

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180306001

http://www.yykxjz.cn/

范耘硕, 邵蓬, 贾旭颖, 高金伟, 窦勇, 史谢尧, 周文礼. 温度胁迫对大鳞副泥鳅抗氧化与非特异性免疫指标的影响. 渔业科学进展, 2019, 40(2): 58-64

Fan YS, Shao P, Jia XY, Gao JW, Dou Y, Shi XY, Zhou WL. Effects of temperature stress on partial antioxidant and non-specific immunity indices of *Paramisgurnus dabryanus*. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(2): 58-64

温度胁迫对大鳞副泥鳅抗氧化与非特异性免疫指标的影响*

范耘硕 邵蓬^① 贾旭颖 高金伟 窦勇 史谢尧 周文礼

(天津市水产生态与养殖重点实验室 天津农学院水产学院 天津 300384)

摘要 为研究大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)对温度胁迫的适应能力,开展了温度胁迫与恢复实验。设置对照组(22℃)、高温组(29℃)、降温组(15℃)与低温组(8℃)4个处理,在胁迫期的第1、2、4、8、12 h与恢复期第4、8、12、24 h取肝脏,测定其超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、溶菌酶(LZM)、碱性磷酸酶(AKP)活力和丙二醛(MDA)、血清谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)含量。结果显示,胁迫期内肝脏SOD和CAT活力均在温度骤变的影响下受到抑制,显著低于对照组水平($P<0.05$),MDA含量则显著升高($P<0.05$);恢复期内各实验组SOD和CAT活力均逐渐升高,MDA含量逐渐降低,至恢复期结束时,对照组与各实验组间无显著差异($P>0.05$)。温度骤变条件下,各实验组肝脏LZM与AKP活力显著降低($P<0.05$),恢复期内高温组LZM与AKP活力无明显变化,降温组与低温组LZM与AKP活力则逐渐升高,至恢复期结束时与对照组无显著差异($P>0.05$)。温度胁迫显著升高血清中AST与ALT含量($P<0.05$),恢复期内各实验组AST与ALT含量均呈下降趋势,至恢复期结束时,除高温组ALT含量外均降至对照组水平。研究表明,温度胁迫显著降低大鳞副泥鳅SOD、CAT、LZM与AKP活力,MDA与血清转氨酶AST、ALT含量升高,其中,高温胁迫会对大鳞副泥鳅非特异性免疫功能造成不可逆破坏,其他抑制均为可恢复的。

关键词 大鳞副泥鳅; 温度胁迫; 温度恢复; 抗氧化性能; 非特异性免疫

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2019)02-0058-07

水产动物在养殖与运输过程中会受到多种胁迫因子的影响。机体在胁迫作用下的应激反应分为三级(Wendelaar Bonga, 1997),其中,主要应激反应包括儿茶酚胺和皮质醇循环水平的增加;继发性应激反应由主要反应引起,包括能量调动的增加,主要表现为高血糖和脂质代谢量的上升,为应对胁迫提供了必要

的能量。其他继发性应激反应与体内渗透压及心血管、呼吸和免疫功能有关(Barton, 2002)。而主要应激反应与继发性应激反应可能会引起影响鱼体机能的三级应激反应,如生长性能、繁殖能力和存活率等(Schreck, 2010)。温度胁迫是水产养殖过程中重要的胁迫因子之一,鱼类对水温变化的响应主要表现为摄

* 天津市科技计划项目(15ZXBFNC00120; 16ZXZYNC00080; 17ZXBFNC00130)和天津市高等学校“创新团队培养计划”现代水产生态健康养殖(TD13-5089)共同资助[This work was supported by Tianjin Science and Technology Plan Projects (15ZXBFNC00120; 16ZXZYNC00080; 17ZXBFNC00130) and Modern Aqua-Ecology and Health Aquaculture Innovation Team of Tianjing (TD13-5089)]. 范耘硕, E-mail: 1243437314@qq.com

^① 通讯作者: 邵蓬, 高级工程师, E-mail: vipshaopeng@sohu.com

收稿日期: 2018-03-06, 收修改稿日期: 2018-03-28

食量、生长周期、繁殖率和存活率等生理生化指标的变化(李勇等, 2011)。抗氧化酶通常存在于好氧生物的各种组织中, 超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(Catalase, CAT)是水生动物的抗氧化因子, 可以除去体内过量的活性氧自由基(成艳波等, 2017)。抗氧化酶活力直接受温度调控, 环境温度过高或过低会导致抗氧化酶活力下降(刘峰等, 2016; 罗伟等, 2017)。非特异性免疫是鱼类免疫反应的主要机制, 溶菌酶(Lysozyme, LZM)和碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase, AKP)是这一过程中的 2 个关键酶(薛宝贵等, 2013)。温度也是刺激鱼类非特异性免疫机能变化的主要环境因素之一, 当环境温度低于鱼类最适水温时, 鱼体的免疫反应通常会降低或延迟, 而过高的水温则会造造成与免疫相关酶活力的丧失, 影响鱼类正常的免疫应答反应(Raida *et al.*, 2007; Bowden, 2008)。

