

# 养殖模式及酸和硫化物胁迫对中华乌塘鳢血液生理生化指标的影响\*

## Effects of Culture Pattern, Acid and Sulfide Stress on Hematology Physiological and Biochemical Parameters in Chinese Black Sleeper (*Bostrychus sinensis*)

陆宇哲<sup>1,2</sup>, 潘红平<sup>1</sup>, 王 帅<sup>1,2</sup>, 杨明柳<sup>2</sup>, 刘文光<sup>1,2</sup>, 阎 冰<sup>2\*\*</sup>

LU Yuzhe<sup>1,2</sup>, PAN Hongping<sup>1</sup>, WANG Shuai<sup>1,2</sup>, YANG Mingliu<sup>2</sup>,

LIU Wenguang<sup>1,2</sup>, YAN Bing<sup>2</sup>

(1. 广西大学动物科学技术学院, 广西南宁 530004; 2. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)

(1. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:**【目的】比较红树林区 3 种不同生长环境下中华乌塘鳢 (*Bostrychus sinensis*) 的血液生理生化指标, 并探究其对酸和硫化物胁迫的响应, 为中华乌塘鳢红树林生态养殖提供参考。【方法】采集野生、红树林地理管道生态养殖和池塘养殖的中华乌塘鳢成体, 取血测定红细胞(RBC)含量、白细胞(WBC)含量及其组成、总蛋白(TP)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活力、谷胱甘肽巯基转移酶(GST)活力和总抗氧化能力(T-AOC), 并进行分析比较; 采用不同强度的酸或硫化物胁迫中华乌塘鳢 72 h, 每隔 24 h 取血检测。【结果】在所测定的 10 项指标中, 中华乌塘鳢红树林地理管道生态养殖群体与池塘养殖群体间仅红细胞数量差异显著, 而野生群体与养殖群体间有 5 项存在显著差异。红细胞数量差异表现为池塘养殖群体 > 红树林地理管道生态养殖群体 > 野生群体。野生群体的中性粒细胞百分比显著高于养殖群体, 淋巴细胞正好相反。水体 pH 值 5.5 以下或硫化物含量 1 225  $\mu\text{g/L}$  以上, 即能导致中华乌塘鳢产生急性毒理反应, 总体表现为红细胞减少, 白细胞增加, SOD 活力降低, GST 活力增强, TP 含量升高, T-AOC 下降, 胁迫强度和持续时间与毒理反应强度呈正相关。【结论】中华乌塘鳢血液生理生化指标对红树林地理管道生态养殖环境的响应与池塘养殖基本一致, 一定浓度硫化物或酸会危害中华乌塘鳢健康状况, 硫化物和低 pH 值不是红树林地理管道生态养殖的限制因子, 但仍是潜在的危害因子。

**关键词:** 中华乌塘鳢 血液生理生化指标 红树林地理管道生态养殖

中图分类号: S917 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2017)05-0516-07

**Abstract:**【Objective】The physiological and biochemical parameters of Chinese black sleeper, *Bostrychus sinensis*, were studied in three different growing environments in mangrove areas, and their responses to acid and sulfides stress were explored, which provided a reference for the eco-farming of the animals.【Methods】Haematological bioassay was conducted to analyze and compare RBC, WBC and its composition, TP, SOD, GST, and T-AOC in the blood of *Bostrychus sinensis* which were cultured in wild,

收稿日期: 2017-05-31

作者简介: 陆宇哲(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事红树林生态养殖研究, E-mail: luyuzhe@163.com。

\* 海洋公益性行业科研专项经费项目(201505028)和广西红树林保护与利用重点实验室基金课题(GKLMC-08)资助。

\*\* 通信作者: 阎 冰(1966—), 男, 研究员, 主要从事红树林生态学研究, E-mail: gxybing@tom.com。

in eco-farming way in buried tunnel of situ mangrove and in pond. *Bostrychus sinensis* were stressed by acids and sulfides of different concentration for 72 h before their blood was taken. **【Results】**There was no significant difference between the ecological breeding population and the pond culture population in the ten tested haematological parameters except red blood cell. And there were significant differences between the wild population and the breeding population in the five tested haematological parameters. The number of red blood cell varied with pond culture population > situ mangrove buried tunnel ecological farming group > wild population. The percentage of neutrophil granulocyte of wild population was significantly higher than the cultured population, and the lymphocytes were just the opposite. Generally, acute toxicological responses of *Bostrychus sinensis* were observed when pH was 5.5 or less or sulfide level reached 1 225  $\mu\text{g}/\text{L}$  or more, featured at decrease in red blood cell, increase in white blood cell, decrease in activity of SOD, increase in GST activity, increase in TP and decrease in T-AOC. Intensity of acute toxicological responses were positively correlated with the strength and duration of stresses. **【Conclusion】**The haematological physiological and biochemical responses of Chinese black sleeper cultured in eco-farming way were similar to those cultured in ponds. A certain concentration of sulfide or acid would harm the health status of Chinese black sleeper. Sulfide and low pH were not the limiting factors of buried tunnel ecological farming Chinese black sleeper in situ mangrove, but still a potential harmful factor.

