

网络出版时间:2020-03-13 16:39 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.09.002
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20200312.1020.026.html

盐度对养殖大麻哈鱼血液生化指标及 消化酶活力的影响

李培伦¹, 刘伟¹, 王继隆¹, 鲁万桥¹, 崔康成^{1,2}, 高文燕^{1,2}, 唐富江¹

(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 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

【摘要】【目的】研究盐度对大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)血液生化指标和消化酶活力的影响,为摸索大麻哈鱼海水养殖条件奠定科学基础。【方法】用人工配制的 4 组不同盐度(0(S0), 8(S8), 16(S16), 24(S24) g/L)的水养殖大麻哈鱼, 6 周后尾静脉取血测定血液生化指标, 解剖取胃、幽门盲囊和肠道, 分别测定各类消化酶活力。【结果】大麻哈鱼血清渗透压、 Na^+ 、 Cl^- 和 Mg^{2+} 含量均随盐度的升高呈现上升趋势且幅度较大, S16、S24 组与 S0 组之间具有显著性差异($P < 0.05$)。血清中各种蛋白含量均随盐度的升高呈现先上升后下降的趋势, 其中 S16 组含量最高, S0 组含量最低。S16 组血清中葡萄糖和高密度脂蛋白含量最高, 而 S8 组甘油三酯和低密度脂蛋白含量最高。血清中谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活力随盐度升高呈现先上升后下降的趋势, 且峰值均出现在 S16 组; 而尿酸浓度随盐度升高呈现先下降后上升的趋势, 其中 S8 组最低。血清中乳酸脱氢酶和肌酐浓度变化趋势一致, 均随盐度升高逐渐下降; 而尿素氮浓度与之相反, 随着盐度升高逐渐上升。试验结束时 S8、S16 和 S24 组大麻哈鱼各类消化酶活力均低于 S0 组, 胰蛋白酶活力在肠道中最高, 胃蛋白酶活力在胃中最高, 而脂肪酶和淀粉酶活力在幽门盲囊中最高。【结论】大麻哈鱼通过自身调节作用使其具备较广的盐度适应范围, 在人工养殖过程中建议适宜的水体盐度为 8~16 g/L。

【关键词】 大麻哈鱼; 盐度; 血液生化指标; 消化酶

【中图分类号】 S965.229

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2020)09-0010-07

Effects of salinity on blood biochemical parameters and digestive enzyme activities of farmed chum salmon (*Oncorhynchus keta*)

LI Peilun¹, LIU Wei¹, WANG Jilong¹, LU Wanqiao¹, CUI Kangcheng^{1,2},
GAO Wenyan^{1,2}, TANG Fujiang¹

(1 Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Harbin, Heilongjiang 150070, China;

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

Abstract: 【Objective】The effects of salinity on blood biochemical indicators and digestive enzyme activities of chum salmon were studied to provide basis for exploring marine aquaculture of chum salmon. 【Method】The chum salmon was cultured with artificially configured water in salinities of 0(S0), 8(S8), 16(S16) and 24(S24) g/L for 6 weeks, respectively. The blood biochemical indicators of tail vein blood and digestive enzyme activities of stomach, pyloric caecum and intestinal tissues were measured. 【Result】The osmotic pressure and contents of Na^+ , Cl^- and Mg^{2+} of chum salmon increased with increasing salinity, and

【收稿日期】 2019-09-23

【基金项目】 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HSY201712Q); 农业农村部财政专项物种资源保护项目(2010—2018)

【作者简介】 李培伦(1989—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 助理研究员, 主要从事鱼类生理生态研究。E-mail: lpl19890925@163.com

【通信作者】 刘伟(1960—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 研究员, 硕士生导师, 主要从事渔业资源保护及鱼类增殖保护研究。

E-mail: liuweiliuwei_1020@aliyun.com

there were significant differences between groups S16, S24 and S0 ($P < 0.05$). The contents of various proteins in serum increased first and then decreased with the increase of salinity with the highest in S16 group and the lowest in S0 group. The S16 group had the highest contents of blood glucose and high-density lipoprotein, while the S8 group had the highest contents of triglyceride and low-density lipoprotein. With the increase of salinity, the glutamic oxaloacetate transaminase, glutamic pyruvate transaminase and alkaline phosphatase contents first increased and then decreased with the highest in S16 group, while the uric acid content first decreased and then increased with the lowest in S8 group. The changes of lactate dehydrogenase and creatinine contents decreased with increasing salinity, while the urea nitrogen content increased. At the end of the salinity tests, the activities of digestive enzymes in S8, S16 and S24 groups were lower than those in the S0 group. In addition, the activities of trypsin in intestine, pepsin in stomach as well as lipase and amylase in pyloric caecum were the highest. 【Conclusion】 The chum salmon had a wide range of salinity adaptation through regulation, and the recommended salinity range was 8—16 g/L during marine aquaculture.

