

文章编号: 1004 - 7271(2008)04 - 0440 - 07

胭脂鱼部分血液学指标测定 及其对苏州河水的响应

潘莹^{1,2}, 唐文乔^{1,2}, 张饮江², 顾珏蓉³

(1. 上海海洋大学鱼类研究室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 200090;
3. 上海市苏州河环境综合整治领导小组办公室, 上海 200080)

摘要:在对胭脂鱼血液学指标进行测定的基础上,在室内用苏州河原水对胭脂鱼做了32 d的毒理实验。血液学指标测定表明,在(15±1)℃和(25±1)℃水温下,2龄胭脂鱼的平均Hb含量为(77±9.50) g/L, RBC为(1.98×10¹²±0.13×10¹²) ind/L, WBC为(2.06×10¹⁰±0.12×10¹⁰) ind/L, SOD活性为(106.21±4.09) U/mL, 溶菌酶活性为(224.53±16.98) U/mL。毒理实验表明,在(15±1)℃水温下,经过曝气、循环、消毒后的两河段苏州河水对2龄胭脂鱼的Hb含量影响与对照组之间均有显著差异,而两实验组间无差异;三组间的RBC均无差异;三组的WBC均有所减少,且三组间差异极显著;三组的SOD活性较接近,组间无差异。这显示苏州河有机毒物和重金属对胭脂鱼有胁迫。研究预示,低溶氧和有毒微生物可能是阻碍苏州河大型鱼类生存的关键生态因子,改善溶氧和消除有毒微生物应是下一阶段苏州河的整治方向。

关键词:胭脂鱼;血液学指标;响应;苏州河水
中图分类号:S 917 **文献标识码:**A

Parts of hematology indexes of *Myxocyprinus asiaticus* and the response to the water of Suzhou Creek

PAN Ying^{1,2}, TANG Wen-qiao^{1,2}, ZHANG Yin-jiang², GU Jue-rong³
(1. Laboratory of Ichthyology, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China;
2. Key Laboratory of Exploration and
Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai 200090, China;
3. Shanghai Suzhou Creek Rehabilitation Project Head Office, Shanghai 200080, China)

Abstract: Suzhou Creek is a famous urban polluted waterway in Shanghai, which was regulated for several years, but the harmonious water ecological system has not been built. On the basis of testing the hematology indexes of *Myxocyprinus asiaticus*, this paper used the Suzhou Creek water to do some toxicological experiments to *M. asiaticus*, which lasted 32 d. The hematology indexes indicated that under (15±1)℃ and (25±1)℃, the average hemoglobin (Hb) content of two year old Chinese sucker is (77±9.50) g/L, red blood cell (RBC) is (1.98×10¹²±0.13×10¹²) ind/L, white blood cell (WBC) is (2.06×10¹⁰±0.12×10¹⁰) ind/L,

收稿日期: 2007-12-11

基金项目: 上海市教学委员会项目(6680105223); 上海市科学委员会项目(05dz05823); 上海市苏州河环境综合整治办公室项目(6660107130)

作者简介: 潘莹(1983-), 女, 浙江临海人, 硕士研究生, 专业方向为鱼类学与保护生物学。E-mail: ypan@stmail.shou.edu.cn
通讯作者: 唐文乔, E-mail: wqtang@shou.edu.cn

the SOD activity is (106.21 ± 4.09) U/mL and the lysozyme activity is (224.53 ± 16.98) U/mL. The toxicological experiments indicated that under (15 ± 1) °C, there are notable differences of the Hb content of two years old fish between the two sections of Suzhou Creek which was aerated, circulated and sterilized the control group, but there is no difference between the two experimental groups; there is no differences among the RBC of the three groups; WBC of the three groups all reduced, and there are notable differences among them, the SOD activity values are close among the three groups, and there are no differences among them. All of these showed there is a intimidation from the organic poisons and the heavy metal in Suzhou Creek to Chinese sucker. The study foreshows that the low dissolved oxygen and the poisonous microorganism can become the key ecological factors to harm the existence of large fish in Suzhou Creek, so improving the water dissolved oxygen and eliminating the poisonous microorganism will be the control direction for Suzhou Creek at the next phase.