**Key words:** *Bostrychus sinensis*, haematological physiological and biochemical parameters, buried tunnel eco-farming in situ mangrove

## 0 引言

**【研究意义】**红树林是生长在热带和亚热带潮间带,以红树植物为主体的潮滩湿地生物群落,具有很高的生态价值,在全球 16 种主要生态系统中排名第四<sup>[1]</sup>,红树林保护已受到高度重视。林内挖捕经济动物是红树林人为破坏的主要因子<sup>[2]</sup>,开展不破坏红树林的林下水产养殖替代林内挖捕活动,是兼顾生态保护和经济发展的有效途径<sup>[3]</sup>,“红树林地理管道生态养殖”即是在这一理念下研发的不破坏红树林的林下水产养殖新模式<sup>[4]</sup>,目前的主要养殖品种是中华乌塘鳢(*Bostrychus sinensis*),一种名贵的海水鱼类。鱼类血液的生理生化指标常被用于鱼的健康状况评价和疾病诊断,其受到诸多因素的影响,如环境胁迫、养殖密度、饵料质量及饲养管理、应急反应等。红树林土壤低 pH 值和高硫化物含量的酸性硫酸盐土壤性质<sup>[5]</sup>,是开展红树林林下水产养殖的环境胁迫因子,故有必要研究养殖物种对这一特殊环境的适应性。**【前人研究进展】**鱼类不同种及同种野生与养殖群体间,血液生理生化指标存在显著差异<sup>[6-9]</sup>。环境条件(水温、盐度、pH 值、溶氧等)、营养状况(食物供给、营养结构、添加剂及药物等)、水质污染(氨氮、亚硝酸盐、重金属等)、机械损伤、病害、应急反应,以及种间种内竞争等因素,都能导致鱼类血液生理生化指标变化<sup>[10-12]</sup>。酸胁迫使泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)红细胞(RBC)数量降低、白细胞(WBC)数量增加<sup>[13]</sup>,黄颡鱼(*Pelteobagrus*

广西科学 2017 年 10 月 第 24 卷第 5 期

*fulvidraco*)血红蛋白下降、红细胞脆性增大<sup>[14]</sup>。硫化物胁迫导致大盖巨脂鲤(*Colossoma macropomum*)红细胞数量和血红蛋白含量降低<sup>[15]</sup>、滨岸护胸鲶(*Hoplosternum littorale*)血液氧化酶活性降低<sup>[16]</sup>。**【本研究切入点】**中华乌塘鳢的生物学特性,以及与人工繁殖和养殖相关方面已有一定的研究基础。血液学研究方面仅戈薇等<sup>[17]</sup>研究了血细胞的形态和白细胞分类计数。血液生理生化指标,以及其对酸和硫化物胁迫响应等的研究尚未见报道。**【拟解决的关键问题】**测定并比较野生、红树林地理管道生态养殖和池塘养殖的中华乌塘鳢血液生理生化指标,通过胁迫实验探究其对酸和硫化物胁迫的响应,丰富中华乌塘鳢血液学研究的基础数据,为中华乌塘鳢红树林生态养殖提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

不同群体比较用鱼均于 2016 年 9 月在广西防城港市沿海采集,选择健康无伤、反应灵敏、大小规格基本一致的野生、红树林地理管道生态养殖、池塘养殖的中华乌塘鳢成体进行分析。野生群体购自江平镇山心村,渔民用蜈蚣笼捕获;红树林地理管道生态养殖群体由位于江山乡石角埠的广西红树林研究中心珍珠港滨海生态实验站提供;池塘养殖群体购自茅岭乡大陶村。所有实验鱼用泡沫箱低温保湿干运回实验室,用盐度为 20‰的半海水微充气暂养 24 h 后取血测定,暂养期间不喂食,半海水为经自来水调节盐

度的砂滤海水。胁迫实验用鱼取自红树林地理管道生态养殖群体,2016年8月采集200尾,平均体重(121.27±10.77)g。

## 1.2 方法

### 1.2.1 采血和血样处理

用含80 mg/L间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222)的半海水浸泡待测鱼8~10 min,待鱼麻醉后取出,从尾静脉抽血。每尾抽取约1.5 mL血液,将一部分血液置于含有EDTA-K2的1.5 mL抗凝EP管中,用于血细胞计数和制作血涂片;另一部分血液缓慢注入另一个1.5 mL已编号预冷的干净EP管中,室温放置0.5 h后转入4℃冰箱过夜,在4℃、10 000 r/min条件下离心10 min,取上清液用于生化指标测定。

