

DOI: 10.3969/j.issn.1007-9580.2021.06.005

# 急性低氧应激对鲫鱼血液生化指标的影响

王雪芹, 阳涛

(1 水产健康养殖四川省重点实验室, 四川 成都 610041;  
2 通威股份有限公司动物保健研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:**低氧是水产动物活体运输过程中的一个重要应激源,会影响水产品的运输存活率。本文旨在模拟并探究急性低氧应激对鲫鱼幼鱼(*Carassius auratus*)相关血液生化指标的影响。对鲫鱼进行24 h的急性低氧处理,溶氧水平为 $(0.61 \pm 0.23)$  mg/L,测定低氧应激0 h、3 h、6 h、12 h和24 h,共5个时间点的血液血红蛋白(Hb)、血液高铁血红蛋白(MetHb)、血清皮质醇(COR)、葡萄糖(GLU)、热休克蛋白70(Hsp70)含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化。结果显示:在低氧应激过程中,Hb含量呈现先降低后升高的变化趋势,12 h时显著低于0 h( $P < 0.05$ ),24 h时又恢复至应激前水平;MetHb、COR、GLU和Hsp70含量均呈现先升高后降低的变化趋势,且不同指标达到含量峰值的时间点略有差异;SOD活力随着低氧应激时间的延长有升高趋势,但是前后变化差异不显著( $P > 0.05$ )。研究表明,当水体溶氧低于0.6 mg/L时,随着急性低氧应激时间的延长,会造成鲫鱼的部分血液生化指标发生显著性变化,预示着低氧应激对鲫鱼机体代谢功能产生了较大的影响,因此在鲫鱼运输过程中,为提高运输存活率,应避免低氧等不良环境条件的出现。

**关键词:**鲫鱼;低氧应激;生化指标;水产养殖

中图分类号:S917.4

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2021)06-0036-06

随着人们对鲜活水产品需求的日渐增大<sup>[1]</sup>,水产动物运输量也不断增大,运输过程中环境胁迫所引起的水产动物应激反应问题日渐突出,尤其是长时间运输造成水体的溶氧不断消耗,会引起鱼类强烈的应激反应甚至死亡。适宜的溶氧水平对鱼类的生物活动会起到积极作用,当水体低氧时,会造成机体血液生化指标的变化,引起鱼类应激反应<sup>[2-3]</sup>。

应激作用下,鱼类机体大量分泌皮质醇(COR),可调节糖原、脂肪和蛋白质的代谢<sup>[4-6]</sup>,加速糖异生,为机体提供能量,对抗应激<sup>[7-8]</sup>。因此血清COR和葡萄糖(GLU)含量常被作为检测鱼体应激的敏感指标<sup>[9]</sup>。低氧环境下,鱼体血液摄取和携带氧气的能力会发生改变,引起血红蛋白(Hb)和高铁血红蛋白(MetHb)等指标的变化<sup>[10]</sup>;体内热休克蛋白70(Hsp70)基因的表达量会显著上调<sup>[11]</sup>,同时,机体超氧化物歧化酶(SOD)等的活力上升,用以清除过量的活性氧自由基(ROS)<sup>[14]</sup>,维持正常的生理活动。因此,研究血液相关生化指标的变化,综合评价鱼类在持

续低氧状态下的应激水平,对水产动物运输策略有重大的理论和实践指导意义。

鲫鱼(*Carassius auratus*)是中国主要的淡水经济鱼类之一,可作为低氧应激研究的理想鱼类对象<sup>[15]</sup>。本研究在急性低氧条件下,研究鲫鱼血液生化指标的变化,以期鲫鱼的科学养殖和运输提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

鲫鱼购买自成都市新津县金华镇养殖户塘口,鱼体质量为 $(54.24 \pm 5.65)$  g,体长为 $(14.82 \pm 0.41)$  cm,为同一批次,且健康无病。鲫鱼购进后,使用1%食盐水浸浴5 min,然后将100尾鲫鱼暂养于规格为150 cm×60 cm×70 cm的玻璃缸中(养殖用水体积500 L)。暂养期间保持水体温度 $(20.0 \pm 0.5)$  °C,水中溶氧 $> 5$  mg/L,pH 7.2~7.6,氨氮 $\leq 0.1$  mg/L,每天上午使用曝气自来水换水一次,每次换水量约为养殖水体的1/2。每天投

