

盐度对花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)和太平洋双色鳗鲡(*A. bicolor pacifica*)幼鳗鳃丝及肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响*

罗鸣钟^{1, 2, 3} 关瑞章^{1, 2} 靳恒^{1, 2}

(1. 集美大学 厦门 361021; 2. 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心 厦门 361021;
3. 中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

摘要 采用酶学分析的方法,以淡水组为对照,进行了盐度变化对花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)[体质量(10.70 ± 0.92)g]和太平洋双色鳗鲡(*A. bicolor pacifica*)幼鳗[体质量(12.11 ± 0.79)g]鳃丝及肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力影响的研究。结果表明,经不同的盐度(5、10、18)处理,各处理组的花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡幼鳗鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力均呈现先降低后升高最后再降低并趋于稳定的趋势。前者 24h 时达到最低值,48h 时盐度 10 处理组上升至与对照组无显著差异($P>0.05$),而盐度 18 处理组显著高于对照组($P<0.05$)。后者 6h 时达到最低值,12h 时盐度 5 和 18 处理组达到最高值,24h 时盐度 10 处理组达到最高值。盐度变化对花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡幼鳗肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力影响不明显。太平洋双色鳗鲡幼鳗鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶酶活提升速度及提升幅度均强于花鳗鲡幼鳗,故认为在盐度范围 0—18 时,太平洋双色鳗鲡幼鳗比花鳗鲡幼鳗对盐度变化具有更强的适应能力。

关键词 盐度;花鳗鲡;太平洋双色鳗鲡;幼鳗; Na^+/K^+ -ATP 酶

中图分类号 S965.223

鳗鲡属(*Anguilla*)鱼类为繁殖洄游性生物,具有较强的盐度耐受性,广泛分布于淡水、咸水以及半咸水地区(Edeline *et al.*, 2004)。不同种类的鳗鲡有相似的生活史(邓岳松等, 2001)即受精卵、柳叶鳗、玻璃鳗、幼鳗、黄鳗及银鳗共 6 个阶段。鳗鲡在受精卵和柳叶鳗时期,生活在海水环境;玻璃鳗生活在半咸水的河口地区;幼鳗和黄鳗溯河进入江河湖泊,进行淡水生活;银鳗向产卵场作降海洄游,环境盐度不断上升,直至进入海洋。盐度与鳗鲡的生长、存活、洄游以及耗氧率等一系列生态、生理过程关系密切。例如, Tzeng 等(2003)发现分布于海洋和河口地区的日本鳗鲡(*A. japonica*)雌性个体生长速率显著高于淡水个体; Naismith 等(1993)也发现分布于河口地区的欧洲鳗鲡

(*A. anguilla*)生长速率显著高于淡水种群;盐度梯度是欧洲鳗鲡玻璃鳗洄游过程中主要的定位信号(Tosi *et al.*, 1989);将日本鳗鲡玻璃鳗从盐度为 20 的水体直接转移至盐度为 0 的淡水中,其耗氧率下降 21.6%, 48h 后可恢复至初始水平(Wan *et al.*, 2006)。

真骨鱼类的鳃和肾脏是保持内环境中各种离子浓度的相对稳定以及维持体液与外界渗透压平衡的重要器官,两者作用各不相同。其中,鳃通过吸收或者排出单价离子来保持内环境的稳定,而肾则通过产生尿液以及排出 2 价离子来保持渗透压平衡(Boeuf *et al.*, 2001)。鳃上皮组织中的氯细胞(MR)是离子排出的主要功能细胞,细胞表面具有丰富的离子转运蛋白,如 Na^+/K^+ -ATP 酶。 Na^+/K^+ -ATP 酶是一个跨膜多

* 国家农业部公益性行业(农业)科研专项, nyhyzx07-043-03 号;福建省科技计划重点项目, 2009N0046 号;福建省教育厅重点项目, JA09157 号;福建省科学技术厅项目, 2009N2003-1 号。罗鸣钟, 博士研究生, E-mail: kklmz413@hotmail.com