Key words: chum salmon; salinity; blood biochemical index; digestive enzymes

盐度是影响鱼类生长发育的重要环境因素,不仅能够影响鱼体渗透压,还可影响鱼体与水环境之间的物质交换和能量流动^[1-2]。血液是生物机体内极其重要的一种液体组织,一方面起着运输营养物质和各类代谢产物的作用,另一方面还可参与机体的免疫应答反应,对维持机体内稳态起着非常重要的作用^[3]。资料显示,当水生动物遭受盐度胁迫时会产生各类免疫应激反应,其中神经内分泌系统的调节作用可以在血液渗透压、无机盐离子、血脂、血清酶类及血液代谢产物等生化指标上反映出来^[4-5],故血液生化指标已被广泛用于评价水生动物的健康状况、营养状况及其对栖息环境的适应程度等。栖息水环境中盐度的改变会对鱼体消化系统产生一定程度的影响,主要表现为消化器官组织结构的变化及各类消化酶活性的促进或抑制,改变鱼体对各类食物的消化吸收能力,进而影响其生存和发育^[6-8]。

大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta* Walbaum)属长距离溯河洄游型鱼类,同时是世界范围内6种太平洋鲑鱼中重要的一种^[9],其洄游特性使其具备开发为海水养殖品种的潜力。其分布范围集中于北纬35°~73°,东经120°~123°的太平洋、北冰洋海域及其有出海口的河流,中国境内仅分布于黑龙江、绥芬河和图们江流域^[10-11]。目前,由于人为捕捞强度过大及栖息地环境破坏,导致其资源储量严重下降、栖息范围缩小、部分水域种群数量濒危^[12]。目前,国内外有关大麻哈鱼的研究主要集中在种群遗传结构^[13]、盐度对幼鱼生理影响^[14-15]、标记放流^[16-17]及人工增殖^[18]等方面,而有关盐度对大麻哈鱼成鱼血液生化指标及消化酶活力影响方面的报道较少,

为此本试验研究了盐度对养殖大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力的影响,旨在丰富大麻哈鱼生理生态方面的研究资料,为进一步摸索大麻哈鱼人工养殖条件奠定科学基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2018年5月下旬,在中国水产科学研究院黑龙江水产研究所养殖车间,挑选生长状况良好且个体接近的大麻哈鱼24尾[叉长(27.79 ± 0.61) cm、体质量(285.09 ± 30.62) g],在全自动循环控温水族箱(长80 cm×宽60 cm×高50 cm)内开展相关试验。试验设4个盐度梯度:0, 8, 16, 24 g/L(分别用S0、S8、S16、S24表示),每个盐度梯度6尾试验鱼。试验用水为地下井水与海水素调配而成,用盐度计校正各试验组盐度。将大麻哈鱼直接放入各盐度水体中,试验期间水温控制在(15 ± 0.5) °C,连续曝气,溶解氧含量大于9 mg/L。每天投喂鲑鱼颗粒饲料2次,每周换水1次,试验期间养殖车间其他管理条件一致,试验周期42 d。

1.2 样品制备及指标测定

取样前停食24 h,用MS-222麻醉剂麻醉鱼体,将试验鱼置于冰盘上,用2 mL无菌注射器进行尾静脉取血,血样置于2 mL离心管(未加抗凝剂)中,4 °C条件下3 500 r/min离心10 min,取上清液置于-20 °C冰箱中待测。解剖鱼体,取胃、幽门盲囊和肠道组织,经预冷生理盐水快速冲洗后用吸水纸吸干水分,保存于-80 °C冰箱中,用于消化酶活力测定。

用Olympus AU 600全自动生化分析仪,对大

麻哈鱼血清中渗透压(OSM), Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 PO_4^{3-} 、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、总蛋白(TP)、葡萄糖(GLU)、总胆固醇(CHOL)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)含量,谷草转氨酶(AST)、谷丙转氨酶(ALT)、 γ -谷氨酰转肽酶(GGT)、碱性磷酸酶(ALP)、乳酸脱氢酶(LDH)活性及肌酐(CREA)、尿素氮(BUN)、尿酸(URIC)浓度等 23 项血液生化指标进行测定。

采用试剂盒(南京建成)对胃、幽门盲囊和肠道组织中胰蛋白酶(TPS)、胃蛋白酶(PPS)、脂肪酶(LPS)和淀粉酶(AMS)活力进行测定。测定前解冻组织并准确称质量,按 1:9 的质量(g)体积(mL)比加入生理盐水,冰水浴条件下机械匀浆后 2 500 r/min 离心 10 min,取上清再用生理盐水 5 倍稀释,取样 50 μL 进行总蛋白及各种消化酶活力测定,相关操作严格按照试剂盒说明书进行。