收稿日期:2021-01-28

基金项目:四川省科技计划重点研发项目“淡水鱼健康养殖及安全健康投入品开发(创新能力培育)(2019YFN0036)”

作者简介:王雪芹(1988—),女,硕士,研究方向:水产养殖动物病害防治。E-mail:wxqin\_1988@163.com

通信作者:阳涛(1981—)女,硕士,高级兽医师;研究方向:水产养殖动物重大病害防控。E-mail:yangt@ tongwei.com

喂饲料两次,时间分别为 9:00 和 16:30,投饲率约 1.5%,饲料为通威饲料 152#,2.0 mm 粒径膨化料。暂养 10 d 后待试验鱼状态及摄食稳定后开始进行低氧应激试验。试验开始前禁食 24 h。

### 1.2 试验设计

挑选体质健康,质量均匀的鲫鱼 25 尾,放置在 150 L 的玻璃缸中。低氧水平的设置参考相关文献<sup>[16-18]</sup>的研究,溶氧设置为 0.6 mg/L。试验前,完成常氧组(记为 0 h,即对照组)的取样,随机取 5 尾,此时的溶氧含量为 6.54 mg/L,水温为 20.1℃。随后往鱼缸中持续注入氮气,并开始计时,待溶氧下降到 0.6 mg/L 左右后,调节氮气和空气的注入流量来稳定水中的溶氧。分别在试验进行到 3 h、6 h、12 h 和 24 h 时进行采样。每个时间点从缸中随机取样 5 尾。低氧胁迫期间水体溶氧(0.61±0.23)mg/L,水温(20.1±0.3)℃。整个试验期间每 1 h 用哈希溶氧测定仪对水体溶氧进行监测一次。重复试验 3 次。

### 1.3 血液采集

取样时将鱼迅速捞起并立即投入 200 mg/L MS-222(间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐, Sigma)中快速深度麻醉,用 1 mL 注射器尾静脉采血。其中一部分新鲜血液吸入提前准备好的肝素抗凝管中,用于血液血红蛋白和高铁血红蛋白的测定。剩余血液放入无菌离心管中 4℃ 静置待其血清析出,4 000 r/min,离心 10 min 制备血清,血清置于 -80℃ 中保存,用于其他生化指标测定。

### 1.4 生化指标的测定

血液及血清生化指标测定使用多功能酶标仪

(型号:Bio Tek Epoch)和紫外分光光度计(型号:MAPADA UV-1100),试剂盒采购自南京建成生物工程研究所。检测指标包括血红蛋白(Hb)和高铁血红蛋白(MetHb);血清激素指标皮质醇(COR);血清生化指标葡萄糖(GLU);血清功能性蛋白指标热休克蛋白 70(Hsp70);抗氧化指标超氧化物歧化酶(SOD)。

