

盐度对大菱鲆幼鱼鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力、血清离子浓度和激素水平的影响

曾霖^{①②} 雷霖霖^{①②*} 刘滨^② 洪万树^① 艾春香^① 高淳仁^②

① 厦门大学海洋与地球学院 厦门 361021; ② 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071

摘要: 采用饲养试验方法,研究了平均体质量为(7.16 ± 0.07) g的大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)幼鱼分别在盐度12、18、24、30和36下饲养60 d后,其鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力、血清离子浓度、生长激素(GH)、皮质醇激素(COR)、特定生长率(SGR)和饲料效率(FCE)的变化。结果表明:幼鱼鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力、血清 Na^+ 浓度均随盐度的升高而上升,分别在3.48 ~ 8.30 U/mg和169.99 ~ 180.00 mmol/L之间,其中12盐度组最低,36盐度组最高。幼鱼血清中 K^+ 和 Cl^- 浓度分别在2.20 ~ 3.47 mmol/L和136.67 ~ 142.00 mmol/L之间,各盐度组之间差异不显著。幼鱼血清中GH和COR浓度分别在0.41 ~ 1.66 ng/ml和35.33 ~ 76.41 ng/ml之间;其中GH在36盐度组最高,12盐度组最低,而COR在12盐度组最高,36盐度组最低。幼鱼SGR和FCE分别在(1.45 ~ 2.00) %/d和1.12% ~ 1.38%之间,与盐度的相关性不显著,两者均为12盐度组最低。由此可见,盐度变化显著影响大菱鲆幼鱼鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力、血清 Na^+ 浓度和激素含量。本研究对大菱鲆养殖生态条件分析具有重要参考意义,研究结果可为大菱鲆养殖的盐度选择提供理论依据。

关键词: 大菱鲆; 盐度; $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$; 血清离子; 生长激素; 皮质醇激素

中图分类号: Q955 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2014)03-407-08

Effects of Salinity on $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ Activity in Gills, and Concentrations of Ions and Hormones in Serum of Juvenile Turbot (*Scophthalmus maximus*)

ZENG Lin^{①②} LEI Ji-Lin^{①②*} LIU Bin^② HONG Wan-Shu^① AI Chun-Xiang^①
GAO Chun-Ren^②

① College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361021;

② Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: The $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity in gill, concentrations of ions and hormones in serum, and specific growth rate and feed conversion efficiency of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) (body weight of 7.16 ± 0.07 g), which have been reared at salinities 12, 18, 24, 30 and 36 for 60 days, were investigated. The results showed that $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity and Na^+ concentration were 3.48 ~ 8.30 U/mg and 169.99 ~ 180.00 mmol/L, respectively, and their levels increased with the rise of water salinity. The highest values were observed at salinity 36, and lowest ones at salinity 12. The $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity and Na^+ concentration in

基金项目 现代农业产业技术体系专项资金(No. CARS-50);

* 通讯作者, E-mail: leijl@ysfri.ac.cn;

第一作者介绍 曾霖,男,博士研究生;研究方向:养殖生理生态学; E-mail: zenglin615@126.com.

收稿日期: 2013-07-20, 修回日期: 2013-11-27

the fish reared at salinity 12 were significantly lower than those in the control ($P < 0.05$). K^+ and Cl^- concentrations were 2.37 – 3.47 mmol/L and 136.67 – 142.00 mmol/L, respectively, both of which had no significant differences between groups ($P > 0.05$). Growth hormone and cortisol levels were 0.41 – 1.66 and 35.33 – 76.41 ng/ml, respectively. Growth hormone level was the lowest in the fish reared at salinity 12, and the highest at salinity 36, both of which had significant difference compared to that of the control ($P < 0.05$); while cortisol level was the highest at salinity 12, and the lowest at 36, with no significant difference compared with that of the control ($P > 0.05$). Specific growth rate and feed conversion efficiency were (1.45 – 2.00) %/day and 1.12% – 1.38%, respectively. Although both were the lowest at salinity 12, they were not significantly correlative with salinity. Thus, the results indicate that the changes in salinity could have significant impacts on $Na^+ - K^+ - ATPase$ activity in gill, concentrations of Na^+ , growth hormone and cortisol in serum of juvenile turbot. The results provide important reference for salinity selection in turbot mariculture.

