

DOI: 10.5846/stxb201303190450

区又君, 范春燕, 李加儿, 于娜. 盐度对卵形鲳鲹幼鱼渗透压调节和饥饿失重的影响. 生态学报, 2014, 34(24): 7436-7443.

Ou Y J, Fan C Y, Li J E, Yu N. Effects of salinity on the osmoregulation and weight loss from starvation in *Trachinotus ovatus* juvenile. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(24): 7436-7443.

盐度对卵形鲳鲹幼鱼渗透压调节和饥饿失重的影响

区又君^{1,*}, 范春燕^{1,2}, 李加儿¹, 于娜^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广州 510300;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:为探讨盐度对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)渗透压调节的影响,研究了深水网箱养殖的卵形鲳鲹幼鱼鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶(NKA)活性,血浆、鳃和肾渗透压以及饥饿失重在盐度渐变条件下的反应。实验设 5 个盐度梯度组,分别为 5、15、25、30 和 35。结果显示,鳃 NKA 活性除盐度 15 外都呈先下降后升高随之回落并趋于稳定的趋势,在 2 d 后的各时间节点随盐度变化呈“U”型分布;血浆渗透压在相同盐度下随时间延长呈先升高后下降再升高随后回落并趋于稳定,2 d 后在各时间节点与盐度呈正相关关系,盐度 30 和 35 组的血浆渗透压显著高于其它盐度组($P < 0.05$);肾脏对盐度变化的渗透调节比鳃敏感,在低盐度时(30 以下),鳃和肾共同完成对渗透压的调节,在较高盐度(30 以上),肾对渗透压的调节起主导作用。盐度变化对卵形鲳鲹的饥饿失重率有极显著的影响。研究表明,卵形鲳鲹幼鱼对盐度的渗透调节能力较强,在盐度 5—35 范围内的盐度变化均能适应,一般在 1—2 d 内可达到稳定,且更适于在低盐度水环境中生活。

关键词:卵形鲳鲹;盐度渐变; Na^+/K^+ -ATP 酶;渗透压;饥饿失重

Effects of salinity on the osmoregulation and weight loss from starvation in *Trachinotus ovatus* juvenile

OU Youjun^{1,*}, FAN Chunyan^{1,2}, LI Jiaer¹, YU Na^{1,2}

1 Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Guangzhou 510300, China

2 College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Effects of gradual salinity changes on the gill NKA activities, plasma, gill, and kidney osmolarity and weight losing rate from starvation of *Trachinotus ovatus* juvenile reared in the deep water net-cage were studied in order to understand the mechanism of osmoregulatory adaptation in this fish. Experimental fish with the mean total length of (8.058 ± 0.843) cm and body mass of (9.010 ± 1.537) g were reared in the glass aquariums (80 cm×40 cm×50 cm) with five salinity treatments in triplicate, including 5, 15, 25, 30 and 35 ‰. The water temperature and dissolved oxygen were maintained at (30 ± 3) °C and (6.5 ± 0.3) mg/L throughout the experiment, and the pH varied from 8.0 to 8.8 as the changes of salinity. On 12 days after transferring to the target salinities, the survival rates of the juveniles in treatments of salinity 5, 25 and 35 were 87.14%, 95.71% and 88.86%, respectively, and no mortalities were recorded in the treatment of salinity 15 and 30. Gill NKA activities of fish from the salinity of 5, 25, 30 and 35 decreased at the beginning of the trial and then increased and decreased afterwards, and maintained at stable levels. After accumulated in the target salinities two days, the gill NKA activities followed a “U”-shape developmental trends with salinity change at the same time. NKA activities were found stable in both control (salinity 30) and the salinity of 25 treatments, indicating a stronger adaptive

基金项目:国家“863”项目(2006AA10A414);中国水产科学研究院基本科研业务费资助项目(2012A0401,2013A0501)

收稿日期:2013-03-19; 网络出版日期:2014-03-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ouyoujun@126.com

capacity of fish to lower salinity than that to the higher salinity. Plasma osmolarity was sensible to salinity changes, increased at the beginning of the trial and then decreased and increased afterwards and then decreased, and maintained at stable levels at the same salinity. Significant changes in plasma osmolarity were found in all the salinity treatments at the first two days of the experiment ($P < 0.05$) varying within wide limits in high salinity treatment than that in low ones. The variations of the plasma osmolarity were significantly higher in the salinity treatments of 30 and 35 ($P < 0.05$). Afterwards, the relationship between plasma osmolarity and the salinity were positively correlated in all the treatments at the same time. Osmoregulation in gills was sensitive to lower salinity changes, and the variations were found bigger in the salinity of 5 and 15, but relative stable in the salinity of 25, 30 and 35. This may suggest that gill play an important role in osmoregulation of fish in the lower salinity environment than that in higher salinity. Osmolarity in gill was gradually stabilized after one-day accumulation in the target salinity, and showed “U” - shape development trends with the changing of salinity, and no significant differences were found in all the treatments ($P > 0.05$). Kidney was more sensitive to salinity changing than gill in terms of osmoregulation. Osmolarity in the kidney was stable after two day's change of salinity, and was positively correlated to the changing of salinity at the same time. Osmoregulation was coordinated by both gill and kidney in lower salinities ($< 30‰$), and kidney played a leading role in the regulation at higher salinities ($> 30‰$). Salinity changes significantly affect the weight losing rate in the starved *T. ovatus*. Minimum weight losing rate was recorded at the salinity of 25, and maximum weight losing rate was found in the 5 and 35 salinity treatments. In conclusion, the salinity osmoregulatory ability of juvenile *T. ovatus* was relatively strong, and can be adapted in the salinity ranging from 5 to 35. Stabilization can be established within 1—2 days after salinity changed, and low salinity waters are preferable in juvenile *T. ovatus*.

