并在20℃下进行保活,根据时间标记为保活0、4、12、24和72 h组。

参照黄湘涓等(2022)的方法,在每个采样节点捕捞3尾卵形鲳鲈,使用一次性医用注射器收集鱼尾静脉血,迅速注入不添加抗凝剂采血管中,每尾鱼仅进行一次操作。静置120 min后,将离心机提前预冷并设置为3 500 r/min,全血离心20 min,分装上清液,保存于4℃待测。同时在碎冰上取脑组织、背肌肉及肝脏,在预冷的生理盐水中洗净血迹并吸干水分,后用液氮急冻放入-80℃冰箱待测。

**1.4.2 指标测定** 血清中GOT和LDH活性,GLU和COR含量,脑组织与肝脏中的CAT和GST-S活性,MDA和Hsp70含量,肝脏与肌肉中的LD和GLY含量均采用试剂盒测定。

**1.4.3 基本营养成分的测定** 水分含量:参考GB 5009.3-2016第一法(直接干燥法)测定;

粗灰分含量:参考GB 5009.4-2016第一法(灼烧法)测定;

粗蛋白含量:参考GB 5009.5-2016采用凯氏定氮法测定;

粗脂肪含量:参考GB 5009.6-2016索氏抽提法测定。

**1.4.4 数据处理** 所有测定数据通过Microsoft Excel 2021、SPSS 26.0和Origin 2017软件进行统计学分析与图像的生成,以平均值±标准差(Mean±SD)呈现结果。正交实验数据采用Excel软件计算,并采用SPSS进行方差分析,单因素实验数据及理化指标检测数据采用单因素方差检验(one-way ANOVA),结合Duncan分析差异显著性并进行多重比较,用 $P < 0.05$ 表示组间差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 电晕休眠时卵形鲳鲈的行为特征

按照西伯利亚鲟鱼(冯广朋等,2011)、圆口铜鱼(*Coreius guichenoti*)(朱挺兵等,2015)、珍珠龙胆石斑鱼(白贞等,2022)的电晕休眠以及复苏的标准进行判定,以此为依据对卵形鲳鲈的表形和生物特征做出相应的修改,具体见表2。鱼死亡通过触碰鱼尾部时无应激或鱼眼发白,无光反射与心跳判定。

电击开始,鱼鳍直立,鱼体窜动后出现飘荡状下沉的情况,根据个体的差异呈现出鱼嘴紧闭或张圆的

表 2 卵形鲳鲹在不同休眠和复苏阶段的行为表现  
Tab.2 Behavior of *T. ovatus* at different stages of dormancy and resuscitation

阶段 Phase	分期描述 Stage description	行为特征 Behavioral characteristics
电击阶段 Shock phase	A <sub>0</sub> (电刺激期)	随着电击开始, 鱼体窜动, 根据个体的不同存在鱼嘴紧闭以及张圆的状态。电击停止, 鱼体应激快速游动跳跃, 未出现肌肉痉挛以及失衡现象。
	A <sub>1</sub> (电麻痹期)	随着电击开始, 鱼体窜动, 根据个体的不同存在鱼嘴紧闭以及张圆的状态。电击停止, 身体僵化, 伴随痉挛, 并出现失衡现象。
复苏阶段 Resuscitation phase	R <sub>0</sub> (鳃动停止期)	完全失去平衡, 对触觉无反应, 鱼鳍不动, 鱼尾也不动, 视觉无反应, 鳃盖张合困难。
	R <sub>1</sub> (完全麻醉期)	游动活力弱, 对外界的感应能力降低, 平衡困难, 鱼身侧平, 无活动能力, 鳃开始微动。
	R <sub>2</sub> (完全失去平衡期)	呼吸正常, 在水中不着方向的游动, 没有恢复平衡, 有侧翻倒立的现象, 个别存在浮头缺氧的情况。
	R <sub>3</sub> (部分失去平衡期)	逐渐恢复平衡, 仰头上游, 上下来回窜头, 可以成圈缓慢游动。
	R <sub>4</sub> (正常期)	行为完全恢复正常。

状态。电击停止后的 15~20 s 内, 鱼体痉挛僵化, 并出现失衡现象, 对外界触碰无反应, 鱼鳍、尾不动, 鳃盖张合停止, 伴随鱼体颜色变浅, 趋于发白。在电压处于 140~200 V 时, 实验鱼在通电过程中均表现出 A<sub>1</sub> 时期特征。进入 R<sub>0</sub> 时期, 鱼鳃盖张合困难, 鱼身肌肉僵硬, 侧倒于池底, 对外界触碰无任何行为反应。随着时间延长, 鳃动呼吸频率加快, 幅度提升, 侧、尾鳍逐渐摆动, 开始对外部刺激产生反应。在复苏阶段, 鳃盖张合频率正常, 手动扳倒鱼身后可以自行恢复直立, 并与正常鱼一般沿暂养桶边缘不停游动, 一些甚至存在倒立、倒游的现象。R<sub>4</sub> 时期, 鱼在无外界影响的条件下行为与暂养阶段差别极小, 但活力不及对照组, 对于抓取、缺氧、取血等外部因素胁迫

迫呈现出更小的应激。

## 2.2 不同电压对卵形鲳鲹休眠后的复苏时间、存活时间及存活率的影响

由表 3 可知, 复苏时间与电压数值成正相关。当电击电压为 120 V 时, 休眠率为 87.5%, 即部分鱼无法完全进入休眠状态。电压大于 160 V 时, 实验鱼 72 h 存活率开始下降, 其原因可能是过高的电压导致鱼脏器与脊椎的损伤(Veit *et al*, 2017), 造成鱼体的生理紊乱(Nabanita *et al*, 2022)。当电压设置为 200 V 时, 休眠时间显著提升, 相较于 180 V 组提高了 274.3%。

