

无水保活时间对斑点叉尾鮰血液生化和肌肉品质的影响

李宁^{1,2}, 白婵², 熊光权², 张金木², 王炬光², 张程³, 耿胜荣², 王彩霞², 廖涛²

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北武汉 430070)(2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/湖北省农产品辐照工程技术研究中心, 湖北武汉 430064)(3. 丹江口市博奥水产品有限责任公司, 湖北丹江口 442700)

摘要: 为探讨无水保活时间对斑点叉尾鮰生理应激和肌肉品质的影响, 本文研究了二氧化碳无水保活的最佳工艺, 及不同无水保活时间下的存活率。分析了保活前、保活(5、7、9、11 h)和复苏24 h后3种状态中血液生化和鱼肉蛋白质、脂肪、水分等品质指标。结果表明: 无水保活鮰鱼的最佳条件是二氧化碳浓度为500~550 mg/L, 保活温度为4~8 °C和麻醉液温度6 °C; 休眠的鮰鱼在6 °C培养箱保活5、7、9、11和13 h, 存活率分别为100%、100%、99%、45%和20%; 低温保活过程中水分和持水性没有显著性变化($p>0.05$), 肌肉中pH、蛋白质以及粗脂肪低于对照组, 而肌糖原的含量显著下降($p<0.05$)。尿素氮(BUN)、肌酐(Cr)、谷草转氨酶(GOT)和乳酸脱氢酶(LDH)活性逐渐增高, 其中GOT和BUN的活性与保活时间是最相关的。当保活时间达到9 h时, GOT从18.48 μmol/L增加到25.09 μmol/L; BUN从13.18 mmol/L增加到16.44 mmol/L。在复苏组中, 保活9 h的鮰鱼血清中生化指标Cr、BUN和GOT的活性基本恢复到对照组的水平($p>0.05$), 而保活11 h的鮰鱼复苏后Cr、BUN和GOT活性与对照组相比显著增加($p<0.05$), 分别高出对照组52.41%、25.48%和48.24%。结论: 二氧化碳休眠保活鮰鱼的最佳保活时间为9 h, 保活时间延长, 代谢缓慢, 毒素无法排出体外, 会对肾脏、肝脏造成不可逆的损伤。本研究结果为二氧化碳无水保活提供理论依据和技术支撑。

关键词: 斑点叉尾鮰; 二氧化碳; 无水保活; 生化指标

文章编号: 1673-9078(2018)12-74-81

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.12.012

Effects of Waterless Keep Alive Time on Physiological and Biochemical Index of *Ictalurus punctatus*

LI Ning^{1,2}, BAI Chan², XIONG Guang-quan², ZHANG Jin-mu², WANG Ju-guang², ZHANG Cheng³, GENG Sheng-rong², WANG Cai-xia², LIAO Tao²

(1.College of Fisheries Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2.Institute of Agricultural Product processing and Nuclear Agriculture Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Hubei Agricultural Irradiation Engineering Technology Research Center, Wuhan 430064, China)

(3.Danjiangkou Bo Ao Aquatic Products Co, Ltd. Danjiangkou 442700, China)

Abstract: The effect of waterless keep alive time on biochemical index and muscle quality of *Ictalurus punctatus* was investigated. Optimum keep alive conditions of carbon dioxide and survival rate at different keep-alive time without water were studied in this experiment. The quality indexes of blood biochemistry and fish protein, fat and water content under different keep alive time (5, 7, 9, 11 h) were analyzed before and after waterless keep alive and 24 h after recovery. The results showed that the optimum concentration of CO₂ and temperature of waterless keep alive are 500~550 mg/L and 4~8 °C. The anesthetized *Ictalurus punctatus* with carbon dioxide were kept alive at 6 °C for 5, 7, 9, 11 and 13 h respectively and then transferred to clear water to recover for 24 h. The survival rate is 100%, 100%, 95%, 45% and 20% respectively. As the keep alive time increases, water loss and water holding time have no significant changes ($p<0.05$). The pH, protein and crude fat in muscle were lower than those in control group, but the content of muscle glycogen was significantly decreased ($p<0.05$). The activities of urea nitrogen (BUN), creatinine (Cr), pyruvate kinase (PK), lactate dehydrogenase (LDH) and transaminase (GOT) in waterless

收稿日期: 2018-07-21

基金项目: 现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-46); 湖北省科技特派员项目; 湖北省农业科技创新中心项目(2018-620-000-001-036)资助

作者简介: 李宁(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品保活运输

通讯作者: 廖涛(1979-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 水产品加工与安全

keep alive group were significantly higher than those in the control and recovery groups ($p < 0.05$). The activity of GOT and BUN is most closely related to the keep alive time. When the keep alive time was 9 h, GOT increased from 18.48 $\mu\text{mol/L}$ to 25.09 $\mu\text{mol/L}$, BUN increased from 13.18 mmol/L to 16.44 mmol/L, and their activities increased significantly ($p < 0.05$). After recovery in clear water for 24 h, the blood indexes of Cr, BUN and GOT basically recovered to the levels of the control group ($p > 0.05$). When the keep alive time was 11h, their activities of Cr, BUN and GOT increased significantly ($p < 0.05$), which was 52.41%, 25.48% and 48.24% higher than those of the control group respectively. Conclusion: The best keep alive time anesthetized with carbon dioxide is 9 h. The metabolism of *Ictalurus punctatus* is slow and the toxin can't be discharged in vitro with the prolongation of the waterless keep alive time, and it will cause irreversible damage to the kidney and liver. The results in this study would provide information for studying the application of waterless keep alive transportation of *Ictalurus punctatus*.