Key Words: *Trachinotus ovatus*; salinity gradual change; $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ activity; osmolarity; weight loss from starvation

卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 是暖水性中上层鱼类,广泛分布于从红海-东非到马绍尔群岛、萨摩亚群岛之间的印度-太平洋海域,北到日本的南端,南到澳大利亚都是其分布区域;在我国,卵形鲳鲹主要生活于南海、东海和黄海,是我国华南地区养殖产业规模最大、产量最高的主导品种之一。卵形鲳鲹为广盐暖水性中上层鱼类,适盐范围广,在海水和咸淡水水域都能生活,因此养殖范围越来越广,规模越来越大。但是,盐度是重要的水环境生态因子,即使是广盐性鱼类,其对生活于水中的鱼类机体渗透压、酶、激素、呼吸代谢、免疫、生长、存活、甚至肌肉品质等各方面仍然产生重要的影响,若养殖过程处理不当,会产生不利于鱼体存活的应激作用。鱼类对盐度变化的耐受性取决于其渗透压调节能力以及与提供能量支持有关的代谢重组^[1],鱼体必须适应其体内水分流失和盐分增加的趋势。鳃和肾是广盐性硬骨鱼类调控渗透压和离子的重要器官,鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶 ($\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$, NKA) 活性可启动膜蛋白运输及离子通道来维持细胞内环境,在机体的渗透压调节和离子平衡上发挥重要作用^[2]。不同鱼类在不

同环境中的渗透调节反应不同,依据 NKA 变化可将广盐性硬骨鱼类分为高渗环境高 NKA 活性和低渗环境高 NKA 活性两类。许多学者研究认为,在自然环境中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,与外界水环境往往有很大的差别^[3]。

目前,国内外学者对卵形鲳鲹的繁殖、发育、养殖、良种选育、营养、病害、基础生物学、生理生态等方面已进行了较深入、系统的研究^[4-12],范春燕等^[13]研究了急性盐度胁迫对卵形鲳鲹幼鱼 NKA 酶活性和渗透压的影响,结果表明盐度突变可导致其鳃 NKA 酶活力,血清、鳃丝和肾脏渗透压发生变化。本文研究盐度渐变对血浆、鳃和肾渗透压, NKA 酶活力以及饥饿失重的影响,探讨盐度对深水网箱养殖的卵形鲳鲹幼鱼渗透调节的影响,以为卵形鲳鲹的养殖生产提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用鱼为作者在广东饶平县深水网箱养殖的

卵形鲳鲹幼鱼, 全长 (8.058 ± 0.843) cm, 体质量 (9.010 ± 1.537) g。挑选规格相似的健康幼鱼进行实验。

1.2 实验条件

幼鱼在水泥池中暂养 14 d。暂养池规格为 $4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 用水量为 15 m^3 。暂养用水为砂滤的自然海水, 盐度 30, 每天换水 1 次, 换水量为 30%。每天投喂 3 次, 早、午、晚各 1 次, 日投饵量为鱼体质量的 2%。

实验容器为 $80 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的长方形水族箱, 实验用水由经曝气的自来水、海水和海盐按比例调配而成, 使用前用手持折射盐度计 (ATC 上海) 进行校准。每天用水质分析仪 (HACH DR/890 美国) 测定水质状况, 保持水温 (30 ± 3) $^{\circ}\text{C}$, 溶解氧 (6.5 ± 0.3) mg/L, pH 值随盐度变化范围为 8.0—8.8, 实验过程中保持水质条件基本一致。

1.3 实验设计

1.3.1 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活性和渗透压测定实验

以自然海水组 (盐度 30) 为对照组, 盐度 5、15、25、35 为实验组, 每组 3 个平行, 每个平行 40 尾鱼。从盐度 30 转入低盐度水体时, 因为卵形鲳鲹对低盐度的适应性较快, 将幼鱼在 1 d 内过渡到各低盐度组中; 转入高盐度水体时, 以每天升高盐度 3 的速度升到盐度 35; 各组达到所需盐度后正式开始实验。实验开始前一天不投喂, 以便准确测量体重。分别在实验开始后的 0 h、1 h、6 h、12 h、1 d、2 d、4 d、6 d、9 d、12 d 采集幼鱼样品, 每个平行随机取 3 尾鱼, 采集组织样本用于测定鳃 NKA 酶活性, 血浆、鳃、肾渗透压。实验期间正常投喂, 每天投喂 3 次, 日投饵量为鱼体质量的 2%, 实验为期 12 d。

1.3.2 饥饿失重实验

设 5 个盐度, 分别为 5、15、25、30、35。每个盐度组设 3 个平行, 每个平行 10 尾鱼。实验前一天及实验期间禁食。实验开始时, 将幼鱼从暂养池捞出, 用适量丁香酚麻醉, 迅速测量其体长、体质量, 之后直接转移到各盐度水体中。饥饿一周后, 测定其最终体质量。

