

文章编号: 1004 - 7271(2007)04 - 0317 - 06

## 不同盐度海水驯养中史氏鲟 血清激素浓度的变化

冯广朋<sup>1,2</sup>, 庄平<sup>1,2</sup>, 赵峰<sup>1</sup>, 章龙珍<sup>1</sup>, 张涛<sup>1</sup>, 黄晓荣<sup>1</sup>

(1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;

2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

**摘要:**研究了不同盐度海水驯养中史氏鲟血清激素催乳素、皮质醇、胰岛素样生长因子-I、四碘甲状腺原氨酸和三碘甲状腺原氨酸的变化规律及其对渗透压的调控作用。随着海水盐度逐渐升高, 史氏鲟催乳素含量随之下降。从淡水刚进入海水中时史氏鲟的皮质醇含量下降, 在进入盐度为25的海水中皮质醇含量上升。驯养过程中胰岛素样生长因子-I的含量变化较小, 四碘甲状腺原氨酸和三碘甲状腺原氨酸的含量在进入海水后有所升高。这5种激素协同作用, 共同增强史氏鲟对海水的适应性和渗透压调节能力, 其中催乳素和皮质醇对渗透压调控起主要作用。史氏鲟经海水驯养后进行海水养殖是可行的。

**关键词:** 史氏鲟; 激素; 海水驯养

中图分类号: S 965. 215 文献标识码: A

## Changes of serum hormone levels during seawater acclimation in Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*)

FENG Guang-peng<sup>1,2</sup>, ZHUANG Ping<sup>1,2</sup>, ZHAO Feng<sup>1</sup>  
ZHANG Long-zhen<sup>1</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>, HUANG Xiao-rong<sup>1</sup>

(1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key & Open

Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture of China, Shanghai 200090, China;

2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** Changes of hormonal levels during seawater acclimation in Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) were studied. Serum prolactin levels decreased continuously with the growing salinity. Serum cortisol levels in Amur sturgeon decreased after transfer from fresh water into seawater in the beginning. Serum cortisol levels in Amur sturgeon increased after transfer into 25 salinity. Serum insulin-like growth factors-I levels changed slightly during seawater acclimation. Serum thyroxine and triiodothyronine in Amur sturgeon increased slightly. Therefore these hormones acted together to promote seawater adaptation in Amur sturgeon. However, prolactin and cortisol were most important. It was feasible to culture Amur sturgeon in seawater after seawater

收稿日期: 2006-11-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2004AA603110); 国家自然科学基金重大项目(30490234); 国家“十五”重点科技攻关计划(2004BA526B0114); 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室课题(开-1-04-07)

作者简介: 冯广朋(1977-), 男, 浙江乐清人, 助理研究员, 博士研究生, 从事鱼类生理生态和渔业资源保护研究。E-mail: coolwindfgp@126.net

通讯作者: 庄平, E-mail: pzhuang@online.sh.cn

acclimation.

**Key words:** Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*); hormone; seawater acclimation

史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)原产于黑龙江流域,具有食性杂、生长快、病害少、适应能力强、经济价值高等特点,是我国优良养殖品种之一,近年来史氏鲟的淡水养殖在我国迅速发展,已推广至我国大部分省市,并形成了一套较为完整的淡水养殖技术规程<sup>[1]</sup>。目前我国海水网箱养殖的发展非常迅速,然而养殖的鱼类大多是肉食性品种,需要投喂鲜活饵料,由此容易导致饵料鱼类资源衰退、养殖成本增加、养殖水域环境退化以及病害易发等问题。史氏鲟作为典型的杂食性鱼类,具有众多优良养殖特性,可不用投喂鲜活饵料鱼,因此可望开发成为海水网箱养殖的优良新品种,减轻和避免养殖肉食性鱼类时容易出现的问题。史氏鲟作为淡水鱼类,其苗种从淡水转入海水网箱养殖时,首先需要经过一段时间的海水驯养。在海水驯养过程中,内分泌激素对鱼类的渗透压调控具有十分重要的作用,但其机理目前仍研究较少<sup>[2-4]</sup>。研究海水驯养中史氏鲟内分泌激素催乳素(PRL)、皮质醇(COR)、胰岛素样生长因子-I(IGF-I)、四碘甲状腺原氨酸(T<sub>4</sub>)和三碘甲状腺原氨酸(T<sub>3</sub>)的变化规律,旨在探索海水驯养中史氏鲟内分泌激素对渗透压的调控机制,为史氏鲟以及其它淡水鱼类转入海水网箱养殖提供理论基础,促进海水鱼类养殖的可持续发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与条件

