

## 不同钙、镁浓度对褐牙鲆幼鱼生长 及 SOD 和 CAT 酶活力的影响

王茂林<sup>1,2</sup> 张秀梅<sup>2\*</sup> 黄国强<sup>2</sup> 张沛东<sup>2</sup> 李君丰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 大连海洋大学 农业部海洋水产增养殖学重点开放实验室, 116023)

(<sup>2</sup> 中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室, 青岛 266003)

**摘要** 在盐度 30 和水温 20 ℃ 条件下, 配制钙、镁(1:3)总浓度 A(700 mg/L)、B(1 100 mg/L)、C(1 600 mg/L, 对照)、D(2 200 mg/L)、E(2 800 mg/L) 的人工海水, 研究了 5 种人工海水对褐牙鲆 *Paralichthys olivaceus* 幼鱼生长、肝脏超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活力的影响。观察发现, 褐牙鲆幼鱼初次接触高钙、镁浓度人工海水(D 组和 E 组)时产生应激反应, 鱼体呈弓形, 呼吸频率降低, 摄食不积极, 适应 7 d 左右恢复正常。经 60 d 养殖实验, 各处理组实验鱼食物转化效率(FCE)无显著差异( $P>0.05$ ), 成活率均在 90% 以上。0~20 d 时实验鱼特定生长率(SGR)和摄食率(FI)差异显著( $P<0.05$ ), 低浓度组大于高浓度组, 20 d 后, FI 无显著差异( $P>0.05$ ), 40~60 d 时低浓度组 SGR 小于高浓度组。各处理组 SGR 和 FI 随钙、镁总浓度上升呈下降趋势, 实验进行到 60d 时, 低浓度组 A 的 SGR 和 FI 分别为高浓度组 E 的 1.13 倍和 1.04 倍。不同钙、镁浓度对实验鱼的免疫酶活性亦有显著影响。D 组实验鱼 SOD 酶活力和肝比重显著高于其他各处理组; E 组 SOD 酶活力显著低于其他实验组( $P<0.05$ ), CAT 酶活力也低于其他处理组, 但各组间差异不显著( $P>0.05$ )。研究表明, 实验初期钙、镁浓度通过影响褐牙鲆的摄食而影响其生长, 低钙、镁浓度组实验鱼生长较快, 高浓度组生长较慢。经 60d 养殖驯化, 除 E 组外的各处理组特定生长率差异不显著, 过高浓度钙、镁对褐牙鲆的免疫酶活性产生一定抑制作用。建议养殖褐牙鲆时应注意避免水体钙、镁含量过高。

**关键词** 褐牙鲆 钙、镁浓度 生长 SOD 和 CAT 酶活力

**中图分类号** S965.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2010)03-0029-08

## Effects of $\text{Ca}^{2+}$ and $\text{Mg}^{2+}$ concentrations on growth, SOD and CAT enzymatic activity of juvenile *Paralichthys olivaceus*

WANG Mao-lin<sup>1,2</sup> ZHANG Xiu-mei<sup>2\*</sup> HUANG Guo-qiang<sup>2</sup>  
ZHANG Pei-dong<sup>2</sup> LI Jun-feng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Agriculture, Dalian Ocean University, 116023)

(<sup>2</sup> Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003)

**ABSTRACT** The effects of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations (1:3) in artificial seawater on

国家科技支撑计划课题(2006BAD09A15)资助

\* 通讯作者。E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn, Tel./fax: (0532)82032076

收稿日期: 2009-06-14; 接受日期: 2009-11-26

作者简介: 王茂林(1980-), 男, 主要从事鱼类生理生态学研究。E-mail: wml13804@hotmail.com, Tel: (0411)84763513

growth, superoxidase dismutase (SOD) and catalase (CAT) enzymatic activity of juvenile *Paralichthys olivaceus* were investigated at 20°C and salinity of 30. Five concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  were set as follows, 700 (group A), 1 100 (group B), 1 600 (group C), 2 200 (group D), and 2 800 (group E) mg/L, respectively. It was found that stress response occurred including bend of fish body and reduction of ventilation rate and food intake in juvenile fish under high  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations and the fish recovered after a week. After 60 d experiment, the survival rates of all groups were over 90%, and there were no significant differences in food conversion efficiencies (FCE) among different groups ( $P>0.05$ ). However, the effects of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations in artificial seawater on specific growth rates (SGR) and food intake (FI) at 0~20 d were significant ( $P<0.05$ ). After 20 d, there was no significant difference in FI ( $P>0.05$ ). During 40~60 d, the SGRs in low  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations groups were lower than that in high concentrations groups. The SGR and FI of all groups decreased when  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations increased. At 60 d, the SGR and FI of group A were 1.13 and 1.04 times as that of group E, respectively. Significant influences were also observed in immuno-enzymatic activity of liver among these groups ( $P<0.05$ ). The activity of SOD and hepatosomatic index of group D were significantly higher than those of other groups. However, the activity of SOD of group E was lower than other groups. The activity of CAT of group E was also lower than other groups but no significant difference ( $P>0.05$ ). The results indicated that the concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  hindered the growth of juvenile *P. olivaceus* by changing their food intake. The fish in low  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentration groups grew fast and those in high  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentration groups grew slowly. There were no significant differences in the SGR of all the groups except for group E after 60 d rearing experiment. High  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations could restrain immuno-enzymatic activity of juvenile *P. olivaceus*. It is suggested that high concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  should be avoided in the culturing of juvenile *P. olivaceus*.

