

急性低温胁迫对条纹锯鲈血清生化指标的影响

油九菊, 李伟业, 殷小龙, 徐志进, 柳敏海, 章霞, 傅荣兵* (浙江省舟山市水产研究所, 浙江舟山 316000)

摘要 [目的] 分析不同急性低温胁迫强度、胁迫持续时间下条纹锯鲈血清生化指标的变化, 为其健康养殖和耐寒机制研究提供理论依据。[方法] 以条纹锯鲈为研究对象, 分别从暂养水温 13 °C 急性胁迫到 3、5、7 °C, 分析 3 个急性低温胁迫强度、不同胁迫时间(0、2、6、12、24、48 h) 对条纹锯鲈血清生化指标的影响。[结果] I、II 组谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、乳酸脱氢酶(LDH)和肌酸激酶同工酶(CK-MB)活性呈先升后降的趋势, 各组碱性磷酸酶(ALP)活性均显著高于胁迫前($P < 0.05$); I、II 组血清总胆固醇(TC)和甘油三酯(TG)先降后升至胁迫前水平, 12 h 后 III 组总蛋白(TP)、TG、TC 含量均显著低于胁迫前水平($P < 0.05$), I、II 组葡萄糖(GLU)含量 48 h 时显著上升($P < 0.05$); I、II 组 48 h 时血清离子与胁迫前无显著差异($P > 0.05$), III 组 K^+ 和 Ca^{2+} 含量显著下降($P < 0.05$), Na^+ 和 Cl^- 含量显著上升($P < 0.05$)。[结论] 在条纹锯鲈养殖生产和低温驯养过程中, 应尽量降低胁迫强度和缩短胁迫时间。

关键词 条纹锯鲈; 急性低温胁迫; 血清生化指标

中图分类号 965.3

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)08-0109-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.028



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Acute Cooling Stress on the Serum Biochemical Parameters in *Centropristis striata*

YOU Jiu-ju, LI Wei-ye, YIN Xiao-long et al (Zhoushan Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan, Zhejiang 316000)

Abstract [Objective] To analyze the changes of serum biochemical parameters in *Centropristis striata* under different acute low temperature stress and the duration of the stress and provide theoretical basis for healthy breeding and cold-resistant mechanism of *C. striata*. [Method] Using *C. striata* as research subject, the effects of three acute cooling stress intensities (from the temporary culture temperature 13 °C to 3, 5, 7 °C in group I, II and III respectively) and different duration (0, 2, 6, 12, 24 and 48 h) on the serum biochemical parameters of *C. striata* were analyzed. [Result] The activities of serum ALT, AST, LDH and CK-MB in I, II groups showed the change trend of first increasing and then decreasing. ALP activity in each group was significantly higher than that before the stress ($P < 0.05$). TC and TG in the serum in I, II groups first decreased and then increased up to the level before the stress, and TP, TG, TC contents in III group after 12 h were significantly lower than those before the stress ($P < 0.05$). The glucose (GLU) content in II group at 48 h significantly increased ($P < 0.05$), serum ion in I and II groups at 48 h had no significant difference with that before the stress ($P > 0.05$). The contents of K^+ , Ca^{2+} in group III decreased significantly ($P < 0.05$), Na^+ and Cl^- contents significantly increased ($P < 0.05$). [Conclusion] The stress intensity and stress time should be reduced as possible, in the process of breeding production and low temperature domestication.

Key words *Centropristis striata*; Acute low temperature stress; Serum biochemical parameters

条纹锯鲈(*Centropristis striata*), 俗称美洲黑石斑鱼^[1], 隶属鲈科石斑鱼亚科石斑鱼属, 属于温性海洋鱼类, 具有病害少、生长快、肉质鲜美等优点, 是一种经济效益显著的优良养殖品种。目前国内外对条纹锯鲈的研究集中在养殖繁育技术^[2-6]、早期发育^[7-10]、营养研究^[11-13]等方面, 有关条纹锯鲈生理生化的研究报道较少, 仅郑磊等^[14]对条纹锯鲈血清中的免疫球蛋白(IgM)进行了分离纯化, 获得了具有较高特异性的兔抗条纹锯鲈 IgM 血清。血液生化成分及其含量是鱼类健康状况、营养水平及对环境的适应性的重要评价指标。笔者分析了不同急性低温胁迫强度、胁迫持续时间下条纹锯鲈血清生化指标的变化, 旨在为条纹锯鲈的健康养殖和耐寒机制研究等提供理论依据。

1 材料与方

1.1 材料 挑选规格均匀、摄食良好的条纹锯鲈 300 尾左右, 体长(12.10±0.26) cm, 体重(272.30±9.27) g, 暂养于车间水泥池, 暂养期间水温 13 °C, 每天 8:00 和 16:00 各投喂 1 次。暂养 14 d 后开展低温胁迫试验。

