

文章编号: 1004-7271(2007)02-0144-07

## 盐度驯化下施氏鲟的血液生化指标

黄晓荣, 章龙珍, 庄平, 张涛, 冯广朋, 赵峰

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要:**测定了5个不同盐度(0、10、20、25、28)下分别养殖20d的施氏鲟(*Amur sturgeon, Acipenser schrenckii*)的血液生化指标。结果表明:总蛋白(TP)含量随盐度的升高先上升后下降,总胆红素(T-BIL)随盐度的升高逐渐增加,甘油三酯(TRIG)的变化趋势与总蛋白TP基本一致,总胆固醇(CHO-L)随盐度的升高变化不明显,高密度脂蛋白(HDL-C)随盐度的升高先缓慢下降后略有上升。血糖(G)随盐度的升高先缓慢下降后逐渐上升。肌酐(CREA)的含量随盐度的升高先上升后下降,尿素氮(BUN)随盐度的升高先上升后下降。随盐度的升高,碱性磷酸酶(ALP)逐渐下降,血清淀粉酶(AMY)先下降后上升,谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)先上升后下降再上升。 $\text{Na}^+$ 浓度先上升后下降最后基本保持稳定, $\text{Cl}^-$ 浓度、P含量和 $\text{Na}^+$ 浓度变化趋势基本一致, $\text{K}^+$ 浓度先上升后下降, $\text{Ca}^{2+}$ 浓度则无显著性变化。从驯化后血液生化指标分析,施氏鲟具有较强的渗透调节能力,经过驯化可以在盐度28的海水中生活。

**关键词:**施氏鲟;总蛋白质;血脂;血糖;血清酶;无机离子;盐度驯化

中图分类号:S 917 文献标识码:A

## Haematological biochemistry of amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*, at different domestication salinities

HUANG Xiao-rong, ZHANG Long-zhen, ZHUANG Ping, ZHANG Tao,  
FENG Guang-peng, ZHAO Feng

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Haematological biochemistry indices of *Acipenser schrenckii* cultured at different salinities (0, 10, 20, 25, 28) for 20 days respectively were measured. The results showed that the values of total protein (TP) increased first and then declined with the growth of the salinities. The values of T-BIL increased gradually with the addition of the salinities. The varieties of TRIG was consistent with that of the TP, the values of cholesterol (CHOL) had no significant variations with the increase of the salinities, and high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) first decreased slowly then increased slightly with the enhancement of the salinities, and the values of blood glucose (G) first reduced then increased with the growth of the salinities. The values of CREA increased first and then declined, The values of BUN increased first and then declined. With the growth of the salinities, the values of alkaline phosphatase (ALP) declined gradually, and the values of

收稿日期: 2006-03-14

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(编号: 2004AA603110); 国家“十五”重点科技攻关计划(编号: 2004BA526B0114)

作者简介: 黄晓荣(1978-), 女, 湖北应城人, 研究实习员, 主要从事鱼类生态生理学方面的研究。E-mail: hxr828@126.com,

Tel: 021-55530954

通讯作者: 章龙珍, E-mail: Longzhen2885@hotmail.com

amylase (AMY) first dropped then rose, and the values of aspartate aminotransferase (AST) first increased, then dropped and added in the end, which was similar to the varieties of the alanine aminotransferase (ALT).  $\text{Na}^+$  concentration first increased, then declined and kept stable finally, which was similar to the changes of  $\text{Cl}^-$  and P, and  $\text{K}^+$  concentration first increased and then decreased, yet  $\text{Ca}^{2+}$  concentration had no significant changes. By analysing the haematological biochemistry indices after salinities domestication, Amur sturgeon possessed better osmoregulation abilities and could live in the 28 salt water after domestication.

**Key words:** Amur sturgeon; total protein; blood cholesterol; blood glucose; serum enzyme; inorganic hydronium; salinity domestication

