

引用格式:

李培伦, 刘伟, 王继隆, 鲁万桥, 崔康成, 唐富江. 盐度对马苏大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2020, 46(4): 466–471.

LI P L, LIU W, WANG J L, LU W Q, CUI K C, TANG F J. Effects of salinity on blood biochemical parameters and digestive enzyme activities of *Oncorhynchus masou*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(4): 466–471.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 盐度对马苏大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力的影响

李培伦<sup>1</sup>, 刘伟<sup>1\*</sup>, 王继隆<sup>1</sup>, 鲁万桥<sup>1</sup>, 崔康成<sup>1,2</sup>, 唐富江<sup>1</sup>

(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:**设计4个盐度梯度0、8‰、16‰和24‰(分别记为CK、S1、S2和S3)养殖马苏大麻哈鱼, 试验周期为42 d, 取尾静脉血, 测定血液生化指标, 并取胃、幽门盲囊和肠道组织, 测定消化酶活力, 探究不同盐度对马苏大麻哈鱼血液生化指标和消化酶活力的影响。结果显示: 马苏大麻哈鱼血液的渗透压、Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>浓度均随盐度升高逐渐增加; 总蛋白质量浓度呈先升后降的趋势, 且各盐度组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ); S1和S2组血糖浓度显著高于CK和S3组, 高密度脂蛋白和低密度脂蛋白浓度最高的均为S1组; 随盐度的升高, 血清酶类中 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶和乳酸脱氢酶活力逐渐下降, 而谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活力均呈先升后降的趋势; 血清代谢产物中尿素氮浓度在各组间的差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 随盐度的升高, 肌酐浓度呈下降的趋势, 而尿酸浓度呈先升后降的趋势; 除S2组幽门盲囊的胃蛋白酶活力外, 胃、幽门盲囊和肠道组织中胰蛋白酶和胃蛋白酶活力均随盐度的升高而逐渐下降, 且S3和CK组间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ), 各盐度组中脂肪酶和淀粉酶活力整体变化不大。可见, 不同盐度下, 为调节自身机能, 以便更好的适应盐度变化, 马苏大麻哈鱼血液的生化指标发生了一定变化, 而各种消化酶活力的变化情况, 则揭示其发挥功能时的复杂性和组织特异性。

**关键词:** 马苏大麻哈鱼; 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: 1007-1032(2020)04-0466-06

## Effects of salinity on blood biochemical parameters and digestive enzyme activities of *Oncorhynchus masou*

LI Peilun<sup>1</sup>, LIU Wei<sup>1\*</sup>, WANG Jilong<sup>1</sup>, LU Wanqiao<sup>1</sup>, CUI Kangcheng<sup>1,2</sup>, TANG Fujiang<sup>1</sup>

(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:** The *Oncorhynchus masou* was cultured in four salinities groups, 0, 8‰, 16‰, 24‰(denoted as CK, S1, S2 and S3) for 42 d, respectively. The blood biochemical indicators of the tail vein blood and the digestive enzyme activities of the stomach, pyloric caecum, intestinal tissues were measured. These results showed that the osmotic pressure, Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> concentrations increased, while the total protein mass concentration increased first and then decreased with the increasing of salinity, and the difference among these salinity groups had a statistically significant( $P < 0.05$ ). The blood glucose levels in S1, S2 groups were significantly higher than those of the CK, S3 groups( $P < 0.05$ ), and the high density lipoprotein and low density lipoprotein concentration of S1 group were the highest. The activities of  $\gamma$ -glutamyl transpeptidase and lactate dehydrogenase in serum enzymes decreased, while the activities of aspartate aminotransferase,