1.3 数据处理

运用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 对试验数据进

行统计,采用单因素分析法进行方差分析,Duncan 法进行组间多重比较,结果均用“平均值 $\pm$ 标准差(mean $\pm$ SD)”表示, $P<0.05$ 为差异显著,最后用 GraphPad Prism 5 统计分析软件制图。

2 结果与分析

2.1 盐度对大麻哈鱼血清渗透压和无机盐离子含量的影响

从表 1 可以看出,大麻哈鱼血清渗透压及 Na^+ 、 Cl^- 和 Mg^{2+} 含量均随着盐度的升高呈现出上升的趋势,且上升幅度较大,S16、S24 与 S0 组之间具有显著性差异($P<0.05$); K^+ 含量随着盐度的升高呈现先降后升的变化趋势,S16 组含量最低; Ca^{2+} 含量变化趋势与 K^+ 相反,随着盐度的升高 Ca^{2+} 含量呈现先升后降的趋势,S16 组含量最高;无机盐中 PO_4^{3-} 含量呈现一定的波动,其中 S16 组含量最高,且与其他各组之间有显著性差异($P<0.05$)。

表 1 不同盐度下大麻哈鱼的血清渗透压和无机盐含量

Table 1 Serum osmotic pressure and inorganic salts contents of chum salmon with different salinities

组别 Group	渗透压/(mOsm $\cdot\text{L}^{-1}$) OSM	Na^+ /(mmol $\cdot\text{L}^{-1}$)	Cl^- /(mmol $\cdot\text{L}^{-1}$)	K^+ /(mmol $\cdot\text{L}^{-1}$)
S0	264.24 $\pm$ 7.24 a	136.0 $\pm$ 4.95 a	112.2 $\pm$ 3.49 a	3.15 $\pm$ 0.21 c
S8	272.08 $\pm$ 14.14 a	137.2 $\pm$ 7.12 a	121.2 $\pm$ 1.79 b	1.96 $\pm$ 0.23 b
S16	306.41 $\pm$ 9.18 b	154.2 $\pm$ 2.39 b	131.6 $\pm$ 2.88 c	1.36 $\pm$ 0.19 a
S24	364.15 $\pm$ 10.70 c	186.6 $\pm$ 4.78 c	168.6 $\pm$ 5.41 d	3.02 $\pm$ 0.33 c

组别 Group	Ca^{2+} /(mmol $\cdot\text{L}^{-1}$)	Mg^{2+} /(mmol $\cdot\text{L}^{-1}$)	PO_4^{3-} /(mmol $\cdot\text{L}^{-1}$)
S0	2.472 $\pm$ 0.17 a	1.34 $\pm$ 0.11 a	3.436 $\pm$ 0.51 a
S8	2.532 $\pm$ 0.15 a	1.60 $\pm$ 0.22 b	3.344 $\pm$ 0.65 a
S16	3.200 $\pm$ 0.18 b	1.70 $\pm$ 0.20 b	4.690 $\pm$ 0.28 b
S24	3.056 $\pm$ 0.19 b	2.14 $\pm$ 0.18 c	3.834 $\pm$ 0.69 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 盐度对大麻哈鱼血清蛋白含量的影响

从表 2 可以看出,大麻哈鱼血清中白蛋白和球蛋白含量均随着盐度的升高呈现出先上升后下降的趋势,S16 组含量最高,S0 组含量最低,组间差异显

著($P<0.05$)。总蛋白含量变化趋势同白蛋白和球蛋白一致,其中 S0、S8 和 S16 组之间具有显著性差异($P<0.05$),而 S24 与 S8 组之间无显著性差异($P>0.05$)。

表 2 不同盐度下大麻哈鱼的血清蛋白含量

Table 2 Serum proteins contents of chum salmon with different salinities

组别 Groups	白蛋白/(g $\cdot\text{L}^{-1}$) ALB	球蛋白/(g $\cdot\text{L}^{-1}$) GLB	总蛋白/(g $\cdot\text{L}^{-1}$) TP
S0	20.24 $\pm$ 0.55 a	2.02 $\pm$ 0.26 a	22.24 $\pm$ 0.27 a
S8	25.74 $\pm$ 1.12 c	4.06 $\pm$ 0.48 b	29.40 $\pm$ 1.52 b
S16	28.78 $\pm$ 1.92 d	5.54 $\pm$ 0.34 c	34.60 $\pm$ 2.07 c
S24	23.90 $\pm$ 0.82 b	3.94 $\pm$ 0.23 b	27.80 $\pm$ 0.84 b

