

DOI: 10.3724/SP.J/1118.2011.00458

盐碱对大鳞鲃血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响

耿龙武¹, 徐伟¹, 李池陶¹, 蔺玉华¹, 刘晓勇², 孙慧武², 张永旺²

1. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 中国水产科学研究院鲟鱼繁育技术工程中心, 北京 100039

摘要: 通过室内毒理实验, 研究了盐度、碱度以及盐碱交互作用对大鳞鲃(*Barbus capito*)血清渗透压、血清离子(Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、尿素氮)浓度和鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响。单因子实验中, 随着含盐水平(8 g/L、10 g/L、12 g/L、14 g/L)的增大, 大鳞鲃血清渗透压和血清离子(Na^+ 、 K^+ 、 Cl^-)浓度均显著升高($P<0.05$), 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力先升高后降低, 受体内渗透压差的影响最显著($P<0.05$)。碱度的增大(19.05 mmol/L、30.20 mmol/L、47.86 mmol/L、75.86 mmol/L)能引起血清 K^+ 和尿素氮浓度显著升高($P<0.05$), 但对血清渗透压和鳃丝 ATP 酶活力无显著影响。在双因子实验中, 盐碱交互升高会引起渗透压和血清离子(Na^+ 、 Cl^- 、尿素氮)显著升高($P<0.05$)。方差分析结果表明, 盐度、碱度及交互作用均对渗透压有显著影响, 影响作用最大的是盐度, 其次是碱度, 交互作用最小。鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活性先升高后降低, 最高值出现在盐度 10 g/L、碱度 30.20 mmol/L 的正交试验组。从实验结果可得出, 大鳞鲃在盐度 12 g/L 以下的水体中能生存, 在盐碱共存的环境下, 能耐受的上限为盐度 10 g/L、碱度 30.20 mmol。本研究旨在掌握大鳞鲃的生存盐碱度范围, 以期为该物种的增养殖生产提供基础依据。[中国水产科学, 2011, 18(2): 458–465]

关键词: 大鳞鲃; 渗透压; 血清离子浓度; Na^+/K^+ -ATP 酶

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)02-0458-08

中国约有 6.9 亿亩(约合 $4.6\times 10^7 \text{ hm}^2$)的低洼盐碱水域和占全国湖泊面积 55%的内陆咸水水域^[1]。这些水资源的主要特点是盐碱度高、缓冲能力差、某些离子严重缺乏^[2], 其生物资源贫瘠, 渔业产量一直较低^[3-5]。为了增加盐碱水域养殖鱼类的品种, 2003 年中国从乌兹别克斯坦的咸海引进耐盐碱鱼类大鳞鲃(*Barbus capito*)。该鱼属鲤科、鲃亚科、鲃属, 为溯河洄游性鱼类, 主要栖息于咸海水域, 产卵时洄游到江河中, 具有食性广、生长速度快、肉质鲜美、耐盐碱、适应性强等特点, 是当地名贵的大型经济鱼类之一^[6]。

盐碱度是水产动物生存重要的环境因子, 其变化不仅影响鱼类的存活^[7-8], 而且对其生长^[9-10]、发育^[11]、组织结构^[12]、血清渗透压^[13]及组织酶活力^[14]等均有影响。目前多采用直接配置不同浓度 NaCl 或 NaHCO_3 溶液进行模拟实验^[15], 对广盐性鱼类鲟鱼^[16-18]、罗非鱼^[7, 19-20]、军曹鱼幼鱼^[21-22]等开展的研究较多, 但以上研究均以盐度^[16-17, 21]或碱度^[23-24]单一因子进行, 难以体现自然环境中盐度和碱度对鱼类的共同影响。本研究拟通过盐度、碱度单因子和双因子试验, 测定大鳞鲃鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶、血清离子浓度和渗透压的变化,

收稿日期: 2010-01-18; 修订日期: 2010-04-30.

基金项目: 农业部“948”引进项目(2001-479-5); 黑龙江水产研究所基本科研业务费专项(2009HSYZX-YY-09); 黑龙江水产研究所基本科研业务费专项(2007HSYZX-YZ-04).

作者简介: 耿龙武(1978-), 男, 硕士, 助理研究员, 从事水产遗传育种研究. E-mail: lwgeng2004@126.com

通讯作者: 徐伟, 研究员. E-mail: xwsc23@tom.com

分析不同盐碱浓度对大鳞鲃鱼体生理的影响, 掌握该鱼的适宜生存盐碱度范围, 以期为今后的增养殖生产提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验鱼为池塘培育的 1 龄鱼种, 体质量 35.3 ~ 46.5 g, 体长 14.86 ~ 17.99 cm, 在室内(水温 22)暂养 1 周, 停食 24 h 后进行实验。实验用水为充分曝气后的自来水, 含盐量 0.57 mg/L、碱度 0.49 mmol/L、pH7.12。实验用水族箱规格为 60 cm×40 cm×35 cm, 配制盐度、碱度所用试剂 NaCl 和 NaHCO_3 均为分析纯。