试验用史氏鲟为人工繁育的5月龄幼鱼,体格健壮,体长与体重无差异。试验容器为平底圆形玻璃钢桶,直径0.85 m,深0.70 m。试验用海水由经“开能”牌净水机(上海开能环保设备有限公司)处理后的自来水与浓缩海水按比例配制而成,配好的海水静置1 d后使用。

### 1.2 试验设计与方法

#### 1.2.1 试验鱼的海水驯养及日常管理

首先将史氏鲟在淡水中暂养7 d,然后连续转入盐度为10、20、25和28的海水中分别养殖10 d、10 d、20 d和10 d,试验总用时57 d。每天投喂鲟鱼配合饲料4次,投饵量约为鱼体重的2%。每2天换水1次,每次约30%,用综合水质分析仪(HACH YSI-ADV6600)监测水质状况,使鲟鱼在同一适宜的条件下生长。

#### 1.2.2 样品的采集、制备和检测

每隔5天随机选取5尾鲟鱼取样,取样前先用MS-222(麻醉浓度为200 mg/L)将史氏鲟在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<sup>[5]</sup>。史氏鲟在样品采集前12 h禁食。

血清样品的采集用1 mL一次性无菌注射器在鲟鱼臀鳍下方尾静脉或尾动脉抽血,血液注入玻璃采血管中后在4℃冷藏,开始分层后,用离心机(4 000 r/min)离心30 min直到分层完全,澄清透明的上清液即为血清,将血清置于-80℃保存。

保存的血清经逐步解冻后在24 h内完成激素测定。PRL、COR、T<sub>4</sub>和T<sub>3</sub>的含量均用放射免疫分析法测定,采用北京北方生物技术研究所的放免试剂盒。IGF-I的含量用免疫放射分析法测定,采用比利时BIOCODE公司的放免试剂盒。以上测定均在DFM-96型10管放射免疫γ计数器上读数,绘制标准曲线后求出各样品管中激素含量。

### 1.3 数据分析

试验数据通过统计软件STATISTICA 6.0分析和作图。利用方差分析(One-Way ANOVA)检验盐度对测定指标影响的显著性,用Duncan氏多重比较法进行多重比较。

## 2 结果

### 2.1 史氏鲟血清催乳素(PRL)含量的变化

在海水驯化初始阶段,史氏鲟刚从淡水(盐度为0)转入盐度为10的海水时,受海水盐度胁迫作用,血清PRL含量略有上升,但两者间无显著性差异( $P > 0.05$ )。随后进入20、25和28盐度海水中时血清PRL含量持续减少,呈直线下降趋势,在28盐度海水中血清PRL含量明显减少,仅为淡水中的67.3%(图1)。在10盐度海水中血清PRL含量为 $(56.34 \pm 20.51) \mu\text{U}/\text{mL}$ ,在28盐度海水时含量最低,为 $(34.71 \pm 5.41) \mu\text{U}/\text{mL}$ ,经统计分析,在这两个盐度海水间的史氏鲟血清PRL含量具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