### 1.5 数据分析

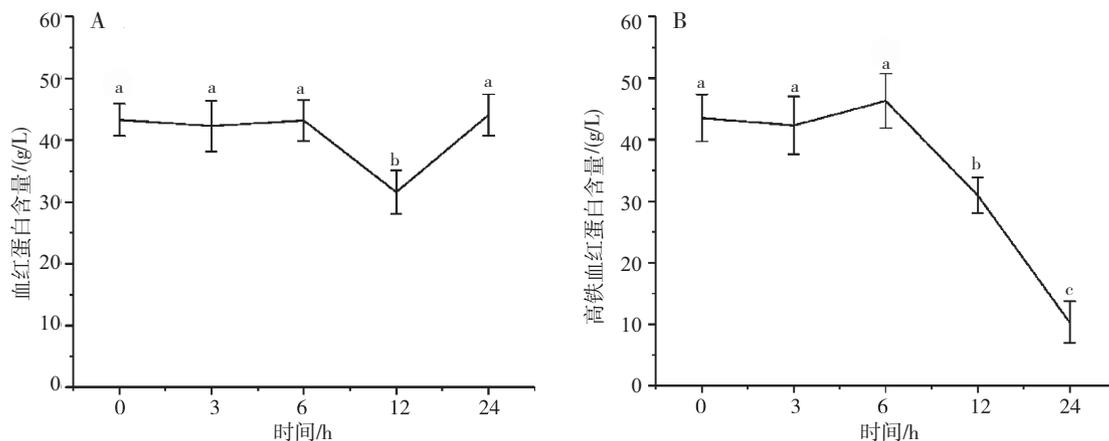
数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,试验结果用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA),当差异显著时( $P<0.05$ ),进行 Duncan 多重比较。

## 2 结果

### 2.1 Hb 和 MetHb 的含量

急性低氧应激对 Hb 含量的影响见图 1 A。在急性低氧应激过程中,Hb 含量呈现先下降后上升的变化趋势,低氧应激 3 h、6 h 时,Hb 含量与 0 h 均无显著性差异( $P>0.05$ ),12 h 时 Hb 含量显著降低( $P<0.05$ ),24 h 时,Hb 含量又恢复至 0 h 水平。

由图 1 B 可知,急性低氧应激过程中,MetHb 含量呈现先微微上升,后快速下降的变化趋势。低氧应激 3 h、6 h, MetHb 含量与 0 h 均无显著性差异( $P>0.05$ ),12 h 和 24 h 的 MetHb 含量较 0 h 显著下降,24 h 的 MetHb 含量与 0 h 有极显著差异( $P<0.01$ )。



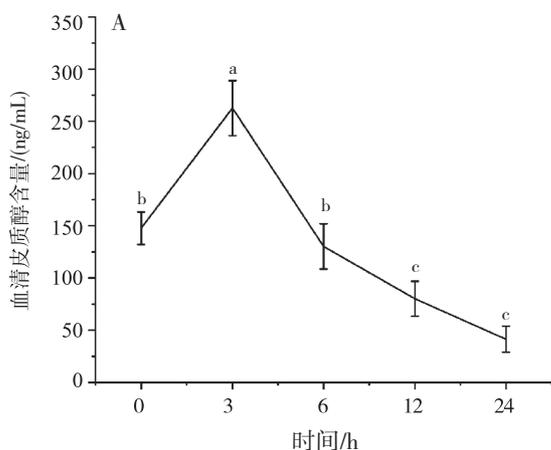
注:  $n=15$ , 上标不同字母表示组间差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同

图 1 急性低氧应激对鲫鱼血红蛋白(A)和高铁血红蛋白(B)含量的影响

Fig. 1 Effects of acute hypoxia stress on hemoglobin(A) and methemoglobin(B) concentrations in *Carassius auratus*

## 2.2 血清 COR 和 GLU 含量

急性低氧应激对血清 COR 含量的影响见图 2 A。COR 含量变化受低氧应激影响显著,在低氧应激过程中,COR 含量在应激 3 h 时含量显著性升高( $P<0.05$ ),3 h 后便开始迅速下降,应激 6 h 时 COR 含量降低至 0 h 水平,12 h 和 24 h 的 COR 含量继续降低,且这两个时间点与 0 h 存在显著性差异( $P<0.05$ )。



由图 2 B 可知,GLU 含量随着低氧应激时间的延长呈现先升高后降低的变化趋势。低氧应激过程中,GLU 含量快速升高,3 h、6 h、12 h、24 h 时,GLU 含量全部高于 0 h 水平,且存在显著性差异( $P<0.05$ ),12 h 时 GLU 含量达到最高峰。24 h 时含量降低至 6 h 的含量水平,与 0 h 血糖含量相比仍然存在极显著差异( $P<0.01$ )。

