

盐度渐变过程对黄条鲷(*Seriola aureovittata*) 幼鱼渗透调节的影响

史 宝^{1,2*}, 柳学周^{1,2*}, 刘永山¹, 张言祥³, 高全义³,
徐永江^{1,2}, 王 滨^{1,2}, 姜 燕^{1,2}, 宋雪松¹

(1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266071;

3. 大连富谷水产有限公司, 辽宁 大连 116400)

摘 要:为了解盐度渐变对黄条鲷(*Seriola aureovittata*)渗透调节的影响,设置自然海水(对照组盐度为 29),5,10,15,20,35 六个盐度梯度,并对不同盐度下幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力、离子浓度、渗透压进行了检测和分析。结果显示:在盐度 5~35,黄条鲷尿、血清、血浆的渗透压均随盐度升高而升高,盐度为 35 时渗透压均为最高,其中尿的渗透压显著高于血清和血浆渗透压。在盐度从 29 下降的过程中,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力、离子浓度、渗透压呈现相似的变化规律,都随着盐度的降低而呈现总体下降的趋势;盐度从 29 升高到 35 时,各检测指标中仅有尿和血浆的 K^+ 含量无显著变化($P>0.05$),其余均显著升高($P<0.05$)。实验结果表明,黄条鲷生存和繁衍的自然海水盐度 29 是幼鱼存活的适宜盐度,在略低的盐度 20~29 均能较快适应,说明在盐度渐变过程中,黄条鲷幼鱼对外界盐度变化有较强的调节能力。

关键词:黄条鲷;盐度渐变;渗透压; Na^+/K^+ -ATP 酶;离子浓度

中图分类号:S965.399

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2019)01-0063-08

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2019.01.005

引用格式:SHI B, LIU X Z, LIU Y S, et al. Effects of the gradual salinity change on the osmotic regulation of juvenile Yellowtail Kingfish (*Seriola aureovittata*)[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(1): 63-70. 史宝, 柳学周, 刘永山, 等. 盐度渐变过程对黄条鲷(*Seriola aureovittata*)幼鱼渗透调节的影响[J]. 海岸工程, 2019, 38(1): 63-70.

鱼类通过渗透压调节维持体内环境处于安全的生理范围,以此适应不同的环境盐度。 Na^+/K^+ -ATP 酶存在于细胞膜中,是对 Na^+ 和 K^+ 两种离子进行交换的主动运输的酶^[1]。鱼类有较完善的渗透压调节机制,按其特点可分为淡水鱼类、海洋鱼类、洄游性鱼类和广盐性鱼类^[2];海洋硬骨鱼类血液渗透压低于环境渗透压,需要进行低渗透调节,它们经常吞饮海水,肾小球退化,排尿量很少,借此补偿由于体液低渗透压而导致的被动失水,同时通过鳃上皮排出多余的离子^[3]。不同的鱼类离子变化幅度和持续时间上不同,在适应阶段往往是通过渗透压和激素作用快速调节^[4]。鱼类进入高渗环境后,由于鱼体渗透压低于外界渗透压,鱼体会被动失水;为了补偿水分,鱼类开始大量吞饮海水,补充水分的同时也摄入了大量离子,体液离子浓度相对升

收稿日期:2018-06-11

资助项目:中国水产科学研究院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——中国一文莱重要海水经济鱼类种质资源评价与利用(2018GH17);青岛海洋科学与技术国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室开放课题——PTEN 和 MSTN 调控黄条鲷肌肉快速生长机制的研究(2017-3A01);青岛市民生科技计划项目——黄条鲷繁殖生物学与人工繁育技术(17-3-3-61-nsh);现代农业产业技术体系专项经费——池塘养殖岗位(CARS-47);中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费专项资金资助项目——lncRNA 调控半滑舌鳎卵母细胞成熟机制的研究(20603022017016)

作者简介:史 宝(1979-),男,副研究员,博士,主要从事鱼类繁育理论与增养殖技术方面研究. E-mail: shibao@ysfri.ac.cn

* **通讯作者:**柳学周(1959-),男,研究员,博士,主要从事鱼类繁育理论与增养殖技术方面研究. E-mail: liuxz@ysfri.ac.cn

(王佳实 编辑)