Key words: *Scophthalmus maximus*; Salinity; $Na^+ - K^+ - ATPase$; Serum ions; Growth hormone; Cortisol

大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)是一种生活于大西洋东部深海的底栖鱼类,对盐度的适应性较广泛,成鱼一般能够很好地适应12~40的盐度(雷霖霖 2005),甚至能在盐度低至5的水环境中生存(Gaumet et al. 1995),而幼鱼对盐度相对敏感,适应的盐度范围较窄。当鱼类生活在等于或接近体内渗透压的水环境时,用于渗透压调节所需的能量最低,节约的能量可用于生长(Boeuf et al. 2001)。已有研究表明,与正常盐度(33.5)相比,生活在盐度为19水体的大菱鲆幼鱼表现出较高的特定生长率和饲料效率(Imsland et al. 2007)。

无论生活在高盐还是低盐的水环境中,鱼类都要进行渗透压调节,这一过程需要消耗能量。鳃是最主要的渗透压调节器官,当盐度发生变化时,鳃中的钠-钾-ATP酶($Na^+ - K^+ - ATPase$, NKA)可为鱼类渗透压调节提供能量(Evans et al. 2005)。能量代谢、生长等均受内分泌系统调控(马慧等 2012),激素直接或间接参与其中,如生长激素(growth hormone, GH)、类胰岛素生长因子(insulin-like growth factor, IGF-I)、皮质醇(cortisol, COR)、甲状腺素和催乳素(prolactin, PRL)等均与渗透压调节相关(Farrell 2011, Almeida et al. 2013)。其中, GH、IGF-I和COR为海水适应型激素,而催乳素主要在淡水适应过程中发挥作用(Sakamoto et al. 2006)。迄今为止,有关盐度

对大菱鲆激素影响的研究极其有限,仅见于盐度对大菱鲆幼鱼IGF-I水平的影响(Imsland et al. 2007)。预实验表明,体质量5g左右的大菱鲆幼鱼不能长期生活在低于12或高于36盐度的水环境中。本实验将大菱鲆幼鱼分别饲养在盐度为12、18、24、30和36的5种水环境中60d,研究盐度对大菱鲆幼鱼鳃NKA活力、特定生长率、饲料效率、血清离子浓度、生长激素及皮质醇激素水平的影响,可为大菱鲆的高效健康养殖模式提供重要基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验动物及驯化 实验大菱鲆幼鱼取自山东省烟台天源水产有限公司,体质量为 (7.16 ± 0.07) g ($n = 390$)的健康个体。正式实验前在容积为240L的钢化玻璃桶中暂养1周,26尾/桶,盛水140L,采用静水充气养殖,养殖用水为深井过滤海水。养殖用水盐度在30(对照组)的基础上,采用每天升高或降低1~2.5分别调至12、18、24、30和36这5个盐度,每个盐度设3个重复组,高盐度和低盐度由天然海水(盐度为30)与海水晶或淡水调配而成,每天换水率为100%。大菱鲆幼鱼在预定的盐度环境中适应1周后正式开始实验。采取饱食投食方式,每天投喂2次(投喂时间为08:30~09:30时和16:30~17:30时)。

1.2 样品采集和分析 60d饲养实验结束后,

大菱鲂幼鱼饥饿 24 h 后称量各养殖桶内鱼体的总重, 计算特定生长率、饵料效率、成活率。每桶随机抽取 8 尾鱼, 麻醉后用 1 ml 注射器经鱼尾部静脉抽取血液, 4℃ 冰箱放置过夜后 4 000 r/min 离心 10 min, 将上清液移入冻存管并冻存于液氮中用于血清离子浓度、生长激素 (GH) 和皮质醇 (COR) 激素含量测定。 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 等在日立 7600-11 全自动生化分析仪上进行测定。生长激素和皮质醇含量采用放射性免疫法 (radioimmunoassay, RIA) 在青岛海慈医院进行测定。生长激素抗体使用 Zang 等 (2013) 在测定鲑鲈类重组 GH 生物活性时所采用的鲑 (鳟) 鱼 GH 抗血清抗体 (产品编号为 PAN1, 产品名称为 Salmon/Trout Growth Hormone antiserum (rabbit), 生产公司为 GroPep); 皮质醇抗体使用鱼血清 COR 抗体 (产品编号为 C8409, 产品名称为 Anti-Cortisol antibody produced in rabbit, 生产公司为 Sigma)。