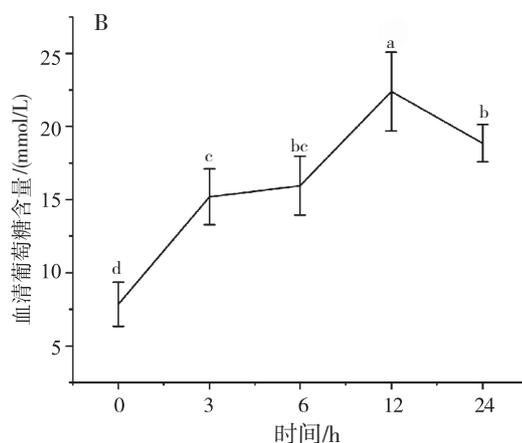


图 2 急性低氧应激对鲫鱼血清皮质醇激素(A)和葡萄糖(B)含量的影响

Fig. 2 Effects of acute hypoxia stress on serum cortisol(A) and glucose(B) concentrations in *carassius auratus*

## 2.3 Hsp70 含量

急性低氧应激对血清 Hsp70 含量的影响见图 3 A。血清 Hsp70 含量随着低氧应激时间的延长呈现明显的先升高后降低的变化趋势。应激 3 h 血清 Hsp70 含量显著性升高( $P<0.05$ ),6 h

含量达到最高峰,之后呈现下降趋势,应激 12 h 血清 Hsp70 含量降至 3 h 含量水平,之后 Hsp70 含量继续下降,24 h 时 Hsp70 含量显著低于 0 h 水平( $P<0.05$ )。

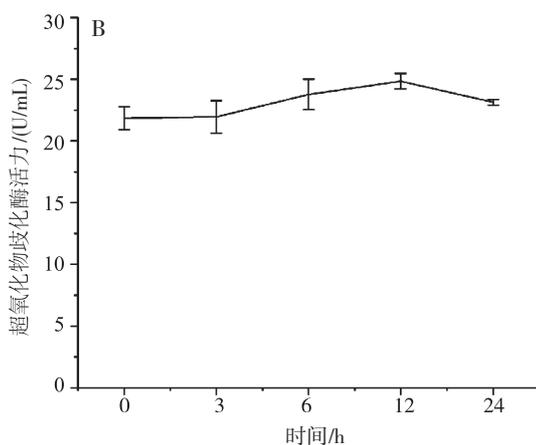
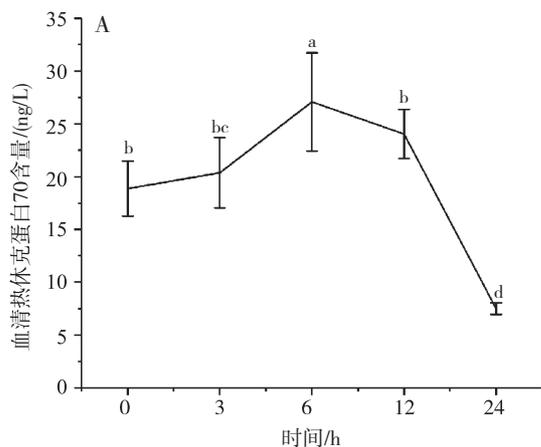


图 3 急性低氧应激对鲫鱼血清热休克蛋白 70 含量(A)和超氧化物歧化酶活力(B)的影响

Fig. 3 Effects of acute hypoxia stress on serum heat shock protein70(A) concentrations and superoxide dismutase activity(B) in *Carassius auratus*

## 2.4 血清 SOD 酶活力

由图 3B 可知,鲫鱼血清 SOD 活力在急性低氧 3~12 h 持续缓慢升高,24 h 又有所下降,总体呈现先升后降的变化趋势,但各个时间点上 SOD 酶活力的变化差异不显著( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 急性低氧应激对 Hb 和 MetHb 的影响