1.2 实验设计

实验分为单因子和双因子两组, 根据预试验的结果, 单因子盐度、碱度实验各设置 5 个浓度组, NaCl 质量浓度分别为 0 g/L、8 g/L、10 g/L、12 g/L、14 g/L, NaHCO_3 摩尔浓度分别为 0 mmol/L、19.05 mmol/L、30.20 mmol/L、47.86 mmol/L、75.86 mmol/L。双因子正交实验盐度、碱度各取 3 个水平, 考虑两因子的交互作用, 依据正交表 $L_9(3^4)$, 各实验组盐碱浓度见表 1。每个浓度组放实验鱼 8 尾, 设 3 个平行, 试验水体为 60 L, 每天换水 1/3, 并用预先配置的母液调整到相应的浓度。实验进行 96 h, 期间不充气, 利用控温仪使水温保持在 $(22 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。

表 1 盐度与碱度的正交实验表
Tab.1 The orthogonal test of salinity and alkalinity

实验组 group	处理水平 treatment level	
	NaCl / ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	NaHCO_3 / ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)
0	0	0
1	8	19.05
2	8	30.20
3	8	47.86
4	10	19.05
5	10	30.20
6	10	47.86
7	12	19.05
8	12	30.20
9	12	47.86

1.3 样品采集和检测

盐碱实验结束后将鱼麻醉, 用 1mL 注射器在尾部静脉采血 0.5 mL, 4°C 过夜, 离心(5 000 r/min, 10 min)收集无溶血血清, -70°C 冰箱保存。采集血液后随即将鱼放入冰盒内, 取下整个鳃, 先用冰冷生理盐水(0.6%)清洗, 再用滤纸吸干表面的水分, 准确称取鳃丝 0.2 g, 按质量体积比加入 1.8 mL 的生理盐水进行匀浆, 1 200 r/min 离心 10 min, 取上清液作为待测样本。血清和鳃丝的检测样本均为 3 尾。

血清尿素氮和鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力使用南京建成生物公司的检测试剂盒, 分别采用二乙酰一肟法和比色法进行测定, 相应操作参照说明书进行。 Na^+/K^+ -ATP 酶活力单位规定为每小时每毫克组织蛋白的鳃组织中 ATP 酶分解 ATP 产生 1 μmol 无机磷的量为一个 ATP 酶活力单位, 即微摩尔分子磷/毫克蛋白/小时($\mu\text{molPi}\cdot\text{mgprot}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), 蛋白含量的测定采用考马斯亮兰法, 以小牛血清蛋白为标准。血清 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 采用原子吸收分光光度法测定(美国 PE 公司 4100 原子吸收仪), 血清渗透压采用国产 LBST-873 冰点渗量计测定。

1.4 数据处理与分析

利用 SPSS11.5 软件对实验数据进行统计及处理间差异显著性检验, 用最小极差法(LSR)中的 Duncan 氏新复极差检验法进行多重比较, $P<0.05$ 视为差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同实验组大鳞鲃的观察和死亡情况

单因子实验中, 在盐度 14 g/L 实验组放入大鳞鲃 36 h 后, 体表黏液减少, 鱼体发黑, 吻端、鳍条基部有出血点, 72 h 开始死亡, 96 h 实验结束时死亡 4 尾。碱度 75.86 mmol/L 实验组放入大鳞鲃 72 h 后, 鱼体黏液增多, 鳍条溃烂, 游动平衡能力差, 对外界反应迟钝, 96 h 实验结束时共死亡 2 尾。双因子正交实验 96 h 结束时, 9 号组(NaCl 12 g/L、 NaHCO_3 47.86 mmol/L)共死亡 6 尾, 8 号组(NaCl 12 g/L、 NaHCO_3 30.20 mmol/L)共死亡 5 尾, 其他实验组均无死亡。

2.2 盐碱对大鳞鲃血清渗透压的影响

盐度、碱度, 以及盐碱正交作用对血清渗透压的影响见图 1、图 2、图 3。单因子实验中, 血清渗透压随盐度的升高而显著升高($P<0.05$)(图 1), 碱度的升高, 对血清渗透压的影响不显著($P>0.05$)(图 2)。正交实验中, 随着盐度、碱度浓度的增大

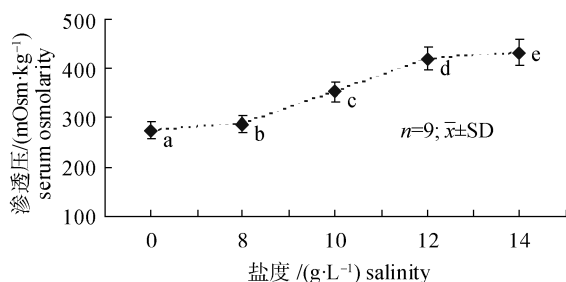


图 1 不同盐度对大鳞鲃血清渗透压的影响

不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Fig.1 Effects of salinity on serum osmosis of *Barbus capito*
Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