Key words: *Myxocyprinus asiaticus*; hematology indexes; response; water of Suzhou Creek

苏州河是上海市重要的自然地表水体和感潮河流。但自上世纪 20 年代起,河水受污,出现黑臭,成为困扰上海可持续发展的主要问题。经一期、二期工程整治,干流水域已基本消除黑臭^[1],生态功能逐步恢复,以寡毛类为优势的动物生物量已很丰富。但过于密集的底栖动物不仅消耗水体大量溶氧,还泛起底泥影响上覆水体。苏州河内现有的鳊鲂类等小型鱼类,不足以控制这样密集的底栖动物。引入既有污染指示作用,又具改善生态系统结构和功能的大型鱼类势在必行。

胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)曾是长江常见的一种大型经济鱼类,1988 年时被列为国家二级野生保护动物^[2],但日益成熟的全人工繁殖技术已使其逐渐演变为一种大众化的观赏与食用鱼。目前,对胭脂鱼的研究已有很多,但在移植生物学等方面尚缺乏研究。鱼类的血液指标受自身生理代谢及外界环境因子变化的影响,是良好的生理、病理和环境毒理学指标^[3]。依据血液学指标开展苏州河水对胭脂鱼的毒理效应研究,不但能弄清其移植驯养条件,还有助于推断阻碍苏州河水体和谐水生态系统建立的关键生态因子。

1 材料与方法

1.1 材料

实验用胭脂鱼均为 2 龄,于 2006 年 9 月购自广东,为野生长江鱼种第二代,共 332 尾。体长 13 ~ 15 cm,体重 55 ~ 90 g。鱼体均健壮无损,能正常摄食。驯养和对照组用水均为曝气 48 h 以上且经紫外灯消毒、活性炭过滤,生物球吸附的循环自来水,曝气后的水体溶氧基本达到饱和,紫外灯照射能杀死一些简单的病原微生物。实验组用水为不经吸附和过滤、但进行曝气和紫外灯消毒的循环苏州河水。实验在水温、气温均可控制的室内进行,容积为 70 cm × 50 cm × 49 cm 的 3 个大水箱用于驯养,容积为 50 cm × 36 cm × 36 cm 的 48 个小水箱用于实验。实验前将鱼在高于 15 °C 室温下的大水箱内驯养 3 ~ 4 月,使其完全适应实验环境。驯养和实验期间所用饵料为摇蚊幼虫,即市售冰冻红血虫(营养成分:粗蛋白质:6.3%;粗脂肪:0.8%;粗纤维:0.3%;水分:91.2%)。每日 9:00、16:00 各投喂一次,投喂量确定在 2 h 内能吃完。

1.2 实验设计

1.2.1 血液学部分指标的测定

设水温为 (25 ± 1) °C 和 (15 ± 1) °C 2 个实验组,每组 8 尾实验鱼,体长 (13.89 ± 0.29) cm,体重 (69.64 ± 4.72) g,分 2 个水族箱饲养。待鱼适应 3 d 后,每组取鱼 6 尾采血,用于红细胞(RBC)、白细胞(WBC)计数、血红蛋白(Hb)含量、血清超氧化物歧化酶(SOD)活性及溶菌酶活性测定。

1.2.2 血液学指标对苏州河水的响应

实验前,用2007年1月10日采自相应河段的苏州河原水对养殖系统进行预先循环和浸泡,以便最大程度地保留实验水体的有机毒物和重金属。实验设对照组、苏州河中远两湾城河水组(A组,河水采自2007年1月15日)和苏州河外白渡桥河水组(B组,采水日期同上)等3个组,每组用大小接近的实验鱼42尾,平均分养在6个实验水箱中。水、气温均为 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$,充分曝气以排除因低溶氧而造成的鱼类血液学指标变化。待适应2d后的第1、2、4、8、16、32d采集鱼血样,每次每组随机取5尾,其中2尾用于血细胞计数和Hb含量测定,3尾用于SOD活性测定。