**KEY WORDS** *Paralichthys olivaceus* Calcium and magnesium concentrations  
Growth SOD CAT

随着工厂化养鱼的快速发展,很多褐牙鲈 *Paralichthys olivaceus*、大菱鲈 *Scophthatmus maximus* 养殖场都是抽取利用地下水调节水温,但地下水成分复杂,与天然海水差别很大,造成很多天然咸水资源不能直接用于海洋生物的养殖或者养殖效果不理想(Boyd 2003; Saoud *et al.* 2003)。天然海水中各离子之间比例基本恒定,  $\text{Mg}^{2+}$  与  $\text{Ca}^{2+}$  的含量比值约为 3.14(李爱英 1991)。但地下咸水  $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等离子含量普遍偏低(Boyd *et al.* 2003),我国黄河三角洲的一些盐碱地区和地下咸水中  $\text{Ca}^{2+}$  含量也很低(孙同秋 2002)。

$\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  对动物生理机能有着重要作用,因此,许多学者对此进行了相关研究。Winkler 等(1986)和 Furriel 等(2000)研究了钙、镁离子对甲壳类 Na-K-ATP 酶活力的影响; Silva 等(2003)研究了钙、镁含量对银色鲶鱼 *Rhamdia quelen* 卵孵化的影响; Roy 等(2007)和 Davis 等(2005)研究了低盐水中镁对凡纳滨对虾 *Litopenaeus vannamei* 存活和生长的影响,发现镁在低盐水养虾中具有重要作用。国内一些学者利用淡水或者极低盐度的人工海水(朱春华等 2002; 陈昌生等 2004; 王慧等 2000),通过添加  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$ , 研究了  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  对中国对虾 *Fenneropenaeus chinensis* 的存活和生长效应。且适当提高盐度及  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  质量浓度,将有利于凡纳滨对虾生长(杨富亿等 2008)。施兆鸿等(1995)和王广军等(2002)研究发现,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$

含量和比例会影响黑鲷 *Sparus macrocephalus* 和日本鳗鲡 *Anguilla japonica* 的胚胎发育及早期仔鱼的存活和生长。

目前还未见有关钙、镁等主要阳离子含量对褐牙鲆养殖影响的相关研究。本文通过研究钙、镁含量对牙鲆生长、SOD 和 CAT 酶活力的影响,探讨褐牙鲆对海水主要阳离子中钙、镁离子变化的适应机制,为地下水、盐碱水养殖褐牙鲆提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

实验鱼于 2007 年 12 月 25 日购自山东省文登市小观镇养殖场,在中国海洋大学鱼类行为实验室循环水槽中暂养 20 d。暂养期间,水温  $20 \pm 0.5$  °C, pH  $7.80 \pm 0.40$ , 盐度 30, 连续充气, 每天饱食投喂升索牌牙鲆颗粒饲料两次(8:00 和 18:00)。

### 1.2 实验设计和海水配置

为排除其他离子成分不平衡的干扰,实验用水以海水素和自来水配制。海水素为中国海洋大学海水素厂专门设计和生产的无钙、镁海水素。保证其他离子成分和总含盐量 30 基本不变,分别由  $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  或  $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  降低和增加钙、镁含量,其差值部分由无钙、镁海水素补充。其中  $\text{SO}_4^{2-}$  由  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  提供,过多的  $\text{Mg}^{2+}$  由  $\text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  提供。本实验在预实验基础上,共设置了 5 个处理组,钙、镁按 1:3 比例不变,总浓度分别设为 700 (A 组)、1 100 (B 组)、1 600 (C 组)、2 200 (D 组)、2 800 (E 组)mg/L。其中,C 组中钙、镁总含量为正常海水值,作为本实验的对照组(表 1)。 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  浓度用 EDTA 络合滴定法测定。

暂养结束后,实验鱼停食 24 h,从中选取 450 尾大小均匀、全长为  $5.12 \pm 0.45$  cm 的褐牙鲆幼鱼用作实验。用纱布吸干鱼体表水分,精确称重到 0.01 g,每组 3 个平行,每个平行放养实验鱼 30 尾。

表 1 各处理组人工海水中钙、镁离子浓度(mg/L)

Table 1 Concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  in artificial seawater in different experiments