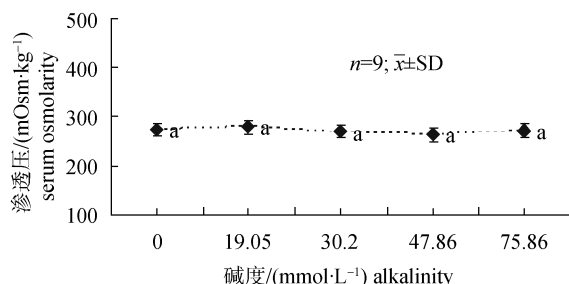


图 2 不同碱度对大鳞鲃血清渗透压的影响

不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Fig.2 Effects of alkalinity on serum osmosis of *Barbus capito*
Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

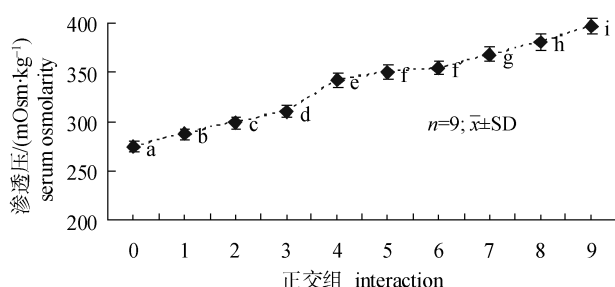


图 3 盐度与碱度组合对大鳞鲃血清渗透压的影响

不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Fig.3 Effects of salinity and alkalinity on serum osmosis of *Barbus capito*

Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

血清渗透压逐渐升高($P<0.05$)(图 3), 方差分析结果表明, 盐度、碱度及交互作用均对渗透压有显著影响, 影响作用最大的是盐度, 其次是碱度, 交互作用最小。血清渗透压(y)与盐度(S)、碱度(A)的回归方程为: $y=113.839+20.522S+0.731A$ ($R^2=0.970$)。

2.3 盐碱对大鳞鲃血清离子浓度的影响

大鳞鲃在不同盐度中的血清离子浓度见表 2。盐度 8~14 g/L 组的 K^+ 离子浓度在 0.38~0.48 mmol/L 之间, 均显著高于对照组($P<0.05$), 各盐度组之间无明显差异($P>0.05$)。盐度 8~12 g/L 组 Na^+ 与 Cl^- 浓度依次显著升高($P<0.05$), 盐度 14 g/L 组这 2 种离子浓度表现出继续升高的趋势, 但升高程度不显著($P>0.05$)。盐度 14 g/L 组的尿素氮浓度为 (1.55 ± 0.24) mmol/L, 显著高于对照组, 其他盐度组浓度与对照组无明显变化($P>0.05$)。

大鳞鲃在不同碱度中的血清离子浓度见表 3。各碱度组的 K^+ 离子浓度均显著高于对照组($P<0.05$), 组间显著水平无差异($P>0.05$)。碱度 75.86 mmol/L 组的 Na^+ 浓度为 (135.88 ± 5.88) mmol/L, 显著低于对照组($P<0.05$), 其他碱度组 Na^+ 浓度无明显变化。 Cl^- 浓度除碱度 19.05 mmol/L 组升高外($P<0.05$), 其他实验组的浓度未发生显著变化。各碱度组的尿素氮浓度都显著高于对照组($P<0.05$), 19.05 mmol/L 组的尿素氮浓度最高 (4.12 ± 0.20) mmol/L, 75.86 mmol/L 组的最低 (3.33 ± 0.22) mmol/L。

盐度、碱度单因子试验结果表明, 盐度的变化对血清中 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 离子浓度有显著影响, 而对尿素氮浓度影响较小。碱度的变化对血清 Na^+ 、 Cl^- 离子浓度影响较小, 而对 K^+ 和尿素氮浓度有显著影响($P<0.05$)。

盐碱正交试验大鳞鲃的血清离子浓度见表 4。随着盐度、碱度的升高, 血清离子 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 和尿素氮浓度均呈现不同程度的升高, 这表明水体盐度和碱度的交互变化, 都会影响这 4 种血清离子的浓度。从方差分析结果看出, K^+ 离子浓度受盐度和盐碱交互作用的影响显著($P<0.05$), 受碱度的影响不大。 Na^+ 离子浓度受盐度影响最显著

表 2 盐度对大鳞鲃血清离子浓度的影响
Tab.2 Effects of salinity on serum concentration of *Barbus capito*

n=9; $\bar{x} \pm SD$				
NaCl/(g·L ⁻¹)	K ⁺ /(mmol·L ⁻¹)	Na ⁺ /(mmol·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mmol·L ⁻¹)	BUN/(mmol·L ⁻¹)
0	0.23 ± 0.06 ^a	140.53 ± 3.50 ^a	98.81 ± 2.12 ^a	1.07±0.08 ^a
8	0.38 ± 0.04 ^b	154.18 ± 3.08 ^b	110.17 ± 1.62 ^b	1.12±0.17 ^a
10	0.41 ± 0.11 ^b	187.07 ± 2.90 ^c	165.52 ± 7.53 ^c	1.19±0.11 ^a
12	0.47 ± 0.08 ^b	221.77 ± 3.49 ^d	222.85 ± 6.21 ^d	1.22±0.12 ^a
14	0.48 ± 0.04 ^b	230.15 ± 6.46 ^d	226.88 ± 4.61 ^d	1.55±0.24 ^b

注: 同一列上标有不同字母表示差异显著(P<0.05).
Note: Value in the same arrange with different letters are significantly different(P<0.05).