通讯作者: 关瑞章, 教授, 博导, E-mail: rzguan@jmu.edu.cn

收稿日期: 2011-12-30, 收修改稿日期: 2012-03-05

次的整合膜蛋白,由 2 个亚基(α 和 β)组成,主要功能是通过离子梯度和电位差来启动膜蛋白运输及离子通道,维持细胞内外的渗透压平衡(Evans *et al.*, 2005)。目前,有关盐度对鳗鲡属鱼类 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响以及相关渗透压调节机制已有部分报道。研究表明,在美洲鳗鲡、日本鳗鲡和欧洲鳗鲡降海洄游过程中,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力均随环境盐度的上升而上升(Doyle *et al.*, 1972; Thomson *et al.*, 1977; Fontaine *et al.*, 1995)。但由于鳗鲡属鱼类种类繁多,生物学特征及生活环境存在差异,不同种鳗鲡间渗透压调节机制是否一致尚不明确。

近年来,由于日本鳗鲡资源的急剧萎缩以及《华盛顿公约》的实施,鳗苗资源短缺已严重限制了鳗鲡养殖业及其加工业的发展。东南亚地区花鳗鲡(*A. marmorata*)以及太平洋双色鳗鲡(*A. bicolor pacifica*)苗种资源丰富,价格便宜,是极具潜力的异域引进养殖种类。本实验室分别于 2010 年和 2011 年从菲律宾引进玻璃鳗进行苗种培育以及幼成鳗养殖试验,在养殖过程中,花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡生长性能优异,显示出可进行集约化养殖的潜力。目前,有关盐度对花鳗鲡以及太平洋双色鳗鲡 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响以及相关渗透压调节机制方面的研究尚未见报道。本研究采用盐度急性变化处理花鳗鲡以及太平洋双色鳗鲡幼鳗,对其鳃和肾脏中的 Na^+/K^+ -ATP 酶活力进行检测和分析,旨在了解花鳗鲡以及太平洋双色鳗鲡的渗透压调节机制,为其合理引进以及集约化养殖提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验材料均取自福建省集美大学海水试验场,花鳗鲡体质量为(10.70±0.92)g,太平洋双色鳗鲡体质量为(12.11±0.79)g。挑选外观正常,体质健康的个体用于实验。实验前暂养 7d,实验用水为曝气的自来水,温度为(26.0±0.5)°C, pH 为 7.2±0.4,溶氧 6.0mg/L,氨氮<0.5mg/L,亚硝酸盐<0.2mg/L。连续充气,每天 08:00 和 17:00 分 2 次投喂鳗鱼粉状配合饲料(福建天马饲料有限公司),摄食结束 1h 后虹吸排污,每 2d 换水 1 次,换水率为 30%。

1.2 实验设计

实验盐度共设 4 个盐度梯度,即淡水对照组(盐度 0)与盐度 5、10、18 组,每梯度设 2 个平行组,每平行组 30 尾幼鳗。实验开始后,盐度处理 0、3、6、

12、24、48、96 和 192h 时分别进行取样,每平行组随机选取 3 尾。经丁香油麻醉后,取实验鱼两侧鳃丝和肾脏,用生理盐水洗净、滤纸吸干称重后置于 5ml 离心管中,再加入 9 倍体积的生理盐水,剪碎后用高速匀浆器在冰水浴中以 20000r/min 转速匀浆,匀浆液在 Thermo 型高速冷冻离心机(4°C, 4000r/min)中离心 10min,取上清液待测。

1.3 测定方法

蛋白含量(mg/ml)采用考马斯亮兰法(南京建成生物工程研究所考马斯亮兰蛋白测定试剂盒)测定。 Na^+/K^+ -ATP 酶活力采用定磷法(南京建成生物工程研究所超微量 Na^+/K^+ -ATPase 测定试剂盒测定试剂盒)测定, Na^+/K^+ -ATP 酶活力单位定义为:每小时每毫克蛋白的组织中 ATP 酶分解 ATP 产生 1 μmol 无机磷的量作为 1 个酶活单位。采用微摩尔无机磷/mg 蛋白/h [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$]表示。