大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)为鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae)、副泥鳅属(*Paramisgurnus*), 属温水性鱼类, 具有口感风味佳, 营养价值高, 生长速度快, 环境耐受力强等特点, 已成为东亚地区, 特别是中国和韩国重要的淡水养殖品种之一(You *et al.*, 2011; Xia *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2015)。目前, 关于温度胁迫对水产动物影响的研究多见于常见或名贵水产经济动物, 而关于温度胁迫对大鳞副泥鳅的研究较少。本研究以大鳞副泥鳅为研究对象, 通过对实验鱼进行 4 种温度下 12 h 的胁迫实验及 24 h 的恢复实验, 测定肝脏和血清中部分抗氧化与非特异性免疫指标的变化, 以期为评价大鳞副泥鳅对环境变化的适应能力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验用鱼与饲养管理

实验用鱼由天津鸿腾水产科技发展有限公司提供, 体重为(38.20±3.70) g, 体长为(19.3±2.8) cm。实验用鱼运回实验室后, 暂养 7 d, 暂养水温为 22℃。实验开始前, 选取大小均匀、体格健壮、活力较强的个体, 禁食 24 h 后用于实验。实验分为胁迫期与恢复期, 实验共 36 h, 其中, 胁迫期为 12 h, 分为 4 个处理, 分别标记为对照组、高温组、降温组和低温组, 对应水温分别为 22℃、29℃、15℃和 8℃, 每个处理设 3 个平行, 每个平行使用 60 L 玻璃水槽养殖容器, 每个水槽中随机放 60 尾鱼。使用加热棒和制冷循环水机控制温度, 各水槽温度误差为±0.5℃, 每 20 min 检测 1 次水温; 恢复期为 24 h, 各处理水温快速调整

至(22±0.5)℃。实验用水为曝气 48 h 的自来水, 实验期间使用气泵充气, 水体 pH 为 8.5~8.0, 溶解氧为 6.1~7.3 mg/L, 总 NH₄⁺-N 浓度为 0.2~0.3 mg/L。

1.2 样品采集

在胁迫期的第 1、2、4、8、12 h 及恢复期的第 4、8、12、24 h(以 r-4、r-8、r-12 和 r-24 h 表示)分别取血清和肝脏样品, 每次随机从各槽中取出 5 尾实验鱼, 使用 MS-222 (0.5 mg/L)麻醉后, 进行尾静脉取血, 将取出的血液转入 1.5 ml 离心管后, 4℃静置 2 h, 4℃条件下, 3000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 转入-80℃超低温冰箱保存; 取血后, 在冰盘上解剖实验鱼, 取肝脏, 用 4℃去离子水冲洗, 并按 1:9(W/V)加入预冷生理盐水(4℃, 0.86%), 使用玻璃匀浆器在冰水浴中匀浆, 制成 10%组织匀浆液, 4℃条件下 3500 r/min 离心 10 min, 取上清液, 转入-80℃超低温冰箱保存。

1.3 实验指标测定

实验鱼肝脏样品中的 CAT、SOD、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)、LZM 及 AKP 分别采用南京建成生物工程研究所提供的 A007-2 过氧化氢酶(CAT)测定试剂盒(可见光法)、A001-1 总超氧化物歧化酶(T-SOD)试剂盒(羟胺法)、A003-1 丙二醛(MDA)测定试剂盒(TBA 法)、A050-1 溶菌酶(LZM)检测试剂盒(比浊法)以及 A059-1 碱性磷酸酶(AKP)试剂盒(可见光比色法)进行测定, 测定仪器为 SHIMADZU 紫外 UVmini-1240 可见分光光度计, Thermo Scientific Varioskan Flash 全波长扫描式多功能读数仪(多功能酶标仪); 血清谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)、谷草转氨酶(Aspartate transaminase, AST)含量使用东芝 TBA-120FR 全自动生化分析仪进行测定; 使用考马斯亮蓝 G250 染料结合法测定总蛋白质含量(Bradford, 1976)。

1.4 实验数据处理

实验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示。使用 IBM SPSS 21.0 对实验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan 多重比较, 设定 *P* 值为 0.05, *P*<0.05 表示差异显著。

