

## 长江口中华鲟幼鱼血液水分、渗透压及离子浓度的变化规律

赵 峰\*, 张 涛, 侯俊利, 刘鉴毅, 章龙珍, 庄 平\*

(中国水产科学研究院东海水产研究所,农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室,上海 200090)

**摘要:**为研究长江口中华鲟幼鱼盐度适应过程及其调节规律,将 7 月龄幼鱼直接转入 0(淡水对照)、5、10 和 15 等 4 个盐度组中养殖 32 d,分别在第 0.5、1、2、4、8、16 和 32 天检测幼鱼血液水分、血清渗透压和血清  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$  的浓度,结果显示,实验过程中,淡水和盐度 5 组中华鲟幼鱼血液各项指标始终保持一致,未呈现显著性差异。盐度 10 和 15 组,中华鲟幼鱼血液水分含量呈先下降后上升趋势,下降程度与盐度呈正相关,16 d 时各组幼鱼血液水分无显著性差异。中华鲟幼鱼转入盐度 10 和 15 条件下,其血清渗透压与  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度的变化趋势一致,表现为先上升后下降,最后达到新的平衡;而血清  $\text{K}^+$  浓度的变化趋势与血清渗透压和  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  离子不同,呈现先下降后趋于平稳的趋势。研究表明,中华鲟幼鱼与其他广盐性鱼类一样,其盐度适应过程可分为 2 个阶段,即临界期和调整期。

**关键词:**中华鲟幼鱼;盐度;渗透调节;离子浓度;长江口

**中图分类号:** Q 494; S 965.2

**文献标志码:** A

广盐性洄游性鱼类通常具有较强的离子调节能力,以确保不同生活环境下体内渗透压平衡及机体生理功能的正常发挥<sup>[1]</sup>。离子调节失衡将会导致细胞膜电位混乱、细胞活性降低,最终会导致细胞死亡<sup>[2]</sup>。鲟鱼与其他硬骨鱼类均具有类似的渗透调节机制,在盐度升高环境下通常会通过大量摄入高渗海水来弥补细胞水分的流失,血清中多余的钠( $\text{Na}^+$ )、氯离子( $\text{Cl}^-$ )通过鳃上皮氯细胞排出体外,同时,多余的钙( $\text{Ca}^{2+}$ )、钾离子( $\text{K}^+$ )通过肾脏排出<sup>[3]</sup>。

中华鲟(*Acipenser sinensis* Gray)作为典型江海洄游性鱼类,生活史中数次历经淡水和海水生活环境。通常来讲,每年 10—11 月性成熟的中华鲟由东海经长江口溯河洄游至长江中上游产卵繁殖,孵出的仔、稚鱼顺流而下,于第二年 5 月到达长江口水域进行摄食肥育和入海洄游前的生理适应与调节<sup>[4-5]</sup>。中华鲟幼鱼在长江口水域停留 3~4 个月,通过在河口水域的适应与调整,中华鲟幼鱼渗透调节相关器官结构和功能日趋完善,

适应高渗环境的能力逐渐加强,此阶段幼鱼在中华鲟生活史中具有极其重要的地位<sup>[4]</sup>。目前,He 等<sup>[6]</sup>和 Zhao 等<sup>[7]</sup>分别对中华鲟幼鱼的盐度耐受力及血液渗透压等进行了初步研究,指出盐度 20 以下是中华鲟幼鱼可耐受的急性盐度范围,并对短期急性盐度刺激下血液渗透压等的变化特征进行了描述。本研究以长江口中华鲟幼鱼栖息地盐度范围为参照,对不同盐度下中华鲟幼鱼血液水分、渗透压和离子浓度等生理指标进行了 32 d 连续监测,以期掌握长江口中华鲟幼鱼血液理化指标的变动规律,为深入研究中华鲟幼鱼渗透压调节机制及其栖息地保护提供基础数据。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 实验材料

实验用中华鲟幼鱼为长江口水域误捕所得,平均体长( $38.41 \pm 1.31$ )cm,平均体质量( $190.73 \pm 18.55$ )g。实验前在暂养池中暂养 2 周,挑选规格整齐的幼鱼进行实验。

收稿日期:2013-07-09 修回日期:2013-09-16

资助项目:国家自然科学基金项目(31101881);公益性行业(农业)科研专项(201203065)