血液是动物体内一种极其重要的组织,对鱼类血液学的研究,在鱼类血液生理学的基础理论和鱼类的人工养殖、鱼病防治等方面有着广泛的运用<sup>[1-4]</sup>。施氏鲟原产于黑龙江流域,是一种优良淡水养殖新对象。关于该鱼的生物学特征及养殖技术等已有许多报道<sup>[5,6]</sup>。除西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)外,经过盐度驯化鲟鱼一般都可以耐受盐度 25 及以上的环境<sup>[7-9]</sup>,但不同盐度下鲟鱼的血液生化指标变化未见详细报道。本文对不同盐度驯化下 1 龄施氏鲟的血液生化指标进行了较为系统的研究,以期丰富施氏鲟的生物学资料,为开展施氏鲟的海水养殖提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用施氏鲟为人工繁育所得,平均体长  $27.21 \pm 3.11$  cm,平均体重  $189.00 \pm 53.22$  g。实验容器为蓝色平底圆形玻璃钢桶,内径 0.85 m,深 0.70 m,保持水深 0.30 m,桶底部中心有一出水口用于排污换水。养殖用水为经颗粒活性炭及 KDF(Kinetic Degradation Fluxion)方法过滤(余氯  $<0.01$  mg/L)的自来水与浓缩海水按比例配制的不同浓度的海水。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 盐度驯化方法和日常管理

施氏鲟的盐度驯化方法为:实验鱼首先在淡水中暂养 7 d,放入盐度 10 中驯养 20 d,再将盐度从 10 提高到 20 驯养 20 d,再从 20 升高到 25 驯养 20 d,最后再升到 28 驯养 20 d。

每天投饵 4 次,投饵量为鱼体重的 3% 左右。循环水养殖,每天用便携式多参数水质分析仪(HACH YSI-ADV6600)监测水质 2 次,保持水中溶解氧  $7.0 \pm 0.3$  mg/L,水温  $22 \pm 1$  °C, pH 为  $7.6 \pm 0.1$ ,整个过程中无试验鱼死亡。

#### 1.2.2 血样的采集与测定

分别在每一盐度梯度(0、10、20、25、28)的第 20 d 随机取样 5 尾采血,采血前 24 h 禁食。将采血用施氏鲟放入到 MS-222 浓度为 200 mg/L 的塑料箱中进行麻醉,30 s 内完全麻醉,尽量避免或降低因捕捞而引起的应激反应。用 5 mL 一次性无菌注射器臀鳍下方尾静脉抽血,取完血后,拔下针头,将血液注入玻璃采血管中室温放置,分层后,用 Eppendorf 5810R 离心机 2 000 r/min 离心 10 min 直到分层完全,用移液枪将上层澄清透明的血清转入 PT 离心管中密封,于  $-80$  °C 低温保存。血清样品在 24 h 内用 BECKMAN Lx 20 全自动生化分析仪进行血液生化指标测定。

#### 1.2.3 统计方法

试验数据通过 STATISTICA (Version 6.0) 统计软件(StatSoft, Inc.)进行处理分析,利用方差分析(One-Way ANOVA)来检验各年龄组指标间的显著性,利用最小极差法(LSD)进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 总蛋白、总胆红素和血脂组成

随盐度的升高,总蛋白含量开始逐渐增加,当升至盐度 20 时达到最高,以后随盐度的升高逐渐下降,除淡水组和盐度 20 组间有显著性差异( $P < 0.05$ ),其它组间无显著性差异。总胆红素随盐度的升高逐渐增加,淡水组和后面三组有显著性差异( $P < 0.05$ ),但盐度 20、盐度 25 和盐度 28 组间无显著性差异。从血脂组成来分析,甘油三酯的变化趋势与总蛋白一致,淡水组、盐度 28 组与盐度 20 和盐度 25 组有显著性差异( $P < 0.05$ ),其它组间无显著性差异。总胆固醇随盐度的升高变化不明显,各组间无显著性差异,高密度脂蛋白随盐度的升高先缓慢下降后略有上升,盐度 25 组和淡水组、盐度 10 组间有显著性差异( $P < 0.05$ ),其它组间无显著性差异(图 1)。