2.3 盐度对大麻哈鱼血清葡萄糖及血脂含量的影响

从表 3 可以看出,不同盐度条件下大麻哈鱼葡

萄糖(血糖)、甘油三酯、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白含量变化趋势一致,均随着盐度的升高呈现出先上升后下降的趋势,其中葡萄糖和高密度脂蛋白含

量最高的为 S16 组,而甘油三酯和低密度脂蛋白含量最高的为 S8 组;S8 和 S16 组的葡萄糖、甘油三酯、高密度脂蛋白含量显著高于 S0 和 S24 组($P<0.05$),S8 与 S16 组间无显著差异;而 S8 组低密度

脂蛋白含量与其他各组之间具有显著性差异($P<0.05$)。大麻哈鱼血清总胆固醇含量随盐度的升高逐渐降低,且 S24 组与其他各组之间具有显著性差异($P<0.05$)。

表 3 不同盐度下大麻哈鱼的血清葡萄糖及血脂含量

Table 3 Serum blood glucose and lipid levels of chum salmon with different salinities						mmol/L
组别 Group	葡萄糖 GLU	总胆固醇 CHOL	甘油三酯 TG	高密度脂蛋白 HDL	低密度脂蛋白 LDL	
S0	2.02±0.26 a	5.408±0.79 a	3.976±0.48 a	1.834±0.36 a	0.226±0.07 a	
S8	4.06±0.48 b	4.088±0.51 a	7.104±1.15 c	2.882±0.22 b	0.360±0.08 b	
S16	5.54±0.34 b	3.984±0.23 a	6.692±0.70 c	3.116±0.23 b	0.182±0.07 a	
S24	3.94±0.23 a	3.614±0.17 b	5.318±0.63 b	2.196±0.31 a	0.174±0.01 a	

2.4 盐度对大麻哈鱼血清酶类及代谢产物的影响

从表 4 可以看出,不同盐度条件下大麻哈鱼血清中谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活力随着盐度的升高呈现先上升后下降的趋势,且峰值均出现在 S16 组。尿酸浓度随盐度的升高呈现出先下降后上升的趋势,最低值出现在 S8 组。乳酸脱氢酶

活力和肌酐浓度变化趋势一致,均随盐度升高逐渐下降;而尿素氮浓度与之相反,随着盐度升高逐渐上升。 γ -谷氨酰转肽酶活力随着盐度的升高整体呈现下降的趋势,但各试验组之间无显著性差异($P>0.05$)。