通信作者:赵 峰,E-mail:zhaof@ecsf.ac.cn;庄 平,E-mail:pzhuang@ecsf.ac.cn

实验容器为蓝色圆柱形玻璃钢水槽,直径2.75 m,深0.8 m,保持水深0.50 m,底部有一排污换水口。实验过程中每日监测各实验组水质情况,保持水体溶解氧( $6.5 \pm 0.3$ ) mg/L,水温( $24 \pm 1$ ) °C, pH为7.5~7.7,自然光照。各盐度组水体为经颗粒活性炭及KDF(Kinetic Degradation Fluxion)过滤(余氯 $<0.01$  mg/L)的自来水与浓缩海水按比例配成,淡水为经上述KDF过滤的自来水。

### 1.2 实验设计

根据长江口中华鲟幼鱼栖息地盐度范围,实验共设4个盐度梯度,即盐度0(淡水对照)、5、10和15。实验时,将禁食24 h的中华鲟幼鱼各15尾从暂养池直接移入各盐度组,每组3个平行,共养殖32 d。实验期间,每天按鱼体质量的1.5%分早晚2次进行饲料投喂,并根据实验鱼摄食情况进行调整,以投喂后15~20 min吃完为宜。

### 1.3 样品采集与检测

实验开始后,在第0.5、1、2、4、8、16和32天时分别在各盐度组随机抽取幼鱼5尾进行血样采集。取样时,首先将鱼麻醉<sup>[8]</sup>,用5 mL一次性无菌注射器在臀鳍下方尾静脉抽血。将抽取的新鲜血液直接滴2滴到洁净干燥的盖玻片上(盖玻片提前洗净,高温烘干,无水CuSO<sub>4</sub>干燥器干燥保存),然后置于105 °C烘箱48 h,精确称量血液烘干前后的重量,精确到0.1 mg,从而计算出血液水分含量。将剩余血液注入玻璃采血管中室温放置0.5 h,待血清分离后,用Eppendorf 5810R离心机分离(2 000 r/min, 10 min)血清用于渗透压及离子测定。血清渗透压和离子(Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>和K<sup>+</sup>)分别采用Vapro 5520型(Wescor, Inc.)渗透压仪和DSI-905电解质分析仪(上海迅达医疗仪器有限公司,上海)进行检测。

### 1.4 数据分析

实验数据通过SPSS 17.0统计软件和Origin 7.5软件分别进行显著性检验和作图,图中的数据点用平均值±标准差(mean±SD)表示。利用方差分析(One-Way ANOVA)来检验不同时间及实验组间指标差异的显著性,用最小极差法(LSD)中的Duncan氏新复极差检验法进行多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

## 2 结果

### 2.1 中华鲟幼鱼的行为反应

转入各实验组后,中华鲟幼鱼均表现为快速

围绕实验桶游动,15 min后除盐度15组外其他各组幼鱼游动速度逐渐减慢,表现为围绕桶壁缓慢游动。盐度15组中华鲟幼鱼转入后,除游动速度增快外,其鳃盖煽动频率也较其他各组幼鱼快,1 h后游泳行为逐渐恢复正常。

### 2.2 中华鲟幼鱼血液水分含量变化

实验过程中,淡水对照组中华鲟幼鱼血液水分平均含量为82%~84%,未呈现显著性差异( $P > 0.05$ )。转入不同盐度组后,中华鲟幼鱼血液水分含量首先呈下降趋势,下降程度与盐度呈正相关(图1)。从统计分析来看,实验过程中淡水对照组与盐度5组中华鲟幼鱼血液水分含量未呈现显著性差异( $P > 0.05$ );而在第0.5天时,盐度15组中华鲟幼鱼血液水分含量显著低于淡水对照和盐度5组,而后各盐度组中华鲟幼鱼血液水分含量呈逐步升高趋势。至第8天时,除盐度15组中华鲟幼鱼血液水分含量显著( $P < 0.05$ )低于其他各组外,其他各组中华鲟幼鱼血液水分含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。不同盐度下养殖16 d时,各实验组中华鲟幼鱼血液水分含量均无显著性差异( $P > 0.05$ )。

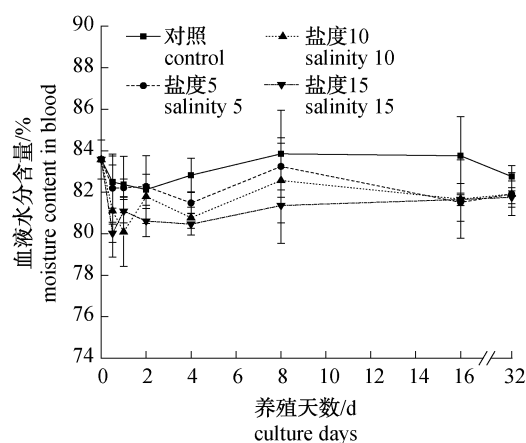


图1 不同盐度下中华鲟幼鱼血液水分含量变化

不同字母代表不同实验组在同一时间存在显著差异( $P < 0.05$ )。下同

Fig. 1 Changes in blood moisture content of juvenile *A. sinensis* Gray at different salinities