高,渗透压也相应升高;因此鱼类渗透压调节机制的研究对于生产实践有着重要的指导意义,通过研究盐度对鱼类各种生长指标的影响,可以在合适的水域进行鱼类的大规模人工养殖^[5]。

黄条鲷(*Seriola aureovittata*)属鲈形目(Perciformes)、鲈科(Carangidae)、鲷属(*Seriola*),是海洋生态系统中的二级和三级消费者,为全球分布的大洋性大型经济鱼类,其商业化养殖在日本、澳大利亚、新西兰和智利获得成功^[6]。黄条鲷是中国黄渤海海域自然分布的唯一大型鲷属鱼类,具有生长速度快、肉质鲜嫩、营养丰富等优点,为食用“生鱼片”、“鱼排”的优等食材,经济价值高,国内外市场消费需求旺盛,是具有开发潜力的商业养殖品种和垂钓消遣鱼类;适宜于深远海抗风浪网箱养殖和陆基工厂化养殖^[7-9]。近年来,黄条鲷繁育及养殖技术研究在中国刚刚起步,有关黄条鲷养殖生物学方面的研究报道很少,尚未见黄条鲷对环境适应机理方面的研究报道。研究表明在不同盐度(0,10和15)条件下,河鲈(*Perca fluviatilis*)幼鱼血清渗透压随着盐度的升高而升高^[10];在不同盐度(5,15和31)条件下,智利油南极鱼(*Eleginops maclovinus*)的幼鱼在等渗点(15)和高渗环境(31)下生长较好,幼鱼在适应低盐度过程中增加了渗透调节的能量消耗^[11];税春等^[5]研究了盐度变化对斑尾复鰕虎鱼(*Synechogobius ommaturus*)幼鱼血清渗透压的影响,当盐度为10~30时,幼鱼血清渗透压随盐度升高而升高,当盐度由0升高至35时,除0与30组间存在差异外,其余各组血清渗透压之间均无显著性差异。为了解黄条鲷对盐度变化的适应机制,本研究以黄条鲷幼鱼为材料,在盐度逐渐变化的条件下,分析 Na^+/K^+ -ATP酶活力、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等离子浓度和渗透压等指标变化,为探究黄条鲷对盐度的适应性以及生长生存的适宜盐度提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验材料与设计

将2013年在黄海北部大连海域捕获的黄条鲷鱼苗,经上网箱驯化养殖和室内工厂化越冬,于2017年早春成功产卵后人工培育出批量苗种,并将人工苗种培育成体长为19~23 cm,体重为80~120 g的成鱼。实验在大连富谷水产有限公司进行,苗种养殖期间海水的水温为20~27 °C、盐度29,每天投喂鲜杂鱼3~4次,日投喂量为鱼体重的3%~5%。实验开始前所有暂养的实验用鱼停食24 h,实验期间不投饵。各实验组的盐度调节,低盐度组采用自然海水(盐度29)加自来水调节,使用的自来水是用1 000 L塑料桶作为自来水曝气池,经充分曝气后使用;高盐度实验组使用自然海水加海水晶进行配置。

由图1可见盐度升降梯度、处理时间及取样时间点。将暂养在自然海水中的80尾黄条鲷幼鱼,分为2个实验组,每组分别放入40尾实验鱼:一组由自然海水向高盐度过渡;另一组由自然海水向低盐度过渡;其中以暂养期间的盐度29自然海水作为对照组。高盐度组设置盐度35为盐度渐变的最高点,盐度的变化以每12 h将盐度升高3,并稳定12 h,直至升高到盐度35;在每个盐度梯度稳定12 h后随机选取黄条鲷幼鱼3尾作为重复实验。低盐度渐变处理组,将盐度设置为20,15,10,5四个低盐度梯度,每12 h将盐度降低3,并