	A	B	C 对照组 Control group	D	E
$\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$	1 : 2.94	1 : 3.11	1 : 3	1 : 3.05	1 : 2.92
$\text{Ca}^{2+}$	178	280	413	560	708
$\text{Mg}^{2+}$	523	872	1 240	1 710	2 066

### 1.3 日常管理

实验鱼每天早晚饱食投喂 1 次(8:00, 18:00)。前 20d 投喂规格为 S8 饵料,后 40d 投喂规格为 P1 饵料(山东升索牙鲆颗粒饲料)。每天适当补充收集残饵和粪便流失的水量,5~7d 按水族箱(80 cm × 40 cm × 40 cm, 水体 120L)1/3~1/2 量换 1 次水,试验期间保持光照 14L:10D。DO 维持在  $7.30 \pm 0.41$  mg/L,  $\text{NH}_4\text{-N} < 0.05$  mg/L, 水温设定在  $20 \pm 0.50$  °C。

### 1.4 样品的收集与测定

实验期间,每天投喂的饲料精确称重。残饵和粪便在投喂 2 h 内用虹吸法吸出,收集的残饵和粪便装入烧杯,在 70 °C 烘干至恒重。每隔 20d 所有实验鱼全部称重 1 次,称重当天停食。60d 实验结束后,每组取 9 尾鱼肝脏保存在  $-35$  °C 冰箱。肝组织样品在 4 °C 下解冻,剪碎,按 1:9 的重量体积比(W/V)加入预冷生理盐水,然后用 IKA 高速组织匀浆机匀浆(15 000 r/min, 2 min)。匀浆液经 4 °C 离心(3 000 r/min, 10 min)后,取上清液备用。测定 SOD 活性时上清液稀释至 1%,CAT 稀释 10%。

SOD、CAT 酶活性分别按南京建成生物工程公司生产的 SOD 试剂盒(黄嘌呤氧化酶法)和 CAT 试剂盒(钼酸铵显色法)操作步骤进行测定(赵 锋等 2008)。按考马斯亮兰试剂盒(南京建成生物工程公司)方法测

定1%组织匀浆液蛋白含量,10%的组织匀浆液蛋白含量用1%的组织匀浆液蛋白含量乘以10计算。

### 1.5 计算公式

特定生长率( $SGR, \%/day$ )、摄食率( $FI, \%BW/day$ )、食物转化效率( $FCE, \%$ )和肝比重( $HSI, \%$ )计算公式如下:

$$SGR = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / T \quad FI = 100 \times C / [T \times (W_2 + W_1) / 2]$$

$$FCE = 100 \times (W_2 - W_1) / C \quad HSI = W_L / W_2 \times 100$$

式中,  $W_2$ 、 $W_1$ 分别表示牙鲆最终和起始体重(g),  $W_L$ 为实验结束后肝脏重(g),  $T$ 表示生长天数,  $C$ 表示牙鲆所摄食饲料的干物质重(g)。

### 1.6 数据计算和统计分析

对所有实验数据进行单因子方差分析,如果差异显著,进一步对各处理组进行Duncan多重比较,以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标准。数据的统计分析采用SPSS 13.0进行。

## 2 结果

### 2.1 不同钙、镁浓度下褐牙鲆的行为反应、体重和成活率变化

暂养实验鱼被移入高浓度钙、镁(D组和E组)人工海水时,褐牙鲆幼鱼产生应激反应,鱼体呈弓形,呼吸频率降低,摄食不积极,适应7d左右恢复正常。如表2所示,各组实验鱼的平均初始体重差异不显著,经60d养殖实验,随钙、镁浓度增加平均体重下降,C、D与E组差异不显著,但A、B组平均体重显著高于E组。各实验组成活率均超过90%,B组成活率最低,为 $91.11 \pm 1.92\%$ 。

表2 实验初始和结束时褐牙鲆幼鱼的平均体重及成活率  
Table 2 Initial and final fish weight and survival percentage in experiment