1.4 样品制备

幼鱼用适量丁香酚麻醉, 使其在 30 s 内昏迷, 减少应激反应产生的误差。每尾鱼为 1 个样本, 每个平行取 3 尾鱼, 将鱼的胸腔小心剖开, 用肝素钠润洗

过的 1 ml 注射器取心脏血, 10000 r/min 离心 20 min, 取上清液立即测定血浆渗透压。

抽血后取第二鳃弓上的鳃丝, 于预冷的 ATP 酶提取液 (25 mmol/L TrisHCl, 0.125 mmol/L 蔗糖, 20 mmol/L EDTA Na_2 , 0.14% 脱氧胆酸钠, pH 值为 7.5) 中冰浴, 用玻璃匀浆器匀浆, -80°C 保存用于测定 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活性。

取鳃和肾脏用于测定其渗透压。

1.5 渗透压与 NKA 活性测定方法

用露点渗透压仪 (Vapro5520 型) 测定鳃、肾、血浆渗透压。渗透压用质量渗透浓度来表示, 即 1 kg 溶剂中含 1 mmol 溶质为一个渗透压单位 (mOsm/kg)。

将鳃丝匀浆液于 4°C 下 10000 r/min 离心 20 min, 用南京建成生物工程研究所超微量 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 测定试剂盒测定, 以每小时每毫克鳃组织蛋白中 ATPase 分解 ATP 产生 $1 \mu\text{mol}$ 无机磷的量为 1 个 ATP 酶活力单位 ($\mu\text{mol Pi mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)。NKA 酶液蛋白含量用南京建成生物工程研究所考马斯亮蓝测定试剂盒测定 (g/L), 即每升鳃组织溶液中所含蛋白质的量。

1.6 数据分析

实验数据用平均值 $\pm$ 标准差表示, 采用 SPSS13.0 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 多重比较进行统计比较。卵形鲳鲹幼鱼在饥饿实验期间的失重率 (%) = $(W_1 - W_2) \times 100 / W_1$, 式中 W_1 、 W_2 分别为实验开始和结束的幼鱼体质量即初始体质量和终体质量, 用方差分析进行统计。

2 结果

2.1 盐度对卵形鲳鲹幼鱼存活的影响

幼鱼转入各盐度组后, 各组存活率不同, 到实验结束时, 盐度组 5、25、35 的存活率分别为 87.14%、95.71%、88.86%, 其它盐度组实验期间无死亡, 各組间存活率差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 盐度对鳃 NKA 活性的影响

如图 1 所示, 鳃 NKA 活性除盐度 15 外都呈先下降后升高随之回落并趋于稳定的趋势。盐度 30 组 (对照组) 的 NKA 活力变化相对平稳, 随着时间的增加, NKA 活性没有显著差异 ($P > 0.05$)。盐度 5、

25、35 组的 NKA 酶活力在开始时都有所降低;盐度 5 组 NKA 酶活力在 6 h 时达到峰值,显著高于 1 h、12 h、1 d、2 d ($P < 0.05$),在 1 d 时降到最低值,之后变化平稳 ($P > 0.05$);盐度 25 组 NKA 活性在最初的 1 h 内下降,然后在 6 h 时升到最高值,之后又降低,在第 1 d 时达到最低值,然后开始回升,之后的各时间段 NKA 活性无显著差异 ($P > 0.05$);盐度 35 组 NKA 活性在最初下降之后随着时间延长而逐渐上升,在 2 d 时升到最高值 ($P < 0.05$),随后再降低,4 d 后变化平稳 ($P > 0.05$)。盐度 15 组在开始时,NKA 活性升高,在 6 h 时达到最大值 ($P < 0.05$),随后酶活性回落到最初值。

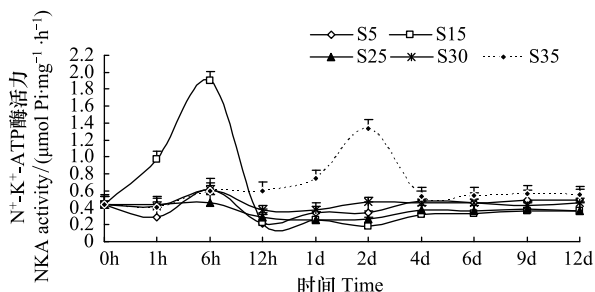


图1 盐度对卵形鲳鲹幼鱼鳃 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活性的影响

Fig.1 Effect of salinity on $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ activity in gill of young *T. ovatus*

全部盐度组的 NKA 酶活力从第 4 天开始达到相对稳定的状态。相同处理时间的各盐度组之间存在差异;在实验开始后第 1 小时,盐度 15 组的酶活性显著高于其它盐度组 ($P < 0.05$);在 6 h、1 d、9 d、12 d 时,各盐度组 NKA 活性无显著差异 ($P > 0.05$);在 12 h 时,盐度 35 组的 NKA 活性最高,并显著高于盐度 5、15、25 组;在 2 d 时,随着盐度的增加,NKA 活性增大,在盐度 35 时达到最大值;在 2 d 之后的各时间节点,随盐度升高 NKA 活性呈“U”型分布。