表 4 不同盐度下大麻哈鱼的血清酶类及代谢产物

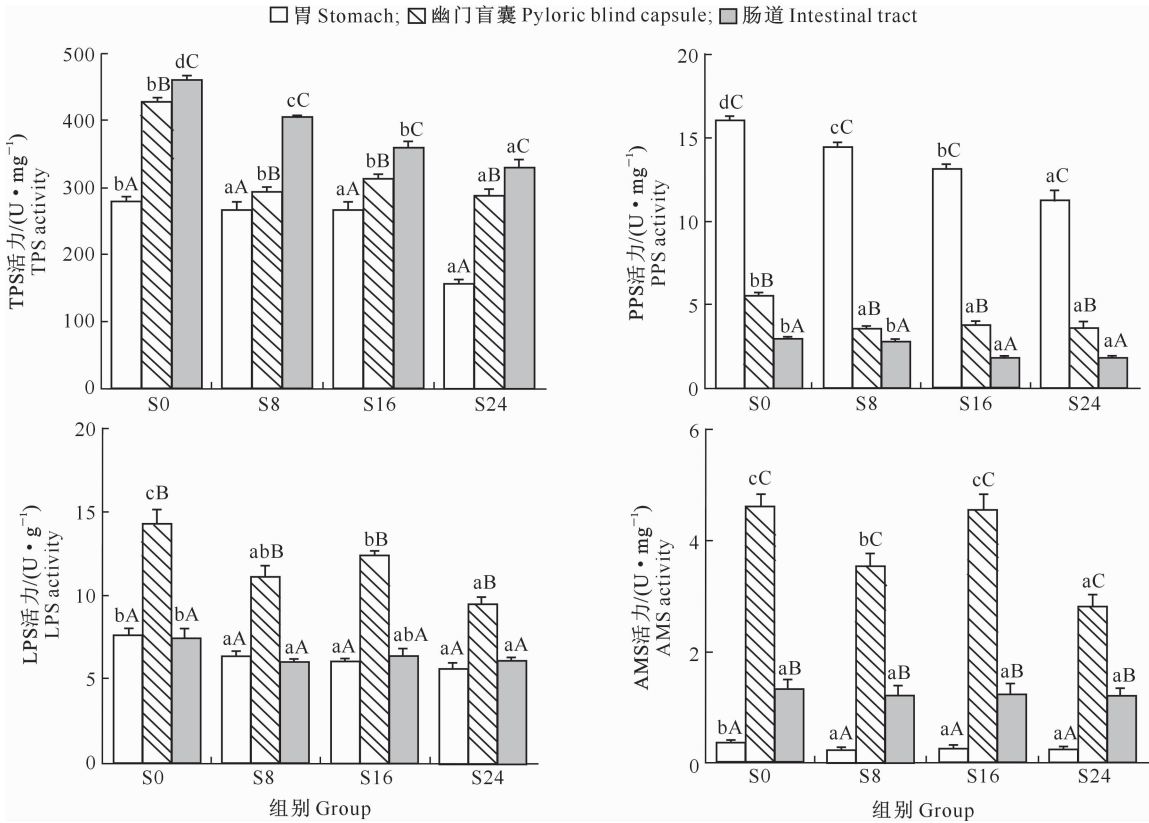
Table 4 Serum enzymes and serum metabolites of chum salmon with different salinities				
组别 Group	谷草转氨酶/(U·L ⁻¹) AST	谷丙转氨酶/(U·L ⁻¹) ALT	γ -谷氨酰转肽酶/(U·L ⁻¹) GGT	碱性磷酸酶/(U·L ⁻¹) ALP
S0	264.8±17.14 b	8.2±0.84 a	3.2±0.84 a	11.2±1.30 a
S8	265.0±46.76 b	9.4±1.14 ab	2.4±1.14 a	15.8±4.32 ab
S16	320.8±34.53 c	10.4±1.14 b	2.8±1.10 a	18.2±2.28 b
S24	215.6±12.24 a	8.4±0.55 a	2.2±0.84 a	17.4±5.46 b
组别 Group	乳酸脱氢酶/(mmol·L ⁻¹) LDH	尿素氮/(mmol·L ⁻¹) BUN	肌酐/(μ mol·L ⁻¹) CREA	尿酸/(μ mol·L ⁻¹) URIC
S0	568.2±11.17 c	1.56±0.11 a	26.45±1.78 b	89.0±5.70 c
S8	523.4±40.08 c	1.96±0.32 b	14.27±1.37 a	37.4±5.86 a
S16	466.0±47.37 b	2.26±0.17 b	13.25±1.41 a	60.2±7.05 b
S24	399.2±44.72 a	2.70±0.43 c	12.44±6.03 a	66.8±5.59 b

2.5 盐度对大麻哈鱼消化酶活力的影响

盐度对大麻哈鱼消化酶活力的影响见图 1。由图 1 可以看出,胰蛋白酶(TPS)活力随着盐度的升高在各消化器官中整体呈现下降趋势。尽管胃和幽门盲囊组织中 S16 组胰蛋白酶活力稍高于 S8 组,但这 2 组之间无显著差异($P>0.05$);而肠道中胰蛋白酶活力逐渐下降且各组之间具有显著性差异($P<0.05$)。胃蛋白酶(PPS)活力在胃和肠道组织中随着盐度的升高而逐渐下降,而在幽门盲囊组织中 S8、S16 和 S24 组胃蛋白酶活力显著低于 S0 组($P<0.05$)。脂肪酶(LPS)活力在胃和幽门盲囊组织中随盐度的升高逐渐下降,且 S8、S16 和 S24 组同 S0 组之间具有显著性差异($P<0.05$);而肠道组织中脂肪酶活力随盐度的升高呈现出先下降后上升再下降的趋势,但 S8、S16 与 S24 组之间无显著性差异

($P>0.05$)。淀粉酶(AMS)活力在胃组织中随着盐度的升高而逐渐降低,但在其他组织器官中均呈现先下降后上升再下降的趋势,且胃组织中 S8、S16 和 S24 组淀粉酶活力显著低于 S0 组,而肠道组织中各组之间无显著性差异($P>0.05$)。

由图 1 还可以看出,在同一盐度条件下,胰蛋白酶活力在肠道组织中最高,其次为幽门盲囊,最低为胃组织,且在各器官中具有显著性差异($P<0.05$);胃蛋白酶活力在胃组织中最高,其次为幽门盲囊,最低为肠道组织,且在各器官中具有显著性差异($P<0.05$);脂肪酶活力在幽门盲囊组织中最高,且显著高于肠道和幽门盲囊组织;淀粉酶活力在各消化器官中由高至低依次为幽门盲囊、肠道和胃组织,且各消化器官之间具有显著性差异($P<0.05$)。



