

碳酸盐碱度对3月龄杂交鲟(*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)生长与血清生化指标的影响

王念民, 杨合霖, 丰超杰, 吕伟华, 曹顶臣, 徐伟, 张颖

Effects of different carbonate alkalinity on survival, growth and biochemical indexes in serum of three-month-old hybrid sturgeon(*Huso dauricus*♀×*Acipenser schrenckii*♂)

WANG Nianmin, YANG Helin, FENG Chaojie, LYU Weihua, CAO Dingchen, XU Wei, ZHANG Ying

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20210603495>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

钙离子对海假交替单胞菌生物被膜形成及厚壳贻贝附着的影响

Effects of calcium on biofilm formation of the bacterium *Pseudoalteromonas marina* and settlement of mussel *Mytilus coruscus*
上海海洋大学学报. 2020, 35(6): 893 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2020-091>

酵母培养物对珍珠龙胆石斑鱼生长性能、肠道形态、免疫功能和抗病力的影响

Effects of Dietary Yeast Culture Supplementation on Growth, Intestinal Morphology, Immunity, and Disease Resistance in *Epinephelus fuscoguttatus*♀ × *Epinephelus lanceolatus*♂
上海海洋大学学报. 2021, 41(3): 1 <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9159.2021.03.001>

乳酸链球菌素与乳酸对维氏气单胞菌的协同抑制和损伤作用

Synergistic inhibition and damage effects of nisin and lactic acid against pathogen *Aeromonas veronii*
上海海洋大学学报. 2020, 35(6): 830 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019-301>

低盐度对澳洲龙纹斑生长、血液及非特异性免疫酶的影响

Effects of low salinity on the growth, blood and non-specific immune enzymes of *Maccullochella peelii peelii*
上海海洋大学学报. 2021, 30(3): 435 <https://doi.org/10.12024/jsou.20200102917>

复合益生菌对锦鲤性腺脂肪酸组成、繁殖力及仔鱼成活率的影响

Effects of complex probiotics on fatty acid composition of gonad, fecundity and survival rate of larvae in koi carp *Cyprinus carpio*
上海海洋大学学报. 2020, 35(5): 680 <https://doi.org/10.16535/j.cnki.dlhyxb.2019-251>

文章编号: 1674-5566(2023)01-0098-10

DOI:10.12024/jsou.20210603495

碳酸盐碱度对 3 月龄杂交鲟 (*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂) 生长与血清生化指标的影响

王念民¹, 杨合霖², 丰超杰², 吕伟华¹, 曹顶臣¹, 徐伟¹, 张颖¹

(1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所 黑龙江省冷水性鱼类种质资源及增殖重点开放实验室, 黑龙江 哈尔滨 150076; 2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 设置 3.20 mmol/L(对照组)、7.73 mmol/L、12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 等 4 个 NaHCO₃ 碱度梯度, 养殖 3 月龄杂交鲟 (*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂) 60 d, 比较碱度对杂交鲟幼鱼成活率、生长以及血清生化指标的影响, 结果显示: 各试验组出现最早死亡时间与碱度呈负相关; 各组平均成活率分别为 70.14%、64.10%、28.21% 及 51.52%, 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组与对照组死亡率差异极显著; 各组体质量、体长生长率及饵料系数均低于对照组, 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组的上述指标与对照组差异极显著; 7.73 mmol/L、12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 试验组血清白蛋白 (ALB)、尿素/肌酐 (BUR/CR) 低于对照组且差异显著, 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 试验组总蛋白 (TP)、高密度脂蛋白胆固醇 (HDL) 低于对照组且差异显著, 其三酰甘油 (TG) 低于 7.73 mmol/L 及对照组且差异显著, 16.67 mmol/L 试验组总胆固醇 (TCHO)、磷酸氢根 (HCO₃⁻) 及血清钙 (Ca) 显著低于对照组, 而其肌酸激酶 (CK)、肌酐 (CREA) 高于对照组且差异显著。综上, 高碱度可能会影响杂交鲟蛋白质和脂质的合成与代谢, 对其肝、肾、心肌等造成损伤, 初步判断, 杂交鲟幼鱼可以在碱度 7.73 mmol/L 及以下水体安全养殖。

关键词: “鲟龙一号”杂交鲟; 碳酸盐碱度; 成活率; 生长率; 饵料系数; 血清生化指标

中图分类号: S 917.4 **文献标志码:** A

盐碱水域因含有 HCO₃⁻、CO₃²⁻ 等弱酸根, 或 OH⁻ 等强碱以及 NH₃ 等弱碱性物质, 是一种高盐、高碱、高 pH 的特殊类型内陆水域, 其主要离子比例失衡且水质较贫瘠, 初级生产力较低。其中很大部分水体的总碱度主要由 HCO₃⁻、CO₃²⁻ 构成, 故称之为碳酸盐碱度^[1]。全世界盐碱化土地约为 9.7 × 10⁹ hm², 中国盐碱地面积约为 9.9 × 10⁸ hm², 其中低洼盐碱水域约为 4.6 × 10⁸ hm², 盐碱化面积逐年上升^[2]。目前仅有不足 2%, 碱度低于 10 mmol/L 的低盐碱水域被开发利用, 超过 10 mmol/L 的中、高盐碱水域大部分仍处于荒芜闲置状态^[3], 改造、开发并利用这部分水体能够有效拓展水产品养殖空间, 使资源得到有效利用。由于鱼类等水生生物不适于在此类水中生活, 因此筛选出适宜养殖品种是利用好盐碱水资

源的基础。

国内外学者对水生动物耐盐碱机制进行深入研究: 一方面集中于高盐碱湖泊天然种群, 如马加迪罗非鱼 (*Oreochromis alcalicus graham*)^[4] (Lake Magadi, Kenya. pH 10)、钩吻鲟 (*Oncorhynchus clarkihenshawi*)^[5] (Pyramid Lake, U S. pH 9.4)、青海湖裸鲤 (*Gymnocypris przewalskii*)^[6] (青海湖, pH 9.1 ~ 9.5)、瓦氏雅罗鱼 (*Leuciscus waleckii*)^[7] 和鲫 (*Carassius auratus*)^[8] (达里湖, pH 9.6), 分析其耐盐碱生理及分子机制; 另一方面通过盐碱胁迫研究广盐性水生动物如尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[9]、凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[1] 等被动适应及调节机制, 已探索出一定的规律并应用在生产中。目前利用盐碱水域