### 1.2.2 血细胞分类与计数

血细胞计数:分别用红细胞计数液和白细胞计数液稀释后,在血球计数板上进行红细胞计数与白细胞计数。

白细胞分类计数:血涂片瑞氏染色(Wright's stain),油镜随机观察200个白细胞,记录各种白细胞的个数并照相。

### 1.2.3 生化指标测定

血清总蛋白(TP)含量测定采用乙醇沉淀-二喹啉甲酸法<sup>[18]</sup>,单位为mg/mL;超氧化物歧化酶(SOD)活力测定采用羟胺发色法<sup>[19]</sup>,每分钟每毫升血清抑制邻苯三酚自氧化速率达50%时的酶量为一个活力单位(U/mL);谷胱甘肽巯基转移酶(GST)活力测定参照程佩兰等<sup>[20]</sup>的方法,每分钟每毫升血清催化1 μmol/L 1-氯-2,4-二硝基苯(CDNB)与GSH结合的酶量为一个活力单位(U/mL);总抗氧化能力(T-AOC)测定采用铁离子还原法(FRAP)<sup>[21]</sup>,单位为每毫升血清还原三价铁离子的微摩尔数(μmol/mL)。

### 1.2.4 胁迫实验

实验鱼养于规格为60 cm×30 cm×50 cm(长×宽×高)的无毒长方形聚乙烯水箱内,养殖用水为砂滤海水经自来水调节后的盐度为20‰的半海水,pH值为8.0±0.5,水温控制在(26±1)℃。实验用鱼运回实验室后,先暂养3 d,期间连续充气,头2 d每天投喂新鲜海虾肉,第3天不喂食,每天换水。

酸胁迫用1 mol/mL的HCl和1 mol/mL的NaOH调节养殖水体的pH值,设置水体pH值分别为4.0,5.5和7.1的3个胁迫组,另设1个未调节pH值的对照组(pH值为8.0±0.5)。硫化物胁迫用1 g/L的Na<sub>2</sub>S溶液为母液调节养殖水体硫化物浓

度,设置水体硫化物表观浓度分别为500 μg/L、1 225 μg/L和3 000 μg/L的3个胁迫组,另设1个不添加硫化物的对照组。根据预实验测定的3个不同浓度梯度组中硫化物随时间的衰减量,每4 h补充1次硫化钠母液,以维持实验水体相对稳定的硫化物表观浓度。每组设2个平行,每个平行12尾实验鱼。分别在胁迫开始后0 h、24 h、48 h和72 h从各组中取出实验鱼6尾,采血测定生理生化指标。胁迫实验期间不喂食,不换水。

### 1.2.5 统计方法

所有数据先用Microsoft Excel整理,然后用SPSS19.0统计软件进行方差分析(ANOVA)和LSD均值多重比较,所有结果均以平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同群体中华乌塘鳢血液生理生化指标比较

如表1所示,在血细胞数量方面,野生、红树林地理管道生态养殖和池塘养殖中华乌塘鳢3个群体间红细胞数量均差异显著,表现为池塘养殖群体>红树林地理管道生态养殖群体>野生群体;白细胞数量无显著性差异。在白细胞组成方面,3个群体的中性粒细胞数和淋巴细胞数之和均占白细胞总数的95%以上;中性粒细胞占比野生群体显著高于两个养殖群体,淋巴细胞占比野生群体显著低于两个养殖群体;单核细胞和血栓细胞占比均极低,3个群体间无显著性差异。野生群体的血清总蛋白含量显著低于两个养殖群体,总抗氧化能力显著高于两个养殖群体,超氧化物歧化酶和谷胱甘肽巯基转移酶活力在3个群体间均无显著差异。

### 2.2 硫化物胁迫对中华乌塘鳢血液生理生化指标的影响

硫化物胁迫的影响如图1所示。白细胞和红细胞数量,低浓度组72 h内无显著变化;中、高浓度组白细胞数增加,红细胞数减少,分别于24 h、48 h达到与对照组显著差异水平,增/减速度和强度与硫化物浓度正相关。SOD活力,低浓度组72 h内无显著变化;中浓度组24 h后持续上升,72 h达到与对照组差异显著水平;高浓度组24 h后持续降低,48 h达到与对照组差异显著水平。GST活力,低浓度组72 h内无显著变化;中、高浓度组表现为上调,分别于72 h、48 h显著高于对照组。TP含量,低浓度组72 h内无显著变化;中、高浓度组表现为上调,均于72 h显著高于对照组。T-AOC则是先上升后下降,3个浓度组表现一致,24 h显著高于对照组,48 h回落至与对照组相当,72 h显著低于对照组。