Different letters indicate a significant difference from different groups at the same time point. The same as the followings

### 2.3 中华鲟幼鱼血清渗透压变化

淡水中,中华鲟幼鱼血清渗透压保持在260~270 mOsm/kg。转入不同盐度组后,中华鲟幼鱼血清渗透压首先呈上升趋势,上升幅度与盐度呈正相关(图2)。从统计分析来看,实验过程

中淡水对照组与盐度 5 组中华鲟幼鱼血清渗透压未呈现显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 而在第 0.5 天时, 盐度 10 和 15 组中华鲟幼鱼血清渗透压显著高于淡水对照和盐度 5 组, 而后各盐度组中华鲟幼鱼血清渗透压逐步下降, 1 d 后, 盐度 10 和 15 组中华鲟幼鱼血清渗透压基本处于平稳状态, 但显著高于淡水对照和盐度 5 组 ( $P < 0.05$ )。不同盐度下养殖 32 d 时, 除盐度 15 组显著 ( $P < 0.05$ ) 高于其他各组外, 其他各实验组中华鲟幼鱼血清渗透压均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

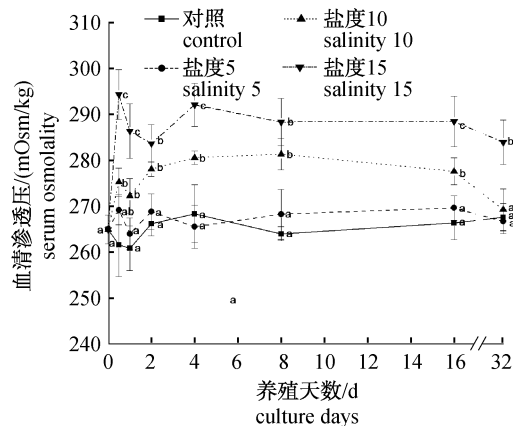


图 2 不同盐度下中华鲟幼鱼血清渗透压变化  
Fig. 2 Changes in serum osmolality of juvenile *A. sinensis* Gray at different salinities

#### 2.4 中华鲟幼鱼血清离子浓度变化

淡水中, 中华鲟幼鱼血清  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  浓度分别保持在 110 ~ 115 和 125 ~ 130 mmol/L。不同盐度组中, 中华鲟血清  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Na}^+$  浓度和渗透压变化趋势基本一致, 表现为先上升后下降, 并处于平稳状态 (图 3 和图 4)。从统计分析来看, 实验过程中淡水对照组与盐度 5 组中华鲟幼鱼血清  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  浓度均未呈现显著性差异 ( $P > 0.05$ )。在第 0.5 天, 盐度 10 和 15 组中华鲟幼鱼血清  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  浓度显著高于淡水对照和盐度 5 组, 且与盐度呈正相关; 而后各盐度组中华鲟幼鱼血清  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  浓度逐步下降, 1 d 后, 盐度 10 和 15 组中华鲟幼鱼血清渗透压基本处于平稳状态, 但显著高于淡水对照和盐度 5 组 ( $P < 0.05$ )。除盐度 15 组外, 其他各实验组中华鲟幼鱼养殖 16 d 时血清  $\text{Cl}^-$  浓度均无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 而血清  $\text{Na}^+$  浓度在养殖 32 d 时无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

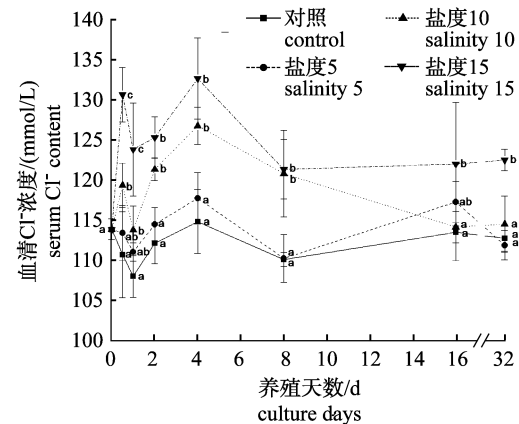


图 3 不同盐度下中华鲟幼鱼血清  $\text{Cl}^-$  浓度变化  
Fig. 3 Changes in serum  $\text{Cl}^-$  content of juvenile *A. sinensis* Gray at different salinities