1.4 数据处理

所有数据采用 SPSS13.0 软件进行处理,平均数采用均值±标准误(Mean±SE)表示,各盐度梯度组间的差异采用单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 检验法比较,当 $P<0.05$ 时认为差异显著。

2 结果

2.1 盐度对花鳗鲡鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

不同盐度处理组中花鳗鲡幼鳗鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力变化情况见表 1。盐度 10 和 18 处理组酶活力均呈现先降低(24h)后升高(48h)最后再降低(96h)并趋于稳定的趋势。从实验开始,盐度 10 和 18 处理组 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐渐下降,24h 时达到最低值,且显著低于对照组($P<0.05$)。24h 后酶活力迅速上升,48h 时盐度 10 处理组上升至与对照组无显著差异($P>0.05$),而盐度 18 处理组显著高于对照组($P<0.05$),96h 后降低至与对照组无显著性差异($P>0.05$)。盐度 5 处理组酶活力变化极小,与对照组均无显著差异($P>0.05$)。经过 192h 盐度处理后,各实验组 Na^+/K^+ -ATP 酶活力均与对照组无显著性差异,且各组间也无显著性差异($P>0.05$)。

2.2 盐度对花鳗鲡肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

表 2 为不同盐度处理组中花鳗鲡幼鳗肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力变化情况。盐度对花鳗鲡幼鳗肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力产生波动较小,与对照组酶活力均无显著性差异,仅 96h 时盐度 18 处理组的 Na^+/K^+ -ATP 酶活力显著高于对照组($P<0.05$)。经过

表 1 盐度对花鳗鲡幼鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力[$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$]的影响
Tab.1 Effects of salinity on gill Na⁺/K⁺-ATPase activity [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$] of *A. marmorata* elver

时间(h)	盐度			
	0(淡水)	5	10	18
0	1.015±0.180 ^{aA}	1.015±0.180 ^{aA}	1.015±0.180 ^{abA}	1.015±0.180 ^{abA}
3	1.091±0.096 ^{aA}	0.780±0.327 ^{aA}	0.821±0.342 ^{abA}	0.991±0.776 ^{abA}
6	0.994±0.197 ^{aAB}	0.850±0.258 ^{aA}	0.765±0.178 ^{abA}	1.285±0.167 ^{bcB}
12	0.955±0.072 ^{aA}	0.970±0.053 ^{aA}	0.699±0.129 ^{abB}	0.713±0.112 ^{abB}
24	1.036±0.066 ^{aA}	0.705±0.132 ^{aA}	0.523±0.034 ^{aB}	0.494±0.148 ^{aB}
48	1.006±0.022 ^{aA}	0.861±0.157 ^{aA}	1.167±0.226 ^{ba}	1.790±0.103 ^{cB}
96	1.033±0.155 ^{aA}	0.956±0.412 ^{aA}	1.098±0.497 ^{ba}	0.993±0.267 ^{abA}
192	1.015±0.191 ^{aA}	1.119±0.100 ^{aA}	0.917±0.186 ^{abA}	1.264±0.141 ^{bcA}

注: 数据右上角的小写字母表示不同时间同一盐度处理对 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的影响, 大写字母表示同一时间不同盐度处理对 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的影响, 标有不同字母的表示差异显著($P<0.05$)。下同

表 2 盐度对花鳗鲡幼鳃肾脏 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力[$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$]的影响
Tab.2 Effects of salinity on kidney Na⁺/K⁺-ATPase activity [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$] of *A. marmorata* elver

时间(h)	盐度			
	0(淡水)	5	10	18
0	1.422±0.219 ^{aA}	1.422±0.219 ^{abA}	1.422±0.219 ^{abA}	1.422±0.219 ^{aA}
3	1.394±0.351 ^{aA}	1.159±0.184 ^{ba}	1.736±0.658 ^{abA}	1.401±0.844 ^{aA}
6	1.420±0.093 ^{aA}	1.389±0.043 ^{abA}	1.465±0.524 ^{abA}	1.780±0.622 ^{aA}
12	1.438±0.524 ^{aA}	1.471±0.583 ^{abA}	1.763±0.457 ^{abA}	2.170±0.461 ^{aA}
24	1.365±0.297 ^{aA}	1.275±0.737 ^{abA}	1.121±0.104 ^{aA}	1.291±0.246 ^{aA}
48	1.425±0.357 ^{aA}	1.493±0.357 ^{abA}	1.573±0.441 ^{abA}	1.328±0.372 ^{aA}
96	1.522±0.082 ^{aA}	1.881±0.087 ^{aAB}	1.776±0.156 ^{aB}	2.062±0.079 ^{aB}
192	1.611±0.313 ^{aA}	1.570±0.086 ^{aA}	1.823±0.131 ^{ba}	1.567±0.402 ^{aA}