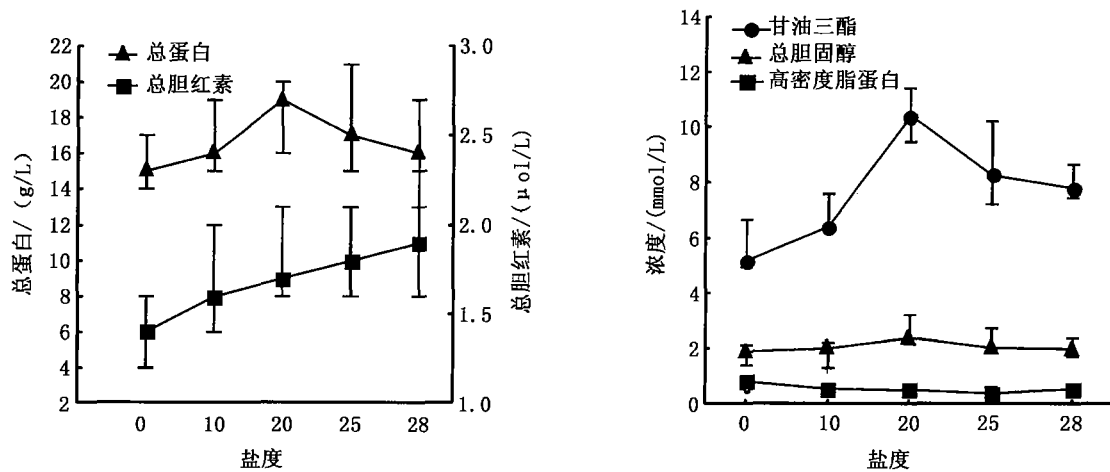


图 1 不同盐度下施氏鲟的总蛋白、总胆红素和血脂变化

Fig. 1 Variations of TP, T-BIL and blood cholesterol of amur sturgeon at different salinities

### 2.2 血糖及代谢产物

从淡水升至盐度 20 时,血糖浓度无显著性变化,升至盐度 25 后浓度显著降低,至盐度 28 时又有所上升,除淡水组和盐度 25 组间有显著性差异外( $P < 0.05$ ),其它组间无显著性差异。随盐度的升高,肌酐的含量先上升后下降,除淡水组和盐度 10 组间无显著性差异外,其它各组间都有显著性差异( $P < 0.05$ ),尿素氮随盐度的升高先上升后下降,至盐度 28 时又有所上升。淡水组和盐度 10 组、淡水组和盐度 25 组间无显著性差异,盐度 25 组和盐度 28 组间也没有显著性差异,其它各组间都有显著性差异( $P < 0.05$ )(图 2)。

### 2.3 血清酶类

随盐度的升高,碱性磷酸酶含量逐渐下降,前面 3 组与后面 2 组间有显著性差异( $P < 0.05$ ),其它各组间无显著性差异;血清淀粉酶随盐度的升高先下降后上升,除淡水组和盐度 20 组间有显著性差异外( $P < 0.05$ ),其它各组间无显著性差异;谷草转氨酶随盐度的升高先上升后下降再上升,除淡水组和盐度 25 组间无显著性差异外,其它各组间都有显著性差异( $P < 0.05$ ),谷丙转氨酶的变化趋势与 AST 基本一致,除淡水组和盐度 25 组间无显著性差异外,其它各组间都有显著性差异( $P < 0.05$ )(图 3)。

### 2.4 无机离子组成

随盐度的升高,钠离子浓度先上升后下降,淡水组、盐度 10 组、盐度 20 组间有显著性差异( $P < 0.05$ ),淡水组、盐度 10 和盐度 25 组间也有显著性差异( $P < 0.05$ ),盐度 10 组和盐度 28 组间无显

著性差异,氯离子浓度随盐度的升高先上升后趋于平缓,除淡水组和盐度 10 组与后面 3 组有显著性差异外( $P < 0.05$ ),其它各组间无显著性差异,钾离子浓度随盐度的升高先上升后下降,淡水组和其它 4 组有显著性差异( $P < 0.05$ ),盐度 25 组与其它各组也有显著性差异( $P < 0.05$ ),盐度 10、盐度 20 和盐度 28 组间无显著性差异,钙离子浓度随盐度升高变化趋势不明显,除淡水组和 4 个盐度组有显著性差异外( $P < 0.05$ ),其它各组间均无显著性差异。磷含量随盐度的升高先上升后下降,最后基本趋于稳定,各组间均无显著性差异(图 4)。