收稿日期: 2021-06-29 修回日期: 2021-10-10

基金项目: 中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD56); 农业农村部财政专项(CZ2020671600)

作者简介: 王念民(1972—), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为水产养殖。E-mail: wnm0529@hotmail.com

通信作者: 张颖, E-mail: julezhang@hotmail.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

养殖以土著鱼类为主,包括青海湖裸鲤、高原鳅类(*Triplophysa*)、瓦氏雅罗鱼、鲫、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、条鳅(*Noemacheilinae*)和中华多刺鱼(*Pungitius sinensis*)等,并引进大鳞鲃(*Barbus capito*)、卡拉白鱼(*Chalcaburnus chalcoides aralensis*)等耐中度盐碱的鱼类,但上述鱼类大多生长速度较慢,个体较小,经济效益不高,因此选育出耐盐碱、生长快、个体大的经济鱼类是发展盐碱渔业工作重点^[10]。

“鲟龙一号”杂交鲟(*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂,简称杂交鲟)是由达氏鳇和施氏鲟杂交筛选而成,作为我国第一个自主研发的鲟鱼新品种,兼具亲本特点,生长迅速、抗病力强、适应性强、易驯养,南北皆可养殖,现已成为鲟鱼养殖及鱼子酱出口主要品种之一^[11]。王晓雯等^[12]利用梯度盐水研究杂交鲟幼鱼耐盐性及其对其生理影响,吴常文等^[13]在海水中养殖杂交鲟并研究其耐受性,翁祖桐^[14]利用地下碱水体养殖鲟鱼,积累了一些经验数据,但关于碱度对鲟鱼生长、生理影响及适应性研究鲜见报道。本研究通过在不同浓度碳酸盐碱水养殖杂交鲟幼鱼,比较碱度对其成活、生长率的影响摸索其适宜生存的水体碱度范围,并通过血液生化指标探究其对盐碱胁迫的适应机制,为盐碱水域鲟鱼养殖模式、品种筛选探索理论依据及积累基础资料。近年来,出于环保考量,各地相继清理水产网箱,国内鲟鱼养殖面积不断缩减,对鲟鱼养殖业有所影响。积极开展鲟鱼盐碱水体健康养殖技术的相关研究,不仅能有效利用盐碱水域,填补近年来养殖面积的缺口,同时也丰富耐盐碱优良种类,推动我国盐碱渔业进一步健康发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用碳酸氢钠纯度99%(哈尔滨市三鑫制碱厂),其他试剂为分析纯,用0.01 mol/L盐酸标定,以酚酞、甲基橙-苯胺蓝混合液为指示剂进行碱度实测,并测定水温、电导率、盐度等理化指标,具体见表1。

1.2 试验方法

试验用3月龄杂交鲟,由黑龙江水产研究所呼兰基地自繁,其体长为(133.17 ± 16.75) mm,体质量为(12.43 ± 3.99) g。养殖及耐碱试验用水为基地地下水(碱度3.2 mmol/L),经过充分曝气,结合预试验设定4个NaHCO₃梯度(试验组),分别为对照组、7.73 mmol/L、12.60 mmol/L及16.67 mmol/L(即不添加、添加29.4 g、58.8 g、88.2 g NaHCO₃分别溶入盛有70 L水的水箱,配置成相应浓度碱水)。将同批杂交鲟随机分到4个组,每组3个重复(箱),每箱各15尾。每日分早晚两次投喂颗粒饲料(北京汉业),日投喂量约为鱼质量的1%,投喂后及时捞出残饵。试验自2020年7月25日至9月24日,共60 d。根据水质情况,每2~3日将试验鱼全部快速换到准备好的同质量浓度水箱中,保持水质清洁。换水时,各组碱度下降,对照组、7.73 mmol/L、12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组碱度降低幅度分别为0.001 4 mmol/(L·h)、0.005 6 mmol/(L·h)、0.020 8及0.047 2 mmol/(L·h);各组pH变化分别为-0.006 7 pH/h、0.001 3 pH/h、-0.003 5 pH/h及-0.002 5 pH/h,其中7.73 mmol/L组碱度降低而pH增加。

表1 各试验组水理化指标、碱度及pH变化

Tab. 1 Changes of physical and chemical indexes, alkalinity and pH of water in each experimental group

组别 Group	水温 Water temperature/ ℃	电导率 Conductivity/ (μs/cm)	盐度 Salinity/ (mg/L)	溶解氧 Dissolved oxygen/(mg/L)	初始 pH Initial pH	换水时 pH pH at changing water	换水时碱度 Alkalinity at changing water/ (mmol/L)
3.20 mmol/L(Control)	20 ± 1	0.75	0.37	6.5~8.5	7.71	7.39	3.133
7.73 mmol/L	20 ± 1	1.18	0.59	6.5~8.5	7.99	8.05	7.467
12.60 mmol/L	20 ± 1	1.61	0.82	6.5~8.5	8.28	8.11	11.600
16.67 mmol/L	20 ± 1	1.98	1.01	6.5~8.5	8.46	8.34	14.400

1.3 血清样品采集及生化指标的检测

试验结束后,每组各随机取6尾试验鱼于尾椎静脉处采血,室温放置30 min后,2 000 r/min 4℃离心10 min,取上清分装,-80℃保存备用。

用Beckman AU5811全自动生化分析仪检测以下血清生化指标,包括谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、谷草转氨酶:谷丙转氨酶(AST:ALT)、肌酸激酶(CK)、乳酸脱氢酶(LDH)、 α -羟基酸脱氢酶(HBDH)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLO)、白球比(ALB/GLO)、总胆红素(TBIL)、直接胆红素(DBIL)、肌酐(CREA)、尿素(BUN)、尿酸(UA)、尿素/肌酐(BUN/CR)、磷酸氢根(HCO_3^-)、葡萄糖(GLU)、总胆固醇(TCHO)、三酰甘油(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDLC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDLC)、钾(K)、钠(Na)、氯(Cl)、钙(Ca)。