2 结果

2.1 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏抗氧化相关指标的影响

实验期间, 对照组 SOD 活力基本稳定。温度胁迫显著降低肝脏 SOD 活力(*P*<0.05), 至胁迫期结束

(12 h), 各实验组 SOD 活力均显著低于对照组 ($P<0.05$), 其中, 高温组 SOD 活力最低, 显著低于其他处理组 ($P<0.05$)。恢复期内, 各实验组 SOD 活力均逐渐升高, 至恢复期结束时(r-24 h), 各实验组 SOD 活力基本恢复至对照组水平 ($P>0.05$) (图 1)。对照组 CAT 活力在实验期间基本稳定。温度胁迫显著降低肝脏 CAT 活力 ($P<0.05$), 至胁迫期结束(12 h), 各实验组 CAT 活力均显著低于对照组 ($P<0.05$), 其中, 高温组显著高于降温组与低温组 ($P<0.05$)。恢复期内, 各实验组 CAT 活力均逐渐升高, 至恢复期结束时(r-24 h), 各实验组 CAT 活力基本恢复至对照组水平 ($P>0.05$) (图 2)。对照组 MDA 含量在实验期间基本稳定。温度胁迫显著升高肝脏 MDA 含量 ($P<0.05$), 至胁迫期结束(12 h), 各实验组 MDA 含量均显著高于对照组 ($P<0.05$), 其中, 低温组显著高于高温组 ($P<0.05$)。恢复期内, 各实验组 MDA 均逐渐下降, 至恢复期结束时(r-24 h), 各实验组 MDA 含量基本恢复至对照组水平 ($P>0.05$) (图 3)。

2.2 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 LZM 与 AKP 活力的影响

实验期间, 对照组 LZM 活力基本稳定。温度胁迫显著降低肝脏 LZM 活力 ($P<0.05$), 至胁迫期结束(12 h), 各实验组 LZM 活力均显著低于对照组 ($P<0.05$)。恢复期内, 高温组 LZM 活力基本稳定, 降温组与低温组逐渐升高, 至恢复期结束时(r-24 h), 高温组 LZM 活力显著低于其他各组 ($P<0.05$), 降温组与

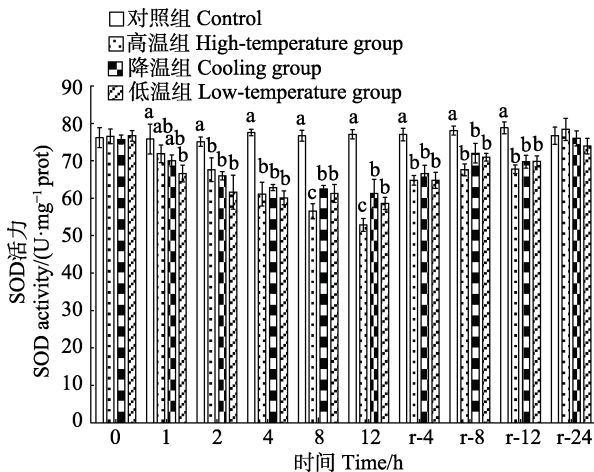


图1 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 SOD 活力的影响
Fig.1 Effects of temperature stress on SOD activity of *P. dabryanus*

不同字母表示在同一时间点, 各实验组之间差异显著 ($P<0.05$), 下同
Different letters represent significant differences ($P<0.05$). The same as below

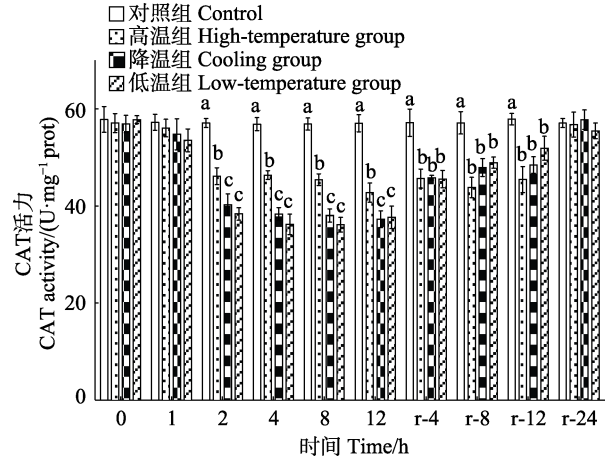


图2 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 CAT 活力的影响
Fig.2 Effects of temperature stress on CAT activity of *P. dabryanus*

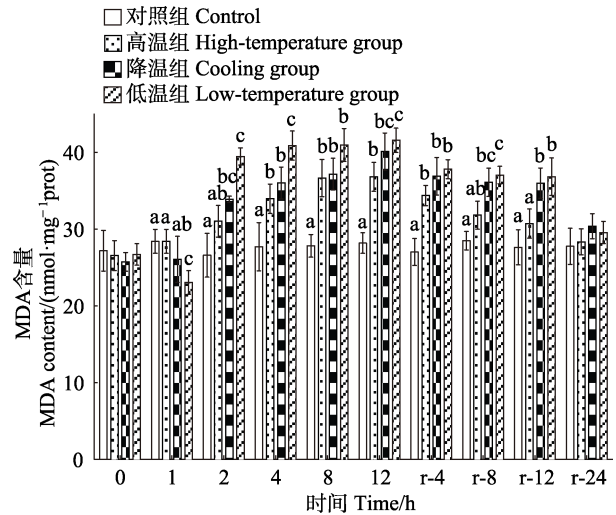


图3 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 MDA 含量的影响
Fig.3 Effects of temperature stress on MDA content of *P. dabryanus*