本研究结果显示,低氧应激 12 h 鲫鱼血清 Hb 含量较应激前水平降低约 25%,24 h 又恢复到应激前水平。这与王晓雯<sup>[19]</sup>的研究结果基本一致,西伯利亚鲟鱼(*Acipenser baerii*) Hb 含量在低氧处理 3 h 含量降低 31.3%。Hb 含量代表机体携带和运输氧气的的能力。鲫鱼的 Hb 在低氧应激后呈现先降低后升高的变化趋势,可能是随着氧气的消耗及机体缺氧程度的增加,血红蛋白含量下降,以降低血氧亲和力,使更多的氧气供其他身体组织使用,后期机体逐渐由有氧呼吸转为无氧呼吸方式,因此 Hb 含量又恢复至应激前水平。另有研究发现试验鱼血液 Hb 含量与溶氧水平呈负相关,张曦等<sup>[20]</sup>研究发现鲫鱼幼鱼在急性低氧条件下处理 3 h, Hb 含量增加 58%。董晓煜等<sup>[21]</sup>、黄国强等<sup>[22]</sup>也得到类似结论。此类研究认为血红蛋白与氧气结合的程度受到  $PO_2$  的影响,当  $PO_2$  较低,血红蛋白与氧结合能力降低,机体血红蛋白的增加可以补偿由于水体溶氧较低造成的机体缺氧<sup>[23]</sup>。

MetHb 是 Hb 的氧化产物,不能携带氧。本研究中,随着低氧时间的延长,试验鱼缺氧的程度不断加强, MetHb 含量降低,意味着血红蛋白更多的是以可与氧结合的形式存在于血液中,更加有利于机体对氧气的充分利用,这可能与机体自身的防御性机制有关。一般研究显示, MetHb 含量受水体亚硝酸盐含量影响较大,而有关低氧对其含量影响的研究较少<sup>[24]</sup>。

### 3.2 急性低氧应激对血清 COR 和 GLU 含量的影响

本研究结果显示,鲫鱼血清 COR 在低氧应激后呈现短时间内快速大量分泌,用以促进葡萄糖的大量产生,为机体供能。另有大量研究发现,运输应激<sup>[25]</sup>、拥挤应激<sup>[26]</sup>、温度应激<sup>[27]</sup>、氨氮应

激<sup>[28]</sup>都会使试验鱼血清 COR 含量在一定时间内迅速升高。低氧处理后期 COR 含量又迅速降低,这可能与 COR 的负反馈调节有关。

鲫鱼在急性低氧应激后,血清 GLU 含量快速升高,与齐明等<sup>[3]</sup>、陈德举等<sup>[29]</sup>、黄建盛等<sup>[30]</sup>、刘旭佳等<sup>[31]</sup>、王慧娟等<sup>[32]</sup>的研究结果一致。说明急性低氧胁迫导致鱼体出现应激性血糖升高,为机体提供能量并应对和适应应激胁迫,是一种机体自我保护机制的体现。随着能量的大量消耗,应激反应后期, GLU 水平就随之下降。这也与试验过程中观察到的试验鱼状态相吻合,随着低氧时间的延长,能量消耗严重,试验鱼活力减弱,出现静止不动,昏迷,失衡等情况。除了低氧应激,鱼类受到的其他大多数应激也伴随着血糖的升高,如水温变化<sup>[33]</sup>、氨氮胁迫<sup>[34]</sup>、拥挤胁迫<sup>[35]</sup>和干露胁迫<sup>[36]</sup>等。

### 3.3 急性低氧应激对血清 Hsp70 含量的影响

本研究中,鲫鱼在急性低氧应激后血清 Hsp70 含量先显著性升高,24 h 时又大幅度下降。王晓阳<sup>[37]</sup>研究发现,低氧条件下,鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)的心脏、脑、肝脏、脾等不同组织中, Hsp70 基因表达在不同时间点均有不同程度的上调。崔彦婷等<sup>[38]</sup>、王晓雯等<sup>[39]</sup>研究高温应激后试验鱼肝脏 Hsp70 基因表达呈现先升高后降低的变化趋势,与本研究结果一致。HSPs 表达被认为是生物细胞抵抗有害刺激,维持内环境稳定最原始的机制之一,当然,如果应激强度过大,造成细胞的膜结构损伤和蛋白质结构改变,就会使 HSPs 的表达合成降低<sup>[11]</sup>。

