

# 水体动荡胁迫对大黄鱼血清生化指标的影响

杜静雅, 苗 亮, 李明云\*, 王 曙, 王 涛, 侯红红

(宁波大学 教育部应用海洋生物技术重点实验室, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 对大黄鱼进行模拟台风所致水体动荡胁迫, 检测胁迫前(0 h)及胁迫后 0.5、1、2、4、8、24 h 时血清生化指标的变化。结果表明: 大黄鱼血清总蛋白(TP)和总胆固醇(CHOL)在胁迫后 0.5~24 h 期间浓度均持续降低; 谷丙转氨酶(ALT)活性在胁迫后 0.5~1 h 期间显著升高, 之后显著降低, 浓度仅为胁迫前的一半, 并在 2~24 h 期间始终处于这一低水平; 谷草转氨酶(AST)活性在胁迫后持续显著升高, 胁迫后 24 h 时的活性为胁迫前的 6.5 倍; 肌酐(CREA)在胁迫后 0.5 h 时即显著升高并达到最大值, 1~8 h 期间基本降至正常水平, 但在 24 h 时显著降低, 仅为胁迫前的 1/4; 乳酸脱氢酶(LDH)活性在胁迫后 2~24 h 期间均显著高于正常水平; 碱性磷酸酶(ALP)活性在胁迫后 2 h 时显著升高, 并在 2~24 h 期间都处于较高水平; 血清  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度在胁迫后均出现了显著性升高。血清生化指标的变化提示水体动荡胁迫引起的应激反应可能导致大黄鱼肝脏、心脏受损以及免疫降低。

**关键词:** 大黄鱼; 台风; 水体动荡; 胁迫应激; 血清生化指标

中图分类号: S965; S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 05-0007-05

台风是一种严重的灾害性天气, 常伴有狂风、暴雨、巨浪等。据统计, 1949~2015 年间平均每年约有 7 个台风登陆我国<sup>[1]</sup>。国家海洋局自然灾害公报显示, 台风给我国东南沿海省份的水产养殖业造成了严重的经济损失。

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)是浙江、福建、广东等东南沿海省份重要的海水网箱养殖鱼类, 该鱼对环境因子变化非常敏感、应激反应强烈。台风除直接破坏大黄鱼养殖设施、导致养殖对象逃逸和死亡外, 强风所引起的水体动荡以及盐度、水温、溶氧量等环境因子变化会刺激海水网箱中的大黄鱼产生强烈的应激反应, 这也是台风过后大黄鱼大量死亡的一个重要原因。虽然应激是一种保护性反应, 但过强的应激会抑制机体的免疫防御系统, 导致鱼体出现对病原敏感性升高、抵抗力降低、摄食和生长等均会受到影响<sup>[2]</sup>。

由于台风期间难以在渔排上观察和采样, 目

前关于台风对大黄鱼生理生化、代谢、免疫等影响的研究极少, 仅 Xu 等<sup>[3]</sup>检测了台风过境后网箱养殖大黄鱼在恢复过程中血清代谢组学的变化。

本研究采用室内模拟的方法, 研究台风所致水体动荡胁迫对大黄鱼血清生化指标的影响, 旨在为研究台风灾害对鱼类造成的胁迫应激提供基础资料, 并可作为制订台风期间养殖大黄鱼救护措施及减少灾害损失的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验用鱼

实验用鱼为象山港湾水产苗种有限公司海区网箱中养殖的规格均一、健康无伤大黄鱼(平均体重 89.15 g、平均体长 16.93 cm)。

### 1.2 模拟台风所致水体动荡胁迫

使用本实验室研制的巨浪模拟器<sup>[4]</sup>模拟台风引起的水体动荡。设定水体动荡强度为: 水体流速

收稿日期: 2018-01-25.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2012AA10A403); 浙江省农业新品种选育重大专项(2016C02055-7); 宁波市重大科技项目(2008C10022); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0734)。