低温组基本恢复至对照组水平 ($P>0.05$) (图 4)。对照组 AKP 活力在实验期间基本稳定。温度胁迫显著降低肝脏 AKP 活力 ($P<0.05$), 至胁迫期结束(12 h), 各实验组 AKP 活力均显著低于对照组 ($P<0.05$)。恢复期内, 高温组 AKP 活力基本稳定, 降温组与低温组逐渐升高, 至恢复期结束时(r-24 h), 高温组 AKP 活力显著低于其他各组 ($P<0.05$), 降温组与低温组基本恢复至对照组水平 ($P>0.05$) (图 5)。

2.3 温度胁迫对大鳞副泥鳅血清转氨酶含量的影响

实验期间, 对照组 AST 含量基本稳定。温度胁迫显著升高肝脏 AST 含量 ($P<0.05$), 至胁迫期结束(12 h), 各实验组 AST 含量均显著高于对照组 ($P<0.05$)。恢复期内, 各实验组 AST 含量均呈先升高后下降的趋势, 至恢复期结束时(r-24 h), 各实验组 AST

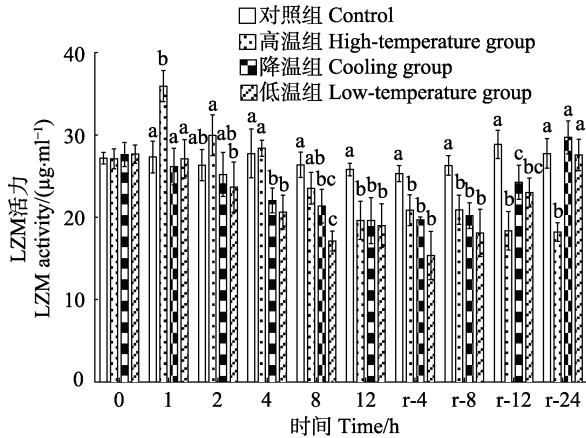


图 4 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 LZM 活力的影响
Fig.4 Effects of temperature stress on LZM activity of *P. dabryanus*

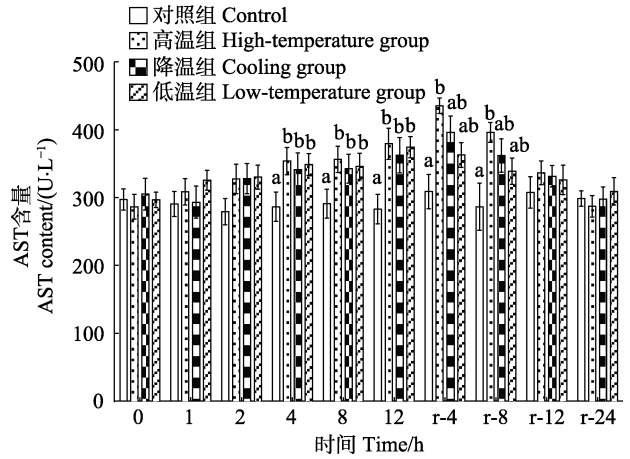


图 6 温度胁迫对大鳞副泥鳅血清 AST 含量的影响
Fig.6 Effects of temperature stress on AST content of *P. dabryanus*

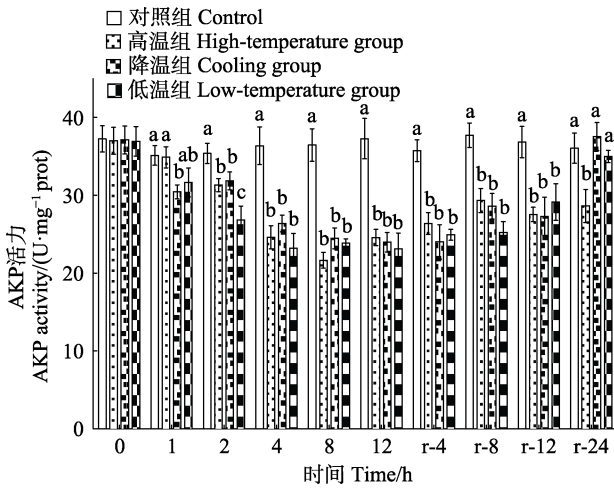


图 5 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 AKP 活力的影响
Fig.5 Effects of temperature stress on AKP activity of *P. dabryanus*

