

文章编号 :1000 - 0615(2006)04 - 0444 - 06

盐度驯化对史氏鲟鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力、 血清渗透压及离子浓度的影响

赵 峰¹, 庄 平^{1,2}, 章龙珍¹, 黄晓荣¹, 田宏杰^{1,2}, 张 涛¹, 冯广朋¹

(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. 上海水产大学上海高校水产养殖学 E-研究院,上海 200090)

摘要 对史氏鲟在盐度驯化过程中鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力、血清渗透压及血清离子(Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-)浓度进行了检测和分析,探讨了史氏鲟驯化过程中血清渗透压调节机制。研究表明:史氏鲟在不同盐度(10、20、25)下经过驯化,鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力显著高于对照组鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力($P < 0.05$),其活力是对照组的 2~2.5 倍。驯化过程中,3 种不同盐度阶段下鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力首先表现为下降,随着驯化时间的延长,活力逐渐增加,最后下降并趋于平稳。血清渗透压也随盐度的增加而上升,盐度 10 时最高,达到(328.77 ± 26.78) $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,此后逐渐下降并稳定在 $290 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,略高于淡水中血清渗透压。不同盐度下,血清渗透压和鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的变化趋势相同。3 种不同盐度下史氏鲟血清 K^+ 浓度平均值保持在 $3.00 \sim 3.30 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,与对照组相比无显著差异($P > 0.05$)。3 种盐度下血清 Na^+ 和 Cl^- 浓度变化趋势基本一致,随着盐度的增高而增高,盐度 20 时达到最高。盐度 20 以下血清 Na^+ 和 Cl^- 含量没有显著差异($P > 0.05$)。史氏鲟血清渗透压调节可以分为 3 个阶段:一是应激反应阶段,主要表现为鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力受到抑制,陡然下降;二是主动调节阶段,鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶被重新激活,且活力逐渐上升;三是适应阶段,鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶趋于平稳。

关键词 史氏鲟 盐度驯化 Na^+/K^+ -ATP 酶 血清离子 渗透压调节

中图分类号 S 917 文献标识码 A

The influence of salinity acclimation on activity of Na^+/K^+ -ATPase in branchial epithelium, concentration of ions and osmolarity in serum of *Acipenser schrenckii*

ZHAO Feng¹, ZHUANG Ping^{1,2}, ZHANG Long-zhen¹, HUANG Xiao-rong¹,

TIAN Hong-jie^{1,2}, ZHANG Tao¹, FENG Guang-peng¹

(1. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Certified by the Ministry of Agriculture,
East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. Aquaculture Division, E-Institute of Shanghai Universities, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: The activity of Na^+/K^+ -ATPase in branchial epithelium, concentration of ions (Na^+ , K^+ , Cl^-) and osmolarity in serum of *Acipenser schrenckii*, during salinity acclimation, were measured and analyzed in this paper, and the osmotic regulation process was

收稿日期 2006-02-22

资助项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2004AA603110);国家自然科学基金重大项目(30490234);上海市教育委员会 E-研究院建设项目(E03009);国家“十五”重点科技攻关计划专题(2004BA526B0114);农业部海洋与河口渔业重点开放实验室课题(开-1-04-08)

作者简介:赵 峰(1978-),男,山东德州人,硕士,主要从事鱼类生态生理研究。E-mail:jorfingshfu@citiz.net

通讯作者:庄 平, Tel:021-55530921, E-mail:jzhuang@online.sh.cn

discussed. The activity of Na⁺/K⁺-ATPase in different salinities (10, 20, 25) was significantly higher than that in control group, which increased by 2 or 2.5 times. Na⁺/K⁺-ATPase activities under different salinities decreased in the beginning, and increased with the acclimated time elapsing, finally decreased again and tended to be stable. Osmolarity in serum was elevated with the rising salinities. The highest value was (328.77 ± 26.78) mmol·kg⁻¹ in salinity 10. Hereafter, the osmolarity decreased gradually and kept in about 290 mmol·kg⁻¹. The value was a little higher than that in control group. In all acclimated salinities, the changes on activities of Na⁺/K⁺-ATPase and serum osmolarity showed the same trend. The concentration of K⁺ in 3 different salinities was rising, but the difference was not significant (*P* > 0.05) than that in control. The average of K⁺ concentration kept between 3.0 and 3.20 mmol·L⁻¹. The trend of Na⁺ and Cl⁻ concentration changes in serum was similar. The concentrations of Na⁺ and Cl⁻ were elevated under salinity 10, but the difference was not significant (*P* > 0.05) than control. The concentration of Na⁺, Cl⁻ in serum under 20 and 25 salinities were not significantly different. The osmotic regulation might be divided into 3 phases by analyzing the data in this paper. One is the stress. The obvious symptom is the decrease of Na⁺/K⁺-ATPase activities. The second phase is active regulation, which is characterized by that the Na⁺/K⁺-ATPase is activated and its activity is elevated. The last phase is the adaptation. In this phase, the Na⁺/K⁺-ATPase activities decrease again and are inclined to be stable.

Key words : *Acipenser schrenckii* ; salinity acclimation ; Na⁺/K⁺-ATPase ; serum ions ; osmotic regulation

在盐度升高的情况下,鱼类通常通过吸入大量海水来补偿由身体表面丢失的水分^[1],血清中多余的 Na⁺ 和 Cl⁻ 通过位于鳃上的泌氯细胞将其去除,而多余的 Ca²⁺ 和 K⁺ 通过肾脏排出体外^[1,2]。在硬骨鱼类中,鳃是渗透压调节和单价离子排出的主要调节器官^[3],鳃上皮的泌氯细胞是离子排出的主要功能细胞^[4,5],细胞表面具有较高的 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力,这一点在许多硬骨鱼中得到证实^[6]。Na⁺/K⁺-ATP 酶(又称 Na⁺-K⁺ 泵)由 α 和 β 2 个亚基组成,是一个跨膜多次的整合膜蛋白,主要功能是维持细胞胞质膜的离子通透性,保持细胞内环境中各种离子浓度的相对稳定以及细胞内环境与体外环境的渗透压平衡。

鲟鱼和其它洄游性硬骨鱼类一样,对血清离子具有较强的调节能力^[7,8],血清离子失衡将导致细胞膜破裂,最终导致细胞死亡^[9]。有研究表明,意大利鲟(*Acipenser naccarii*)鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力会随着盐度升高而上升^[10],高首鲟(*Acipenser transmontanus*)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^[11,12]。由此可见,鲟科鱼类鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶对于血清渗透压及血清离子平衡具有重要的调节作用。以往的研究多集中在洄游鲟类上,淡水鲟类在盐度驯化过程中鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活性的变化及对血清离子调节的有关研究未见报道。

本文主要对盐度驯化过程中史氏鲟 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力、血清渗透压及离子浓度进行了检测和分析,旨在明确盐度驯化过程中史氏鲟血清渗透压、血清离子及鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力变

化规律,来探讨史氏鲟 Na⁺/K⁺-ATP 酶对血清渗透压及血清离子的调节机制。

1 材料与方法

1.1 实验材料与条件

试验用史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)为人工繁育所得,平均体长(23.5 ± 1.7) cm,平均体重(106.8 ± 28.31) g。

实验容器为平底圆形玻璃钢桶,内径 0.85 m,桶深 0.70 m,水深 0.30 m,桶底部中心有一出水口用于排污换水。实验用水为经颗粒活性炭及 KDF(Kinetic Degradation Fluxion)方法过滤(余氯 < 0.01 mg·L⁻¹)的自来水与浓缩海水按比例配制的不同浓度的海水。

1.2 实验设计与方法

试验鱼的盐度驯化及日常管理 盐度驯化方法为:先在淡水中暂养 7 d,然后转入盐度 10 海水驯养 10 d,再转入盐度 20 海水驯养 10 d,最后转入盐度 25 海水驯养 10 d。试验总共 37 d。同时,设 1 个淡水养殖组作为对照。

每天投饵 4 次,投饵量为鱼体重的 2% 左右。循环水养殖,每天 2 次用便携式多参数水质分析仪(HACH YSI-ADV6600)监测水质,保持水中溶解氧(7.0 ± 0.3) mg·L⁻¹,水温(28 ± 1) °C, pH 为(7.6 ± 0.1)~(8.2 ± 0.1)。

样品的采集、制备和检测 分别在每一盐度梯度(10、20、25)的第 1、4、7、10 天随机取样 5 尾,取样前用 MS-222(200 mg·L⁻¹)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^[13]。同时,取5尾作对照。样品采集前24 h禁食。

从左侧第2鳃弓上取下鳃丝,先用生理盐水(0.86%)润洗,用滤纸吸去组织表面水分并称重(Sartorius BS223S, 0.001 g)。取鳃丝0.2 g,加入鳃丝重9倍体积的生理盐水,冰浴匀浆于4℃下离心(1000 r·min⁻¹, 20 min),取上清液待测。蛋白含量的测定采用考马斯亮兰法,以牛血清白蛋白为标准。Na⁺/K⁺-ATP酶活力的测定试剂盒购自南京建成生物公司,相应操作参照说明书进行。Na⁺/K⁺-ATP酶活力单位规定为每小时每毫克蛋白的组织中ATP酶分解ATP产生1 μmol无机磷的量为1个酶活力单位。即微摩尔分子磷/毫克蛋白/小时[μmolPi·(mg prot·h)⁻¹]。

用1 mL一次性无菌注射器臀鳍下方尾静脉或尾动脉抽血,采用4.5号针头,取完血后,拔下针头,将血液注入玻璃采血管中,4℃下静置,开始分层后离心(4 000 r·min⁻¹)30 min,取血清。血清渗透压采用Vapro 5520型(Wescor, Inc.)渗透压仪进行测量。血清离子(Na⁺、K⁺、Cl⁻)浓度测定采用南京建成生物公司的检测试剂盒,相应操作参照说明书进行。

1.3 数据分析

实验数据通过STATISTICA(Version 6.0)统计软件(StatSoft, Inc.)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)来检验盐度对

测定指标影响的显著性,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 盐度变化对史氏鲟行为及成活率的影响

在各盐度梯度中,史氏鲟开始表现为游泳速度加快、鳃盖煽动频率加快,摄食量减少,经12 h后恢复正常,之后未表现出应激行为。用盐度20及25驯初期,个别鱼出现腹鳍基部充血、背鳍颜色变淡现象。整个实验过程中未发现死亡。

2.2 血清渗透压及鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力

将不同盐度(10、20、25)下4次取样测量后的平均值列于表1。从表1看,随着驯化盐度的提高,血清渗透压也随之增加,最高值出现在盐度10,达到328.77 mmol·kg⁻¹,基本与盐度10(337.42 mmol·kg⁻¹)养殖水等渗。而驯化到盐度20和25时,血清渗透压又回落到290 mmol·kg⁻¹左右。对照组史氏鲟的血清渗透压显著低于盐度10、20和25时的血清渗透压(P < 0.05),盐度20和25时血清渗透压无显著性差异(P > 0.05)。随着驯化盐度提高,鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力迅速增加,最高值出现在盐度20,Na⁺/K⁺-ATP酶的活力为(5.67±0.75) μmol Pi·(mg prot·h)⁻¹,约为对照组的2.5倍,驯化到盐度25时鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力有所下降,但与盐度20时没有显著差异(P > 0.05)。

表1 不同盐度阶段史氏鲟平均血清渗透压及鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力

Tab.1 Average osmolarity in serum and activities of Na⁺/K⁺-ATPase in branchial epithelium of *Acipenser schrenckii* in various salinities stages

盐度 salinity	渗透压(mmol·kg ⁻¹)osmolarity		Na ⁺ /K ⁺ -ATP酶活力[μmolPi·(mgprot·h) ⁻¹] activity of Na ⁺ /K ⁺ -ATPase
	养殖水体 culture water	血清 serum	
0	87.67±1.53 ^a	262.73±6.22 ^a	2.20±0.21 ^a
10	337.42±20.12 ^b	328.77±26.78 ^b	4.26±2.05 ^b
20	583.58±15.16 ^c	294.64±20.32 ^c	5.67±0.75 ^{cd}
25	766.67±7.45 ^d	291.09±15.57 ^c	4.81±1.50 ^{bd}

注:同一列上方参数有一个字母相同则无显著差异(P > 0.05),反之,则有显著差异(P < 0.05)

Notes: Values in the same row with the same superscripts are not significantly different(P > 0.05), otherwise, with the different superscripts are significantly different(P < 0.05)

史氏鲟在盐度驯化过程中随着盐度的增加和时间的延长鳃Na⁺/K⁺-ATP酶和血清渗透压的变化趋势见图1。驯化过程中血清渗透压与鳃

Na⁺/K⁺-ATP酶活力的变化趋势基本一致。盐度10下不同时间取样检测发现,第1天血清渗透压迅速上升,显著高于淡水时血清渗透压(P <

0.05) ,而鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力为(1.54 ± 0.30) μmol Pi·(mg prot·h)⁻¹ ,显著低于对照组鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力(P < 0.05) 。血清渗透压在第7天时达到最高,然后开始下降,鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力与血清渗透压呈现相同变化趋势。在盐度20和25下,血清渗透压和鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力变化与盐度10下基本一致。血清渗透压在盐度10下第7天时,达到整个驯化过程中的最高值(353.33 ± 14.08) mmol·kg⁻¹ ,此后,血清渗透压整体呈现下降趋势。鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力在盐度20下第1天时达到整个驯化过程的最高值(6.80 ± 1.84) μmol Pi·(mg prot·h)⁻¹ ,然后呈现下降趋势。盐度25驯养时,鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力变化幅度较为平稳,养殖4d以后鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力无显著性差异(P > 0.05) 。

2.3 血清离子浓度

分别将不同盐度(10、20、25)下4次取样测量数据进行统计分析。3种不同盐度下史氏鲟血清中的K⁺浓度尽管比对照组有所上升,但差异不显著(P > 0.05) ,平均值基本保持在3.00 ~ 3.30 mmol·L⁻¹ (图2) 。盐度20和25时血清K⁺浓度相同,均低于盐度10时血清K⁺浓度,差异不显著(P > 0.05) 。血清中Na⁺和Cl⁻的变化趋势基本一致,盐度10比淡水中略有上升,无显著差异(P > 0.05) 进入盐度20后Na⁺和Cl⁻陡然上升,分别显著(P < 0.05)高于对照组和盐度10养殖时血清Na⁺和Cl⁻水平。盐度20和25下血清中Na⁺和Cl⁻含量均无显著差异(P > 0.05) 。

3 讨论

在已有的鲟科鱼类盐度驯化研究报道中,除西伯利亚鲟(*Acipenser baerii*)外,通常经过盐度驯化都可以耐受25及以上的盐度环境^[7,8,11,14-20] ,且生长正常。以往的研究多集中在洄游性鲟科鱼类上,仅见Gregory等^[14]对淡水湖鲟(*Acipenser fulvescens*)进行过盐度驯化过程中血清离子浓度变化的研究报道。本文选择淡水史氏鲟进行了盐度驯化,并对鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力、血清渗透压及血清离子浓度进行了检测。

3.1 史氏鲟鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的变化规律

鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力已经被广泛作为鱼类在不同环境(包括盐度驯化)下离子转运能力的一个指标^[21] 。通常淡水鱼类盐度驯化总是伴随

着鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力的上升^[21,22] ,从实验可以看出,史氏鲟鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力随着盐度的增加而呈上升趋势。鳃的Na⁺/K⁺-ATP酶活力的上升是鲟鱼和其它硬骨鱼进行盐度驯化时的普遍现象,这与鳃的氯细胞增殖或Na⁺/K⁺-ATP酶的分泌增加有关^[7,2,10,21] 。

在对史氏鲟驯化过程中,在每一盐度阶段鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力均呈现先下降,再上升,后下降并趋于平稳的趋势。当史氏鲟驯化到盐度10,1d后鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力陡然下降,比在淡水时下降了30%,鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力的下降降低了细胞膜的通透性、减少了Na⁺、Cl⁻离子的流入^[19,20] ,是一种被动的应激反应;此后,史氏鲟鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力逐渐上升,大约是淡水时的2~2.5倍,鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力的上升表明外界盐度环境刺激史氏鲟开始进行主动渗透压调节;养殖7d以后,鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力呈下降趋势。在盐度20及25时鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力也具有先下降后上升的趋势,但不如盐度10时明显,而且鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力开始下降的时间也较盐度10时早,说明经过低盐度驯化后能较快地适应盐度的变化,进而进行及时的主动调节。盐度25驯养时史氏鲟鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力逐渐趋于平稳,稳定在约4.0 μmol Pi·(mg prot·h)⁻¹左右,而且血清渗透压也稳定在290 mmol·kg⁻¹ ,略高于淡水养殖时血清渗透压。由此可见,经过对盐度驯化的适应,史氏鲟鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力保持在4.0 μmol Pi·(mg Prot·h)⁻¹左右时可以完成盐度25下的血清渗透压调节。

3.2 血清渗透压及离子浓度的变化规律

史氏鲟血清中Na⁺、Cl⁻离子的含量并不与血清渗透压完全一致,主要是存在胶体渗透压及其他无机小分子的原因,这与Cataldi等^[17]研究的结果基本一致。驯化过程中,史氏鲟血清渗透压及血清Na⁺、Cl⁻离子的浓度随着盐度的增加而增加,盐度20达到最高,随着鳃Na⁺/K⁺-ATP酶活力的增加,离子调节能力加强,盐度25时Na⁺、Cl⁻离子含量有所下降并趋于稳定。本实验中还发现,盐度上升对血清K⁺浓度没有显著影响,平均值始终保持在3.00 ~ 3.30 mmol·L⁻¹之间。这一结果与Rodríguez等^[20]的研究基本一致,但Gregory等^[14]认为一般情况下,血清Na⁺和Cl⁻离子浓度提高,K⁺离子浓度会下降。作者认为K⁺

离子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^[11-23],史氏鲟在盐度 25 时仍然具有正常的离子调节功能。史氏鲟在淡水中血清 Na^+ 浓度为 $88.17 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,驯化到盐度 25 时血清 Na^+ 浓度为

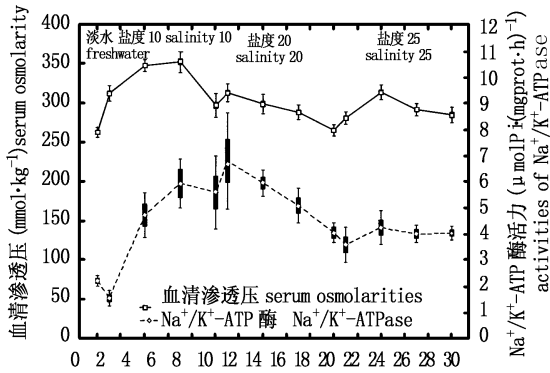


图 1 盐度驯化过程中史氏鲟鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力及血清渗透压的变化

Fig.1 Changes of Na^+/K^+ -ATPase activities in gill and osmolarity in serum of *Acipenser schrenckii* during salinity acclimation

3.3 史氏鲟的渗透压调节

从鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶、血清渗透压及血清离子的变化规律来看,史氏鲟盐度驯化过程中渗透压调节可以分为 3 个阶段:一是应激反应阶段,史氏鲟体内渗透压比海水低得多,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(图 2)迅速增加,同时渗透压也不断上升(表 1,图 1)。作为一种应激反应,鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力迅速下降(图 1),降低了细胞膜的通透性^[20]以阻止过多 Na^+ 、 Cl^- 离子的流入,实现被动的渗透压调整。一般来讲应激反应阶段持续的时间较短,约在 24 h 以内。二是主动调节阶段,由于外界高渗环境的持续刺激,鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐渐提高,离子外排机制被激活,血清离子及渗透压开始逐步下降(图 1 和图 2),由此可见,鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的上升是史氏鲟在海水环境下开始主动调节渗透压的标志。三是适应阶段,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^[24],同时由于鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶的主动调节,史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。

$150.87 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,史氏鲟的 Na^+ 浓度变动趋势及范围与广盐性硬骨鱼类基本类似^[9]。血清渗透压与血清离子的变化趋势一致,同样是先上升后下降,稳定在 $290 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右,略高于淡水养殖史氏鲟的血清渗透压。

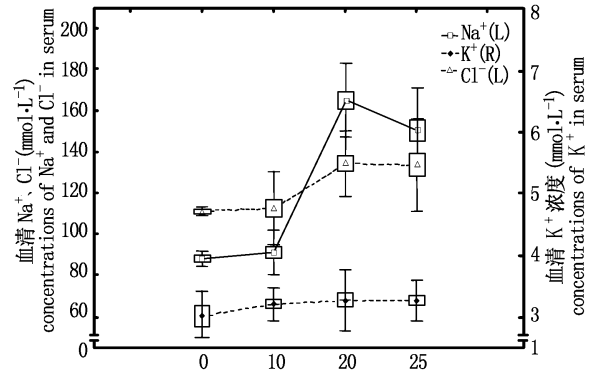


图 2 不同盐度下血清离子 (Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-) 浓度变化

Fig.2 Changes of blood serum ions (Na^+ , K^+ , Cl^-) concentration under different salinities

参考文献:

[1] Gershanovich A D, Smith T I J. International Symposium on Sturgeons Proceedings[M]. Moscow : VXIRO Publ, 1995. 43 - 51.

[2] Gershanovich A D, Smith T I J. International Symposium on Sturgeons Proceedings[M]. Moscow : VNIRO Publ, 1995. 52 - 61.

[3] Evans D H. The physiology of fishes[M]. Boca Raton, FL : CRC Press, 1993. 315 - 343.

[4] Foskett J K, Scheffey C. The chloride cells: definitive identification as the salt secretory cells in teleosts[J]. Science, 1982, 215 : 164 - 166.

[5] Keys A B, Willmer E N. Chloride secreting cells in the gills of fish with special reference to the common eel[J]. J Physiol, 1932, 76 : 368 - 378.

[6] Karnaky K J. Structure and function of the chloride cell of *Fundulus heteroclitus* and other teleosts[J]. Am Zool, 1986, 26 : 209 - 224.

[7] Potts W T W, Rudy P P. Aspects of osmotic and ionic regulation in the sturgeon[J]. J Exp Biol, 1972, 56 : 713 - 715.

[8] Natochin Y V, Lukianenko V I, Kirsanov V I, et al. Features of osmotic and ionic regulations in Russian sturgeon(*Acipenser guldenstadti*) [J]. Comp Biochem Physiol, 1985, 80A : 3 : 297 - 302.

[9] Hoar W S, Randall D J. Fish physiology(Volume 1) [M]. Academic Press, New York, 1969. 1 - 89.

[10] McKenzie D J, Cataldi E, di Marco, et al. Some aspects of osmotic and ionic regulation in Adriatic sturgeon *Acipenser*

- naccarii* : II. Morphophysiological adjustments to hyperosmotic environment[J]. *J Appl Ichthyol* , 1999 , 15 : 61 – 66.
- [11] McEnroe M , Cech Jr J J . Osmoregulation in juvenile and adult white sturgeon , *Acipenser transmontanus*[J]. *Env Bio Fish* , 1985 , 14 : 23 – 30.
- [12] Gilbert P W , Mathenson R W , Hall D P . *Sharks , skates and rays*[M]. Baltimore : Johns Hopkins Press , 1967 . 271 – 292.
- [13] 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.
- [14] 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 : 477 – 482.
- [15] Ma ? tinez-álvarez R M , Hidalgo M C , Domezain A , *et al.* . Physiological changes of sturgeon *Acipenser naccarii* caused by increasing environmental salinity[J]. *J Exp Biol* , 2002 , 205 : 3699 – 3706.
- [16] Krayushkina L S . Characteristics of osmotic and ionic regulation in marine diadromous sturgeons *Acipenser brevirostrum* and *A. oxyrinchus* (*Acipenseridae*) [J]. *J Ichthyol* , 1998 , 38 : 660 – 668.
- [17] Cataldi E , Ciccotti E , di Marco P , *et al.* . Acclimation trials of juvenile Italian sturgeon to different salinities : morpho-physiological descriptors[J]. *J Fish Biol* , 1995 , 47 : 609 – 618.
- [18] Peter L , James S . Metabolic responses to salinity acclimation in juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*[J]. *Aquac* , 2003 , 219 : 891 – 909.
- [19] Ilhan A , Sara M G , Frank A C . Ionic and osmotic regulation capabilities of juvenile Gulf of Mexico sturgeon , *Acipenser oxyrinchus de Soto*[J]. *Comp Biochem Physiol* , 1998 , 120 : 609 – 616.
- [20] Rodríguez A , Gallardo M A , Gisbert E , *et al.* . Osmoregulation in juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) [J]. *Fish Physiology and Biochemistry* , 2002 , 26 : 345 – 354.
- [21] Mancera J M , McCormic S D . Rapid activation of gill Na⁺ , K⁺-ATPase in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*[J]. *J Exp Zool* , 2000 , 287 : 263 – 274.
- [22] Tipsmark C K , Madsen S S , Seidelin M , *et al.* . Dynamics of Na⁺ , K⁺ , 2Cl⁻ cotransporter and Na⁺ , K⁺-ATPase expression in the branchial epithelium of brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *J Exp Zool* , 2002 , 293 : 106 – 118.
- [23] Magnin E . Recherches sur la systematique et la biologie des Acipenseridae[J]. *Ann Statue Cent Hydrobiol* , 1962 , 9 : 7 – 244.
- [24] 林浩然 . 鱼类生理学[M]. 广州 : 广东高等教育出版社 , 2002 . 128 – 131.

名词解析——EM

1. effective microorganism(缩写为 EM) ,中文名为 “有效微生物 ” ,是一个学术用词。目前已有大量的有关 EM 作为学术研究的中外文献 ,涉及到 EM 的组成、功能、应用及其发展等各个方面。

2. effective microorganisms 是一个普通词组 ,有效菌群均称为 effective microorganism(EM) ,已广泛应用于环保、食品、卫生、农业等不同领域。

3. EM 是有益微生物或其混合物的统称 ,并非特指某种微生物 ,它的内涵和内容丰富 ,已演变成为对人类、动物和自然环境具有补益功能的微生物菌群的代名词 ,属于通用名词。