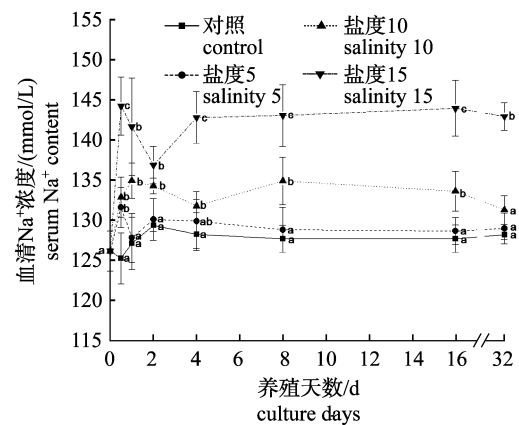


图 4 不同盐度下中华鲟幼鱼血清  $\text{Na}^+$  浓度变化  
Fig. 4 Changes in serum  $\text{Na}^+$  content of juvenile *A. sinensis* Gray at different salinities

淡水中, 中华鲟幼鱼血清  $\text{K}^+$  浓度保持在 3.1 ~ 3.4 mmol/L。不同盐度组中, 中华鲟血清  $\text{K}^+$  浓度呈现先下降后平稳的变化趋势 (图 5)。从统计分析来看, 实验过程中淡水对照组与盐度 5 组中华鲟幼鱼血清  $\text{K}^+$  浓度均未呈现显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 而盐度 10 和 15 组中华鲟幼鱼血清  $\text{K}^+$  浓度随养殖时间延长逐渐降低, 显著低于淡水对照和盐度 5 组 ( $P < 0.05$ ), 至养殖 16 d 时, 盐度 10 和 15 组中华鲟幼鱼血清  $\text{K}^+$  浓度达到新的平衡, 盐度 10 和 15 组间中华鲟幼鱼血清  $\text{K}^+$  浓度无显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 但仍显著 ( $P < 0.05$ ) 低于淡水对照和盐度 5 组。

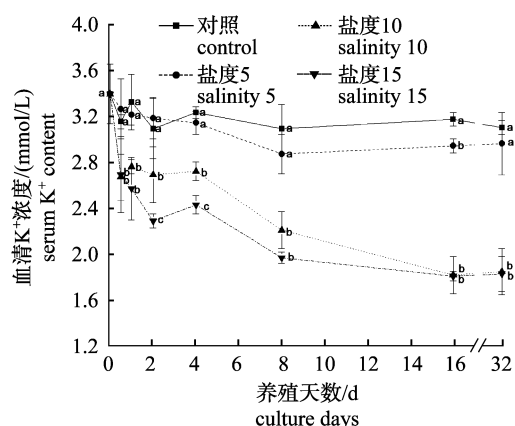


图5 不同盐度下中华鲟幼鱼血清K<sup>+</sup>浓度变化  
Fig. 5 Changes in serum K<sup>+</sup> content of juvenile *A. sinensis* Gray at different salinities

### 3 讨论

围绕养殖容器内壁缓慢游动是鲟科鱼类的典型行为反应,施氏鲟(*A. schrenckii*)和西伯利亚鲟(*A. baerii*)等<sup>[9-10]</sup>在养殖过程中也表现为此行为。中华鲟幼鱼转入各盐度组后,首先表现出的快速游动行为可能主要是由于人为操作引起的。而盐度15组,中华鲟幼鱼所表现出的游动速度和鳃盖煽动频率加快等行为是典型的盐度胁迫效应。通常来讲,鱼类进入高渗环境后,体内水分流失导致血液离子(如Cl<sup>-</sup>等)浓度发生改变,进而影响到血红蛋白与氧气的亲和力<sup>[11]</sup>,鱼类势必会通过加快鳃盖煽动频率摄入大量外界高渗水分以补充体内水分流失,从而达到平衡以维持正常生理活动,这也是鱼类开始主动进行渗透调节的表现之一<sup>[12]</sup>。本研究中,盐度15组中华鲟幼鱼在0.5 d内血液水分含量的显著下降和血清Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量的显著上升充分证明了这一结论。