收稿日期: 2019-09-09

修回日期: 2020-01-22

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

作者简介: 李培伦(1989—), 男, 河南平顶山人, 助理研究员, 主要从事鱼类生理生态学研究, lpl19890925@163.com; \*通信作者, 刘伟, 博士, 研究员, 主要从事渔业资源生物学及鱼类增殖保护利用研究, liuwe\_1020@aliyun.com

alanine aminotransferase and alkaline phosphatase increased first and then decreased with the increase of salinity. The urea nitrogen in serum metabolites had no significant difference between these groups ( $P > 0.05$ ), however the creatinine concentration was decreased with the increase of salinity, and the uric acid concentration increased first and then decreased with the increase of salinity. In addition to the pepsin activity in pyloric caecum of the S2 group, the trypsin and pepsin activities were decreased in the stomach, pyloric caecum and intestinal tissues of *Oncorhynchus masou* with the increase of salinity and there was significant difference between S3 and CK groups ( $P < 0.05$ ), while there were no changes of lipase and amylase activities in all groups. By adjusting its own functions to better adapt to the changes of salinity, the blood biochemical indexes of *Oncorhynchus masou* had changed under different salinity conditions, while the changes of digestive enzyme activity could reveal the complexity and tissue specificity of their functions.

**Keywords:** *Oncorhynchus masou*; salinity; blood biochemical index; digestive enzymes

在鱼类养殖过程中, 盐度是影响其生存、生长发育和繁殖的重要环境因素之一。血液在维持鱼类正常生命活动中发挥着不可替代的作用, 血液中的许多成分亦是鱼体免疫系统的重要组成部分, 其主要参与机体物质运输、免疫应答等过程<sup>[1]</sup>。舒超华等<sup>[2]</sup>指出鱼体遭受外界盐度胁迫时可产生一系列免疫应激反应, 从而导致渗透压、血糖、血脂等生理生化指标发生改变, 故血液生理生化指标已成为评价各类水生动物生长状况、健康程度及其环境适应能力的重要指标。此外, 鱼类的消化系统受栖息水体中盐度的影响, 遭受不同程度的盐度胁迫, 其各类消化器官的结构功能会发生相应改变, 同时胰蛋白酶、胃蛋白酶等消化酶活力会遭到抑制或促进, 进而对鱼体的生长发育造成影响<sup>[3-5]</sup>。

马苏大麻哈鱼(*Oncorhynchus masou*)属鲑形目(Salmoniformes)、鲑亚目(Salmonoidei)、鲑科(Salmonidae)、大麻哈鱼属(*Oncorhynchus*), 俗称齐目鱼、齐孟鱼、沙门鱼等, 主要分布于图们江和绥芬河水域及俄罗斯远东地区的黑龙江和堪察加半岛、朝鲜水域<sup>[6-7]</sup>。洄游型马苏大麻哈鱼生活史包含淡水生活期和海水生活期。淡水生活期群体分化为洄游型和陆封型 2 个生态群体, 降海洄游型群体入海生活, 而陆封型马苏大麻哈鱼群体则终生栖居在淡水河流中<sup>[8]</sup>。自 20 世纪 70 年代起, 中国境内水域的马苏大麻哈鱼年捕捞产量由几十万尾急剧下降至 200~300 尾。为维持马苏大麻哈鱼的种群延续, 陆续在图们江、绥芬河等原始栖息水域开展了增殖放流活动<sup>[7]</sup>。有关对马苏大麻哈鱼的研究主要集中在地理分布特征<sup>[9]</sup>、幼鱼形态<sup>[10]</sup>、种群年龄结构<sup>[11]</sup>、个体繁殖力<sup>[12]</sup>等方面。有关盐度改变对马苏大麻哈鱼消化酶、血液生化指标影响的研究少见报道。本研究中, 通过研究不同盐度条件下马苏大麻哈鱼血

液生化指标和消化酶活力的变化情况, 分析马苏大麻哈鱼的盐度生理, 旨在为进一步探究其降海洄游机制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验用马苏大麻哈鱼来自于中国水产科学研究院黑龙江水产研究所的养殖车间。2018 年 2—3 月, 将个体均一且状态良好的 24 尾马苏大麻哈鱼随机均分为 4 组, 分别放入盐度设定为 0‰、8‰、16‰和 24‰(分别记为 CK、S1、S2 和 S3)的全自动水族控温箱内开展试验。各试验组每天升高 4 个盐度, 直至达到设定盐度。试验用水由海水素与井水调配而成, 试验水温控制在 15 ℃左右, 充分曝气, 使水体溶解氧维持在 9 mg/L 以上。试验周期为 42 d。每天投喂 2 次(鲑鱼专用饲料)。每 7 d 换 1 次水。试验鱼初始叉长为  $(26.75 \pm 0.71)$  cm, 体质量为  $(276.11 \pm 40.48)$  g。