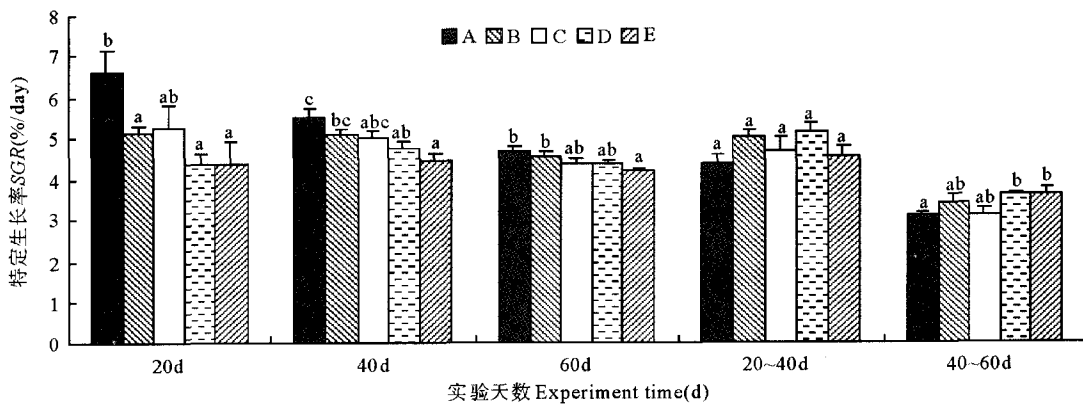
处理组 Treatment group	A	B	C 对照组 Control group	D	E
初始鱼重(g) Initial fish weight	$1.88 \pm 0.03^a$	$1.89 \pm 0.01^a$	$1.85 \pm 0.01^a$	$1.84 \pm 0.01^a$	$1.86 \pm 0.01^a$
结束鱼重(g) Final fish weight	$31.45 \pm 2.49^c$	$28.66 \pm 2.33^{bc}$	$25.42 \pm 1.81^{ab}$	$25.26 \pm 1.06^{ab}$	$22.52 \pm 1.07^a$
成活率(%) Percentage of survival	100 <sup>b</sup>	$91.11 \pm 1.92^a$	$98.89 \pm 1.60^b$	$97.78 \pm 1.92^b$	$97.11 \pm 2.02^b$

### 2.2 不同钙、镁浓度对褐牙鲆特定生长率的影响

如图1所示,20d时,低浓度组A的 $SGR(6.59 \pm 0.55\%)$ 显著高于D组( $4.37 \pm 0.29\%$ )和E组( $4.35 \pm 0.55\%$ );40d时,A处理组的 $SGR$ 为 $5.48 \pm 0.22\%$ ,B组 $SGR$ 为 $5.06 \pm 0.16\%$ ,均显著高于E组( $4.44 \pm 0.17\%$ );60d时,各处理组的特定生长率( $SGR$ )随钙、镁总浓度上升呈下降趋势,A组 $SGR$ 最高( $4.69 \pm 0.11\%$ ),其次为B组( $4.52 \pm 0.14\%$ ),均显著高于E组( $4.16 \pm 0.05\%$ ) ( $P < 0.05$ )。但20~40d时,各处理组差异不显著;40~60d时,A组 $SGR(3.10 \pm 0.11\%)$ 显著低于D( $3.59 \pm 0.04\%$ )和E组( $3.59 \pm 0.21\%$ ) ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同钙、镁浓度对褐牙鲆摄食率的影响

如图2所示,20d时,各处理组之间的 $FI$ 差异显著( $P < 0.05$ ),低浓度组A的 $FI$ 最高为 $3.83 \pm 0.21\%$ ,显著高于B组( $3.03 \pm 0.06\%$ )、C组( $3.02 \pm 0.23\%$ )、D组( $2.71 \pm 0.24\%$ )和E组( $2.63 \pm 0.17\%$ );40d时,低浓度组A的 $FI(2.85 \pm 0.05\%)$ 显著高于D组( $2.63 \pm 0.10\%$ ) ( $P < 0.05$ );60d时,摄食率随钙、镁总浓度升高而降低,处理组B的 $FI(2.19 \pm 0.02\%)$ 显著高于E组( $2.09 \pm 0.01\%$ ) ( $P < 0.05$ )。20~40d和40~60d时各处理组 $FI$ 差异均不显著( $P > 0.05$ )。



注:同一簇中不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

Note: Columns ( $n=3$ ) in the same cluster with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ )

图 1 褐牙鲈在生长实验期间的特定生长率

Fig. 1 Specific growth rate of *P. olivaceus* during the experiment

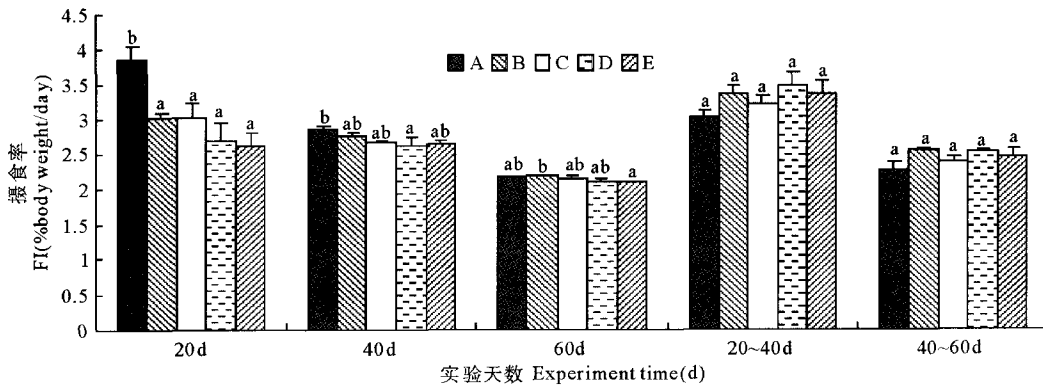


图 2 褐牙鲈在生长实验期间的摄食率

Fig. 2 The food intake of *P. olivaceus* during the experiment

#### 2.4 不同钙、镁浓度对褐牙鲈幼鱼食物转化率的影响

如图 3 所示,虽然在前 20 d 各组实验鱼的食物转化效率(FCE)略高,但差异显著性分析表明,在为期 60 d 的实验过程中,不同处理组间食物转化效率(FCE)无显著差异( $P > 0.05$ )。但在 40~60 d 时,C 组 FCE ( $125.08 \pm 3.32\%$ )显著低于 E 组( $135.53 \pm 2.46\%$ ) ( $P < 0.05$ )。

