

盐度胁迫对细鳞鲑幼鱼呼吸代谢和抗氧化酶活性的影响

杜佳玉^{1,2}, 吴晗阅^{1,2}, 孟照勇^{1,2}, 李雪东³, 文逊智^{1,2}, 王茂林^{1,2*}

(1.大连海洋大学农业农村部北方海水增养殖重点实验室, 辽宁大连 116023; 2.辽宁省北方鱼类应用生物学与增养殖重点实验室, 辽宁大连 116023; 3.秦皇岛市国家级水产种质资源保护区保护中心, 河北秦皇岛 066000)

摘要 挑选平均体重(4.0±1.4)g、平均体长(8.0±1.2)cm的细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)幼鱼,研究了不同盐度(0、6、12、18、24、30)对细鳞鲑幼鱼鳃丝和肝脏中Na⁺-K⁺-ATP、抗氧化酶(SOD、CAT)活性的影响。结果表明,不同盐度对细鳞鲑幼鱼鳃丝中Na⁺-K⁺-ATP活性及肝脏中抗氧化酶活性有显著影响($P < 0.05$)。随着盐度的升高,细鳞鲑鳃丝和肝脏中的Na⁺-K⁺-ATP活性升高,抗氧化酶(SOD、CAT)的活性则随着盐度的升高而降低。虽然细鳞鲑能够通过自身的渗透调节和抗氧化系统应对外界盐度变化带来的压力,但是长期的盐度胁迫也会给细鳞鲑幼鱼机体带来损害。研究结果为今后细鳞鲑的耐盐度选育、养殖推广等方面的工作提供了一定的理论依据。

关键词 盐度胁迫;细鳞鲑幼鱼;Na⁺-K⁺-ATP;SOD;CAT

中图分类号 S917.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0114-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Salinity Stress on the Respiratory Metabolism and Antioxidant Enzyme Activities of *Brachymystax lenok* Juvenile

DU Jia-yu^{1,2}, WU Han-yue^{1,2}, MENG Zhao-yong^{1,2} et al (1. Key Laboratory of Mariculture & Stock Enhancement in North China's Sea, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023; 2. Key Laboratory of Applied Biology and Aquaculture of Fish in Northern China, Liaoning Province, Dalian, Liaoning 116023)

Abstract *Brachymystax lenok* juvenile with the average body weight of (4.0±1.4) g and average body length of (8.0±1.2) cm were selected to study the effects of different salinity (0, 6, 12, 18, 24, 30) on the activities of Na⁺-K⁺-ATP and antioxidant enzymes (SOD, CAT) in the gill filament and liver of *B. lenok* juvenile. The results showed that different salinity had significant effects on the activity of Na⁺-K⁺-ATP in gill filaments and the activities of antioxidant enzymes in the liver of *B. lenok* juvenile ($P < 0.05$). With the increase of salinity, the activities of Na⁺-K⁺-ATP in gill filaments and liver increased, while the activities of SOD and CAT decreased with the increase of salinity gradient. Although *B. lenok* could deal with the pressure caused by the changes in external salinity through its own osmotic adjustment and antioxidant systems, long-term salinity stress could also cause the damages to the body of *B. lenok* juvenile. The research results provided certain theoretical basis for the future work on the selection of salinity tolerance, breeding and promotion of *B. lenok*.

Key words Salinity stress; *B. lenok* juvenile; Na⁺-K⁺-ATP; SOD; CAT

细鳞鲑隶属于硬骨鱼纲鲑形目鲑科细鳞鲑属,一般分布于渭河上游及其支流和汉水北侧支流渭水河、子午河上游的溪流中,常年水温不宜超过20℃。细鳞鲑由于其肉质细嫩,脂肪含量高,具有较高的经济价值。同时,细鳞鲑作为国家二级保护动物,在鱼类学和动物地理学上也具有重要的学术价值。细鳞鲑虽然属于淡水鱼类,但对盐度具有一定的耐受性。盐度是影响鱼类生长发育和生理变化的重要因子^[1-3]。盐度胁迫会导致鱼类机体的氧化酶和Na⁺-K⁺-ATP酶发生一定程度的改变。渗透调节的能力与Na⁺-K⁺-ATP酶有关,测定Na⁺-K⁺-ATP酶的活性可以了解鱼类在盐度胁迫下渗透调节的能力^[4-8]。CAT和SOD等抗氧化酶具有清除机体自由基的功能,提高鱼体的免疫调节能力^[8-10],因此研究盐度胁迫对细鳞鲑幼鱼酶活性的影响,有利于了解细鳞鲑在盐度改变时作出的应对机制,提高细鳞鲑的健康养殖技术。