1.3 实验方法

1.3.1 血液采集

实验时将鱼捞出并迅速投入浓度为200 mg/L的MS-222中做快速深度麻醉,尾动脉采血,2尾鱼血液在抽出1 min内迅速注入装有1 g/L肝素钠溶剂的离心管中备用;另外3尾采血后则将血液静置,两小时后于 4°C 、6000 r/min快速冷冻离心机中离心20 min,提取血清放入 -20°C 冰箱保存待测。每尾鱼采血后立即擦干鱼体表水分,测量体长(精确到0.01 cm)和体重(精确到0.01 g),实验测得对照组鱼均体长 (15.52 ± 0.39) cm,均重 (70.36 ± 7.15) g;A组均体长 (15.50 ± 0.45) cm,均重 (73.03 ± 9.44) g;B组均体长 (15.32 ± 0.34) cm,均重 (64.27 ± 4.96) g。

1.3.2 血液生理指标的测定

经过抗凝的血液立即用血红蛋白测定仪(Hb-1002型)直接测定Hb含量。剩余的每份抗凝血先分别用红、白细胞稀释液(购于南京建成生物有限公司)稀释,再用血球计数板(XB-K-25型)计数,每尾鱼重复测定两次。计算式如下:

白细胞数(WBC)计算:

$$\text{WBC}(\text{ind/L}) = (4 \text{ 个大方格内白细胞总数} \times 10 \times 20 \times 10^6) / 4$$

红细胞数(RBC)计算:

$$\text{RBC}(\text{ind/L}) \times 10^{10} = 5 \text{ 个中方格内红细胞总数} \times 5 \times 10 \times 200 \times 10^6$$

1.3.3 血液生化指标的测定

血清SOD活性和溶菌酶活性分别使用SOD和溶菌酶试剂盒(均购于南京建成生物公司)测定。所得数据均用Excel-2003及SPSS15.0分析工具进行统计分析。

1.4 对照组及苏州河不同河段水质背景

对照组的水质数据于实验前一天测定,为实测值。实验组水质数据为苏办于2007年1月测定的平均值。对照组和实验组水质的pH均略偏酸性,为比对pH试纸所得。

表1 对照组及苏州河不同河段的水质
Tab.1 Water quality of control group and different sections of Suzhou Creek

参数	对照组实测	A组(武宁路断面)*	B组(浙江路桥断面)*
盐度(‰)	0.5	0.4	0.4
DO(mg/L)	9.37	2.02	1.93
COD _{Cr} (mg/L)	3	25.41	25.76
氨氮(mg/L)	0.5	9.50	9.15
BOD ₅ (mg/L)	—	8.46	8.50

注:*数据来源于2007年1月苏州河环境综合整治领导小组办公室。

2 结果

2.1 2龄胭脂鱼的部分血液学指标

由表2可知,在2龄胭脂鱼的部分血液学指标值中,Hb含量为 (77 ± 9.50) g/L,RBC为

($1.98 \times 10^{12} \pm 0.13 \times 10^{12}$) ind/L, WBC 为($2.06 \times 10^{10} \pm 0.12 \times 10^{10}$) ind/L, SOD 活性为(106.21 ± 4.09) U/mL, 溶菌酶活性为(224.53 ± 16.98) U/mL。(25 ± 1) °C 组下鱼的 Hb 含量和 SOD 活性高于(15 ± 1) °C 组, 其余三项指标均为(15 ± 1) °C 组不同程度地高于(25 ± 1) °C 组, 尽管不同温度下指标值有高低不同, 但经方差分析后发现不同血液学指标在两温度组之间均无差异(Hb 含量: $P = 0.378 > 0.05$; RBC: $P = 0.337 > 0.05$; WBC: $P = 0.576 > 0.05$; 溶菌酶: $P = 0.095 > 0.05$; SOD: $P = 0.560 > 0.05$)。