表 3 碱度对大鳞鲃血清离子浓度的影响
Tab.3 Effects of alkalinity on serum concentration of *Barbus capito*

n=9; $\bar{x} \pm SD$				
NaHCO ₃ /(g·L ⁻¹)	K ⁺ /(mmol·L ⁻¹)	Na ⁺ /(mmol·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mmol·L ⁻¹)	BUN/(mmol·L ⁻¹)
0	0.23±0.06 ^a	140.53±3.50 ^a	98.81±2.12 ^a	1.07±0.08 ^a
19.05	0.43±0.03 ^b	147.99±7.98 ^a	106.68±6.29 ^b	4.12±0.20 ^c
30.20	0.49±0.04 ^b	140.07±3.01 ^a	92.87±4.80 ^a	4.27±0.21 ^c
47.86	0.51±0.07 ^b	136.98±6.49 ^a	94.71±4.45 ^a	3.97±0.28 ^c
75.86	0.45±0.06 ^b	135.88±5.88 ^b	90.67±1.99 ^a	3.33±0.22 ^b

注: 同一列上标有不同字母表示差异显著(P<0.05).
Note: Value in the same arrange with different letters are significantly different(P<0.05).

表 4 正交试验对大鳞鲃血清离子浓度的影响
Tab.4 Effects of orthogonal experiment on serum concentration of *Barbus capito*

n=9; $\bar{x} \pm SD$				
试验组 group	K ⁺ /(mmol·L ⁻¹)	Na ⁺ /(mmol·L ⁻¹)	Cl ⁻ /(mmol·L ⁻¹)	BUN/(mmol·L ⁻¹)
0	0.23±0.06 ^a	140.54±3.50 ^a	98.81±2.12 ^a	1.07±0.08 ^a
1	0.23±0.04 ^b	147.77±1.89 ^{ab}	106.1±1.37 ^{ab}	0.82±0.09 ^{ab}
2	0.30±0.09 ^{bc}	156.87±3.85 ^{bc}	110.13±1.36 ^b	1.28±0.06 ^b
3	0.31±0.03 ^{bc}	162.01±5.29 ^{cd}	112.17±2.44 ^b	1.22±0.06 ^b
4	0.34±0.06 ^{bc}	172.50±2.72 ^{de}	111.43±3.37 ^b	1.30±0.04 ^b
5	0.39±0.04 ^{bcd}	181.30±3.28 ^{ef}	137.27±4.72 ^c	1.19±0.02 ^c
6	0.46±0.05 ^{cd}	183.01±7.07 ^{ef}	150.23±2.60 ^d	1.38±0.04 ^d
7	0.55±0.11 ^d	187.44±1.19 ^{fg}	166.81±4.81 ^e	2.86±0.11 ^e
8	0.47±0.06 ^{cd}	197.83±2.65 ^{gh}	171.30±3.05 ^e	2.71±0.08 ^e
9	0.44±0.04 ^{cd}	203.07±3.78 ^h	162.33±5.50 ^e	1.93±0.12 ^e
方差分析结果 result	S>S×A, A 不显著	S>A, S×A 不显著	S>A>S×A	S>S×A>A

注: S-盐度作用; A-碱度作用; S×A-盐度、碱度的交互作用. 同一列上标有不同字母表示组间差异显著(P<0.05).
Note: S-salinity effect; A-alkalinity effect; S×A-interaction of salinity and alkalinity. Different letters meant significant difference among different groups at 0.05 level.

(P<0.05), 碱度次之, 交互作用对其无显著影响。Cl⁻离子和尿素氮浓度均受盐度、碱度及交互作用的影响(P<0.05), 但其先后顺序有所不同。

2.4 盐碱对大鳞鲃鳃丝 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力的影响
盐度、碱度以及盐碱正交作用对鳃丝 Na⁺/K⁺-

ATP 酶活力的影响见图 4、图 5、图 6。单因子实验中, 盐度 8~12 g/L 组的鳃丝 Na⁺/K⁺-ATP 酶活力依次显著升高(P<0.05), 12 g/L 组的 ATP 酶活力达到最高值(3.53±0.11) μmolPi·mgprot⁻¹·h⁻¹(P<0.05), 盐度高于 12 g/L 组的 ATP 酶活力开始迅速