1 材料与方法

1.1 试验材料 细鳞鲑幼鱼由本溪恒仁渔众不同家庭农场有限公司提供,均为人工繁育的细鳞鲑幼鱼,在大连海洋大学爱尼实验室人工循环水槽中暂养3d,养殖水温为(7.0±

0.3)℃,pH为(7.5±0.4)。每天24h连续充氧保持富氧的环境。

1.2 预试验和试验设计 将同一批次的幼鱼置于盐度为0(对照组)、6、12、18、24、30的循环水槽中,暂养24h内观察细鳞鲑幼鱼的状态,计算幼鱼的存活率。预试验结果表明,细鳞鲑幼鱼在0~30盐度下均能存活。

选取在暂养条件下健康状况良好的细鳞鲑幼鱼,置于试验所需的循环水槽内。缓慢调整盐度梯度,每天提高水体的盐度从2至30,保持24h富氧环境。在0、6、12、18、24、30盐度下取样,每个盐度设置3个平行试验。

1.3 样品的制备和采集 从每个盐度下取3尾细鳞鲑幼鱼,用MS-222麻醉剂麻醉后,取其肝脏和鳃丝。每尾鱼的肝脏和鳃丝分为3份,将其分别置于预冷的离心管中,做好标记后保存于超低温冰箱中(-80℃)。样品前处理:准确称取组织重量,按照组织重量(g):生理盐水体积(mL)=1:9的比例配制成10%的匀浆,2500 r/min(CAT活性测定时转速为10000 r/min)离心10 min,取上清液再用生理盐水稀释成不同的浓度,探索最佳取样浓度(组织的最佳取样浓度按1%进行)。测定Na⁺-K⁺-ATP酶和抗氧化酶所需的试剂盒为南京建成生物工程研究所提供的SOD试剂盒、ATP试剂盒、CAT试剂盒、考马斯亮蓝试剂盒,测定步骤严格按照说明书进行。

1.4 指标的测定

1.4.1 超氧化物歧化酶(SOD)的测定 采用羟胺法测定超

基金项目 辽宁省教育厅服务地方项目(DL201703);辽宁省海洋产业技术研究院项目(2018-CY-33)。

作者简介 杜佳玉(1996—),女,黑龙江佳木斯人,硕士研究生,研究方向:渔业发展。*通信作者,副教授,博士,硕士生导师,从事水产养殖研究。

收稿日期 2021-06-30;修回日期 2021-09-10

氧化物歧化酶活性。当被测样品中含 SOD 时,则对超氧阴离子自由基有专一性的抑制作用,使形成的亚硝酸盐减少,550 nm 下比色时测定管的吸光度值低于对照管的吸光度值,计算被测样品的 SOD 活性。

1.4.2 过氧化氢酶(CAT)活性测定。过氧化氢酶在一定条件下使底物过氧化氢分解,使其在反应液中的浓度逐渐降低,在 240 nm 处测定过氧化氢酶的活性。

1.4.3 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性测定。ATP 酶可分解 ATP,生成 ADP 和无机磷,在 660 nm 处测定无机磷的量,从而测定 ATP 活性。

1.5 数据处理 采用 SPSS 19.0 统计软件进行数据处理与分析,对测得的试验数据进行单因素方差分析,差异显著性分析采用 Duncan 多重比较,结果均以平均值 \pm 标准误表示。 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同盐度对细鳞鲑幼鱼肝脏和鳃丝中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性的影响 如图 1~2 所示,除对照组(CK)外,随着盐度的增加,细鳞鲑幼鱼肝脏中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性呈上升趋势,对照组(盐度为 0) $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性显著高于盐度为 12 时($P < 0.05$);对照组 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性为(6.32 \pm 0.39) U/g,是盐度 12 时的 1.86 倍。除对照组外,随着盐度的增加,细鳞鲑幼鱼鳃丝中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性呈上升趋势,盐度为 0(CK)和 30 时 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性显著高于盐度为 6 和 12 时($P < 0.05$);盐度 30 时肝脏中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性最高,为(2.95 \pm 0.34) U/g,是盐度 6 时的 2.78 倍。试验初期当盐度发生变化时,细鳞鲑幼鱼鳃丝和肝脏中的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性降低,但随着盐度的递增,细鳞鲑幼鱼鳃丝和肝脏中的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性回升,表明在盐度梯度变化时 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶参与细鳞鲑的渗透调节来维持机体内环境的稳定。