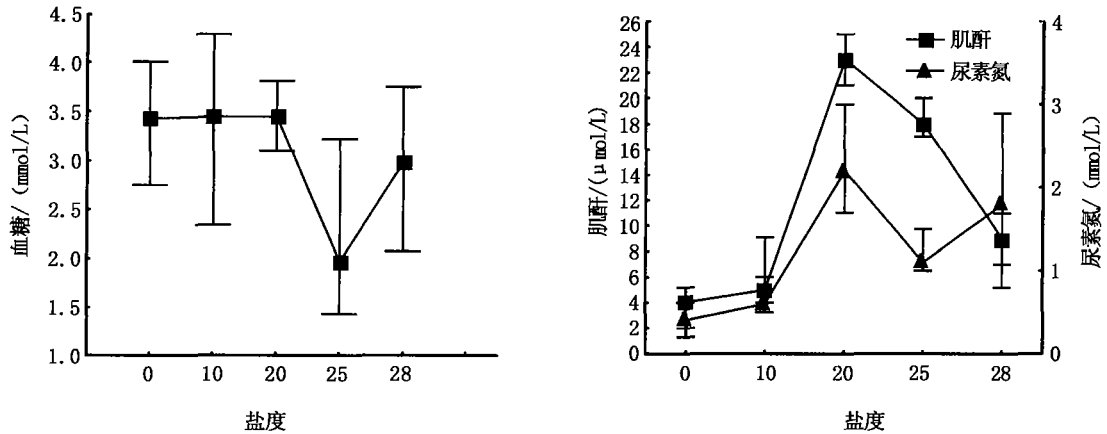


图 2 不同盐度下施氏鲟血糖浓度和代谢产物

Fig. 2 Blood glucose concentration and metabolizable production of amur sturgeon at different salinities