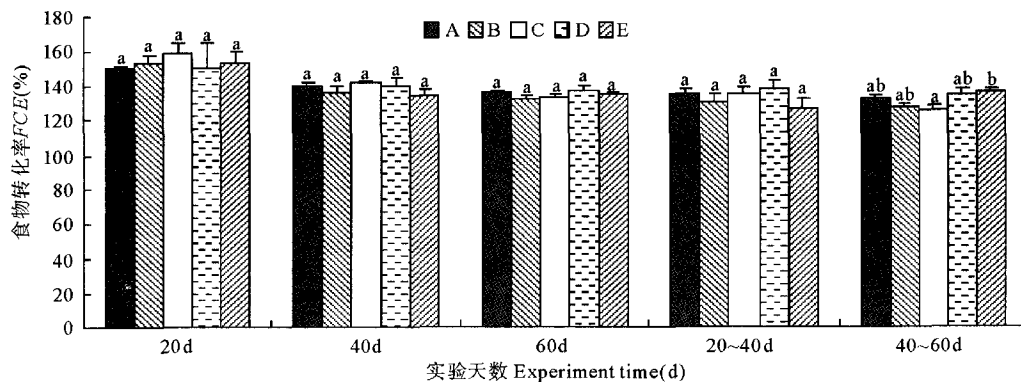


图 3 褐牙鲈在生长实验期间的食物转化效率

Fig. 3 The food conversion efficiency of *P. olivaceus* during the experiment

## 2.5 不同钙、镁浓度对褐牙鲈幼鱼肝比重的影响

如图 4 所示,高钙、镁浓度 D 组、E 组实验鱼的肝比重显著高于对照组( $P < 0.05$ ),A、B、C 三组差异不显著( $P > 0.05$ )。

## 2.6 不同钙、镁浓度对褐牙鲈幼鱼 SOD 酶活力的影响

如图 5 所示,低钙、镁浓度 A 组、B 组和对照组 C 的 SOD 酶活力为  $58 \sim 60$  U/mg 蛋白,且差异不显著( $P > 0.05$ );高钙、镁浓度 D 组的 SOD 酶活力为  $78.90 \pm 8.06$  U/mg 蛋白,显著高于各处理组( $P < 0.05$ ),但 E 组的酶活力最低,为  $49.95 \pm 0.61$  U/mg 蛋白( $P < 0.05$ )。

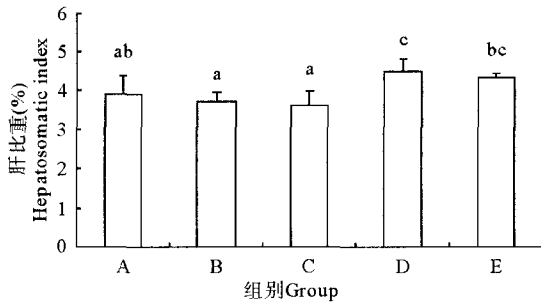


图 4 不同钙、镁浓度对褐牙鲈肝比重的影响

Fig. 4 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentration on hepatosomatic index of *P. olivaceus*

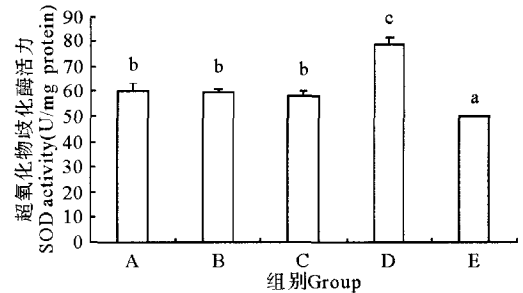


图 5 不同钙、镁浓度对褐牙鲈 SOD 酶活力的影响

Fig. 5 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentration on the SOD activity of *P. olivaceus*

## 2.7 不同钙、镁浓度对褐牙鲈幼鱼 CAT 酶活力的影响

如图 6 所示,高钙、镁浓度 D 组的 CAT 酶活力最高为  $196.69 \pm 15.68$  U/mg 蛋白,而 E 组酶活力最低为  $155.98 \pm 13.66$  U/mg 蛋白,对照组 C 的酶活力为  $175.95 \pm 7.40$  U/mg 蛋白。单因素方差分析表明,各組间差异不显著( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 钙、镁浓度对褐牙鲈存活和生长的影响