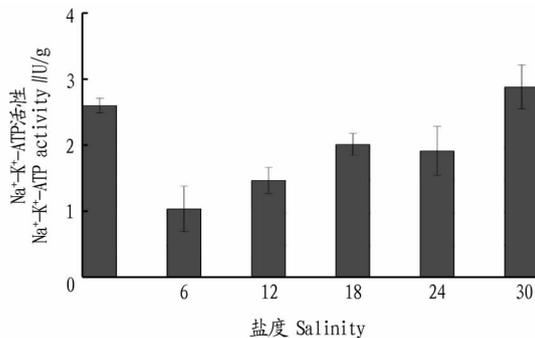


图 1 不同盐度对细鳞鲑幼鱼肝脏中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性的影响
Fig.1 The effects of different salinity on the activity of $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ in the liver of *B. lenok* juvenile

2.2 不同盐度对细鳞鲑幼鱼肝脏和鳃丝中 CAT 活性的影响 如图 3~4 所示,随着盐度的升高,细鳞鲑幼鱼鳃丝中过氧化氢的含量增加,反映出 CAT 酶活性呈下降趋势。当盐度为 30 时细鳞鲑幼鱼鳃丝中 H_2O_2 含量最大,为(115.73 \pm 14.90) U/g,是对照组(CK)的 9.59 倍,是盐度 6 时的 2.32 倍,这表明在盐度为 30 时细鳞鲑幼鱼鳃丝中 CAT 活性最低;细鳞鲑幼鱼肝脏中 CAT 活性差异显著($P < 0.05$),随着盐度的

增加, H_2O_2 含量增加,反映出 CAT 活性呈下降趋势。对照组(盐度 0)与盐度为 6、12 和 18 时细鳞鲑幼鱼鳃丝中 H_2O_2 含量差异不显著。盐度为 30 时细鳞鲑幼苗肝脏中 H_2O_2 含量最大,为(63.28 \pm 7.27) U/g,是对照组的 7.39 倍,是盐度 18 的 8.25 倍,这表明在盐度为 30 时幼鳞鲑幼鱼肝脏中 CAT 活性最低。

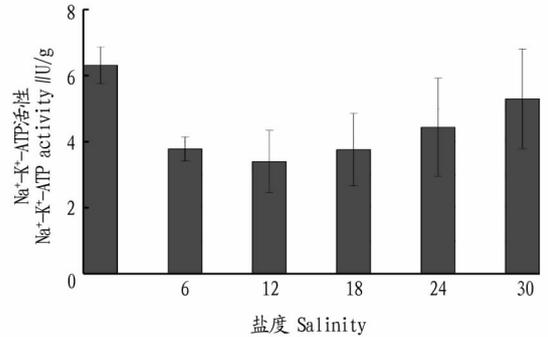


图 2 不同盐度对细鳞鲑幼鱼鳃丝中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性的影响
Fig.2 The effects of different salinity on the activity of $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ in the gill filaments of *B. lenok* juvenile

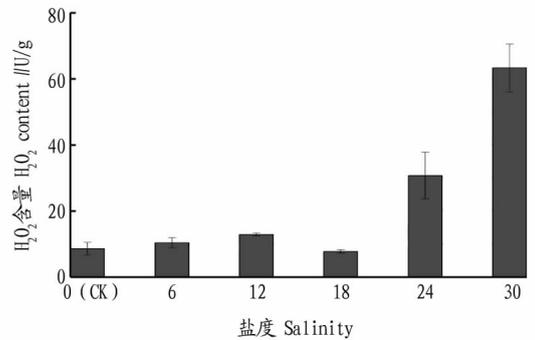


图 3 不同盐度对细鳞鲑幼鱼肝脏中 H_2O_2 含量的影响
Fig.3 The effects of different salinity on H_2O_2 content in the liver of *B. lenok* juvenile