柱上小写字母表示同一组织不同盐度间存在显著性差异 ($P < 0.05$); 大写字母表示同一盐度不同组织间存在显著性差异 ($P < 0.05$)
Different lowercase letters mean significant difference in same tissue under different salinities ($P < 0.05$),
and different capital letters mean significant difference among tissues at same salinity ($P < 0.05$)

图 1 不同盐度下大麻哈鱼消化器官中的消化酶活力

Fig.1 Activities of digestive enzymes in digestion organs of chum salmon with different salinities

3 讨论

3.1 不同盐度下大麻哈鱼的血液生化指标特点

血液中含有多种以离子形式存在的无机物,其含量多寡对鱼体内环境稳定的维持具有重要意义,主要参与维持血液渗透压、酸碱度平衡等生理活动^[19]。研究表明,鱼体在盐度胁迫下渗透压会随着盐度的升高出现上升趋势,此外对大多数广盐性硬骨鱼类而言,血液中 Na^+ 和 Cl^- 浓度变化趋势与渗透压变化趋势相同^[14]。本研究结果显示,不同盐度下大麻哈鱼渗透压水平随着盐度的升高不断上升,且 Na^+ 、 Cl^- 含量亦随着盐度的升高而升高,这与在施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*)^[20]、军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[21] 上的研究结果相同。一般来讲,鱼体中葡萄糖水平处于动态平衡中,其含量高低可反映出鱼类的活跃程度,易受水体环境、饵料等影响^[20,22];而血液内蛋白含量在维持正常渗透压、物质运输、体内酸碱度平衡及增强抵抗力等方面均有重要作用^[23]。本研究中大麻哈鱼血清葡萄糖和总蛋白含量在 S8、S16、S24 组中均较高,推测大麻哈

鱼在高盐度水环境中糖元异生作用增强,以维持较高葡萄糖水平,从而为机体供应能量,此外通过蛋白含量升高还可维持内稳态及物质运输效率。

金珊等^[24]指出,谷丙转氨酶、谷草转氨酶等血清酶类活力升高,一般反映鱼体肝脏组织受到了一定程度的损伤。本研究中 S8 和 S16 组谷丙转氨酶等血清酶类整体水平高于 S0 和 S24 组,但这 2 组大麻哈鱼均能正常生长,推测该类酶活力升高为在盐度胁迫下形成的可逆生理性变化,而非不可逆的病理性变化。乳酸脱氢酶是一种广泛存在于机体胞质内的糖酵解酶,尤以肾脏中含量较高,其含量升高多是因肾脏受到损伤所致,同时血液中肌酐含量亦可协助评价肾脏状况^[25]。血液中甘油三酯可为动物体提供能量,碱性磷酸酶是免疫系统中重要的非特异性水解酶和重要的代谢调控酶,可以催化磷酸酯类水解形成无机磷酸,进而促进 ATP 的生成^[26]。本研究中大麻哈鱼乳酸脱氢酶和肌酐的含量随着盐度的升高呈下降趋势,推测低盐度组 (S0、S8) 大麻哈鱼肾脏组织出现了一定程度的损伤。但 S8、S16 和 S24 组大麻哈鱼血液中甘油三酯和碱性磷酸酶含

量较淡水 S0 组均出现不同程度的提高,尤其是 S16 组含量最高,其含量升高可为内脏的损伤修复提供原料和能量供应,推断较高的盐度环境可以对大麻哈鱼肾脏损伤起到一定的修复作用。

3.2 盐度对大麻哈鱼消化酶活力的影响

有研究指出,水环境中盐度的改变会对鱼体消化器官消化酶活力造成一定影响,可分为 3 种情况:激活、无影响和抑制^[27-28]。对海水鱼、虾类来讲,机体消化酶活力一般随盐度的升高而提升,而盐度对广盐性洄游型鱼类的作用往往比较复杂,且个体之间具有较大差异^[6-8]。从本研究结果可以看出,盐度对大麻哈鱼消化器官消化酶活力造成了一定影响,整体来看,S8、S16 和 S24 组各类消化酶活力均低于 S0 组,其中 S24 组消化酶活力较低,而 S8 和 S16 组相差不大,推测本试验条件下水环境中盐度升高对大麻哈鱼消化酶活力起到了一定的抑制作用。李娜等^[29]指出,消化器官中消化酶的活力呈现整体效应,当一种消化酶活力提高时,其他消化酶的活力也随之提高,反之亦然。而本研究结果与之不同,大麻哈鱼在应对盐度变化时,消化器官中消化酶活力呈现出明显的复杂性,与前人对施氏鲟^[6]、长江刀鲚(*Coilia nasus*)^[8]等洄游型鱼类的研究结果相似。此外,在同一盐度条件下,大麻哈鱼肠道组织中胰蛋白酶活力最高,胃组织中胃蛋白酶活力最高,而幽门盲囊组织中脂肪酶和淀粉酶活力最高,说明大麻哈鱼消化酶在发挥消化功能时具有组织器官特异性,胃和肠道组织主要消化食物中的蛋白质,而幽门盲囊则多消化食物中的脂肪和碳水化合物。