降低, 14 g/L 组的 ATP 酶活力 (1.70 ± 0.24) $\mu\text{molPi}\cdot\text{mgprot}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 显著低于其他实验组 ($P<0.05$)(图 4)。碱度的升高对鳃丝 ATP 酶活力的影响不显著($P>0.05$)(图 5)。正交实验中, 随着盐度、碱度交互上升鳃丝 ATP 酶活力先升高后降低, 5 号组(盐度 10 g/L、碱度 30.20 mmol/L)的 ATP 酶活力达到最高(4.38 ± 0.15) $\mu\text{molPi}\cdot\text{mgprot}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 9 号组(盐度 12 g/L、碱度 47.86 mmol/L)的 ATP 酶活力降到最低(1.51 ± 0.19) $\mu\text{molPi}\cdot\text{mgprot}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (图 6)。单因子盐度实验中, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力同水体中 Na^+ 离子浓度、血清渗透压与水体渗透压的差、血清中 Na^+ 浓度与水体 Na^+ 浓度的差的相关分析见表 5。水体中 Na^+ 浓度与 ATP 酶活

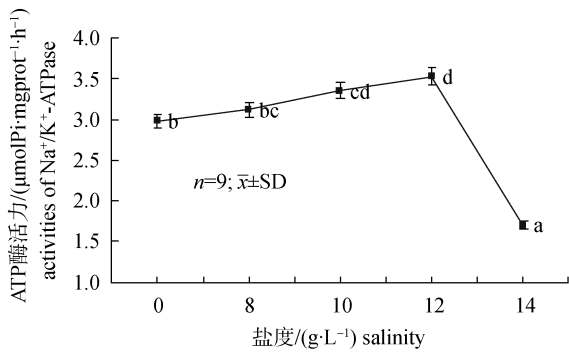


图 4 不同盐度对大鳞鲃鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响
不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$).
Fig.4 Effects of salinity on Na^+/K^+ -ATPase activities of *Barbus capito*
Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

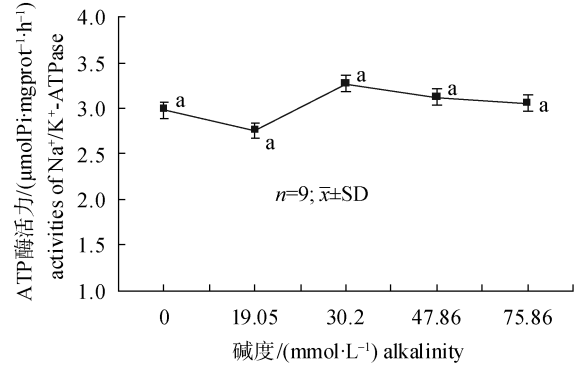


图 5 不同碱度对大鳞鲃鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响
不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$).
Fig.5 Effects of alkalinity on Na^+/K^+ -ATPase activities of *Barbus capito*
Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

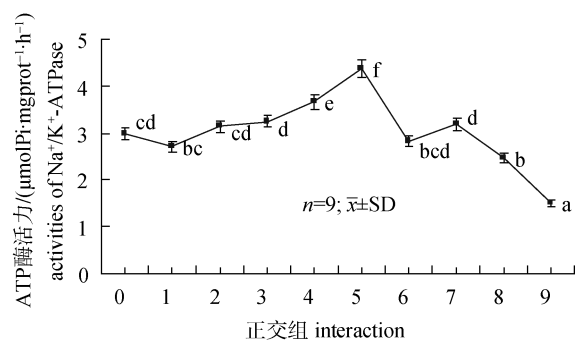


图 6 盐碱对大鳞鲃鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的影响
不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$).
Fig.6 Effects of salinity and alkalinity on Na^+/K^+ -ATPase activities of *Barbus capito*
Different letters meant significant difference among treatments at 0.05 level.

表 5 大鳞鲃鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力与渗透压和 Na^+ 浓度的关系
Tab.5 Relationship between Na^+/K^+ -ATPase activities with serum osmosis and Na^+ concentration

<i>n</i> =9; $\bar{x}\pm\text{SD}$				
NaCl / (g·L ⁻¹)	水体 Na ⁺ 浓度 Na ⁺ concentration	渗透压差/血清-水体 serum osmosis margin	Na ⁺ 浓度差/血清-水体 Na ⁺ concentration margin	Na ⁺ /K ⁺ -ATP 酶活力 Na ⁺ /K ⁺ -ATPase
8	136.9863014	32.73±3.80	17.21±3.08	3.12±0.08
10	171.2328767	34.83±4.25	15.84±2.90	3.35±0.13
12	205.4794521	39.32±3.36	16.29±3.50	3.53±0.11
14	239.7260274	-11.57±7.12	-9.58±6.46	1.70±0.24
回归方程 Regression equation	$y=-0.685+4.05\times10^{-4}x^2-1.511\times10^{-6}x^3(R^2=0.891)$	$y=2.115+0.034x(R^2=0.938)$	$y=2.347+0.058x(R^2=0.859)$	-
相关系数 R	-0.626	0.971	0.934	1