总体上看,除对照组外,盐度 25 组的 NKA 酶活力最稳定。

2.3 盐度对血浆渗透压的影响

如图 2 所示,在相同盐度下血浆渗透压随时间的变化各不相同,并且随时间延长呈先升高后下降再升高随后回落并趋于稳定。在最初的 1 h,各盐度血浆渗透压均显著升高 ($P < 0.05$),达到第 1 峰值,在 6 h 时有所回落;除盐度 5、25 组在 12 h 继续下降之外,其他盐度组在 12 h 时升到第 2 峰值 ($P < 0.05$);盐度 30、35 组在 1 d 达到最低值 ($P < 0.05$)

之后开始回升;盐度 5 和 25 组在 4 d 降到最低值;各盐度组从 2 d 开始,血浆渗透压开始稳定 ($P > 0.05$)。盐度 15 组在 12 h 后血浆渗透压开始回落,在 6 d 时达到最低值,并显著低于 6 h、12 h、1 d、2 d。

在不同时间节点各盐度组之间,盐度对血浆渗透压的影响也不同。在 1 h 时,盐度对血浆渗透压有显著影响,血浆渗透压随盐度增加而升高,各组之间差异显著 ($P < 0.05$);在 6 h 时,血浆渗透压从大到小依次为盐度 25 > 5 > 30 > 15 > 35,各盐度组之间差异显著 ($P < 0.05$);在 12 h,盐度 30、35 组血浆渗透压显著高于其它盐度组 ($P < 0.05$),盐度 15 组显著高于盐度 5、25 组 ($P < 0.05$);在 1 d 时,除盐度 5、30 组之外,各盐度组之间差异显著 ($P < 0.05$),盐度 25 组血浆渗透压最高;在 2 d 时,盐度 15 组血浆渗透压最高,盐度 5 组最低,各组之间差异显著 ($P < 0.05$)。在 2 d 之后的各时间节点,血浆渗透压随盐度的增加而增大,盐度 30、35 组显著高于其它盐度组 ($P < 0.05$)。

总体上看,各盐度组在 2 d 之前渗透压都有较大变化,其中高盐度组的渗透压变化幅度较低盐度组大。

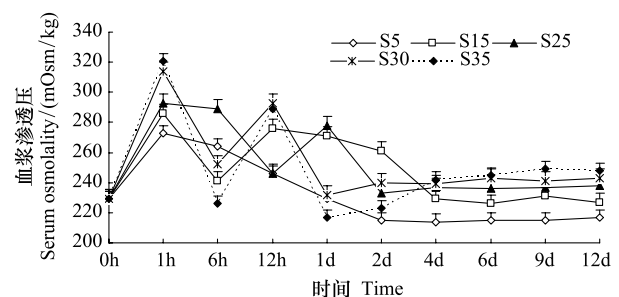


图2 盐度对卵形鲳鲹幼鱼血浆渗透压的影响

Fig.2 Effect of salinity on serum osmolality of young *T. ovatus*

2.4 盐度对鳃渗透压的影响

如图 3 所示,各盐度组鳃渗透压在最初的 1 h 都有所降低。盐度 5 组在 6 h 时降到最低点,显著低于除 1 h 外的其它时间段 ($P < 0.05$),在 1 d 时升到最高值,之后开始回落,从 2 d 到 12 d 的各时间段渗透压较稳定 ($P > 0.05$);盐度 15 组在之后的 12 h 内渗透压回升,在 12 h 升到最大值,但与之后的各时间段无显著性差异 ($P > 0.05$);盐度 25、30、35 组随时间增加渗透压无显著变化 ($P > 0.05$)。

在 0 h、1 h 时各盐度组鳃渗透压无显著性差异 ($P > 0.05$);在 6 h 时,随盐度的增加鳃渗透压逐渐增

加,盐度 35 组显著高于盐度 5 组 ($P < 0.05$);在 12 h 时,各盐度组渗透压无显著差异 ($P > 0.05$)。在随后的 12 d,除 4 d 时盐度 5 组显著高于盐度 15 组 ($P < 0.05$)外,其它时间节点鳃渗透压随盐度变化呈“U”型分布,但各组之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

总体上看,低盐度组的鳃渗透压变化较大,盐度 25、30、35 组的渗透压较稳定。

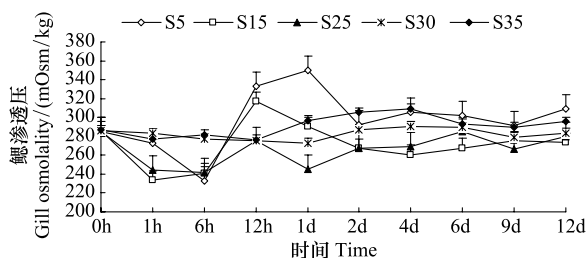


图3 盐度对卵形鲳鲹幼鱼鳃渗透压的影响

Fig.3 Effect of salinity on gill osmolality of young *T. ovatus*

2.5 盐度对肾渗透压的影响

如图4所示,盐度为30的对照组肾渗透压变化平稳,随时间延长无显著变化 ($P > 0.05$)。盐度5、15、25、35组在最初的12 h内肾渗透压呈先下降后升高再下降的趋势,除盐度5组在2 d时渗透压降低,其它盐度组在2 d内都有所回升,之后各盐度组随时间的增加渗透压变化稳定 ($P > 0.05$)。