### 1.2 样品制备及测定

采样前 24 h 停止投喂饲料。用 MS-222 麻醉剂麻醉鱼体, 在冰盘上对试验鱼进行尾椎取血用于血液生化指标测定。血液样品在 4 ℃下以 3 500 r/min 离心 10 min, 吸取上清液于 -20 ℃冰箱保存; 取胃、肠道和幽门盲囊, 用于消化酶活力测定。组织样品用预冷的 0.86% NaCl 溶液冲洗后吸干水分, 于 -80 ℃冰箱保存。

利用全自动生化分析仪(Olympus AU 600)测定马苏大麻哈鱼血清渗透压(OSM)水平, 钠( $\text{Na}^+$ )、氯( $\text{Cl}^-$ )、钾( $\text{K}^+$ )、钙( $\text{Ca}^{2+}$ )、镁( $\text{Mg}^{2+}$ )、磷( $\text{PO}_4^{3-}$ )等无机盐浓度, 总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)等蛋白质量浓度, 血糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总

胆固醇(CHOL)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)等血清血糖血脂浓度,谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、 $\gamma$ -谷氨酰转肽酶(GGT)、乳酸脱氢酶(LDH)、碱性磷酸酶(ALP)等血清酶活力及尿素氮(BUN)、尿酸(URIC)、肌酐(CREA)等代谢产物浓度。

采用试剂盒测定各组织内胃蛋白酶(PPS)、胰蛋白酶(TPS)、淀粉酶(AMS)和脂肪酶(LPS)活力。试剂盒购自南京建成生物工程研究所,具体操作方法严格按照说明书进行。

### 1.3 数据处理

运用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 统计分

析各项试验数据;利用 GraphPad Prism 5 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐度对马苏大麻哈鱼的血清渗透压和无机盐浓度的影响

从表 1 可知,马苏大麻哈鱼血清渗透压随着盐度的升高逐渐增大,且 S3 组与其他 3 组间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。随盐度升高,血清中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  的浓度均逐渐增加; $\text{PO}_4^{3-}$  浓度逐渐下降; $\text{K}^+$  和  $\text{Mg}^{2+}$  浓度呈先升后降的变化趋势,且 S2 组的浓度最高,CK 组的最低; $\text{Ca}^{2+}$  浓度变化呈现一定的浮动, S3 组的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度显著低于其他 3 组的( $P < 0.05$ )。

表 1 不同盐度下马苏大麻哈鱼的血清渗透压和无机盐浓度

组别	OSM	无机盐浓度					
		$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{PO}_4^{3-}$
CK	(275.94±22.68)a	(147.60±9.56)a	(111.00±6.36)a	(1.00±0.16)a	(3.26±0.27)b	(1.58±0.12)a	(4.84±1.34)b
S1	(289.99±4.42)ab	(148.60±6.11)a	(118.80±1.92)b	(2.30±0.45)b	(3.21±0.39)b	(1.62±0.15)a	(4.17±0.45)ab
S2	(305.94±8.90)b	(152.20±3.03)a	(131.80±4.15)c	(4.30±1.24)c	(3.24±0.30)b	(1.98±0.08)b	(3.84±0.49)ab
S3	(358.09±8.79)c	(183.20±5.63)b	(158.80±6.76)d	(2.40±0.73)b	(2.75±0.25)a	(1.90±0.12)b	(3.29±0.81)a

同列不同字母示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.2 盐度对马苏大麻哈鱼的血清蛋白质量浓度的影响

从表 2 可知,马苏大麻哈鱼的血清中总蛋白、白蛋白和球蛋白质量浓度均随盐度的升高呈先升后降的趋势。S1 组的质量浓度最高,且显著高于其他 3 组的( $P < 0.05$ );S3 组的总蛋白和白蛋白质量浓