表 2 2 龄胭脂鱼的部分血液学指标

Tab. 2 Parts of hematology indexes of two years old *M. asiaticus*

温度 (°C)	Hb (g/L)	RBC ($\times 10^{12}$ ind/L)	WBC ($\times 10^{10}$ ind/L)	SOD 活性 (U/mL)	溶菌酶活性 (U/mL)
15 ± 1	67 ± 18.41	2.11 ± 0.18	2.18 ± 0.21	102.12 ± 5.85	241.51 ± 15.09
25 ± 1	86 ± 4.04	1.85 ± 0.19	1.93 ± 0.36	110.30 ± 11.58	207.55 ± 3.77
均值	77 ± 9.50	1.98 ± 0.1	2.06 ± 0.12	106.21 ± 4.09	224.53 ± 16.98

2.2 苏州河水对 2 龄胭脂鱼 Hb 含量和 RBC、WBC 的影响

在实验期间, 三组鱼的 Hb 含量在整体上均有增加, 但基本局限在指标值的上下波动。2 个实验组的 Hb 含量在总体上大于对照组, 由于血液指标受到水质因素和实验天数的共同影响, 故需考虑双因素, 经双因素方差分析, 可知三组之间有显著差异($0.01 < P = 0.015 < 0.05$), 其中, 对照组与 A 组之间差异显著($0.01 < P = 0.049 < 0.05$), 对照组与 B 组之间差异极显著($P = 0.006 < 0.01$), A、B 两组间无差异($P = 0.679 > 0.05$)。RBC 在总体上也呈现出与 Hb 含量相似的增加趋势, 每一组的数量波动较大, 方差分析得知三组之间无显著差异($P = 0.348 > 0.05$), 其中, 对照组和 A 组、对照组和 B 组及 A、B 两组间均无差异, P 值分别为 0.140、0.545 和 0.470, 均大于 0.05。

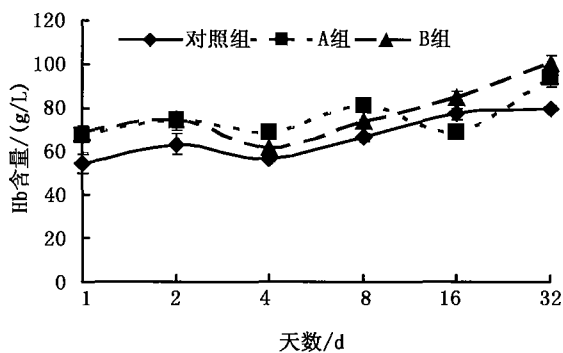


图 1 苏州河水对胭脂鱼 Hb 含量的影响

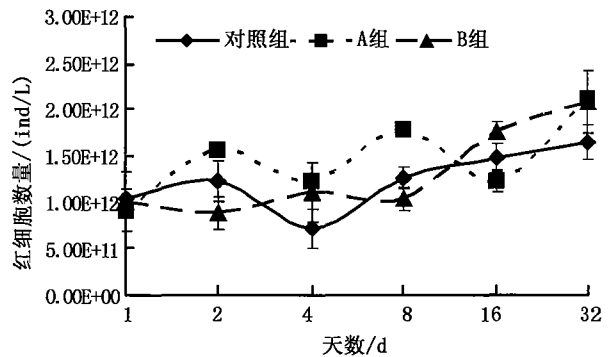
Fig. 1 The effect of Suzhou Creek on the hemoglobin of *M. asiaticus*

图 2 苏州河水对胭脂鱼 RBC 的影响

Fig. 2 The effect of Suzhou Creek on the number of red blood cells of *M. asiaticus*