根据单因素实验结果, 在休眠率为 100% 基础上, 选出较为合适的 3 组电压条件分别为 130 V、140 V、

表 3 单因素实验结果设计表  
Tab.3 One-factor test results design table

电击条件 Electric shock conditions	复苏时间 Recovery time/s	休眠率 Anesthesia rate/%	行为特征 Behavioral characteristics	72 h 存活率 72 h survival rate/%	保活时间 Keep alive /h
对照组 Control group	—	0.00±0.00 <sup>c</sup>	—	62.50±51.75 <sup>a</sup>	89.25±29.78 <sup>c</sup>
120 V	226.40±128.59 <sup>c</sup>	87.50±35.36 <sup>b</sup>	A <sub>0</sub> ; A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub> ; R <sub>3</sub>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	137.00±47.62 <sup>abc</sup>
130 V	302.00±53.70 <sup>c</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	156.00±48.60 <sup>abc</sup>
140 V	351.00±85.17 <sup>c</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	165.25±39.63 <sup>a</sup>
150 V	379.00±74.36 <sup>c</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	158.00±43.17 <sup>ab</sup>
160 V	768.60±215.38 <sup>b</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	127.50±54.14 <sup>abc</sup>
180 V	829.60±405.81 <sup>b</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub>	75.00±46.29 <sup>a</sup>	110.50±33.23 <sup>abc</sup>
200 V	3 105.00±538.39 <sup>a</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>	A <sub>1</sub> ; R <sub>0</sub>	62.50±51.75 <sup>a</sup>	94.00±24.99 <sup>bc</sup>

注: 同一列数据上标不同字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ ), 相同则代表无显著性差异。下同。

Note: Different superscripts of the same column of data indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), and the same superscript indicates no significant differences. The same below.

150 V 进入正交实验。

### 2.3 正交实验结果分析

从表 4 正交实验结果可得,影响保活时间因素主次顺序为电击时间>温度>电压,卵形鲳鲹的最佳电击参数为  $A_2B_1C_2$ ,即电击条件为电压 140 V、电击时间 4 s、电击温度 20 °C 时,保活时间最长,以此条件进行验证实验确定最佳电击条件。

表 4 正交实验结果设计表  
Tab.4 Design table of orthogonal test results

编号 Number	因素 Factors			保活时间 Keep alive/h
	电压 Voltage	时间 Time	温度 Temperature	
1	1	1	1	100.75±18.21 <sup>abc</sup>
2	1	2	3	84.00±1.15 <sup>bc</sup>
3	1	3	2	83.25±2.63 <sup>bc</sup>
4	2	1	3	97.13±20.89 <sup>bc</sup>
5	2	2	2	122.25±30.20 <sup>a</sup>
6	2	3	1	82.75±2.63 <sup>bc</sup>
7	3	1	2	102.63±17.65 <sup>ab</sup>
8	3	2	1	81.75±1.50 <sup>bc</sup>
9	3	3	3	77.50±2.89 <sup>c</sup>
$k_1$	89.33	100.17	88.42	
$k_2$	100.71	96.00	102.71	
$k_3$	87.29	81.17	86.21	
$R$	13.41	19.00	16.5	

注:  $k_1$  为因素对应标号 1 求和的平均数,  $k_2$  为因素对应标号 2 求和的平均数,  $k_3$  为因素对应标号 3 求和的平均数,  $R$  为对应的每列  $k$  值的最大值减去最小值,其数值大小代表了对应因素对结果的影响程度。

Note:  $k_1$  is the average of the summation of factor corresponding label 1,  $k_2$  is the average of the summation of factor corresponding label 2,  $k_3$  is the average of the summation of factor corresponding label 3, and  $R$  is the maximum value minus the minimum value of the corresponding  $k$  value of each column. Its value represents the influence of the corresponding factor on the result.

根据验证实验结果以及复保活时间判定标准,在  $A_2B_1C_2$  即电压 140 V、时间 4 s、温度 20 °C 的条件下,鱼体复苏时间为(266.6±22.8) s,保活时间为(165.6±42.7) h,72 h 存活率可达 100%,符合最佳条件要求。

### 2.4 电晕休眠对卵形鲳鲹血清生化指标的影响

血糖(GLU)是反映鱼体应激程度的指标之一。鱼体在受到电刺激后生命活动变得剧烈,肝脏在下丘脑—垂体—肾间组织轴(HPI)的应激机制中进行糖异生反应,进一步提升血糖含量,并加快机体对血糖的消

耗来对抗胁迫(Liu *et al*, 2017; Barton *et al*, 1991; Pilinkovskij *et al*, 2017; Sattari *et al*, 2009)。同时,大量皮质醇 COR 会在鱼体受到外部胁迫因素时大量释放(De *et al*, 2019),是应激反应的评估指标。当鱼类受到刺激后,HPI 轴会迅速调节,通过垂体释放促肾上腺皮质激素,促进肾上腺分泌与合成皮质醇激素(Wang *et al*, 2021)。

如图 1 所示,卵形鲳鲹经电晕休眠后,GLU 和 COR 含量显著提高( $P<0.05$ ),在保活过程中呈先上升后下降的趋势,二者在保活 0 h 升至最高,较对照组分别增长 25.1%与 25.6%( $P<0.05$ ),在保活 4 h 后,COR 和 GLU 均恢复至与对照组差异不显著水平,这与白贞等(2022)研究电晕休眠珍珠龙胆石斑鱼对应指标变化趋势结果一致,但与其 4 h 到达最大值相比,卵形鲳鲹应激指标回落速度更快,研究表明,技术会对鱼类造成电击胁迫并在短时间内会导致其应激增加,且卵形鲳鲹能更快速地调节电击所带来的应激影响。

谷草转氨酶(GOT)活性的变化是肝功能检查最常用的检测指标之一,而乳酸脱氢酶(LDH)广泛分布于多个器官中,其活性的变化能够反映机体内环境中组织器官受损的程度(Yong *et al*, 2012)。如图 2 所示,卵形鲳鲹经电晕休眠后 GOT 活性显著提升( $P<0.05$ ),保活 0 h 时血清中的 GOT 活性升至最高,较对照组显著增加 49.4% ( $P<0.05$ ),并于保活 12 h 后恢复至正常水平,在保活 72 h 时 GOT 活性再次上升且显著高于对照组( $P<0.05$ ),而 LDH 活性各组间无显著性差异,这与朱挺兵等(2015)研究电晕休眠对圆口铜鱼对应指标有着相似的变化趋势。实验表明,鱼体在受到电击胁迫后对肝脏造成了一定影响,导致其中的 GOT 释放到血清中,并且随着保活时间增加,鱼体受水体氨氮和饥饿的双重胁迫致肾脏受损,但电击对卵形鲳鲹心肌以及内环境的胁迫影响小,且过程可逆(Bouwsema *et al*, 2022)。