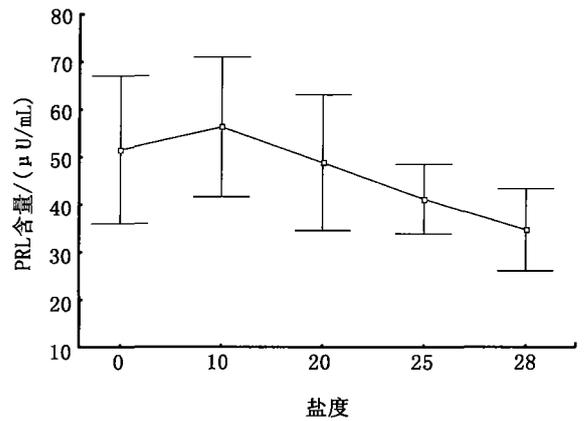


图1 不同盐度驯养过程中史氏鲟血清PRL含量的变化

Fig 1 Changes of serum PRL levels during acclimation to different salinities in Amur sturgeon

### 2.2 史氏鲟血清皮质醇(COR)含量的变化

史氏鲟血清COR含量在不同盐度海水中变化较大(图2)。在淡水中史氏鲟血清COR含量为 $(4.67 \pm 0.97) \text{ ng}/\text{mL}$ ,转入10和20盐度海水时血清COR含量有所下降,但与淡水中的血清COR含量比较无显著性差异( $P > 0.05$ )。随后转入25盐度海水时COR含量又升高至 $(4.41 \pm 1.76) \text{ ng}/\text{mL}$ ,显著高于10和20盐度海水时COR含量( $P < 0.05$ )。COR含量在盐度为28的海水中明显降低,显著低于25盐度海水时COR含量( $P < 0.05$ ),与在淡水、10与20盐度海水中含量相比较无显著性差异( $P > 0.05$ )。

### 2.3 史氏鲟胰岛素样生长因子-I(IGF-I)含量的变化

史氏鲟进入10和20盐度海水的前20d,血清IGF-I含量逐渐下降,最低值出现在20盐度,为 $(4.02 \pm 1.54) \text{ ng}/\text{mL}$ 。而进入20和28盐度海水的后30d,血清IGF-I含量逐渐上升,最后趋于平稳(图3),最高值出现在28盐度,达 $(4.49 \pm 0.85) \text{ ng}/\text{mL}$ 。整个驯养过程中血清IGF-I含量变化较小,在各盐度阶段无显著性差异( $P > 0.05$ )。

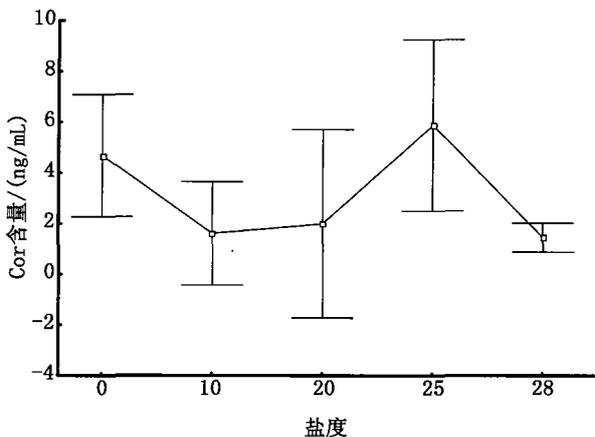


图2 不同盐度驯养过程中史氏鲟COR含量的变化

Fig 2 Changes of serum COR levels during acclimation to different salinities in Amur sturgeon

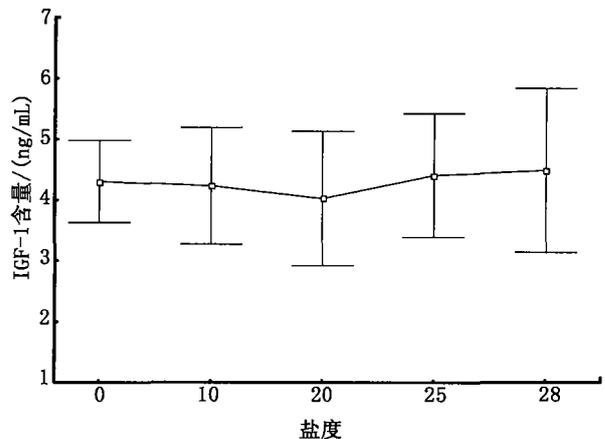


图3 不同盐度驯养过程中史氏鲟IGF-I含量的变化

Fig 3 Changes of serum IGF-I levels during acclimation to different salinities in Amur sturgeon