在1 h时,盐度25、30、35组肾渗透压显著高于盐度5组;在6 h时,各盐度组肾渗透压无显著差异 ($P > 0.05$);12 h时,盐度5组肾渗透压显著低于其它盐度组 ($P < 0.05$),其它盐度组之间无显著性差异 ($P > 0.05$);在1 d时,盐度35组肾渗透压明显高于盐度15、25、30组 ($P < 0.05$)。从第2天开始,各时间节点肾渗透压随盐度的变化趋势相似,随着盐度增加渗透压增大;从第4天开始,高盐度组30、35的渗透压显著高于低盐度组5和10的渗透压 ($P < 0.05$)。

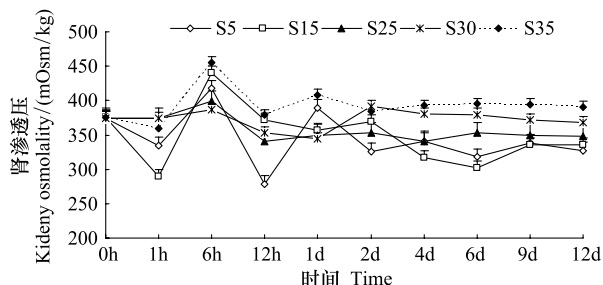


图4 盐度对卵形鲳鲹幼鱼肾渗透压的影响

Fig.4 Effect of salinity on kidney osmolality of young *T. ovatus*

2.6 饥饿失重

如图5所示,卵形鲳鲹幼鱼饥饿失重率随盐度变化呈“U”型分布,盐度35组显著高于除盐度5之外的其它盐度组 ($P < 0.05$),盐度25组最低。盐度5组显著高于盐度25组 ($P < 0.05$),而与盐度35之间无显著差异 ($P > 0.05$)。饥饿失重率在盐度15、25、30间无显著差异 ($P > 0.05$)。盐度极显著地影响卵形鲳鲹饥饿失重率 ($F = 6.52 > 5.99$, $df_1 = 4$, $df_2 = 10$, $P < 0.01$)。

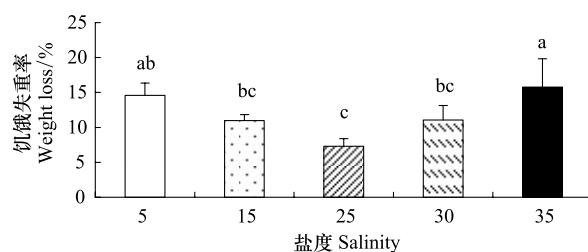


图5 盐度对卵形鲳鲹幼鱼饥饿失重的影响

Fig.5 Effect of salinity on weight losing rate from starvation of young *T. ovatus*

图标上方小写字母不同表示不同盐度组间差异显著 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 盐度对卵形鲳鲹幼鱼鳃 NKA 活性的影响

鱼类在水环境中生活,其调节渗透压能力的大小决定了鱼体对水环境的适应能力。鳃除了作为鱼类的呼吸器官外,在机体渗透调节和离子运输方面也起着重要的作用,其上的氯细胞含有丰富的 NKA。NKA 是横跨质膜的一种固有蛋白,可以催化 ATP 的末端磷酸水解,利用该反应中获得的能量来对抗离子的电化学梯度,泵出 Na^+ 及吸收 K^+ ,形成细胞内外电位势,启动二级膜蛋白运输及离子通道,以维持体内稳定的渗透压,当生存环境盐度发生改变时,鱼类鳃丝 NKA 活力变化显著,因此鳃 NKA 活性常作为鱼类渗透压调节强度大小的一个重要指标^[14-16]。

对鲢鱼 (*Müchthys müüy*)、褐牙鲈 (*Paralichthys olivaceus*)、俄罗斯鲟 (*Acipenser gueldenstaedtii*) 等幼鱼的研究表明,盐度对鳃丝 NKA 活性有极显著的影响^[16-18],并且各盐度的鳃丝 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力最后都达到相对稳定的值,在高渗环境中与盐度大小呈正比,在低渗环境中与盐度呈反比,本研究结果与之一致。卵形鲳鲹在转入高盐度或低盐度的水体中,都有较高的成活率,说明其对盐度变化有较高的

适应能力,渗透调节能力较强。盐度为 30 的对照组和盐度变化幅度较小的低盐度组 25 的 NKA 活性自始至终都较稳定,说明卵形鲳鲹幼鱼很快就适应了盐度从 30 降至 25 的变化,而高盐度组 35 和变化幅度较大的低盐度组 15、5 的 NKA 活性则变化较大,尤其是盐度 35 组在第 4 天才趋于稳定,说明卵形鲳鲹幼鱼对于高盐度的适应能力较之低盐度差,需要较长时间的渗透调节,而盐度 15 和 5 组相比于盐度 25 组的渗透调节难度加大,同时也表明卵形鲳鲹幼鱼的 NKA 对高盐度变化和较低盐度变化较敏感,在渗透调节中发挥重要作用,调节水环境盐度变化的适应能力较强。当 NKA 活性最终达到稳定后,酶活性恢复到初始水平,并且随盐度升高和降低而呈“U”型分布,属于广盐性硬骨鱼类的“高渗环境高 NKA 活性”类型。然而,半滑舌鲷 (*Cynoglossus semilaevis*) 的鳃丝 NKA 活性稳定后基本与环境中盐度呈正相关,鲮鱼 (*Mugil cephalus*) NKA 活性随盐度梯度呈“∩”型分布,这可能与不同鱼类的渗透调节能力和调节方式不同甚至是种间差异有关^[19-20]。