1.2 方法

1.2.1 试验设计。 试验在直径 2 m、水深 1.2 m 的圆形玻璃钢桶中进行。I、II、III 组分别将试验鱼从暂养水温 13 °C 急性胁迫到 10、8、6 °C, 即急降 3、5、7 °C, 每组 3 个平行, 每个试验桶随机放入 30 尾, 在此期间不投喂、不换水。低温胁迫试验组提前做好预试验, 采取加冰调节水温的方式进行急性降温, 并保证各试验组在整个试验过程中温差控制在±0.5 °C 内。

1.2.2 采样及生化指标测定。 随机取胁迫前的暂养试验鱼作为对照组, 记 0 h。各试验组分别在胁迫后 2、6、12、24、48 h 取样, 每桶每次随机捞取 3 尾, 快速用 200 mg/L 的 MS-220 麻醉, 吸干体表水分, 用 1.5 mL 灭菌注射器于尾静脉处取全血置于 1.5 mL 灭菌离心管中, 立即置于 4 °C 下至分层后, 4 000 r/min 低温离心 20 min, 取上清液置于新离心管中, 测定血清生化指标(求 3 尾样品测定结果的平均值), 包括谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、乳酸脱氢酶(LDH)、肌酸激酶同工酶(CK-MB)、碱性磷酸酶(ALP)、总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、肌酐(CREA)及 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 离子。血清离子使用南京建成生物工程研究所各指标相关试剂盒测定, 其余指标使用深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司全自动生化分析仪 BS220 测定。

1.3 数据统计与分析 试验数据使用 Excel 2007 软件进行初步处理后, 使用 SPSS 17.0 统计软件进行双因素方差分析, 采用 Duncan's 多重比较进行显著性检验, 结果均以“平均值

基金项目 海洋经济创新发展区域示范项目(浙海渔计[2015]29号); 舟山市现代渔业发展专项(舟财农[2016]52号)。

作者简介 油九菊(1985—), 女, 山东菏泽人, 工程师, 硕士, 从事海水鱼类苗种繁育及疫病防控技术研究。* 通信作者, 高级工程师, 硕士, 从事水产增殖养殖研究。