## 2.4 史氏鲟血清四碘甲状腺原氨酸( $T_4$ )和三碘甲状腺原氨酸( $T_3$ )含量的变化

海水驯养中血清  $T_3$  与  $T_4$  含量的变化规律见表 1。史氏鲟在淡水中的血清  $T_3$  含量为  $(0.83 \pm 0.17)$  ng/mL, 转入 10、20 和 25 盐度海水后血清  $T_3$  含量升高, 显著高于在淡水中血清  $T_3$  含量 ( $P < 0.05$ )。随后转入 28 盐度海水时  $T_3$  含量又降低, 显著低于 10、20 和 25 盐度海水时的血清  $T_3$  含量, 与在淡水中时的  $T_3$  含量无显著性差异。

史氏鲟在淡水中的血清  $T_4$  含量为  $(8.80 \pm 1.27)$  ng/mL, 转入 10、20 和 25 盐度海水后血清  $T_4$  含量升高, 最高值出现在 25 盐度, 达  $(12.33 \pm 6.00)$  ng/mL。随后转入 28 盐度海水时血清  $T_4$  含量降低, 显著低于 25 盐度海水的  $T_4$  含量 ( $P < 0.05$ ), 但与淡水、10 和 20 盐度海水的血清  $T_4$  含量无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

表 1 不同盐度驯养过程中史氏鲟  $T_3$  和  $T_4$  含量的变化

Tab.1 Changes of serum  $T_3$  and  $T_4$  levels during acclimation to different salinities in Amur sturgeon

盐度	$T_3$ 含量 (ng/mL)	$T_4$ 含量 (ng/mL)
0	$0.83 \pm 0.17^a$	$8.80 \pm 1.27^a$
10	$1.39 \pm 0.38^b$	$9.62 \pm 2.77^a$
20	$1.42 \pm 0.57^{bc}$	$9.20 \pm 1.92^a$
25	$1.42 \pm 0.38^{bcd}$	$12.33 \pm 6.00^{ab}$
28	$0.88 \pm 0.22^a$	$8.42 \pm 1.35^{ac}$

注: 同一列中参数上方字母不同代表有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 相同则无显著性差异 ( $P > 0.05$ )

## 3 讨论

鱼类由淡水进入海水生活时, 为了补偿体内水分流失, 通常需要大量吞饮海水, 排出体内多余离子。研究表明内分泌激素催乳素 (PRL)、皮质醇 (COR)、胰岛素样生长因子-I (IGF-I)、四碘甲状腺原氨酸 ( $T_4$ )、三碘甲状腺原氨酸 ( $T_3$ ) 和生长激素 (GH) 在鱼类渗透压调节中都具有一定作用, 可引起鳃氯细胞及  $Na^+/K^+$ -ATP 酶等相应变化<sup>[3]</sup>。

促乳素是一些广盐性鱼类适应淡水生活的重要调节激素<sup>[4,6]</sup>, 可防止体内离子流失和外界水份进入, 降低体内器官的渗透性<sup>[7]</sup>, 因此在淡水中 PRL 含量一般较高。相反, 广盐性鱼类从淡水进入海水后体内的 PRL 含量一般会降低。Nakano 等研究表明, 尼罗罗非鱼和莫桑比克罗非鱼 PRL 含量在淡水中高于各种盐度的海水<sup>[8]</sup>, PRL 具有保持体内钠离子与维持离子平衡的作用, 为了适应海水生活, 鱼类往往通过降低体内 PRL 的含量来维持渗透压平衡<sup>[9-11]</sup>。在本试验中, 随着盐度升高, 为了适应海水生活, 维持体内渗透压及离子浓度平衡, 史氏鲟不断降低催乳素含量, 在 28 盐度海水时含量达到最低, 显著低于刚转入 10 盐度海水的含量, 这有助于维持  $Na^+$  和  $Cl^-$  离子平衡, 提高  $Na^+/K^+$ -ATP 酶活性, 从而达到体内渗透压平衡<sup>[9]</sup>。