Key words: *Ictalurus punctatus*; carbon dioxide; waterless keep alive; biochemical indicators

斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*), 属鲶形目、鮰科, 简称鮰鱼, 原产于美国, 是一种温水性鱼类。具有生长周期短、高脂肪、高蛋白、丰富的氨基酸等特点, 且肌间无刺, 表面无鳞, 深受各国渔业、消费者和加工企业喜欢。经过多年的养殖尝试, 我国现已具备了一定的规模, 已经在南方大范围养殖^[1]。随着生活水平的快速提高, 人们更加注重食品质量和品质, 味道鲜美的鱼类更受人们的青睐。我国地域辽阔, 如何实现鲜活的鱼类低成本、远距离的运输已成为水产业十分关注的问题^[2]。

低温无水保活运输是通过使用休眠技术减缓鱼的应激反应和代谢速率, 从而达到延长保活时间和提高运输效率的一种冷链物流技术^[3]。它是一种低成本、高效的绿色保活方法, 无水保活运输技术应用范围比较广泛, 可用于鱼、虾、蟹、贝等保活运输^[4]。闽浙地区采用梯度降温、充氧的方法运输活鳗, 时间长达 24~33 h, 存活率 95% 以上^[5]。Ibraz 等^[6]采用碳酸休眠法无水保活鲫鱼 15 h, 周翠平^[7]等对二氧化碳麻醉罗非鱼的无水保活作了研究, 结果表明采用二氧化碳麻醉无水保活处理的罗非鱼的风味较好。范兴^[8]等人研究罗非鱼和金昌鱼的无水保活, 结果表明采用间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐 (MS-222) 麻醉的金昌鱼可以离水运输 6 h, 复苏率 100%。Jamie 等^[9]麻醉鲟鱼在最佳条件下无水保活可以达到 36 h, 恢复 24 h 后的存活率可以达到 96%。

目前鱼用麻醉剂很多, 包括 MS-222、丁香酚、CO₂、喹哪啶、美托咪酯等近 30 种。但许多麻醉剂存在安全隐患, 没有国家许可。而 CO₂ 没有药物消退期, 对操作者和环境无危害^[10], 经 CO₂ 麻醉运输的食用鱼可直接在市场销售^[11], 是 FDA 允许使用的麻醉剂^[12], 因而 CO₂ 麻醉运输具有极高的经济和研究价值。目前, 虽然有关无水保活运输的相关研究较多, 但系统分析二氧化碳保活前后对鱼体生化指标和品质的研究较少。本文探索了 CO₂ 休眠斑点叉尾鮰无水保活所需的较佳条件, 并分析了不同保活时间对鮰鱼血液生化指

标和鱼肉品质的影响, 旨在揭示斑点叉尾鮰不同保活时间下的新陈代谢情况, 以探索出较为合适的运输时间, 可以为提高淡水鱼无水保活运输的存活率、降低运输成本提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验药品及仪器

实验用斑点叉尾鮰的体重: 430.5±35.5 g, 体长: 33.4±2.5 cm, 全部购买于湖北省武汉市白沙洲农副产品大市场。实验时挑选体重相当, 外表健康、活动力正常的斑点叉尾鮰。

1.1.1 试剂

二氧化碳, 工业纯, 购自武汉子哈工业气体有限公司; 硼酸, 硫酸, 氢氧化钠, 盐酸, 硫酸铜等试剂均为分析纯, 购自上海国药集团化学试剂有限公司。肌糖原试剂盒, 香草转氨酶试剂盒, 尿素氮试剂盒, 乳酸脱氢酶, 肌酐试剂盒, 丙酮酸激酶均买自南京建成生物工程研究所。

1.1.2 仪器

LRH-250CL 低温生化培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司; 3k15 高速冷冻离心机, 美国 Sigma 公司; FD5-Serious 真空冷冻干燥机, GOLD SIM 仪器公司; SPARK 酶标仪, 瑞士 TECAN 仪器公司; K9860 全自动凯氏定氮仪, 济南海能仪器公司; 哈西多功能 pH 计, 上海哈西分析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 实验设计

(1) 实验选取停食 48 h 的健康有活力的斑点叉尾鮰, 通过优化二氧化碳休眠条件, 得出最佳的麻醉液温度、浓度和保活温度。(2) 在最佳的条件下进行休眠和保活鮰鱼, 探索出不同保活时间 (5、7、9、11 和 13 h) 的存活率以及保活时间对鮰鱼血液生化指标和肌肉品质的影响, 并分别测定麻醉前 (设为对照组)、

保活以及复苏后(置于清水中 24 h)各生化指标的变化,设定 3 个平行组,每个平行 10 尾鱼。

1.2.2 不同麻醉液温度对斑点叉尾鲷存活时间的影响

试验组设置 6 个麻醉液温度,分别为 2、4、6、8、10 和 12 °C 各组通入二氧化碳使鲷鱼进入深度休眠后放入保活袋并充入纯氧,放入 6 °C 培养箱中,记录不同保活时间下的存活率。

1.2.3 不同二氧化碳浓度对斑点叉尾鲷复苏率的影响

试验组设置 6 个浓度,分别为 400、450、500、550、600、650 mg/L,每组浸浴 15 min 后放入保活袋中充入纯氧,于 6 °C 生化培养箱中保活,5 h 后取出放入清水中,观察存活数并记录各组的存活率。

1.2.4 不同保活温度对斑点叉尾鲷复苏率的影响

将斑点叉尾鲷放入 CO₂ 浓度为 550 mg/L 的水溶液中,浸浴 15 min 后将鱼装进保活袋充入纯氧,每组分别放入 0、2、4、6、8 和 12 °C 的培养箱中,5 h 后取出放入清水中,观察存活数并记录存活率。