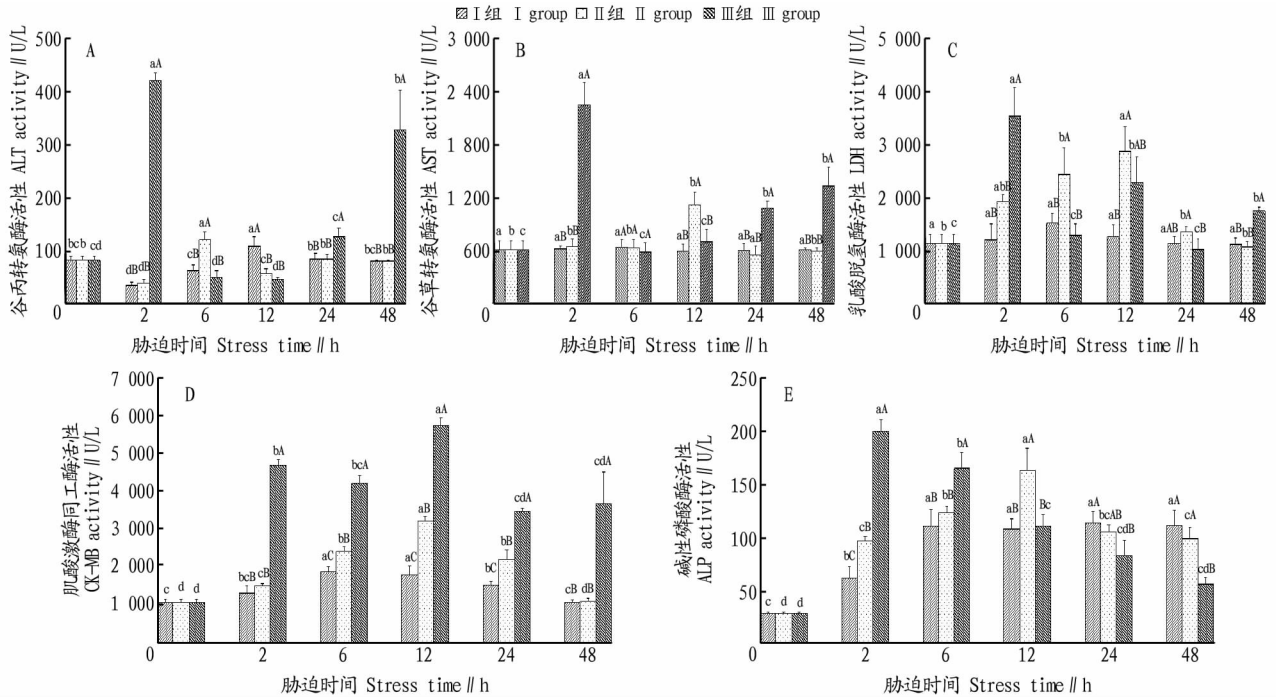
收稿日期 2018-10-17

±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 急性低温胁迫对条纹锯鲈血清酶活性的影响 从图1可以看出,条纹锯鲈受低温胁迫后,2 h时I组和II组ALT活性显著下降($P<0.05$),此后均先升后降,并分别于12、6 h达到峰值($P<0.05$),24、48 h缓慢恢复至胁迫前水平($P>0.05$);III组2、48 h出现2个激增点($P<0.05$)。I、II组AST、LDH和CK-MB活性均先升后降,48 h均降至胁迫前水

平($P>0.05$);III组AST、LDH、CK-MB活性呈波浪式变化,48 h时显著高于胁迫前水平($P<0.05$)。各组ALP活性均先升后降,48 h时均显著高于胁迫前水平($P<0.05$)。同一胁迫时间点I组和II组整体上各血清酶活性在2 h内、24 h后无显著差异($P>0.05$),6、12 h时II组酶活性整体上显著高于I组($P<0.05$),48 h II组血清酶活性低于I组($P>0.05$),III组24 h后血清酶活性与其他2组差异显著($P<0.05$)。



注:不同小写字母表示同一胁迫组不同时间点间存在显著差异($P<0.05$);不同大写字母表示同一时间点不同胁迫组间存在显著差异($P<0.05$)
Note: Different lowercase letters indicated significant differences among different time in the same stress group ($P<0.05$); different uppercase letters indicated significant differences among different stress groups at the same time ($P<0.05$)

图1 急性低温胁迫对条纹锯鲈血清酶活性的影响

Fig.1 Effects of acute cooling stress on serum enzyme activities of *C.striata*

2.2 急性低温胁迫对条纹锯鲈血清总蛋白、葡萄糖、总胆固醇、甘油三酯和肌酐含量的影响 从图2可看出,条纹锯鲈受低温胁迫后I组和II组TP、TC含量及II组TG含量均于2 h达到最低水平,I组TG含量6 h达到最低水平,此后均呈上升趋势,24 h后恢复至胁迫前水平,TP含量整体变化趋势不显著($P>0.05$),TC和TG含量在2~12 h内出现显著变化($P<0.05$)。III组TP含量12 h后显著下降($P<0.05$),TC和TG含量呈先降后升至6 h达到峰值,12 h后TC和TG含量逐渐降低,显著低于胁迫前水平($P<0.05$)。各组葡萄糖(GLU)含量随胁迫时间的延长呈上升趋势,I组、II组分别胁迫48、24 h后显著高于胁迫前水平($P<0.05$),III组24 h后GLU含量激增($P<0.05$)。同一胁迫时间点,整体上I组和II组间差异不显著($P>0.05$),而与III组差异显著($P<0.05$)。

各胁迫组CREA含量2 h均达到最低水平($P<0.05$),I组和II组2 h后先升后降,CREA含量分别于24、48 h恢复至胁迫前水平($P>0.05$)。III组CREA含量逐步上升,24 h后出现激增($P<0.05$)。在同一胁迫时间点,I组和II组间整体上