皮质醇是许多鱼类适应海水环境的重要调节激素, 可增强盐度耐受性<sup>[4]</sup>, 保持渗透压平衡。广盐性鱼类从淡水进入海水后体内的 COR 含量一般会升高。本试验中, 史氏鲟从淡水进入 10 和 20 盐度海水时 COR 含量下降, 这可能是由于进入海水的初期史氏鲟的应激反应导致体内 COR 清除率增高, 引起 COR 含量降低, 而并非 COR 分泌量减少。Nichols 等研究表明大西洋鲑的皮质醇清除率在海水中显著比在淡水中高, 导致海水中皮质醇含量显著低于淡水<sup>[12]</sup>。对莫桑比克罗非鱼的研究表明, 进入海水中 24 h 后皮质醇含量比在淡水中低, 主要是因为皮质醇的清除率增高, 并非皮质醇的分泌量减少<sup>[9]</sup>。Nichols 等<sup>[12]</sup>研究表明, 在海水中莫桑比克罗非鱼皮质醇的分泌量是淡水中的数倍, 但两者血浆皮质醇含量相近, 因而认为是罗非鱼转至海水中后皮质醇的清除率增高所致<sup>[13]</sup>。本试验中, 史氏鲟受到海水胁迫, 为了维持体内渗透压和离子浓度平衡, COR 的清除率和分泌量都增加, 但在 10 和 20 盐度海水时 COR 的清除量大于分泌量, 表现为 COR 含量有所降低, 但与淡水中相比无显著性差异。在 25 盐度海水中 COR 的分泌量继续增加, 超过其清除量, COR 含量开始上升, 这有助于提高  $Na^+/K^+$ -ATP 酶的活性, 促进成熟氯细胞增殖, 同时刺激鳃  $Na^+/K^+$ -ATP 酶的表达, 提高酶活性<sup>[4,14-15]</sup>。史氏鲟在经过 20d 的适应后, COR 含量降低, 逐渐恢复到原来水平, Assem 等研究表明莫桑比克罗非鱼转到盐度为 27 的海水中 2 h 后皮质醇显著增加, 在 6~72 h 的适应后又恢复到原来水平。

胰岛素样生长因子-I 是鱼类生长激素的内分泌介质<sup>[16-17]</sup>,可增加鱼类的盐度耐受力,调节渗透压平衡<sup>[4,18-19]</sup>。McCormick 认为 IGF-I 促进了大西洋鲑的盐度耐受力,但没增加鳃  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶的活性,其作用效率比生长激素要低,仅能实现 GH 的部分渗透调节能力<sup>[14]</sup>。本试验中,史氏鲟体内 IGF-I 的含量波动很小,表明 IGF-I 在渗透压调节中的作用可能较小<sup>[20]</sup>。

四碘甲状腺原氨酸和三碘甲状腺原氨酸在鱼类渗透压调节中的作用仍不明确。Borgatti 等认为甲状腺激素可能具有促进产生不成熟氯细胞和  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶 mRNA 合成的作用,从而为广盐性鱼类适应高渗环境做准备<sup>[21]</sup>。Dickhoff 等研究表明鲑鱼由河流进入海洋过程中  $\text{T}_4$  浓度上升,认为甲状腺激素在调控适应海水环境中起一定作用<sup>[22]</sup>。McCormick 等研究发现大西洋幼鲑进入 30 盐度海水时  $\text{T}_4$  在最初 6 h 增加 80%,24 h 后回到原来水平,而  $\text{T}_3$  含量没有变化<sup>[23]</sup>。本试验中史氏鲟进入海水中后  $\text{T}_4$  和  $\text{T}_3$  的含量都有所升高,表明在渗透压调节中具有一定的作用,可能有助于增加史氏鲟对海水的适应,可促进氯细胞产生和增强  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶活性。