1.4 试验数据处理

记录试验鱼的初始、终末体质量及体长,统计其成活率(Survival ratio, S_R)、增重率(Body weight gain, G_{BW})、体长增长率(Body length gain, G_{BL})及饵料系数(Feed conversion ratio, R_{FC})。

计算方法如下:

$$S_R = S_n / T_n \times 100 \quad (1)$$

式中: S_n 为试验结束后该组试验鱼成活尾数(Survival number of experimental fish, S_n); T_n 为该组试验鱼总尾数(Total number of experimental fish, T_n);

$$G_{BW} = (M_t - M_0) / M_0 \times 100 \quad (2)$$

式中: M_t 为试验末鱼体质量(Terminal body mass of experimental fish, M_t); M_0 为试验初鱼体质量(Intial body mass of experimental fish, M_0);

$$G_{BL} = (L_t - L_0) / L_0 \times 100 \quad (3)$$

式中: L_t 为试验末鱼体体长(Terminal body length of experimental fish, L_t); L_0 为试验初鱼体长(Intial body length of experimental fish, L_0);

$$R_{FC} = F / (M_t - M_0) \times 100 \quad (4)$$

式中: R_{FC} 为饵料系数; F 为饵料摄入量(Food intake); M_0 和 M_t 意义同上; t 为试验时间。

数据以平均值 \pm 标准差表示,用SPSS 25.0软件进行方差分析或其他分析,以 $P < 0.05$ 差异显著,以 $P < 0.01$ 为极显著。

2 结果与分析

2.1 各试验组成活率及生长

放入较高浓度碱水中的试验鱼呼吸频率增强,12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组较对照组快1/4~1/3;试验初期易受惊后常做盲目加速无规则游动,后期对刺激反应相对迟钝;同对照组相比,其他试验组特别是12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组食欲差,其摄食量下降20%以上。7.73 mmol/L、12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组死亡分别出现于8月11日(试验开始第17天)、8月8日(试验开始第14天)及8月4日(试验开始第10天),对照组死亡个体出现于8月19日(试验开始第25天),晚于其他试验组,碱度与死亡出现的时间呈负相关(图1)。由杂交鲟幼鱼死亡个体出现时间、死亡率及生理活动似积累性慢性中毒,中毒症状较轻缓,说明12.60 mmol/L及16.67 mmol/L碱度并未达到杂交鲟急性中毒致死浓度阈值。

投喂60 d后,对照组、7.73 mmol/L、12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组成活率(S_R)分别为 70.139 ± 7.639 、 64.103 ± 11.750 、 28.205 ± 4.441 及 51.515 ± 5.249 ,后3组成活率均低于对照组;尤其12.60 mmol/L组与对照组差异极显著($P < 0.01$),而16.67 mmol/L组与对照组差异显著($P < 0.05$),7.73 mmol/L组与对照组无显著差异,说明杂交鲟幼鱼在碱度低于7.73 mmol/L水体中基本安全。

试验结束时,对照组体质量高于其他组,较12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组差异显著($P < 0.05$)。对照组体长大于其他组,较12.60 mmol/L组差异显著($P < 0.05$),较16.67 mmol/L组差异极显著($P < 0.01$);7.73 mmol/L组体长大于16.67 mmol/L组且差异显著($P < 0.05$),见表2。

2.2 各试验组生长率及饵料系数

体质量增长率(G_{BW})及体长增长率(G_{BL})是衡量实验对象生长状况的常用指标,对照组、7.73 mmol/L、12.60 mmol/L及16.67 mmol/L组 G_{BW} 分别为 33.783 ± 20.029 、 22.025 ± 10.411 、 19.552 ± 5.469 及 16.189 ± 8.624 ;各组 G_{BL} 分别为 112.330 ± 21.377 、 86.690 ± 20.787 、 $83.00 \pm$

13.51及 68.75 ± 16.64。12.60 mmol/L、16.67 mmol/L 组 G_{BW} 及 G_{BL} 明显低于对照组,后者 G_{BL} 与 7.73 mmol/L 组差异显著 ($P < 0.05$),与对照组差异极显著 ($P < 0.01$); 12.60 mmol/L 及

16.67 mmol/L 组 G_{BW} 与对照组差异极显著 ($P < 0.01$),但后者与 7.73 mmol/L 组差异显著 ($P < 0.05$)。

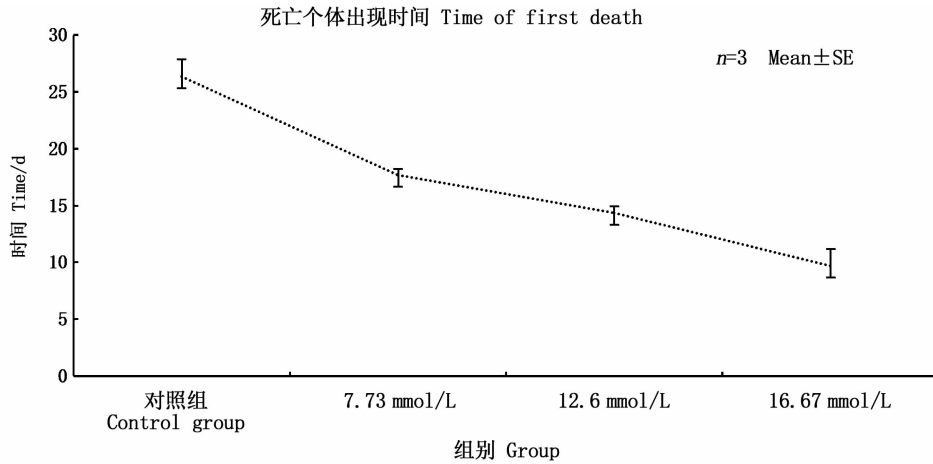


图 1 各试验组最早出现死亡时间
Fig. 1 Time of first death of each experimental group

表 2 各试验组成活率、最终体质量及体长

Tab. 2 Survival ratio (S_R), terminal mass (M_t) and terminal length (L_t) of each experimental group