存活率(%) = 复苏 24 h 后存活鱼的数量 / 初始鱼尾数量 × 100%

1.2.5 不同保活时间下对斑点叉尾鲷复苏率的影响

将鲷鱼放入二氧化碳麻醉液 550 mg/L,水温 6 °C 的玻璃缸中,浸浴时间 15 min,鲷鱼进入深度休眠后,然后将鱼取出放入保活袋充入纯氧,每组 10 尾鱼,于 6 °C 的恒温培养箱中分别保活 5、7、9、11、13 h 后取出放入清水中,记录 24 h 后的存活率。

1.2.6 保活时间对鲷鱼血液生化指标的影响

在最佳的实验条件下对鱼进行麻醉,每组鱼进行尾部静脉抽血,大约取 5 mL 注入离心管中,在 4 °C 下静置 2 h,用离心机离心 10 min,离心力为 1780 g,取上清液置于 -20 °C 冰箱中备用。本实验中血液生化指标均使用试剂盒测定。

1.2.7 保活时间对鱼肉品质指标的影响

持水力:参考李念文等^[13]方法进行测定;取 5 g 鱼肉块(W1),放入双层滤纸之间,装入离心管中,在离心力 1664 g 下离心 10 min。离心完毕后立即对样品进行称量(W2),重复 3 次,取平均值。

持水力(%) = $1 - (W1 - W2) / W1 \times 100\%$ (1)

pH:取绞碎均匀的鱼肉样品 5 g 于锥形瓶中,加入 45 g 蒸馏水,充分混匀静置 30 min,取上清液测定^[14]。

蛋白质的测定参照 GB/T 5009.5-2016^[15]的凯氏定

氮法进行测定;

脂肪的测定参照 GB/T 5009.6-2016^[16]中的索氏抽提法进行测定。

1.3 数据处理

实验均平行测定 3 次,结果用平均值±标准差(SD)表示。使用 MS Excell 2010 软件对数据进行整理,用 SAS.V8 对各组数据间的差异显著性进行分析($p < 0.05$);使用 GraphPad Prism 5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 较佳麻醉液温度的确定

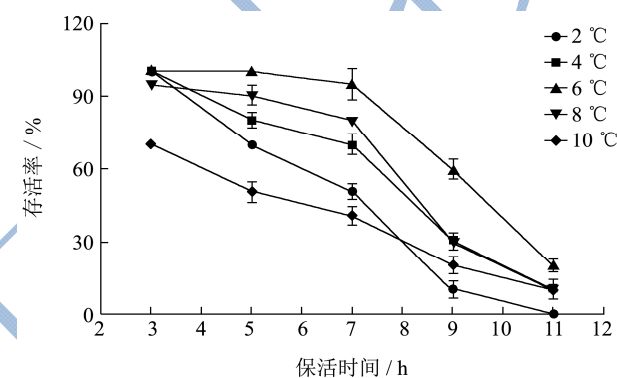


图 1 不同麻醉液温度对存活率的影响

Fig.1 Effects of different anesthetic temperatures on survival rate

不同麻醉液温度下对斑点叉尾鲷存活率的影响结果见图 1,结果表明,随着保活时间的延长,存活率显著下降,水温从 2 °C 增加到 10 °C 增加,存活率先增加后降低,当水温是 6 °C 时,保活 7 h 后的存活率为 100%,保活 9 h 的存活率为 75%,远远高于其它组。与其它麻醉液温度相比,最佳麻醉液水温是 6 °C。

2.2 鲷鱼无水保活较佳 CO₂ 浓度的确定

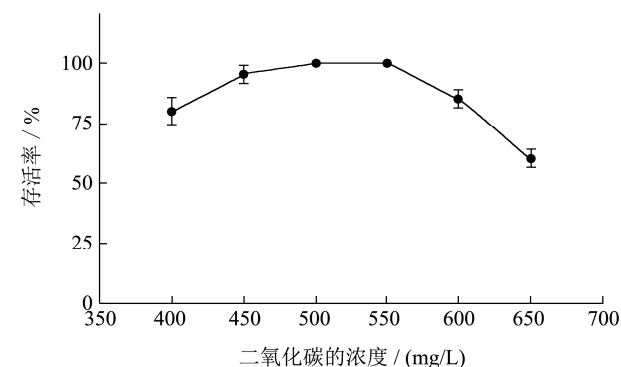


图 2 不同二氧化碳浓度对存活率的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of carbon dioxide on survival rate

不同浓度的CO₂麻醉液对斑点叉尾鲷存活率的影响结果见图2。随着二氧化碳浓度的升高,保活5h后,存活率先增加后降低,CO₂浓度为400、450 mg/L时,存活率为80%和95%;CO₂浓度为500、550 mg/L时,存活率为100%;而当麻醉液浓度为600、650 mg/L时,存活率分别为88%和65%,所以从保活时间和存活率来看,较佳CO₂浓度范围为500~550 mg/L。

2.3 鲷鱼无水保活较佳温度的确定

CO₂麻醉斑点叉尾鲷无水保活中,保活温度是影响鲷鱼存活率的一个重要因素。当保活温度为0~8℃,保活时间可以达到5h,但温度达到10℃时,只能保活2h左右就苏醒了,当温度升到15℃时,半小时内全部苏醒。将保活后的鱼置于清水中24h,0℃的存活率为10%,2℃的存活率为30%,4~8℃之间存活率为95%以上。说明在4~8℃条件下,鲷鱼保活的存活率较高。

究其原因,温度升高时,二氧化碳气体挥发的快,麻醉减弱,容易苏醒,最终保活时间减短,Peters等^[17]人发现鲶鱼在随着温度的升高,无水保活时间越短,所以当温度大于8℃时,保活时间变短。当温度降低时,由于鲷鱼耐低温性较差,低温会对鱼体造成不可逆的损伤^[21]。因此,选择最佳的保活温度对鱼的保活运输十分有意义,能延长鱼的保活时间。