### 3.4 急性低氧应激对血清 SOD 活力的影响

本研究中,鲫鱼血清 SOD 活力总体呈现先升后降的变化趋势,但各个时间点酶活力均稍高于应激前水平。这与陈世喜等<sup>[40]</sup>和王维政等<sup>[41]</sup>对试验鱼在低氧环境下肝脏 SOD 活力的研究结果一致。熊向英等<sup>[42]</sup>研究同样显示,鲮鱼(*Mugil cephalus*)血浆中的总超氧化物歧化酶(T-SOD)活力在低氧条件下有所升高。但在有些情况下,低氧应激会导致抗氧化相关酶活性被抑制,如王晓雯等<sup>[19]</sup>和郭志雄等<sup>[43]</sup>研究发现,低氧处理后试验鱼肝脏 SOD 活力明显降低,认为低氧应激后肝脏中产生了过多的活性氧自由基(ROS),从而抑制了酶活性。另有研究发现<sup>[44-45]</sup>,低氧处理

后,不同组织中的 SOD 活性变化趋势不同,这可能与不同组织在受到胁迫后的损伤程度不同,或是组织内 SOD 酶活对环境因子的敏感程度和调节机制不同导致。

#### 4 结论

急性低氧应激条件下,鲫鱼的血液生化指标 Hb、MetHb、COR、GLU、Hsp70 会随着应激时间的延长和低氧程度的增加产生显著性的变化,暗示低氧应激对水产动物激素分泌、血细胞水平、能量利用和机体抗应激相关酶的活力等方面产生重要影响。因此,在水产动物运输过程中,注重水体溶氧监测及其他水质指标的调控,谨防由于低氧引起的鱼类应激反应的发生,降低运输损伤、提高运输存活率。此外,Hb、COR、GLU、Hsp70 等指标在用于水产动物机体应激水平的评价方面具有重要指导意义。□