3.2 盐度对卵形鲳鲹幼鱼渗透压的影响

本研究结果表明,盐度对卵形鲳鲹幼鱼血浆渗透压有显著影响,在盐度变化最初 1 h,各盐度组血浆渗透压都显著升高,在 2 d 之前渗透压都有较大变化,其中高盐度组的渗透压变化幅度较低盐度组大,2 d 后处于稳定状态;同一时间节点不同盐度组之间,在 1 h 和 2 d 之后,血浆渗透压与盐度呈正相关关系,高盐度组 30、35 显著高于低盐度组。不同种类对内环境渗透压变化范围的要求会略有不同,但普遍符合血浆渗透压与盐度之间呈正相关这一关系,本研究结果与这一规律基本相似。已有研究表明,盐度突变导致施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 幼鱼的血浆渗透压升高^[21],半滑舌鲷在盐度突变后 2 d 内,血液渗透压随盐度的升高和降低而变化,之后逐渐恢复^[19,22],褐牙鲈幼鱼在不同盐度日变幅的盐度驯化过程中,血清渗透压随驯化到的盐度提高而上升^[23],这与本实验结果是一致的。幼鱼进入到高渗环境中,其血浆渗透压低于水体渗透压,为补偿鱼体被动失去的水分,幼鱼大量吞饮海水,同时也摄入大量离子,这些离子通过肠道吸收进入血液,血浆中离子浓度增高,渗透压也随之增高。研究结果表明卵形鲳鲹幼鱼对盐度的适应性很强,血浆渗透压对盐

度的变化很敏感。

鱼类渗透浓度的调节主要是通过肾脏、鳃等器官来完成的,为了维持体液离子浓度和渗透压平衡,鱼类形成了较高级的渗透压调节机制。在低盐度水体中,环境渗透压低于鱼体的体液渗透压,鱼会被动吸收过多的水分并丢失离子,此时鱼类通过肾脏排出低渗尿和增加鳃对离子 (Na^+ 和 Cl^-) 的摄入来维持体液渗透平衡。而在高盐度水体中,环境渗透压高于体液渗透压,鱼会通过体表和鳃被动丢失水分,为了抵抗体内水分的丢失,鱼会通过大量吞饮高盐度海水,在保存水分的同时,由鳃上的氯细胞排出被动摄入的过多一价离子 (Na^+ 和 Cl^-),肾排出二价离子 (Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+}) 和少量水分,从而维持体液的渗透平衡^[13,24-25]。然而,目前对鱼类鳃和肾的渗透压调节机理研究得并不多,范春燕等^[13]研究了急性盐度胁迫对卵形鲳鲹幼鱼鳃丝和肾脏渗透压的影响,研究表明鳃丝和肾脏渗透压可明显受到盐度突变影响。本研究卵形鲳鲹幼鱼对盐度渐变的适应过程中,鳃丝 NKA 的变化与血浆渗透压的变化相比具有明显的滞后性,表明卵形鲳鲹幼鱼的渗透调节并不是完全由鳃 NKA 来完成的,还有其他器官对渗透压进行调节。低盐度组的鳃渗透压变化较大,盐度 25、30、35 组的渗透压较稳定,表明卵形鲳鲹幼鱼鳃渗透压对低盐度变化较敏感,同时也说明在低盐度环境下,鳃对鱼体渗透压的调节作用大于在高盐度的环境下。在盐度变化 1 d 之后,鳃渗透压逐渐趋于稳定,各盐度组之间的渗透压也无显著差异,随盐度变化呈“U”型分布,表明卵形鲳鲹已开始适应了各盐度的变化并处于正常状态。

肾渗透压除对照组外,其他盐度组随时间而有较大变化,与鳃 NKA 活性变化趋势一致,2 d 后趋于稳定状态,同一时间节点不同盐度组之间,肾渗透压大小与盐度呈正相关关系,说明肾脏在卵形鲳鲹幼鱼的渗透调节过程中同样起着重要的作用,其对盐度的变化比鳃敏感,在低盐度时 (30 以下),渗透调节器官鳃和肾共同完成对渗透压的调节,在较高盐度 (30 以上),肾对渗透压的调节起主导作用。在进入低盐度 5 组开始的 1 h 内,肾脏的渗透调节机制立即被激活,肾脏渗透压急速下降,符合广盐性鱼类进入低渗水体环境的调节规律;幼鱼进入高盐度 35 组后,与其它盐度组相比,肾渗透压一直维持在一个较

高的水平,说明肾脏需排出较多的二价离子,而水分含量较少。与本研究结果不同的是,范春燕等^[13]的研究表明,卵形鲳鲹幼鱼在急性盐度胁迫下,低盐度(5、10)时鳃和肾共同完成对渗透压的调节,在其他盐度鳃对渗透压的调节起主导作用,这说明卵形鲳鲹幼鱼在不同的盐度突变、渐变等变化方式下具有不同的渗透调节机制。