2.4 不同的保活时间对鲷鱼存活率的影响

在较佳的麻醉和保活条件下,模拟鲷鱼的无水保活运输,得出不同保活时间下的存活率。随着保活时间的延长存活率逐渐下降,9h时存活率仍为95%;达到11h后存活率骤减为45%,保活13h后存活率仅为20%。在此条件下最长无水保活鲷鱼的时间是9h左右,基本能满足省内运输。

二氧化碳麻醉鲷鱼后,会影响鱼体的呼吸代谢过程,导致鱼体内二氧化碳排不出,氧气无法与血红蛋白结合^[18],当鱼体离水时间过长时,会对肾脏、肝脏等器官造成不可逆的损伤,死亡率增大,选择合适的保活时间对存活率至关重要。

2.5 保活时间对鲷鱼的血液生化指标的影响

2.5.1 鲷鱼血液中谷草转氨酶(GOT)活力的变化

GOT主要存在于肝脏内,通常GOT含量在鱼体内保持比较低的范围,但当鱼体受到强烈刺激时,GOT会从肝脏释放到血液中,故GOT含量的变化可作为肝脏受损程度的检测指标^[19]。在不同的保活时间

下变化如下图,随着保活时间的延长,GOT活性增高,分别比保活前增高40.23%、60.56%、90.44%、160.45%。在清水中复苏24h后,GOT含量明显下降,保活9h的基本恢复到对照组的水平,但保活11h后,与对照组值差异显著($p<0.05$),是复苏组中活性最高的。Harikrishnan等^[20]认为强烈的应激和疾病环境会造成鱼体肾脏、肝脏的破坏,可能导致肾脏中谷丙转氨酶(GPT)和GOT的活性增加。周传鹏等^[21]认为应激会导致鱼类肝脏受损,伴随着血清中GOT和谷丙转氨酶活性的增加,他们的结论与本试验的结果一致。

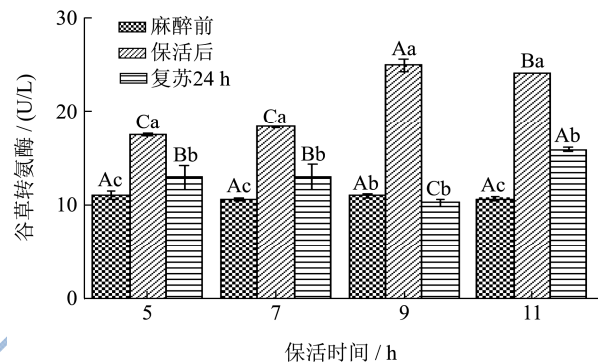


图3 保活时间对谷草转氨酶的影响

Fig.3 The effect of keep alive time on transaminase of gluten grass

注:显著性 $p<0.05$,A-C:不同保活时间下数值差异显著;a-c:不同状态下数值差异显著。下同。

2.5.2 保活时间对乳酸脱氢酶(LDH)活性的影响

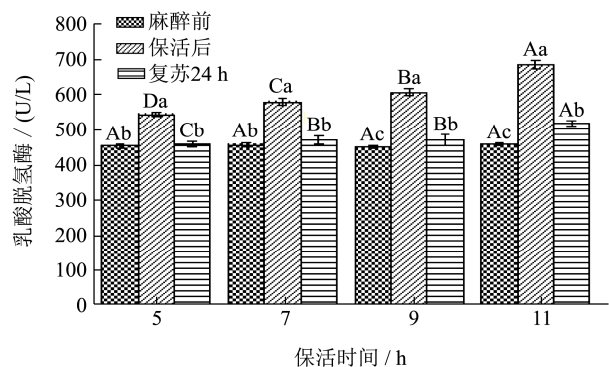


图4 保活时间对乳酸脱氢酶的影响

Fig.4 Effect of keep alive time on lactate dehydrogenase

乳酸脱氢酶是一种糖酵解酶,在缺氧条件下能够将丙酮酸转化成乳酸,当机体受到外界某种应激,乳酸脱氢酶活力会升高^[22]。如图4所示,保活5、7、9和11h后血清中乳酸脱氢酶含量都显著高于未处理前的值($p<0.05$),分别上升30.53%、32.33%、37.38%和58.40%,保活时间达到11h时,乳酸脱氢酶含量骤增。清水中复苏24h后,保活5、7、9h基本恢复麻醉前的水平。这与聂小宝等^[19]人研究的低温无水状

态下 LDH 的变化趋势一致。

2.5.3 保活时间对尿素氮 (BUN) 和肌酐 (Cr) 的影响

血液中的肌酐和尿素氮含量都反映了肾脏功能的好坏。当肾功能受到损害时，血液中尿素氮和肌酐含量会升高。不同保活时间对尿素氮和肌酐的影响结果如图 5 和图 6 所示，无水保活时间越长，鲟鱼血液中尿素氮和肌酐浓度越高，保活 5、7、9 和 11 h 后的尿素氮浓度分别比麻醉前高 33.38%、39.67%、46.23%、76.85%，表明保活过程中鲟鱼的代谢物没有被有效地排出体外，导致鱼体的尿素氮和肌酐含量升高，并且对鱼体的肾脏造成损伤；清水中复苏 24 h 后，保活 5、7、9 h 后尿素氮和肌酐的活性和麻醉前无显著性差异 ($p>0.05$)，而保活 11 h，复苏后体内肌酐含量比麻醉前高 40.05 $\mu\text{mol/L}$ ，说明无水保活 9 h 对鲟鱼肾脏功能造成的损伤可恢复到对照水平，可将保活 5~9 h 视为最佳保活时间。这与低温保活团头鲂中尿素氮的变化趋势是一致的^[18]，随着保活时间的延长，尿素氮浓度越高，超过一定限度时，鱼会死亡。刘伟东^[23]等人对大菱鲆低温无水保活的研究发现，在保活过程中，大菱鲆的肌酐含量是增加的，低温无氧环境对大菱鲆肾脏功能会造成损伤，与本文实验结果一致。