#### 参考文献

- [1] 谢晶,王琪. 水产动物保活运输中环境胁迫应激及生理调控机制的研究进展[J]. 食品科学,2021,42(1):319-325.
- [2] 李洪娟,陈刚,郭志雄,等. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼对环境低氧胁迫氧化应激与能量利用指标的响应[J]. 海洋学报,2020,42(4):12-19.
- [3] 齐明,侯懿玲,刘韬,等. 急性低氧胁迫和复氧恢复对青田田鱼幼鱼氧化应激和能量代谢的影响[J]. 淡水渔业,2020,50(6):92-98.
- [4] WENDELAAR B. The stress response in fish [J]. *Physiological Reviews*,1997,77(3):591-625.
- [5] PICKERING A D. Environmental stress and the survival of brown trout,*Salmo trutta* [J]. *Freshwater Biology*,1989,21(1):47-55.
- [6] 王天娇. 团头鲂幼鱼对烟酸的适宜需要量及调节抗应激能力的研究[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [7] 许源剑,孙敏. 环境胁迫对鱼类血液影响的研究进展[J]. 水产科技,2010(3):27-31.
- [8] POTTINGER T G. Changes in blood cortisol, glucose and lactate in carp retained in anglers' keepnets [J]. *Journal of Fish Biology*,2010,53(4):728-742.
- [9] 李勇男. 水中添加维生素 C 缓解鲤鱼运输应激的研究[D]. 无锡:江南大学,2016.
- [10] 王国强,李笑天,费凡,等. 养殖鱼类对水质胁迫的生理响应特征研究进展[J]. 江西水产科技,2019(4):45-52.
- [11] 唐啸尘,黄自然. 热激蛋白及其分子伴侣功能[J]. 广东蚕业,1998,32(2):59-69.
- [12] FRANCO R, ROBERTO S O, REYES R E M, et al. Environmental toxicity, oxidative stress and apoptosis; Ménage à Trois [J]. *Mutation Research*,2009,674(1/2):3-22.
- [13] TEMPLE M D, PERRONE G G, DAWES I W. Complex cellular responses to reactive oxygen species[J]. *Trends in Cell Biology*,2005,15(6):319-326.
- [14] LUSHCHAK V I, LUSHCHAK L P, MOTA A A, et al. Oxidative stress and antioxidant defenses in goldfish *Carassius auratus* during anoxia and reoxygenation [J]. *American Journal of Physiology Regulatory Integrative & Comparative Physiology*,2001,280(1):100-107.
- [15] 王云彪. 热影响下鲤鱼 Hsp70 组织特异性表达和应激反应[D]. 长春:东北师范大学,2008.
- [16] 刘飞,张轩杰,刘筠. 湘云鲫耗氧率和溶氧临界窒息点[J]. 湖南师范大学(自然科学学报),2000(3):72-75,94.
- [17] 杜启艳,常重杰. 四种鱼耗氧率和窒息点的研究[J]. 河南水产,2004(1):31-32.
- [18] 陈力,赵海涛,张福崇,等. 张家口坝上高背型鲫鱼耗氧率和窒息点的初步研究[J]. 广东海洋大学学报,2012,32(3):82-85.
- [19] 王晓雯,朱华,胡红霞,等. 低氧胁迫对西伯利亚鲟幼鱼生理状态的影响[J]. 水产科学,2016,35(5):459-465.
- [20] 张曦,付世建,彭姜岚,等. 急性低氧对鲫鱼幼鱼血液基础指标的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版),2011(4):19-22.
- [21] 董晓煜,张秀梅,张沛东. 溶解氧与养殖密度对褐牙鲂幼鱼血细胞数量及血红蛋白含量影响的研究[J]. 海洋水产研究,2008,29(6):40-46.
- [22] 黄国强,李洁,柳意樊. 不同溶氧水平对褐牙鲂幼鱼呼吸行为和血液指标的影响[J]. 广西科学,2013,20(1):52-56.
- [23] 魏华,吴垠. 鱼类生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2011:144-165.
- [24] 张晓莹,么宗利,来琦芳,等. 亚硝酸盐胁迫下异育银鲫呼吸代谢生理响应[J]. 海洋渔业,2018,40(2):189-196.
- [25] 田兴. 运输应激对黄颡鱼和斑点叉尾鮰血液生化指标和肌肉品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2016.
- [26] 王文博,汪建国. 拥挤胁迫后鲫鱼血液皮质醇和溶菌酶水平的变化及对病原的敏感性[J]. 中国水产科学,2004,11(5):403-410.
- [27] 吴仓仓,付占斐,王芳,等. 温度和盐度胁迫下虹鳟和硬头鲂抗应激能力的比较[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2019,49(3):99-112.
- [28] 施兆鸿,张艳亮,高权新,等. 饲料维生素 E 水平影响云纹石斑鱼幼鱼对氨氮胁迫的响应[J]. 动物营养学报,2015,27(5):1596-1604.
- [29] 陈德举,强俊,陶易凡,等. 不同溶氧水平对吉富罗非鱼幼鱼生长、血液生化、脂肪酸组成及其抗海豚链球菌病的影响[J]. 淡水渔业,2019,49(4):83-89.
- [30] 黄建盛,陆枝,陈刚,等. 急性低氧胁迫对军曹鱼大规模幼鱼血液生化指标的影响[J]. 海洋学报,2019,41(6):76-84.
- [31] 刘旭佳,黄国强,彭银辉. 不同溶氧变动模式对鲮生长、能量代谢和氧化应激的影响[J]. 水产学报,2015,39(5):679