我国具有丰富的地下水和盐碱水资源,这些水体中钙、镁离子的含量和比例差别较大,只有合理正确地开发

利用才能带来巨大的经济效益。钙和镁是生命活动中必需的元素,是构成骨、齿、鳞及甲壳的主要成分,在组织中参与肌肉收缩、血液凝固、神经传导、渗透压调节、某些酶的激活以及细胞膜的完整性和通透性的维持等生理作用(李爱杰 1996)。目前,有关钙、镁离子对水生生物影响的研究不多,生产单位大都忽视其作用,并因此造成损失。施兆鸿等(1995)发现钙、镁浓度不同将影响黑鲷的胚胎发育和孵化,无  $\text{Ca}^{2+}$  海水不能孵出仔鱼,无  $\text{Mg}^{2+}$  海水仅能孵出少量畸形仔鱼。王慧等(2000)发现,中国对虾(全长  $1.9 \sim 5.5$  cm)能够生活在钙、镁浓度较低的水中,在  $\text{Mg}^{2+}$  含量  $34.5 \sim 344.9$  mg/L 和  $\text{Ca}^{2+}$  含量  $24.92 \sim 280.6$  mg/L 范围内存活率均较高,但超过此范围成活率显著下降,在  $\text{Ca}^{2+} > 793.5$  mg/L 和  $\text{Mg}^{2+} > 1034.7$  mg/L 时成活率低于 25%,且随着时间的延长,高浓度  $\text{Ca}^{2+}$  则成了中国对虾生长的限制因子。陈昌生等(2004)和 McGraw 等(2003)发现凡纳滨对虾仔

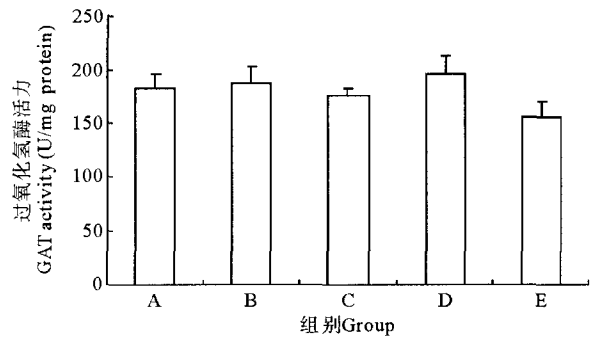


图 6 不同钙、镁浓度对褐牙鲈 CAT 酶活力的影响

Fig. 6 Effect of different  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  concentration on the CAT activity in *P. olivaceus*

虾(全长 2~3 cm)也能在较短的时间内生存于高  $\text{Ca}^{2+}$  或低  $\text{Ca}^{2+}$  海水中。当钙、镁比值为 1:3 时,凡纳滨对虾的存活和生长随钙、镁总浓度的增加而上升,达到 600 mg/L 后开始下降。本研究结果表明,全长 5cm 的褐牙鲈幼鱼在钙、镁浓度 700~2 800 mg/L 的水体中成活率均很高,说明褐牙鲈幼鱼对钙、镁浓度变化的耐受力较对虾强,尤其在高浓度的钙、镁水体中其成活率明显高于甲壳类。

实验初期褐牙鲈的摄食和生长明显受到钙、镁浓度的影响。观察发现,褐牙鲈幼鱼被转入不同钙、镁浓度试验水体初期,呼吸频率降低,摄食行为差异显著,低浓度和对照组的实验鱼摄食积极,高浓度组的摄食不活跃,实验持续 7 d 后高浓度组的摄食基本恢复正常。特定生长率(SGR)随钙、镁总浓度上升而下降,低浓度组显著大于高浓度组,至 60d 差异仍显著。但分析发现,在 20~40 d 的实验中期阶段,各处理组的 SGR 无显著差异;40~60 d 的实验后期阶段,低浓度组的 SGR 显著低于高浓度组,说明高浓度钙、镁仅在短期内抑制褐牙鲈幼鱼的生长。摄食率(FI)也和生长率的趋势相同,但在 20~40 d 和 40~60 d 的实验中后期阶段各处理组摄食率差异均不显著。而食物转化效率(FCE)在实验期间差异亦不显著。董少帅等(2005)认为, $\text{Ca}^{2+}$  浓度是通过影响凡纳滨对虾摄食、代谢率实现对其生长能积累影响的。而朱长波等(2005)认为, $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值是通过影响凡纳滨对虾对食物的转化效率(FCE)和生长能占摄食能的分配比例来影响其生长的。本实验结果表明,钙、镁浓度的变化短期内导致实验鱼摄食率降低,从而影响了褐牙鲈幼鱼的生长。