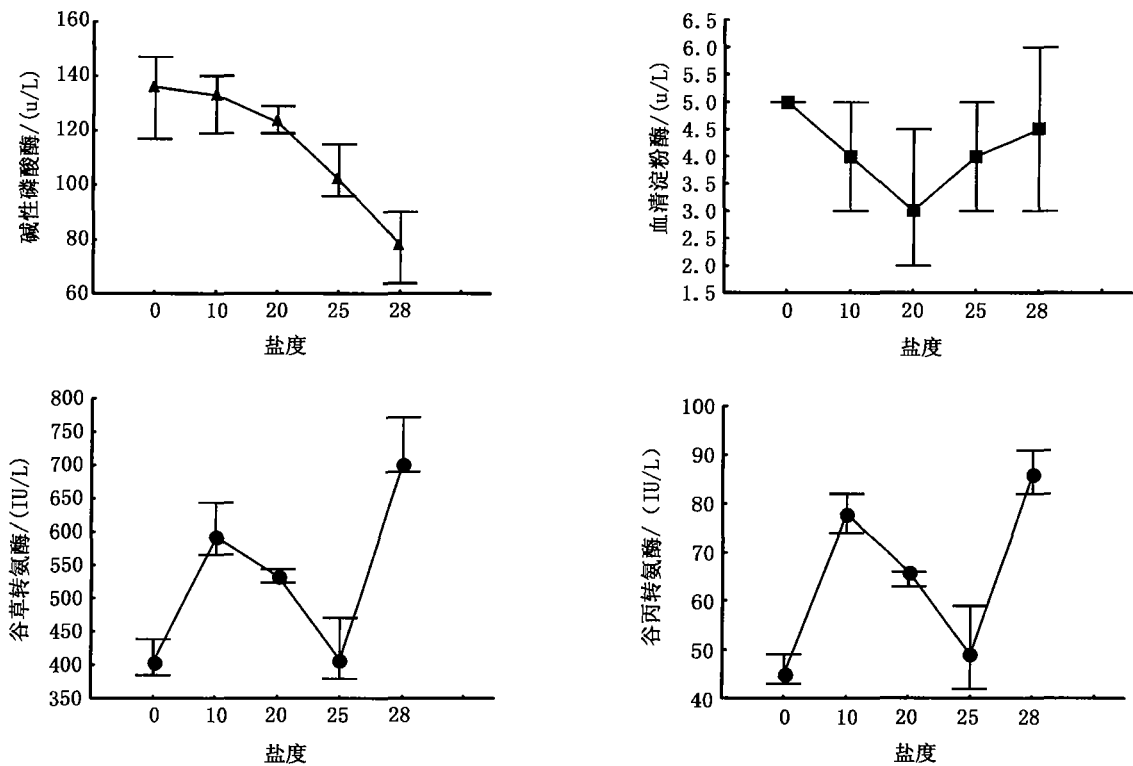


图 3 不同盐度下施氏鲟血清酶类变化

Fig. 3 Variations of serum enzymes of amur sturgeon at different salinities

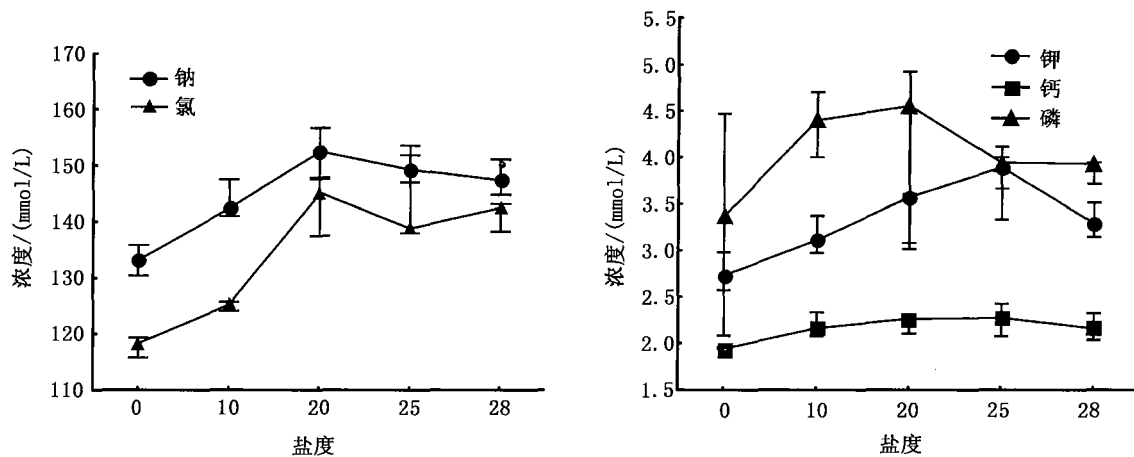


图4 不同盐度下施氏鲟血清无机离子浓度变化

Fig. 4 Variations of inorganic hydronium concentration of amur sturgeon at different salinities

### 3 讨论

#### 3.1 不同盐度下施氏鲟血液生化指标的特点

不同盐度下施氏鲟血液生化指标见表1。本研究表明,不同盐度下施氏鲟的血液生化指标有机成分表现出以下几个特点:(1)血糖:现有的研究表明,在鱼体中血糖是处于一种动态平衡中,血糖值受栖息环境、活动性、投饵等许多因素的影响而变化很大,一般来说运动活泼的鱼类较运动迟缓或底栖性的鱼类血糖值高,流水环境较静水高<sup>[10]</sup>。本研究中施氏鲟在不同的盐度下血糖均处于较低的水平,比一般淡水鱼类低<sup>[11-13]</sup>,略高于斜带石斑鱼(Orange-spotted grouper)<sup>[14]</sup>,与高首鲟(*Acipenser transmontanus*)较为接近( $3.95 \pm 0.53$  mmol/L)<sup>[15]</sup>,这与其生活习性(底栖性,行动较迟缓)及静水养殖环境相吻合。随盐度的升高,血糖先下降后上升,盐度28时与淡水组无显著性差异,说明经过盐度驯化后血糖能够逐渐恢复到正常水平。(2)血脂:不同盐度下施氏鲟CHOL含量较一般淡水鱼类(草鱼 Grass carp、鲢 Silver carp、鳙 Richardson、团头鲂 Bluntnos blackbreem)<sup>[11]</sup>、斜带石斑鱼<sup>[14]</sup>和虹鳟(Rainbow trout)<sup>[13]</sup>低,而TRIG则明显高出许多,淡水环境中与高首鲟( $4.59 \pm 0.18$  mmol/L)接近。血脂组成(CHOL、TRIG、HDL-C)均随盐度的升高先上升后下降,盐度28时与淡水组没有显著性差异,说明经过盐度驯化后施氏鲟这些指标能够恢复到正常水平,维持体内渗透平衡。(3)非蛋白含氮化合物:T-BIL与一般鱼类无太大差异,BUN、CREA随盐度的升高先上升后下降。(4)酶类:不同盐度下施氏鲟的AMY均较低。其中ALP随盐度的上升逐渐下降,盐度28组与淡水组间虽有显著性差异,但与盐度25组间无显著性差异,说明驯化至高盐度后ALP能够保持相对稳定。AMY随盐度的升高先下降后上升,盐度25、28和淡水组间都没有显著性差异,说明经过盐度驯化后施氏鲟AMY能够恢复到正常状态。在正常情况下,肝细胞内的转氨酶只有少量被释放到血浆中,因此,血清中的转氨酶活性较小。当肝脏组织病变而引起肝细胞膜通透性增加,细胞内的转氨酶大量释放出来进入血浆,引起血清中ALT和AST浓度的升高;ALP在肾脏肾小管上皮细胞含量较多,肾脏的损害也会导致ALP的升高<sup>[16]</sup>,本研究中,盐度28时ALT和AST均较高,这是在高渗环境中的一种生理性变化还是由于肝、肾脏损害而引起的病理性升高,还有待于进一步的研究加以证实。