192h 盐度处理后, 各实验组酶活力均与对照组无显著性差异, 且各组间也无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 盐度对太平洋双色鳗鲡幼鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的影响

不同盐度处理组中太平洋双色鳗鲡幼鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力变化情况见表 3。前 24h 太平洋双色鳗鲡幼鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力波动较大, 各处理组均呈先下降(6h)再上升(12h)最后再降低(24h)并趋于稳定的趋势。整个实验过程中, 6h 时各处理组鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力均达到最低值, 但与对照组差异不显著($P>0.05$); 12h 时盐度 5 和 18 处理组酶活力达到最高值, 24h 时盐度 10 处理组酶活力达到最高值, 且均显著高于对照组($P<0.05$); 24h 时后, 各处理组酶活力均趋于稳定。经过 192h 盐度处理后, 盐度 5 处理组 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力与对照组无显著性差异($P>0.05$), 而盐度 10 和 18 处理组 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力显著高于对照组($P<0.05$)。

2.4 盐度对太平洋双色鳗鲡幼鳃肾脏 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的影响

表 4 列出了不同盐度处理组中太平洋双色鳗鲡幼鳃肾脏 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的变化情况。太平洋双色鳗鲡幼鳃肾脏 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力变化较小, 从实验开始到 3h 略有升高后趋于稳定。整个实验过程中, 与对照组比较, 仅 3h 时盐度 10 处理组的 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力显著高于对照组($P<0.05$), 其它组均无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 盐度对花鳗鲡幼鳃和太平洋双色鳗鲡幼鳃 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的影响

鱼类适应不同环境盐度的能力主要取决于它从环境中摄取及排出离子的能力和维持机体内环境稳定的能力(Thomas *et al*, 2005)。Na⁺/K⁺-ATP 酶在整个机体的离子调节方面起到核心作用, 因此, 鳃 Na⁺/

表 3 盐度对太平洋双色鳗鲡幼鳗 Na^+/K^+ -ATP 酶活力 [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$] 的影响
Tab.3 Effects of salinity on gill Na^+/K^+ -ATPase activity [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$] of *A. bicolor pacifica* elver

时间(h)	盐度			
	0(淡水)	5	10	18
0	0.672±0.050 ^{aA}	0.672±0.050 ^{abA}	0.672±0.050 ^{abA}	0.672±0.050 ^{aA}
3	0.598±0.144 ^{aA}	0.621±0.155 ^{abA}	0.647±0.186 ^{abA}	0.613±0.181 ^{aA}
6	0.628±0.152 ^{aA}	0.575±0.110 ^{aA}	0.484±0.131 ^{aA}	0.483±0.040 ^{aA}
12	0.610±0.161 ^{aA}	1.279±0.087 ^{bcB}	0.930±0.318 ^{abB}	1.719±0.496 ^{bc}
24	0.775±0.100 ^{aA}	0.968±0.198 ^{bcAB}	1.310±0.175 ^{bB}	1.382±0.278 ^{bB}
48	0.745±0.127 ^{aA}	0.895±0.365 ^{abAB}	1.196±0.064 ^{bB}	1.449±0.127 ^{bB}
96	0.624±0.044 ^{aA}	0.759±0.093 ^{abA}	1.124±0.182 ^{bB}	1.348±0.290 ^{bB}
192	0.690±0.212 ^{aA}	0.751±0.098 ^{abA}	1.215±0.239 ^{bB}	1.284±0.286 ^{bB}