### 3.2 钙、镁浓度对褐牙鲈 SOD 和 CAT 酶活性的影响

肝脏是动物体物质、能量代谢的重要器官,也是鱼类重要的腺体和消化代谢器官,对鱼类的健康生长起着不可替代的作用。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)都是机体抗氧化防御系统的重要酶,其广泛存在于需氧和耐氧生物体各组织中。因而,过氧化氢酶和超氧化物歧化酶酶活性变化可反映鱼类和甲壳类对环境变化的适应(戴习林等 2001)。已有研究表明,当生物体受到轻度逆境胁迫时,SOD 活性往往升高;而当受到重度逆境胁迫下,SOD 活性通常降低,使生物体内积累过量的活性氧,从而导致生物体的损伤(刘存歧等 2007;鲁双庆等 2002;杨丽华等 2003)。中华绒螯蟹肝胰脏和鳃丝 SOD、CAT 活力受  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  影响呈峰值变化,低浓度组表现为促进作用,高浓度组为抑制作用(潘鲁青等 2004)。这在凡纳滨对虾(吴众望等 2005)和日本鲟 *Charybdis japonica* (张红霞等 2006)也有类似发现。盐度对施氏鲟 *Acipenser schrenckii* 不同组织中 SOD 和 CAT 活力具有抑制作用,但随着盐度驯养时间的延长,SOD 及 CAT 的活力会有不同程度的恢复(赵峰等 2008)。本实验结果与上述结论不同,低浓度组褐牙鲈肝脏抗氧化酶活力与对照组无显著差异,说明低钙、镁浓度对褐牙鲈肝脏抗氧化酶的影响不显著;较高钙、镁浓度 D 组的褐牙鲈肝脏 SOD、CAT 酶活力及肝比重均高于各处理组,分析认为褐牙鲈受到轻度钙、镁胁迫后,酶活力升高;而当水体中钙、镁浓度过高(E 组)时,酶活力则受到一定抑制。

钙、镁作为海水中主要阳离子,自身对水生生物无毒性。但据报道,水环境中高浓度的钙对甲壳类生物是致命的(Kline *et al.* 2000;Pillard *et al.* 1999),且钙、镁离子不平衡已经被证实对生物体有毒(Douglas *et al.* 1996)。王慧等(2000)发现中国对虾对低  $\text{Ca}^{2+}$  和高  $\text{Mg}^{2+}$  的耐受能力均有所提高,说明  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  之间有一定的互补性,但高  $\text{Ca}^{2+}$  对高  $\text{Mg}^{2+}$  则产生拮抗作用。本实验中各组褐牙鲈成活率均高于 90%,说明在本研究的浓度范围内钙、镁离子总量对褐牙鲈幼鱼未表现毒性。但钙、镁总量过高,会在短期内降低实验鱼的摄食率,并对实验鱼肝脏抗氧化酶活力产生一定影响。可以看出,在高钙、镁水环境中,虽然实验鱼的摄食率在短期内可以得到调整,但抗氧化酶活性如果长期处于被抑制的状态,势必会导致实验鱼免疫机能低下,对褐牙鲈的健康养殖产生相应影响。所以,养殖用水不仅要考虑离子组成的平衡,还要控制离子总量不超出养殖生物的耐受范围。

实验表明,褐牙鲈对水体中钙、镁浓度的变化有较强的适应能力。当水体中钙、镁总浓度在 700~2 800 mg/L 时,褐牙鲈存活率较高。实验初期实验鱼生长受到钙、镁浓度影响,但经 60d 养殖驯化,除高浓度组 E 外,各处理组间的生长已无显著差异。然而,水体中钙、镁浓度过高时,对褐牙鲈的免疫酶活性有一定的抑制作用。因此,建议养殖褐牙鲈时应避免水体中钙、镁含量过高。