在6 h内、24 h后无显著差异($P>0.05$),24 h后II组低于I组($P>0.05$),而III组显著高于其他2组($P<0.05$)。

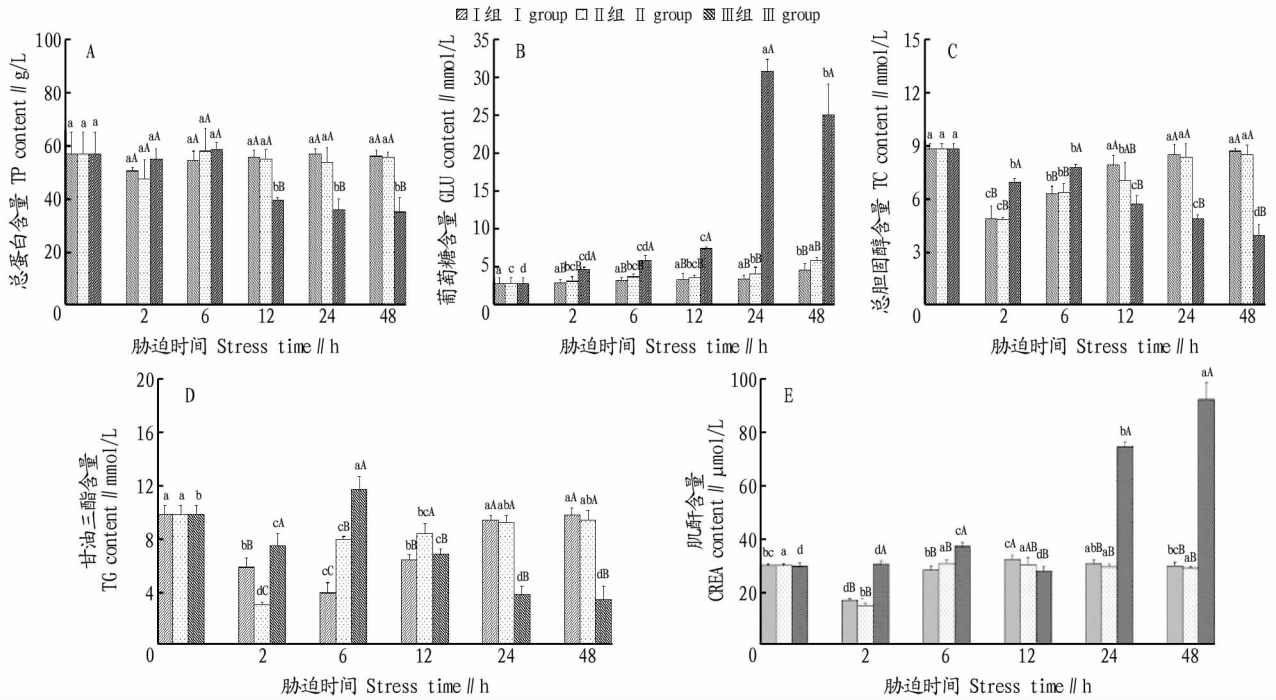
2.3 急性低温胁迫对条纹锯鲈血清离子含量的影响 从图3可以看出,条纹锯鲈受到低温胁迫后,各组血清 Ca^{2+} 含量呈先降后升趋势,I、II组均于24 h后恢复至胁迫前水平($P>0.05$),而III组48 h显著低于胁迫前水平($P<0.05$)。I组 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 含量及II组 K^+ 、 Na^+ 含量在不同时间点均无显著差异($P>0.05$),II组 Cl^- 含量先升后降,6 h显著上升($P<0.05$),48 h恢复至胁迫前水平($P>0.05$)。III组 K^+ 含量6 h后显著下降($P<0.05$), Na^+ 、 Cl^- 含量逐步上升,24 h后显著高于胁迫前水平($P<0.05$)。同一胁迫时间点I组和II组差异不显著($P>0.05$),而与III组胁迫24 h后存在显著差异($P<0.05$)。

3 结论与讨论

3.1 急性低温胁迫对条纹锯鲈血清酶活性的影响 鱼类大部分血清酶来自特定的组织器官中,其活性反映了相应组织器官的代谢水平和功能状态^[15-18]。ALT主要存在于肝细胞中,

是肝脏受损的重要指示酶之一;AST、LDH 和 CK-MB 大量存在于心肌细胞中,医学上称其为心肌酶,其活性的变化反映

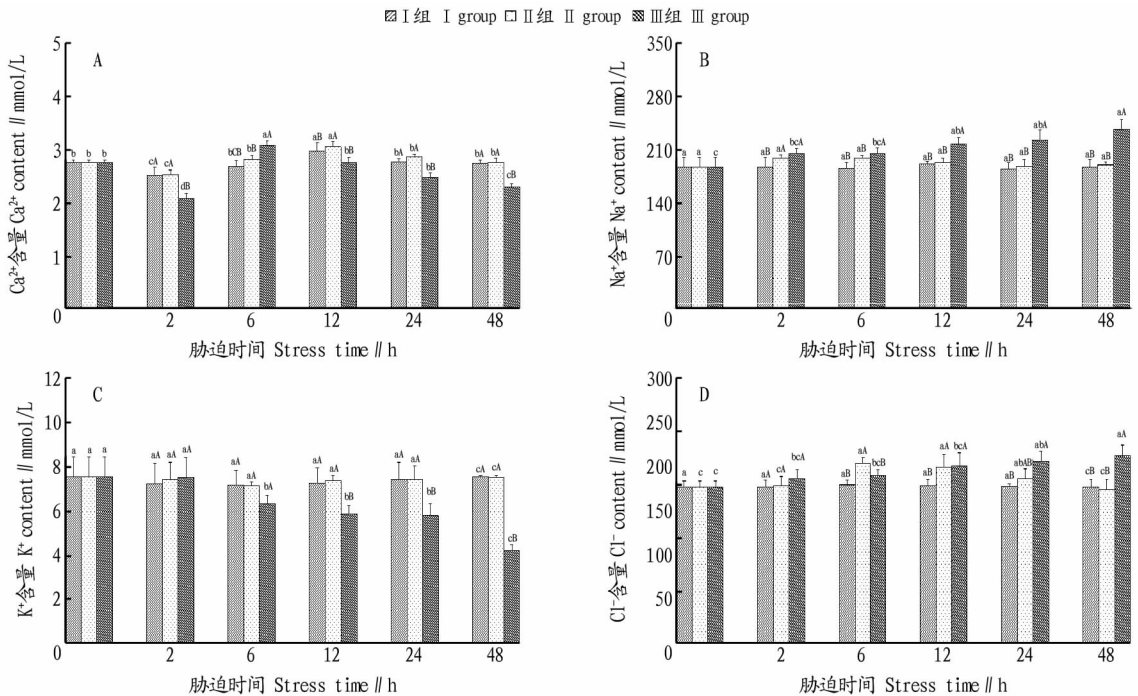
心肌的受损程度。以上这些代谢酶在血清中含量较少^[15],但当肝脏和心肌细胞受损时会影响血清中各代谢酶的活性。