第一作者: 杜静雅(1993-), 女, 浙江金华人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 鱼类遗传育种与资源保护。E-mail: 2548252250@qq.com

\*通信作者: 李明云(1942-), 男, 浙江舟山人, 教授, 主要研究方向: 水产经济动物遗传育种、增养殖及资源保护。E-mail: limingyun@nbu.edu.cn

145 cm·s<sup>-1</sup>、动荡胁迫时间 10 min (相当于 12 级台风过境时的瞬时破坏力<sup>[5]</sup>)。实验设置 3 组重复, 每组随机放入 36 尾鱼。以水体动荡胁迫前(0 h)作为对照, 在胁迫后 0.5、1、2、4、8、24 h 时分别取样 1 次, 每次取 6 尾。实验期间不投喂饵料, 维持水温(22.5±0.5)℃, 盐度 24‰, 每天早、晚换水各 1 次(每次换水量 50%)。

### 1.3 血清采集及生化指标测定

用无菌注射器从大黄鱼尾静脉取血, 置于 1.5 mL 离心管中, 4℃下静置 8 h 后 3 200 r·min<sup>-1</sup> 低温(4℃)离心 15 min, 收集上层血清。用日立 7600-110 型全自动生化分析仪测定血清生化指标, 包括: 总蛋白(TP)、总胆固醇(CHOL)和肌酐(CREA)浓度, 谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、碱性磷酸酶(ALP)和乳酸脱氢酶(LDH)共 4 种血清酶活性以及血清离子(Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、K<sup>+</sup>和 Ca<sup>2+</sup>)浓度。

### 1.4 数据处理及统计分析

用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件对数据进行统计, 单因素方差(One way ANOVA)分析。数据均以(平均值±标准差)表示, 以  $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果

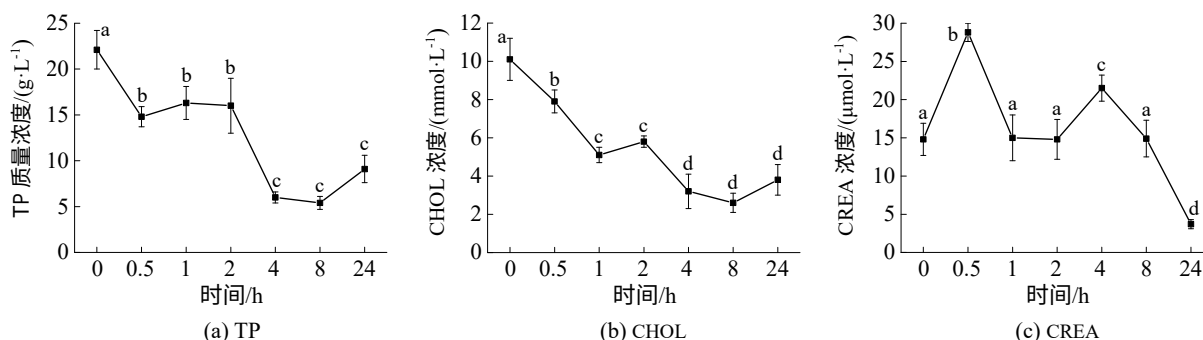
### 2.1 对 TP、CHOL、CREA 的影响

图 1 为水体动荡胁迫后大黄鱼血清 TP、CHOL 和 CREA 浓度变化。水体动荡胁迫后大黄鱼血清 TP 浓度逐渐降低(图 1(a)), 与胁迫前(22.1±2.1) g·L<sup>-1</sup> 相比, 胁迫后 0.5 h 时显著降低至(14.8±1.1) g·L<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ), 0.5~2 h 期间略有波动, 但变化不显著( $P > 0.05$ ), 4~8 h 时再次显著降低( $P < 0.05$ ), 8 h 时达到最低值(5.4±0.7) g·L<sup>-1</sup>, 仅为胁迫前的 24.4%, 24 h 时略有升高, 为(9.1±1.5) g·L<sup>-1</sup>, 但仍显著低于胁迫