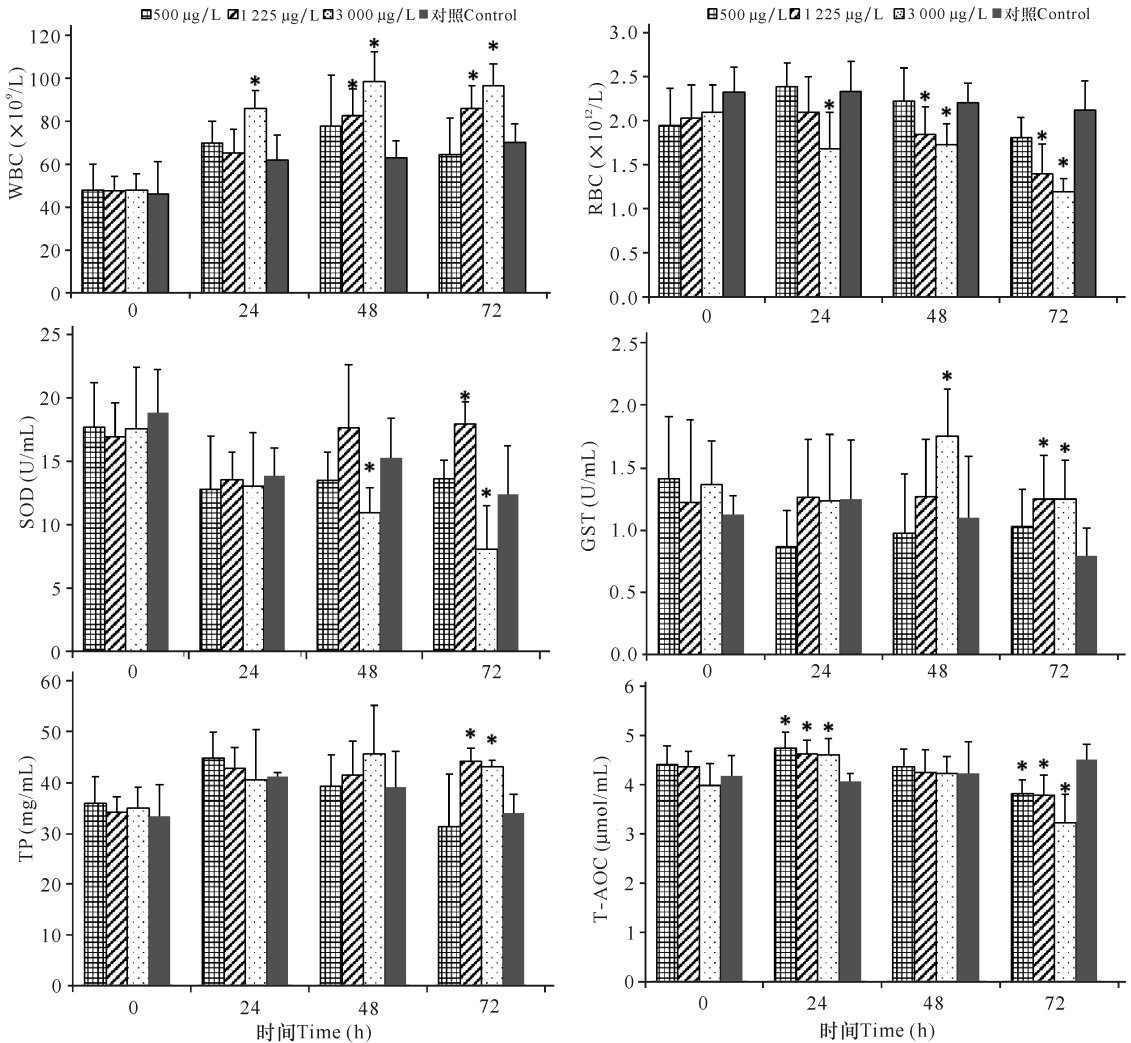
表 1 不同群体中华乌塘鳢的血液生理生化指标

Table 1 The blood physiological and biochemical parameters in *Bostrychus sinensis* in different groups