$\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ (NKA) 活力的测定: 取大菱鲂幼鱼左侧第二片鳃丝为测定材料, 采用南京建成生物工程研究所的 NKA 测定试剂盒, 用定磷法测定 NKA 的活力。酶活力单位 (U/mg) 定义为每毫克蛋白每小时分解 ATP 产生无机磷的微摩尔数。酶蛋白含量采用碧云天生物研究所的蛋白浓度测定试剂盒, 用 Bradford 法进行测定。

1.3 数据处理与统计分析 实验指标参照以下公式进行计算。

特定生长率 (specific growth rates, SGR, %/d) = $100 \times (e^g - 1)$, $g = (\ln W_t - \ln W_0) / t$; 饵料效率 (feed conversion efficiency, FCE, g/g) = $(W_t - W_0) / W_f$; 存活率 (survival rate, SR, %) = $100 \times (N_t / N_0)$ 。式中, W_t 为大菱鲂终末平均体重 (g), W_0 为大菱鲂初始平均体重 (g), t 为实验天数 (d), N_t 为大菱鲂终末的尾数, N_0 为大菱鲂初始的尾数, W_f 为摄食饲料干重 (g)。

实验数据 (平均数 ± 标准差) 采用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差统计分析 (one-way

ANOVA), 当差异显著时 ($P < 0.05$), 再进行 student-Newman-Keuls 多重比较分析。

2 结果

2.1 盐度对 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力、特定生长率、饵料效率及成活率的影响 饲养 60 d 后, 各盐度下的大菱鲂幼鱼鳃 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ (NKA) 活力在 3.48 ~ 8.30 U/mg 之间, 其中, 36 盐度组最高, 12 盐度组最低, 12、18 和 24 盐度组显著低于对照组 ($P < 0.05$), 36 盐度组与对照组之间差异不显著 ($P > 0.05$), NKA 活力随盐度的升高而增大 (图 1)。特定生长率 (SGR) 在 1.45% /d ~ 2.00% /d 之间, 其中, 12 盐度组显著低于其他盐度组 ($P < 0.05$), 18 和 36 盐度组高于对照组, 但差异不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。饵料效率 (FCE) 在 1.12% ~ 1.38% 之间, 12 盐度组显著低于对照组 ($P < 0.05$), 18、24 和 36 盐度组显著高于对照组 ($P < 0.05$) (图 2)。除 12 盐度组的幼鱼存活率为 80.77% 外, 其余盐度组的存活率均为 100%。

2.2 盐度对血清离子浓度的影响 饲养 60 d 后, 不同盐度下的大菱鲂幼鱼血清中 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 的浓度分别在 2.37 ~ 3.47、169.99 ~ 180.00 和 136.67 ~ 142.00 mmol/L 之间, 其中, 12 盐度组 Na^+ 浓度显著低于对照组 ($P < 0.05$), 而 36 盐度组 Na^+ 浓度显著高于 12、18 和 24 盐度组 ($P > 0.05$), Na^+ 浓度随盐度的升高而上升; 各盐度组间 K^+ 和 Cl^- 浓度差异不显著 ($P > 0.05$) (表 1)。

2.3 盐度对血清生长激素 (GH) 和皮质醇激素 (COR) 水平的影响 饲养 60 d 后, 不同盐度下的大菱鲂幼鱼血清 GH 和 COR 水平分别在 0.41 ~ 1.66 ng/ml 和 35.33 ~ 76.41 ng/ml 之间。36 盐度组 GH 水平最高, 12 盐度组最低, 12 盐度组显著低于对照组 ($P < 0.05$), 18 和 36 盐度组显著高于对照组 ($P < 0.05$); 12 盐度组 COR 水平最高, 36 盐度组最低, 12 盐度组显著高于 36 盐度组 ($P < 0.05$), 其他盐度组之间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 3)。