前( $P < 0.05$ )。CHOL 浓度在水体动荡胁迫后呈逐渐降低的趋势(图 1(b)), 在胁迫后 0.5~4 h 期间由胁迫前的(10.1±1.1) mmol·L<sup>-1</sup> 不断显著降低至 4 h 时的(3.2±1.0) mmol·L<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ), 4~24 h 期间始终维持这一低水平, 浓度虽有波动但差异均不显著( $P > 0.05$ ); 与胁迫前的 CREA 浓度(14.8±2.1) μmol·L<sup>-1</sup> 相比, 水体动荡胁迫后 CREA 浓度呈先显著升高再显著降低的波动性变化(图 1(c)), 在 0.5 h 和 4 h 时出现 2 次显著升高(分别升高至(28.8±1.2) μmol·L<sup>-1</sup> 和(21.5±1.7) μmol·L<sup>-1</sup>) ( $P < 0.05$ ), 之后又在短时间内(1~2 h 期间和 8 h 时)显著降低( $P < 0.05$ )至胁迫前的水平, 24 h 时又显著降低( $P < 0.05$ ), 此时浓度为(3.7±0.6) μmol·L<sup>-1</sup>, 仅为胁迫前的 25%。

### 2.2 对血清酶活性的影响

图 2 为水体动荡胁迫后大黄鱼血清酶活性变化。与胁迫前(35.7±4.5) U·L<sup>-1</sup> 相比, ALT 活性在水体动荡胁迫后呈先升后降变化(图 2(a)), 其中 0.5 h 和 1 h 时出现 2 次连续的显著升高( $P < 0.05$ ), 分别达到(49.2±2.5) U·L<sup>-1</sup> 和(60.0±7.0) U·L<sup>-1</sup>; 2 h 时则大幅显著降低至(17.7±0.8) U·L<sup>-1</sup> ( $P < 0.05$ ), 降幅达 70.5%, 此时活性仅为胁迫前的 49.6%; 2~24 h 期间 ALT 活性始终维持这一低水平( $P > 0.05$ )。胁迫前 AST 活性为(63.3±4.6) U·L<sup>-1</sup>, 水体动荡胁迫后 AST 活性持续升高(图 2(b)), 但 0.5 h 和 1 h 时的值与胁迫前相比差异不显著( $P > 0.05$ ), 2 h 后开始逐步显著升高( $P < 0.05$ ), 24 h 时活性高达(415.7±16.0) U·L<sup>-1</sup>, 是胁迫前的 6.5 倍。LDH 和 ALP 活性均呈波动式变化(图 2(c)和(d)), 其中 LDH 活性在 0.5 h 和 1 h 时虽比胁迫前有所升高, 但差异均不显著( $P > 0.05$ ), 2 h 时显著升高( $P < 0.05$ ), 此时活性(1 151.0±14.1) U·L<sup>-1</sup> 为胁迫前(545.0±20.1) U·L<sup>-1</sup> 的 2.1 倍, 8 h 时再次显著



有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ), 无相同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