表 4 盐度对太平洋双色鳗鲡幼鳗肾脏 Na^+/K^+ -ATP 酶活力 [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$] 的影响
Tab.4 Effects of salinity on kidney Na^+/K^+ -ATPase activity [$\mu\text{mol Pi}/(\text{mg prot}\cdot\text{h})$] of *A. bicolor pacifica* elver

时间(h)	盐度			
	0(淡水)	5	10	18
0	1.493±0.247 ^{aA}	1.493±0.247 ^{aA}	1.493±0.247 ^{aA}	1.493±0.247 ^{aA}
3	1.382±0.179 ^{aA}	1.652±0.386 ^{aAB}	2.079±0.342 ^{bB}	1.630±0.411 ^{aAB}
6	1.666±0.273 ^{aA}	1.345±0.076 ^{aA}	1.266±0.081 ^{aA}	1.343±0.333 ^{aA}
12	1.291±0.118 ^{aA}	1.527±0.707 ^{aA}	1.333±0.139 ^{aA}	1.753±0.125 ^{aA}
24	1.575±0.294 ^{aA}	1.322±0.324 ^{aA}	1.198±0.082 ^{aA}	1.340±0.343 ^{aA}
48	1.618±0.299 ^{aA}	1.498±0.536 ^{aA}	1.174±0.256 ^{aA}	1.459±0.223 ^{aA}
96	1.593±0.294 ^{aA}	1.119±0.390 ^{aA}	1.581±0.265 ^{abA}	1.692±0.544 ^{aA}
192	1.574±0.324 ^{aA}	1.635±0.181 ^{aA}	1.923±0.252 ^{bA}	1.862±0.192 ^{aA}

K^+ -ATP 酶活力常常作为评价鱼类在不同盐度环境中适应能力的一项重要监测指标。

近年来学者们已对史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)、条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)、鲮鱼(*Mugil cephalus*)等多种鱼类做了大量关于盐度对其鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力影响方面的研究(赵峰等, 2006; 孙鹏等, 2010; 于娜等, 2011), 表明在外界环境盐度改变时, 鱼体鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶的活力随之发生变化, 一般分为 3 个阶段: 一是被动应激阶段, 主要表现为鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力下降; 二是主动渗透调节阶段, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶被激活, 活力逐渐上升; 三是适应阶段, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力逐渐达到新的平衡。与此不同的是, 童燕等(2007)研究显示史氏鲟从淡水直接转入盐度 15 和 22 的水中, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力呈现先上升后下降的趋势, 均在 12h 时达最高值, 在 12—96h 内均处于较高的水平, 且均显著高于对照组; 当养殖在自然海水的斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)转移至盐度 24、14、4 和 0 的水体后, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力也表现先上升后下降的趋势, 各

盐度组均在 1h 时达到最高值, 随后下降, 至 6h 达到稳定(杨宇晴等, 2011)。本实验结果与前者相似, 花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力均呈先降低后升高最后再降低并趋于稳定的趋势。当环境盐度变化时, 从被动应激到鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力达到稳定所需的时间存在很大的种间差异, 如鲈鱼(*Miichthys miiuy*)为 8d, 褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)为 6d, 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)和莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)仅为 3h, 而波纹短须石首鱼(*Umbrina cirrosa*)由盐度 40 转移至 4 和 10 水体中养殖, 84d 后盐度 4 和 10 组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力才相对稳定(柳敏海等, 2008; 潘鲁青等, 2006; 徐力文等, 2007; Lin *et al.*, 2004; Constantinos *et al.*, 2009)。在本实验中, 花鳗鲡幼鳗鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶在 96h 内激活并达到相对稳定且与对照组无显著差异, 而太平洋双色鳗鲡幼鳗鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力在 24h 后趋于稳定且盐度 10 和 18 组显著高于对照组。当环境盐度上升时, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力随之上升有助于离子调节能力的提高以适应高渗环境,