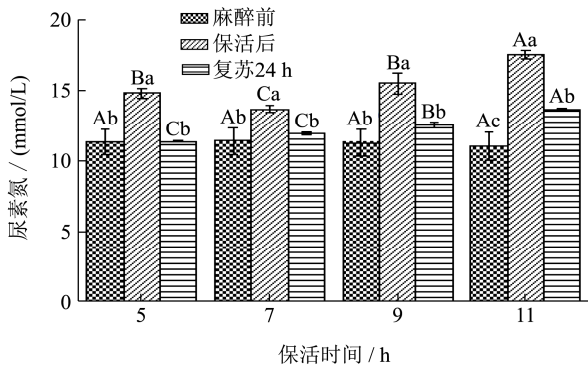


图 5 保活时间对尿素氮的影响

Fig.5 Effect of keep alive time on urea nitrogen

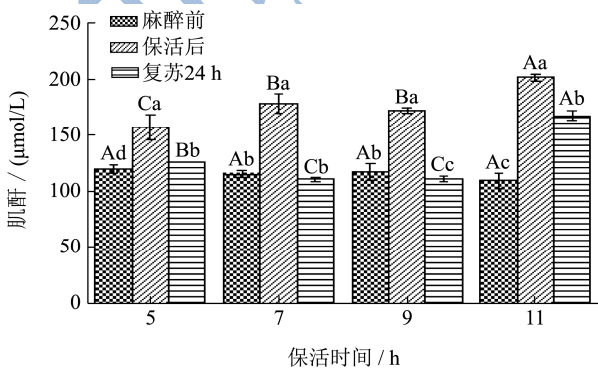


图 6 保活时间对肌酐活性的影响

Fig.6 Effect of keep alive time on creatinine activity

2.5.4 保活时间对丙酮酸激酶 (Pk) 的影响

丙酮酸激酶又称磷酸丙酮酸激酶，是糖代谢系统中催化三磷酸腺苷 (ATP) 反应的酶。它能使磷酸烯醇丙酮酸和二磷酸腺苷 (ADP) 合成 ATP 和丙酮酸，这是糖转化过程中的限速酶之一，对新陈代谢进行调节，起到保护机体的作用^[24]。如下图 7 所示，且随着无水保活时间的延长，鲟鱼血液中的丙酮酸激酶活性逐渐上升，保活 5、7、9 和 11 h 后比麻醉前分别增加了 42.22%、48.57%、45.74 和 63.87 U/L。无水保活过程中，保活温度 6 °C 远低于室温，鲟鱼通过糖酵解过程为抵御寒冷提供大量能量，因此在进行无水保活后，鲟鱼体内的丙酮酸激酶活性远远高于麻醉前。这表明无水保活时间越长，鲟鱼所需要的能量越多，在休眠状态下通过糖酵解所获得的能量就越多。在复苏 24 h 后，鲟鱼血液中丙酮酸激酶的活性回落。

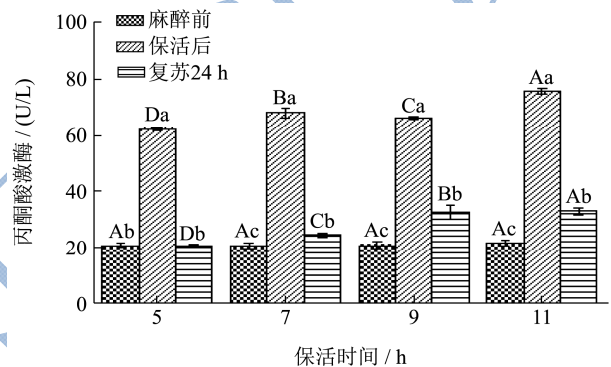


图 7 保活时间对丙酮酸激酶活性的影响

Fig.7 The effect of keep alive time on the activity of pyruvate kinase

综上所述，鱼类血液生理生化指标与低温无水保活时间长短密切相关，而血液生理生化指标的变化可以反映机体的代谢和生理状况。正常状态下，血液中 GOT 活性较低，只有当组织细胞发生破坏和损害时，才会引起血液内转氨酶活性增强。本研究发现，当保活时间达到 11 h 时，鲟鱼体内 GOT 活性骤然升高，说明低温无水保活时间过长对鲟鱼的肝脏产生了一定的损伤，并进一步影响了肾脏和心肌细胞的代谢，导致血清中 BUN 和 Cr 活性的增加。在无氧休眠状态下，无氧呼吸造成鲟鱼体内乳酸含量升高，进而也会影响代谢废物排不出体外。这些可能都是无水保活过程中鱼体死亡的原因。相似结果在罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[25] 和大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*)^[11] 均有报道。

2.6 保活时间对斑点叉尾鲟肌肉营养成分的影响

2.6.1 保活时间对肌糖原的影响

肌糖原是用来维持机体新陈代谢，是鱼体能量的主要来源，主要存在于肝脏和肌肉中。在无氧呼吸的状态下，肌糖原会被分解用于身体机能的运转。由图8可见，低温保活从5 h到7 h时，肌糖原的含量变化不显著；当保活9~11 h时，肌糖原的含量降低显著 ($p < 0.05$)。低温休眠状态，新陈代谢缓慢，糖原分解速度慢，随着保活时间延长，CO₂挥发，休眠减弱，新陈代谢加快导致糖原分解速度加快，所以5~7 h下降缓慢，9~11 h下降显著。清水中复苏24 h后，肌糖原含量还在持续降低，因为在整个实验中，实验鱼体均未进食，为了维持正常的生命活动，鱼体消耗肌糖原，解决自身的供能问题^[26]。周翠平^[7]罗非鱼的二氧化碳麻醉保活中发现，低温无水保活时，肌糖原含量