图1 水体动荡胁迫后大黄鱼血清 TP、CHOL 和 CREA 浓度变化

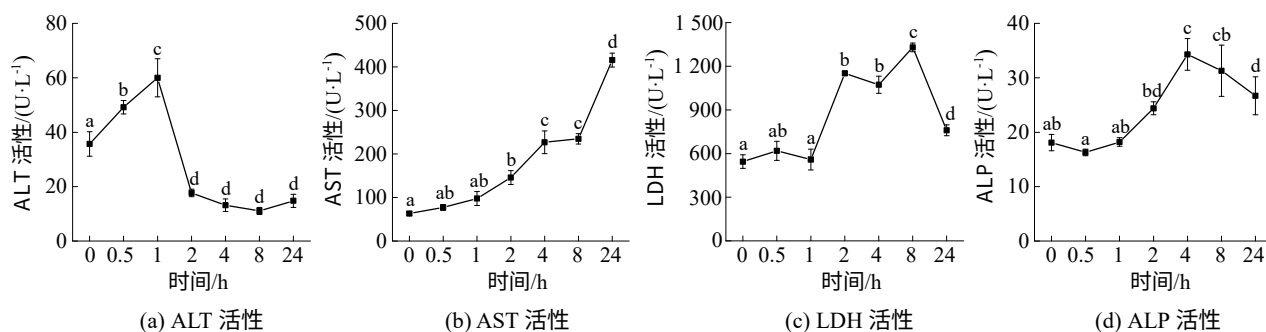


图2 水体动荡胁迫后大黄鱼血清酶活性变化

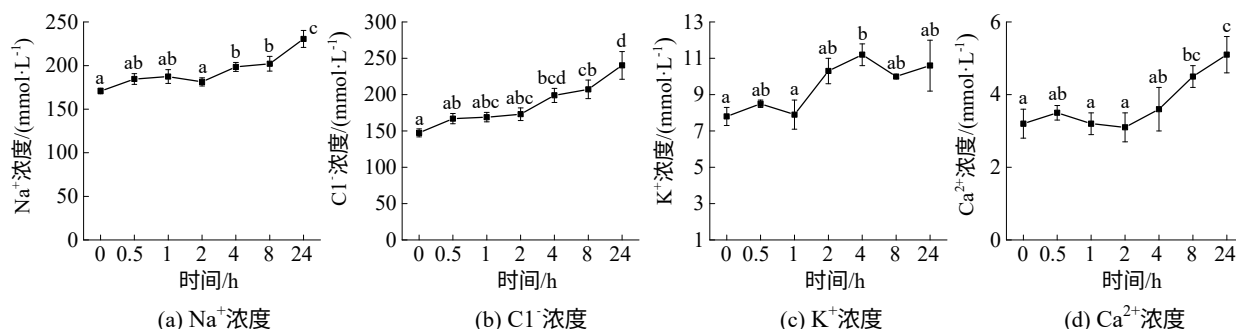


图3 水体动荡胁迫后大黄鱼血清离子浓度变化

升高至 $(1\,330\pm29.5)\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $P<0.05$ ), 24 h 时虽然显著降低至 $(760.3\pm37.5)\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $P<0.05$ ), 但仍显著高于胁迫前 ( $P<0.05$ ). ALP 活性在水体动荡胁迫后 2 h 和 4 h 时出现 2 次显著升高 ( $P<0.05$ ), 4 h 时最大活性 $(34.3\pm2.9)\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$  为胁迫前 $(18.1\pm1.5)\text{U}\cdot\text{L}^{-1}$  的 1.9 倍, 之后活性逐渐降低, 在胁迫后 24 h 时降至与 2 h 时相当水平, 但仍显著高于胁迫前 ( $P<0.05$ ).

### 2.3 对血清离子浓度的影响

大黄鱼血清  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  浓度在水体动荡胁迫后均出现升高, 如图 3 所示.  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  和  $\text{K}^+$  浓度均是在水体动荡胁迫后 4 h 时比胁迫前出现显著升高 ( $P<0.05$ ) (图 3(a)~(c)), 其中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  均是在 4~24 h 期间持续升高, 24 h 时的峰值分别为 $(230.6\pm9.7)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $(240.3\pm19.0)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 与胁迫前相比浓度分别升高 1.35 倍和 1.63 倍. 而  $\text{K}^+$  浓度在 8 h 和 24 h 时则略有降低 ( $P>0.05$ ). 胁迫后 4 h 时  $\text{K}^+$  浓度的峰值 $(11.2\pm0.6)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  与胁迫前 $(7.8\pm0.5)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  相比升高 1.43 倍. 与胁迫前 $(3.2\pm0.4)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  相比,  $\text{Ca}^{2+}$  浓度在胁迫后 0.5~4 h 期间呈不显著的小幅波动变化 ( $P>0.05$ ), 8 h 时浓度显著升高至 $(4.5\pm0.3)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $P<0.05$ ), 24 h 时再次显著升高 ( $P<0.05$ ) 并达到峰值 $(5.1\pm0.5)\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 此时  $\text{Ca}^{2+}$  浓度为胁迫前的 1.45 倍 (图 3(d)).