图 3 反映了 3 种水质对 2 龄胭脂鱼 WBC 的影响。三组的 WBC 在总体上有明显下降。实验初期, 三组相互之间相差较大, 到后期逐渐接近。双因素方差分析表明, 三组鱼的 WBC 均值差异极显著($P = 0.001 < 0.01$), 对照组与 A 组之间表现为差异极显著($P = 0.008 < 0.01$), 对照组与 B 组间表现为差异显著($0.01 < P = 0.027 < 0.05$), A 组与 B 组间则也有显著差异($0.01 < P = 0.025 < 0.05$)。

2.3 苏州河水对 2 龄胭脂鱼 SOD 活性的影响

三组鱼的 SOD 活性整体上呈现增高趋势, 但变化平缓(图 4)。三组的值始终低于指标值, 其中对照组、A 组与 B 组之间无差异($P = 0.119 > 0.05$), 且对照组与 A 组、对照组与 B 组以及 A、B 两组之间均无显著差异, 其中 P 值分别为: 0.286、0.143 和 0.185, 均大于临界值 0.05。

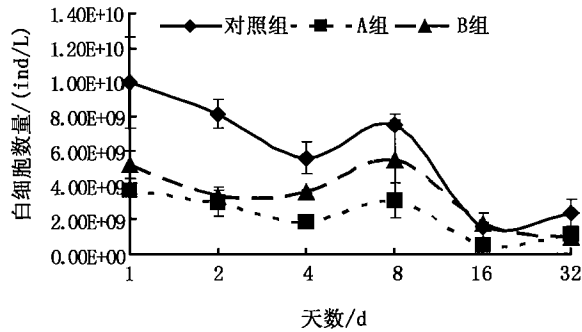


图3 苏州河水对胭脂鱼 WBC 的影响

Fig.3 The effect of Suzhou Creek on the number of white blood cells of *M. asiaticus*

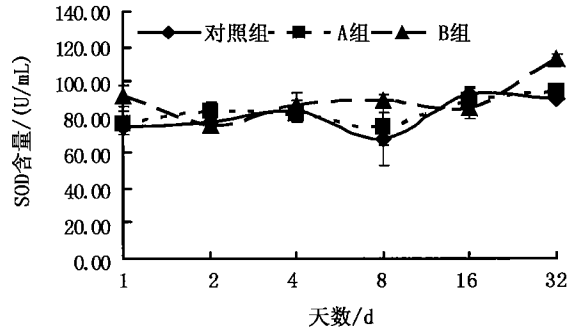


图4 苏州河水对胭脂鱼血清 SOD 活性的影响

Fig.4 The effect of Suzhou Creek on the SOD activity in serum of *M. asiaticus*

3 讨论

3.1 胭脂鱼血液学指标的特点

血液是鱼体内具有复杂组分和重要生理功能的一种结缔组织,具有多种表征血液学特征的指标,血红蛋白、红血细胞(erythrocyte)和白血细胞(leukocyte)为常用指标。与已测定的我国其他几种鱼类(表3)相比,胭脂鱼的Hb处于鲤科和鲇形目鱼类的一般水平,但显著高于军曹鱼等鱼类。胭脂鱼的红血细胞数虽然高出中华鲟的1倍多,但也处于其他几种鱼类的一般水平。胭脂鱼的白血细胞数显著地低于我国已测定的几种鲇形目鱼类,与一些鲤科鱼类相当,较白斑狗鱼、军曹鱼略高,显著高于乌鳢(表3)。

溶菌酶和SOD是与机体免疫密切相关的血液指标。其活性不但因种类而异,也与生长环境和生理状况有关。与已有资料相比,胭脂鱼的溶菌酶活性小于史氏鲟、赤眼鲟、胡子鲶等,但大于草鱼等,接近加洲鲈。胭脂鱼的SOD活性也比史氏鲟、黑鲟和鲤等的要小,但比其他鱼类大(表4)。