鱼类血液中无机离子组成方面,尾崎久雄<sup>[17]</sup>在一些研究的基础上归纳出的范围是:(1)板鳃鱼类,Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>大多数在200 mmol/L以上,硬骨鱼类在150~200 mmol/L之间;(2)K<sup>+</sup>一般在10 mmol/L以下;(3)Ca<sup>2+</sup>在5 mmol/L以下;(4)Mg<sup>2+</sup>比Ca<sup>2+</sup>略少。本研究中,随盐度的升高,Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>均先增加后

保持相对稳定,  $K^+$  先上升后下降,  $Ca^{2+}$  保持相对稳定。与 Cataldi 等<sup>[18]</sup> 对意大利鲟 (Adriatic sturgeon, *Acipenser naccarii*) 和 Ilhan Altinok 等<sup>[19]</sup> 对墨西哥鲟 (Mexico sturgeon, *Acipenser oxyrinchus*) 研究结果基本一致。Rodriguez 等<sup>[20]</sup> 对西伯利亚鲟  $Na^+$  的变化与本研究低盐度组结果相似, 但  $K^+$  浓度无显著变化,  $Ca^{2+}$  浓度显著升高, 与本研究结果有所不同, 这可能是因为西伯利亚鲟对盐度的耐受性较低, Potts 等<sup>[7]</sup> 认为西伯利亚鲟不能耐受盐度 25 及其以上的盐度环境, 因此这只能反应低盐度下的变化趋势, 更高盐度中的变化规律尚未见报道。Gregory 等<sup>[21]</sup> 对湖鲟 (lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*) 的研究表明, 随盐度的升高, 血清中  $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$  四种离子浓度均上升, 因此认为湖鲟在超过 15 的盐度下渗透调节能力较差, 与本研究结果有较大差异。Mcenroe 等<sup>[22]</sup> 对高首鲟的研究结果表明高首鲟的渗透调节能力较强, 高盐度中离子浓度和淡水中基本保持稳定。这也说明不同的鲟类渗透调节能力不同。

表 1 不同盐度下施氏鲟的血液生化指标  
Tab. 1 Haematological biochemistry indices of amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*, at different domestication salinities