3.3 盐度对卵形鲳鲹幼鱼饥饿失重的影响

在饥饿状态下,鱼类无法从食物中获得必要的物质和能量,只能动用自身的营养物质来满足机体的能量代谢和维持生命活动所需,饥饿一段时间后,体重会减轻^[26]。体质量在一定程度上可以反映鱼类在饥饿过程中对自身营养物质的消耗^[27]。本研究表明,盐度对卵形鲳鲹在饥饿状态下的体重损失有着明显的影响,在盐度 25 时,体重减轻最少,盐度 5 和 35 时,体重损失最大,说明在较高和较低盐度时,鱼体消耗的营养物质和能量较多,在高于等渗点的高渗环境和低于等渗点的低渗环境,鱼体必须消耗较多能量来维持体内外的渗透压平衡,同时,不同盐度下鱼体代谢所需的能量也不同,因此,饥饿状态下盐度变化越大,体重损失也越大。

3.4 鱼类对环境盐度的适应机制

本研究结果表明,卵形鲳鲹幼鱼已具有较强的渗透调节能力,对盐度变化适应能力较强,在盐度 5—35 范围内的盐度变化均能适应,一般在 1—2 d 内可达到稳定,且更适于在低盐度水环境中生活。

广盐性鱼类在较大的盐度变化范围内,能够维持一个相对稳定的渗透压,但在盐度变化初期会有一个适应的过程,导致渗透压在这个过程中发生变化,当鱼体已经适应了外环境盐度的变化后,其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,这个重新适应后的内环境渗透压可能依外环境盐度的不同而有所差异,达到内外环境的平衡,而 Na^+/K^+ -ATP 酶活性则回复到初始水平。狭盐性鱼类由于不能适应外环境盐度的较大变化,渗透压无法达到稳定状态,最终导致死亡。鱼类适应盐度变化的能力越强,则渗透压调节时间越短,达到稳定的时间越快。

References:

[1] Jarvis P L, Ballantyne J S. Metabolic responses to salinity acclimation in juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*.

Aquaculture, 2003, 219(1/4): 891-909.

- [2] Evans D H, Piermarini P M, Choe K P. The multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews*, 2005, 85(1): 97-177.
- [3] Van der Linden A, Vanaudenhove M, Verhoye M, De Boeck G, Blust R. Osmoregulation of the common carp (*Cyprinus carpio*) when exposed to an osmotic challenge assessed *in-vivo* and non-invasively by diffusion-and T_2 -weighted magnetic resonance imaging. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 1999, 124(3): 343-352.
- [4] Cai W C, Ou Y J, Li J E, Sun P. Development of immune organs at early stages of *Trachinotus ovatus*. *South China Fisheries Science*, 2012, 8(5): 39-45.
- [5] Ou Y J, Luo Q, Li J E. Distribution and cryopreservation of alkaline phosphatase (AKP) and acid phosphatase (ACP) in *Trachinotus ovatus*. *South China Fisheries Science*, 2011, 7(2): 49-54.
- [6] Xu H D, Feng J, Guo Z X, Qu Y J, Wang J Y. Detection of red-spotted grouper nervous necrosis virus by loop-mediated isothermal amplification. *Journal of Virological Methods*, 2010, 163(1): 123-128.
- [7] Pero T, Nikša Ć, Valter K, Skaramuca B, Glamuzina B. Preliminary information on feeding and growth of pompano, *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758) (Pisces; Carangidae) in captivity. *Aquaculture International*, 2004, 12(4-5): 387-393.
- [8] Sparks J S, Dunlap P V, Smith W L. Evolution and diversification of a sexually dimorphic luminescent system in ponyfishes (Teleostei; Leiognathidae), including diagnoses for two new genera. *Cladistics*, 2005, 21(4): 305-327.
- [9] Huang Z, Lin H Z, Niu J, Lv G M, Chen X, Chen M Q. Effects of dietary inositol on growth, feed utilization and blood biochemical index of juvenile pompano (*Trachinotus ovatus*). *South China Fisheries Science*, 2011, 7(3): 39-44.
- [10] Chen W L, Bonillo C, Lecointre G. Repeatability of clades as a criterion of reliability: a case study for molecular phylogeny of Acanthomorpha (Teleostei) with larger number of taxa. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2003, 26(2): 262-288.
- [11] Wang G, Li J E, Ou Y J, Wang J X. Effects of temperature, salinity and pH on oxygen consumption of gill tissue *in vitro* of juvenile *Trachinotus ovatus*. *South China Fisheries Science*, 2011, 7(5): 37-42.
- [12] Su H, Ou Y J, Li J E, Wang Y C, Liu R J, Cao S H. Effects of starvation on antioxidative capacity, Na^+/K^+ -ATP activity and biochemical composition in juvenile of *Trachinotus ovatus*. *South China Fisheries Science*, 2012, 8(6): 28-36.
- [13] Fan C Y, Ou Y J, Li J E, Yu N, Su H, Wang G. Effects of acute salinity stress on Na^+/K^+ -ATP and osmotic pressure of juvenile *Trachinotus ovatus*. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2012, 31(2): 228-233.
- [14] Mancera J M, McCormick S D. Rapid activation of gill Na^+/K^+ -