组别 Group	成活率 S_R	最终体质量 M_t	最终体长 L_t
对照组 Control group	70.139 ± 7.639 ^a	45.45 ± 24.01 ^a	239.83 ± 35.98 ^a
7.73 mmol/L 组 7.73 mmol/L group	64.103 ± 11.750 ^{ab}	32.76 ± 14.19	210.00 ± 30.98 ^{ab}
12.60 mmol/L 组 12.60 mmol/L group	28.205 ± 14.440 ^c	27.55 ± 6.43 ^b	201.73 ± 14.90 ^b
16.67 mmol/L 组 16.67 mmol/L group	51.515 ± 10.250 ^{bc}	25.57 ± 10.88 ^b	187.53 ± 24.55 ^c

注:表内列数据有排序相邻上标字母则存在差异显著 ($P < 0.05$),相间则差异极显著 ($P < 0.01$)。

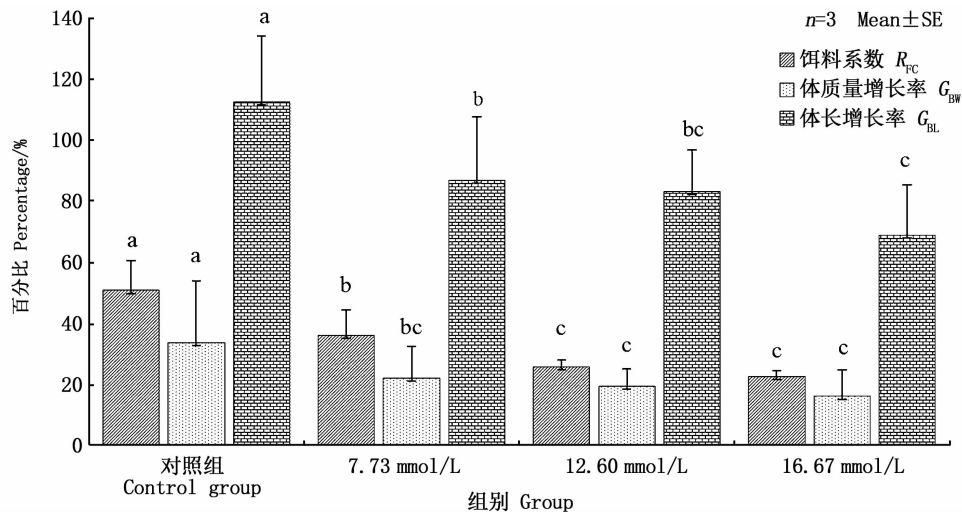
Notes: Values in each column with adjacent superscripts are significantly different ($P < 0.05$), and values with interval superscripts are extremely significantly different ($P < 0.01$) in the table.

饵料系数 (FCR) 能够反映试验动物转化饵料效率,对照组、7.73 mmol/L、12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组 R_{FC} 分别为 50.74 ± 9.69、36.08 ± 8.41、25.88 ± 2.21 及 22.57 ± 1.89;对照组的 R_{FC} 高于其他组,与 7.73 mmol/L 组差异显著 ($P < 0.05$),与 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组差异极显著 ($P < 0.01$); 7.73 mmol/L 组的 R_{FC} 与 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组差异显著 ($P < 0.05$),12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组间 R_{FC} 则无显著差异 (图 2)。

2.3 各试验组血清生化指标比较

各组个体间血清生化指标波动较大,对照组个体间的 ALT、AST、ALP、CK、LDH、HBDB、TP 以

及 K 和氯化物的变异系数 (CV) 大于其他试验组,其余指标的 CV 与其他组差别不大。7.73 mmol/L、12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 试验组 ALB、BUR/CR 低于对照组且差异显著 ($P < 0.05$); 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 组 TP、HDL 低于对照组且差异显著 ($P < 0.05$); 12.60 mmol/L 及 16.67 mmol/L 试验组 TG 明显低于 7.73 mmol/L 及对照组且差异显著 ($P < 0.05$); 16.67 mmol/L 组 TCHO、 HCO_3^- 及 Ca 明显低于对照组且差异显著 ($P < 0.05$),而其 CK、CREA 明显高于对照组且差异显著 ($P < 0.05$);其余指标差异不显著 (表 3)。



柱形图上相邻字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相间字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Adjacent letters on the column indicate significant difference ($P < 0.05$), and interval letters indicate extremely significant difference ($P < 0.01$) in the figure.

图2 各试验组饵料系数、体长及体质量增长率

Fig. 2 The food conversion ratio (FCR), body length and body weight gain (BLG, BWG) of each experimental group