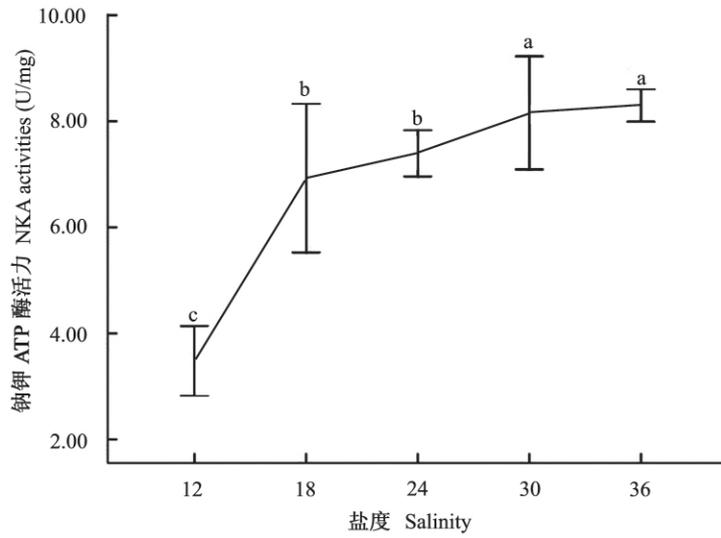


图 1 不同盐度下大菱鲂幼鱼 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ 活力

Fig. 1 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ activities of *Scophthalmus maximus* reared at different salinities

不同字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$) , 数据来自三个重复组。

Different letters denote significant difference (Student-Newman-Keuls test , $P < 0.05$) between salinity groups , data from three replicates are combined.

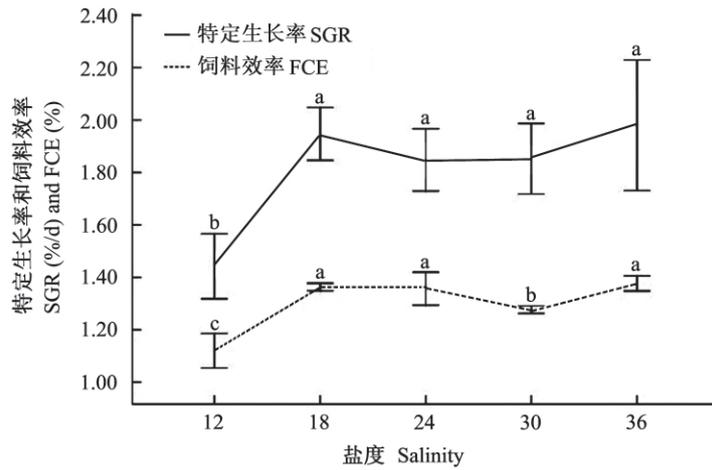


图 2 不同盐度下大菱鲂幼鱼特定生长率和饲料效率

Fig. 2 Specific growth rate (SGR) and feed conversion efficiency (FCE) of *Scophthalmus maximus* reared at different salinities

不同字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$) , 数据来自三个重复组。

Different letters denote significant difference (Student-Newman-Keuls test , $P < 0.05$) between salinity groups , data from three replicates are combined.

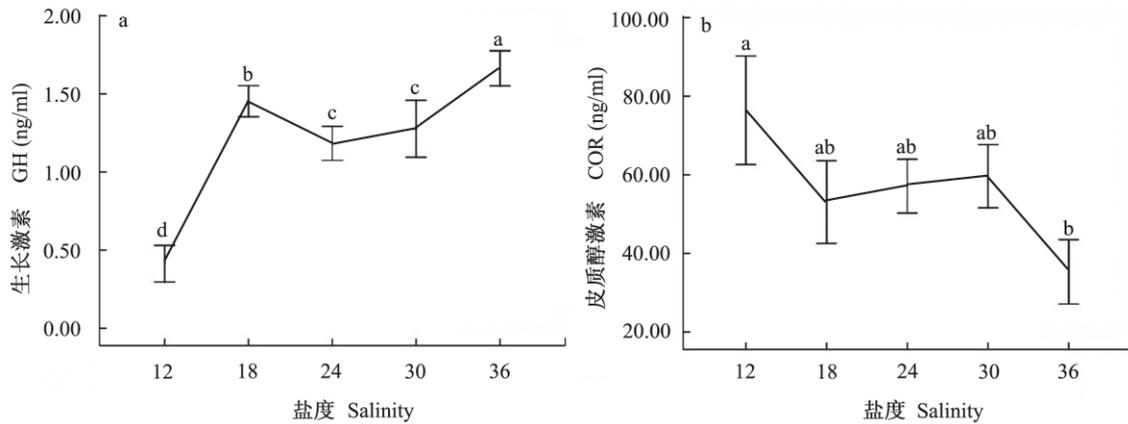


图3 不同盐度下大菱鲂幼鱼生长激素(a)和皮质醇激素(b)含量

Fig. 3 Growth hormone (GH) (a) and cortisol (COR) (b) levels of *Scophthalmus maximus* reared at different salinities

不同字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$), 数据来自三个重复组。

Different letters denote significant difference (Student-Newman-Keuls test, $P < 0.05$) between salinity groups, data from three replicates are combined.