指标	盐度				
	0	10	20	25	28
总蛋白 TP (g/L)	15.60 ± 1.34 <sup>a</sup>	16.80 ± 1.64 <sup>ab</sup>	19.80 ± 3.77 <sup>b</sup>	17.60 ± 2.41 <sup>ab</sup>	17.00 ± 2.74 <sup>ab</sup>
总胆红素 T-BIL (μmol/L)	1.40 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.24 <sup>ab</sup>	1.76 ± 0.21 <sup>b</sup>	1.82 ± 0.19 <sup>b</sup>	1.94 ± 0.30 <sup>b</sup>
碱性磷酸酶 ALP (u/L)	136.20 ± 30.67 <sup>a</sup>	130.00 ± 8.72 <sup>a</sup>	124.60 ± 20.16 <sup>a</sup>	99.00 ± 14.09 <sup>b</sup>	84.80 ± 19.23 <sup>b</sup>
谷丙转氨酶 ALT (IU/L)	45.60 ± 2.41 <sup>a</sup>	77.80 ± 3.03 <sup>b</sup>	64.00 ± 6.28 <sup>c</sup>	50.20 ± 6.30 <sup>a</sup>	86.40 ± 4.04 <sup>d</sup>
谷草转氨酶 AST (IU/L)	405.20 ± 21.82 <sup>a</sup>	598.00 ± 31.34 <sup>b</sup>	533.20 ± 8.11 <sup>c</sup>	415.20 ± 36.81 <sup>a</sup>	719.40 ± 34.61 <sup>d</sup>
谷草/谷丙 (AST/ALT)	8.90 ± 0.61 <sup>a</sup>	7.70 ± 1.59 <sup>a</sup>	8.41 ± 0.98 <sup>a</sup>	8.40 ± 1.59 <sup>a</sup>	8.35 ± 0.77 <sup>a</sup>
钾 K (mmol/L)	2.59 ± 0.43 <sup>a</sup>	3.16 ± 0.17 <sup>b</sup>	3.39 ± 0.27 <sup>b</sup>	3.86 ± 0.18 <sup>c</sup>	3.14 ± 0.43 <sup>b</sup>
钠 Na (mmol/L)	132.92 ± 2.08 <sup>a</sup>	143.46 ± 2.57 <sup>b</sup>	152.62 ± 3.35 <sup>c</sup>	152.60 ± 6.92 <sup>c</sup>	151.62 ± 4.55 <sup>bc</sup>
氯 Cl (mmol/L)	117.84 ± 1.61 <sup>a</sup>	125.72 ± 1.82 <sup>b</sup>	143.26 ± 4.30 <sup>c</sup>	142.62 ± 6.09 <sup>c</sup>	142.76 ± 4.68 <sup>c</sup>
钙 Ca (mmol/L)	1.95 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.19 ± 0.10 <sup>b</sup>	2.21 ± 0.08 <sup>b</sup>	2.25 ± 0.13 <sup>b</sup>	2.18 ± 0.11 <sup>b</sup>
磷 P (mmol/L)	3.40 ± 0.72 <sup>a</sup>	4.10 ± 0.74 <sup>a</sup>	4.20 ± 0.75 <sup>a</sup>	3.94 ± 0.54 <sup>a</sup>	4.05 ± 0.46 <sup>a</sup>
肌酐 CREA (μmol/L)	4.20 ± 0.57 <sup>a</sup>	5.60 ± 1.52 <sup>a</sup>	23.00 ± 1.58 <sup>b</sup>	18.40 ± 1.14 <sup>c</sup>	9.00 ± 1.58 <sup>d</sup>
尿素氮 BUN (mmol/L)	0.46 ± 0.24 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.39 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.58 <sup>b</sup>	1.22 ± 0.22 <sup>ac</sup>	1.82 ± 0.77 <sup>c</sup>
血糖 GLU (mmol/L)	3.45 ± 0.55 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.87 <sup>ab</sup>	3.21 ± 0.69 <sup>ab</sup>	2.24 ± 0.72 <sup>b</sup>	2.94 ± 0.77 <sup>ab</sup>
甘油三酯 TRIG (mmol/L)	5.09 ± 1.77 <sup>a</sup>	6.90 ± 0.56 <sup>ab</sup>	10.66 ± 4.11 <sup>b</sup>	8.63 ± 4.98 <sup>b</sup>	10.53 ± 5.88 <sup>a</sup>
总胆固醇 CHOL (mmol/L)	1.97 ± 0.49 <sup>a</sup>	2.48 ± 1.50 <sup>a</sup>	2.59 ± 1.02 <sup>a</sup>	2.13 ± 1.19 <sup>a</sup>	2.40 ± 0.82 <sup>a</sup>
高密度脂蛋白 HDLC (mmol/L)	0.74 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.21 <sup>ab</sup>	0.40 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.54 ± 0.08 <sup>ab</sup>
血清淀粉酶 AMY (u/L)	4.80 ± 1.10 <sup>a</sup>	3.80 ± 0.84 <sup>ab</sup>	3.2 ± 1.04 <sup>b</sup>	4.00 ± 1.00 <sup>ab</sup>	4.50 ± 1.12 <sup>ab</sup>

注: 上表同一行中具有相同字母表示差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 不同字母表差异显著 ( $P < 0.05$ )

### 3.2 施氏鲟的渗透调节

从不同盐度下施氏鲟的血液生化指标来看, 在有机成分方面, 随盐度的升高, 大部分的指标能够恢复到淡水组水平或保持相对稳定, 说明施氏鲟在驯化过程中能够适应外界环境的变化, 表现出较强的耐盐能力。在无机离子组成方面, 刚升盐度时, 作为一种应激反应, 为了补偿失水要大量吞饮海水, 其中也摄入大量的 NaCl, 体内的  $Na^+$  及  $Cl^-$  含量迅速增加, Gregory 等<sup>[21]</sup> 认为一般情况下, 血清  $Na^+$  和  $Cl^-$  浓度提高  $K^+$  离子浓度会下降, 血清离子失衡, 尤其是  $K^+$  离子失衡将导致细胞膜破裂, 最终导致细胞死亡<sup>[23]</sup>。本文结果显示随盐度的升高,  $K^+$  浓度保持在一定的变化范围内, 没有出现较大幅度的变化, 证明细胞膜依然保持完整<sup>[22]</sup>。施氏鲟在盐度 28 时仍具有正常的离子调节功能, 而高首鲟在从淡水向海水的迁移过程中血清离子浓度及渗透压始终保持稳定<sup>[22]</sup>。随着盐度的继续上升, 由于外界高渗环境的持续刺激, 离子外排机制被逐渐激活, 血清离子开始逐步下降, 进入海水后体内的水分代谢逐渐达到平衡, 饮水量也随之下降并趋于稳定<sup>[24]</sup>, 施氏鲟血清离子逐渐下降并趋于平衡, 相应地血清渗透压也得到了调节, 维持了鱼体内外的渗透平衡。