## 3 讨论

当鱼类受到外界环境胁迫时, 血清生化指标是反映鱼体物质代谢和组织器官机能状态变化的一个重要特征<sup>[6-7]</sup>. 在大黄鱼中已有以血液生化和酶活性为指标的人工低温胁迫以及越冬期自然降温过程中鱼体的代谢变化研究<sup>[8-9]</sup>. 为了解台风对网箱养殖大黄鱼机体状态的影响, 本研究检测了水体动荡胁迫后大黄鱼血清中生理生化指标的变化.

鱼类血清中的各种蛋白主要由肝脏合成, 在各项生理活动中有重要的作用. 在对大黄鱼、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)、鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 等鱼类的低温胁迫中也观察到了血清总蛋白降低的现象<sup>[8,10-11]</sup>, 水体动荡胁迫后大黄鱼血清 TP 浓度逐渐降低, 表明包括水体动荡、低温等在内的各种强胁迫可导致大黄鱼肝脏功能受损、蛋白合成能力降低. 胆固醇在血液中以不同的脂蛋白形式存在, 在肝脏中被氧化生成胆汁酸后大部分被肝脏重吸收. 水体动荡胁迫后 24 h 内大黄鱼血清 CHOL 显著降低, 表明水体动荡可导致肝脏损伤、影响肝脏功能. 与急性低温胁迫后大黄鱼血清 CHOL 的变化<sup>[8]</sup> 相比, 水体动荡胁迫后 CHOL 的降幅更大, 说明水体动荡比急性低温胁迫对大黄鱼肝脏功能的影响更大.

血清肌酐是肌酸的代谢产物, 鱼类CREA经过肾小球重吸收后排出体外, 是检测肾功能的重要指标. 冀德伟等<sup>[8]</sup>研究显示, 大黄鱼血清CREA在低温胁迫后迅速升高, 并在36 h内一直处在较高水平, 表明肾脏功能可能受到了损伤. 本研究中大黄鱼在水体动荡胁迫后0.5 h时CREA显著升高, 之后又降低至胁迫前水平, 表明大黄鱼经短时间的水体动荡胁迫后体内产生了大量的CREA, 可能会增加肾脏负担, 但不一定会导致肾功能受损.

血清酶活性的变化体现了机体代谢、物质转化的状况以及组织结构功能的不同状态, 是反映机体脏器与组织是否损伤的重要标志. ALT和AST是反映肝脏损伤的重要指示酶. 血清ALT和AST活性的显著升高, 表明水体动荡胁迫导致大黄鱼肝脏受损、肝细胞遭到破坏、转氨酶逸出进入血液. 在鲤鱼拥挤胁迫<sup>[12]</sup>和大黄鱼急性低温胁迫<sup>[8]</sup>的研究中也观察到了血清中ALT与AST含量增加的现象, 表明鱼类肝脏对各种胁迫应激较为敏感. LDH是糖代谢中催化丙酮酸向乳酸转化的酶, 可反映心肌的受损程度. 大黄鱼血清LDH活性的显著升高提示在强烈的水体动荡刺激下大黄鱼心肌收缩加强、代谢加快, 增加了心脏负荷并有可能引起心肌受损. ALP在鱼体内的物质代谢和免疫防护中发挥作用, 水体动荡胁迫后大黄鱼血清ALP活性先升高后降低并维持在较高水平, 表明鱼体在动荡胁迫后需进行损伤与炎症的自我修复, 王文博等<sup>[13]</sup>也观察到振荡胁迫后鲫鱼(*Carassius auratus*)血液溶菌酶水平升高, 这表明水体动荡胁迫会激起鱼体的免疫反应.