度最低,且显著低于其他 3 组的( $P < 0.05$ );CK 组的球蛋白质量浓度最低,且显著低于其他 3 组的( $P < 0.05$ )。

### 2.3 盐度对马苏大麻哈鱼的血清中血糖及血脂浓度的影响

从表 3 可知,马苏大麻哈鱼血清中血糖和血脂浓度均随盐度的升高呈先升后降的趋势;除血糖浓度最高的为 S2 组外,其余成分浓度最高的均为 S1 组,且 S1 组的浓度显著高于其他组的( $P < 0.05$ );血糖和低密度脂蛋白浓度最低的均为 CK 组,总胆固醇、甘油三酯和高密度脂蛋白浓度最低的均为 S3 组,且 S3 组的浓度显著低于其他组的( $P < 0.05$ )。

表 2 不同盐度下马苏大麻哈鱼的血清蛋白质量浓度  
Table 2 Serum protein mass concentration of *Oncorhynchus masou* in different salinities g/L

组别	TP	ALB	GLB
CK	(32.80±0.84)b	(29.56±0.84)c	(3.28±0.18)a
S1	(41.20±1.79)c	(32.78±0.71)d	(9.34±0.79)c
S2	(34.20±2.86)b	(26.76±2.59)b	(7.50±0.29)b
S3	(23.80±2.55)a	(16.76±2.28)a	(6.78±1.04)b

同列不同字母示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

表 3 不同盐度下马苏大麻哈鱼的血清血糖及血脂浓度

组别	GLU	CHOL	TG	HDL	LDL
CK	(2.67±0.32)a	(6.94±0.83)b	(3.19±0.45)b	(2.68±0.30)b	(0.14±0.01)a
S1	(5.55±0.29)c	(11.87±1.51)c	(4.79±0.84)c	(4.29±0.70)c	(0.28±0.04)b
S2	(5.85±0.35)c	(7.65±0.65)b	(3.31±0.12)b	(2.72±0.61)b	(0.16±0.03)a
S3	(4.70±0.44)b	(4.44±0.87)a	(1.32±0.35)a	(1.88±0.61)a	(0.16±0.04)a

同列不同字母示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.4 盐度对马苏大麻哈鱼的血清酶类及代谢产物的影响

从表 4 可知,马苏大麻哈鱼血清酶类中  $\gamma$ -谷氨酰转氨酶和乳酸脱氢酶活力随盐度的升高逐渐下降,其中 S3 组的  $\gamma$ -谷氨酰转氨酶活力显著低于其他各组的( $P < 0.05$ ),CK 组的乳酸脱氢酶活力显著高于其他各组的( $P < 0.05$ );谷草转氨酶、谷丙转氨酶和碱性磷酸酶活力均随盐度的升高呈先升后降的变化趋势,且 S1 组的均最高,其中 S1 组的谷草

转氨酶、谷丙转氨酶活力显著高于与其他各组的( $P < 0.05$ )。血清中代谢产物肌酐浓度随盐度的升高呈下降的趋势,其中高盐度组(S3、S2)与低盐度组(S1、CK)间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ );尿素氮浓度随盐度的升高呈先降后升的趋势,其中 S2 组浓度最低,且各组间的差异无统计学意义( $P > 0.05$ );尿酸浓度随盐度升高呈先升后降的趋势,其中 S2 组浓度最高,且显著高于其他各组的( $P < 0.05$ ),浓度最低的为 CK 组。

表 4 不同盐度下马苏大麻哈鱼的血清酶类活力及代谢产物浓度

组别	AST/(IU·L <sup>-1</sup> )	ALT/(IU·L <sup>-1</sup> )	GGT/(IU·L <sup>-1</sup> )	ALP/(IU·L <sup>-1</sup> )	LDH/(mmol·L <sup>-1</sup> )	BUN/(mmol·L <sup>-1</sup> )	CREA/( $\mu$ mol·L <sup>-1</sup> )	URIC/( $\mu$ mol·L <sup>-1</sup> )
CK	(357.40±45.98)b	(9.40±1.82)a	(4.80±0.84)b	(13.60±4.62)a	(954.20±128.92)c	2.68±0.16	(30.38±2.62)b	(41.60±3.85)a
S1	(455.60±57.93)c	(18.60±2.19)b	(4.40±0.55)b	(18.20±1.92)b	(617.80±66.32)b	2.46±0.13	(27.22±4.86)b	(45.80±3.35)a
S2	(323.00±25.13)b	(12.20±2.39)a	(4.20±0.84)b	(16.20±1.92)ab	(516.60±51.44)ab	2.38±0.13	(21.88±2.61)a	(77.60±12.92)c
S3	(201.00±34.84)a	(10.60±2.70)a	(2.60±0.89)a	(13.20±3.70)a	(436.00±36.09)a	2.54±0.43	(20.59±2.28)a	(61.80±8.96)b