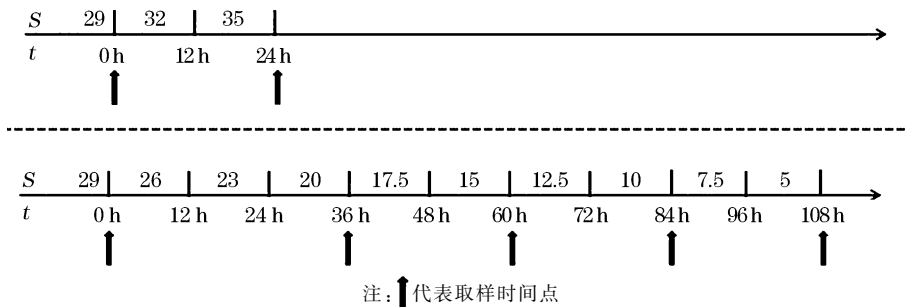


图1 盐度渐变示意图

Fig.1 Schematic diagram of the gradual salinity change

稳定 12 h,连续 3 次将盐度从 29 降到 20,随机选取黄条鰻幼鱼 3 尾作为重复实验;之后,每 12 h 将盐度降低 2.5,分别在盐度 15,10,5 稳定 12 h,随机选取黄条鰻幼鱼 3 尾作为重复实验。实验期间各实验组的水质控制在水温 23~24 °C、pH 7.9~8.1、DO 6~7 mg/L、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 0.1~0.3 mg/L。盐度计算公式为

$$S=1\ 305(\text{比重}-1)+(t-17.5)\times 0.3 \quad (\text{水温高于 } 17.5\text{ }^\circ\text{C})。 \quad (1)$$

1.2 取样过程

当盐度过渡到 35,20,15,10,5 时,在相应的盐度点经 12 h 处理,并随机选取 3 尾实验鱼取样。用麻醉剂(MS222)将鱼麻醉,用无菌 1 mL 注射器快速从尾部取血,分别置于多个 1.5 mL 无菌离心管中,离心管在冰水混合液中静置 30 min 后,4 °C、5 000 r/min 离心 10 min,取上清即为血清。事先用微量肝素钠溶液(10 mg/L)浸湿注射器内壁和 1.5 mL 无菌离心管,尾部取血,置于多个 1.5 mL 无菌离心管中,离心管在冰水混合液中静置 30 min 后,4 °C、5 000 r/min 离心 10 min,取上清液即为血浆。分离出的血浆和血清用来检测渗透压、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 离子浓度。参考 Linhart 等^[12]方法,将鱼体表水用干毛巾擦干,用蒸馏水浸湿了的脱脂棉将尿殖孔擦干净,挤压鱼腹部后缘的膀胱,使尿流入采样皿中,分析尿中渗透压和 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 离子浓度的变化。取鳃丝用液氮保存,用于测定 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 活力。

1.3 检测过程

鳃组织经液氮速冻后,放于-80 °C超低温冰箱保存。以黄条鰻幼鱼鳃丝组织匀浆液为材料测定 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 活力。将匀浆液于 4 °C、3 500 r/min⁻¹ 离心 10 min,取上清液用定磷法测定 ATPase 活力(A070-6,南京建成生物工程研究所超微量 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 测定试剂盒);采用双缩脲测试盒(A045-1,南京建成生物工程研究所)测定蛋白质含量,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。

使用比浊法测定黄条鰻尿、血浆和血清中的 Na^+ 离子浓度(C002,南京建成生物工程研究所钠测试盒);使用微板法测定尿、血浆和血清中的 K^+ 离子浓度(C001-2,南京建成生物工程研究所钾测试盒);使用微板法测定尿、血浆和血清中的 Cl^- 离子浓度(C003-2,南京建成生物工程研究所氯测试盒)。黄条鰻尿、血浆、血清中的渗透压使用全自动冰点渗透压计(FM-8P,上海医大仪器厂)测定。

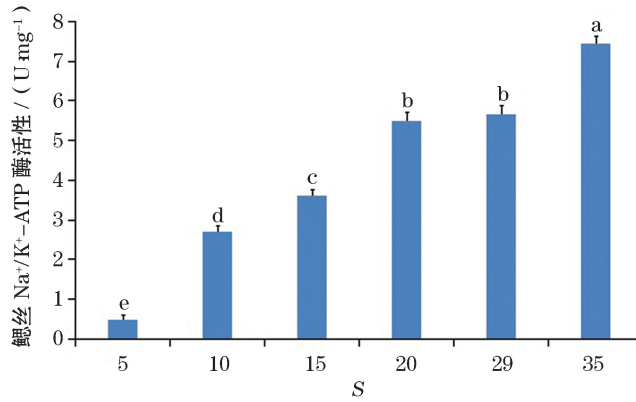
1.4 数据分析

使用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan's 多重比较分析, $P<0.05$ 为差异显著,数据均表示为平均值±标准差($\bar{x}\pm\text{SD}$)。