表3 各试验组血清生化指标

Tab. 3 Serum biochemical index of each experimental team

$n = 6$; Mean \pm SE

指标 Index	对照组 Control group	7.73 mmol/L组 7.73 mmol/L group	12.60 mmol/L组 12.60 mmol/L group	16.67 mmol/L组 16.67 mmol/L group
谷丙转氨酶 ALT	151.67 \pm 449.36	133.00 \pm 56.31	20.00 \pm 48.87	100.33 \pm 46.54
谷草转氨酶 AST	541.33 \pm 106.14	493.00 \pm 60.36	757.33 \pm 115.52	507.00 \pm 63.53
碱性磷酸酶 ALP	248.33 \pm 79.01	196.00 \pm 35.79	273.67 \pm 79.65	138.33 \pm 17.01
谷草:谷丙 AST:ALT	3.69 \pm 0.82	4.68 \pm 1.01	3.73 \pm 0.671	4.55 \pm 0.81
肌酸激酶 CK	598.33 \pm 438.66 ^b	1702.33 \pm 1327.23	1399.00 \pm 213.13	2585.00 \pm 1514.62 ^a
乳酸脱氢酶 LDH	1112.00 \pm 411.53	856.00 \pm 32.23	1397.00 \pm 362.75	999.00 \pm 268.22
a-羟基酸脱氢酶 HBDH	535.33 \pm 250.03	396.67 \pm 18.58	606.67 \pm 207.75	411.67 \pm 106.16
总蛋白 TP	12.50 \pm 2.99 ^a	9.73 \pm 0.83	8.43 \pm 1.50 ^b	8.37 \pm 0.23 ^b
血清白蛋白 ALB	3.67 \pm 0.58 ^a	2 ^b	2.67 \pm 0.577 ^b	2.33 \pm 0.58 ^b
球蛋白 GLO	8.83 \pm 2.42	7.93 \pm 0.99	4.43 \pm 3.67	6.37 \pm 0.23
白球比 ALB/GLO	0.43 \pm 0.06	0.23 \pm 0.06	0.43 \pm 0.12	0.37 \pm 0.12
总胆红素 TBIL	0	0.30		1.00 \pm 0.28
直接胆红素 DBIL	0.27 \pm 0.06	0.10	0.20 \pm 0.10	0.27 \pm 0.15
间接胆红素 DBIL	-0.30	0.30		0.65
肌酐 CREA	31.00 \pm 6.93 ^b	54.67 \pm 6.51	50.33 \pm 0.58	89.67 \pm 57.73 ^a
尿素 BUN	2.90 \pm 0.76	2.73 \pm 0.29	2.07 \pm 0.15	2.23 \pm 0.72
尿酸 UA	105.00 \pm 38.97	65.33 \pm 24.79	143.67 \pm 59.88	133.67 \pm 31.50
尿素/肌酐 BUN/CR	0.10 \pm 0.05 ^a	0.05 ^b	0.04 ^b	0.04 \pm 0.02 ^b
磷酸氢根 HCO ₃ ⁻	6.67 \pm 0.58 ^a	5.00 \pm 1.00	5.00 \pm 1.00	4.00 \pm 1.00 ^b
空腹葡萄糖 GLU	2.53 \pm 1.51	1.66 \pm 0.27	1.47 \pm 1.26	1.25 \pm 0.20
总胆固醇 TCHO	1.70 \pm 0.54 ^a	1.45 \pm 0.24	1.17 \pm 0.38	1.02 \pm 0.16 ^b
三酰甘油 TG	6.37 \pm 1.16 ^a	6.70 \pm 1.31 ^a	4.64 \pm 0.72 ^b	4.09 \pm 0.58 ^b
高密度脂蛋白胆固醇 HDL	0.23 \pm 0.08 ^a	0.18 \pm 0.02	0.13 \pm 0.01 ^b	0.13 \pm 0.02 ^b
低密度脂蛋白胆固醇 LDL	0.18 \pm 0.11	0.37 \pm 0.41	0.05 \pm 0.01	0.11 \pm 0.05
钾 K	7.63 \pm 3.16	8.70 \pm 0.61	8.73 \pm 1.91	8.51 \pm 2.10
钠 Na	118.33 \pm 8.39	124.33 \pm 1.53	121.33 \pm 9.87	122.00 \pm 19.16
氯 Cl	98.67 \pm 12.10	111.33 \pm 2.52	102.67 \pm 19.73	124.33 \pm 3.06
钙 Ca	1.58 \pm 0.11 ^a	1.68 \pm 0.05 ^a	1.45 \pm 0.16	1.26 \pm 0.18 ^b

注:表内列数据有排序相邻上标字母则存在差异显著 ($P < 0.05$), 相间则差异极显著 ($P < 0.01$)。

Notes: Values in each column with adjacent superscripts are significantly different ($P < 0.05$), and values with interval superscripts are extremely significantly different ($P < 0.01$) in the table.

3 讨论

3.1 鱼类对碱度耐受能力

碱度、pH 作为渔业水质标准的重要指标,影响水产动物的存活、生长和繁殖。碱度指水体对酸的中和能力,是水体中弱酸阴离子的总和,天然水体中的碱度主要来自于弱碱性的阴离子及基团^[15],当其浓度过高时,会使水生动物产生急性应激,干扰体液渗透压调节,破坏机体内稳态,影响相应蛋白酶活性,干扰代谢通路,阻遏有毒代谢物排泄,引发组织改变及多种生理反应^[3],进而威胁机体健康甚至导致死亡。本研究中死亡个体出现时间随碱度增加而提前,与武鹏飞等^[16]对3种鳅科鱼类、杨建等^[17]对大鳞鲃等以及周文宗等^[18]对黄鳝(*Monopterus albus*)高碱耐受能力研究的结果相同;研究结果说明杂交鲟适于生存的碱度低于黑龙江泥鳅(*Misgurnus mohoity* Dybowski)、大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus* Sauvage)、达里湖高原鳅(*Triplophysa dalaica*)及黄鳝,略低于大鳞鲃、鲫、松浦镜鲤(*Songpu mirror carp*),与草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)及鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)接近。碱度对鱼类毒性不仅受到水环境中离子、有机质等各种因子影响,同时与鱼类的大小、年龄、种类、生境密切相关,一般情况,鱼类早期发育阶段对环境耐受能力小于较大规格同种个体,本研究对象为杂交鲟幼鱼,参考杂交鲟盐度养殖及其他鱼类耐碱养殖经验,较大杂交鲟个体耐碱能力会有所提高。一般把碳酸盐碱度 10 mmol/L 作为淡水鱼养殖用水的危险界限,但通过梯度驯化及选择大规格个体等方法,杂交鲟适养碱度范围是可以达到甚至超过该指标。

3.2 碱度与鱼类生长及摄食关系

鱼类的摄食水平、生长速度和饵料利用效率与水环境碱度密切相关,适宜碱度有利于鱼的摄食、生长和饵料利用,但水环境碱度超过适宜范围时鱼的摄食、生长和饵料利用率都会下降。本研究中对照组的饵料系数及生长率均高于其他试验组,这可能与过高碱度影响鱼类的消化酶活性和能量的分配有关。鱼类标准代谢可分为组织修复与更新所消耗的能量以及维持内稳态所消耗的能量^[13],用于维持内稳态的能量增加而用于组织修复与更新能量则必然减少,在本研究中