力呈负相关, 但相关程度不高($R=-0.626$), 而渗透压差和 Na^+ 浓度差与 ATP 酶活力均呈现较强的正相关, 相关系数分别为 0.971 和 0.934。随着渗透压差的增大 ATP 酶活力逐渐升高, 渗透压差最大 $[(39.32 \pm 3.36) \text{mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 时, ATP 酶活力最高 $[(3.53 \pm 0.11) \mu\text{mol Pi} \cdot \text{mgprot}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}]$ 。表明单因子盐度中, 大鳞鲃体内血清渗透压差或血清 Na^+ 浓度差是影响鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的重要因子。

3 讨论

3.1 大鳞鲃鳃 Na^+/K^+ -ATP 酶活力的变化规律

淡水和海水鱼类的鳃上皮都具有 Na^+/K^+ -ATP 酶活性, ATP 酶在鳃上皮细胞中的主要功能是维持细胞质膜的离子通透性, 保持细胞内环境中各种离子浓度的相对稳定及细胞内环境和体外环境的渗透压平衡^[25-26]。当外界环境中离子浓度发生变化时, 鳃丝的 ATP 酶活力会做出相应调整。通常情况下, ATP 酶活力与外界盐度成正相关^[16, 27-28]。从盐度单因子试验结果来看, 在盐度 12 g/L 以下时, 鳃丝 ATP 酶活力变化符合上述规律, ATP 酶活力随水体中盐度的增加而上升, ATP 酶活力的升高增加了鳃上皮细胞膜的通透性, 加快了 Na^+ 、 Cl^- 等离子的外排, 将体内多余的盐离子排出体外, 使血清离子浓度维持在鱼体生理活动需要的水平, 从而保证生命活动和能量代谢的正常进行^[27]。

当盐度高于 12 g/L 时, 在较高的盐度刺激下, 大鳞鲃的鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力没有升高反而降低到 $(1.70 \pm 0.24) \mu\text{mol Pi} \cdot \text{mgprot}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。有学者发现在遮目鱼(*Chanos chanos*)也有类似现象^[29], 这与军曹幼鱼在盐度 20 g/L 环境中的 ATP 酶活性低于盐度 10 g/L 一致, 徐力文认为盐度不是影响军曹幼鱼鳃 ATP 活性的唯一因子, 可能与不同的调控机制有关^[21]。本研究盐度实验结果的相关分析表明, 大鳞鲃鳃丝 ATP 酶活力受体内外渗透压差或体内外 Na^+ 离子浓度差影响较为显著, 并不是随水体中盐度的升高一直升高。当体内血清渗透压与体外水体渗透压相差较大时, 鱼体要提高 ATP 酶活力将多余盐离子排出体外, 相反体内血清渗透压与体外水体渗透压相差较小时, 需要外

排的离子数量减少, ATP 酶的活性也会随之降低。

在盐碱正交试验中, 鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力总体变化趋势与盐度类似, 但 ATP 酶活力最高值高于单因子盐度实验中 ATP 酶活力的最高值, 并且 ATP 酶最高值所对应的盐度浓度低于单因子盐度浓度, 这说明盐碱交互作用对 ATP 酶活力的影响大于单因子盐度对 ATP 酶的影响。一定浓度的碱度对暴露在盐溶液中的鳃组织进行离子交换起到了阻碍作用, 鳃组织要维持离子通道畅通, 鳃丝 ATP 酶活力相应需要较高的水平, 这与试验中所观察到的现象一致, 碱度的刺激会使鱼体黏液分泌增多, 大量的黏液凝结于鳃丝表面, 直接影响鳃组织呼吸与其他功能的正常进行。

3.2 大鳞鲃渗透压的调节

狭盐性海洋硬骨鱼类的血浆渗透压在 370 ~ 480 $\text{mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 而狭盐性淡水硬骨鱼类在 260 ~ 330 $\text{mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间^[21], 本研究得出大鳞鲃能忍受的血清渗透压在 280 ~ 420 $\text{mOsm} \cdot \text{kg}^{-1}$, 介于这两类之间, 这说明大鳞鲃是广盐性鱼类。广盐性硬骨鱼类在进入高盐度水体时, 渗透压的调节主要经历 2 个阶段: 一是由于被动失水, 血清离子浓度相对升高而引起的渗透压上升; 二是鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力提高, 离子外排机制被激活, 渗透压逐步下降最终趋于平稳^[13, 30-31]。但大鳞鲃的血清渗透压随外界水体盐度的升高而一直上升。可见, 大鳞鲃血清渗透压对外界高盐环境的反应呈现顺应性, 这是否为该鱼对盐碱水域独特的适应方式有待于进一步研究。

大鳞鲃血清渗透压升高时, 血清 Na^+ 、 Cl^- 浓度都有不同程度的显著升高, 表明渗透压的变化主要是由这两种离子引起的, 这与大多广盐性硬骨鱼类渗透压与血浆 Na^+ 、 Cl^- 浓度呈顺应性关系一致^[32-33]。然而血清中 K^+ 离子浓度的变化表现出不同的结果。Gregory^[34] 认为血清 Na^+ 、 Cl^- 浓度升高, K^+ 浓度会下降; 赵峰等^[32] 发现史氏鲟血清 Na^+ 、 Cl^- 浓度升高时, K^+ 离子浓度未发生较大变化。本实验中大鳞鲃血清 Na^+ 、 Cl^- 浓度升高时, K^+ 浓度同样显著上升。作者认为 K^+ 浓度升高, 正是 Na^+/K^+ -ATP 酶进行 Na^+ 、 K^+ 离子调节的结果^[25],