下降，当糖原含量的消耗超过耐受程度时，罗非鱼会大量死亡，与本试验结论一致。

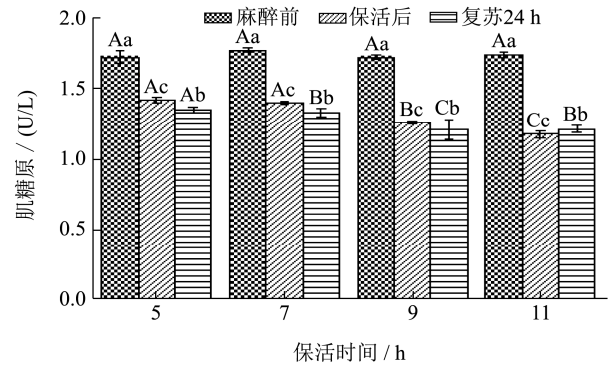


图8 保活时间对肌糖原的影响

Fig.8 Effect of keep alive time on muscle glycogen

2.6.2 保活时间对肌肉 pH、持水性、粗脂肪、蛋白质含量的影响

表1 保活时间对鲷鱼蛋白质、粗脂肪、持水性和 pH 含量的影响 (冬季)

Table 1 Effects of keep alive time on protein, crude fat, water holding capacity and pH (winter)

指标	5 h			7 h		
	麻醉前	保活 5 h	复苏 24 h	麻醉前	保活 7 h	复苏 24 h
蛋白质/ (% , 干重)	70.02±0.28 ^{Aa}	68.86±0.17 ^{Ab}	67.96±0.51 ^{Aa}	69.67±0.30 ^{Aa}	68.10±0.17 ^{Ac}	67.12±0.19 ^{Ab}
脂肪/ (% , 干重)	18.32±0.12 ^{Aa}	17.46±0.19 ^{Ab}	16.12±0.09 ^{Bb}	18.38±0.09 ^{Aa}	17.08±0.21 ^{Ab}	15.9±0.07 ^{Ab}
持水性/ %	80.22±1.46 ^{Aa}	78.71±0.66 ^{Ab}	78.18±0.61 ^{Ab}	80.36±0.94 ^{Aa}	76.10±0.75 ^{Ab}	76.77±1.12 ^{Ba}
pH	7.716±0.06 ^{Aa}	7.23±0.08 ^{Ab}	7.64±0.13 ^{Aa}	7.69±0.05 ^{Aa}	7.08±0.15 ^{Ab}	7.43±0.10 ^{Aa}
指标	9 h			11 h		
	麻醉前	保活 9 h	复苏 24 h	麻醉前	保活 11 h	复苏 24 h
蛋白质/ (% , 干重)	70.42±0.35 ^{Aa}	65.31±0.92 ^{Bc}	64.32±0.25 ^{Bb}	70.24±0.23 ^{Aa}	64.69±0.18 ^{Cc}	64.95±0.53 ^{Cb}
脂肪/ (% , 干重)	18.25±0.22 ^{Aa}	16.98±0.31 ^{Bb}	16.78±0.21 ^{Ab}	18.32±0.12 ^{Aa}	15.98±0.14 ^{Cb}	15.22±0.35 ^{Ab}
持水性/ %	80.52±0.98 ^{Aa}	75.51±0.67 ^{Bb}	77.87±1.02 ^{Bb}	79.89±1.24 ^{Aa}	72.18±0.63 ^{Cc}	72.68±0.85 ^{Cb}
pH	7.76±0.04 ^{Aa}	6.98±0.18 ^{Bb}	7.50±0.22 ^{Aa}	7.72±0.07 ^{Aa}	6.95±0.09 ^{Bb}	7.49±0.11 ^{Aa}

注：所有数值均为平均值±标准差 (n=3)，显著性 $p < 0.05$ ，A-C：不同保活时间下数值差异显著；a-c：不同状态下数值差异显著。

新鲜的鱼肉 pH 偏弱碱性，pH 值急剧降低会影响鱼肉的新鲜度^[27]。如表1所示无水保活后 pH 会低于对照组 ($p < 0.05$)，表明此时机体内无氧代谢升高，导致乳酸含量增加，pH 值分别下降 0.33、0.42、0.79、0.83。Pottinger^[28]等认为肌肉中磷酸肌酸的损耗，乳酸和糖原的积累，也会导致 pH 值下降。在放入清水中复苏的过程中，鱼体进行有氧呼吸，鱼体内的乳酸被乳酸脱氢酶催化转化，导致其 pH 升高，与未处理组无显著性差异 ($p > 0.05$)。保活时间一定时，pH 基本能恢复到原始水平，这与杨兴等^[29]人对鲟鱼进行低温无水保活的肌肉品质的研究结果相似。

鱼体的营养部位为肌肉，肌肉中主要成分是水、蛋白质、脂肪等。目前，已有学者研究了保活过程中鱼类肌肉中的基本营养成分，无水保活中鱼肉内蛋白

质、粗脂肪会有一定程度的消耗^[30]。保活时间对鲷鱼肌肉粗脂肪和蛋白含量、持水力的影响结果如表3所示。随着无水保活时间的延长，蛋白质和粗脂肪呈逐渐下降趋势，蛋白质分别降低了 2.2%、2.6%、4.1%、6.3%，脂肪分别降低了 0.86%、1.28%、1.27%、3.34%。在保活过程中，鲷鱼不能摄食，为了维持鱼体代谢，粗脂肪和蛋白质作为供能物质被消耗，导致保活过程中鱼体肌肉蛋白质和脂肪含量的下降。清水中恢复 24 h 后，水温升高，无氧呼吸变成有氧呼吸，新陈代谢加快，耗能增加，导致粗脂肪和蛋白质分解产生能量。保活时间为 9 h，恢复 24 h 后脂肪和蛋白质下降最缓慢。持水力是指肌肉保持水的能力，主要与蛋白质三维网状结构和变性程度相关^[31]，由表1可知，保活过程中持水力无显著性下降，表明低温无水保活过程中，