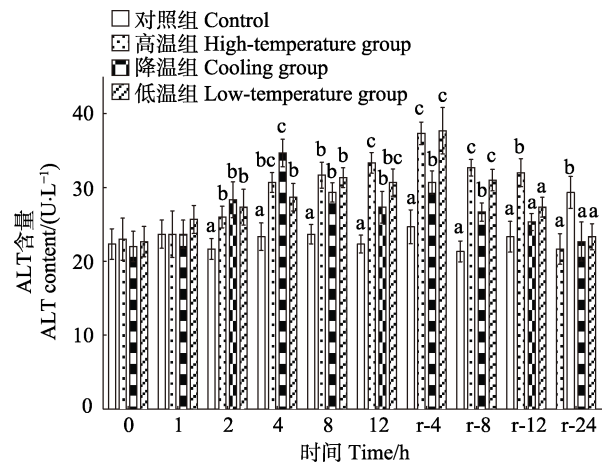


图 7 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏 ALT 含量的影响
Fig.7 Effects of temperature stress on ALT content of *P. dabryanus*

含量基本恢复至对照组水平($P>0.05$) (图 6)。对照组 ALT 含量在实验期间基本稳定。温度胁迫显著升高血清 ALT 含量($P<0.05$)，至胁迫期结束(12 h)，各实验组 ALT 含量均显著高于对照组($P<0.05$)，其中高温组显著高于降温组。恢复期内，各实验组 ALT 含量均呈先升高后下降的趋势，至恢复期结束时(r-24 h)，高温组 ALT 活力显著高于其他各组($P<0.05$)，降温组与低温组基本恢复至对照组水平($P>0.05$) (图 7)。

3 讨论

3.1 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏抗氧化指标相关酶活力的影响

应激可以通过细胞色素 C 氧化酶复合物功能增加肝细胞色素 P450 产生活性氧自由基的能力(Kato, 1977)，而过量的自由基会导致肝脏损伤。SOD 通过

去除自由基来平衡氧化和抗氧化过程，从而防止细胞损伤；CAT 催化 H_2O_2 分解为氧和水，阻断高活力羟基自由基反应，并阻止 H_2O_2 的毒性细胞效应(van der Oost *et al.*, 2003; Gül *et al.*, 2004)。而作为脂质过氧化物的最终产物，MDA 浓度是反映体内氧自由基数量的重要指标(Mourete *et al.*, 1999)。研究表明，温度胁迫会对影响鱼类抗氧化系统造成影响。对石斑鱼杂交后代(*Epinephelus moara*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂)的研究发现，低温胁迫会使实验鱼 CAT 活力呈现波动性变化，导致幼鱼免疫力和抗氧化能力下降(邵彦翔等, 2017)。谢明媚等(2015)在银鲳(*Pampus argenteus*)幼鱼的急性温度胁迫研究中发现，急性温度胁迫会在一定程度上引起实验鱼肝脏的损伤，并对其抗氧化能力和免疫应答反应产生影响。彭婷等(2012)对罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)的低温胁迫研究发现，随着温

度降低,罗非鱼的生化、免疫及抗氧化指标均发生显著变化,由此可能导致罗非鱼在低温胁迫后出现昏迷及死亡等异常状况。潘桂平等(2016)对云纹石斑鱼(*Epinephelus moara*)幼鱼的研究发现,低温胁迫对云纹石斑鱼幼鱼抗氧化和免疫性能影响显著,低温胁迫导致该鱼体内的MDA含量升高,因而肝脏合成更多的抗氧化物质来进行抗氧化防御。本研究中,实验鱼肝脏CAT与SOD活力随着温度胁迫的进行与对照组相比呈现出逐渐降低的趋势,至胁迫期结束,各实验组均显著低于对照组,MDA含量在温度胁迫过程中持续升高,至胁迫期结束各实验组均与对照组差异显著,表明在温度骤变的条件下,实验鱼抗氧化酶活力会受到显著抑制,抗氧化能力减弱。而进入恢复期,各实验组CAT与SOD活力均逐渐提高,MDA含量逐渐降低,至恢复期结束时与对照组不存在显著差异,则表明当温度恢复后,本实验温度骤变范围对大鳞副泥鳅肝脏抗氧化酶活力的抑制是可恢复的,可以认为实验条件下的温度骤变不会造成大鳞副泥鳅永久性肝损伤。