2 结 果

2.1 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力

在盐度逐渐降低的过程中,黄条鰻鳃丝 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力随着盐度的降低而降低:盐度从 29 降低到 20 时黄条鰻鳃丝 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力变化不显著($P>0.05$),而后随着盐度的逐渐降低,每个盐度梯度的鳃丝 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力显著降低($P<0.05$)。盐度从 29 向盐度 35 渐变过程中,黄条鰻 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力则随之升高。从总体趋势看,盐度逐渐降低的过程中,鳃丝 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力随着盐度的降低而降低,盐度 5 时 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力显著降低($P<0.05$);在高盐度环境下鳃丝 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力高于低盐度环境,在盐度 35 时 $\text{Na}^+/\text{K}^+\text{-ATPase}$ 酶活力最高($P<0.05$)(图 2)。



注:不同字母表示不同盐度梯度间酶活力有显著性差异($P < 0.05$)

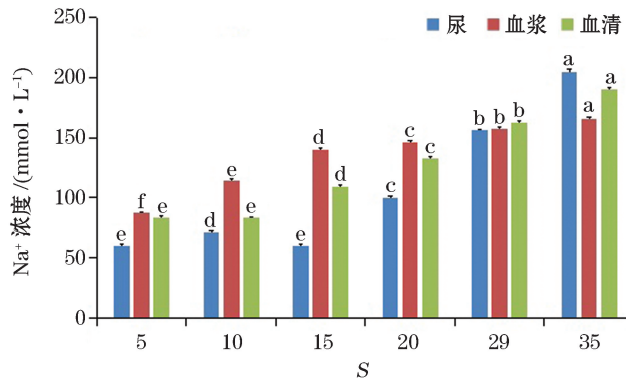
图2 盐度渐变过程中黄条鰺鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活力

Fig.2 The gill filament Na^+/K^+ -ATPase activity of *Seriola aureovittata* in the process of gradual salinity change

2.2 离子浓度

2.2.1 Na^+ 浓度变化

由图3可见,黄条鰺尿中 Na^+ 浓度随着盐度的降低而降低;当盐度从29渐变到15的过程中, Na^+ 浓度急剧下降($P < 0.05$);在盐度10时略有回升,随即在盐度5时显著下降($P < 0.05$)。血浆中 Na^+ 浓度随着盐度的降低而不断下降,但下降趋势较平缓,从盐度29下降到盐度15时, Na^+ 浓度变化较小,盐度越低 Na^+ 浓度下降的幅度越大,各盐度差异显著($P < 0.05$)。当盐度从29逐渐降低时,血清中 Na^+ 浓度随着盐度的降低而显著降低($P < 0.05$),到盐度10和5时 Na^+ 浓度基本稳定,均显著低于其他盐度梯度时 Na^+ 浓度($P < 0.05$)。而从盐度29向盐度35渐变时,黄条鰺尿、血浆、血清中 Na^+ 浓度则呈显著升高($P < 0.05$)。



注:不同字母表示不同盐度梯度间 Na^+ 浓度有显著性差异($P < 0.05$)

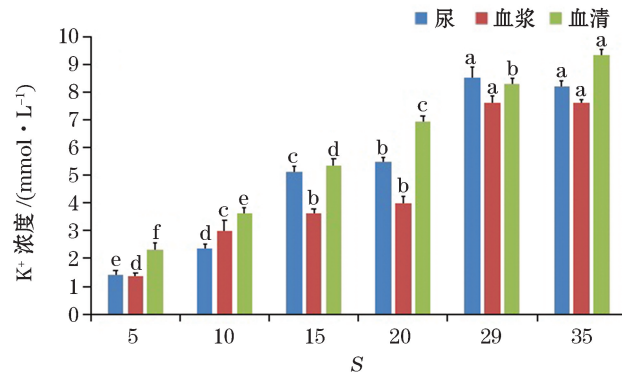
图3 盐度渐变过程中黄条鰺尿、血浆、血清的 Na^+ 浓度变化

Fig.3 Changes of Na^+ contents in the urine, plasma and serum of *Seriola aureovittata* in the process of gradual salinity change