血清离子是维持细胞新陈代谢、调节细胞渗透压和维持内环境稳定的重要因子. 大黄鱼在水体动荡胁迫后各种血清酶指标的变化与急性低温、自然低温以及盐度胁迫下的变化均有较大差异, 并且同一种刺激在不同鱼类中引起的血清酶活变化也各不相同<sup>[14-16]</sup>. 水体动荡胁迫后大黄鱼血清 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $Na^+$ 和 $Ca^{2+}$ 浓度均呈现上升趋势,  $Na^+$ 、 $Cl^-$ 和 $K^+$ 浓度升高可能是细胞膜的通透性增加的结果,  $Ca^{2+}$ 浓度升高则可能与鱼体肌肉兴奋性升高有关. 虽然低温、盐度、水体动荡等胁迫均可引起鱼体血清各种离子浓度发生变化<sup>[8,11,15]</sup>, 但与酶活性等其他血液生化指标相比, 血清离子的变化幅度相对

较小, 表明鱼类有较强的离子平衡调节能力.

血清生化指标的变化提示水体动荡胁迫所致的应激反应会改变大黄鱼的机体代谢并可能导致肝脏、心脏损伤, 台风过境后的大黄鱼死亡可能与过度应激后的代谢失衡、能量消耗过大以及免疫降低有关. 水体激烈动荡下大黄鱼会贴壁、密集成群游动, 既引起了拥挤应激也会使鱼体出现擦伤, 而此状况会因台风引起网衣形变、网箱有效水体容积减少而加剧, 再加上台风过境时强降雨所致的盐度降低应激以及继发性细菌感染下的免疫应激, 使大黄鱼大量死亡. 因此, 除在台风前加固网箱、适当降低鱼群密度外, 合理使用抗应激药物也是减少大黄鱼死亡、降低损失的有效方法. 关于鱼类抗应激药物已有较多研究, 例如饲料中添加Vc有助于维持团头鲂、鲤等血清生化和肝脏抗氧化指标的稳定性, 减轻应激损伤<sup>[17-18]</sup>. 酯酶可通过促进鱼体黏液分泌而增强体表修复能力, 能显著缓解拉网及长途运输引起的鱼体涩鳞、出血、发红等应激症状<sup>[19]</sup>. 甜菜碱具有调节鱼体渗透压的作用, 可提供盐度变化下的抗应激能力. 在大黄鱼中也已有抗应激药物的研究报道, 例如饲料中添加甘氨酸可提高大黄鱼的抗氧化和抗应激能力<sup>[20]</sup>, 添加Vc、甜菜碱后大黄鱼生长加快、抗病害能力强、成活率显著提高<sup>[21]</sup>. 另外, 植物多糖、中草药也有提高鱼类抗应激能力的作用<sup>[22]</sup>. 今后我们将深入研究水体动荡胁迫下大黄鱼应激的分子机制, 并探讨增强抗应激能力的方法和措施, 以降低台风等灾害中养殖大黄鱼的损失.

#### 参考文献:

- [1] 康斌. 我国台风灾害统计分析[J]. 中国防汛抗旱, 2016, 26(2):36-40.
- [2] 陈昌福. 应激与鱼类应激性疾病[J]. 水利渔业, 1998(5): 7-9.
- [3] Xu J L, Yan X J, Chen D Y, et al. Metabolite change of cage-farming *Pseudosciaena crocea* during recovery process after typhoon[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2010, 38(9):1249-1255.
- [4] 李多云, 王曙, 苗亮, 等. 一种巨浪模拟器: 中国, ZL 201020550153.0[P]. 2011-04-27.
- [5] 王曙, 李多云, 苗亮, 等. 台风引起网箱内水体动荡模拟装置的制作与应用[J]. 宁波大学学报(理工版), 2012, 25(2):26-28.