3.2 温度胁迫对大鳞副泥鳅肝脏LZM与AKP活力的影响

LZM在鱼类的体液、血清和巨噬细胞中普遍存在,是吞噬细胞杀菌的物质基础,具有溶解细菌作用(殷海成等,2014)。LZM主要针对革兰氏阳性菌,但也影响一些革兰氏阴性菌,如肠道沙门氏菌(*Salmonella enteritidis*)和嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophila*),其具有抗感染、抗肿瘤、抗病毒以及增强抗生素的功能,起到防御病原体的重要作用(Saurabh et al, 2008; Jung et al, 2012)。AKP是一种磷酸单酯水解酶,特异性低,起到解毒剂的作用,它在水中溶解生成乙醇和磷酸,因此,是鱼类生物健康的重要标志(Hoseinifar et al, 2015)。研究认为,温度胁迫会对鱼类非特异性免疫机能产生影响。低温胁迫下,河豚(*Takifugu obscurus*)血浆蛋白和AKP等生化指标显著下降,诱导抗氧化酶、HSP90和C3的基因表达,表明其免疫系统会受到低温胁迫的影响(Cheng et al, 2017)。对吉富品系尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼的研究表明,温度胁迫下实验鱼血清LZM与AKP活力在实验期内,基本呈先上升后下降的变化趋势,认为温度胁迫显著改变罗非鱼幼鱼的非特异性免疫能力(强俊等,2012)。低温胁迫下,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)血清的AKP活力显著降低,并在48h的恢复期内维持在较低水平,而高温胁迫下,AKP活力相比对照组略有降低(管标等,2014)。本研

究中,实验鱼肝脏LZM与AKP活力在胁迫期均受到温度骤变的影响,至胁迫期结束时,各实验组均显著低于对照组,表明温度骤变显著降低肝脏LZM与AKP活力,减弱机体非特异性免疫功能;进入恢复期,高温组LZM与AKP活力基本停留在胁迫结束时的水平,至恢复期结束时仍显著低于对照组,而降温组与低温组LZM与AKP活力则持续升高,至恢复期结束时,基本恢复至对照组水平,表明高温胁迫会对大鳞副泥鳅非特异性免疫机能造成不可逆的破坏,而低温胁迫对大鳞副泥鳅非特异性免疫机能的抑制是可恢复的,实验条件下不会造成永久性破坏。

3.3 温度胁迫对大鳞副泥鳅血清转氨酶的影响

正常情况下,AST和ALT在包括肝脏在内的许多器官中普遍存在,当机体由于应激反应或发生病变时,细胞膜通透性发生变化,在浓度差作用下导致细胞内的AST和ALT释放到血液中,引起血清中的ALT和AST含量升高(孙学亮等,2010)。因此,检测血清中AST和ALT水平的变化,可以反映细胞膜通透性的变化,并判断肝脏等组织是否发生病变(Lemaire et al, 1991; Lee, 2001)。本研究中,温度胁迫显著升高实验鱼血清的AST与ATL含量表明温度骤变会引起实验鱼细胞膜通透性的变化,肝脏细胞的凋亡速度或数量增加使转氨酶进入血液;进入恢复期,各实验组AST与ALT含量均呈下降趋势,至恢复期结束时,各实验组AST含量基本恢复到对照组水平,而ALT含量上则在降温组与低温组基本恢复至对照组水平,高温组则仍显著高于对照组。高温条件会引起大鳞副泥鳅血液ALT含量升高,造成不可逆的破坏,而低温条件对大鳞副泥鳅血液转氨酶含量的影响是可恢复的,实验条件下不会对机体肝细胞机能造成永久性破坏。

4 结论

在实验条件下,连续12h的温度胁迫会显著抑制大鳞副泥鳅抗氧化能力与非特异性免疫能力,且在高温条件下对其非特异性免疫相关酶活力造成持续抑制,大鳞副泥鳅对低温条件的耐受能力较强,在实际生产中应避免高温。

参 考 文 献

- Barton BA. Stress in fishes: A diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 2002, 42(3): 517-525
- Bowden TJ. Modulation of the immune system of fish by their environment. *Fish and Shellfish Immunology*, 2008, 25(4):