注:不同小写字母表示同一胁迫组不同时间点间存在显著差异($P < 0.05$);不同大写字母表示同一时间点不同胁迫组间存在显著差异($P < 0.05$)
 Note: Different lowercase letters indicated significant differences among different time in the same stress group ($P < 0.05$); different uppercase letters indicated significant differences among different stress groups at the same time ($P < 0.05$)

图 2 急性低温胁迫对条纹锯鲷血清总蛋白、葡萄糖、总胆固醇、甘油三酯和肌酐含量的影响

Fig.2 Effects of acute cooling stress on the serum total protein, glucose, TC, TG and creatinine contents of *C. striata*



注:不同小写字母表示同一胁迫组不同时间点间存在显著差异($P < 0.05$);不同大写字母表示同一时间点不同胁迫组间存在显著差异($P < 0.05$)
 Note: Different lowercase letters indicated significant differences among different time in the same stress group ($P < 0.05$); different uppercase letters indicated significant differences among different stress groups at the same time ($P < 0.05$)

图 3 急性低温胁迫对条纹锯鲷血清离子含量的影响

Fig.3 Effects of acute cooling stress on serum ion content of *C. striata*

该试验中条纹锯鲈受低温胁迫后,Ⅲ组 ALT 及心肌酶活性出现多处激增点,试验结束时各代谢酶活性显著高于胁迫前水平,预示急降 7℃ 胁迫强度下肝细胞发生破损,同时刺激了其心肌细胞代谢加快,心肌受损或通透性增加,导致肝脏和心肌细胞中大量代谢酶释放到血清中,血清酶活性升高。这表明此胁迫强度已经对条纹锯鲈肝细胞和心肌细胞造成不可逆的损伤。这与朱文彬等^[16]、冀德伟等^[17]、何福林等^[19]关于低温胁迫对海水鱼血清酶指标的影响结果相符。该试验中 3℃、5℃ 胁迫强度组酶活性虽有所上升,但可通过自身调节分别于 24、48 h 恢复至胁迫前水平,表明 3、5℃ 胁迫强度下,条纹锯鲈对低温胁迫做出了补偿反应,逐步进入低温适应阶段。该试验还发现,不同胁迫时间点Ⅱ组胁迫 6、12 h 时酶活性整体上显著高于Ⅰ组,而 48 h Ⅱ组显著低于Ⅰ组,表明Ⅱ组较Ⅰ组做出了更大的补偿反应,通过调节血清酶活力可积极响应外界环境低温。

ALP 广泛存在于生物体内,也是鱼类一种重要的代谢调控酶,直接参与体内磷酸基团的转移和代谢,在鱼类物质代谢和免疫机制中发挥着重要作用。该试验中 3 个胁迫组整体上 ALP 活性有所升高,暗示着条纹锯鲈可能在急性低温胁迫下机体为防御低温,增加了脂类代谢水平和免疫调节功能,而 ALP 与肠内脂质代谢有关,因此血清中 ALP 含量增加。该试验结果与宁军号等^[18]关于水温骤降模式对褐篮子鱼(*Siganus fuscescens*)血液学的研究结果相一致。朱文彬等^[16]对马来西亚红罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*×*O. niloticus*)缓慢低温胁迫的研究也得到相似结论;冀德伟等^[17]发现对大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*) 8.5℃ 低温胁迫 36 h 后 ALP 活性下降;陈超等^[15]对七带石斑鱼(*Epinephelus septemfasciatus*)温胁迫 10 d,发现 ALP 活性没有显著变化,这可能与物质差异、胁迫强度及试验鱼个体大小有关。该试验还发现 48 h 时Ⅰ、Ⅱ组 ALP 活性显著高于胁迫前水平,Ⅲ组 24 h 后与胁迫前无显著差异,说明随胁迫时间的延长,7℃ 胁迫可能会对免疫机制和代谢造成损伤。