随水环境碱度升高,鱼体与环境间渗透压差增大,为维持机体内环境稳定消耗更多的能量。水环境碱度升高时可能会引起鱼类的代谢能上升,使得摄食能中用于鱼体生长的能量占比下降。鱼类的消化酶活性受 pH 影响,均有最适 pH,如胃蛋白酶 2.0~3.0,肝胰脏及肠道蛋白酶分别为 7.0~8.7 和 6.5~9.5,淀粉酶为 5.0~8.0。水环境碱度升高可能会导致鱼体内 pH 被动升高,当升高超过鱼类消化酶活性的最适 pH 时,就会导致消化酶活性急剧下降,使鱼类的消化能力和摄食水平显著下降。本研究中,碱度为 7.73 mmol/L 时试验鱼摄食与生长已明显低于对照组,当碱度进一步升高对杂交鲟生长及饵料利用抑制作用更加明显。

3.3 碱度对水生动物血清生化指标的影响

动物的血液与机体的代谢、营养状况及疾病有着密切的关系^[19],因此血液病理分析是鱼类疾病诊断的一种重要手段,血液生化指标也常作为反映鱼类的生理状况和代谢机能的重要指标,生化指标虽然对环境胁迫敏感程度较低,相对稳定,但也可能受性别、遗传、食性、养殖密度和光照条件等因素影响。血液生化组成包含有机及无机成分,前者包括血糖、血脂、血清蛋白及各种酶。本研究各试验组 CK 均高于对照组,16.67 mmol/L 试验组 CK 更明显高出,CK 大量存在于心肌细胞中,其活性的变化反映心肌的受损程度^[20],尽管各组同属心肌酶类的 AST 及 ALT 含量差异不明显,也足以说明碳酸盐碱性胁迫可能使杂交鲟心肌受到一定损伤。

TP 包含 GLO 和 ALB,大部分是由肝脏合成,TP 是反映肝脏功能的重要指标之一。本研究中其他试验组的 TP 含量明显低于对照组,GLO 和 ALB 均值均低于对照组,特别是 ALB 明显偏低,ALB 为各种物质的载体,它分解的氨基酸又是体内合成蛋白质的原料^[21],因此碱度偏高可能使杂交鲟肝脏功能受损,抑制白蛋白合成或使蛋白代谢失调,又或者蛋白质被大量分解,合成水平低于代谢水平。常玉梅等^[22]证实为抵御碱性环境胁迫,瓦氏雅罗鱼需要大量蛋白质分解氨基酸作为能量来源,导致血浆中游离氨基酸含量增加。肖炜等^[23]在慢性氮氮胁迫的吉罗罗非鱼的 ALB 代谢也得到相似结果。

TG 的含量是一项重要的临床血脂常规指

标,其含量能够反映鱼体利用储存脂肪的能力。12.60 mmol/L、16.67 mmol/L 试验组血清 TG 含量明显低于 7.73 mmol/L 及对照组,这可能与 TG 和 TC 水平受鱼类营养状况影响^[24]。TG 是鱼类脂类代谢的主要物质,TG 浓度下降一方面是由于碱度环境所造成不适感,引起摄食量下降,现已发现饥饿会使养殖鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)的 TG 显著下降;另一方面机体通过加快代谢速率提供更多能量修复伤口,从而导致虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)体内 TG 消耗加快。鹿王成志等发现俄罗斯鲟(*Scophthalmus maximus*)可能持续利用体内存储的脂肪为机体提供能量,饥饿持续时间过长,存储脂肪含量下降,可利用的 TG 含量降低^[25]。

TC 参与形成细胞膜,作为合成胆汁酸、维生素 D 以及甾体激素的原料,是动物组织细胞所不可缺少的重要物质。TC 包括酯化型胆固醇(CE)和游离型胆固醇(FC),TC 检测不仅是血管疾病检测重要指标,同时血清 TC 含量的变化与肝脏有着非常密切的关系。TC 的改变可以很敏感地反映肝细胞损害程度,检测 TC 有助于肝病的鉴别诊断以及肝细胞功能的预测。12.60 mmol/L、16.67 mmol/L 试验组 TC、HDL 及 LDL 均值均低于对照组和 7.73 mmol/L 试验组,特别是前二者明显低于对照组。LDL 主要作用是向组织转运肝脏合成的内源性胆固醇,HDL 主要将肝外组织中的胆固醇运回肝脏,在肝脏中转化为胆汁酸或直接排出体外^[26],临床认为血清 HDL 的升高具有积极作用,本研究中表明碱度胁迫降低血清中 HDL 浓度,影响杂交鲟胆固醇的向肝脏转运。

血清中 CREA 来自肌酸代谢,其含量增加可能与鳃及肾脏机能异常有关,试验组 CREA 含量高于对照组,特别是 16.67 mmol/L 组指标明显超过对照,其他试验组血清中 BUN/CREA 明显低于对照组,可能由于碳酸盐碱度对鳃及肾脏代谢产生影响,高珊等发现随着碱度增加会对瓦氏雅罗鱼肾脏及鳃带来器质性损害^[27]。

血液生化指标中无机成分主要包含各种无机离子,鱼体液渗透压主要是由体液中无机电解质决定的,同时这些离子在维持内环境平衡及调节参与其他生理功能发挥重要作用。本研究 16.67 mmol/L 组 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 明显低于对照组,可能由于肾小管功能受损,使 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 无法被

重新吸收,因此,血液中这两种离子含量降低,会影响体内酸碱平衡缓冲体系及骨化等。郑跃平等^[28]研究患肝胆疾病的中华鲟幼鱼已有类似结果,梁从飞等^[9]则发现盐碱胁迫条件下尼罗罗非鱼血清中 Ca^{2+} 随碱度增大而增加。

本研究发现碱度增加时,杂交鲟血清 ALT、AST、ALP、CK、LDH、HBDB、TP 以及一些离子浓度的变动范围变小,可能由于长时间的环境压力通过生理调节使杂交鲟生化指标逐渐趋同,亦有可能碱性胁迫导致指标变异较大个体被淘汰。

4 结论

研究发现,杂交鲟幼鱼可以在 7.73 mmol/L 及以下的碳酸盐碱水较长期生存,较高的碱度可能会对杂交鲟的心肌、肝脏、肾脏等组织造成损伤,蛋白及脂肪代谢受到影响,进而生长停滞甚至死亡。可尝试利用碱度递增驯化或放养较大规格个体等方式,来提高杂交鲟适应更高浓度碱度的能力。