2.2.2 K^+ 浓度变化

盐度从29降低过程中尿中 K^+ 浓度呈降低变化规律:在盐度20时 K^+ 浓度急剧下降;在盐度20,15,10,5盐度梯度间 K^+ 浓度差异均显著($P < 0.05$);在盐度5时降低到最低值。血浆中 K^+ 浓度总体变化也呈显著降低趋势,但在盐度20和15时血浆中 K^+ 浓度无显著性差异($P > 0.05$),在盐度5时 K^+ 浓度降低到最低值

($P < 0.05$)。盐度从 29 降低过程中血清中 K^+ 浓度也呈降低趋势($P < 0.05$),且在各盐度梯度间均呈显著差异($P < 0.05$)。盐度从 29 向盐度 35 渐变时,黄条鰺尿和血浆中 K^+ 浓度变化无显著性差异($P > 0.05$);血清中 K^+ 浓度则显著升高($P > 0.05$)(图 4)。综上可知,在盐度从 29 降低或向盐度 35 升高的渐变过程中,黄条鰺尿和血浆中 K^+ 浓度变化趋势大致相同。



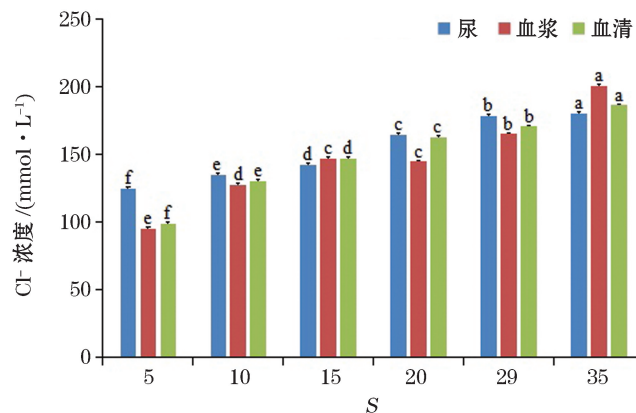
注:不同字母表示不同盐度梯度间 K^+ 浓度有显著性差异($P < 0.05$)

图 4 盐度渐变过程中黄条鰺尿、血浆、血清的 K^+ 浓度变化

Fig.4 Changes of K^+ contents in the urine, plasma and serum of *Seriola aureovittata* in the process of gradual salinity change

2.2.3 Cl^- 浓度变化

从盐度 29 随着盐度的降低过程中黄条鰺尿中 Cl^- 浓度呈降低趋势,各盐度梯度间均存在显著性差异($P < 0.05$)。血浆中 Cl^- 浓度从盐度 29 随着盐度的降低而降低,盐度 20 和 15 间 Cl^- 浓度差异不显著($P > 0.05$),盐度 5 时 Cl^- 浓度显著低于其他盐度($P < 0.05$)。血清中 Cl^- 浓度从盐度 29 随着盐度的降低呈降低规律,各盐度梯度间差异显著($P < 0.05$)。盐度从 29 向盐度 35 渐变时,黄条鰺尿 Cl^- 浓度有较小幅度升高,但仍有显著性差异($P < 0.05$);血浆和血清 Cl^- 浓度则呈现显著性升高($P < 0.05$)(图 5)。



注:不同字母(a,b,c,d,e)表示不同盐度梯度间 Cl^- 浓度有显著性差异($P < 0.05$)

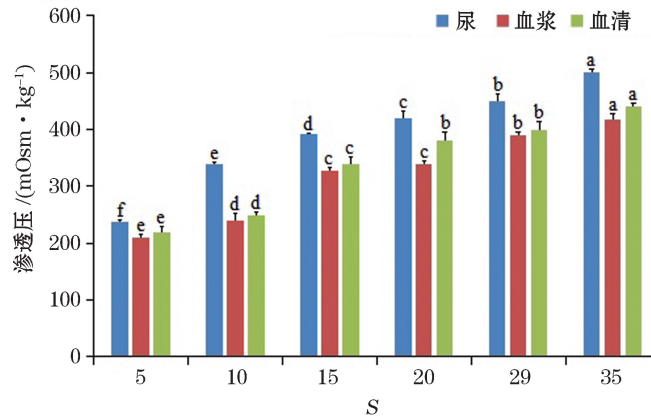
图 5 盐度渐变过程中黄条鰺尿、血浆、血清的 Cl^- 浓度变化

Fig.5 Changes of Cl^- contents in the urine, plasma and serum of *Seriola aureovittata* in the process of gradual salinity change