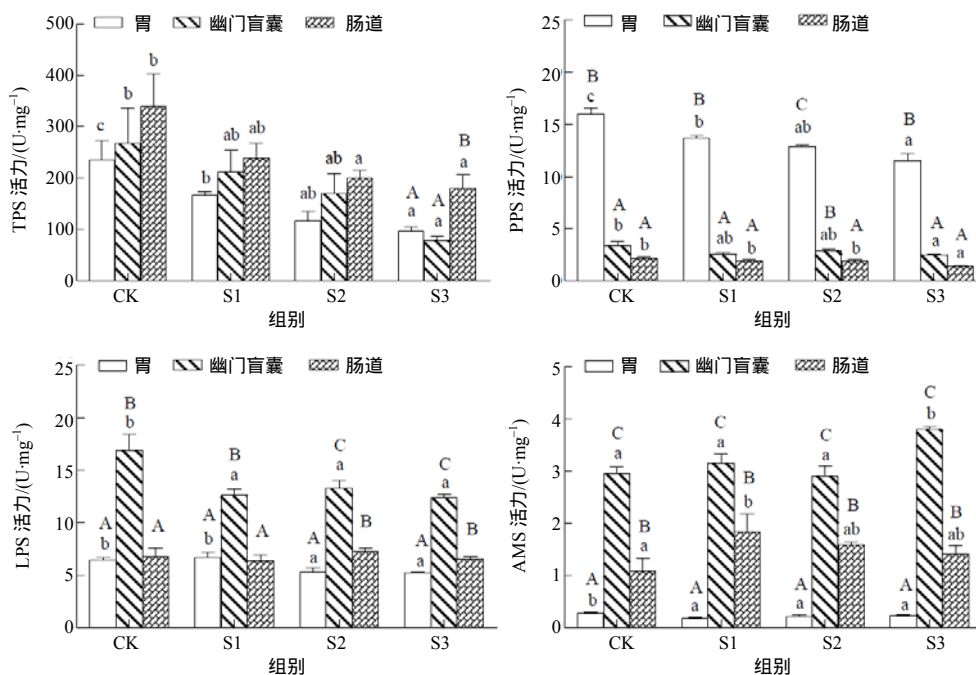
同列不同字母示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.5 盐度对马苏大麻哈鱼消化酶活力的影响

从图 1 可知,除 S2 组幽门盲囊的胃蛋白酶活力外,马苏大麻哈鱼胃、幽门盲囊和肠道组织中胰蛋白酶和胃蛋白酶活力均随盐度的升高而逐渐下降,且 CK 和 S3 组间的差异有统计学意义( $P < 0.05$ );各盐度组中脂肪酶和淀粉酶活力整体变化不大,呈现出一定的波动,其中肠道中脂肪酶活力在

各盐度组间的差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

在同一盐度下,胰蛋白酶活力在肠道组织中最高,而在胃组织中相对较低;胃蛋白酶活力在胃组织中最高,其活力显著高于肠道和幽门盲囊中的( $P < 0.05$ );脂肪酶和淀粉酶活力在幽门盲囊中最高,其活力显著高于胃和肠道中的( $P < 0.05$ )。



不同小写字母示同一组织不同盐度间差异显著( $P < 0.05$ );不同大写字母示同一盐度不同组织间差异显著( $P < 0.05$ )。

图 1 不同盐度下马苏大麻哈鱼消化器官中的消化酶活力

Fig.1 The digestive enzyme activities in digestion organs of *Oncorhynchus masou* in different salinities