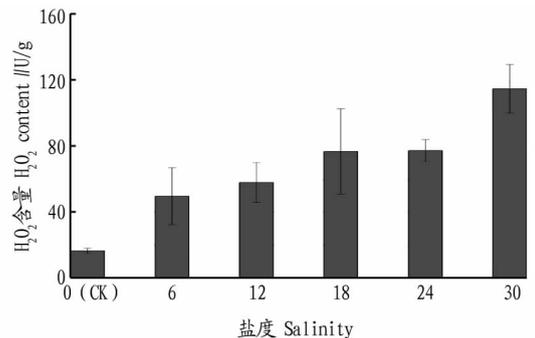


图 4 不同盐度对细鳞鲑幼鱼鳃丝中 H_2O_2 含量的影响
Fig.4 The effects of different salinity on H_2O_2 content in the gill filaments of *B. lenok* juvenile

2.3 不同盐度对细鳞鲑幼鱼肝脏和鳃丝中 SOD 活性的影响 如图 5~6 所示,不同盐度下细鳞鲑幼鱼鳃丝中 SOD 活性差异不显著($P > 0.05$),不同盐度下细鳞鲑幼鱼肝脏中 SOD 活性差异显著($P < 0.05$)。随着盐度的增加,细鳞鲑幼鱼肝脏中 SOD 活性呈下降趋势,对照组细鳞鲑幼鱼肝脏中 SOD 活性最高,盐度为 30 时细鳞鲑幼鱼肝脏中 SOD 活性最低,对照

组细鳞鲑幼鱼肝脏中 SOD 活性是盐度 30 时的 1.5 倍。

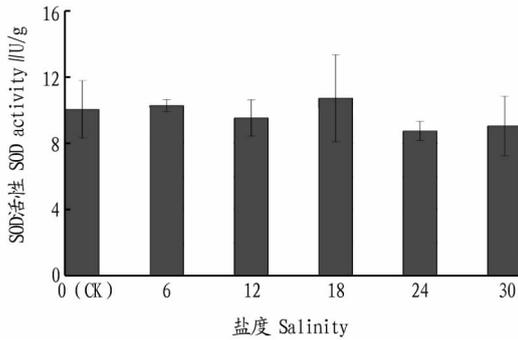


图5 不同盐度对细鳞鲑幼鱼鳃丝中 SOD 活性的影响

Fig.5 The effects of different salinity on SOD activity in gill filaments of *B. lenok* juvenile

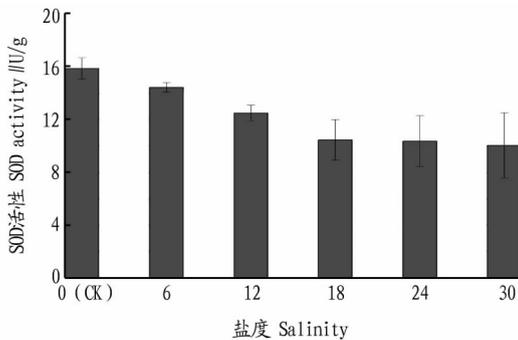


图6 不同盐度对细鳞鲑幼鱼肝脏中 SOD 活性的影响

Fig.6 The effects of different salinity on SOD activity in the liver of *B. lenok* juvenile

3 结论

该试验结果表明,随着盐度的增加,细鳞鲑幼鱼鳃丝和肝脏中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性先降低再逐渐回升,SOD 和 CAT 的活性随着盐度的增加而降低。在鳃丝中, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶在不同盐度梯度下差异性比超氧化物歧化酶和过氧化氢酶高。鳃是鱼类调节外界生活水域与体内离子水平的重要器官, Na^+ 、 K^+ 是鳃中最重要的调控离子, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶为 Na^+ 、 K^+ 离子调控提供动力。因此,当外界的盐度梯度发生变化时,细鳞鲑幼鱼鳃丝中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性也会发生相应的变化。细鳞鲑幼鱼能够通过自身的渗透调节、 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性变化和抗氧化系统(主要是 CAT、SOD),应对外界盐度变化带来的压力,但长期的盐度胁迫也会给细鳞鲑幼鱼机体带来损害。