表1 不同盐度下大菱鲂幼鱼 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 浓度

Table 1 K^+ , Na^+ and Cl^- concentrations of *Scophthalmus maximus* reared at different salinities

盐度 Salinity	K^+ (mmol/L)	Na^+ (mmol/L)	Cl^- (mmol/L)
12	2.37 ± 0.24	169.33 ± 1.15 ^c	136.67 ± 2.08
18	3.47 ± 0.16	172.33 ± 0.72 ^{bc}	138.67 ± 3.79
24	2.80 ± 0.21	172.33 ± 2.89 ^{bc}	137.67 ± 3.93
30	2.47 ± 0.13	176.33 ± 0.58 ^{ab}	140.67 ± 1.15
36	2.20 ± 0.19	180.00 ± 2.00 ^a	142.00 ± 1.89

不同字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$), 数据来自三个重复组。

Different letters denote significant difference (Student-Newman-Keuls test, $P < 0.05$) between salinity groups, data from three replicates are combined.

3 讨论

大菱鲂作为广盐性鱼类,对盐度的适应范围较广(Gaumet et al. 1995, 雷霖霖 2005)。本研究表明,各盐度组间 K^+ 和 Cl^- 浓度差异不显著,说明大菱鲂具有较强的渗透压调节能力。然而,生活在盐度为 12 的大菱鲂幼鱼成活率显著低于其他盐度组,与以往的研究结果不同(雷霖霖 2005)。其主要原因是鱼类不同的发育阶段对应激反应的处理能力不同,幼鱼对应激较敏感,而成鱼具有较强的应激处理能

力(Øverli et al. 2007)。本实验中的研究对象为大菱鲂幼鱼,其生理功能易受盐度的影响从而导致死亡,降低了成活率。因此,大菱鲂不同的发育阶段具有不同的盐度适应范围,幼鱼的养殖盐度应高于 12。

当鱼类生活环境的盐度发生变化时,不仅其鳃上氯细胞的数量、形态会发生改变,同时鳃中的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ (NKA) 活力也会发生相应的改变来适应环境变化(Hwang et al. 2011)。NKA 主要位于鳃氯细胞的基底侧膜及微小管系统上,是 Karnaky 等于 1976 年发现

的。在渗透压调节过程中,该酶通过消耗能量排出 Na^+ 、吸收 K^+ 来形成电化学梯度,并启动膜转动蛋白和离子通道来维持内环境稳定。NKA 所构建的电位势,为各种离子转运提供了驱动力,其能量最终来源于 ATP 的水解(Evans et al. 2005)。当水环境与体内渗透压相近或相等时,鱼类渗透压调节所需的能量最低,节约的能量可用于生长;当水环境中的盐度越高即与体内渗透压相差越大时,NKA 活力越大,则需要消耗更多的能量来维持渗透压平衡,从而影响生长(Boeuf et al. 2001)。同时,NKA 对鱼类机体内离子浓度的调节发挥着非常重要的作用(Hiroi et al. 2012)。研究表明,NKA 活力、 Na^+ 浓度均随盐度的升高而上升,这与 Imsland 等(2003) 对大菱鲆和田相利等(2010) 对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*) 的研究结果相似。虽然盐度可以显著地影响 NKA 活力,但是 NKA 活力并不与特定生长率(SGR) 和饲料效率(FCE) 成负相关。对于 12 盐度组而言,大菱鲆幼鱼体液最接近水体渗透压,NKA 活力最低,但其特定生长率、饲料效率和成活率均最低。其主要原因是盐度过低影响其正常的生理功能(Timothy 2008),除渗透压调节需要消耗能量外,其他相关生理功能的正常发挥也需要额外能量来维持,从而最终降低了特定生长率和饲料效率。这与郭黎等(2012) 的研究结果相似,养殖于低盐(盐度为 5 和 10) 水环境中的大菱鲆幼鱼死亡率显著高于盐度为 30 的对照组。对于过渡盐度区 18 和 24 盐度组而言,大菱鲆幼鱼 NKA 活力低于对照组,而饲料效率高于对照组,NKA 与饲料效率成负相关。其主要原因可能是将能量分配于生长的 GH 分泌水平较高(Farrell 2011),同时渗透压调节所需的能量相对较少(Dietz et al. 2013),节约的能量可用于改善饲料效率。对于 36 盐度组而言,大菱鲆幼鱼 NKA 与对照组无显著差异,但饲料效率高于对照组。其主要原因可能是将能量分配于生长的 GH 分泌水平较高,抑制生长的 COR 分泌水平较低(Farrell 2011),同时高盐度降低了大菱鲆幼鱼的活动水平(Boeuf et