### 2.5 电晕休眠对卵形鲳鲹应激响应指标的影响

热休克蛋白 70 (Hsp70)是一种存在于组织中的修复性蛋白,可通过帮助新合成多肽键的生理叠展及纠正多肽链的错误折叠等途径,恢复细胞的功能结构,被称为“分子伴侣”,其能在鱼体应激时迅速合成,为此也作为鱼类的应激类指标(Fadilah *et al*, 2022; 周朝伟等, 2018)。谷胱甘肽巯基转移酶(GST-S)是体内生物转化最重要的 II 相之一的代谢酶,在生物体遭受胁迫时发挥抗氧化及解毒作用,在生物体的防御系统中至关重要(郭艳红等, 2023; 冯雪等, 2012)。

从图 3 可得,卵形鲳鲹在电晕休眠保活过程中肝

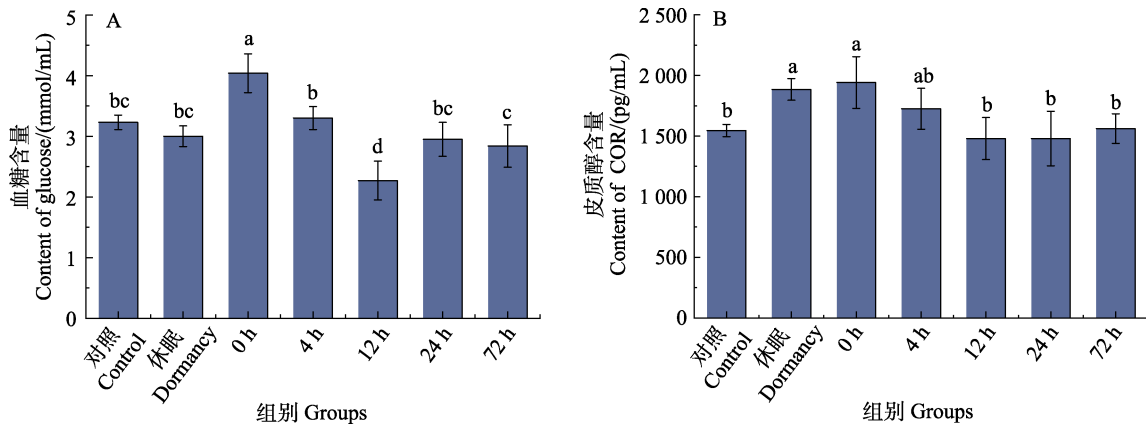


图 1 电晕休眠保活过程中卵形鲳鲈血清中的葡萄糖(A)与皮质醇(B)含量的变化

Fig.1 Changes in GLU (A) and GOR (B) contents in *T. ovatus* serum during the process of corona dormancy preservation

柱上不同英文字母表示各组间存在显著差异( $P<0.05$ ), 下同。

Different letters indicate significant difference among groups ( $P<0.05$ ), the same below.

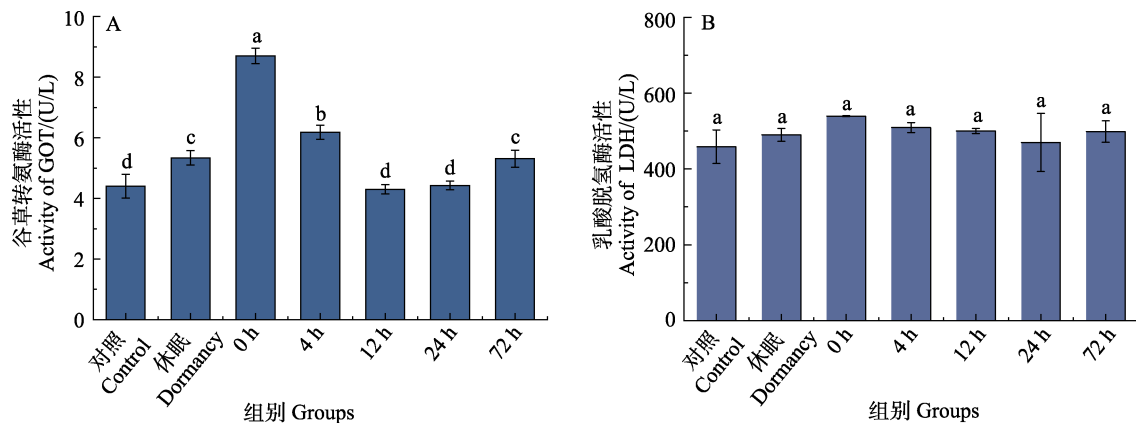


图 2 电晕休眠保活过程中卵形鲳鲈血清中的谷草转氨酶(A)与乳酸脱氢酶(B)活性的变化

Fig.2 Changes in GOT (A) and LDH (B) activity in *T. ovatus* serum during the process of corona dormancy preservation

脏与脑组织 Hsp70 以及 GST-S 释放量呈现先上升后下降的趋势, 在保活 0 h 时肝脏中的 Hsp70 含量和 GST-S 活性最高, 相较于对照组分别提升了 21.1% 和 59.2% ( $P<0.05$ )。脑组织中的 GST-S 与 Hsp70 分别在保活 0 与 4 h 时升至最高, 相较于对照组分别提升了 26.4% 和 15.2% ( $P<0.05$ ), 且二者整体水平在保活过程中含量均显著高于对照组( $P<0.05$ )。GST-S 活性与 Hsp70 含量的增加是机体的一种自我保护机制, 可以很大程度减少环境应激胁迫与短时间内对组织造成的伤害, 研究表明, 电击胁迫可能造成鱼体组织细胞氧化损伤, 机体迅速释放 Hsp70 和 GST-S 以提升其组织损伤修复与抗氧化能力, 同时, 电晕休眠能够提升鱼体对环境胁迫的耐受能力并减缓鱼体肝脏、脑部损伤程度(罗伟等, 2016; 管维良, 2021; 朱凌威等, 2021)。