推测此时大鳞鲃仍然具有主动调节渗透压的能力。

大鳞鲃尿素氮含量在不同盐碱水体有明显变化,说明血清中尿素也参与了渗透压的调节,但尿素对渗透压的调节只在碱度和盐碱混合水体中作用明显,在盐度单因子试验中尿素对渗透压的调节作用较小。尿素是海水板鳃鱼类维持体液水和盐分平衡的主要因子,当血液中尿素含量较高时,使血液渗透压比周围环境稍高而接近等渗,从而减少水分的流失^[25]。富慧光^[35]指出,碱度是水产动物在盐碱水体中生存、生长的限定因素,大多的广盐性鱼类都难以克服盐碱水体的不利因子—碱度。本实验结果表明,尿素氮在碱性水环境中作为其他离子调节渗透压的补充,增强了大鳞鲃在盐碱水域中的渗透调节能力,从而提高了对盐碱水域的耐受程度。

从大鳞鲃血清渗透压变化、鳃丝 Na^+/K^+ -ATP 酶活力以及实验鱼存活情况可以推测,大鳞鲃在盐度 12 g/L 以下的水体中能生存,在盐碱共存的环境下,能耐受的上限为盐度 10 g/L、碱度 30.20 mmol/L。但该盐碱浓度是否影响大鳞鲃正常生长有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 王慧.以渔改碱开发利用我国盐碱地之良方[N].中国渔业报,2009-07-02(4).
- [2] 王慧,来琦芳,房文红.沧州运东地区盐碱水资源对开展渔业的影响[J].河北渔业,2003(5): 16-18.
- [3] 刘军.用灰色理论预测青海湖裸鲤的年产量[J].大连水产学院学报,2006,21(4): 390-393.
- [4] 韩一平.达里湖渔业资源现状调查分析[J].内蒙古水利,2007(1): 45-46.
- [5] 黎道丰,蔡庆华.不同盐碱度水体的鱼类区系结构及主要经济鱼类生长的比较[J].水生生物学报,2000,24(5): 493-501.
- [6] 尼科里斯基 L B.分门鱼类学[M].北京:高等教育出版社,1958: 186-189.
- [7] 强俊,王辉,李瑞伟,等.盐度对奥尼罗非鱼仔、稚鱼生长、存活及其消化酶活力的影响[J].南方水产,2009,5(5): 8-13.
- [8] 王吉桥,程俊驰,许重,等.盐度对鸭绿沙塘鳢幼鱼存活和生长的影响[J].水产学杂志,2007,20(1): 1-8.
- [9] 王信海,蔺玉华,姜秋俚,等.盐度对咸海卡拉白鱼生长及组织学特征的影响[J].中国水产科学,2008,15(5): 808-815.
- [10] Tandler A, Anav F A, Choshniak I. The effect of salinity on growth rate, survival and swim bladder inflation in gilthead sea bream, *Sparus aurata*, larvae and juvenile[J]. Aquaculture, 1995, 135(4): 343-353.
- [11] 袁春营,崔青曼.盐度影响水产养殖动物生长发育的研究进展[J].水产科学,2004,23(5): 808-815, 41-42.
- [12] 柳旭东,张利民,王际英,等.盐度对水产动物体组成与组织结构的影响[J].养殖与饲料,2008(9): 60-64.
- [13] 潘鲁青,唐贤明,刘泓宇,等.盐度对褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼血浆渗透压和鳃丝 Na^+/K^+ -ATPase 活力的影响[J].海洋与湖沼,2006,37(1): 1-6.
- [14] 柳旭东,张利民,王际英,等.盐度对水产动物组织中酶活力的影响[J].养殖与饲料,2008,(11): 68-71.
- [15] 章征忠,张兆琪,董双林,等.pH、盐度、碱度对淡水养殖种类影响的研究进展[J].中国水产科学,1999,6(4): 95-98.
- [16] 赵峰,庄平,李大鹏,等.盐度对施氏鲟和西伯利亚鲟稚鱼的急性毒性[J].生态学杂志,2008,27(6): 929-932.
- [17] 区亮,庄平,章龙珍,等.盐度对俄罗斯鲟幼鱼血清渗透压、离子含量及鳃丝 Na^+/K^+ -ATPase 活力的影响[J].中国水产科学,2010,17(2): 243-251.
- [18] 侯俊利,陈立桥,庄平,等.不同盐度驯化下施氏鲟幼鱼鳃泌氯细胞结构的变化[J].水产学报,2006,30(3): 316-322.
- [19] 李家乐,李思发.罗非鱼类耐盐性研究进展[J].中国水产科学,1999,6(3): 81-84.
- [20] 林建喜,袁重桂,阮成旭,等.不同盐度下奥尼罗非鱼幼鱼生长的研究[J].福州大学学报:自然科学版,2006,34(6): 925-928.
- [21] 徐力文,刘广锋,王瑞旋,等.急性盐度胁迫对军曹鱼稚鱼渗透压调节的影响[J].应用生态学报,2007,18(7): 1596-1600.
- [22] 冯娟,徐立文,林黑着,等.盐度变化对军曹鱼稚鱼相关免疫因子及其生长的影响[J].中国水产科学,2007,14(1): 120-125.
- [23] 吕富,黄金田,田爱民.碱度对异育银鲫摄食、生长和存活的影响[J].安徽农业科学,2007,35(22): 6789-6790.
- [24] 姜秋俚,蔺玉华,王信海. NaHCO_3 对卡拉白鱼生长及渗透调节的影响[J].吉林农业大学学报,2008,30(1): 106-110, 118.