4 讨论

鱼类在适应外界环境盐度变化时会产生各种生理生化反应,导致体内的渗透压和抗氧化酶活性的改变^[11-12]。鱼类为了维持体内渗透压的稳定必须进行渗透压调节,鱼类渗透压调节的能力决定了其对盐度的耐受能力。当外界的盐度发生改变,鱼类可以通过调节 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 的活性来适应外界环境的变化^[13]。该试验结果表明,随着盐度的逐渐增加, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 活性的改变呈现出先降低后逐渐升高,最后恢复正常的趋势。外界盐度升高时,鱼类体内的钠离子和氯离子需要进行跨膜运输, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 为细胞内离子的跨膜转

运提供能量^[14]。研究表明,当鱼类遭受盐度胁迫时,机体内与渗透压相关的 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 会发生显著变化, $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 在机体渗透压的调节和离子平衡上起到关键作用^[15]。超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)是评价鱼类非特异性免疫的重要指标,是机体抗氧化防御系统中重要组成部分。当盐度升高时,鱼体内会产生大量的过氧化氢和超氧阴离子,这些活性氧会损伤鱼类细胞,进而对鱼类的生理机能造成损伤^[16]。超氧化物歧化酶和过氧化氢酶可以降低这些自由基对鱼类细胞的损伤^[17]。孙梦蕾等^[10]对红鳍东方鲀肝脏中的 SOD 和 CAT 活性研究发现,在低盐胁迫下 SOD 和 CAT 的表达量明显高于对照组。该试验结果表明,鱼类在高盐和低盐胁迫下,其过氧化氢酶和超氧化物歧化酶的活性均会增加,因此 SOD 和 CAT 的活性可反映鱼类细胞的受损程度。王晓杰等^[18]对许氏平鲷的研究表明许氏平鲷血液中的过氧化氢酶、超氧化物歧化酶的活性随盐度的降低呈现上升的趋势。该试验结果表明短期的盐度梯度变化会使细鳞鲑幼鱼抗氧化酶活性增高。

盐度作为一种生态因子,通过改变鱼类的渗透压来影响鱼类的呼吸、代谢和酶的活性。目前的研究表明对鱼类的渗透调节已达到分子水平。有多种基因参与到鱼类的渗透调节,跨膜蛋白基因(NKA 基因)参与硬骨鱼类渗透调节钠离子运输的活跃泵,调节钠离子和氯离子的双向载体交换蛋白基因(NHE 基因)^[19]。在萨罗罗非鱼和尼罗罗非鱼的肠道和鳃等组织中检测出水通道蛋白的表达。水通道蛋白基因(APQs 基因)不仅对水和离子的转运起到重要作用,而且参与甘油和尿素的转运,对鱼类的渗透压调节具有重要意义^[19]。随着生物信息技术的发展,对鱼类渗透压调节的研究将进入数据化、信息化时代。

参考文献

- [1] 王艳.低盐胁迫对鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)稚鱼生长及生理生化指标的影响[D].重庆:重庆师范大学,2008.
- [2] 姜海滨,张静,薛美岩,等.温度和盐度对塞内加尔鳎幼鱼存活及生长的影响[J].海洋湖沼通报,2011(1):31-35.
- [3] 郭勤单,王有基,吕为群.温度和盐度对褐牙鲆幼鱼渗透生理及抗氧化水平的影响[J].水生生物学报,2014,38(1):58-67.
- [4] NAVARRO J M.The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782) (Bivalvia; Mytilidae) [J].Journal of experimental marine biology & ecology, 1988, 122(1):19-33.
- [5] 张晨捷,彭士明,王建钢,等.盐度对银鲌(*Pampus argentatus*) $\text{Na}^+ / \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶活力及血清渗透压调节激素浓度的影响[J].海洋与湖沼,2013, 44(5):1395-1402.
- [6] KIM W S, KIM J M, KIM M S, et al.Effects of sudden changes in salinity on endogenous rhythms of the spotted sea bass *Lateolabrax* sp.[J].Marine biology, 1998, 131(2):219-225.
- [7] 胡俊恒,班红琴.盐度对鱼类的影响及鱼类的渗透压调节机制[J].河北渔业,2010(8):41-43,50.
- [8] 鲁耀鹏,钱坤,汪蕾,等.养殖盐度对凡纳滨对虾抗氧化酶及免疫相关酶活力的影响[J].河北渔业,2019(12):1-5,28.
- [9] 施兆鸿,张晨捷,彭士明,等.盐度对银鲌血清渗透压、过氧化氢酶及鳃离子调节酶活力的影响[J].水产学报,2013,37(11):1697-1705.
- [10] 孙梦蕾,姜志强,蒋洁兰,等.低盐胁迫对红鳍东方鲀幼鱼肝脏的酶活性、组织结构及免疫基因表达的影响[J].河北渔业,2017(4):1-4.
- [11] ROMANO N, ZENG C S.Osmoregulation in decapod crustaceans: Implications to aquaculture productivity, methods for potential improvement and interactions with elevated ammonia exposure [J].Aquaculture, 2012, 334/335/336/337:12-23.