2.3 渗透压变化

由图 6 可见,盐度从 29 降低过程中黄条鰺尿的渗透压显著降低,各盐度梯度间差异显著($P < 0.05$)。盐度从 29 降低过程中黄条鰺血浆的渗透压也呈降低的变化趋势,在盐度 15,10,5 间有显著性差异($P < 0.05$),但在

盐度 20 和 15 间血浆的渗透压无显著性差异($P>0.05$)。盐度从 29 降到 20 黄条鰻血清的渗透压比较稳定,差异不显著($P>0.05$),随着盐度进一步的降低,血清渗透压出现显著性降低($P>0.05$)。盐度从 29 向盐度 35 渐变时,黄条鰻尿、血浆和血清的渗透压结果显示渗透压均显著升高($P<0.05$)。



注:不同字母表示不同盐度梯度间渗透压有显著性差异($P<0.05$)

图 6 盐度渐变过程中黄条鰻尿、血浆、血清的渗透压变化

Fig.6 Changes of osmotic pressure of the urine, plasma and serum of *Seriola aureovittata* in the process of gradual salinity change

3 讨 论

3.1 盐度渐变对黄条鰻幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

鱼类的鳃上皮细胞中具有 Na^+/K^+ -ATP 酶,它可以调节细胞膜离子通透性来维持离子及渗透压稳定。生活在等渗环境中的广盐性鱼类,其鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力较低^[5,13];当生活的水体盐度升高时,鱼类鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力也会随之升高。本研究中黄条鰻鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力随着黄条鰻生活水体盐度的下降,其鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力也降低;黄条鰻鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力在生活水体盐度升高过程中表现为逐渐升高。参考盐碱对大鳞鲂(*Barbus capito*)鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响分析^[14],我们推测在本研究中体内外渗透压差或离子浓度差较大促使黄条鰻提高了 Na^+/K^+ -ATP 酶的活力,进而排出过多的盐离子。在本研究中盐度 20 和对照组黄条鰻鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力无显著性差异,说明黄条鰻幼鱼在自然海水盐度 29 组中适应性很好,即在盐度 20~29 间均适宜黄条鰻幼鱼生存,这可能与黄条鰻的自然栖息、洄游环境有关。斑尾复鰕虎鱼(*Synechogobius ommaturus*)在盐度 5~35 范围内 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的变化呈现与本研究类似的变化规律,即在盐度 5~20 时鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力较低,随着盐度的逐渐升高,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力随之上升^[5]。点篮子鱼(*Siganus guttatus*)在 0~30 盐度范围内,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力变化也与黄条鰻幼鱼有相似的特征^[15]。在本研究中,盐度 5 时黄条鰻幼鱼出现侧倒,反应能力降低,表现出不适应当前渗透压环境,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力急剧降低,这可能是低盐度胁迫导致 Na^+/K^+ -ATP 酶活力出现不可逆的变化。

3.2 盐度渐变对黄条鰻幼鱼渗透压、离子浓度及存活率的影响

黄条鰻幼鱼进入高渗水体环境后,因为黄条鰻幼鱼渗透压低于当前生活水体的渗透压,黄条鰻幼鱼发生被动失水,因此需要大量吞饮海水来补偿失去的水分,在这个过程中同时摄入了大量无机离子,提高了离子