丙二醛(MDA)含量是评价脂质过氧化的指标, 它会对细胞膜流动相造成影响, 而过氧化氢酶(CAT)可以防止细胞膜发生氧化损伤, 其活性大小可代表肝脏损伤程度。如下图 4 所示, 卵形鲳鲈在电晕休眠处理后大脑与肝脏组织中 MDA 含量变化为先升高后降低, 并分别在休眠期和保活 0 h 达最高水平( $P<0.05$ ); 肝脏中的 CAT 酶活性整体数值趋势与 MDA 相似, 并在保活 0 h 时活性升至最高, 较对照组上升 62.2% ( $P<0.05$ )。数据表明, 鱼体经电晕休眠处理后产生应激胁迫, 自由基氧化导致组织细胞脂质过氧化物(MDA)的产生, 同时激活了机体抗氧化系统使 CAT 酶活性上升(吴炜俊等, 2023; 方佳琪等, 2023)。而脑组织中 MDA 含量于保活 4 h 后显著低于对照组( $P<0.05$ ), 其原因可能是因为 CAT 清除卵形鲳鲈体内的过氧化氢, 降低了其毒害影响, 这与杜欢等(2022)、

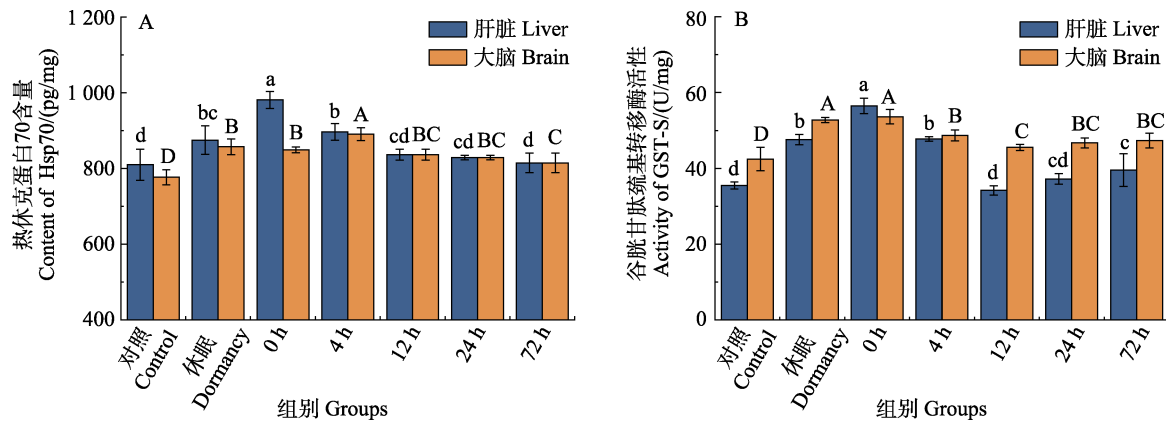


图3 电晕休眠保活过程中卵形鲳鲆肝、脑组织中的热休克蛋白70含量(A)与谷胱甘肽巯基转移酶(B)活性变化  
Fig.3 Changes in Hsp70 content (A) and GST-S activity (B) in *T. ovatus* liver and brain tissues during corona dormancy preservation process

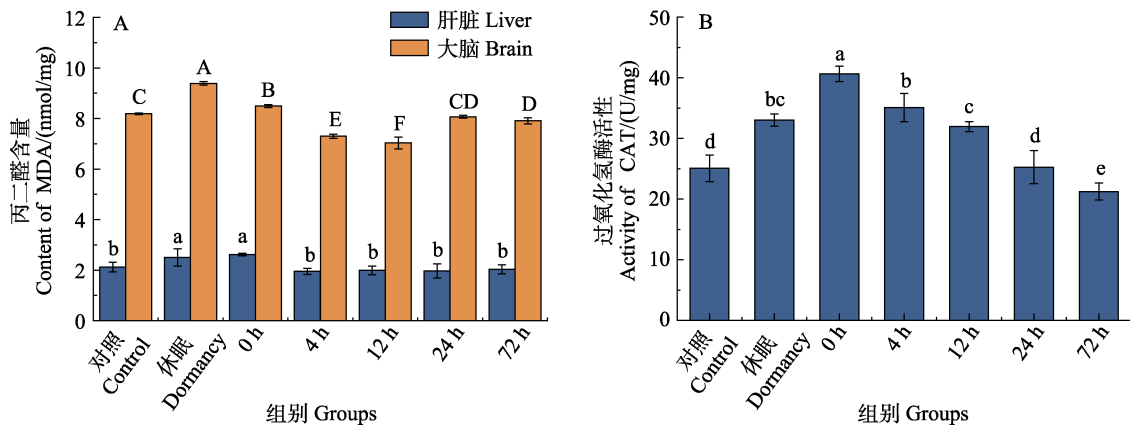


图4 电晕休眠保活过程中卵形鲳鲆肝、脑组织中的丙二醛含量(A)与肝组织中过氧化氢酶活性(B)的变化  
Fig.4 Changes in MDA content (A) in the liver and brain tissues and CAT activity (B) in *T. ovatus* liver tissues during corona dormancy preservation process

张坤等(2022)的研究结果一致。结果表明,技术可有效降低大脑中的脂质过氧化反应,且在长时间保活过程中减少肝脏中过氧化氢的累积,并激活抗氧化系统保护组织免受损伤(Fan *et al.*, 2019)。

## 2.6 电晕休眠有水保活对卵形鲳鲆能量物质及代谢产物相关生化指标的影响

糖原(GLY)、乳酸(LD)含量的变化可以反映机体对能量代谢物质的利用情况。如图5所示,卵形鲳鲆在保活中肝糖原含量整体呈先下降后上升的趋势。其中,保活4h时含量最低,较对照组少13.1% ( $P < 0.05$ ),且72h后仍显著低于对照组( $P < 0.05$ ),肌糖原在保活过程中变化不显著;肝、肌乳酸含量在保活过程中均呈现先升高后降低的趋势,其中,肝乳酸在保活0h升至最大值,比对照组多52.1% ( $P < 0.05$ ),随后在4h时回落至与对照组差异不显著水平( $P < 0.05$ ),肌乳酸在休眠期间达到最大值,较对照组高89.5%

( $P < 0.05$ ),并在保活72h时间段内持续显著高于对照组( $P < 0.05$ )。研究表明,在长时间的禁食保活过程中,实验鱼处于饥饿状态,葡萄糖无法及时满足其需要使得肝糖原分解,同时发生了无氧代谢产生乳酸,并且在保活期间相较于肝脏中乳酸含量变化,肌肉中乳酸堆积程度更为显著,但过程中具体的能量转化有待进一步研究。