- 373–383
- Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72(1–2): 248–254
- Cheng CH, Ye CX, Guo ZX, *et al.* Immune and physiological responses of pufferfish (*Takifugu obscurus*) under cold stress. *Fish and Shellfish Immunology*, 2017, 64: 137–145
- Cheng YB, Zhang XY, Dong YZ, *et al.* Effects of dietary replacement of fish meal and soy protein by wheat gluten on plasma biochemical indices and liver anti-oxidative indices of *Nibea japonica* and *Sparus macrocephalus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(3): 106–114 [成艳波, 张月星, 董智勇, 等. 小麦蛋白替代鱼粉及大豆蛋白对日本黄姑鱼(*Nibea japonica*)和黑鲷(*Sparus macrocephalus*)血清生化指标及肝脏抗氧化指标的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(3): 106–114]
- Guan B, Wen HS, Liu Q, *et al.* Effects of acute temperature stress on metabolic enzyme activity and gene expression related to growth in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of Dalian Ocean University*, 2014, 29(6): 566–571 [管标, 温海深, 刘群, 等. 急性温度胁迫对虹鳟肝脏代谢酶活力及生长相关基因表达的影响. *大连海洋大学学报*, 2014, 29(6): 566–571]
- Gül S, Belge-Kurutas E, Yildiz E, *et al.* Pollution correlated modifications of liver antioxidant systems and histopathology of fish (Cyprinidae) living in Seyhan Dam Lake, Turkey. *Environment International*, 2004, 30(5): 605–609
- Hoseinifar SH, Roosta Z, Hajimoradloo A, *et al.* The effects of *Lactobacillus acidophilus* as feed supplement on skin mucosal immune parameters, intestinal microbiota, stress resistance and growth performance of black swordtail (*Xiphophorus helleri*). *Fish and Shellfish Immunology*, 2015, 42(2): 533–538
- Jung TS, del Castillo CS, Javaregowda PK, *et al.* Seasonal variation and comparative analysis of non-specific humoral immune substances in the skin mucus of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Developmental and Comparative Immunology*, 2012, 38(2): 295–301
- Kato R. Drug metabolism under pathological and abnormal physiological states in animals and man. *Xenobiotica*, 1977, 7(1–2): 25–92
- Lee SM. Review of the lipid and essential fatty acid requirements of rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture Research*, 2001, 32 (S1): 8–17
- Lemaire P, Drai P, Mathieu A, *et al.* Changes with different diets in plasma enzymes (GOT, GPT, LDH, ALP) and plasma lipids (cholesterol, triglycerides) of sea-bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 1991, 93(1): 63–75
- Li Y, Sun GX, Liu Y, *et al.* Effects of temperature on feed intake, growth and digestive enzyme activity of turbot *Scophthalmus maximus* L. in high stocking density of closed recirculation aquaculture system. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(6): 17–24 [李勇, 孙国祥, 柳阳, 等. 温度对高密度循环海水养殖大菱鲆摄食、生长及消化酶的影响. *渔业科学进展*, 2011, 32(6): 17–24]
- Liu F, Liu YY, Lou B, *et al.* Effect of water temperature on antioxidant and digestive enzymes activities in *Larimichthys polyactis*. *Haiyang Xuebao*, 2016, 38(12): 76–85 [刘峰, 刘阳阳, 楼宝, 等. 温度对小黄鱼体内抗氧化酶及消化酶活力的影响. *海洋学报*, 2016, 38(12): 76–85]
- Luo W, Xu Y, Liu XJ, *et al.* Effect of water temperature on serum content of reactive oxygen species and antioxidant defense system in grass carp *Ctenopharyngodon idellus*. *Freshwater Fisheries*, 2017, 47(4): 3–7 [罗伟, 许艳, 刘晓娟, 等. 水温对草鱼血清活性氧含量及抗氧化防御系统的影响. *淡水渔业*, 2017, 47(4): 3–7]
- Mourente G, Tocher DR, Diaz E, *et al.* Relationships between antioxidants, antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation products during early development in *Dentex dentex* eggs and larvae. *Aquaculture*, 1999, 179(1): 309–324
- Pan GP, Liu BW, Zhou WY. The effects of cold stress on the antioxidant defense and immune parameters of juvenile *Epinephelus moara*. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(1): 78–85 [潘桂平, 刘本伟, 周文玉. 低温胁迫对云纹石斑鱼幼鱼抗氧化和免疫指标的影响. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(1): 78–85]
- Peng T, Hu TJ, Lin Y, *et al.* Effects of low temperature stress on indices of biochemistry, immunity and antioxidation in Nile tilapia. *Fisheries Science*, 2012, 31(5): 259–263 [彭婷, 胡庭俊, 林勇, 等. 低温胁迫对罗非鱼血液生化、免疫及抗氧化指标的影响. *水产科学*, 2012, 31(5): 259–263]
- Qiang J, Yang H, Wang H, *et al.* The effect of acute temperature stress on biochemical indices and expression of liver HSP70 mRNA in Gift Nile tilapia juveniles (*Oreochromis niloticus*). *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(5): 943–953 [强俊, 杨弘, 王辉, 等. 急性温度应激对吉富品系尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼生化指标和肝脏 HSP70 mRNA 表达的影响. *海洋与湖沼*, 2012, 43(5): 943–953]
- Raida MK, Buchmann K. Temperature-dependent expression of immune-relevant genes in rainbow trout following *Yersinia ruckeri* vaccination. *Diseases of Aquatic Organisms*, 2007, 77(1): 41–52
- Saurabh S, Sahoo PK. Lysozyme: An important defence molecule of fish innate immune system. *Aquaculture Research*, 2008, 39(3): 223–239
- Schreck CB. Stress and fish reproduction: The roles of allostasis and hormesis. *General and Comparative Endocrinology*, 2010, 165(3): 549–556
- Shao YX, Chen C, Li YL, *et al.* Effects of low temperature stress on serum biochemical indices of the juvenile hybrid of *Epinephelus moara* ♀×*Epinephelus lanceolatus* ♂. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(2): 70–76 [邵彦翔, 陈超, 李炎璐, 等. 低温胁迫对云纹石斑鱼(♀)×鞍带石斑鱼(♂)杂交后代血清生化指标的影响. *渔业科学进展*, 2017, 38(2): 70–76]
- Sun XL, Xing KZ, Chen CX, *et al.* The effects of acute temperature stress on blood parameters in half-smooth tongue-sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Fisheries Science*, 2010, 29(7): 387–392 [孙学亮, 邢克智, 陈成勋, 等. 急性温度胁迫对半滑舌鳎血液指标的影响. *水产科学*, 2010, 29(7): 387–392]
- van der Oost R, Beyer J, Vermeulen NPE. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2003, 13(2): 57–149
- Wendelaar Bonga SE. The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 1997, 77(3): 591–625