整体来讲,盐度对大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力造成了一定程度的影响,但其在各盐度组中均能够正常生长,这可能与大麻哈鱼溯河洄游的特性有关,尽管该鱼一直养殖在淡水环境中,但通过自身调节作用使其具备了较广的盐度适应范围,因此在大麻哈鱼人工养殖过程中建议适宜水体盐度为 8~16 g/L。

[参考文献]

- [1] Silva S S D, Perera P A B. Studies on the young grey mullet effects of salinity on food intake, growth and food conversion [J]. Aquaculture, 1976, 7(4): 327-338.
- [2] 林浩然. 鱼类生理学 [M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1999: 127-145.
Lin H R. Fish physiology [M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1999: 127-145.
- [3] Ellis A E. The leucocytes of fish; a review [J]. Journal of Fish Biology, 2006, 11(5): 453-491.
- [4] 洪磊, 张秀梅. 环境胁迫对鱼类生理机能的影响 [J]. 海洋科学进展, 2004, 22(1): 114-121.
Hong L, Zhang X M. Effects of environmental stress on physiological function of fish [J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(1): 114-121.
- [5] 舒超华, 张珂, 洪美玲, 等. 盐度胁迫对红耳龟生长与血液生化指标的影响 [J]. 四川动物, 2012, 31(6): 912-916.
Shu C H, Zhang K, Hong M L, et al. Effect of salinity stress on *Trachemys scripta elegans* growth and blood biochemical ingredient [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2012, 31(6): 912-916.
- [6] 庄平, 章龙珍, 田宏杰, 等. 盐度对施氏鲟幼鱼消化酶活力的影响 [J]. 中国水产科学, 2008, 15(2): 198-203.
Zhuang P, Zhang L Z, Tian H J, et al. Effects of salinity on digestive enzyme activities of juvenile *Acipenser schrenckii* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(2): 198-203.
- [7] 罗鸣钟, 关瑞章, 靳恒. 盐度对花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡幼鱼生长性能及消化酶活力的影响 [J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 653-660.
Luo M Z, Guan R Z, Jin H. Effects of the salinity on the growth performance and digestive enzyme activities of *Anguilla marmorata* elver and *A. bicolor pacifica* elver [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(4): 653-660.
- [8] 邓平平, 施永海, 汪洋, 等. 盐度对长江刀鲚幼鱼非特异性免疫酶和消化酶活力的影响 [J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(5): 531-537.
Deng P P, Shi Y H, Wang Y, et al. Effects of salinity on activities of non-specific immune and digestive enzymes in juvenile estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus* [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(5): 531-537.
- [9] Groot C, Margolis L. Pacific salmon life histories [M]. Columbia: University of British Columbia UBC Press, 1991: 567.
- [10] 伍献文. 中国经济动物志. 淡水鱼类 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 24-25.
Wu X W. China's economic animal chronicles. Freshwater fishes [M]. Beijing: Scientific Press, 1979: 24-25.
- [11] 任慕莲. 黑龙江鱼类 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1981: 17-19.
Ren M L. Fishes of Heilongjiang [M]. Harbin: Heilongjiang People's Press, 1981: 17-19.
- [12] 解玉浩. 东北地区淡水鱼类 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007: 296.
- [13] Xie Y H. Freshwater fishes in Northeast China [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2007: 296.
- [14] Chen J P, Sun D J, Dong C Z, et al. Genetic analysis of four wild chum salmon *Oncorhynchus keta* populations in China based on microsatellite markers [J]. Environmental Biology of Fishes, 2005, 73(2): 181-188.
- [14] 刘伟, 支兵杰, 战培荣, 等. 盐度对大麻哈鱼幼鱼血液生化指标及肝组织的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2411-2417.