类似现象在鳗鲡属鱼类中已有报道, 如 Thomson 等(1977)发现银鳗期的欧洲鳗鲡从淡水转入海水 6d 后, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力提升了 2.5 倍; Mi 等(2009)也发现将淡水养殖的日本鳗鲡经过 50% 的海水驯化 2d 后转入海水养殖 7d, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力显著增加。由此认为, 花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡均属广盐性真骨鱼类并具有较强的离子和渗透压调节能力, 但太平洋双色鳗鲡幼鳗鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力提升速度及提升幅度均强于花鳗鲡幼鳗, 故认为在盐度范围 0—18 时, 太平洋双色鳗鲡幼鳗比花鳗鲡幼鳗对盐度变化具有更强的适应能力。

通过大量关于盐度对鱼类渗透压调节影响方面的研究, 认为在自然环境中鱼类(尤其是广盐性鱼类)正常生理状态的内环境渗透压一般稳定在一个很窄的范围内, 相当于盐度为 10—15 的渗透浓度。鱼类一般在接近于或稍高于等渗点的水体时, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性最低, 从而鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性随盐度变化呈“U”型。Tzeng 等(2003)研究指出, 日本鳗鲡内环境渗透压一般维持在 300—400mOsm/kg, 即在盐度为 10.5—14.0 的水体(半咸水)时日本鳗鲡处于等渗状态。参照日本鳗鲡的等渗点, 当外界环境盐度发生改变时, 花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性达到稳定后应在最接近等渗点的盐度 10 处理组出现最低值。这与本实验结果不符, 其原因可能是广盐性鱼类渗透调节机制、调节方式和调节能力存在种间特异性。另外, 外界环境因子对鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的变动亦能够起关键性作用, 如对大西洋鲑(*Salmo salar*)及黑鲷(*Mylio macrocephalus*)幼鱼的研究(Handeland *et al*, 2003; Kelly *et al*, 1999), 分别表明温度和摄食水平对鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力能够产生显著影响。

3.2 盐度对鱼类不同组织中 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

真骨鱼类的鳃和肾脏在保持内环境中各种离子浓度的相对稳定以及维持渗透压平衡上具有重要的作用。鱼类进入高渗环境后, 体液渗透压低于环境渗透压, 鱼体被动失水, 为补偿失水, 鱼类开始大量吞饮盐水, 主要通过肠道吸收水分; 此时, 通过鳃上皮的氯细胞发生一系列的细胞学变化, 如细胞数量增多, 直径增大, 线粒体数量增加等以及生化反应, 如 Na^+/K^+ -ATP 酶活力升高等, 来排除被动过多摄入的 Na^+ 和 Cl^- 离子; 同时, 肾脏的肾小球滤过率增大, 以排除 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 等二价离子, 肾小管对水的渗

透性降低, 从而减小对水分的重吸收, 排出稀薄的尿液等(林浩然, 1999)。本实验结果与以上结论相符, 盐度对花鳗鲡幼鳗和太平洋双色鳗鲡幼鳗的鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力有显著影响, 但对肾脏中 Na^+/K^+ -ATP 酶活力影响不显著。表明肾脏对过量 Na^+ 和 Cl^- 离子的排除并无显著作用, 可能仅仅作用于 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 等二价离子。另外, 冯平等(2006)对不同环境盐度下青鲮鱼肠内 Na^+/K^+ -ATP 酶的 α 和 β 基因表达量进行检测, 发现盐度升高抑制青鲮鱼肠内 Na^+/K^+ -ATP 酶 β 基因的表达。这表明盐度对鱼类肠道的 Na^+/K^+ -ATP 酶也产生影响。

3.3 鱼类的渗透调节作用与生长的关系

盐度对鱼类生态生理学作用的直接效应是引起鱼体的渗透调节作用, 间接影响则表现为对鱼体与环境间物质交换与能量流动的影响(王云峰等, 2002)。国内外学者在盐度对鱼类生长的影响方面做了大量研究, 认为高渗和低渗环境下鱼体均需消耗一定的能量来维持水盐平衡, 这直接影响到营养分配和饵料的利用效率, 进而影响鱼类的生长。因此认为鱼类基本处于等渗环境时, 可提高生长率和饵料转化率。然而 Denson 等(2003)对军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的研究表明, 最接近等渗环境的盐度 15 处理组并未表现最高的生长率和饵料转化率。田相利等(2010)在半滑舌鲷的研究中也观察到相似现象。究其原因, 王云峰等(2002)认为渗透压调节的新陈代谢消耗极小, 可能并不足以影响生长。而 Boeuf 等(2001)认为盐度的上升促进生长激素的分泌, 从而增加鱼类的摄食活动, 提高生长率。鱼类的渗透调节与生长的关系比较复杂, 不同种类间甚至同种类不同生活史时期都可能存在较大差异, 其中许多问题尚有待进一步研究。掌握鱼类的渗透调节机制及规律对于在人工养殖过程中水环境的盐度调控和半咸水养殖模式的开发具有重要的科学指导意义和经济意义。