- Xia XH, Zhao J, Du QY, *et al.* Cloning and identification of a female-specific DNA marker in *Paramisgurnus dabryanus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2011, 37(1): 53–59
- Xie MM, Peng SM, Zhang CJ, *et al.* Effects of acute temperature stress on antioxidant enzyme activities and immune indexes of juvenile *Pampus argenteus*. *Marine Fisheries*, 2015, 37(6): 541–549 [谢明媚, 彭士明, 张晨捷, 等. 急性温度胁迫对银鲌幼鱼抗氧化和免疫指标的影响. *海洋渔业*, 2015, 37(6): 541–549]
- Xue BG, Lou B, Xu DD, *et al.* Impact of density stress on growth, metabolism and non-specific immune functions of juvenile *Nibea albiflora*. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(2): 45–51 [薛宝贵, 楼宝, 徐冬冬, 等. 密度胁迫对黄姑鱼幼鱼生长、代谢及非特异性免疫的影响. *渔业科学进展*, 2013, 34(2): 45–51]
- Yin HC, Yang DH, Jia F, *et al.* Effects of yeast β -glucan on the immune response and *Aeromonas hydrophila* infection resistance in *Cyprinus (Cyprinus) carpio haematopterus*. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(4): 759–768 [殷海成, 杨东辉, 贾峰, 等. 酵母 β -葡聚糖对黄河鲤鱼免疫应答及抗嗜水气单胞菌感染的影响. *中国水产科学*, 2014, 21(4): 759–768]
- You LJ, Zhao MM, Liu RH, *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) peptides prepared by papain digestion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(14): 7948–7953
- Zhang YL, Hu WH, Wu QW, *et al.* Ontogenetic changes in RNA, DNA and protein contents of Chinese loach, *Paramisgurnus dabryanus* (Dabry de Thiersant, 1872), larvae and juveniles. *Journal of Applied Ichthyology*, 2015, 31(5): 876–882

(编辑 马瑾艳)

Effects of Temperature Stress on the Partial Antioxidative and Non-Specific Immunity Indices of *Paramisgurnus dabryanus*

FAN Yunshuo, SHAO Peng^①, JIA Xuying, GAO Jinwei, DOU Yong, SHI Xieyao, ZHOU Wenli

(Tianjin Key Laboratory of Aqua-Ecology and Aquaculture, College of Fisheries Science, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

Abstract To investigate the effect of temperature stress on the antioxidative and nonspecific immune systems of *Paramisgurnus dabryanus* under transportation conditions, the liver activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), lysozyme (LZM), and alkaline phosphatase (AKP) as well as the malondialdehyde (MDA) content, and the serum content of alanine aminotransferase (ALT) and aspartate transaminase (AST) were determined. The following results were obtained: The activities of SOD and CAT in the liver were significantly lower ($P < 0.05$), and the MDA content was significantly higher ($P < 0.05$), than the levels in the control group. During the recovery period, the activities of the two antioxidative enzymes in each experimental group increased gradually and the MDA content decreased gradually. There was no significant difference between the control group and each experimental group at the end of the recovery period ($P > 0.05$). The liver activities of LZM and AKP in each experimental group were significantly lower than that of the control group ($P < 0.05$) at the end of the stress period. During the recovery period, the LZM and AKP activities remained at the stress level at the end of the stress period, whereas their activities in the other experimental groups increased gradually and there was no significant difference ($P > 0.05$) compared with the control group at the end of the recovery period. The changes in serum AST and ALT content during the stress period were significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). During the recovery period, the AST and ALT content showed a downward trend until the end of the recovery period. In addition, the ALT content in the high-temperature group dropped to the control group level. The results showed that temperature stress significantly inhibited the antioxidative capacity and nonspecific immunity of *P. dabryanus*, where the high-temperature stress caused irreversible damage to the nonspecific immune function of the fish, whereas the other inhibition effects were recoverable.

Key words *Paramisgurnus dabryanus*; Temperature stress; Temperature recovery; Antioxidative properties; Non-specific immunity

① Corresponding author: SHAO Peng, E-mail: vipshaopeng@sohu.com