## 2.7 电晕休眠对卵形鲳鲆保活过程中基本营养成分的影响

在运输过程中,鱼体可协调机体氧化应激响应,通过消耗机体有机物来抵抗应激,鱼肉中营养成分会随之受到影响。灰分含量是无机物成分总量的一项评测指标,脂肪参与机体组织细胞的构成,是提供能源的重要物质,蛋白质是多种食品营养素的重要载体。

由表5可知,对照组与实验组卵形鲳鲆鱼肉中粗灰分、水分含量在保活过程中变化不显著,而粗蛋白

和粗脂肪整体呈下降趋势; 与 0 h 相比, 对照组与实验组在保活 72 h 时粗蛋白含量分别显著下降 12.2% 和 8.3% ( $P<0.05$ ); 对照组粗脂肪在 72 h 时较 0 h 时下降 36.0% ( $P<0.05$ ), 而实验组粗脂肪同时间段仅下降 25.8% ( $P<0.05$ ), 相较于其他成分(水分、粗蛋白和粗灰分), 粗脂肪的下降程度最为显著( $P<0.05$ ), 这与范秀萍等(2018)进行温度对石斑鱼肌肉品质影响

的研究结果一致。数据表明, 在保活过程中, 饥饿状态下的鱼类对蛋白质的利用较少, 一般是大量消耗脂肪后再利用蛋白质, 但保活过程中鱼受水质变化的胁迫, 致部分有氧代谢转为无氧代谢, 也会通过消耗鱼肉中蛋白质以供给机体, 经电晕休眠后鱼体活动量降低, 减少了脂肪和蛋白的消耗(朱乾峰, 2020)。

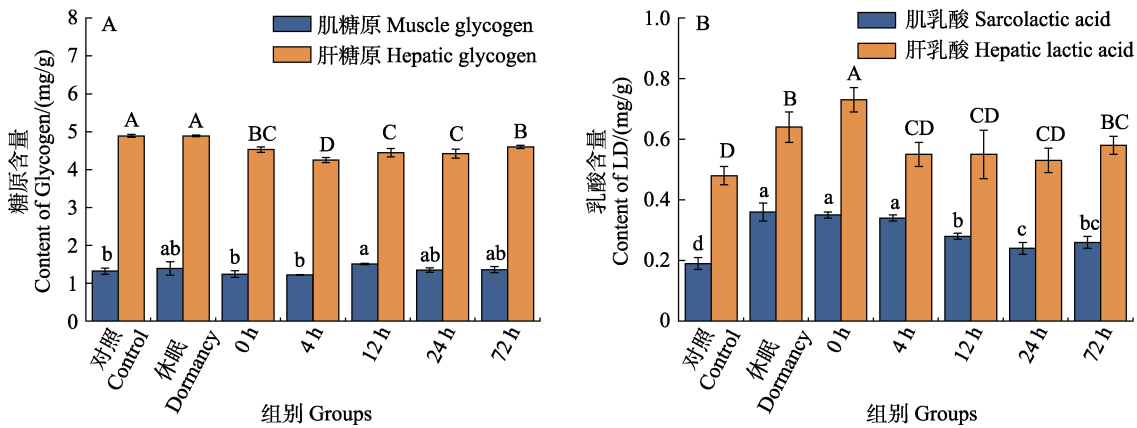


图 5 电晕休眠保活过程中卵形鲳鲈肌、肝组织中的糖原(A)与乳酸(B)含量的变化

Fig.5 Changes in Gly (A) and LD (B) contents in *T. ovatus* muscle and liver tissues during corona dormancy preservation process

表 5 电晕休眠对卵形鲳鲈保活过程中基本营养成分的影响

Tab.5 Effects of electric dormancy on basic nutrients during *T. ovatus* survival

保活时间 Keep alive/h	粗灰分 Crude ash		粗脂肪 Crude fat		水分 Moisture content		粗蛋白 Crude protein	
	对照组 Control group	实验组 Experimental group	对照组 Control group	实验组 Experimental group	对照组 Control group	实验组 Experimental group	对照组 Control group	实验组 Experimental group
0	1.48±0.07 <sup>a</sup>	1.52±0.09 <sup>a</sup>	8.76±0.04 <sup>a</sup>	8.29±0.35 <sup>a</sup>	63.71±0.88 <sup>a</sup>	65.81±0.85 <sup>a</sup>	21.32±1.42 <sup>a</sup>	20.68±0.97 <sup>b</sup>
24	1.47±0.13 <sup>a</sup>	1.48±0.11 <sup>a</sup>	8.35±0.29 <sup>ab</sup>	7.67±0.15 <sup>b</sup>	63.00±1.11 <sup>a</sup>	64.99±1.62 <sup>a</sup>	21.35±0.84 <sup>a</sup>	22.61±0.97 <sup>a</sup>
48	1.40±0.08 <sup>a</sup>	1.43±0.13 <sup>a</sup>	7.45±0.84 <sup>b</sup>	6.63±0.23 <sup>c</sup>	64.85±0.54 <sup>a</sup>	64.71±0.56 <sup>a</sup>	19.92±1.25 <sup>ab</sup>	19.89±0.57 <sup>bc</sup>
72	1.36±0.04 <sup>a</sup>	1.40±0.03 <sup>a</sup>	5.61±0.45 <sup>c</sup>	6.15±0.26 <sup>d</sup>	63.72±0.85 <sup>a</sup>	64.02±1.93 <sup>a</sup>	18.73±0.62 <sup>b</sup>	18.96±0.27 <sup>c</sup>

注: 不同上标字母表示各组间存在显著差异( $P<0.05$ )

Note: Different superscript letters indicate significant difference among groups ( $P<0.05$ ).