项目 Item	体重 Body weight (g)	体长 Stem length (cm)	红细胞数 RBC ( $\times 10^{12}$ 个/L)	白细胞数 WBC ( $\times 10^9$ 个/L)	中性粒细胞 NEU (%)	淋巴细胞 LYM (%)	单核细胞 MON (%)	血栓细胞 Thrombocyte (%)	TP (mg/mL)	SOD (U/mL)	GST (U/mL)	T-AOC ( $\mu\text{mol/mL}$ )
野生 Wild	93.12 $\pm$ 17.05	165.95 $\pm$ 9.70	2.58 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>	28.33 $\pm$ 5.16 <sup>a</sup>	72.08 $\pm$ 6.22 <sup>a</sup>	23.92 $\pm$ 5.56 <sup>b</sup>	2.50 $\pm$ 1.90 <sup>a</sup>	1.50 $\pm$ 1.612 <sup>a</sup>	28.44 $\pm$ 1.62 <sup>b</sup>	16.57 $\pm$ 2.74 <sup>a</sup>	2.01 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>	4.52 $\pm$ 0.76 <sup>a</sup>
生态养殖 Eco-farm	83.58 $\pm$ 12.17	162.66 $\pm$ 8.61	2.89 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	29.17 $\pm$ 5.85 <sup>a</sup>	58.67 $\pm$ 10.36 <sup>b</sup>	37.75 $\pm$ 11.76 <sup>a</sup>	2.33 $\pm$ 1.47 <sup>a</sup>	1.25 $\pm$ 1.08 <sup>a</sup>	35.60 $\pm$ 5.36 <sup>a</sup>	14.66 $\pm$ 2.92 <sup>a</sup>	2.74 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	3.75 $\pm$ 0.48 <sup>b</sup>
池塘养殖 Pond-farm	102.38 $\pm$ 18.20	168.80 $\pm$ 9.72	3.34 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>	32.50 $\pm$ 7.58 <sup>a</sup>	54.08 $\pm$ 10.24 <sup>b</sup>	41.83 $\pm$ 10.55 <sup>a</sup>	1.67 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	2.42 $\pm$ 2.69 <sup>a</sup>	35.17 $\pm$ 2.92 <sup>a</sup>	15.97 $\pm$ 3.64 <sup>a</sup>	2.51 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>	3.59 $\pm$ 0.62 <sup>b</sup>

注:同一列上标字母不同的数据之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: The values with different superscripts within the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ )



\* 表示与对照组相比差异显著 ( $P < 0.05$ )

\* Indicate significant differences between values which compared with control ( $P < 0.05$ )

图 1 硫化物对中华乌塘鳢血液生理生化指标的影响

Fig. 1 Effect of sulfide on blood physiological and biochemical parameters in *Bostrychus sinensis*