参 考 文 献

- 于娜, 李加儿, 区又君等, 2011. 盐度胁迫对鲮鱼幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力和体含水量的影响. 动物学杂志, 46(1): 93—99
- 王云峰, 朱鑫华, 2002. 盐度对鱼类生态生理学特征的影响. 海洋科学集刊, 44: 151—158
- 邓岳松, 林浩然, 2001. 鳗鲡繁殖生物学和人工育苗研究概况. 湛江海洋大学学报, 21(2): 77—82
- 田相利, 王国栋, 董双林等, 2010. 盐度和温度对半滑舌鲷生长、渗透生理及能量收支的影响. 中国水产科学, 17(4):

- 771—782
- 冯平, 王峰, 范光丽, 2006. 盐度对青鳉鱼肠内 Na^+/K^+ -ATPase 基因表达的影响. 西北农业学报, 15(6): 24—27
- 孙鹏, 彭士明, 尹飞等, 2010. 盐度对条石鲷幼鱼 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响. 水产学报, 34(8): 1204—1209
- 杨宇晴, 余德光, 谢骏等, 2011. 急性盐度胁迫对斜带石斑鱼 Na^+/K^+ -ATP 酶及血清应激指标的影响. 热带海洋学报, 29(4): 160—164
- 林浩然, 1999. 鱼类生理学. 广州: 广东教育出版社, 109—145
- 赵峰, 庄平, 章龙珍等, 2006. 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. 水产学报, 30(4): 444—449
- 柳敏海, 罗海忠, 陈波等, 2008. 盐度、pH 对鳊鱼幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATPase 活力的影响. 海洋湖沼通报, 1: 109—113
- 徐力文, 刘广锋, 王瑞旋等, 2007. 急性盐度胁迫对军曹鱼稚鱼渗透压调节的影响. 应用生物学报, 18(7): 1596—1600
- 董燕, 陈立侨, 庄平等, 2007. 急性盐度胁迫对施氏鲟的皮质醇、代谢反应及渗透调节的影响. 水产学报, 31(增刊): 38—44
- 潘鲁青, 唐贤明, 刘泓宇等, 2006. 盐度对褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼血浆渗透压和鳃丝 Na^+/K^+ -ATPase 活力的影响. 海洋与湖沼, 37(1): 1—6
- Boeuf G, Payan P, 2001. How should salinity influence fish growth? Comparative Biochemistry and Physiology, 130C: 411—423
- Constantinos C M, Michalis P, Nikos P *et al*, 2009. Growth performance and osmoregulation in the shi drum (*Umbrina cirrosa*) adapted to different environmental salinities. Aquaculture, 287: 203—210
- Denson M R, Stuart K R, Smith T I J *et al*, 2003. Effects of salinity on growth, survival, and selected hematological parameters on juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. Journal of the World Aquaculture Society, 3(4): 496—504
- Doyle W L, Epstein F H, 1972. Effects of cortisol treatment and osmotic adaptation on the chloride cells in the eel, *Anguilla rostrata*. Cytobiologie, 6: 58—73
- Edeline E, Elie P, 2004. Is salinity choice related to growth in juvenile eel *Anguilla anguilla*? Cybium, 28(1)suppl: 77—82
- Evans D H, Piermarini P M, Choe K P, 2005. The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. Physiol Rev, 85: 97—177
- Fontaine Y A, Pisam M, LeMoal C *et al*, 1995. Silvering and gill “mitochondria-rich” cells in the eel, *Anguilla anguilla*. Cell Tissue Res, 281: 465—471
- Handeland S O, Bjornsson B T, Arnesen A M *et al*, 2003. Seawater adaptation and growth of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) of wild and farmed strains. Aquaculture, 220: 367—384
- Kelly S P, Chow I N K, Woo N Y S, 1999. Alterations in Na^+/K^+ -ATPase activity and gill chloride cell morphometrics of juvenile black sea bream (*Mylio macrocephalus*) in response to salinity and ration size. Aquaculture, 220: 351—367
- Lin C H, Huang C L, Yang C H *et al*, 2004. Time-course changes in the expression of Na^+/K^+ -ATPase and the morphometry of mitochondrion-rich cells in gills of euryhaline tilapia *Oreochromis mossambicus* during freshwater acclimation. Experimental Zoology, 301(1): 85—96
- Mi Y S, Kyung M L, Toyoji K *et al*, 2009. Morphological changes in gill mitochondria-rich cells in cultured Japanese eel *Anguilla japonica* acclimated to a wide range of environmental salinity. The Japanese Society of Fisheries Science, 75: 1147—1156
- Naismith I A, Knights B, 1993. The distribution, density and growth of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the freshwater catchment of the River Thames. Journal of Fish Biology, 42: 217—226
- Thomas S, James B, 2005. Sturgeon and paddlefish metabolism. Fish Fisher Ser, 27: 167—194
- Thomson A J, Sargent J R, 1977. Changes in the levels of chloride cells and (Na^+/K^+)-dependent ATPase in the gills of yellow and silver eels adapting to seawater. J Exp Zool, 200: 33—40
- Tosi L, Sala L, Spampinato A *et al*, 1989. The behaviour of glass eel of *Anguilla anguilla* toward salinity: discrimination and preferences. Riv Ital Acquacolt, 24: 219—223
- Tzeng W N, Lizuka Y, Shiao J C *et al*, 2003. Identification and growth rate comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). Aquaculture, 216: 77—86
- Wan S K, Seong J Y, Jong W K *et al*, 2006. Metabolic response under different salinity and temperature conditions for glass eel *Anguilla japonica*. Marine Biology, 149: 1209—1215