- 690.
- [32] 王慧娟. 低氧对团头鲂生理生化指标及低氧应答基因表达的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [33] 常玉梅,曹鼎臣,孙效文,等. 低温应激对鲤血清生化指标的影响[J]. 水产学杂志,2006,19(2):71-75.
- [34] 崔素丽. 高温下大黄素对团头鲂生长、血液指标及抗氨氮应激的影响[D]. 南京:南京农业大学,2012.
- [35] 石小涛. 史氏鲟在拥挤胁迫中的应激反应[D]. 武汉:华中农业大学,2006.
- [36] 张勇. 空气暴露及运输胁迫对美洲鲟亲鱼生理生化指标及Hsp70基因表达的影响[D]. 南京:南京农业大学,2016.
- [37] 王晓阳. 低氧胁迫下鲢微管蛋白相关基因及热休克蛋白70的表达分析[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
- [38] 崔彦婷. 几种重要外源因子对草鱼肝细胞活力、抗氧化、凋亡和热应激蛋白表达的影响[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [39] 王晓雯,张蓉,朱建亚,等. 急性热应激对西伯利亚鲟肝功指标及肝脏热休克蛋白表达的影响[J]. 四川农业大学学报,2019,37(1):122-128.
- [40] 陈世喜,王鹏飞,区又君,等. 急性和慢性低氧胁迫对卵形鲳鲹幼鱼肝组织损伤和抗氧化的影响[J]. 动物学杂志,2016,51(6):1049-1058.
- [41] 王维政,曾泽乾,黄建盛,等. 低氧胁迫对军曹鱼幼鱼抗氧化、免疫能力及能量代谢的影响[J]. 广东海洋大学学报,2020,40(5):12-18.
- [42] 熊向英,黄国强,彭银辉,等. 低氧胁迫对鲮幼鱼生长、能量代谢和氧化应激的影响[J]. 水产学报,2016,40(1):73-82.
- [43] 郭志雄,曾泽乾,黄建盛,等. 急性低氧胁迫对大规格军曹鱼幼鱼肝脏氧化应激、能量利用及糖代谢的影响[J]. 广东海洋大学学报,2020,40(3):134-140.
- [44] 贾秀琪,张宏叶,王丽,等. 低氧胁迫对河川沙塘鳢抗氧化酶及ATP酶活性的影响[J]. 海洋渔业,2017,39(3):306-313.
- [45] 常志成,温海深,张美昭,等. 溶解氧水平对花鲈幼鱼氧化应激与能量利用的影响及生理机制[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2018,48(7):23-31.

## Effects of acute hypoxia stress on blood biochemical indices of *Carassius auratus*

WANG Xueqin, YANG Tao

(1 Key Laboratory of Healthy Aquaculture of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan China;

2 Animal Health Research Institute, Tongwei Co., Ltd., Chengdu 610041, Sichuan China)

**Abstract:** As an important stress source, hypoxia can affect the survival rate of aquatic animals during transportation. The aim of this study was to simulate and investigate the effects of acute hypoxic stress on blood biochemical indices of juvenile *Carassius auratus*. *Carassius auratus* were exposed to acute hypoxia for 24 hours at a dissolved oxygen level of  $(0.61 \pm 0.23)$  mg/L. The measured indicators include blood hemoglobin (Hb), methemoglobin (MetHb), serum cortisol (COR), glucose (GLU), heat shock protein 70 (Hsp70) content and superoxide dismutase (SOD) activity following 0, 3, 6, 12 and 24 h acute hypoxia stress. The results showed that in the process of hypoxic stress, the Hb content first decreased and then increased. At 12 h, it was significantly lower than 0 h ( $P < 0.05$ ), and it returned to the pre-stress level at 24 h. The contents of MetHb, COR, GLU and Hsp70 all showed a change trend of first increasing and then decreasing, and the time points of reaching the peak content of different indices were slightly different. SOD activity increased with the extension of stress time, but the difference was not significant. Studies show that when the dissolved oxygen in water is lower than 0.6 mg/L, with the extension of acute hypoxia time, some important blood biochemical indicators of *Carassius crassius* change significantly, which also indicates that hypoxia stress has a great impact on the metabolic functions of *Carassius auratus*. Therefore, in order to improve the survival rate of *Carassius auratus*, adverse environmental conditions such as hypoxia should be avoided during their transportation.

**Key words:** *Carassius auratus*; hypoxia stress; biochemical indicators; aquaculture