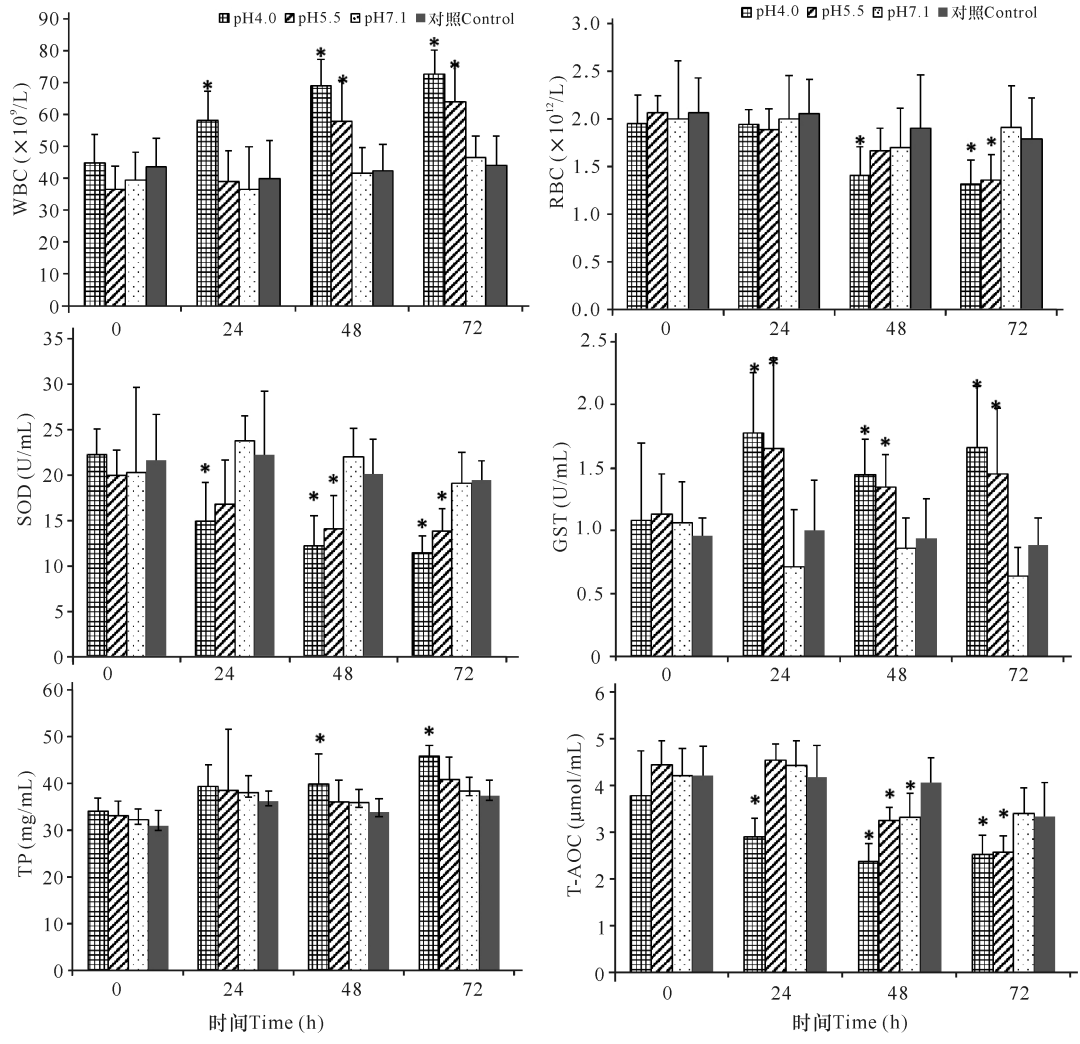
### 2.3 酸胁迫对中华乌塘鳢血液生理生化指标的影响

如图 2 所示,酸胁迫下中华乌塘鳢血液白细胞数增加,红细胞数减少;pH 值为 4.0 和 5.5 处理组的白细胞数分别在 24 h 和 48 h 开始显著高于对照组,

红细胞数分别在 48 h 和 72 h 开始显著低于对照组。SOD 活力持续下降,pH 值为 4.0 和 5.5 处理组分别在 24 h 和 48 h 达到显著差异水平。GST 活力增强,pH 值为 4.0 和 5.5 处理组均在 24 h 达到显著

水平,然后维持在高活力状态。pH 值为 4.0 处理组 TP 含量升高,其余处理组均无显著影响。T-AOC 总体表现为下调,pH 值为 4.0 和 5.5 处理组分别在

24 h 和 48 h 达到显著水平,后维持在较低水平,pH 值为 7.1 处理组 24 h 后开始下调,48 h 显著低于对照组,72 h 又回复至与对照组持平。



\* 表示与对照组相比差异显著 ( $P < 0.05$ )

\* Indicate significant differences between values which compared with control ( $P < 0.05$ )

图 2 酸对中华乌塘鳢血液生理生化指标的影响

Fig. 2 Effect of acid stress on blood physiological and biochemical parameters in *Bostrychus sinensis*

### 3 讨论

#### 3.1 中华乌塘鳢血液生理生化指标对红树林埋管道生态养殖环境的响应分析

正常健康的鱼类的血液生理生化指标一般会维持在一个相对稳定范围内,在受到病原体入侵或水体理化因子剧烈变化等胁迫时会发生改变<sup>[22]</sup>。在不良的环境条件下,野生鱼会采取逃离的方式应对,而养殖鱼只能通过调节自身生理状况适应胁迫因子的长期作用。在本研究所测定的 10 项中华乌塘鳢血液生理生化指标中,红树林埋管道生态养殖群体与池塘养殖群体间仅红细胞数量 1 项存在显著差异,而野生群体与养殖群体间有 5 项存在显著差异,说明中华乌

塘鳢血液生理生化指标对红树林埋管道生态养殖环境的响应与池塘养殖基本一致。

红细胞数量,池塘养殖群体 > 红树林埋管道生态养殖群体 > 野生群体,可能与食物获取和养殖水体溶氧等有关。饥饿会导致红细胞数量降低,低溶氧诱导红细胞数量增加<sup>[12]</sup>。野生群体生活在自然环境中,水体溶氧高,食物依靠捕捉,经常处于饥饿状态。红树林埋管道生态养殖是一种依靠潮汐能驱动的长流水养殖,但每天有几小时水体不流动,水体溶氧相对较低,食物部分来源于进入系统的天然小鱼虾贝,部分来源于人工投喂,食物供给较有保障<sup>[23]</sup>。池塘养殖未充氧,养殖水体溶氧最低,人工投喂,食物供给充足。鱼类白细胞的主要功能是参与机体的免疫

活动,在受到病原体侵袭或有害物质胁迫时,白细胞数量和不同类型白细胞的比例会发生变化。野生、红树林地理管道生态养殖和池塘养殖 3 个群体的白细胞数量无显著差异,这与实验鱼均选择反应灵敏的健康无伤个体相吻合。本研究结果中华乌塘鳢白细胞中性粒细胞和淋巴细胞占绝大部分,单核细胞与血栓细胞数量极少,与戈薇等<sup>[17]</sup>的报道一致。中性粒细胞主要参与非特异性免疫,而淋巴细胞主要参与特异性免疫,野生群体的中性粒细胞比例显著高于养殖群体,而淋巴细胞显著低于养殖群体,养殖群体淋巴细胞的百分比高,可能是适应养殖环境的慢性应激反应,暗示养殖环境存在某类特定的胁迫因子。本研究中两个中华乌塘鳢养殖群体的血清总蛋白含量均显著高于野生群体,与齐口裂腹鱼(*Schizothorax prenanti*)<sup>[6]</sup>的表现相似,可能与养殖群体食物充足、运动量小,而野生群体时常饥饿、捕食运动量大有关。