轮虫优势种为曲腿龟甲轮虫和迈氏三肢轮虫^[12],阿木塔和牙门喜泡(2019年)优势种为针簇多肢轮虫^[13],可见在同一区域不同碱度水体中轮虫存在很大差别,轮虫的碱度适应能力存在种属特异性。

3.3 枝角类和桡足类群落结构变化 此次调查发现,碱水池塘枝角类、桡足类种类以及丰度和生物量与连环湖其他泡沼有所不同。此次调查鉴定1号、2号池塘枝角类为5种,均高于3号池(1种),桡足类3个池塘均为2种。记录的卡拉白鱼放养场枝角类14个种(属)、桡足类6个种(属)^[14],他拉红泡枝角类1个种属、桡足类5个种属^[12],阿木塔和牙门喜泡枝角类15个种属、桡足类19个种属^[13]。

1号、2号池塘枝角类丰度均明显高于3号池塘;1号、2号池塘生物量均明显高于3号池塘;1号、2号池塘桡足类丰度高于3号池和卡拉白鱼场,丰度低于卡拉白鱼放养场^[18],与他拉红泡(2009年)丰度相似,生物量高于他拉红泡、2019年阿木塔和牙门喜泡^[12-13]。2号池塘剑水蚤较多,生物量较高。

枝角类1号池塘较多的是网纹溞属、短尾秀体溞;2号池塘网纹溞属、长额象鼻溞,与阿木塔和牙门喜泡优势种为长额象鼻溞的结果相同^[13],3号池塘短尾秀体溞较多,3个池塘的枝角类与卡拉白鱼场的象鼻溞、秀体溞相似^[18];3个池塘桡足类较多的均为近邻剑水蚤和无节幼体,与他拉红泡、阿木塔和牙门喜泡结果相同;他拉红泡(2009年)枝角类仅出现柯氏象鼻溞^[12]。

3.4 池塘浮游动物水环境因子和 Pearson 相关性变化 池塘浮游动物群落结构与水环境因子表现显著的相关性。Pearson相关性分析结果显示,连环湖池塘浮游动物群落结构参数与水温、pH、碱度、溶解氧含量、总磷含量、总氮含量、叶绿素a含量、氨氮含量和亚硝酸盐氮含量均有不同的相关性。水温、pH、总磷含量、总氮含量和叶绿素a含量几乎与所有的群落结构参数显著相关,碱度与生物量显著相关,与以前研究结果^[19-21]相似。池塘碱度小于13.47 mmol/L,因此不会对浮游生物产生显著影响^[22]。

碱水池塘浮游动物种类、生物量相对丰富,有一些种类

成为中碱度池塘优势种。为了提高池塘养殖效率,在碱水池塘移植适用于碱水环境的砂壳虫、太阳虫、钟形虫、蓴花臂尾轮虫、三肢轮虫和角突臂尾轮虫;控制和减少剑水蚤数量,以保证水体饵料充足,保持养殖生物有一个良好的生态环境。