- Liu W, Zhi B J, Zhan P R, et al. Effects of salinity on haematological biochemical indices and liver tissue in juvenile *Oncorhynchus keta* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2411-2417.
- [15] Taniyama N, Kaneko N, Inatani Y, et al. Effects of seawater transfer and fasting on the endocrine and biochemical growth indices in juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) [J]. General and Comparative Endocrinology, 2016, 236: 146-156.
- [16] 王 臣, 刘 伟, 战培荣, 等. 外源 Sr^{2+} 在大麻哈鱼胚胎耳石上的沉积 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3189-3194.
- Wang C, Liu W, Zhan P R, et al. Exogenous Sr^{2+} sedimentation on otolith of chum salmon embryos [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(10): 3189-3194.
- [17] 李培伦, 刘 伟, 王继隆, 等. 大麻哈鱼放流期形态性状对体质量的影响分析 [J]. 水产学杂志, 2018, 31(2): 6-11.
- Li P L, Liu W, Wang J L, et al. The relationship between morphometric characters and body mass of *Oncorhynchus keta* during the releasing period [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2018, 31(2): 6-11.
- [18] 李培伦, 刘 伟, 姜黎明, 等. 大麻哈鱼不同月龄形态性状对体质量的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(9): 8-16, 24.
- Li P L, Liu W, Jiang L M, et al. Effects of morphological traits on body mass of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2019, 47(9): 8-16, 24.
- [19] 常志强, 李金宝, 李 健, 等. 大菱鲆、褐牙鲆和半滑舌鳎的血液生化指标特征 [J]. 中国渔业质量标准, 2013, 3(4): 76-82.
- Chang Z Q, Li J B, Li J, et al. Characteristics of blood biochemical parameters in turbot, olive flounder and tongue sole [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2013, 3(4): 76-82.
- [20] 黄晓荣, 章龙珍, 庄 平, 等. 盐度驯化下施氏鲟的血液生化指标 [J]. 上海水产大学学报, 2007(2): 144-150.
- Huang X R, Zhang L Z, Zhuang P, et al. Haematological biochemistry of amur sturgeon *Acipenser schrenckii* at different domestication salinities [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2007(2): 144-150.
- [21] 徐力文, 冯 娟, 郭志勋, 等. 盐度对军曹鱼稚鱼血液生理生化及鳃 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATPase}$ 活性的影响 [J]. 海洋环境科学, 2008, 27(6): 602-606.
- Xu L W, Feng J, Guo Z X, et al. Effect of salinity on hematology and gill $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATPase}$ activity of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* Linnaeus [J]. Marine Environment Science, 2008, 27(6): 602-606.
- [22] 陆 阳, 杨雨虹, 王裕玉, 等. 不同比例膨化豆粕替代鱼粉对虹鳟生长、体成分及血液学指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 221-227.
- Lu Y, Yang Y H, Wang Y Y, et al. Effects of different replacement ratio of fish meal by extruded soybean meal on growth, body composition and hematology indices of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(1): 221-227.
- [23] 林浩然. 鱼类生理学 [M]. 广州: 中山大学出版社, 2011: 153-159.
- Lin H R. Fish physiology [M]. Guangzhou: Sun Yatsen University Press, 2011: 153-159.
- [24] 金 珊, 王国良, 赵青松, 等. 加州鲈白云病的病原及血液病理的初步研究 [J]. 水生生物学报, 2005, 29(2): 184-188.
- Jin S, Wang G L, Zhao Q S, et al. Preliminary studies on pathogen and hemopathology of the white cloud disease in *Micropterus salmoides* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29(2): 184-188.
- [25] 王 荻, 刘红柏. 中药复方 A 对施氏鲟生长及血液生化指标的影响 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 205-207.
- Wang D, Liu H B. Effects on growth and blood biochemical indexes of *Acipenser schrenckii* by the Chinese herbal compound A [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(9): 205-207.
- [26] 刘存歧, 王安利, 王维娜, 等. 海水中几种金属离子对中国对虾幼体体内碱性磷酸酶和 ATPase 的影响 [J]. 水产学报, 2001, 25(4): 298-303.
- Liu C Q, Wang A L, Wang W N, et al. Influences of metal ions in seawater on activities of alkaline phosphatase (AKP) and ATPase in mysis and postlarvae of *Penaeus chinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(4): 298-303.
- [27] Squires E J, Haard N F, Feltham L A W. Gastric proteases of greenland cod *Gadus ogac* [J]. Biochemistry and Cell Biology, 1986, 64: 215-222.
- [28] Sanchez C L, Cisternas E, Ponce O. Partial purification of pepsins from adult and juvenile salmon fish *Oncorhynchus keta*, effect of NaCl on proteolytic activities [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part B Comparative Biochemistry, 1987, 87(4): 793-797.
- [29] 李 娜, 赵玉超, 王仁杰, 等. 高盐胁迫对凡纳滨对虾消化及免疫相关酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2018, 38(4): 1411-1417.
- Li N, Zhao Y C, Wang R J, et al. Effects of high salinity on digestive and immunity-related enzymes in *Litopenaeus vannamei* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(4): 1411-1417.