参考文献:

- [1] 么宗利, 应成琦, 周凯, 等. 碳酸盐碱度胁迫下凡纳滨对虾基因的差异表达[J]. 中国水产科学, 2012, 19(1): 1-12.
YAO Z L, YING C Q, ZHOU K, et al. Gene expression profiles of *Litopenaeus vannamei* in response to carbonate alkalinity stress[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(1): 1-12.
- [2] 刘永新, 方辉, 来琦芳, 等. 我国盐碱水渔业现状与发展对策[J]. 中国工程科学, 2016, 18(3): 74-78.
LIU Y X, FANG H, LAI Q F, et al. The current state and development strategy for China's saline-alkaline fisheries[J]. Engineering Science, 2016, 18(3): 74-78.
- [3] 常玉梅, 梁利群. 耐盐碱鱼类的生理和分子机制研究进展[J]. 水产学报, 2021, 45(5): 798-812.
CHANG Y M, LIANG L Q. Advances of research of physiological and molecular mechanisms related to alkali-saline adaptation for fish species inhabiting alkali-saline water[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 798-812.
- [4] RANDALL D J, WOOD C M, PERRY S F, et al. Urea excretion as a strategy for survival in a fish living in a very alkaline environment[J]. Nature, 1989, 337(6203): 165-166.
- [5] WILKIE M P, WRIGHT P A, IWAMA G K, et al. The physiological adaptations of the Lahontan cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki henshawi*) following transfer from well water to the highly alkaline waters of Pyramid Lake, Nevada (pH 9.4)[J]. Physiological Zoology, 1994, 67(2): 355-

- 380.
- [6] WANG Y S, GONZALEZ R J, PATRICK M L, et al. Unusual physiology of scale-less carp, *Gymnocypris przewalskii*, in Lake Qinghai: a high altitude alkaline saline lake[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2003, 134(2): 409-421.
- [7] 何强,常玉梅,苏宝锋,等. 碳酸盐碱度对达里湖瓦氏雅罗鱼耗氧率、氨氮排泄和排氨基因表达的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(4): 551-558.
HE Q, CHANG Y M, SU B F, et al. Effects of carbonate alkalinity on oxygen consumption, ammonia excretion and ammonia excretion gene expression in *Leuciscus waleckii*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(4): 551-558.
- [8] 周伟江,梁利群,常玉梅,等. 达里湖鲫对盐度和碱度突变和渐变的耐受性[J]. *淡水渔业*, 2013, 43(5): 14-20.
ZHOU W J, LIANG L Q, CHANG Y M, et al. The tolerance of Dali *Carassius auratus* juvenile on acute and gradient toxicity of salinity and alkalinity [J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(5): 14-20.
- [9] 梁从飞,赵金良,甘远迪,等. 盐碱胁迫对尼罗罗非鱼鳃转运子、碳酸酐酶基因表达的影响[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(2): 274-283.
LIANG C F, ZHAO J L, GAN Y D, et al. Effects of salinity and alkalinity on mRNA expression of $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$ cotransporter and carbonic anhydrase genes from *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(2): 274-283.
- [10] 徐伟,耿龙武,姜海峰,等. 浅析盐碱水域的鱼类养殖开发利用[J]. *水产学杂志*, 2015, 28(4): 44-47.
XU W, GENG L W, JIANG H F, et al. A review of development and utilization of fish culture in saline-alkaline water[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2015, 28(4): 44-47.
- [11] 张颖,孙大江,王斌,等. 杂交鲟“鲟龙1号”[J]. *中国水产*, 2017(5): 62-67.
ZHANG Y, SUN D J, WANG B, et al. Hybrid sturgeon *Acipenser schrenckii* ♂ × *Huso huso* ♀ [J]. *China Fisheries*, 2017(5): 62-67.
- [12] 王晓雯,朱华,马国庆. 三种杂交鲟幼鱼对盐度的敏感性研究[J]. *中国水产*, 2015(8): 94-95.
WANG X W, ZHU H, MA G Q. Study on salinity sensitivity of three hybrid sturgeon juveniles[J]. *China Fisheries*, 2015(8): 94-95.
- [13] 吴常文,朱爱意,赵向炯. 海水养殖杂交鲟对环境变化耐受性的试验研究[J]. *水产科学*, 2005, 24(9): 1-4.
WU C W, ZHU A Y, ZHAO X J. Resistance of sturgeon hybrid to environmental changes [J]. *Fisheries Science*, 2005, 24(9): 1-4.
- [14] 翁祖桐. 利用地下碱水养殖杂交鲟试验[J]. *科学养鱼*, 2006(7): 24.
WENG Z T. Experiment on hybrid sturgeon culture with underground saline water[J]. *Scientific Fish Farming*, 2006(7): 24.
- [15] KALFF J. 湖沼学: 内陆水生态系统[M]. 古滨河,刘正文,李宽意,译. 北京: 高等教育出版社, 2011: 222.
KALFF J. *Limnology: inland water ecosystems* [M]. GU B H, LIU Z W, LI K Y, Trans. Beijing: Higher Education Press, 2011: 222.
- [16] 武鹏飞,耿龙武,姜海峰,等. 三种鳅科鱼对 NaCl 盐度和 NaHCO_3 碱度的耐受能力[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(2): 248-257.
WU P F, GENG L W, JIANG H F, et al. Tolerance of three Cobitidae fish species to high salinity and alkalinity [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 248-257.
- [17] 杨建,徐伟,耿龙武,等. NaHCO_3 碱度对5种幼鱼的生存及鳃、肾组织的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2014, 36(5): 1115-1121.
YANG J, XU W, GENG L W, et al. Effect of NaHCO_3 on survival and gill, kidney tissues in juveniles of 5 species[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2014, 36(5): 1115-1121.
- [18] 周文宗,宋祥甫,陈桂发. 黄鳝对盐碱耐受性的研究[J]. *淡水渔业*, 2014, 44(3): 95-99.
ZHOU W Z, SONG X F, CHEN G F. Salinity and alkalinity tolerance of *Monopterus albus* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2014, 44(3): 95-99.
- [19] 张书环,聂品,舒少武,等. 子二代中华鲟分枝杆菌感染及血液生理生化指标的变化[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(1): 136-145.
ZHANG S H, NIE P, SHU S W, et al. Mycobacteriosis in cultured F_2 generation Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) and relevant blood physiological and biochemical indices[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(1): 136-145.
- [20] YILDIRIM M, LIM C, WAN P J, et al. Growth performance and immune response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing graded levels of gossypol-acetic acid[J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1/4): 751-768.
- [21] 杨景丰,郭子好,蔡修兵,等. 大豆抗原蛋白对罗氏沼虾生理生化及免疫的影响[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(2): 322-332.
YANG J F, GUO Z H, CAI X B, et al. Physiological, biochemical, and immune effects of dietary soybean antigen proteins in the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(2): 322-332.
- [22] 常玉梅,何强,孙言春,等. 碳酸盐碱度胁迫下瓦氏雅罗鱼血浆游离氨基酸水平的变化[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(1): 117-124.
CHANG Y M, HE Q, SUN Y C, et al. Changes in plasma free amino acid levels in *Leuciscus waleckii* exposed to