- [6] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2):163-165.
- [7] 洪磊, 张秀梅. 环境胁迫对鱼类生理机能的影响[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1):114-121.
- [8] 冀德伟, 李多云, 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.
- [9] 张晓丽, 胡玉珍, 李多云, 等. 养殖大黄鱼在自然海区降温不同阶段抗氧化水平及血清酶活性的变化[J]. 海洋科学, 2013, 37(11):27-34.
- [10] 管标, 温海深, 刘群, 等. 急性温度胁迫对虹鳟血细胞和血清生化组分的影响[J]. 海洋与湖沼, 2014, 28(3):64-69.
- [11] 常玉梅, 曹鼎臣, 孙效文, 等. 低温胁迫对鲤鱼血清生化指标的影响[J]. 水产学杂志, 2006, 19(2):71-75.
- [12] 张磊, 樊启学, 赵志刚, 等. 慢性拥挤胁迫对鲤生长及血液生化指标的影响[J]. 大连水产学院学报, 2008, 22(6):465-469.
- [13] 王文博, 汪建国, 李爱华, 等. 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, 2004, 1(5):408-412.
- [14] 徐力文, 苏游禄, 刘广峰, 等. 急性盐度胁迫下军曹鱼稚鱼应激反应的血清学指标[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(2):91-94.
- [15] 徐力文, 冯娟, 郭志勋, 等. 盐度对军曹鱼稚鱼血液生理生化及鳃  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase 活性的影响[J]. 海洋环境科学, 2009, 27(6):602-606.
- [16] 王涛, 苗亮, 李多云, 等. 突降盐度胁迫对大黄鱼血清生理生化及鳃丝  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase 酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2):422-426.
- [17] Dabrowska H, Dabrowski K, Meyer-Burgdorff K, et al. The effect of large doses of vitamin C and magnesium on stress responses in common carp, *Cyprinus carpio*[J]. Comparative Biochemistry & Physiology A Comparative Physiology, 1991, 99(4):681-685.
- [18] 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.
- [19] 张卫东. 鱼用抗应激饲料添加剂的研究与应用[J]. 河南水产, 2007, 72(3):45-46.
- [20] 潘孝毅, 张琴, 李俊, 等. 饲料中添加甘氨酸可提高大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的抗氧化和抗应激能力[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(2):91-98.
- [21] 涂振波, 王曙, 李多云, 等. 添加 Vc、甜菜碱饲料养殖大黄鱼的效果试验[J]. 科学养鱼, 2012(9):72-73.
- [22] 张达云, 申屠基康. 中草药在水生动物机体调节和抗应激中的应用[J]. 现代农业科技, 2016(10):256-257.

## The effects of water unrest stress on serum biochemical parameters in large yellow croaker

DU Jing-ya, MIAO Liang, LI Ming-yun\*, WANG Shu, WANG Tao, HOU Hong-hong

(Applied Marine Biotechnology Key Laboratory of the Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

**Abstract:** In this study, stress was introduced to large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) using a typhoon-induced water unrest simulator. The serum biochemical parameters were detected at 0.5, 1, 2, 4, 8 and 24 h following stress, and the untreated samples were used as control (0 h). The results showed that serum total protein (TP) and cholesterol (CHOL) decreased consecutively from 0.5 h to 24 h following stress. The activity of alanine transaminase (ALT) increased significantly during 0.5-1 h and decreased significantly afterwards. The activities during 2-24 h were only half those of the control. The activity of aspartate transaminase (AST) increased significantly from 0.5 h to 24 h, and the activity at 24 h increased 6.5 times compared to that of 0 h. The peak value of creatinine (CREA) activity appeared at 0.5 h. During the period of 1-8 h, the activities were recovered to the level corresponding to the control group; whereas at 24 h the activity decreased significantly to 25% of the control. During 2-24 h, the activities of lactic dehydrogenase (LDH) were significantly higher than that of 0 h. The activity of alkaline phosphatase (ALP) had a significant increase at 2 h, and maintained relatively high level during 2-24 h. And the concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  in serum all increased significantly after water unrest stress. The changes of serum biochemical parameters of *P. crocea* indicated that the stress of water unrest could lower immunity as well as impair liver and heart.

**Key words:** *Larimichthys crocea*; typhoon; water unrest; response to stress; serum biochemical parameters

(责任编辑 史小丽)