## 参考文献:

- [1] Danilo W F, Gunther J E, Gilson K. Comparative hematology in marine fish [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1992, 102A:311-321.
- [2] 周玉, 郭广场, 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.
- [3] 李懋, 黄二春, 魏于生, 等. 淡水鲟六项血液指标的测定及血细胞结构的显微观察[J]. *淡水渔业*, 1992, 8(3):20-23.
- [4] 米瑞芙. 草鱼、鲤和鲢血液学指标的测定[J]. *淡水渔业*, 1982, 9(4):10-16.
- [5] Zhuang P, Boyd K, Zhang L Z, *et al.* Overview of biology and aquaculture of Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*, in China[J]. *Journal of Applied Ichthy*, 2002, 18:659-664.
- [6] 庄平, 李大鹏, 王明学, 等. 养殖密度对史氏鲟稚鱼生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(6):735-738.
- [7] Potts W T, Rudy P P. Aspects of osmotic and ionic regulation in the sturgeon. [J]. *Journal of Explore. Biology*, 1972, 56:713-715.
- [8] Natochin Y V, Lukianenko V I, Kirsanov F A, *et al.* Features of osmotic and ionic regulations in Russian sturgeon, *Acipenser guldenstadti* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1985, 80A:3:297-302.
- [9] McEnroe M, Cech J J. Osmoregulation in juvenile and adult white sturgeon, *Acipenser transmontanus*[J]. *Environment Biology Fish*, 1985, 14(1):23-30.
- [10] 陈晓耘. 鱼类的血液[J]. *重庆师专学报*, 2000, 19(3):70-73.
- [11] 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(3):346-352.
- [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] Jiri R, Bohumil M. Effect of lecithin on the haematological and condition indices of the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34:617-627.
- [14] 张海发, 王云新, 林鑫, 等. 斜带石斑鱼血液性状及生化指标的研究[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 10(1):102-107.
- [15] Silas S O, Liu W, Li H B. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*. [J]. *Aquaculture*, 1997, 151:357-363.
- [16] 冯健, 刘永坚, 田丽霞, 等. 草鱼实验性镉中毒对肝胰脏、肾脏骨骼的影响[J]. *水产学报*, 2004, 28(2):195-200.
- [17] 尾崎久雄. 鱼类血液与循环生理[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1982.
- [18] Cataldi E, Ciccotti E, Di Marco P, *et al.* Acclimation trials of juvenile Italian sturgeon to different salinities: morpho-physiological descriptors. [J]. *Journal of Fish Biology*, 1995, 47:609-618.
- [19] Ilhan Altinok, Sara M Galli, Frank A Chapman, *et al.* Ionic and osmotic regulation capabilities of juvenile Gulf of Mexico sturgeon, *Acipenser oxyrinchus de sotoi*. [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 120,1998:609-616.
- [20] Rodriguez A, Gallardo M A, Gisbert E, *et al.* Osmoregulation in juvenile Siberian sturgeon, *Acipenser baerii* [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2002, 26(4):345-354.
- [21] Gregory T O, LeBreton, William F, *et al.* The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*. [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1998, 52(8):477-482.
- [22] McEnroe M, Cech J J. Osmoregulation in juvenile and adult white sturgeon, *Acipenser transmontanu*. [J]. *Environment Biology Fish*, 1985, 14(1):23-30.
- [23] Holmes W N, Donaldson F M. The body compartments and the distribution of electrolytes [M]//Hoar W S, Randall D J. *Fish Physiology*. New York: Academic Press, 1969:1-89.
- [24] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广东高等教育出版社, 2002:128-131.