参考文献

- [1] 杜蒙县连环湖渔场,依托资源优势满足市场需求不断加快大银鱼移植增殖步伐[J].渔业经济研究,1997(4):20-21.
- [2] 袁龙福, 蔺玉华, 王信海,等.连环湖他拉红泡水质监测与分析[J].水产学杂志,2008,21(1):77-81.
- [3] 周宁.浮游生物在养殖水体中的功能[J].科学养鱼,2015(1):91.
- [4] 卞会振.养殖池塘中浮游动物的利弊、防、治[J].海洋与渔业·水产前沿,2017(5):92,97.
- [5] 王胜男, 陈卫.浅析淡水浮游动物的种类组成及其生态功能作用[J].生物学通报,2012,47(10):10-13.
- [6] 李晓钰, 于洪贤, 马成学.松花江哈尔滨段浮游植物群落典范对应分析及多样性分析[J].东北林业大学学报,2013,41(10):103-107.
- [7] 伍献文.中国鲤科鱼类志[M].上海:上海科学技术出版社,1982.
- [8] 张党民, 何志辉.内陆水域渔业自然资源调查手册[M].北京:农业出版社,1991.
- [9] 韩茂森, 束蕴芳.中国淡水生物图谱[M].北京:海洋出版社,1995.
- [10] 韩茂森.淡水浮游生物图谱[M].北京:农业出版社,1980.
- [11] 鞠永富, 于洪贤, 于婷,等.西泉眼水库夏季浮游动物群落结构特征及水质评价[J].生态学报,2016,36(16):5126-5132.
- [12] 吴文化, 蔺玉华, 耿红军,等.连环湖他拉红泡浮游生物组成及水质分析[J].天津师范大学学报(自然科学版),2009,29(2):77-80.
- [13] 陈昕, 李喆, 唐富江,等.连环湖两水体浮游动物群落结构特征及水质评价[J].水生态学杂志,2020,41(6):89-97.
- [14] 赵彦波.养殖水体中可做为鱼饵料的浮游动物[J].养殖技术顾问,2014(12):330.
- [15] 胡迎新.浮游生物在鱼类养殖中的重要作用[J].河南水产,2018(4):14-15.
- [16] WANG S B, XIE P, GENG H. The relative importance of physicochemical factors and crustacean zooplankton as determinants of rotifer density and species distribution in lakes adjacent to the Yangtze River, China [J]. Limnologia-ecology and management of inland waters, 2010,40(1):1-7.
- [17] 王武.鱼类增殖学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [18] 蔺玉华, 王信海, 姜秋俚,等.连环湖卡拉白鱼放养场的浮游生物组成及水质分析[J].天津师范大学学报(自然科学版),2008,28(1):1-4,7.
- [19] 付显婷, 杨薇, 赵彦伟,等.白洋淀浮游动物群落结构与水环境因子的关系[J].农业环境科学学报,2020,39(6):1271-1282.
- [20] 邱小琼, 赵红雪, 孙晓雪.沙湖浮游动物与水环境因子关系的多元分析[J].生态学杂志,2012,31(4):896-901.
- [21] 李上.大佳河自然保护区浮游生物功能群研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2020.
- [22] 申屠青春, 董双林, 赵文,等.盐度、碱度对浮游生物和水化因子的影响[J].应用生态学报,2000,11(3):449-454.
- [12] 冉凤霞, 金文杰, 黄岫,等.盐度变化对鱼类影响的研究进展[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(8):10-18.
- [13] 侯彦峰.青鳉鱼鳃内Na⁺-K⁺-ATPase基因的克隆及皮质醇对其表达的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [14] 刘珊, 李冰, 张成锋,等.硬骨鱼类渗透调控的研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(20):12239-12242,12245.
- [15] HUANG M, ZHOU Y G, LIU C Y, et al. Fatty acid composition, osmolality, Na⁺, K⁺-ATPase activity, cortisol content and antioxidant status of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in response to various dietary levels of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid [J]. Aquaculture research, 2020, 51(7): 2777-2789.
- [16] 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.
- [17] 王思婷.盐度对黑鲫抗氧化系统的影响及杂交鲟鱼与亲本的脂肪酸成分比较[D].南京:南京师范大学,2018.
- [18] 王晓杰, 张秀梅, 李文涛.盐度胁迫对许氏平鲉血液免疫酶活力的影响[J].海洋水产研究,2005,26(6):17-21.
- [19] BLAIR S, LI X J, DUTTA D, et al. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Na⁺/H⁺ exchangers tNhe3a and tNhe3b display unique inhibitory profiles dissimilar from mammalian NHE isoforms [J]. International journal of molecular sciences, 2021, 22(4): 1-17.

(上接第116页)