### 3 小结

通过电晕休眠对卵形鲳鲈最佳条件的研究, 可得当条件为电压 140 V、电击时间 4 s、电击温度 20 °C 时, 休眠率达到 100%, 复苏平均时间为(266.6±22.8) s, 保活平均时间为(165.6±42.7) h, 72 h 存活率为 100%, 为本研究最佳电晕休眠工艺参数。从行为学观察以及各项指标发现, 电晕休眠技术可减缓鱼体应激响应和能量响应强度的上升, 减少鱼体组织所受的损伤和代谢物堆积, 从而有效避免处理过程中的伤害或死亡

(Jiang *et al*, 2023)。研究发现, 鱼体在受到电刺激后生命活动变得剧烈, 血清 GOT 活性、GLU、COR 含量整体呈现先升高后降低的趋势, LDH 活性变化不显著; 肝脏和脑组织中的 Hsp70 含量、GST-S 以及肝脏中 CAT 活性在电晕休眠保活过程中显著上升, 肝糖原含量在保活过程中显著低于对照组, 而肌糖原变化不显著; 肝、肌乳酸含量在电晕休眠后显著升高后下降, 但仍高于对照组水平; 在保活过程中, 对照组和实验组鱼肉中粗灰分、水分含量变化不显著, 粗蛋白和粗脂肪含量整体呈下降趋势, 其中粗脂肪含量下



降最为显著,且与对照组相比实验组在保活运输后粗蛋白和粗脂肪下降占比减少。

近年来,运输活鱼的技术有了很大的发展,但在保活运输中活鱼生存环境、品质的把控系统和可追溯体系仍需继续完善,而电晕休眠技术绿色、便捷且易控制,更有利于保活运输前预处理。本研究针对名贵海产经济鱼类卵形鲳鲹进行电晕休眠处理,发现合理调试电晕休眠的各项参数可有效减缓其应激水平,进而保护鱼体并便于其养殖运输过程中各项操作的开展,为卵形鲳鲹在保活流通过程的活力与品质的保持奠定基础。

## 参 考 文 献

- BAI Z, SHEN J, XU W Q, *et al.* Effects of electronarcosis on the behavior and blood biochemical indices of ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *E. lanceolatus*. *Fishery Modernization*, 2022, 49(1): 89–96 [白贞, 沈建, 徐文其, 等. 电麻醉对珍珠龙胆石斑鱼麻醉效应与血液生化指标的影响. *渔业现代化*, 2022, 49(1): 89–96]
- BARTON B A, IWAMA G K. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases*, 1991, 1: 3–26
- BOUWSEMA J A, ELLIS M A, LINES J A, *et al.* In-water electric stunning as a humane commercial method for culling juvenile salmonids. *Aquacultural Engineering*, 2022, 99: 102286
- CHAKRABORTY N, DE A, GHOSH S K, *et al.* Effect of direct current electroanaesthesia on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Applied Biological Research*, 2022, 24(2): 149–155
- CHATAKONDI N G, KELLY A M. Evaluation of a portable electrosedation system for anesthetizing mature channel catfish. *North American Journal of Aquaculture*, 2019, 81(3): 269–274
- DAI Z R, ZHONG Q P, LIN M F, *et al.* Nutritional component analysis and quality evaluation of golden pompano. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(1): 347–350 [戴梓茹, 钟秋平, 林美芳, 等. 金鲳鱼营养成分分析与评价. *食品工业科技*, 2013, 34(1): 347–350]
- DE F S C, DESCOVI S, *et al.* Involvement of HPI-axis in anesthesia with *Lippia alba* essential oil citral and linalool chemotypes: Gene expression in the secondary responses in silver catfish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2019, 45: 155–166
- DING Y T, WANG Z H, WANG L L, *et al.* Effect of MS-222 on survival of bream fish during *Anaesthesia transportation*. *Fisheries Science*, 2019, 38(3): 296–304 [丁亚涛, 汪之和, 王林林, 等. MS-222 对鳊鱼麻醉保活运输效果的研究. *水产科学*, 2019, 38(3): 296–304]
- DU H, QIN X M, FAN X P, *et al.* Synergistic effect of CO<sub>2</sub> and low water temperature on the anesthesia and survival of *Trachinotus ovat*. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2022, 42(1): 35–43 [杜欢, 秦小明, 范秀萍, 等. CO<sub>2</sub> 协同低温有水对卵形鲳鲹麻醉保活效果的影响. *广东海洋大学学报*, 2022, 42(1): 35–43]
- FADILAH A N, SULMARTIWI L, LUTFIYAH L. Expression of heat shock protein 70 (hsp70) in liver and kidney organ of silver rasbora (*Rasbora argyrotania*) exposed by sublethal organophosphate pesticides. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022, 1036(1): 012007
- 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. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(14): 241–248 [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. *农业工程学报*, 2018, 34(14): 241–248]
- FAN X, QIN X, ZHANG C, *et al.* Metabolic and anti-oxidative stress responses to low temperatures during the waterless preservation of the hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂). *Aquaculture*, 2019, 508: 10–18
- FANG J Q, ZHANG M, ZHENG K, *et al.* Effects of acute temperature stress on lipid peroxidation and antioxidant physiological responses of different tissues of razor clam *Sinonovacula constricta*. *Food and Fermentation Industries*, 2023, 49(2): 226–233 [方佳琪, 张敏, 郑凯, 等. 急性温度胁迫对缢蛏不同组织脂质过氧化及抗氧化生理响应的研究. *食品与发酵工业*, 2023, 49(2): 226–233]
- FAUST M D, VANDERGOOT C S, HOSTNIK E T, *et al.* Use of electricity to sedate lake trout for intracoelomic implantation of electronic transmitters. *North American Journal of Fisheries Management*, 2017, 37(4): 768–777
- FENG G P, ZHUANG P, ZHANG L Z, *et al.* Effects of electronarcosis on haematological biochemistry of juvenile *Acipenser baerii*. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2011, 30(2): 6 [冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 电麻醉对西伯利亚鲟幼鱼血液生化指标的影响. *华中农业大学学报*, 2011, 30(2): 6]
- FENG X, WANG B, SUN Y X. Research progress on glutathione S-transferases. *Journal of Biology Teaching*, 2012, 37(6): 5–6 [冯雪, 王彬, 孙艳香. 谷胱甘肽硫转移酶的研究进展. *生物学教学*, 2012, 37(6): 5–6]
- GUAN W L. The development of water-free transportation for live *Litopenaeus vannamei* and the biochemical and muscular stress responses. *Doctoral Dissertation of Zhejiang University*, 2021, 53–55 [管维良. 南美白对虾无水保活及其生化和肉质的应激响应. *浙江大学博士研究生学位论文*, 2021, 53–55]