### 3 结论与讨论

鱼类血液中含有多种无机物,多以离子形式存在,如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等,这些离子在维持血浆渗透压、神经肌肉兴奋、酸碱平衡等方面起重要作用<sup>[13]</sup>。资料<sup>[14-15]</sup>显示,当广盐性鱼类栖息于盐度发生变化的水环境中时,其血清渗透压、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$  浓度等会随盐度升高呈现出上升的趋势,反之亦然。本研究中,马苏大麻哈鱼血清渗透压水平随盐度的升高呈上升趋势、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度亦随水体中盐度升高而上升,这与刘伟等<sup>[16]</sup>对不同盐度下大麻哈鱼幼鱼血清渗透压、离子水平变化的研究结果一致。当机体遭受外界环境胁迫时,糖类首先会被迅速分解供能,以单糖形式进入血液,从而导致血液血糖浓度升高<sup>[17]</sup>;而肝脏组织和淋巴细胞中的浆细胞则合成各类蛋白质进入血液,通过血清蛋白的不断分解、合成,参与机体的代谢活动,以维持机体的稳定<sup>[18]</sup>。本研究中,S1、S2 和 S3 组马苏大麻哈鱼血液中血糖浓度均较高,而 S1 和 S2 组的血清总蛋白质量浓度较高,推测马苏大麻哈鱼遭受盐度胁迫时,可能需要更多的血糖和蛋白质供能,以保障血液中各类物质的运输效率,进而使鱼体保持正常状态。

一般情况下,AST、ALT 等转氨酶存在于肝脏细胞中,极少释放到血液中,故血液中各类转氨酶活性较低,但环境胁迫导致机体肝损伤时,肝细胞内的转氨酶会大量释放至血液中,引起转氨酶活力升高<sup>[19]</sup>。本研究中,S1 组的 AST、ALT 活力显著高于 CK、S2 和 S3 组,推测 S1 组马苏大麻哈鱼肝脏可能出现一定损伤。研究<sup>[20]</sup>表明,血液中乳酸脱氢酶活力升高多是由肾脏受损导致,而血液中肌酐浓度可用以评价鱼类的肾脏健康状况。本研究中,乳酸脱氢酶活力和肌酐浓度随盐度的升高呈下降趋势,推测可能低盐度组马苏大麻哈鱼肾脏健康状况一般,而较高的盐度可对其肾脏损伤起到一定的缓解作用。本研究中,马苏大麻哈鱼血液中胆固醇、甘油三酯和碱性磷酸酶的浓度均随盐度的升高呈先升后降的趋势,尤其是 S1、S2 组浓度较高,其浓度的提升能为马苏大麻哈鱼内脏器官的损伤修复提供能量和原料,以维持其正常的生长发育。

鱼类消化系统在长期进化中逐步发育完善,消化酶对鱼类消化吸收饲料中的营养物质至关重要,

同时其活力水平是反映鱼类消化状况及饵料利用率的重要指示指标<sup>[21]</sup>。通常随着鱼类栖息水体中盐度升高,海水鱼类消化系统消化酶活力会表现出上升的趋势,而对施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)<sup>[3]</sup>、花鳗鲡(*Anguilla marmorata*)<sup>[4]</sup>、长江刀鲚(*Coilia nasus*)<sup>[5]</sup>等广盐性鱼类来讲,其消化酶活力受盐度影响变化表现较复杂,且不同大小个体之间亦存在较大差异。本研究中,随盐度的升高,马苏大麻哈鱼胰蛋白酶活力在胃、幽门盲囊和肠道组织中均呈下降趋势,胃蛋白酶活力在胃组织中逐渐下降,且在幽门盲囊和肠道中变化不大,而脂肪酶和淀粉酶活力在各消化器官中变化多样,无明显规律。KAWAI 等<sup>[22]</sup>研究指出,鱼类不同消化器官中消化酶活力存在一定差异,会表现出一定的组织器官特异性。本研究结果表明,在相同盐度环境下,马苏大麻哈鱼消化酶中胰蛋白酶活力在肠道组织中最高,胃蛋白酶活力在胃组织中最高,而脂肪酶和淀粉酶活力在幽门盲囊中最高,具有明显的组织器官特异性。