3.2 急性低温胁迫对条纹锯鲈三大能源物质和代谢产物的影响 血糖(以葡萄糖 GLU 为主)作为鱼类的主要能源物质,是反映机体碳水化合物的代谢水平的重要生化指标^[20]。鱼类中低温胁迫下的应激反应是一个耗能过程。一般认为,低温胁迫早期鱼类能源物质代谢以血糖代谢增加为主,即鱼体内的糖原转化成 GLU,使得 GLU 含量增加,加快糖的分解代谢,产生大量热量,以增强机体的御寒功能^[21-23]。随着低温胁迫强度的加强或胁迫时间的延长,机体将大量的 GLU 分解成三磷酸腺苷(ATP)提供能量,又使得 GLU 含量下降。常玉梅等^[24]、谢明媚^[25]在研究低温胁迫对鲤(*Cyprinus carpio*)、七带石斑鱼和银鲈(*Pampus argenteus*)血清生化指标影响时并未发现早期低温胁迫下血清 GLU 含量升高,而在低温胁迫的后期血清中糖原含量显著升高。该试验结果与常玉梅等^[24]研究结果相似,在低温胁迫早期(0~12 h),条纹锯鲈血清Ⅰ、Ⅱ组 GLU 含量上升不显著,但后期(24、48 h) GLU 含量显著上升,Ⅲ组在胁迫 12 h 后显著升高,尤其 24 h

后出现激增,可推测随胁迫时间的延长及胁迫强度的加大,鱼体产生了不适反应,导致血清中葡萄糖含量激增,以适应低温环境。

血清蛋白主要在肝脏中合成,参与鱼类各种生理活动,在鱼类低温应激过程中起重要的调节作用^[19]。该试验中Ⅰ、Ⅱ组 TP 含量有所下降,但与胁迫前变化不显著,而Ⅲ组血清 TP 含量在急性胁迫后呈先维持后显著降低的趋势,表明 7℃ 胁迫下条纹锯鲈肝脏功能出现障碍,蛋白合成能力下降,进而导致血清蛋白含量显著降低。这与七带石斑鱼^[15]、大黄鱼^[17]分别受 8.0、8.5℃ 胁迫后结果相似。TC 和 TG 是动物细胞脂肪贮存的主要形式以及细胞膜的重要组分。该试验中胁迫早期各组 TG 和 TC 含量都有所下降,Ⅲ组胁迫 48 h 时 TC 和 TG 含量显著低于胁迫前水平,这与鲤^[24]、马来西亚红罗非鱼^[16]、大黄鱼^[17]受低温胁迫后的结果一致,推测可能是由于低温对肝脏造成损伤,阻碍了 TC 和 TG 通过肠肝循环途径进入肝脏被重吸收,进而导致血清中 TC 和 TG 含量明显下降。Ⅰ组、Ⅱ组 24 h 后均又恢复到胁迫前水平,表明机体动用体内贮存的脂肪以维持生存代谢,也是受胁迫后鱼类对低温胁迫的一种反应。这与宁军号等^[18]对褐篮子鱼开展的水温缓降模式中 TC 和 TG 含量试验结果相似,而刘波等^[23]研究同属暖水性鱼类的吉富罗非鱼时发现,温度骤降应会使其血清 TC 含量显著上升,推测可能与试验鱼品种、胁迫强度及胁迫持续时间有关。

血清 CREA 是肌酸的代谢产物,与鱼体肌肉组织分解和肾脏功能相关^[26-28],主要经肾小球的过滤排出体外,是检测肾脏和鳃功能的重要指标^[27]。Sano^[27]研究表明低温条件下鱼体血清 CREA 水平升高,可能是温度对鱼的肾脏和鳃造成损伤,使得对 CREA 的过滤或排泄功能弱化所致。该试验中Ⅲ组 24 h 出现此 CREA 水平升高的现象,表明 7℃ 胁迫已对条纹锯鲈肾脏和鳃造成严重损伤。该试验中条纹锯鲈在 3、5℃ 组胁迫下 CREA 含量未出现 Sano^[27]所述现象,而呈先升后降的趋势,随胁迫时间的延长,均恢复至胁迫前水平,与褐篮子鱼^[18]对水温胁迫的应激结果相似,而七带石斑鱼^[15] CREA 含量随着低温胁迫时间的延长而下降。由此可见,鱼类在低温应激条件下血清 CREA 含量会因试验鱼品种、胁迫强度及胁迫时间的不同而存在差异。