al. 2001),节约了能量,最终提高了饲料效率。已有研究表明大菱鲆的饲料效率越高,特定生长率越大(Imsland et al. 2007),本实验中 18, 24 和 36 盐度组的饲料效率显著高于对照组,但这四个盐度组间的特定生长率差异不显著,其主要原因是实验养殖周期不够长。

渗透压调节过程中,鱼类鳃中氯细胞形态和功能、NKA 活力的改变都是由内分泌系统来调控的,激素直接或间接参与其中,如 GH、COR、IGF-I、甲状腺素等(McCormick et al. 2006)。研究表明,GH 水平越高的盐度组,特定生长率和饲料效率越高,而与 NKA 活力(盐度) 的相关性不显著。对于受慢性盐度胁迫的大菱鲆幼鱼而言,GH 的主要功能是对能量进行重新分配,在保证其存活的前提下,将能量分配于生长和繁殖(Farrell 2011),同时,大菱鲆渗透压调节所消耗的能量占总需求能量的比例较小(Dietz et al. 2013)。因此,GH 与特定生长率和饲料效率成正相关。这与 Imsland 等(2007) 有关盐度对大菱鲆幼鱼 IGF-I 水平的影响研究结果相似。COR 可提高 NKA 活力,促进氯细胞成熟和增殖,增强鱼类对盐度的耐受性(McCormick et al. 2006)。最近研究表明,通常被认为海水适应型的 COR 具有双重渗透压调节功能(McCormick et al. 2008),如大马哈鱼(*Oncorhynchus keta*) 鳃中存在两种盐依赖性的 NKA 亚基,一种在淡水中较丰富,另一种在海水中较丰富,COR 对这两种亚基都具有正调节作用。COR 除了参与渗透压调节外,还可以充当应激指标剂(Barton 2002),参与其他重要的生理功能,如代谢、生长、繁殖、摄食、免疫等(Harris et al. 2000, Van Kemenade et al. 2009)。研究表明,除 12 盐度组 COR 显著高于 36 盐度组外,其他盐度组间差异不显著;COR 与 NKA 活力相关性不显著。产生这种现象的主要原因可能是 COR 对大菱鲆具有双重渗透压调节功能,同时其他一些生理功能可诱导 COR 的分泌。因此,COR 与 NKA 活力相关性不确定,其具体机制有待进一步研究。对于 12 盐度组而言,低盐度严

重影响大菱鲆幼鱼的正常生理功能,使其处于高度应激状态。因此,12 盐度组的 COR 显著高于其他盐度组。

4 小 结

养殖水体的盐度对大菱鲆 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ (NKA)、血液离子浓度和激素有明显影响,从而影响其生长,尤其是处于幼鱼阶段。本实验结果表明,NKA 活力、 Na^+ 浓度均随盐度的升高而上升;血清 K^+ 和 Cl^- 浓度不受盐度的影响;GH 和 COR 与 NKA 活力(或盐度)的相关性不显著,GH 在 36 盐度组最高,12 盐度组最低,而 COR 在 12 盐度组最高,36 盐度组最低;特定生长率(SGR)与 NKA 活力(或盐度)的相关性不显著,主要受内分泌调控,GH 水平越高或 COR 水平越低,特定生长率越大;幼鱼对盐度变化的适应能力较弱,养殖盐度应高于 12。