总体来讲,虽然盐度不同导致马苏大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力发生一定变化,但不影响其正常生长,这可能与其广盐适应性有关,使其具备较强的自身盐度调节能力。

### 参考文献:

- [1] ELLIS A E . The leucocytes of fish : a review[J] . Journal of Fish Biology , 1977 , 11(5) : 453-491 .
- [2] 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 .
- [3] 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 .
- [4] 罗鸣钟,关瑞章,靳恒. 盐度对花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡幼鳗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 .

- [5] 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): 533-537.  
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): 533-537.
- [6] 王剑辉. 马苏大麻哈鱼的分布[J]. 水产科学, 1985, 4(3): 50-51.  
WANG J H. The distribution of *Oncorhynchus masou*[J]. Fisheries Science, 1985, 4(3): 50-51.
- [7] 解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007.  
XIE Y H. Freshwater Fishes in Northeast Region of China[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2007.
- [8] TAMATE T, MAEKAWA K. Individual growth and phase differentiation of lacustrine masu salmon, *Oncorhynchus masou*, under artificial rearing conditions[J]. Ichthyological Research, 2002, 49(4): 397-400.
- [9] ANTONOV A L, ZOLOTUKHIN S F, SKOPETS M B. Distribution of masu salmon *Oncorhynchus masou* (Salmonidae) in Amur River Basin[J]. Journal of Ichthyology, 2018, 58(1): 31-37.
- [10] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 马苏大麻哈鱼形态性状对体质量的影响分析[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(5): 600-606.  
LI P L, LIU W, WANG J L, et al. Effects of morphometric traits on body weight of masou salmon *Oncorhynchus masou*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2018, 33(5): 600-606.
- [11] MORITA K, SAHASHI G. On the ocean age of masu salmon *Oncorhynchus masou* in a natural population, Shiretoko Peninsula, Japan[J]. Journal of Ichthyology, 2018, 58(4): 594-599.
- [12] 陈春山, 郭明磊, 杜迎春, 等. 图们江陆封型马苏大麻哈鱼的个体繁殖力[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(1): 91-97.  
CHEN C S, GUO M L, DU Y C, et al. Individual fecundity of landlocked *Oncorhynchus masou* in the Tumen River[J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(1): 91-97.
- [13] 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]. 中国渔业质量与标准, 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.
- [14] SAKAMOTO T, UCHIDA K, YOKOTA S. Regulation of the ion-transporting mitochondrion-rich cell during adaptation of teleost fishes to different salinities[J]. Zoological Science, 2001, 18(9): 1163-1174.
- [15] 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  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  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  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  ATPase activity of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* Linnaeus[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(6): 602-606.
- [16] 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.
- [17] SANCHO E, FERRANDO M D, ANDREU E. Sublethal effects of an organophosphate insecticide on the European eel, *Anguilla anguilla*[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1997, 36(1): 57-65.
- [18] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2011.  
LIN H R. Fish Physiology[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press, 2011.
- [19] 何玲, 王佩, 罗来婷, 等. 螺旋藻对中华鳖生长和体组成及血清生化指标的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 536-540.  
HE L, WANG P, LUO L T, et al. Effects of feeding *Spirulina* on growth performance, body composition and serum biochemical indexes of *Pelodiscus sinensis*[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2019, 45(5): 536-540.
- [20] 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* by the Chinese herbal compound A[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(9): 205-207.
- [21] 吉红, 孙海涛, 田晶晶, 等. 匙吻鲟仔稚鱼消化酶发育的研究[J]. 水生生物学报, 2012, 36(3): 457-465.  
JI H, SUN H T, TIAN J J, et al. Digestive enzyme activity during early larval development of the paddlefish *Polyodon spathula*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(3): 457-465.
- [22] KAWAI S, IKEDA S. Studies on digestive enzymes of fishes II. Effect of dietary change on activities of digestive enzymes in carp intestine[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1972, 38(3): 265-270.

责任编辑: 邹慧玲  
英文编辑: 柳正