大多数鲟鱼类都具有较强海水适应能力,淡水湖鲟经驯养后可在盐度为 25 的海水中生活<sup>[24]</sup>,Mckenzie 等认为经过 11 盐度的海水驯化后可以提高纳氏鲟在海水中的渗透压调节能力<sup>[25]</sup>。本试验中,随着海水盐度的不断升高,史氏鲟体内激素也随之产生相应变化,PRL 含量降低,而 COR 含量升高,这两种激素对渗透压调节起主要作用,IGF-I、 $\text{T}_3$  和  $\text{T}_4$  的含量也有所升高,但对渗透压调节作用较小。这些激素协同作用,可以通过鳃氯细胞增多增大、 $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATP 酶活性提高、离子浓度调控等响应<sup>[4,6,26-28]</sup>,共同增强史氏鲟对海水的适应性和调控渗透压平衡。因此经海水驯养后的史氏鲟进行海水网箱养殖是可行的,这在其它研究论文中也有一些相关结论<sup>[29-32]</sup>,因此预计史氏鲟可望开发成为海水网箱养殖的杂食性对象,但还需进行深入系统研究。

#### 参考文献:

- [1] Zhuang P, Kynard B, Zhang L, et al. Overview of biology and aquaculture of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*) in China[J]. J Appl Ichthyol, 2002, 18: 659-664.
- [2] 傅萃长,朱作言. 生长激素及其基因转移对鱼类生长和渗透压的调节作用[J]. 动物学报, 2000, 46(4): 407-415.
- [3] 陈惠群,王国良. 硬骨鱼类的渗透压调节[J]. 海洋科学, 2002, 26(1): 24-26.
- [4] McCormick S D. Endocrine control of osmoregulation in teleost fish[J]. Amer Zool, 2001, 41: 781-794.
- [5] Mazur C F, Iwama G K. Handling and crowding stress reduces number of plaque-forming cells in Atlantic salmon[J]. J Aquat Anim Health, 1993, 5: 98-101.
- [6] Pisam M, Auperin B, Prunet P, et al. Effects of prolactin on alpha and beta chloride cells in the gill epithelium of the saltwater adapted tilapia "*Oreochromis niloticus*" [J]. Anat Rec, 1993, 235(2): 275-284.
- [7] Manzon L A. The role of prolactin in fish osmoregulation: a review[J]. Gen Comp Endocrinol, 2002, 125: 291-310.
- [8] Nakano K, Tagawa M, Takemura A, et al. Effects of ambient salinities on carbohydrate metabolism in two species of tilapia *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus*[J]. Fish Sci, 1997, 63(3): 338-343.
- [9] Morgan J D, Sakamoto T, Grau E G., et al. Physiological and respiratory responses of the mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to salinity acclimation - the active transport of chloride and the paracellular pathways [J]. Comp Biochem Physiol, 1997, 117A: 391-398.
- [10] Ayson F G, Kaneko T, Tagawa M, et al. Effects of acclimation to hypertonic environment on plasma and pituitary levels of two prolactins and growth hormone in two species of tilapia, *Oreochromis mossambicus* and *Oreochromis niloticus*[J]. Gen Comp Endocrinol, 1993, 89: 138-148.
- [11] Yada T, Hirano T, Grau E G. Changes in plasma levels of the two prolactins and growth hormone during adaptation to different salinities in the euryhaline tilapia, *Oreochromis mossambicus*[J]. Gen Comp Endocrinol, 1994 93: 214-223.
- [12] Nichols D J, Weisbart M. Cortisol dynamics during seawater adaptation of Atlantic salmon, *Salmo salar*[J]. Am J Physiol, 1985, 248: 651-659.
- [13] Balm P H M, Haenen H E M G, Bonga S R W. Regulation of interregal function in freshwater and sea water adapted tilapia (*Oreochromis mossambicus*) [J]. Fish Biochem Physiol, 1995, 14(1): 37-47.
- [14] McCormick S D. Effects of growth hormone and insulin-like growth factor I on salinity tolerance and gill  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Interaction with Cortisol[J]. Gen Comp Endocrinol, 1996, 101: 3-11.

- [15] Mancera J M, Carrion R L, Martin M P. Osmoregulatory action of PRL, GH, and cortisol in the gilthead seabream (*Sparus aurata*) [J]. Gen Comp Endocrinol, 2002, 129: 95 - 103.
- [16] Assem H, Hanke W. Cortisol and osmotic adjustment of the euryhaline teleost, *Sarotherodon mossambicus* [J]. Gen Comp Endocrinol, 1981, 43: 370 - 380.
- [17] 华益民, 林浩然. 鱼类胰岛素样生长因子-I 的研究进展[J]. 水产学报, 1997, 21(3): 327 - 335.
- [18] Seidelin M, Madsen S S, Byrialsen A, et al. Effects of insulin-like growth factor-I and cortisol on  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ -ATPase expression in osmoregulatory tissues of brown trout (*Salmo trutta*) [J]. Gen Comp Endocrinol, 1999, 113: 331 - 342.
- [19] Inoue K, Iwatani H, Takei Y. Growth hormone and insulin-like growth factor I of a Euryhaline fish *Cottus kazika* cDNA cloning and expression after seawater acclimation[J]. Gen Comp Endocrinol, 2003, 131: 77 - 84.
- [20] Sakamoto T, Hirano T. Expression of insulin-like growth factor-I gene in osmoregulatory organs during seawater adaptation of the salmonid fish; Possible mode of osmoregulatory action of growth hormone[J]. Proc Nat Aca Sci, 1993, 90: 1912 - 1916.
- [21] Borgatti A R, Pagliarani A, Ventrella V. Gill ( $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ )-ATPase involvement and regulation during salmonid adaptation to salt water [J]. Comp Biochem Physiol, 1992, 102(4): 637 - 43.
- [22] Dickhoff W W, Folmar L C, Gorbman A. Changes in plasma thyroxine during smoltification of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* [J]. Gen Comp Endocrinol, 1978, 36: 229 - 232.
- [23] McCormick S D, Saunders R L. Influence of ration level and salinity on circulating thyroid hormones in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Gen Comp Endocrinol, 1990, 78: 224 - 230.
- [24] Gregory T O, LeBreton, William H, et al. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* [J]. Env Bio Fish, 1998, 52: 477 - 482.
- [25] Mckenzie, D J, Cataldi E, Romano P, et al. Effects of acclimation to brackish water on the growth, respiratory metabolism, and swimming performance of young-of-the-year Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*) [J]. Can J Fish Aquat Sci, 2001, 58: 1104 - 1112.
- [26] Eckert S M, Yada T, Shepherd B S, et al. Hormonal control of osmoregulation in the channel catfish *Ictalurus punctatus* [J]. Gen Comp Endocrinol, 2001, 122: 270 - 286.
- [27] Kajimura S, Hirano T, Moriyama S, et al. Changes in plasma concentrations of immunoreactive ouabain in the tilapia in response to changing salinity : is ouabain a hormone in fish? [J]. Gen Comp Endocrinol, 2004, 135: 90 - 99.
- [28] 侯俊利, 陈立侨, 庄平, 等. 不同盐度驯化下施氏鲟幼鱼鳃泌氯细胞结构的变化[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 316 - 322.
- [29] 方彰胜, 王酶, 李建军, 等. 鲟鱼咸化试验[J]. 水利渔业, 2004, 24(2): 45 - 46.
- [30] 冯广朋, 庄平, 章龙珍, 等. 我国鲟鱼类养殖现状与发展前景[J]. 海洋渔业, 2004, 26(4): 317 - 320.
- [31] 黄晓荣, 章龙珍, 庄平, 等. 盐度驯化下史氏鲟的血液学参数[J]. 海洋渔业, 2006, 28(3): 177 - 184.
- [32] 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.