3.2 胭脂鱼血液指标对苏州河水的响应

水体中的有机毒物、重金属、有毒微生物以及溶解氧等都会对鱼体的代谢和生理产生影响。因此,通过对具有重要生理功能的血液学指标的测定,可以反映水体的环境毒理学状况^[22-23]。

实验表明,2龄胭脂鱼不论是在外白渡桥河水组还是中远两湾城河水组中饲养,其Hb含量与对照组间有了明显差异,但两苏州河段组间无差异。三组RBC有所波动,但组与组之间均无差异。外白渡桥河水组、中远两湾城河水组鱼的WBC均与对照组间差异显著,两实验组间也有显著差异。表明经过一定的水处理、消除了有毒微生物和有机物造成的低溶氧等因素后,苏州河水中的有机毒物和重金属胁迫对鱼体的Hb含量等表征呼吸和供氧机能的血液学指标产生了一定影响,河内的环境污染物对鱼体具免疫功能的WBC产生了显著影响。两苏州河段水对鱼的影响基本相当,水质均劣于对照组水。

SOD主要分布于细胞质和线粒体基质中,为催化超氧阴离子(O_2^-)发生歧化反应的一类金属酶,是机体防御过氧化损害系统的关键酶之一。它可以清除生物体内过高浓度的 O_2^- 自由基,保持体内自由基的代谢平衡,从而减轻自由基对不饱和脂肪酸的过氧化作用,保持细胞的正常代谢。当某些污染物在体内进行生物转化时,会产生大量的活性氧,造成DNA断裂、脂质过氧化、酶蛋白失活等,引起机体的氧化应激反应^[24]。SOD在使细胞免受被氧化伤害中起着重要作用。本研究中,三组的SOD活性均小于指标值,这可能与较小的实验容器对鱼体造成胁迫从而引起应激有关。但总体来说,水质的不同对鱼的SOD活性影响不大,胭脂鱼对中远两湾城河水和外白渡桥河段河水的胁迫的此种响应较弱。研究同时也表明,随着胭脂鱼对水质的逐渐适应,SOD活性呈现增高和恢复的趋势。

表 3 胭脂鱼与其他鱼类常用血液学指标比较
Tab.3 Comparison of the indexes of hematology between *M. asiaticus* and other fishes