浓度和渗透压;离子和渗透压的提高进一步引起鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力升高,进而加强离子外排作用,排除过多的 Na^+ 、 Cl^- ,维持离子浓度和渗透压稳定。在其他一些鱼类中也发现相似的规律,包括很多原始鱼类如鲟类和进化的硬骨鱼类^[16]。盐度降低时黄条鲷幼鱼会被动吸水,离子浓度、渗透压均呈降低趋势,高渗透调节机制受到抑制,黄条鲷停止吞饮海水,增加尿量、排出被动吸取的多余水分,并从吞饮的海水中吸收 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 等离子,相应的 Na^+/K^+ -ATP 酶活力也降低, Na^+ 、 Cl^- 的排出量降低,从而维持自身的渗透平衡。当黄条鲷幼鱼渗透压升高时,体液中 Na^+ 和 Cl^- 浓度也随之升高,并且有较大幅度的提高, K^+ 浓度并未出现较大波动,其变化与 Na^+ 、 Cl^- 浓度变化相比不显著,说明 Na^+ 、 Cl^- 对渗透压的影响较大;这与赵峰等^[17]对史氏鲟(*Acipenser schrenckii*)以及税春等^[5]对斑尾复鰕虎鱼的研究结果一致,表明了黄条鲷幼鱼在离子调控方面具有较强的适应性,能够适应较大幅度的盐度变化。

在当前研究中除了盐度 5 外其余 5 个盐度黄条鲷幼鱼均未出现行为活动异常,在各实验盐度梯度黄条鲷幼鱼存活率均为 100%。盐度到达 5 后,部分黄条鲷幼鱼的体色变深,鱼体出现侧倒,活动能力和反应能力降低。章龙珍等^[15]研究了 5 个盐度对点篮子鱼血清渗透压、离子浓度及存活率的影响,发现低盐度 5 时实验鱼行为正常;这表明黄条鲷和点篮子鱼对盐度的适应能力存在差异。

参考文献 (References):

- [1] VARGAS-CHACOFF L, SAAVEDRA E, OYARZUN R, et al. Effects on the metabolism, growth, digestive capacity and osmoregulation of juvenile of Sub-Antarctic Notothenioid fish *Eleginops maclovinus* acclimated at different salinities[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2015, 6(41): 1369-1381.
- [2] XIE Z H. Studies on fish osmoregulation[J]. *Bulletin of Biology*, 2002, 37(5): 22-23. 谢志浩. 鱼类的渗透压调节[J]. *生物学通报*, 2002, 37(5): 22-23.
- [3] TOMAS A, BERGLJOT M, BJORN B, et al. Effects of salinity and temperature on growth, plasma ions, cortisol and immune parameters of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) [J]. *Aquaculture*, 2013, 380-383: 70-79.
- [4] DANIEL E S, PETER J A. Effects of salinity on growth and ion regulation of juvenile alligator gar *Atractosteus spatula* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2014, 169: 44-50.
- [5] SHUI C, SHI Y H, HUA X M, et al. Effects of gradual salinity change on plasma osmolality, ions and gill Na^+/K^+ -ATPase activity of goby (*Synechogobius ommaturus* Richardson) young fish [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2014, 40(1): 67-71. 税春, 施永海, 华雪铭, 等. 盐度渐变对斑尾复鰕虎鱼幼鱼血清渗透压和离子浓度及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响 [J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2014, 40(1): 67-71.
- [6] PATEL A, DETTLEFF P, HERNANDEZ E, et al. A comprehensive transcriptome of early development in yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) [J]. *Molecular Ecology Resources*, 2016, 16(1): 364-376.
- [7] LIU X Z, XU Y J, LI R, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition of the muscle of Yellowtail kingfish (*Seriola aureovittata*) [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(1): 128-135. 柳学周, 徐永江, 李荣, 等. 黄条鲷(*Seriola aureovittata*)肌肉营养成分分析与评价 [J]. *渔业科学进展*, 2017, 38(1): 128-135.
- [8] SHI B, LIU Y S, LIU X Z, et al. Study on the karyotype of Yellowtail kingfish (*Seriola aureovittata*) [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(1): 136-141. 史宝, 刘永山, 柳学周, 等. 黄条鲷(*Seriola aureovittata*)染色体核型分析 [J]. *渔业科学进展*, 2017, 38(1): 136-141.
- [9] LI R, XU Y J, LIU X Z, et al. Morphometric analysis and internal anatomy of Yellowtail Kingfish (*Seriola aureovittata*) [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(1): 142-149. 李荣, 徐永江, 柳学周, 等. 黄条鲷(*Seriola aureovittata*)形态度量与内部结构特征 [J]. *渔业科学进展*, 2017, 38(1): 142-149.
- [10] CHRISTENSEN E A, SVENDSEN M B B, STEFFENSEN J F. Plasma osmolality and oxygen consumption of perch *Perca fluviatilis* in response to different salinities and temperatures [J]. *Journal of Fish Biology*, 2017, 90: 819-833.
- [11] VARGAS-CHACOFF L, SAAVEDRA E, OYARZUN R, et al. Effects on the metabolism, growth, digestive capacity and osmoregulation of juvenile of sub-antarctic notothenioid fish *Eleginops maclovinus* acclimated at different salinities [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2015, 41: 1369-1381.
- [12] LINHART O, WALFORD J, SIVALOGANATHAN B, et al. Effects of osmolality and ions on the motility of stripped and testicular sperm of freshwater- and seawater-acclimated tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1999, 55(6): 1344-1358.