蛋白质并没有变性。清水中复苏 24 h 后, 保活 9 h 的基本恢复至对照组水平, 但保活 11 h 的鲷鱼与对照组相比差异显著 ($p < 0.05$), 下降了 7.21%。何菊登等^[32]研究发现, 与未受到应激的个体相比, 大西洋鳕肌肉的含水量显著降低, 说明应激会导致肌肉含水量下降。与本试验中低温麻醉会导致鱼体产生应激持水力下降的结果基本一致。

3 结论

3.1 本文探讨出鲷鱼的较佳保活温度 4~8 °C、CO₂ 的浓度为 500~550 mg/L 以及麻醉液温度 6 °C。在较佳条件下将鲷鱼分别进行无水保活 5、7、9、11 和 13 h 后, 再移入清水中恢复 24 h 存活率分别为 100%、100%、95%、45%和 20%, 所以保活时间在 9 h 以内, 存活率达 95%以上。

3.2 在低温无水环境中, 保活一定时间后血液中谷草转氨酶、乳酸脱氢酶、丙酮酸激酶、肌酐和尿素氮活力与对照组相比明显升高 ($p < 0.05$), 而肌糖原浓度明显下降 ($p < 0.05$), 当季暂养水温中恢复 24 h 后, 保活 9 h 的鲷鱼血液活性指标基本都回到对照组状态, 但保活时间 11 h 的鲷鱼复苏后谷草转氨酶、尿素氮、肌酐活性依然显著高于对照组水平 ($p < 0.05$), 表明无水保活时间过长会对鲷鱼肝脏、肾脏造成永久损伤, 所以保活 11 h 的鱼体存活率很低。无水保活后, 肌肉主要成分指标持水性、粗脂肪、蛋白质和 pH 值稍低于对照组, 而保活 11 h 的鲷鱼, 粗脂肪和 pH 值下降显著 ($p < 0.05$)。清水中恢复 24 h 后, 代谢速率加快, 无氧呼吸变成有氧呼吸, 持水性和 pH 上升, 粗脂肪、肌糖原等供能物质含量降低。综上所述, 二氧化碳无水保活鲷鱼的过程中, 保活时间会对血液生化指标和肌肉品质造成一定的影响。当保活时间过长时, 会对鱼体造成不可逆的损伤, 从而影响存活率。本文的研究结果为二氧化碳麻醉无水保活运输技术提供了理论支撑。

参考文献

- [1] 吕飞, 陈灵君, 丁玉庭. 鱼类保活及运输方法的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(10): 225-228
LYU Fei, CHEN Ling-jun, DING Yu-ting. Research progress of fish preservation and transportation methods [J]. Food Research and Development, 2012, 33(10): 225-228
- [2] Barento S, Marques A, Pedro S, et al. The trade of live crustaceans in Portugal: space for technological improvements [J]. Ices Journal of Marine Science, 2008, 65(4): 551-559
- [3] 程君晖, 吴际萍, 王海霞, 等. 淡水鱼无水保活方法比较[J]. 食

品研究与开发, 2009, 30(9): 152-154

- CHENG Jun-hui, WU Ji-ping, WANG Hai-xia, et al. Compared with the methods of water conservation in freshwater fish [J]. Food Research and Development: 2009, 30(9): 152-154
- [4] Xu M, Ji B, Zou J, et al. Experimental investigation on the transport of different fish species in a jet fish pump [J]. Aquacultural Engineering, 2017, 79(10): 42-48
- [5] Samet M, Nakamura K, Nagayama T. Tolerance and respiration of the prawn (*Penaeus japonicus*) under cold air conditions [J]. Aquaculture, 1996, 143(2): 205-214
- [6] Ibarz A, Padrós F, Gallardo M Á, et al. Low-temperature challenges to gilthead sea bream culture: review of cold-induced alterations and winter syndrome [J]. Reviews in Fish Biology & Fisheries, 2010, 20(4): 539-556
- [7] Santos S, Ghanawi J, Saoud I P. Effects of water temperature and body weight on anaesthetic efficiency in marbled rabbitfish (*Siganus rivulatus*) [J]. Aquaculture Research, 2015, 46(4): 928-936
- [8] 周翠平. 罗非鱼二氧化碳麻醉无水保活技术研究[D]. 广东海洋大学, 2015
ZHOU Cui-ping. Studies on techniques of carbon dioxide anaesthesia without water and soil conservation in tilapia [D]. Guangdong Ocean University, 2015
- [9] 范兴. 麻醉对罗非鱼和金鲳鱼离水保活的影响[D]. 广西大学, 2014
FAN Xing. Effects of anesthesia on the dissociation of Tilapia and Pomfret [D]. Guangxi University, 2014
- [10] Benjakul S, Enjakul S, Sutthipan N. Muscle changes in hard and soft shell crabs during frozen storage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(3): 723-729
- [11] 田兴. 运输应激对黄颡鱼和斑点叉尾鲷血液生化指标和肌肉品质的影响[D]. 华中农业大学, 2016
TIAN Xing. Effect of transport stress on blood biochemical indexes and muscle quality of Catfish [D]. Hua zhong Agricultural University, 2016
- [12] Tang S, Thorarensen H, Brauner C J, et al. Modeling the accumulation of CO₂ during high density, re-circulating transport of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, from observations aboard a sea-going commercial live-haul vessel [J]. Aquaculture, 2009, 296(1-2): 102-109
- [13] 李念文, 汤元睿, 谢晶, 等. 物流过程中大眼金枪鱼 (*Thunnus obesus*) 的品质变化[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 319-323
LI Nian-wen, TANG Yuan-rui, XIE Jing, et al. Quality change of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the process of logistics [J]. Food Science, 2013, 34(14): 319-323