参 考 文 献

- Almeida D V, Martins C M G, Figueiredo M A, et al. 2013. Growth hormone transgenesis affects osmoregulation and energy metabolism in zebrafish (*Danio rerio*). *Transgenic Research*, 22(1): 75–88.
- Barton B A. 2002. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42(3): 517–525.
- Boeuf G, Payan P. 2001. How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 130(4): 411–423.
- Dietz C, Stiller K T, Griese M, et al. 2013. Influence of salinity on energy metabolism in juvenile turbot, *Psetta maxima* (L.). *Aquaculture Nutrition*, 19(S1): 135–150.
- Evans D H, Piermarini P M, Choe K. 2005. The Multifunctional fish gill: Dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. *Physiological Reviews*, 85(1): 97–177.
- Farrell A P. 2011. *Encyclopedia of Fish Physiology: from Genome to Environment*. Amsterdam: Elsevier, 1466–1474.
- Gaumet F, Boeuf G, Severe A, et al. 1995. Effects of salinity on the ionic balance and growth of juvenile turbot. *Journal of Fish Biology*, 47(1): 865–876.
- Harris J, Bird D J. 2000. Modulation of the fish immune system by hormones. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 77(3/4): 163–176.
- Hiroi J, McCormick S D. 2012. New insights into gill ionocyte and ion transporter function in euryhaline and diadromous fish. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 184(3): 257–268.
- Hwang P P, Lee T H, Lin L Y. 2011. Ion regulation in fish gills: recent progress in the cellular and molecular mechanisms. *American Journal of Physiology: Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 301(1): 28–47.
- Imsland A K, Björnsson B T, Gunnarsson S, et al. 2007. Temperature and salinity effects on plasma insulin-like growth factor-I concentrations and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 271(3/4): 546–552.
- Imsland A K, Gunnarsson S, Foss A, et al. 2003. Gill Na^+ , $\text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity, plasma chloride and osmolarity in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperatures and salinities. *Aquaculture*, 218(1/4): 671–683.
- Karnaky K J, Kinter L B, Kinter W B, et al. 1976. Teleost chloride cell. II. Autoradiographic localization of gill Na^+ , $\text{K}^+ - \text{ATPase}$ in killifish *Fundulus heteroclitus* adapted to low and high salinity environments. *Journal of Cell Biology*, 70(1): 157–177.
- McCormick S D, Bradshaw D. 2006. Hormonal control of salt and water balance in vertebrates. *General and Comparative Endocrinology*, 147(1): 3–8.
- McCormick S D, Regish A, O'Dea M F, et al. 2008. Are we missing a mineralocorticoid in teleost fish? Effects of cortisol, deoxycorticosterone and aldosterone on osmoregulation, gill Na^+ , $\text{K}^+ - \text{ATPase}$ activity and isoform mRNA levels in Atlantic salmon. *General and Comparative Endocrinology*, 157(1): 35–40.
- Øverli Ø, Sørensen C, Pulman K G T, et al. 2007. Evolutionary background for stress-coping styles: Relationships between physiological, behavioral, and cognitive traits in non-mammalian vertebrates. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 31(3): 396–412.
- Sakamoto T, McCormick S D. 2006. Prolactin and growth hormone in fish osmoregulation. *General and Comparative Endocrinology*, 147(1): 24–30.
- Timothy J B. 2008. Modulation of the immune system of fish by their environment. *Fish and Shellfish Immunology*, 25(4): 373–383.
- Van Kemenade B M L V, Stolte E H, Metz J R, et al. 2009. Chapter 7 neuroendocrine-immune interactions in teleost fish. *Fish Neuroendocrinology*, 28(1): 313–364.
- Zang X N, Zhang X C, Mu X S, et al. 2013. Optimization of the purification methods for recovery of recombinant growth hormone from *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Ocean University of China*, 12(1): 169–174.
- 郭黎, 马爱军, 王新安, 等. 2012. 盐度和温度对大菱鲆幼鱼抗氧化酶活性的影响. *大连海洋大学学报*, 27(5): 422–428.

- 雷霖霖. 2005. 海水鱼类养殖理论与技术. 北京: 中国农业出版社, 524-591.
- 田相利, 王国栋, 董双林, 等. 2010. 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, 17(4): 771-782.
- 马慧, 柳淑芳, 马骞, 等. 2012. 硬骨鱼类渗透压的内分泌激素调节机制. 水产科学, 31(1): 55-59.