在淡水和盐度5中,中华鲟幼鱼血清渗透压及离子(Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>和K<sup>+</sup>)浓度无显著性差异(图2~图5),表明盐度5及以下环境对长江口中华鲟幼鱼基本无影响。而在盐度10和15中,中华鲟幼鱼血清渗透压及Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>含量呈现相同的变化趋势,即先升高后下降,并趋于平稳,这与He等<sup>[6]</sup>和Zhao等<sup>[7]</sup>的研究结果一致,在施氏鲟<sup>[9]</sup>、俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedtii*)<sup>[13-14]</sup>、高首鲟(*A. transmontanus*)<sup>[15]</sup>等其他鲟科鱼类的相关研究中也出现类似现象。通常来讲,广盐性鱼类从淡水直接转入海水的适应过程分为2个阶段:一是临界

期,即应激反应或被动调整阶段,表现为渗透调节指标的快速变化;二是调整期,即主动调整阶段,表现为渗透调节指标逐渐达到新的平衡<sup>[2]</sup>。本研究中,中华鲟幼鱼血清渗透压及Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>浓度变化与一般广盐性鱼类的盐度适应过程基本一致。

研究还发现,盐度10和15组中华鲟幼鱼血清K<sup>+</sup>浓度变化与血清渗透压及Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>浓度变化呈相反的趋势,即先显著下降后趋于平稳(图5),而在施氏鲟<sup>[9]</sup>、西伯利亚鲟<sup>[16]</sup>和湖鲟(*A. fulvescens*)<sup>[17]</sup>等的研究中均发现血清K<sup>+</sup>浓度随着盐度变化未呈现显著性差异。通常在盐度刺激下,相对于鱼体细胞内液来讲,细胞外液Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>等离子浓度升高而K<sup>+</sup>离子浓度下降,这样使细胞内外形成跨膜电位,以保证离子调节功能的正常发挥<sup>[2]</sup>。若盐度变化范围超出鱼体细胞所能承受的限度,细胞内外离子浓度差将逐渐缩小,导致跨膜电位改变或消失,将进一步导致细胞活性消失,直至细胞死亡<sup>[2]</sup>。中华鲟属于江海洄游性鱼类,具有较强的渗透压调节能力,而施氏鲟、西伯利亚鲟和湖鲟等均属于淡水型或半洄游(淡水至河口水域间洄游)型鱼类<sup>[18]</sup>,造成血清K<sup>+</sup>浓度变化差异的原因可能是由于渗透调节能力大小和方式不同所造成的,具体原因还有待于进一步研究证实。

从本研究结果可以看出,中华鲟幼鱼渗透压调节特征与其时空分布和栖息环境选择之间具有一定的相关性。一般而言,鱼类的分布和栖息地选择都遵循最适性理论(optimality theory),即鱼类分布最终决定于其净能量的最大化<sup>[19-20]</sup>。中华鲟幼鱼在每年5—9月份依次进入长江口水域索饵肥育,为洄游入海生活进行生理适应性调整<sup>[4]</sup>。进入长江口水域后,中华鲟幼鱼集中分布在团结沙和东旺沙水域浅滩,此水域盐度一般在10以内,浅滩一带不会超过盐度5<sup>[4]</sup>。该水域中华鲟幼鱼饵料生物充足<sup>[4]</sup>,且较低的盐度对中华鲟幼鱼的生理代谢基本不会产生过多的能量支出,有利于中华鲟幼鱼的索饵肥育。

### 参考文献:

- [1] Potts W T W, Rudy P P. Aspects of osmotic and ionic regulation in the sturgeon [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 1972, 56(3): 703-715.
- [2] Evans D H, Claiborne J B. *The physiology of fishes* [M]. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2005:

- 177 - 230.
- [ 3 ] Gershanovich A D, Smith T I J. International symposium on sturgeons proceedings [ C ]. Moscow : VNIRO, 1995 ; 43 - 61.
- [ 4 ] 庄平,刘健,王云龙,等. 长江口中华鲟自然保护区科学考察与综合管理 [ M ]. 北京:海洋出版社, 2009 ; 239 - 240.
- [ 5 ] Wei Q, Ke F, Zhang J, *et al.* Biology, fisheries, and conservation of sturgeons and paddlefish in China [ J ]. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 48 ( 1 - 4 ) : 241 - 245.
- [ 6 ] He X, Zhuang P, Zhang L, *et al.* Osmoregulation in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) during brackish water adaptation [ J ]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2009, 35 ( 2 ) : 223 - 230.
- [ 7 ] Zhao F, Qu L, Zhuang P, *et al.* Salinity tolerance as well as osmotic and ionic regulation in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray, 1835) exposed to different salinities [ J ]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2011, 27 ( 2 ) : 231 - 234.
- [ 8 ] 庄平,章龙珍,李长松,等. 鱼类电麻醉方法:中国, 200410093180. 9 [ P ]. 2007-11-21.
- [ 9 ] 赵峰,庄平,章龙珍,等. 盐度驯化对史氏鲟鳃  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶活力、血清渗透压及离子浓度的影响 [ J ]. *水产学报*, 2006, 30 ( 4 ) : 444 - 449.
- [ 10 ] 赵峰,庄平,李大鹏,等. 盐度对施氏鲟和西伯利亚鲟稚鱼的急性毒性 [ J ]. *生态学杂志*, 2008, 27 ( 6 ) : 929 - 932.
- [ 11 ] Nonnotte G, Truchot J P. Time course of extracellular acid-base adjustments under hypo- and hyperosmotic condition in the euryhaline fish *Platichthys flesus* [ J ]. *Journal of Fish Biology*, 1990, 36 ( 2 ) : 181 - 190.
- [ 12 ] Gilles B, Patrick P. How should salinity influence fish growth [ J ]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 2001, 130C ( 4 ) : 411 - 423.
- [ 13 ] Natchin Y V, Lukianenko V I, Kirsanov V I, *et al.* Features of osmotic and ionic regulation in Russian sturgeon (*Acipenser guldenstadtii* Brand) [ J ]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1985, 80A ( 3 ) : 297 - 302.
- [ 14 ] 屈亮,庄平,章龙珍,等. 盐度对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶活力的影响 [ J ]. *中国水产科学*, 2010, 17 ( 2 ) : 243 - 251.
- [ 15 ] McEnroe M, Cech J J. Osmoregulation in juvenile and adult white sturgeon, *Acipenser transmontanus* [ J ]. *Environmental Biology of Fishes*, 1985, 14 ( 1 ) : 23 - 30.
- [ 16 ] Rodríguez 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.
- [ 17 ] LeBreton G T O, Beamish F W H. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* [ J ]. *Environmental Biology of Fishes*, 1998, 52 ( 4 ) : 477 - 482.
- [ 18 ] Birstein V J, Bemis W E, Waldman J R. The threatened status of Acipenseriform species: a summary [ J ]. *Environmental Biology of Fishes*, 1997, 48 ( 1 - 4 ) : 427 - 435.
- [ 19 ] Gilliam J F, Fraser D F. Habitat selection under predation hazard: test of a model with foraging minnows [ J ]. *Ecology*, 1987, 68 ( 6 ) : 1856 - 1862.
- [ 20 ] Stillman R A, Goss-Custard J D, West A D, *et al.* Predicting mortality in novel environments: tests and sensitivity of a behavior-based model [ J ]. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 37 ( 4 ) : 564 - 588.

## Changes in blood moisture, osmolality and ion concentration of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in the Yangtze Estuary

ZHAO Feng\*, ZHANG Tao, HOU Junli, LIU Jianyi, ZHANG Longzhen, ZHUANG Ping\*

(Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** To understand salinity adaptation and regulatory status of juvenile Chinese sturgeon in the Yangtze Estuary, the 7-month-old juveniles were transferred directly from freshwater(0) to salinity 5, 10, and 15 for 32 days. And the blood moisture content, serum osmolality and ion concentrations of fish exposed to various salinities were measured respectively at 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, and 32 days after transfer. Results showed that; all measured blood parameters of juveniles in freshwater control and salinity 5 kept the same pattern, and those are not significantly different. In the salinity 10 and 15 groups, blood moisture content of juveniles decreased first, and then increased. The decrements were positively correlated to salinities, and the blood moisture content of juveniles in all groups was not significantly different at 16 days after transfer. Changes in serum osmolality and  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  concentrations of juveniles exposed to salinity 10 and 15 were consistent, i. e. increased significantly, then decreased and reached a new steady state. However, change in concentration of serum  $\text{K}^+$  in juveniles exposed to salinity 10 and 15 differed from the serum osmolality and  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  concentrations. It decreased and reached a new stable state. The results indicated that salinity acclimation process of juvenile Chinese sturgeon, like other euryhaline fishes, can be divided into two periods: the critical period and the regulatory period.

**Key words:** juvenile *Acipenser sinensis*; salinity; osmoregulation; ion concentration; the Yangtze Estuary

**Corresponding author:** ZHAO Feng. E-mail: zhaof@ecsf.ac.cn;

ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn