

盐度对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

屈亮^{1,2}, 庄平^{1,2,3}, 章龙珍^{1,2,3}, 赵峰¹, 刘鉴毅¹, 王好^{1,3}

(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资源与生态重点开放实验室, 上海 200090; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306; 3. 大连水产学院 生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 研究了急性盐度胁迫对 7 月龄俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*) 幼鱼 [体质量(86.1±18)g] 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力、血清渗透压和血清离子(Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-)的影响。结果表明: 幼鱼从淡水直接转入盐度 15、20、25 水中, 96 h 死亡率分别为 72.22%、100%、100%, 其他组(盐度 0、5、10)无死亡。各盐度组 96 h 血清渗透压、 Na^+ 、 Cl^- 浓度随盐度升高而增加, 且各盐度组显著高于对照组($P<0.05$), 盐度 15 组最高, 盐度 5、10 组间各指标不存在显著差异($P>0.05$)。盐度组血清 K^+ 离子在 48 h 中较对照组均显著降低($P<0.05$), 96 h 时有所回升但仍低于对照组, 盐度 15 与盐度 5、10 相比血清 K^+ 离子有显著性差异($P<0.05$), 盐度 5、10 之间无显著性差异($P>0.05$)。盐度组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力呈先下降后上升变化, 48 h 为最低, 与对照组有显著性差异($P<0.05$), 96 h 时盐度 5、10 组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力与对照组及组间无显著差异($P>0.05$), 盐度 15 与对照组及盐度 5、10 均有显著差异($P<0.05$)。96 h 幼鱼的等渗点为 303.2 mOsm·kg⁻¹, 相当于盐度 10.06, 而 Na^+ 及 Cl^- 等离子点分别为 146.1 mmol·L⁻¹ 和 136.8 mmol·L⁻¹, 分别相当于盐度 9.02 和 8.95。与盐度 15 组相比, 盐度 10 及其以下处理组各项检测指标变化幅度相对较小, 在幼鱼渗透调节范围之内, 盐度 10 中养殖 15 d 后各项指标与淡水组差异较小, 因此 7 月龄俄罗斯鲟幼鱼已具备在盐度 10 及以下的咸水中生活的能力, 但不能耐受高于 10 的盐度。[中国水产科学, 2010, 17(2): 243–251]

关键词: 俄罗斯鲟; 盐度胁迫; 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶; 血清离子及渗透压; 渗透压调节

中图分类号: S965.215

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)02-0243-09

国内外有关鱼类渗透调节的研究主要集中在非河海洄游广盐性硬骨鱼类, 如罗非鱼、军曹鱼、比目鱼等。而具有河海洄游性特征的广盐性鱼类的渗透调节研究较少, 鲟类普遍具有溯河洄游习性, 如生活在太平洋和大西洋沿岸的中华鲟(*A. sinensis*)、大西洋鲟(*A. sturio*)、太平洋鲟(*A. mikadoi*)、美洲鲟(*A. oxyrinchus*)、高首鲟(*A. transmontanus*)以及生活在黑海、里海周边的闪光鲟(*A. stellatus*)、俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedtii*)、波斯鲟(*A. persicus*)、裸腹鲟(*A. nudiventris*)等鲟类^[1]。世界上现存鲟形目鱼类约 27 种, 其中大部分为河海洄游性鱼类^[2]。

俄罗斯鲟(*A. gueldenstaedtii*)属于软骨硬鳞鱼

类, 分河海洄游性和淡水定居型 2 种^[3]。洄游性俄罗斯鲟一生中大部分时间生活在河口下游、三角洲地带和与之相连的海洋中, 性成熟季节从沿海、河口洄游到内陆江河中产卵, 仔鱼孵出后即开始降海洄游, 洄游到河口时, 河水盐度逐渐升高, 直至趋近于海水盐度, 为了能最终适应海水生活, 在河口期间鱼类渗透调节能力的完善起到至关重要作用, 一般来说, 在高渗环境中广盐性鱼类主要通过吞饮海水来补充体表丢失的水分, 通过鳃上的氯细胞来排除体内由饮水积累的过多的 Na^+ 、 Cl^- , 二价离子(除 Mg^{2+})则从原尿中来吸收, 从直肠排泄出去^[4-5]。

俄罗斯鲟由于其生长速度快、适应力强, 已成

收稿日期: 2009-09-30; 修订日期: 2009-11-12.

基金项目: 浙江省科技计划项目(2007C12026); 农业科技成果转化资金资助项目(2008GB23260408); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2008M01)。

作者简介: 屈亮(1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事鱼类生理生态学研究. E-mail: quliang203@126.com

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

为中国重要的养殖鲟类之一。目前鲟类养殖主要为大型水库湖泊养殖,关于鲟的海水驯化技术国内有过一些报道^[6-7],但涉及鲟在盐度驯化下各项生理指标变化的报道较少。国内对于鲟幼鱼在咸水中的生理调节也有研究报道^[8-9],但俄罗斯鲟幼鱼渗透调节方面的研究未见报道。本研究以俄罗斯鲟幼鱼为材料进行急性盐度实验,旨在了解盐度胁迫下幼鱼的生理变化及耐受情况,为拓宽俄罗斯鲟的养殖范围和海水驯化养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验设计

实验用鱼为2008年3月人工繁殖所得7月龄俄罗斯鲟幼鱼,体质量(86.09 ± 17.99)g。实验前在暂养池中暂养2周后,挑选规格整齐的幼鱼进行实验。

实验容器为直径74 cm容积为200 L圆形塑料玻璃纤维缸(高45 cm),实验用水由除氯自来水(余氯 <0.01 mg/L)与速溶海水晶(淮安同波海水晶有限公司)按比例配制而成,气泵充气,静置24 h后使用,实验前用便携式多参数水质分析仪(YSI公司)校准实验盐度。实验过程中每日监测各个实验组水质状况,保持水中溶解氧(6.5 ± 0.3)mg·L⁻¹,水温(24 ± 1)℃,pH随盐度变化范围为7.5~7.7。

实验共设6个盐度梯度,即淡水对照组与盐度5、10、15、20、25组,每梯度下12尾鱼,3次重复。实验时直接将实验鱼从暂养池放入各实验缸中。实验从2008年10月10日正式开始,实验前一天及96 h实验期间禁食。盐度10中的幼鱼在96 h实验结束后开始投喂饲料,饲养至第15天以待观察幼鱼在低盐度中的稳定状况。

1.2 样品采集

幼鱼转移前分别采集实验水体水样于4℃保存用以检测渗透压及离子浓度。实验进行到第24、48、96 h分别从各鱼缸中随机挑取1尾,每组取3尾,经10 mg/L丁香油麻醉后(30 s内完全麻醉)后从尾鳍静脉抽血,用离心管分装后静止15 min,待血液分层后再经3 500 r·min⁻¹离心5 min,取其无溶血血清立刻测定渗透压及离子浓度(Na⁺、K⁺、Cl⁻)。每次抽血

结束后,取该鱼右侧第二鳃弓上的鳃丝,离心管分装后入液氮保存备用,以待测定Na⁺/K⁺-ATP酶活性。盐度10组的幼鱼饲养15 d后,参照上述方法取样。

1.3 测定方法

用离子分析仪(DSI905,上海迅达医疗仪器有限公司)测定水体及血清中Na⁺、K⁺、Cl⁻;用Vapor5500组织渗透压仪(Wescor, Logan, UT)测定渗透压。

冰浴条件下,将鳃丝剪碎后,用JY92-II超声波细胞粉碎机进行细胞破碎(超声时间2 s,间隙时间8 s,工作次数20次),将匀浆液于4℃下3 500 r·min⁻¹离心10 min,取上清液用定磷法测定ATPase活性(南京建成生物工程研究所超微量Na⁺/K⁺-ATPase测定试剂盒),蛋白质含量用双缩脲测试盒(南京建成生物工程研究所)测定。以每小时鳃组织蛋白中ATPase分解ATP产生1 mol的量为1个ATP酶活力单位($\mu\text{molP} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。

血清等渗点和等离子点计算参考Sampaio和Bianchini^[10]的方法,即在各盐度组96 h时所测得的幼鱼血清渗透压(或Na⁺、Cl⁻离子浓度)和对应盐度水体渗透压(或Na⁺、Cl⁻离子浓度)间建立直线回归方程,求得方程自变量与因变量相等时的自变量值,即为血清等渗点(或等离子点)的值。

1.4 数据分析

实验数据用平均值±标准差($\bar{x} \pm \text{SD}$)表示,采用SPSS15.0软件对数据进行处理分析,利用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和Duncan多重比较进行检测, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 实验水体指标及俄罗斯鲟幼鱼血清等渗点(isosmotic point)、等离子点(isoionic point)的确定

实验水体渗透压及Na⁺、K⁺和Cl⁻离子浓度见表1,各指标均与盐度显著线性相关($R^2 > 0.95$)。由表看出,各盐度组渗透压主要受海水晶中Na⁺、Cl⁻离子含量影响,Na⁺、Cl⁻离子浓度之和近似等于各盐度组水体渗透压值。

从俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、Na⁺和Cl⁻浓度与水体相应指标的相关性(表2)可以看出,24 h、48 h

和 96 h 时血清渗透压,血清中 Na⁺ 和 Cl⁻ 含量与水体环境中相应指标成正相关,较低的回归方程斜率值表明环境盐度变化对血清渗透压和离子浓度影响有限,俄罗斯鲟幼鱼显示出一定的渗透调节能力,盐度胁迫条件下 96 h 的等渗点为 303.2 mOsm · kg⁻¹,其相应水体盐度为 10.06。

表 1 不同盐度下实验水体渗透压及 Na⁺、K⁺、Cl⁻ 离子浓度
Tab.1 Osmolality and ionic composition of different experimental salinity group n=3; $\bar{x} \pm SD$

盐度 Salinity	渗透压 / (mOsm · kg ⁻¹) Osmolality	Na ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mmol · L ⁻¹)	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)
0	22.5 ± 0.5	12.9 ± 3.2	3.5 ± 1.5	0.12 ± 0.05
5	151.0 ± 3.7	83.8 ± 5.9	68.4 ± 3.4	0.49 ± 0.05
10	296.6 ± 5.6	155.3 ± 7.6	153.9 ± 4.9	0.68 ± 0.1
15	443.3 ± 7.3	233.9 ± 8.9	214.7 ± 8.3	0.87 ± 0.1
20	590.7 ± 10.4	317.3 ± 9.1	312.9 ± 10.1	1.09 ± 0.1
25	736.0 ± 15.6	393.7 ± 11.7	374.7 ± 11.8	1.32 ± 0.1
与盐度回归方程 Linear regression to salinity	y=28.76x+13.83 R ² =0.999	y=15.33x+7.843 R ² =0.999	y=15.14x+1.285 R ² =0.996	y=0.045x+0.19 R ² =0.987

表 2 俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、Na⁺ 和 Cl⁻ 浓度与水体相应指标的相关性
Tab.2 Relationships between osmolality, Na⁺ and Cl⁻ concentration in juvenile *Acipenser gueldenstaedtii* and those in test water

项目 Item	时间/h Time	方程 Equation	R ²	等渗点或等离子点 Isosmotic or isoiontic point	相应盐度 Corresponding salinity
渗透压 / (mOsm · kg ⁻¹) Osmolality	24	y=0.235x+228.104	0.866	303.2	10.06
	48	y=0.207x+232.958	0.886		
	96	y=0.253x+226.5	0.873		
Na ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	24	y=0.229x+114.743	0.846	146.1	9.02
	48	y=0.178x+116.242	0.874		
	96	y=0.237x+111.471	0.845		
Cl ⁻ / (mmol · L ⁻¹)	24	y=0.241x+98.011	0.849	136.8	8.95
	48	y=0.239x+101.264	0.863		
	96	y=0.275x+99.171	0.866		

2.2 不同盐度对俄罗斯鲟幼鱼成活的影响

俄罗斯幼鱼的死亡率及开始出现死亡的时间与盐度关系密切,在盐度 25 组,2 ~ 3 h 开始出现死亡,12 h 时死亡率达 100%; 盐度 20,11 ~ 12 h 开始出现死亡,24 h 时死亡率达到 100%; 盐度 15,31 h 开始出现死亡,96 h 时死亡率为 72.22%; 盐度 10 及盐度 5 实验过程中未出现死亡。各组死亡个体体表无光泽、缺乏黏液。

2.3 盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼鳃丝 Na⁺/K⁺-ATPase (NKA) 活性的影响

从图 1 可以看出,实验期间盐度组鳃丝 Na⁺/

K⁺-ATP 酶活性与对照组相比有先降低后升高的趋势,48 h 时盐度 5、10 及 15 组鳃丝 Na⁺/K⁺-ATP 酶活均性达到最低,与淡水组相比酶活性显著降低 ($P<0.05$),尤其是盐度 5 和 10 组下降最为明显。48 h 后鳃丝酶活性迅速上升,96 h 时盐度 5、10 组鳃丝 Na⁺/K⁺-ATP 酶活性升高至与淡水组间无显著差异 ($P>0.05$),盐度 15 上升较慢仍显著低于盐度 5、10 及对照组 ($P<0.05$)。盐度 10 下饲养 15 d 的幼鱼鳃丝 Na⁺/K⁺-ATP 酶活性在 96 h 时的基础上有所上升,达到 9.74 μmolP · mg⁻¹ · h⁻¹ 与对照组初始值 (10.36 μmolP · mg⁻¹ · h⁻¹) 间无显著差异 ($P>0.05$)。

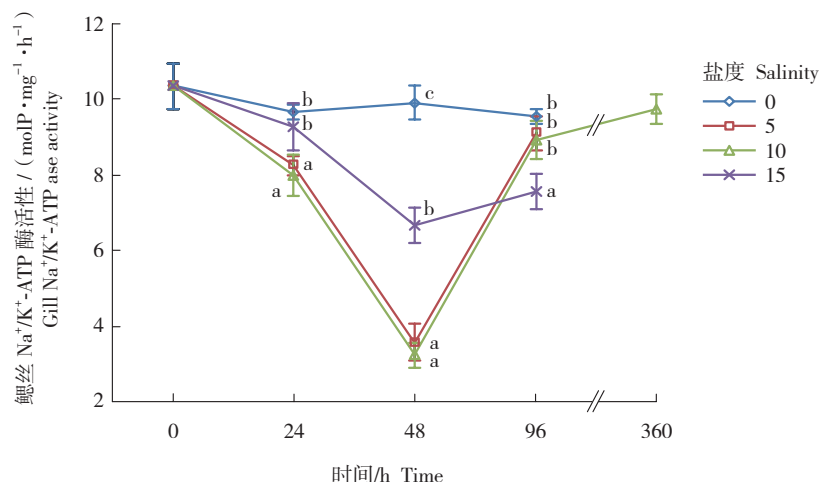


图1 急性盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的影响
不同字母表示处理间显著差异($P < 0.05$)。

Fig. 1 Effect of abrupt salinity stress on Na^+/K^+ -ATPase in gill of juvenile *A. gueldenstaedtii*
Different letters means significant difference among treatment at 0.05 level.

2.4 盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压的影响

从图2可以看出,盐度组血清渗透压变化趋势大体相同,渗透压随盐度的升高而增加,盐度15组血清渗透压在24 h时迅速升高,达到最高点 $354 \text{ mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$,之后48 h及96 h血清渗透压一直维持在高位,与淡水组、盐度5和10处理组存在显

著差异($P < 0.05$)。盐度5、10组在96 h与对照组相比有显著性差异($P < 0.05$),但组间不存在显著差异($P > 0.05$)。盐度10处理组的幼鱼饲养15 d后,其血清渗透压值为 $260 \text{ mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$ 略高于淡水组的初始值($248 \text{ mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

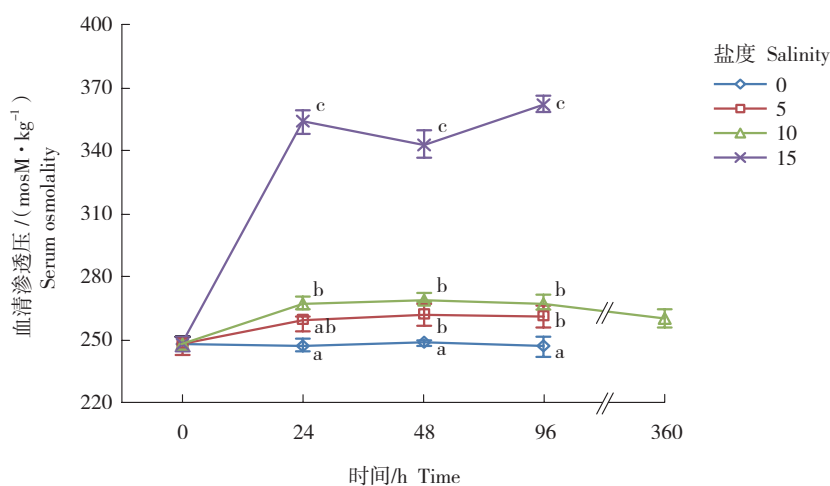


图2 急性盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压的影响

Fig. 2 Effect of abrupt salinity stress on serum osmolality of juvenile *A. gueldenstaedtii*

2.5 盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼血清离子的影响

从图3、图4可以看出 Na^+ 、 Cl^- 离子变化趋势与图2中渗透压的变化趋势大体相同,实验开始后

的24 h内,盐度15血清 Na^+ 、 Cl^- 离子大幅度升高,之后一直维持在高位。96 h时盐度15组血清 Na^+ 、 Cl^- 离子显著高于淡水组及低盐度组($P < 0.05$),

盐度 5、10 组血清 Na^+ 、 Cl^- 离子不存在显著差异 ($P>0.05$), 但与对照组相比有显著差异 ($P<0.05$)。幼鱼在盐度 10 中饲养 15 d 后, 其血清中 Na^+ 浓度

为 $133.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Cl^- 浓度为 $110.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 略高于淡水组的初始值 (Na^+ : $124.4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, Cl^- : $106.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)。

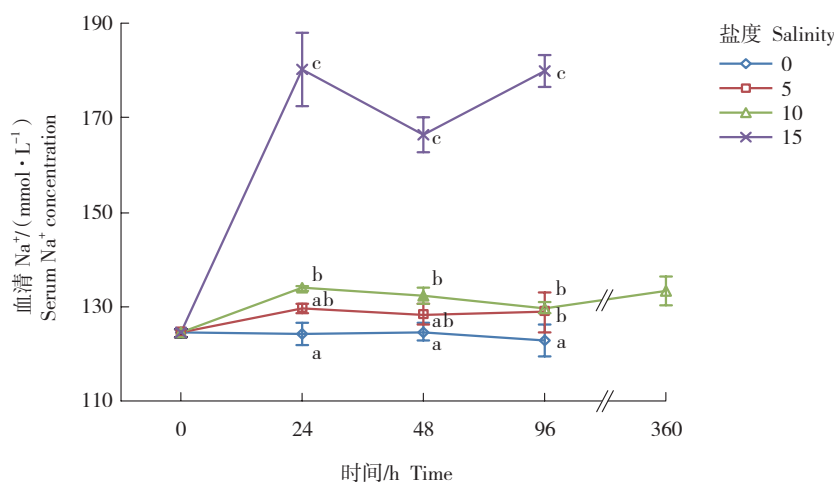


图 3 急性盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼血清 Na^+ 离子含量的影响

Fig. 3 Effect of abrupt salinity stress on serum sodium of juvenile *A. gueldenstaedtii*

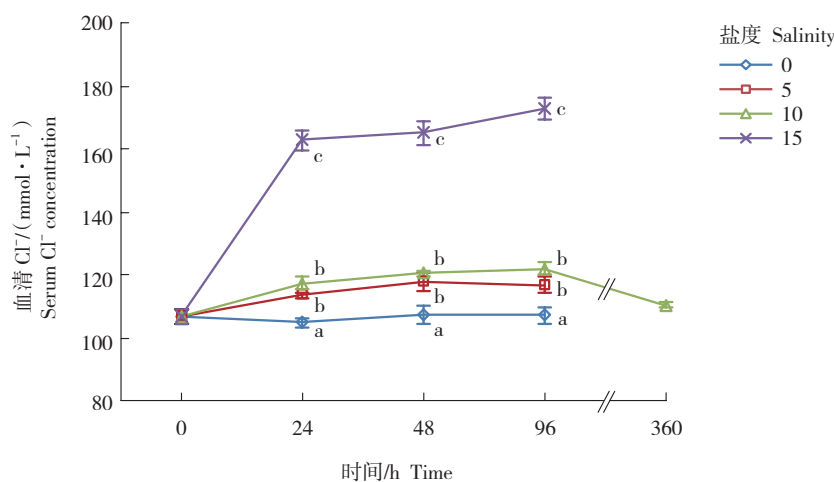


图 4 急性盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼血清 Cl^- 离子含量的影响

Fig. 4 Effect of abrupt salinity stress on serum chloride of juvenile *A. gueldenstaedtii*

从图 5 可以看出, 96 h 内盐度组血清 K^+ 离子的变化与血清渗透压及 Na^+ 、 Cl^- 离子的变化规律完全相反, K^+ 离子浓度随盐度的升高而降低, 实验初 48 h 大幅度降低, 之后有所回升, 盐度 15 组血清 K^+ 离子在 96 h 实验中显著低于对照组及低盐度组 ($P<0.05$), 盐度 5、10 组也显著低于对照组 ($P<0.05$), 5、10 组间 K^+ 离子变化不存在显著性差异 ($P>0.05$)。盐

度 10 下饲养 15 d 后, 幼鱼血清中 K^+ 离子含量为 $3.59 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 与对照组的初始值 ($4.405 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 相比有所下降。

3 讨论

国外有关鲟鱼渗透压调节方面的研究已有不少报道^[1-2], 为此开展的方法主要有急性盐度胁迫

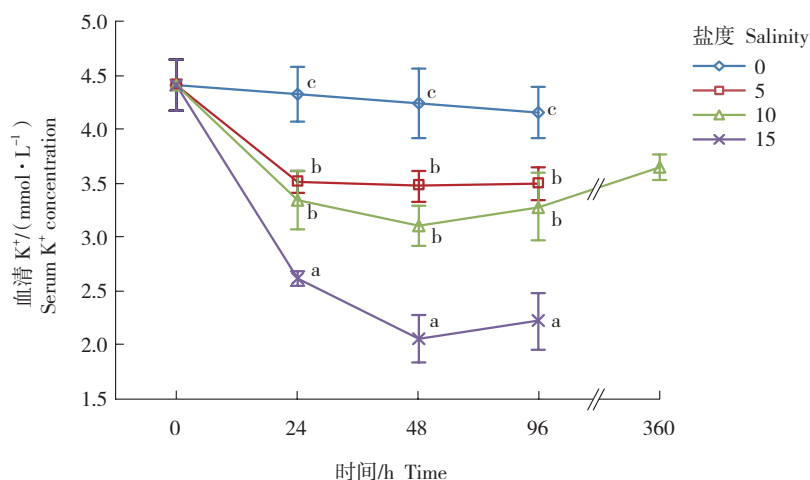


图5 急性盐度胁迫对俄罗斯鲟幼鱼血清 K^+ 离子含量的影响
Fig. 5 Effect of abrupt salinity stress on serum potassium in juvenile *A. gueldenstaedtii*

法、连续性递增盐度法和阶段性递增盐度法。不同方法对探讨鲟类渗透调节能力各有利弊,急性盐度胁迫法有利于及时确定鲟类体内发挥渗透调节作用的因素,因为在此期间鱼体代谢变化显著,有利于不同鲟鱼品种间渗透调节能力的比较,但模拟自然条件下鲟鱼盐度适应的效果差,因为鲟大多生活在大江大河中,洄游到海水前,经历了海水盐度逐渐升高的过程。连续递增盐度法和阶段性递增盐度法均有利于探讨实验鲟鱼的最大盐度适应能力,但实验的周期一般相对较长,不过阶段性递增盐度法对自然条件下鲟渗透调节状态的模拟性较强,鲟成活率一般较高。

有关鱼类渗透调节过程的划分, Weng Ching-Feng 等^[11]指出,硬骨鱼类从淡水转入海水时须经过 2 个生理阶段:第一个阶段为危险阶段 (crisis period),在此阶段,鱼体由于外界环境的变化太大,水份不断从鳃、体表和肠道流失而产生脱水 (dehydration) 现象;第二个阶段称之为稳定阶段 (stabilization period),此阶段鱼体内部的渗透压以及鱼体基础代谢均逐渐趋于稳定可以存活下来。本实验采用急性盐度胁迫的方法对俄罗斯鲟鱼的渗透调节能力进行了研究,通过对鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力、血清渗透压及离子浓度的检测发现俄罗斯鲟幼鱼的渗透调节大致也经历了这 2 个阶段。

3.1 俄罗斯鲟鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的变化规律

鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的变化是广盐性鱼类参与渗透调节的一项重要监测指标。在渗透压调节方面,鲟鱼与其他硬骨鱼一样具有相同的渗透调节特征^[12],在硬骨鱼当中一般随着环境盐度的升高,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐步上升,以调节血清中过高的离子浓度直至平衡^[13-14]。McKenzie 等^[15-16]曾报道了意大利鲟 (*A. naccarii*) 幼鱼随着盐度的升高,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐渐上升。鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力上升主要有 2 方面的原因:鳃丝上氯细胞的增多导致鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶表达量的增加或单位酶活力的提高,在高渗环境中不同种类的鲟鱼采用了不同的调节策略, Krayushkina 等^[17]报道了在高渗环境中欧洲鳊 (*Huso huso*) 鳃丝上氯细胞含量明显增多;意大利鲟则氯细胞有所减少, Na^+/K^+ -ATP 酶单位酶活性有所提高^[15-16]。

本实验中 48 h 内盐度组幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力均下降到最低,其中盐度 5、10 组下降最明显,与对照组的初始酶活性值相比下降了 65.5% ~ 68.9%,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的下降降低了鳃对 Na^+ 、 Cl^- 离子的通透性,有效地阻止了 Na^+ 、 Cl^- 离子的流入,是一种被动的应激反应,此后鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐渐回升,幼鱼开始进入主动渗透调节阶段,96 h 时盐度 5、10 组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力与对照组

相比无显著性差异($P>0.05$), 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活已逐渐趋于平稳, 幼鱼开始表现出一定适应性。盐度 15 组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶在 48 h 后虽有所回升, 96 h 时仍显著低于其他处理组($P<0.05$), 这期间鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶的提高并没有有效降低血清中 Na^+ 、 Cl^- 离子的含量, 导致 96 h 实验期间血清渗透压、 Na^+ 及 Cl^- 离子浓度严重偏离淡水组的初始值, 最终导致多数幼鱼死亡。实验中盐度 10 条件下饲养 15 d 的俄罗斯鲟幼鱼, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力与对照组酶活值相当, 这与 Rodriguez^[18] 的实验结果相一致。Rodriguez 对西伯利亚鲟 7 月龄幼鱼在淡水以及盐度 9、14 组中生活 10 d 后的鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力进行了检测, 显示组间酶活无显著差异($P>0.05$), 至 45 d 时才显示出明显差异, 并随盐度升高鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐渐升高。

与其他学者的研究相比, 本实验并没有发现鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的升高, 而学者赵峰^[8] 发现史氏鲟幼鱼在阶段性递增盐度实验中盐度 10 下 1 天后鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力有 2~2.5 倍的提升, McKenzie 等^[15] 也报道了意大利鲟幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力在盐度 20 条件下提升 3 倍。由此可见, 7 个月大的俄罗斯鲟幼鱼其鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶对离子的调节能力有限, 酶活增加的过程缓慢且提升能力有限, 因此推测 7 个月大的俄罗斯鲟幼鱼只能在低盐度环境中调节体内离子平衡, 维持血清渗透压恒定。

3.2 俄罗斯鲟血清渗透压及离子浓度的变化规律

鲟科鱼类血清离子浓度及渗透压一般低于广盐性硬骨鱼类^[19], Urist 和 Putte^[20] 报道淡水中生活的高首鲟(*A.transmontanus*) 血清 Na^+ 含量为 $123 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 适应海水生活的高首鲟其血清中 Na^+ 浓度为 $130 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 大多数淡水硬骨鱼其血清中 Na^+ 浓度为 $140 \sim 160 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[20], 海水硬骨鱼血清中 Na^+ 含量为 $160 \sim 180 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[20]。McEnroe 和 Cech^[21] 指出鲟科鱼类对血清离子的调节能力要低于广盐性硬骨鱼类, Singer 和 Ballantyne^[19] 由此推测鲟鱼的耐盐性要低于一般性的广盐性硬骨鱼类, 此方面的差距正好从生态学角度解释了为什么鲟鱼

只生活在具有广阔河口的大江大河中, 而不生活在较小河流中, 广盐性硬骨鱼却能生活在较小河流中, 并能忍受生境中盐度的突然改变。

鱼类适应不同盐度的能力最终取决于它从环境中摄取及排出离子的能力和维持机体水份平衡的能力^[19]。在高渗环境中, 幼鱼血清渗透压低于水体渗透压, 鱼体被动失水, 为补偿失水, 幼鱼开始大量吞饮海水, 通过肠道吸收水分, 同时也摄入大量 NaCl , 血清中 Na^+ 、 Cl^- 离子迅速升高, 渗透压也随之上升。在此应激条件下, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力迅速下降, 细胞膜的通透性降低^[18], 阻止了 Na^+ 、 Cl^- 离子的流入, 这与本实验 48 h 内所观察到的结果相一致。一般这种应激反应时间较短, 之后转入主动调节阶段, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活逐步升高, 离子外排机制被激活, 血清渗透压及离子含量逐渐降低^[8], 本实验中 48 h 后各盐度组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活虽逐渐升高, 但血清渗透压及 Na^+ 、 Cl^- 含量并没有因此而降低, 表现出一定的滞后性, 盐度 10 组饲养 15 d 后血清渗透压及 Cl^- 含量才有所降低。

本实验中在等渗点对应的盐度(10.06)以上即盐度 15 条件下, 幼鱼血清渗透压及离子的变化幅度较大, 而在等渗点附近及以下即盐度 10 和 5 条件下, 血清渗透压及离子浓度变化较缓和, 盐度 15 组血清渗透压及 Na^+ 、 Cl^- 离子含量在 96 h 实验结束时均显著高于淡水组及低盐度组($P<0.05$), 而 K^+ 离子含量显著低于淡水组及盐度 5、10 组($P<0.05$), 此观察结果与 Rodriguez 等^[18] 对西伯利亚鲟(*A.baeri*) 幼鱼盐度适应的观察结果相似, 说明 7 月龄俄罗斯鲟幼鱼对盐度 15 的渗透调节能力差或不能忍受盐度跨度大于 15 的暴露。Gregory 等^[22] 认为在盐度适应过程中, 血清中 Na^+ 和 Cl^- 水平提高时, K^+ 浓度会因参与渗透调节有所消耗而下降, 本实验的结果与他的研究一致, 但 Altinok^[23] 报道了墨西哥鲟(*A.oxyrinchus de sotoi*) 幼鱼在 96 h 盐度胁迫下血清 K^+ 有先上升后下降最后趋于淡水组的初始值, 何绪刚^[24] 也报道了中华鲟幼鱼在盐度 10 暴露下, 24 h 内 K^+ 含量显著升高($P>0.05$), 随后有所降低, 但直至 20 d 实验结束时 K^+ 含量仍然显著高于淡水组,

因此有关 K^+ 在渗透调节中的确切作用还需做进一步探讨。

有关急性盐度暴露下幼鲟耐受性方面的研究, Rodriguez 等^[18]报道了7月龄西伯利亚鲟[体质量(120 ± 1.5)g]在盐度14中能存活, Lebrteon 和 Beamish^[25]报道了湖鲟(*A. fulvescens*)幼鱼能耐受15以下的盐度, Altinok 等^[23]报道13月龄的墨西哥鲟[体质量(110~170)g]96 h 急性盐度暴露下能忍受25以下盐度,本实验中7月龄俄罗斯鲟幼鱼[体质量(86 ± 18)g]只能在盐度10及其以下环境中存活,因此可得出结论俄罗斯鲟幼鱼的渗透调节能力差,在鲟科鱼类中是目前所见耐盐性较差的品种。

本实验通过对血清渗透压、血清离子浓度和鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活性等各项指标的监测可看出7个月大的俄罗斯鲟幼鱼具备了在盐度为10及以下浓度咸水中生活的能力,但对于更高盐度的咸水,幼鱼表现出不适应性,不能在盐度高于10的环境中存活。在盐度大于15的环境中,幼鱼体内血清渗透压一直维持在高位,血清离子含量严重偏离正常值且不能恢复,最终导致鱼体死亡。

参考文献:

- [1] Roland Billard, Guillaume Lecointre. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish [J]. Rev Fish Biol Fisher, 2001, 10: 355-392.
- [2] Bemis WE, Kynard B. Sturgeon rivers: an introduction to acipenseriform biogeography and life history [J]. Envir Biol Fishes, 1997, 48: 167-183.
- [3] Hensel K, Holcik J. Past and current status of sturgeons in the upper and middle Danube River [J]. Envir Biol Fishes, 1997, 48: 185-200.
- [4] Boeuf G, Payan P. How should salinity influence fish growth? [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2001, 130C: 411-423.
- [5] McCormick SD. Effects of growth hormone and insulin-like growth factor I on salinity tolerance and gill Na^+ , K^+ -ATPase in Atlantic salmon (*Salmo salar*): Interaction with cortisol [J]. General and Comparative Endocrinology, 1996, 101: 3-11.
- [6] 方彰胜,王昀,李建军,等. 鲟鱼咸化实验 [J]. 水利渔业, 2004, 24(2): 45-46.
- [7] 胡光源,李育东,石振广,等. 三种鲟鱼盐度驯化实验 [J]. 黑龙江水产, 2005, 5: 1-3.
- [8] 赵峰,庄平,章龙珍,等. 盐度驯化对史氏鲟鳃 Na^+/K^+ -ATPase 酶活力、血清渗透压及离子浓度的影响 [J]. 水产学报, 2006, 30(4): 445-449.
- [9] 冯广朋,庄平,赵峰,等. 不同盐度海水驯养中华鲟血清激素浓度的变化 [J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(4): 317-322.
- [10] Sampaio LA, Bianchini A. Salinity effects on osmoregulation and growth of the euryhaline flounder *Paralichthys orbignyanus* [J]. J Exper Mar Biol Ecol, 2002, 269: 187-196.
- [11] Weng Ching Feng, Chiang Chia Chang, Gong Hong Yi, et al. Acute changes in gill Na^+ - K^+ -ATPase and creatine kinase in response to salinity changes in the euryhaline teleost tilapia (*Oreochromis mossambicus*) [J]. Physiolog Biochem Zool, 2002, 75(1): 29-36.
- [12] Potts WTW, Rudy PP. Aspects of osmotic and ionic regulation in the sturgeon [J]. J Exper Biol, 1972, 56: 703-715.
- [13] McCormick SD. Hormonal control of gill Na^+/K^+ -ATPase and chloride cell function [J]. Fish Physiol, 1995, 14: 285-315.
- [14] Renzis De G, Bornancin M. Ion Transport and Gill ATPases In: Hoar WS, Randall D Jed [J]. Fish Physiol Ion Water Transp, 1984, 10B: 65-104.
- [15] McKenzie DJ, Cataldi E, Di Marco P, et al. Some aspects of osmotic and ionic regulation in Adriatic sturgeon: II. Morphophysiological adjustments to hyperosmotic environments [J]. J Appl Ichthyol, 1999, 15: 61-65.
- [16] McKenzie DJ, Cataldi E, Romano P, et al. Effects of acclimation to brackish water on tolerance of salinity challenge by young-of-the-year Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*) [J]. Can J Fish Aqu Sci, 2001, 58: 1113-1121.
- [17] Krayushkina LS, Moiseenko SN, Bukovskaya OS, et al. Histological analysis of adaptation of ecology of various species of Acipenseridae to hyperosmotic medium [J]. Anat Histol Embryol, 1977, 73: 62-69.
- [18] Rodriguez A, Gallardo MA, Gisbert E, et al. Osmoregulation in juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) [J]. Fish Physiol Biochem, 2002, 26: 345-354.
- [19] Thomas D Singer, James S Ballantyne. Sturgeon and paddlefish metabolism [J]. Fish Fisher Ser, 2005, 27: 167-194.
- [20] Urist M R, K A Van de Putte. Comparative biochemistry of the blood of fishes [M]. In: Gilbert, PW, Mathewson RF, Rall D, editors. Sharks, skates, and Rays. Baltimore, MD: Johns Hopkins Press: 1967, 271-285.
- [21] McEnroe M, Cech JJ. Osmoregulation in white sturgeon: life history aspects [J]. Am Fish Soci Symp, 1987, 1: 191-196.

- [22] Gregory T O, Le Breton, William F, et al. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolality of blood serum in lake sturgeon *Acipenser fulvescens* [J]. Environm Biol Fish, 1998, 52: 477–482.
- [23] Altinok I, Galli SM, Chapman FA. Ionic and osmotic regulation capabilities of juvenile Gulf of Mexico sturgeon *Acipenser oxyrinchus desotoi* [J]. Compar Biochem Physiol, 1998, 120: 609–616.
- [24] Xugang He, Ping Zhuang, Longzhen Zhang, et al. Osmoregulation in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) during brackish water adaption [J]. Fish Physiol Biochem, 2009, 35: 223–230.
- [25] Le Breton GTO, Beamish FWH. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens* [J]. Environm Biol of Fish, 1998, 52: 477–482.

Influence of salinity change on serum osmolality, ions and gill Na⁺/K⁺-ATPase activity in juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*)

QU Liang^{1,2}, ZHUANG Ping^{1,2}, ZHANG Longzhen^{1,2}, ZHAO Feng¹, LIU Jianyi¹, WANG Yu^{1,3}

(1. Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Resource and Ecology, Ministry of Agriculture, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201316, China; 3. College of Aqua-life Science and Technology, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

Abstract: Effects of abrupt salinity changes on gill Na⁺-K⁺-ATPase activities, survival rates and serum ions of 7-month-old juvenile Russia sturgeon (86.1 g ± 18 g) were measured at 24 h, 48 h and 96 h after transfer to freshwater (control) and salinity levels of 5, 10, 15, 20, 25. Fish were also acclimated in brackish water (salinity 10) for 2 weeks. The 96 h death rates in salinities 15, 20 and 25 were 72.22%, 100% and 100% respectively, and no mortality occurred in lower salinity groups and control group. The changes on serum osmolality, Na⁺ and Cl⁻ in salinity groups (salinity 5, 10, 15) within 96 hours showed a similar trend. All these indicators elevated with the rising salinities and were significantly higher than those in control ($P < 0.05$). The indicators in salinity 15 were the highest and there were no significant difference between salinity 5 and 10 groups ($P > 0.05$). The serum K⁺ concentration in salinity groups decreased at first in 48 hours and then slightly increased between 48 h and 96 h, but they were all significantly lower than the control group within 96 h period ($P < 0.05$), and there were no significant difference between salinities 10 and 5 ($P > 0.05$). Gill Na⁺-K⁺-ATPase activities in salinity groups also showed a firstly decreasing and then increasing trend during the experimental period, and they were all the lowest at 48 h and significantly lower than those in control ($P < 0.05$). On the 96 h the gill Na⁺-K⁺-ATPase activity in salinities 5 and 10 showed no significant difference from the control group and each other ($P > 0.05$), but the gill Na⁺-K⁺-ATPase activity in salinity 15 was significantly different from the lower salinity groups and control group ($P < 0.05$). The isosmotic point was estimated as 303.2 mOsm · kg⁻¹ and corresponded to salinity 10.02. The 96 h isoionic points for serum Na⁺ and Cl⁻ were estimated as 146.1 and 136.8 mmol · L⁻¹, which corresponded to the salinities 9.02 and 8.95 respectively. As compared to salinity 15 group, salinities 5 and 10 groups showed a minor deviation from the control group in all measurement indicators, which in salinity 10 after 15 d exposure also showed a minor change from the control group, and from these variations in juvenile Russia sturgeon, we can draw a conclusion that 7-month-old Russia sturgeon possess regulatory mechanisms capable of maintaining considerable control of serum ion concentrations in salinity below 10 but unable to survive salinity exceeding 10. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (2): 243–251]

Key words: *Acipenser gueldenstaedtii*; salinity stress; gill Na⁺-K⁺-ATPase activity; serum ions and osmolality; osmoregulation.

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@online.sh.cn