- [14] 米红波. 鲫鱼和中国对虾的无水保活及冰温保鲜技术研究[D]. 浙江大学, 2014
MI Hong-bo. Studies on soil and water conservation and ice temperature preservation of *Carassius auratus* and *Penaeus chinensis* [D]. Zhejiang University, 2014
- [15] GB/T 5009.5-2016, 食品中蛋白质的测定[S]
GB/T 5009.5-2016, Determination of Protein in Foods [S]
- [16] GB/T 5009.6-2016, 食品中粗脂肪的测定[S]
GB/T 5009.6-2016, Determination of Crude fat in Foods [S]
- [17] 陈亚勋, 屈小娟, 郭明慧, 等. 高密度 CO₂ 在肉制品和水产品加工中的应用[J]. 现代食品科技, 2014, 9: 304-311
CHEN Ya-xun, QU Xiao-juan, GUO Ming-hui, et al. Application of high density CO₂ in meat and aquatic products processing [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 9: 304-311
- [18] 杨晓. 低温处理对团头鲂肉质及血液生化特性的影响[D]. 华中农业大学, 2011
YANG Xiao. Effect of low temperature treatment on meat quality and blood biochemical characteristics of Blunt bream [D]. Huazhong Agricultural University, 2011
- [19] LI F J. Effects of dietary fish oil substitution with linseed oil on growth, muscle fatty acid and metabolism of tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2016, 22(3): 499-508
- [20] Harikrishnan R, Kim M C, Kim J S, et al. Immunomodulatory effect of probiotics enriched diets on *Uronema marinum* infected olive flounder [J]. Fish & Shellfish Immunology, 2011, 30(3): 964-971
- [21] 周传朋, 刘波, 谢骏, 等. 抗应激制剂对运输团头鲂血清生化和肝脏抗氧化指标的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(1): 8-14
ZHOU Chuan-peng, LIU Bo, XIE Jun, et al. Effect of anti-stress preparation on serum biochemical and liver antioxidant indexes of transport bream [J]. Aquatic Science, 2014, 33(1): 8-14
- [22] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5 种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73
HU Fen, LI Xiao-ding, XIONG Shan-bai, et al. Analysis of texture characteristics and their correlation with nutritional components of 5 species of freshwater fish [J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73
- [23] 刘伟东, 薛长湖, 殷邦忠, 等. 低温下大菱鲆有水和无水保活过程中生理生化变化的研究[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(5): 69-74
LIU Wei-dong, XUE Chang-hu, YIN Bang-zhong, et al. Study on physiological and biochemical changes of turbot under low temperature during the process of water-bearing and non-water conservation [J]. Progress of Fishery Science, 2009, 30(5): 69-74
- [24] 高捷, 刘红英, 齐凤生, 等. 缢蛏保活过程中糖原变化的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(5): 361-362
GAO Jie, LIU Hong-ying, QI Feng-sheng, et al. Study on glycogen change during razor clam survival [J]. Food Industry Science and Technology, 2011, 32(5): 361-362
- [25] 江杨阳, 杨水兵, 余海霞, 等. 不同冻结方式对红虾肌肉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(10): 142-148
JIANG Yang-yang, YANG Shui-bing, YU Hai-xia, et al. Effects of different freezing methods on muscle quality of red Shrimp [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(10): 142-148
- [26] Donaldson M R, Cooke S J, Patterson D A, et al. Cold shock and fish [J]. Journal of Fish Biology, 2008, 73(7): 1491-1530
- [27] 田娟, 涂玮, 曾令兵, 等. 饥饿和再投喂期间尼罗罗非鱼生长、血清生化指标和肝胰脏生长激素、类胰岛素生长因子-I 和胰岛素 mRNA 表达丰度的变化[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 900-907
TIAN Juan, TU Wei, ZENG Ling-bing, et al. The changes in growth, serum biochemical indices and GH/IGF- I/IN mRNA expression abundance of *Oreochromis niloticus* during fasting and re-feeding [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(6): 900-907
- [28] 刘波, 何庆国, 唐永凯, 等. 饥饿胁迫对吉富罗非鱼生长及生理生化指标的影响[J]. 中国水产科学, 2009, 16(2): 230-237
LIU Bo, HE Qing-guo, TANG Yong-kai, et al. Effects of starvation on growth, physiological and biochemical parameter of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(2): 230-237
- [29] Chiu S W, Wang Z M, Leung T M, et al. Nutritional value of ganoderma extract and assessment of its genotoxicity and antigenotoxicity using comet assays of mouse lymphocytes [J]. Food & Chemical Toxicology, 2000, 38(2-3): 173-178
- [30] 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 Xue-juan, QIN Xiao-ming, LIN Hua-juan, et al. Variations of main nutrient components in the process of cryogenic preservation of clam [J]. Food Science & Technology, 2008, 33(6): 90-93
- [31] 张丽. 大黄鱼保活运输及冰温保鲜的研究[D]. 上海海洋大学, 2011
ZHANG Li. Preservation and transportation of large yellow

- croaker and preservation of ice temperature [D]. Shang Hai Ocean University, 2011
- [32] 何登菊,杨兴,姚俊杰,等.低温保活运输对鲟鱼肌肉主要营养成分的影响[J].贵州农业科学,2010,38(6):157-158
- HE Deng-ju, YANG Xing, YAO Jun-jie, et al. Effects of low temperature and live transportation on the main nutritional components of sturgeon muscle [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(6): 157-158