- GUO Y H, YUAN J N, KANG L Y, *et al.* The effect of melatonin on the expression of antioxidant proteins and related genes in the jejunum of early weaned lambs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2023, 59(9): 298–304 [郭艳红, 原佳妮, 康凌云, 等. 褪黑素对早期断奶羔羊空肠抗氧化蛋白及相关基因表达的影响. *中国畜牧杂志*, 2023, 59(9): 298–304]
- HAN L N, WANG S H, ZHENG F, *et al.* Study on processing technology of *Trachinotus ovatus*. *Food Research and Development*, 2016, 37(5): 202–204 [韩丽娜, 王素华, 郑飞, 等. 卵形鲳鲹加工利用技术研究. *食品研究与开发*, 2016, 37(5): 202–204]
- HENYEY E, KYNARD B, ZHUANG P. Use of electronarcosis to immobilize juvenile lake and shortnose sturgeons for handling and the effects on their behavior. *Journal of Applied Ichthyology*, 2002, 18: 502–504
- HUANG X M, HUANG H, QIN X M, *et al.* Comparison of survival of hybrid grouper (*♀Epinephelus fuscoguttatus* × *♂Epinephelus lanceolatus*) under pure oxygen and modified atmosphere during waterless live transportation and elucidation of the underlying mechanism. *Food Science*, 2022, 43(21): 257–264 [黄湘涓, 黄和, 秦小明, 等. 纯氧及气调无水保活下珍珠龙胆石斑鱼存活情况比较及机理分析. *食品科学*, 2022, 43(21): 257–264]
- JIANG L, TANG J, HUANG B, *et al.* Effect of vanillin on the anaesthesia of crucian carp: Effects on physiological and biochemical indices, pathology, and volatile aroma components. *Foods*, 2023, 12(8): 1614
- LING C M, ZHI Z P, LIU B, *et al.* The effect of periodic electric shock on the survival rate of tilapia fry. *Journal of Zhanjiang Ocean University*, 2004(4): 67–68 [凌长明, 植仲培, 刘斌, 等. 周期性电击对罗非鱼鱼苗存活率的影响. *湛江海洋大学学报*, 2004(4): 67–68]
- LIU B L, JIA R, HUANG B, *et al.* Interactive effect of ammonia and crowding stress on ion-regulation and expression of immune-related genes in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 2017, 50(3): 179–194
- LUO W, GAO Y, LI W H. Effects of low temperature and starvation stress, recovery on expression of HSP70 gene in hybrid tilapia juveniles. *Journal of Genomics and Applied Biology*, 2016, 35(10): 2640–2646 [罗伟, 高扬, 李文红. 低温、饥饿胁迫及恢复对奥尼罗非鱼幼鱼 HSP70 基因表达的影响. *基因组学与应用生物学*, 2016, 35(10): 2640–2646]
- OU Y J, CHEN S X, WANG P F, *et al.* Study on oxidative stress response and physiological metabolism related indices of *Trachinotus ovatus* under hypoxia stress. *South China Fisheries Science*, 2017, 13(3): 120–124 [区又君, 陈世喜, 王鹏飞, 等. 低氧环境下卵形鲳鲹的氧化应激响应与生理代谢相关指标的研究. *南方水产科学*, 2017, 13(3): 120–124]
- PILINKOVSKIJ A, VOSYLIENĖ M Z, KAZLAUSKIENĖ N, *et al.* Hematological effects of transportation stress on Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus* Mitchell L. 1815. *Journal of Applied Ichthyology*, 2017, 33: 1021–1023
- PIRHONEN J, SCHRECK C B. Effects of anaesthesia with MS-222, clove oil and CO<sub>2</sub> on feed intake and plasma cortisol in steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 2003, 220(1/2/3/4): 507–514
- ROUS A M, FORREST A, MCKITTRICK E H, *et al.* Orientation and position of fish affects recovery time from electrosedation. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2015, 144(4): 820–828
- SATTARI A, MIRZARGAR S S, ABRISHAMIFAR A, *et al.* Comparison of electroanesthesia with chemical anesthesia (MS-222 and clove oil) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using plasma cortisol and glucose responses as physiological stress indicators. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2009, 4(6): 306–313
- VEIT J C, PICCOLO J, FACCO G, *et al.* Influence of electronarcosis on behavioral responses, blood markers, and fillet properties of silver catfish (*Rhamdia quelen*). *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2017, 26(3): 308–324
- WANG J, XIONG G, BAI C, *et al.* Anesthetic efficacy of two plant phenolics and the physiological response of juvenile *Ictalurus punctatus* to simulated transport. *Aquaculture*, 2021, 538: 736566
- WU W J, LIANG X L, CHEN W P, *et al.* Stress-relieving effect of basil essential oil on temporarily cultured pearl gentian grouper (*E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂) before transportation. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2023, 43(2): 43–50 [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. *广东海洋大学学报*, 2023, 43(2): 43–50]
- XIONG T, WU Y Y, LIN W L, *et al.* Study on the technology of instant seasoning *Trachinotus ovatus*. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(13): 180–186 [熊添, 吴燕燕, 林婉玲, 等. 即食调味卵形鲳鲹工艺技术研究. *食品工业科技*, 2018, 39(13): 180–186]
- YONG W, HUANG Y, LI X, *et al.* Changes of AST, ALP, CK and LDH level in biological injury models caused by 18.4 mm rubber bullet. *Journal of Laboratory Medicine*, 2012, 33(3)
- ZHANG K, ZHOU J Q, FAN X P, *et al.* Effects of fasting acclimation on the physiological response to water preservation of *Trachinotus ovatus*. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2022, 42(1): 44–49 [张坤, 周结倩, 范秀萍, 等. 禁食暂养对卵形鲳鲹有水保活生理响应的影响. *广东海洋大学学报*, 2022, 42(1): 44–49]
- ZHOU Z W, HU X W, LEI L, *et al.* Effects of heat stress on biochemical indices and HSP70 mRNA expression in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Progress in Fishery*