EFFECTS OF SALINITY ON Na⁺/K⁺-ATPase ACTIVITY IN GILL AND KIDNEY OF *ANGUILLA MARMORATA* AND *A. BICOLOR PACIFICA* ELVER

LUO Ming-Zhong^{1,2,3}, GUAN Rui-Zhang^{1,2}, JIN Heng^{1,2}

(1. Jimei University, Xiamen, 361021; 2. Engineering Research Centre of Eel Modern Technical Industry, Ministry of Education, Xiamen, 361021; 3. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072)

Abstract Effects of salinity on Na⁺/K⁺-ATPase activity in gill and kidney of *Anguilla marmorata* [body weight (10.70±0.92)g] and *A. bicolor pacifica* elver [body weight (12.11±0.79)g] were studied in enzymology, and that of freshwater served as the control. The results suggest that after be treated in different salinities of 5, 10, and 18, the Na⁺/K⁺-ATPase activity in gill of them decreased at the beginning, and then increased and reached maximum; finally it decreased again and stabilized. The Na⁺/K⁺-ATPase activity in gill of *A. marmorata* elver reached minimum in 24h in all treated groups. In 48h, the activity in salinity 10 increased and showed no significant difference from the control group ($P>0.05$), but in salinity 18, it was much higher than that in control group ($P<0.05$). The activity in gill Na⁺/K⁺-ATPase of *A. bicolor pacifica* elver in all treated groups reached the minimum in 6h. In 12h, in salinity 5 and 18, the activity increased and reached the maximum, but in salinity 10 it reached maximum in 24h. Effects of salinity on Na⁺/K⁺-ATPase activity in kidney of the two elver species were minor. The finding indicate that *A. bicolor pacifica* elver are more toletrive to salinity change (in range of 0—18) than elver of *A. marmorata*.

Key words salinity; *Anguilla marmorata*; *Anguilla bicolor pacifica*; elver, Na⁺/K⁺-ATPase