### 3.2 中华乌塘鳢血液生理生化指标对酸或硫化物胁迫的响应分析

酸或硫化物均能导致中华乌塘鳢产生毒理反应,总体表现为中华乌塘鳢血液红细胞数减少,白细胞数增加,SOD 活力降低,GST 活力增强,TP 含量升高,T-AOC 下降,胁迫强度和持续时间与毒理反应强度呈正相关,水体 pH 值达到 5.5 或硫化物含量达到 1 225  $\mu\text{g/L}$ 即能引起急性毒理反应。值得注意的是中华乌塘鳢血液 SOD 活力在 3 000  $\mu\text{g/L}$ 、1 225  $\mu\text{g/L}$  和 500  $\mu\text{g/L}$  的硫化物胁迫下,分别表现为持续降低、持续增加和无显著变化,而在 pH 值为 4.0 和 5.5 的酸胁迫下均表现为持续降低,说明对不同的胁迫因子、不同的胁迫强度有不同的响应规律。另外,由于胁迫实验过程中不喂食,后期对照组的红细胞数和 SOD 活性较初期有小幅度下降,这可能是饥饿的影响。

### 3.3 中华乌塘鳢对红树林林下养殖的耐受性分析

虽然红树林土壤中硫含量为 90~809 mg/kg,平均含量 214 mg/kg, pH 值为 2.98~7.5,平均 5.99<sup>[24]</sup>,但红树林地理管道生态养殖是一个相对封闭的系统,养殖水体与红树林土壤没有接触,仅在红树林被潮水浸淹时与海水有交换,养殖水体的硫化物含量与 pH 值与土壤的关联度不强。在多年的生产过程中,检测到的养殖水体的最高硫化物含量为 34.82  $\mu\text{g/L}$ ,最低 pH 值为 6.8<sup>[23]</sup>,均远低于对中华乌塘鳢产生毒性反应的胁迫强度。

## 4 结论

红树林区野生和养殖中华乌塘鳢群体血液生理  
广西科学 2017 年 10 月 第 24 卷第 5 期

生化指标差异显著,但红树林地理管道生态养殖和池塘养殖群体总体相当,中华乌塘鳢血液生理生化指标对红树林地理管道养殖环境的响应与池塘养殖基本一致。水体硫化物浓度 1 225  $\mu\text{g/L}$  及以上、pH 值 5.5 及以下会危害中华乌塘鳢健康状况。硫化物和酸不是红树林地理管道生态养殖的限制因子,但仍是潜在的危害因子。

### 参考文献:

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Ecological Economics*, 1997, 25(1): 3-15.
- [2] 何琴飞, 范航清, 莫竹承, 等. 挖掘泥丁对红树植物白骨壤幼苗生长影响的模拟[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(4): 947-952.  
HE Q F, FAN H Q, MO Z C, et al. Impacts of digging *Phascolosoma esculenta* on the growth of mangrove *Avicennia marina* seedlings: A simulation study[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(4): 947-952.
- [3] 范航清, 王文卿. 中国红树林保育的若干重要问题[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2017, 56(3): 323-330.  
FAN H Q, WANG W Q. Some thematic issues for mangrove conservation in China[J]. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2017, 56(3): 323-330.
- [4] FAN H Q, HE B Y, PERNETTA J C. Mangrove eco-farming in Guangxi Province China: An innovative approach to sustainable mangrove use[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2013, 85: 201-208.
- [5] 龚子同, 张效朴. 中国的红树林与酸性硫酸盐土[J]. *土壤学报*, 1994, 31(1): 86-94.  
GONG Z T, ZHANG X P. Mangrove and acid sulphate soils in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1994, 31(1): 86-94.
- [6] 陈永祥, 肖玲远, 严太明, 等. 野生和养殖裂腹鱼血液学指标的比较研究[J]. *水生生物学报*, 2009, 33(5): 905-910.  
CHEN Y X, XIAO L Y, YAN T M, et al. Hematological of wild and cultured schizothoracin fishes[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(5): 905-910.
- [7] COZ-RAKOVAC R, STRUNJAK-PEROVIC I, HACMANJEK M, et al. Blood chemistry and histological properties of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in the North Adriatic Sea[J]. *Veterinary Research Communications*, 2005, 29(8): 677-687.
- [8] ZHOU X Y, LI M Y, ABBAS K, et al. Comparison of haematology and serum biochemistry of cultured and wild Dojo loach *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2009, 35(3): 435-441.
- [9] GUL Y, GAO Z X, QIAN X Q, et al. Haematological and serum biochemical characterization and comparison of wild and cultured northern snakehead (*Channa argus* Cantor, 1842)[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2011, 27(1): 122-128.