- Sciences, 2018, 39(6): 65–71 [周朝伟, 胡续雯, 雷骆, 等. 热应激对银鲫生化指标和 HSP70 mRNA 表达的影响. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 65–71]
- ZHU L W, ZHANG C Y, LIU Z, *et al.* Cloning, expression of hsp70 core cDNA and the effects of heat stress on its tissue expression in *Pelteobagrus fulvidraco* ♀ × *P. vachelli* ♂. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(1): 47–55 [朱凌威, 张朝阳, 刘钊, 等. 杂交黄颡鱼 hsp70 基因核心序列的克隆、表达及其在高温应激下的组织表达. 渔业科学进展, 2021, 42(1): 47–55]
- ZHU Q F. Study on low temperature water conservation and transportation technology of ♀ *Epinephelus fuscoguttatus* × ♂ *Epinephelus lanceolatus*. Master's Thesis of Guangdong Ocean University, 2020, 36 [朱乾峰. 珍珠龙胆石斑鱼低温保活运输技术研究. 广东海洋大学硕士研究生学位论文, 2020, 36]
- ZHU T B, LI F, WU X B, *et al.* Effects of electronarcosis on the behavior and blood biochemical indices of juvenile *Coreius guichenoti*. Sichuan Journal of Zoology, 2015, 34(6): 885–888 [朱挺兵, 李飞, 吴兴兵, 等. 电麻醉对圆口铜鱼幼鱼行为及血液生化指标的影响. 四川动物, 2015, 34(6): 885–888]

(编辑 陈 辉)

## The Effect of Corona Dormancy on the Physiological Stress and Main Nutritional Components in the Transport of *Trachinotus ovatus* During Survival

LIU Siwei<sup>1</sup>, ZHONG Jiamei<sup>1</sup>, FAN Xiuping<sup>1,2</sup>, QIN Xiaoming<sup>1,2①</sup>, SHEN Jian<sup>3</sup>, XU Wenqi<sup>3</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University /Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety/Guangdong Province Engineering Laboratory for Marine Biological Products/Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Product of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang 524088, China;

2. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

3. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China)

**Abstract** The golden pomfret (*Trachinotus ovatus*) is distributed in tropical and subtropical waters such as those of the East China Sea, South China Sea, and the Chinese Yellow and Bohai Seas. The golden pomfret grows rapidly and is the most modernized and intensive marine aquaculture fish in China. Furthermore, the golden pomfret is also the preferred variety of fish for expanding sea aquaculture spaces. Presently, the market mainly includes three methods: Freezing, processing, and live sales. If fish can be processed in multiple ways while maintaining freshness, fresh fish is the best choice. However, the existing transportation of live fish suffers from various problems such as low survival rate, nutrient loss, and short transportation time due to stress, hypoxia, and water quality deterioration. *T. ovatus* is a warm temperature-loving, omnivorous migratory fish with high oxygen consumption and vigorous metabolism. Fishing exerts high stress on the organism, and they easily die in low temperature environments (<13 °C). The difficulty of keeping the fish alive and transporting is also the main reason live fish are difficult to find in markets. To solve the above problems, chemical anesthesia, physical dormancy, and other methods are generally used to improve the survival rate of fish and maintain good nutritional quality in the process of keeping them alive and for transportation. Chemical anesthesia may pose risks of drug residue, and there are certain restrictions on the drug withdrawal period for the fish to be transported alive. Among the physical dormancy methods, the ecological ice temperature induced dormancy method is widely used, but it needs low temperature acclimation before treatment, which consumes long time periods. Therefore, an efficient, green and safe way of keeping alive transportation technology is particularly urgent, and corona

① Corresponding author: QIN Xiaoming, Email: xiaoming0502@21cn.com

dormancy presents an environment friendly, safe, new, and efficient way of physical dormancy that meets consumer needs, with broad application prospects. Chemical anesthesia and low temperature-induced dormancy are mostly used in the pretreatment technology of survival and transportation of marine fish, while the research on corona dormancy technology is less, and the research and application of corona dormant *T. ovatus* have not been reported locally or abroad. In this study, *T. ovatus* were placed in an electric shock box after 6 h of temporary rearing. The *T. ovatus* were shocked by pulsed DC currents. The recovery phase was recorded by stages through behavioral observation. The optimal treatment conditions of pulsed DC corona dormancy were optimized by using the dormancy rate, dormancy time, 72 h survival rate and survival time as evaluation indexes through single factor and orthogonal experiments, and the biochemical parameters of serum, brain tissue, muscle and liver are determined indexes of oxidative stress, metabolism, and basic nutrients. The results showed that under the conditions of 20 °C water temperature, 140 V voltage, and 4 s treatment time, the dormancy rate and 72 h survival rate of fish could reach 100%, and the survival time was (165.6±42.7) h. After corona dormancy treatment, the contents of glucose (GLU), glutamic oxaloacetic transaminase (GOT), and cortisol (COR) in fish serum significantly increased ( $P<0.05$ ), and return to normal levels within 4–12 hours of survival, indicating that electrical stimulation can make the life activities of fish become violent, resulting in the rise of stress indicators in a short time. The content of heat shock protein 70 (Hsp70), glutathione S-transferase (GST-S) activity, and catalase (CAT) activity in liver and brain tissues significantly increased ( $P<0.05$ ), while the content of malondialdehyde (MDA) in brain tissues was significantly decreased compared with that in the control group within 4–72 hours ( $P<0.05$ ), indicating that the technology can improve the tolerance of fish to environmental stress and reduce the degree of brain damage, reduce the lipid peroxidation in the brain and the accumulation of hydrogen peroxide in the liver, so as to reduce the damage cause by environmental stress and short-term damage to tissues. The content of liver glycogen (Gly) show a downward trend during the preservation process, while the content of lactic acid (LD) in liver and muscle increase significantly ( $P<0.05$ ), indicating that anaerobic metabolism occurs during the preservation process of fasting, which consume glycogen and produced lactic acid. Crude ash, protein, and fat in fish meat show a downward trend during the preservation process, with the crude fat content decreased the most significantly ( $P<0.05$ ), and the proportion of decline in the experimental group was reduced compared with that of the control group. The research shows that the appropriate conditions of pulsed DC can induce the dormancy of *T. ovatus*, and after corona dormancy fish exhibit less stress in the face of external factors. From the index point of view, the technology can improve the release of Hsp70 and the activity of antioxidant enzymes to slow the stress response of the fish under survival stress, reduce tissue damage, and maintain a low metabolic level after survival, reducing the consumption of inorganic matter, fat, and protein. Thus, the efficiency and quality in the process of keeping alive transportation are improving, which is convenient for breeding and transportation. Finally, these findings lay a theoretical foundation for maintaining the vitality and quality of *T. ovatus*.

**Key words** *Trachinotus ovatus*; Corona dormancy; Basic nutrients; Oxidative stress