- ATPase in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*. Journal of Experimental Zoology, 2000, 287(4): 263-274.
- [15] Tipsmark C K, Madsem S S, Seidelin M. 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*). Journal of Experimental Zoology, 2002, 293(2): 106-118.
- [16] Liu M H, Luo H Z, Chen B, Fu R B, Peng Z L. Effects of salinity and pH changes on gill Na^+/K^+ -ATPase activity of juvenile *Miichthys miiuy*. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008, (1): 109-113.
- [17] Pan L Q, Tang X M, Liu H Y, Tian J B. Effects of salinity on plasma osmolality and gill Na^+/K^+ -ATPase activity of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2006, 37(1): 1-6.
- [18] Qu L, Zhuang P, Zhang L Z, Zhao F, Liu J Y, Wang Y. Influence of salinity change on serum osmolality, ions and gill Na^+/K^+ -ATPase activity in juvenile Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 243-251.
- [19] Tian X L, Wang G D, Dong S L, Fang J H, Liu Y. Effects of salinity on plasma osmolality and gill Na^+/K^+ -ATPase activity of the tongue Sole (*Cynoglossus semilaevis*). Marine Sciences, 2011, 35(2): 27-31.
- [20] Yu N, Li J E, Ou Y J, Fan C Y, Zhang J S. Effects of salinity stresses on gill Na^+/K^+ -ATPase (NAK) activity and body moisture in juvenile grey mullet *Mugil cephalus*. Chinese Journal of Zoology, 2011, 46(1): 93-99.
- [21] Tong Y, Chen L Q, Zhuang P, Zhang L Z, Peng S M, Song C, Li E C. Cortisol, metabolism response and osmoregulation of juvenile *Acipenser schrenckii* to ambient salinity stress. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(S1): 38-44.
- [22] Tian X L, Wang G D, Dong S L, Fang J H. Effects of salinity and temperature on growth, osmophysiology and energy budget of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther). Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 771-782.
- [23] Huang G Q, Zhang L Y, Li J, Tang X. Effects of salinity acclimatization on the osmoregulation and energy metabolism of brown flounder (*Paralichthys olivaceus*). Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(5): 44-51.
- [24] Wood C M, Shuttleworth T J. Cellular and Molecular Approaches to Fish Ionic Regulation. New York: Academic Press, 1995: 285-315.
- [25] Cataldi E, Ciccotti E, Di Marco P. Acclimation trials of juvenile Italian sturgeon to different salinities: morpho-physiological descriptors. Journal of Fish Biology, 1995, 47(4): 609-618.
- [26] Ou Y J, Liu Z W. Starvation and compensatory growth in the young *Lutjanus sebae*. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(3): 323-328.
- [27] Gaylord T G, Gatlin D M III. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture, 2001, 194(3-4): 337-348.

参考文献:

- [4] 蔡文超, 区又君, 李加儿, 孙鹏. 卵形鲳鲹免疫器官的早期发育. 南方水产科学, 2012, 8(5): 39-45.
- [5] 区又君, 罗奇, 李加儿. 卵形鲳鲹碱性磷酸酶和酸性磷酸酶的分布及其低温保存. 南方水产科学, 2011, 7(2): 49-54.
- [9] 黄忠, 林黑着, 牛津, 吕国敏, 陈旭, 陈明强. 肌醇对卵形鲳鲹生长、饲料利用和血液指标的影响. 南方水产科学, 2011, 7(3): 39-44.
- [11] 王刚, 李加儿, 区又君, 王静香. 温度、盐度、pH 对卵形鲳鲹幼鱼离体鳃组织耗氧量的影响. 南方水产科学, 2011, 7(5): 37-42.
- [12] 苏慧, 区又君, 李加儿, 王永翠, 刘汝建, 曹守花. 饥饿对卵形鲳鲹幼鱼不同组织抗氧化能力、 Na^+/K^+ -ATP 酶活力和鱼体生化组成的影响. 南方水产科学, 2012, 8(6): 28-36.
- [13] 范春燕, 区又君, 李加儿, 于娜, 苏慧, 王刚. 急性盐度胁迫对卵形鲳鲹幼鱼 Na^+/K^+ -ATP 酶活性和渗透压的影响. 台湾海峡, 2012, 31(2): 218-224.
- [16] 柳敏海, 罗海忠, 陈波, 傅荣兵, 彭志兰. 盐度、pH 对鳊鱼幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATPase 活力的影响. 海洋湖沼通报, 2008, (1): 109-113.
- [17] 潘鲁青, 唐贤明, 刘泓宇, 田景波. 盐度对褐牙鲷 (*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, 2006, 37(1): 1-6.
- [18] 屈亮, 庄平, 章龙珍, 赵峰, 刘鉴毅, 王好. 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. 中国水产科学, 2010, 17(2): 243-251.
- [19] 田相利, 王国栋, 董双林, 房景辉, 刘莹. 盐度突变对半滑舌鳎血浆渗透压和鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性的影响. 海洋科学, 2011, 35(2): 27-31.
- [20] 于娜, 李加儿, 区又君, 范春燕, 张建生. 盐度胁迫对鳊鱼幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力和体含水量的影响. 动物学杂志, 2011, 46(1): 93-99.
- [21] 童燕, 陈立侨, 庄平, 章龙珍, 彭志明, 宋超, 李二超. 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, 2007, 31(S1): 38-44.
- [22] 田相利, 王国栋, 董双林, 房景辉. 盐度和温度对半滑舌鳎生长、渗透生理及能量收支的影响. 中国水产科学, 2010, 17(4): 771-782.
- [23] 黄国强, 张灵燕, 李洁, 唐夏. 盐度驯化对褐牙鲷幼鱼渗透压调节和能量代谢的影响. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2013, 43(5): 44-51.
- [26] 区又君, 刘泽伟. 千年笛鲷幼鱼的饥饿和补偿生长. 水产学报, 2007, 31(3): 323-328.