## 参 考 文 献

- 王 慧, 房文红, 来琦芳. 2000. 水环境中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  对中国明对虾生存及生长的影响. 中国水产科学, 7(1): 80~86
- 王广军, 谢 骏, 潘德博. 2002. 海水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的含量及  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  对日本鳗鲡受精卵孵化率的影响. 海洋科学, 26(2): 69~71
- 孙同秋. 2002. 盐碱地地表水养殖南美白对虾池塘底质与水质的改善. 齐鲁渔业, 19(12): 5~6
- 刘存歧, 刘丽静, 张亚娟, 王军霞. 2007. 基于卤水的养殖用水中  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  对凡纳滨对虾生长及体内 SOD 和 AKP 的影响. 水产科学, 26(2): 67~69
- 朱长波, 董双林, 张建东, 王 芳. 2005. 缺  $\text{K}^+$  型低盐度水体  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  比值对凡纳滨对虾幼虾生长和能量收支的影响. 中国海洋大学学报, 35(5): 773~778
- 朱春华, 徐志标. 2002. 淡化养殖水体中  $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  含量对南美白对虾生长的影响. 淡水渔业, 6: 46~48
- 李爱英. 1991. 海水化学. 北京: 农业出版社, 161~174
- 李爱杰. 1996. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社
- 吴众望, 潘鲁青, 张红霞. 2005. 重金属离子对凡纳滨对虾肝胰脏、鳃丝和血液 SOD 活力的影响. 应用生态学报, 16(10): 1962~1966
- 张红霞, 潘鲁青, 刘 静. 2006. 重金属离子对日本鳗鲡血淋巴抗氧化酶(SOD, CAT, GPx) 活力的影响. 中国海洋大学学报, 36(Sup.): 49~53
- 陈昌生, 纪德华, 王兴标, 陈政强. 2004.  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  对凡纳滨对虾存活及生长的影响. 水产学报, 28(4): 413~418
- 杨富亿, 李秀军, 赵春生, 陈 渊. 2008. 内陆碱性水域凡纳滨对虾生长与环境因子的关系. 海洋水产研究, 29(1): 29~37
- 杨丽华, 方展强, 郑文彪. 2003. 镉对鲫鱼鳃和肝脏超氧化物歧化酶活性的影响. 安全与环境学报, 3(3): 13~16
- 施兆鸿, 黄旭雄, 姜存年. 1995. 海水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  含量对黑鲷胚胎及早期仔鱼发育的影响. 海洋科学, 19(5): 33~38
- 赵 峰, 庄 平, 章龙珍, 黄晓荣, 张 涛, 冯广朋. 2008. 施氏鲟不同组织抗氧化酶对水体盐度升高的响应. 海洋水产研究, 29(5): 65~69
- 董少帅, 董双林, 王 芳, 穆迎春, 朱长波, 黄国强. 2005.  $\text{Ca}^{2+}$  浓度对凡纳滨对虾稚虾生长的影响. 水产学报, 29(2): 211~215
- 鲁双庆, 刘少军, 刘红玉. 2002.  $\text{Cu}^{2+}$  对黄鳍肝胰脏保护酶 SOD、CAT、GSH-PX 活性的影响. 中国水产科学, 9(2): 138~141
- 臧维玲, 戴习林, 张建达, 朱政国. 1995. 罗氏沼虾育苗用水中  $\text{Mg}^{2+}$  与  $\text{Ca}^{2+}$  含量及  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  对出苗率的影响. 海洋与湖沼, 26(5): 552~557
- 潘鲁青, 任加云, 吴众望. 2004. 重金属离子对中华绒螯蟹肝胰脏和鳃丝 SOD, CAT 活力的影响. 中国海洋大学学报, 34(2): 189~194
- 戴习林, 臧维玲, 杨鸿山, 钟霞云, 江 敏, 柯晓东. 2001.  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  对罗氏沼虾幼虾的毒性作用. 上海水产大学学报, 10(4): 298~230
- Boyd, C. E. 2002. Inland shrimp farming. Book of Abstracts-World Aquaculture, Beijing, China; China Society of Fisheries, 83
- Boyd, C. E., and Thunjai, T. 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and The United States. J. World Aquaculture Soc. 34: 524~532
- Davis, D. A., Saoud, I. P., Boyd, C. E., and Rouse, D. B. 2005. Effects of potassium, magnesium and age on acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to inland saline well-waters in west Alabama. J. World Aquaculture Soc. 36(3): 416~419
- Douglas, W. S., Grasso, S. S., Hutton, D. G., and Schroeder, K. R. 1996. Ionic imbalance as a source of toxicity in an estuarine effluent. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 31: 426~432
- Furriel, R. P. M., McNamara, J. C., and Leone, F. A. 2000. Characterization of  $(\text{Na}^+, \text{K}^+)$ -ATPase in gill microsomes of the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii*. Comp. Biochem. Physiol. 126: 303~315
- Kline, E. R., and Stekoll, M. S. 2000. The role of calcium and sodium in toxicity of an effluent to mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*). Environ. Toxicol. Chem. 19(1): 234~241
- McGraw, W. J., and Scarpa, J. 2003. Minimum environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. J. Shellfish Research, 22(1): 263~267
- Pillard, D. A., DuFresne, D. L., Tietge, J. E., and Evans, J. M. 1999. Response of mysid shrimp (*Mysidopsis bahia*), sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*), and inland silverside minnow (*Menidia beryllina*) to changes in artificial seawater salinity. Environ. Toxicol. Chem. 18: 430~435
- Roy, L. A., Davis, D. A., Saoud, I. P., and Herry, R. P. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth, and respiration of *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity waters. Aquaculture, 262: 461~469
- Silva, L. V. F., Golombieski, J. L., and Baldisserotto, B. 2003. Incubation of silver catfish, *Rhamdia quelen* (Pimelodidae), eggs at different calcium and magnesium concentrations. Aquaculture, 228(12): 279~287
- Saoud, I. P., Davis, D. A., and Rouse, D. B. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. Aquaculture, 217: 373~383
- Winkler, A. 1986. Effect of inorganic sea water constituents on branchial Na-K-ATPase activity in the shore crab *Carcinus maenas*. Mar. Biol. 92: 537~544