- different environmental alkalinity levels [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(1): 117-124.
- [23] 肖炜, 李大宇, 徐杨, 等. 慢性氨氮胁迫对吉富罗非鱼幼鱼生长、免疫及代谢的影响[J]. 南方水产科学, 2015, 11(4): 81-87.
- XIAO W, LI D Y, XU Y, et al. Effects of chronic external ammonia stress on growth, immunity and metabolism of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(4): 81-87.
- [24] 何志刚, 王金龙, 伍远安, 等. 饲料脂肪水平对芙蓉鲤鲫幼鱼血清生化指标、免疫反应及抗氧化能力的影响[J]. 水生生物学报, 2016, 40(4): 655-662.
- HE Z G, WANG J L, WU Y A, et al. Effect of dietary lipid levels on serum biochemical indices, immune responses and antioxidant capability of juvenile Furongcrucian carp (Furong carp ♀ × Red crucian carp ♂) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(4): 655-662.
- [25] 鹿王成志, 蒲红宇, 王晓雯, 等. 饥饿胁迫和再投喂对俄罗斯鲟形体和血液指标的影响[J]. 河北渔业, 2020, (11): 4-7, 14.
- LUWANG C Z, PU H Y, WANG X W, et al. Effects of feeding pattern on growth and morphological characteristics of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* [J]. Hebei Fisheries, 2020(11): 4-7, 14.
- [26] 徐韬, 彭祥和, 林鑫, 等. 猪油对罗非鱼生长及餐后脂质代谢的影响[J]. 淡水渔业, 2016, 46(1): 80-86.
- XU T, PENG X H, LIN X, et al. Effects of different levels of lard on growth and postprandial lipid metabolism in tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(1): 80-86.
- [27] 高珊, 常玉梅, 赵雪飞, 等. 不同 NaHCO₃ 碱度对瓦氏雅罗鱼鳃组织结构的影响[J]. 水生生物学报, 2020, 44(4): 736-743.
- GAO S, CHANG Y M, ZHAO X F, et al. The effect of different bicarbonate alkalinity on the gill structure of Amur ide (*Leuciscus waleckii*) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(4): 736-743.
- [28] 郑跃平, 徐嘉楠, 范厚勇, 等. 肝胆病变中华鲟幼鱼血液生化指标初步研究[J]. 水产科技情报, 2020, 47(4): 221-225.
- ZHENG Y P, XU J N, FAN H Y, et al. Study on the blood biochemistry indices of hepatobiliary lesions juvenile chinese sturgeon *Acipenser sinensis* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2020, 47(4): 221-225.

Effects of different carbonate alkalinity on survival, growth and biochemical indexes in serum of three-month-old hybrid sturgeon (*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂)

WANG Nianmin¹, YANG Helin², FENG Chaojie², LYU Weihua¹, CAO Dingchen¹, XU Wei¹, ZHANG Ying¹

(1. Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science. Key Open Laboratory of Cold Water Fish Germplasm Resources and Breeding of Heilongjiang Province, Harbin 150076, Heilongjiang, China; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Four NaHCO₃ alkalinity gradients which were 3.20 mmol/L (control group), 7.73 mmol/L, 12.60 mmol/L and 16.67 mmol/L were set for breeding of 3-month-old hybrid sturgeons (*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂) for 60 days to compare the effects of alkalinity on survival rate (SR), growth and serum biochemical indices of juvenile hybrid sturgeons. The results are shown as follows: that the time of first dead individual in each group was negatively correlated with alkalinity; the average survival rate of each group was 70.14%, 64.1%, 28.21% and 51.52%, respectively, the mortality of 12.60 mmol/L and 16.67 mmol/L experimental groups was higher than that of the control, with extremely significant difference; the body weight gain, body length gain ratio and feed conversion ratio of each group were extremely significantly lower than those of the control with extremely significant difference; the serum biochemical indices of 7.73 mmol/L, 12.60 mmol/L and 16.67 mmol/L groups were significantly lower than those of the control, the levels of serum total protein (TP), high density lipoprotein cholesterol (HDL) and triglyceride (TG) of 12.60 mmol/L and 16.67 mmol/L groups were significantly lower than those of 7.73 mmol/L and the control, the total cholesterol (TCHO), serum hydrogen phosphate (HCO₃⁻) and serum calcium (CA) of the experimental group were significantly lower than those of the control, while the serum creatine kinase (CK) and creatinine (CREA) of the experimental group were significantly higher than those of the control with significant difference. In conclusion, high alkalinity may affect the synthesis and metabolism of protein and lipid in hybrid sturgeon, cause slow impairments to cardiac, hepar and kidney tissues, inhibit its growth and even cause individual death. It is concluded that juvenile hybrid sturgeon can be safely cultured in water with alkalinity of 7.73 mmol/L and below, and the suitable alkalinity range can be increased through domestication and adjustment of seedling specifications.

Key words: Hybrid Sturgeon (*Huso dauricus* ♀ × *Acipenser schrenckii* ♂); carbonate alkalinity; survival rate; growth gain rate; food conversion ratio; biochemical indices in serum