种类	水温(°C)	体长(cm)	体重(g)	Hb (g/L)	RBC ($\times 10^{12}$ ind/L)	WBC ($\times 10^{10}$ ind/L)	文献出处
鳊 (<i>Aristichthys nobilis</i>)	11-12月 常温	28.5~36	450~1150	60.3 \pm 6.38	1.59 \pm 0.19	-	[4]
草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	-	25.6 \pm 9.2	468.6 \pm 390.8	70.0 \pm 9.00	1.89 \pm 0.22	2.30 \pm 0.70	
鲢 (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	-	21.2 \pm 6.1	248.2 \pm 218.1	77.0 \pm 14.00	2.02 \pm 0.29	2.49 \pm 0.70	[5]
鲤 (<i>Cyprinus carpio</i>)	-	25.5 \pm 2.3	623.6 \pm 143.5	97.0 \pm 9.20	2.01 \pm 0.19	1.93 \pm 0.67	
鲫 (<i>Carassius auratus</i>)	-	-	49~50	52.3 \pm 3.20	1.06 \pm 0.13	4.95 \pm 0.51	[6]
团头鲂 (<i>Megalobrama amblycephala</i>)	11-12月 常温	21~28.5	400~750	89.8 \pm 6.90	1.58 \pm 0.11	-	[4]
稀有鮡鲫 (<i>Gobiocypris rarus</i>)	25 \pm 1	4.21 \pm 0.48	1.35 \pm 0.34	95.9 \pm 3.91	1.84 \pm 0.28	5.25 \pm 0.43	[7]
大鳍鲮 (<i>Mystus macropterus</i>)	10.7 \pm 1	10.74 \pm 1.19	51.35 \pm 12.30	63.6 \pm 4.2	1.29 \pm 0.10	-	[8]
瓦氏黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus vachelli</i>)	10.7 \pm 1	14.45 \pm 0.29	40.85 \pm 2.65	61.6 \pm 3.60	1.31 \pm 0.07	-	
南方鲇 (<i>Silurus meridionalis</i>)	8月中旬 常温	-	22.6 \pm 3.8	30.5 \pm 15.54	1.61 \pm 0.17	4.70 \pm 0.29	[9]
长吻鮠 (<i>Leiocassis longirostris</i>)	-	-	-	122.5	2.52	4.03	[10]
斑点叉尾鮰 (<i>Ictalurus punctatus</i>)	-	-	-	92.0	2.20	9.56	
白缘缺 (<i>Liobagrus marginatus</i>)	-	-	-	66.3	1.18	7.02	
乌鳢 (<i>Channa argus</i>)	-	-	约1100	-	3.05 \pm 0.22	0.24 \pm 0.02	[11]
白斑狗鱼 (<i>Esox lucius</i>)	5~8	30~40	1500~2000	79.76 \pm 10.5	1.57 \pm 0.37	1.54 \pm 0.24	[12]
军曹鱼 (<i>Rachycentron canadum</i>)	24~27	-	675~1650	7.42 \pm 0.22	2.69 \pm 0.86	1.50 \pm 0.01	[13]
中华鲟 (<i>Acipenser sinensis</i>)	-	-	-	-	0.85	2.24	[14]
胭脂鱼 (<i>Myxocyprinus asiaticus</i>)	15 \pm 1 25 \pm 1	13.89 \pm 0.3	69.64 \pm 4.72	67 \pm 18.41 86 \pm 4.04	2.11 \pm 0.18 1.85 \pm 0.19	2.18 \pm 0.21 1.93 \pm 0.36	本文

表 4 胭脂鱼与其他鱼类血清溶菌酶和超氧化物歧化酶指标比较
Tab.4 Comparison of the indexes of lysozyme and SOD between *M. asiaticus* and other fishes

鱼种	水温(°C)	体长(cm)	体重(g)	溶菌酶(U/mL)	SOD(U/mL)	文献出处
草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)	22 \pm 1	10 \pm 1.3	20 \pm 3.0	101 \pm 5.32	37.46 \pm 1.34	[15]
鲤 (<i>Cyprinus carpio</i>)	23 \pm 1	-	160 \pm 15	260.00 \pm 3.27	-	[16]
史氏鲟 (<i>Acipenser schrencki</i>)	20 \pm 1	-	100~150	631.6 \pm 1.47	272.28 \pm 75.09	[17]
黑鲟 (<i>Sebastodes fuscescens</i>)	23 \pm 2	10~14	90~110	-	130	[18]
赤眼鲟 (<i>Squaliobarus curriculus</i>)	-	-	15.34	336.7 \pm 13.5	99.43 \pm 4.69	[19]
加洲鲈 (<i>Micropterus salmoides</i>)	28 \pm 2	9.93 \pm 0.44	18.47 \pm 2.28	215 \pm 4.33	86.70 \pm 2.35	[20]
胡子鲶 (<i>Claris batrachus</i>)	25~32	13~15	15~25	650	80	[21]
胭脂鱼 (<i>Myxocyprinus asiaticus</i>)	15 \pm 1 25 \pm 1	13.89 \pm 0.3	69.64 \pm 4.72	241.51 \pm 15.09 207.55 \pm 3.77	102.12 \pm 5.85 110.30 \pm 11.58	本文 本文

苏州河这条著名的城市河道沉积了复杂的污染物成分,虽经多年整治,但和谐水生态系统尚未建立。本研究显示,在消除了有机物污染造成的低溶氧和部分有毒微生物等因素后,也能使胭脂鱼这种需要清水环境的鱼长期无病生存。这预示着低溶氧和有毒微生物可能是阻碍大型鱼类生存与和谐水生态系统建立的关键生态因子,改善水体溶氧和消除有毒微生物应是下一阶段苏州河整治的方向。