- [25] 林浩然. 鱼类生理学:第 3 版[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002, 119–132.
- [26] Kamaky K J. Structure and function of the chloride cell of *Fundulus heteroclitus* and other teleosts[J]. American Zoologist, 1986, 26(1): 209–224.
- [27] 刘存歧, 王军霞, 张亚娟, 等. 盐碱地渗水盐度与钠钾比对凡纳滨对虾生长的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6): 1337–1342.
- [28] Mancera J M, McCormic S D. Rapid activation of gill Na^+ , K^+ -ATPase in the euryhaline teleost *Fundulus heteroclitus*[J]. J Exp Zool, 2000, 287: 263–274.
- [29] Lin Y M, Chen C N, Lee T H. The expression of gill Na^+ , K^+ -ATPase in milkfish, *Chanos chanos*, acclimated to seawater, brackish water and fresh water[J]. Comp Biochem Physiol, 2003, 135A: 489–497.
- [30] Gregory T O, LeBreton F, William H, et al. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*[J]. Envir Biol Fishes, 1998, 52: 477–482.
- [31] Xugang H, Ping Z, Longzhen Z, et al. Osmoregulation in juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) during brackish water adaptation[J]. Fish Physiol Biochem, 2009, 35(2): 223–230.
- [32] 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.
- [33] Stephen D, McCormick. Effects of growth hormone and insulin-like growth factor I on salinity tolerance and gill Na^+ , K^+ -ATPase in Atlantic Salmon(*Salmo salar*): interaction with cortisol[J]. Gen Comp Endocrinol, 1996, 101: 3–11.
- [34] Gregory T O, LeBreton, William F, et al. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolarity of blood serum in lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*[J]. Envir Biol Fishes, 1998, 52: 477–482.
- [35] 富惠光. 对我省内陆盐碱水域渔业利用的浅见[J]. 河北渔业, 2002(4): 12.

Influence of salinity and alkalinity on serum ion concentrations, serum osmosis and gill Na^+/K^+ -ATPase activity of *Barbus capito*

GENG Longwu¹, XU Wei¹, LI Chitao¹, LIN Yuhua¹, LIU Xiaoyong², SUN Huiwu², ZHANG Yongwang²

1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;

2. Technological and Engineering Center of Sturgeon's Reproduction, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: In this paper, the serum osmosis, serum ions concentration and Na^+/K^+ -ATPase activity in branchial epithelium of *Barbus capito* were investigated in a ambient of salinity, alkalinity and orthogonal experiment. The results showed that osmolarity in serum and serum ions concentration(Na^+ , K^+ , Cl^-)were elevated significantly with the rising salinities(8,10,12,14g/L). The gill Na^+/K^+ -ATPase activity increased in the beginning and decreased subsequently, Na^+/K^+ -ATPase activity was positively related to the difference between osmolarity in water and serum osmolarity. The concentration of K^+ and urea nitrogen were elevated significantly with the rising alkalinity(19.05,30.20,47.86,75.86mmol/L),but serum osmolarity and Na^+/K^+ -ATPase in branchial epithelium were not significantly different. In Two-Factor test, the serum osmolarity and concentration of serum ions(Na^+ , Cl^- , urea nitrogen) were elevated significantly with interaction of salinity and alkalinity, Na^+/K^+ -ATPase activity was influenced significantly by salinity, alkalinity and interaction, the influence degree of the three effects the salinity was the greatest, followed by alkalinity, interaction. The gill Na^+/K^+ -ATPase activity increased in the beginning and decreased subsequently, the highest value of ATPase was in orthogonal group of salinity 10g/L and alkalinity 30.20mmol/L. We can draw a conclusion that *Barbus capito* can survive in single salinity below 12g/L and two factor of salinity 10g/L and alkalinity 30.20mmol/L.[Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 458–465]

Key words: *barbus capito*; osmolarity; serum ions; Na^+/K^+ -ATPase.

Corresponding author: XU Wei. E-mail: xwsc23@tom.com