- [10] 黄国强,李洁,柳意樊.不同溶氧水平对褐牙鲈幼鱼呼吸行为和血液指标的影响[J].广西科学,2013,20(1):52-56.  
HUANG G Q,LI J,LIU Y F. Effects of dissolved oxygen content on respiratory behavior and blood parameters of juvenile *Paralichthys olivaceus* [J]. Guangxi Sciences,2013,20(1):52-56.
- [11] 宋志飞,温海深,赵艳飞,等.流水养殖条件下养殖密度对俄罗斯鲟幼鱼非特异性免疫的影响[J].广西科学,2017,24(4):389-395.  
SONG Z F,WEN H S,ZHAO Y F, et al. Effects of stocking density on the non-specific immune functions of juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedti*) in flowing water cultivation[J]. Guangxi Sciences,2017,24(4):389-395.
- [12] 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.  
XU Y J,SUN M. Research progress on the effects of environmental stress on fish blood[J]. Fisheries Science & Technology,2010(3):27-31.
- [13] 胡一中,颜志刚.酸胁迫对泥鳅血细胞数量和血红蛋白含量的影响[J].贵州农业科学,2011,39(10):138-139.  
HU Y Z,XIE Z G. Effect of acid stress on blood cell quantity and hemoglobin content in *Misgurnus anguillicaudatus* [J]. Guizhou Agricultural Sciences,2011,39(10):138-139.
- [14] 吴萍,宋学宏,蔡春芳,等. pH对黄颡鱼红细胞脆性及血红蛋白含量的影响[J].水利渔业,2002,22(1):21-23.  
WU P,SONG X H,CAI C F, et al. Effects of pH on the blood characteristics of *Pseudobagrus fulvidraco* [J]. Reservoir Fisheries,2002,22(1):21-23.
- [15] AFFONSO E G,POLEZ V L P,CORRÊA C F, et al. Blood parameters and metabolites in the teleost fish *Colossoma macropomum* exposed to sulfide or hypoxia [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology,2002,133(3):375-382.
- [16] AFFONSO E G,POLEZ V L P,CORRÊA C F, et al. Physiological responses to sulfide toxicity by the air-breathing catfish, *Hoplosternum littorale* (Siluriformes, Callichthyidae) [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology,2004,139(4):251-257.
- [17] 戈薇,洪万树,张其永,等.中华乌塘鳢血细胞的研究[J].台湾海峡,2009,28(1):7-12.  
GE W,HONG W S,ZHANG Q Y, et al. Study on the haemocyte of Chinese black sleeper *Bostrichthys sinensis* [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait,2009,28(1):7-12.
- [18] 高晓非,文晓静.乙醇沉淀-二喹啉甲酸法测定含脂类样品中蛋白质的含量[J].医药导报,2010,29(12):1630-1633.  
GAO X F,WEN X J. Determination of protein in lipid samples by the ethanol precipitation-BCA method[J]. Herald of Medicine,2010,29(12):1630-1633.
- [19] 任立英,陈小刚,张慧,等.羟胺发色法测定超氧化物歧化酶[J].临床检验杂志,1993,11(4):185-186.  
REN L Y,CHEN X G,ZHANG H, et al. Determination of superoxide dismutase (SOD) by the Hydroxylamine method[J]. Chinese Journal of Clinical Laboratory Science,1993,11(4):185-186.
- [20] 程佩兰,李昕,徐元仁.血清谷胱甘肽硫转移酶测定及其临床应用[J].天津医药,1995,23(6):333-336.  
CHENG P L,LI X,XU Y R. The measurement of GST in serum and its clinical significance[J]. Tianjin Medical Journal,1995,23(6):333-336.
- [21] BENZIE I F,STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry,1996,239(1):70-76.
- [22] 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.  
ZHOU Y,GUO W C,YANG Z G, et al. Advances in the study of haematological indices of fish[J]. Journal of Shanghai Fisheries University,2001,10(2):163-165.
- [23] 倪翔.地理式管网红树林原位生态养殖系统天然饵料结构与水质变化的研究[D].南宁:广西大学,2013.  
NI X. The study of natural bait structure and water quality dynamic change of underground tube eco-farming conservation system[D]. Nanning:Guangxi University,2013.
- [24] 林慧娜,傅娇艳,吴浩,等.中国主要红树林湿地沉积物中硫的分布特征及影响因素[J].海洋科学,2009,33(12):79-82.  
LIN H N,FU J Y,WU H, et al. Distribution and influential factors of sulfur in mangrove wetlands in China [J]. Marine Sciences,2009,33(12):79-82.

(责任编辑:陆雁)