参考文献:

- [1] 廖振良,徐祖信,高廷耀. 苏州河环境综合整治一期工程水质模型分析[J]. 同济大学学报, 2004, 32(4): 499-502.
- [2] 乐佩琦,陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书——鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 57-60.
- [3] Cogswell A T, Benfey T J, Sutlerlin A M. The hematology of diploid and triploid transgenic Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2001, 24: 271-277.
- [4] 许品诚,曹萃禾. 湖泊围养鱼类血液学指标的初步研究[J]. 水产学报, 1989, 13(4): 346-352.
- [5] 米瑞芙. 草鱼、鲤和鲢血液学指标的测定[J]. 淡水渔业, 1982, 4: 10-16.
- [6] 伍莉,陈鹏飞. 微生态制剂对大口鲈和鲫鱼生长及血液指标的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, 32(1): 82-86.
- [7] 邵燕,吴志强,王剑伟,等. 稀有鮰鲫血液学指标的研究[J]. 水生生物学报, 2006, 30(2): 232-235.
- [8] 罗毅平,袁伦强,曹振东,等. 嘉陵江大鳍鲩和瓦氏黄颡鱼血液学指标的研究[J]. 水生生物学报, 2005, 29(2): 161-166.
- [9] 赵海涛,张其中,赵海鹏,等. 南方鲇幼鱼和成鱼血液指标的比较[J]. 动物学杂志, 2006, 41(1): 94-99.
- [10] 龙华,陈建武,汪登强,等. 11种鲇形目鱼的血液检测与比较分析[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2006, 29(1): 55-58.
- [11] 程超,明庆磊,耿兴平. 乌鳢血液生理生化指标和流变学性质的研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(6): 1096-1097.
- [12] 刘志强,李新平,杨红建,等. 白斑狗鱼血液生理、生化指标值和血液流变学常值的研究[J]. 动物学报, 1999, 45(4): 398-403.
- [13] 陈刚,周晖,张健东,等. 军曹鱼血液指标及血细胞发生的观察[J]. 水生生物学报, 2005, 29(5): 564-570.
- [14] Gao Z X, Wang W M, Yang Y, et al. Morphological studies of peripheral blood cells of the Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2007, 33(3): 213-222.
- [15] 张梁,沈建忠,敖茂权,等. 蛭弧菌对草鱼免疫相关酶活性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(2): 295-299.
- [16] 顾雪飞,陈玉春,刘敏. 中草药对鲤血清和免疫器官溶菌酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2007, 37(2): 30-33.
- [17] 刘红柏,卢彤岩,张纯燕,等. 黄芪对史氏鲟抗氧化能力及免疫力的影响[J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(3): 231-235.
- [18] 唐学玺,张培玉. 葱对黑鲟超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 217-220.
- [19] 李桂峰,康裕财,孙际佳,等. 酵母多糖对赤眼鲟非特异性免疫机能的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(4): 55-58.
- [20] 谢一荣,吴锐全,谢骏,等. 维生素C对大口黑鲈生长与非特异性免疫的影响[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(4): 249-254.
- [21] 李桂峰,钱沛锋,孙际佳,等. 维生素C对胡子鲶血清免疫相关酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报, 2004, 19(4): 301-305.
- [22] Bullis S P. Clinical of pathology of temperate freshwater and estuarine fish [M]. Fish Medicine, Stoskopf, 1993: 232-239.
- [23] Weil L S, Barry T P, Malison J A. Fast growth in rainbow trout is correlated with a rapid decrease in post-stress cortisol concentrations [J]. Aquaculture, 2001, 193: 373-380.
- [24] 孟顺龙,陈家长,胡庚东,等. 低浓度阿特拉津对鲫鱼超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 170-174.