DOI: 10.13859/j.cjz.201403026

濒危物种川陕哲罗鲑在汉江上游太白河再发现

The Rediscovery of *Hucho bleekeri* in the Taibai River, the Upper Tributary of the Hanjiang River, China

川陕哲罗鲑(*Hucho bleekeri*)隶属于鲑形目(Salmoniformes) 鲑科(Salmonidae) 哲罗鲑属,是我国特有物种,主要分布在29°~33°N 秦岭以南长江流域北侧一级支流岷江水系和汉江水系的上游山区激流环境中,是欧亚大陆鲑鳟鱼类中分布纬度最低的种类。20世纪60年代以前,川陕哲罗鲑资源还较丰富,在岷江上游的干流、大渡河、青衣江及其附属支流均有分布。20世纪60年代以后,受环境恶化、过度捕捞等影响,资源量锐减,分布区域不断缩小。至80年代,其分布区缩减至岷江干流上游、大渡河上游和青衣江上游(丁瑞华等2010)。至20世纪末,数量已经极其稀少,仅在大渡河上游的足木足河和玛柯河及岷江上游的黑水河支流、青衣江(芦山河)、天全河上游等有一些零星报道,同期,在陕西汉水支流的太白河和渭水河有少量发现(杨德国等1999)。21世纪以来,陕西和四川等地绝大部分已知分布区域中已多年不见其踪迹,仅青海玛柯河、阿坝等地还偶有报道(申志新等2005,孙大东等2005)。由于川陕哲罗鲑野生资源的急剧下降,1988年被列为国家Ⅱ级保护野生动物,1998年《中国濒危动物红皮书·鱼类》将其列为濒危物种(乐佩琦等1998),2012年被IUCN红色名录列为极危级物种。

2012年9月陕西省太白县兴隆村村民在太白河洪水期后1周内捕获川陕哲罗鲑19尾,均为成体,体长40.0~55.0 cm,体重0.64~1.47 kg。其中,死亡4尾。采用常规鱼类生物学测量和形态鉴定程序对死亡后保存的4尾标本进行了解剖和形态学参数测量。死亡4尾川陕哲罗鲑全长48.9~53.5 cm,体长与体高之比4.8~5.1,体长与头长之比4.5~4.8,体长与尾柄长之比9.1~13.4,体长与尾柄高之比11.7~12.5,头长与吻长之比3.7~4.3,头长与眼径之比5.7~7.2,头长与眼间距之比2.5~2.9,头长与眼后头长之比11.6~1.7。结果与《四川鱼类志》(丁瑞华1994)和《陕西鱼类志》(陕西省水产研究所等1992)记载的大渡河、岷江上游及青衣江上游川陕哲罗鲑标本的主要形态特征基本一致。根据前述文献和《秦岭鱼类志》(陕西省水产研究所等1987)等记载,陕西省太白县太白河曾是川陕哲罗鲑的历史分布区,其相邻的渭水河水系也有川陕哲罗鲑的记载。高玺章(1981)曾于1978年在太白河发现川陕哲罗鲑十余尾。据太白河村民回忆,太白河川陕哲罗鲑在20世纪80年代之前还较多,90年代以后还可以零星捕获,有些个体体长可达1 m以上。21世纪以来再未有太白河川陕哲罗鲑的相关报道(杨德国等1999)。现场考察发现,目前太白河上游有特别管辖区域,很少人能够进入,可能因此保留了太白河川陕哲罗鲑残存生境及种群。

杜浩^{①②} 李罗新^① 危起伟^{①②③*} 张书环^① 王成友^{①②} 孙庆亮^{①②} 杨晓鸽^{①③} 李雷^{①②}

① 农业部淡水多样性保护重点开放实验室,中国水产科学研究院长江水产研究所 武汉 430223;

② 华中农业大学水产学院 武汉 430070; ③ 中国科学院水生生物研究所 武汉 430072

基金项目 农业部淡水生物多样性保护重点实验室开放课题(No. LFBC0802)和公益性农业行业专项(No. 201203086);

* 通讯作者, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn;

第一作者介绍 杜浩,男,副研究员;研究方向:珍稀濒危鱼类保护养殖学和生态学; E-mail: duhao@yfi.ac.cn.

收稿日期: 2013-10-12, 修回日期: 2014-01-27