3.3 急性低温胁迫对条纹锯鲈血清离子含量的影响 鱼类血清中 Na⁺、K⁺、Cl⁻、Ca²⁺等离子是维持细胞新陈代谢、调节体液渗透压和维持酸碱平衡的重要因子^[16]。Holmes 等^[28]认为血清离子失衡,尤其是血清中 K⁺失衡将导致细胞膜破裂,最终导致细胞死亡。该试验中Ⅲ组血清中 K⁺、Ca²⁺含量显著下降,可能是由于试验鱼代谢率降低,肌肉兴奋性下降所致;Na⁺、Cl⁻含量显著上升,这可能是由于细胞膜的渗透压调节功能弱化和通透性增加的结果。这与冀德伟等^[17]、Lebreton 等^[29]的研究结论一致。Ⅰ、Ⅱ组 48 h 离子含量恢复至胁迫前水平,表明血清离子含量随低温胁迫强度不同而有所差异。

综上所述,以初始水温 13℃ 下条纹锯鲈为胁迫对象,急

性低温胁迫 3、5 ℃,血清生化指标均分别于 24、48 h 恢复至胁迫前水平,急性胁迫 5 ℃(Ⅱ)组响应胁迫持续时间长于 3 ℃胁迫组(Ⅰ);急性胁迫 7 ℃,尤其胁迫 24 h 后条纹锯鲷血清各项生化指标会发生显著变化,预示此胁迫强度已对肝脏、心肌、肾脏等机体内脏功能造成不可逆的损伤。因此,在条纹锯鲷实际养殖生产及低温驯化期间,应尽量降低胁迫强度和缩短胁迫时间。

参考文献

- [1] 雷霖霖,卢继武.美洲黑石斑鱼的品种优势和养殖前景[J].海洋水产研究,2007,28(5):110-115.
- [2] 刘瑞棠.美洲黑石斑鱼海水网箱养殖技术[J].海洋与渔业,2012(4):59.
- [3] 郑国洪.美洲黑石斑与对虾、花蛤混养试验[J].海洋与渔业,2012(1):62-63.
- [4] 谢书秋.条纹锯鲷海水网箱养殖技术[J].渔业信息与战略,2014,29(4):285-288.
- [5] 毕浩,侯文杰.陆基循环水养殖美洲黑石斑技术[J].水产科技情报,2017,44(3):128-130.
- [6] 潘元潮,杨心德,陆波.美洲黑石斑大规模鱼种培育技术[J].水产养殖,2013(2):31-32.
- [7] 张廷廷,陈超,邵彦翔,等.美洲黑石斑鱼(*Centropomus striata*)消化系统胚后发育的组织学观察[J].渔业科学进展,2017,38(3):78-85.
- [8] 贾瑞锦,王鲁,赵从明,等.条纹锯鲷鱼胚胎发育及卵黄囊仔鱼形态变化的观察[J].渔业科学进展,2012,33(4):11-17.
- [9] 韩龙江,刘清华,官曙光,等.条纹锯鲷精液超低温冷冻保存研究[J].水产学报,2014,38(10):1714-1721.
- [10] 陈超,贾瑞锦,李炎璐,等.条纹锯鲷精子超微结构及其入卵过程的电镜观察[J].渔业科学进展,2014,35(5):97-103.
- [11] 林星.条纹锯鲷幼鱼配合饲料适宜的蛋白质、脂类含量及能蛋比[J].福建农林大学学报(自然科学版),2011,40(4):401-406.
- [12] 林星.条纹锯鲷肌肉营养成分分析与品质评价[J].养殖与饲料,2009(9):43-46.
- [13] 党冉,竺俊全,邱新志.美洲黑石斑鱼含肉率及肌肉营养成分分析[J].

海洋学研究,2010,28(2):60-66.