- [13] ABRAHAM M, IGER Y, ZHANG L. Fine structure of the skin cells of a stenohaline freshwater fish *Cyprinus carpio* exposed to diluted seawater[J]. *Tissue & Cell*, 2001, 33(1): 46-54.
- [14] MANCERA J M, MCCORMIC S D. Rapid activation of gill Na^+/K^+ -ATPase in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*[J]. *Journal of Experimental Zoology*, 2000, 287(4): 263-274.
- [15] ZHANG L Z, LUO J G, ZHAO F, et al. Influence of salinity on serum osmolarity ion content and gill Na^+/K^+ -ATPase activity of *Siganus guttatus*[J]. *Marine Fisheries*, 2015, 37(5): 449-456. 章龙珍, 罗集光, 赵峰, 等. 盐度对点篮子鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响[J]. *海洋渔业*, 2015, 37(5): 449-456.
- [16] EDWARDS S L, MARSHALL W S. Principles and patterns of osmoregulation and euryhalinity in fishes[J]. *Fish Physiology*, 2012, 32: 1-44.
- [17] ZHAN F, ZHAUNG P, ZHANG L Z, et al. Influence of salinity on gill Na^+/K^+ -ATPase activity serum osmolarity and ion content of *Acipenser schrenckii*[J]. *Fishery Journal*, 2006, 30(4): 444-449. 赵峰, 庄平, 章龙珍, 等. 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[J]. *水产学报*, 2006, 30(4): 444-449.

Effects of Gradual Salinity Change on Osmotic Regulation of Juvenile Yellowtail Kingfish (*Seriola aureovittata*)

SHI Bao^{1,2}, LIU Xue-zhou^{1,2}, LIU Yong-shan¹, ZHANG Yan-xiang³, GAO Quan-yi³,
XU Yong-jiang^{1,2}, WANG Bin^{1,2}, JIANG Yan^{1,2}, SONG Xue-song¹

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266071, China;

3. Dalian Fugu Fishery Co., Ltd., Dalian 116400, China)

Abstract: *Seriola aureovittata* is a kind of seawater fish with important ecological and economic value. In order to understand the influence of gradual salinity change on osmotic regulation of juvenile *Seriola aureovittata*, 6 salinity gradient points are set up, which are the natural seawater with salinity of 29 (i.e. the control group) and the seawater with salinity of 5, 10, 15, 20 and 35 respectively, and the gill Na^+/K^+ -ATPase activity, ion concentration and osmotic pressure of the juvenile *Seriola aureovittata* are detected and analyzed under the conditions of different salinity. In the process of salinity decreasing from 29, the gill Na^+/K^+ -ATPase activity, the ion concentration and the osmotic pressure present a similar law, that is, all showing an overall downward trend with the decreasing of salinity. When salinity goes up from 29 to 35, only the contents of K^+ in urine and plasma show no significant changes ($P > 0.05$) and all the rest detected indexes are increased significantly ($P < 0.05$). All these results have revealed that the salinity 29 of the natural seawater for *Seriola aureovittata* to survive and propagate is an optimal salinity for juvenile *Seriola aureovittata* to survive. In the case of slightly lower salinity 20~29 the juvenile fishes can also adapt quickly. All these indicate that in the process of salinity change the juvenile *Seriola aureovittata* has strong adjusting ability to the change of external salinity.

Key words: *Seriola aureovittata*; gradual salinity change; osmotic pressure; Na^+/K^+ -ATPase activity; ion concentration

Received: June 11, 2018