- [14] 郑磊,马振宇,吴斌,等.美洲黑石斑鱼血清 IgM 纯化及其兔抗血清部分特性[J].上海海洋大学学报,2011,20(4):494-498.
- [15] 陈超,施兆鸿,薛宝贵,等.低温胁迫对七带石斑鱼幼鱼血清生化指标的影响[J].水产学报,2012,36(8):1249-1255.
- [16] 朱文彬,刘浩亮,陈作志,等.低温胁迫对马来西亚红罗非鱼血清生化指标的影响[J].水产学杂志,2013,26(5):16-20.
- [17] 冀德伟,李明月,王天柱,等.不同低温胁迫时间对大黄鱼血清生化指标的影响[J].水产科学,2009,28(1):1-4.
- [18] 宁军号,秦宇博,胡伦超,等.水温骤降和缓降胁迫对褐篮子鱼血液生理生化指标的影响[J].大连海洋大学学报,2017,32(3):294-301.
- [19] 何福林,向建国,李常健,等.水温对虹鳟血液学指标影响的初步研究[J].水生生物学报,2007,31(3):363-369.
- [20] 臧坤,徐永江,柳学周,等.两种养殖条件下牙鲆的血液生理生化指标比较分析[J].渔业科学进展,2013,34(5):36-42.
- [21] PANSEERAT S, PERRIN A, KAUSHIK S. High dietary lipids induce liver glucose-6-phosphatase expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. The journal of nutrition, 2002, 132(2): 137-141.
- [22] 邵同先,张苏亚,康健,等.低温环境对家兔血清蛋白、血糖和钙含量的影响[J].环境与健康杂志,2002,19(5):379-380.
- [23] 刘波,王美姝,谢骏,等.低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响[J].生态学报,2011,31(17):4866-4873.
- [24] 常玉梅,匡友谊,曹鼎臣,等.低温胁迫对鲤血液学和血清生化指标的影响[J].水产学报,2006,30(5):701-706.
- [25] 谢明娟.急性温度胁迫对银鲑幼鱼各项生化指标的影响[D].上海:上海海洋大学,2016.
- [26] 尾崎久雄.鱼类血液与循环生理[M].上海:上海科学技术出版社,1982:151-154.
- [27] SANO T. Haematological studies of the culture fishes in Japan [J]. Journal of Tokyo University of Fisheries, 1962, 48: 105-109.
- [28] HOLMES W N, DONALDSON E M. The body compartments and the distribution of electrolytes [M] // HOAR W S, RANDALL D J. Fish physiology. New York: Academic Press, 1969: 1-89.
- [29] LEBRETON G T O, BEAMISH F W H. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* [J]. Environmental biology of fishes, 1998, 52: 477-482.

(上接第 103 页)

参考文献

- [1] XIAO J, LIU R, CHEN C S. Tree shrew (*Tupaia belangeri*) as a novel laboratory disease animal model [J]. Zool Res, 2017, 38(3): 127-137.
- [2] LI R F, YUAN B, XIA X S, et al. Tree shrew as a new animal model to study the pathogenesis of avian influenza (H9N2) virus infection [J]. Emerging microbes & infections, 2018, 7(166): 1-11.
- [3] 黄晓燕,徐娟,孙晓梅,等.树鼩在人类疾病动物模型中应用研究进展[J].实验动物科学,2013,30(2):59-64.
- [4] 刘昌孝.肠道菌群与健康、疾病和药物作用的影响[J].中国抗生素杂志,2018,43(1):1-12.
- [5] BEYO GLU D, SMITH R L, IDLE J R. Dog bites man or man bites dog? The enigma of the amino acid conjugations [J]. Biochem pharmacol, 2012, 83(10): 1331-1339.
- [6] UMESAKI Y, SETOYAMA H. Structure of the intestinal flora responsible for development of the gut immune system in a rodent model [J]. Microbes Infect, 2000, 2(11): 1343-1351.
- [7] 沈男,刘毅,盖中涛.肠道菌群与肠道疾病关系的研究进展[J].基础医学与临床,2018,38(7):1034-1037.
- [8] CAPORASO J G, LAUBER C L, WALTERS W A, et al. Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample [J]. PANS, 2011, 108(S1): 4516-4522.
- [9] QUSAT C, PRUESSE E, YILMAZ P, et al. The SILVA ribosomal RNA gene

dataset project: Improved data processing and web-based tools [J]. Nucl Acids Res, 2013, 41: 590-596.

- [10] 杨俊花,赵志辉,郭文博,等.应用 Illumina-MiSeq 高通量测序技术分析脱氧雪腐镰刀菌烯醇对小鼠肠道菌群的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(1): 158-167.
- [11] 张芹,周中凯,任晓冲,等.高通量测序技术研究糖尿病大鼠与正常大鼠粪便菌群的结构差异 [J]. 中国食品学报, 2017, 17(6): 232-238.
- [12] MORGAN X C, TICKLE T L, SOKOL H, et al. Dysfunction of the intestinal microbiome in inflammatory bowel disease and treatment [J]. Genome Biol, 2012, 13(9): 1-18.
- [13] LANGILLE M G, ZANEVELD J, CAPORASO J G, et al. Predictive functional profiling of microbial communities using 16S rRNA marker gene sequences [J]. Nature biotechnology, 2013, 31(9): 814-821.
- [14] LEY R E, TURNBAUGH P J, KLEIN S, et al. Microbial ecology: Human gut microbes associated with obesity [J]. Nature, 2006, 444: 1022-1023.
- [15] LEY R E, PETERSON D A, GORDON J I. Ecological and evolutionary forces shaping microbial diversity in the human intestine [J]. Cell, 2006, 124(4): 837-848.
- [16] HOOPER L V, MACPHERSON A J. Immune adaptations that maintain homeostasis with the intestinal microbiota [J]. Nat Rev Immunol, 2010, 10(3): 159-169.
- [17] RUIZ L, MARGOLLES A, SÁNCHEZ B. Bile resistance mechanisms in *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* [J]. Frontiers in microbiology, 2013, 4: 396.