

## 北方碳酸盐碱池塘浮游动物群落结构特征分析

刘超奇<sup>1,2,3</sup>, 孙博<sup>2,3</sup>, 张立民<sup>2,3</sup>, 常玉梅<sup>2,3</sup>, 王庆奎<sup>1\*</sup>, 梁利群<sup>2,3\*</sup>

(1.天津农学院水产学院, 天津 300384; 2.中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 淡水鱼类育种国家地方联合工程实验室, 黑龙江哈尔滨 150070; 3.中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江省特殊生境鱼类种质特性与抗逆育种重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150070)

**摘要** 2020年8—10月, 对大庆连环湖3个中碱度池塘进行浮游动物鉴定以及水环境因子检测, 分析了浮游动物的群落结构特征, 并运用 Pearson 相关系数对池塘中浮游动物与水环境因子的相关性进行分析。结果表明: 1号、2号、3号池分别鉴定出 28、34 和 28 个浮游动物种属, 轮虫种类最多, 其中原生动物分别为 9、11、10 个种属, 轮虫分别为 12、16、15 个种属, 枝角类分别为 5、5、1 个种属, 桡足类均为 2 个种属; 原生动物优势种 10 种, 轮虫优势种 6 种; 3 个池塘水体浮游动物平均丰度分别为 10 264.89、9 416.89 和 3 939.33 ind./L, 平均生物量分别为 17.03、20.69 和 8.14 mg/L; 3 个池塘平均总氮含量为 2.69 mg/L, 平均总磷含量为 0.91 mg/L, 试验池塘均为富营养型水体。此研究结果为中碱度养殖池塘水质调控提供了基础数据。

**关键词** 碳酸盐池塘; 浮游动物; 群落结构; 水环境因子

中图分类号 S917.4 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)22-0117-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.22.028

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Community Structure Characteristics Analysis of Zooplankton in Carbonate Alkali Pond in North China

LIU Chao-qi<sup>1,2,3</sup>, SUN Bo<sup>2,3</sup>, ZHANG Li-min<sup>2,3</sup> et al (1. Fisheries College, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 2. National and Local Joint Engineering Laboratory for Freshwater Fish Breeding, Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin, Heilongjiang 150070; 3. Key Laboratory of Fish Stress Resistance Breeding and Germplasm Characteristics on Special Habitats in Heilongjiang Province, Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin, Heilongjiang 150070)

**Abstract** From August to October of 2020, zooplankton were identified, water environment factors were detected in three ponds with three medium alkalinity in Lianhuan Lake of Daqing. The community structure characteristics of zooplankton were analyzed, and Pearson correlation coefficient was used to analyze the correlation between zooplankton and water environment factors in ponds. The results showed that 28, 34 and 28 zooplankton species were identified in ponds No.1, No.2 and No.3, among which 9, 11 and 10 species were protozoa, 12, 16 and 15 species were rotifers, 5, 5 and 1 species were cladocera, and 2 species and genera were copepods. The average abundance of zooplankton in the three ponds was 10 264.89, 9 416.89 and 3 939.33 ind./L respectively, and the average biomass was 17.03, 20.69 and 8.14 mg/L respectively. The average total nitrogen content and average total phosphorus content in three ponds were 2.69 and 0.91 mg/L respectively. And the experimental ponds were all eutrophic water bodies. The study results provided basic data for water quality control of medium alkalinity aquaculture ponds.

**Key words** Carbonate pond; Zooplankton; Community structure; Water environmental factors

连环湖位于大庆市杜尔伯特蒙古族自治县连环湖镇, 水域由 18 个泡子组成, 是乌裕尔河、双阳河下游的漫流区和泄洪区, 湖底平坦, 水深平均 3 m<sup>[1-2]</sup>, 湖水水体离子成分复杂, 是东北地区典型的碳酸盐型盐碱水体, 水中浮游动物多, 溶氧量低, 鱼类生长慢。

浮游动物主要包括原生动物、轮虫、枝角类和桡足类, 是水体中的重要生态功能群, 可作为滤食性水生动物的天然饵料, 降低饵料系数<sup>[3-4]</sup>。浮游动物以浮游植物为食, 其排泄和分泌作用加快了物质循环和能量流动, 可调节水体生态平衡<sup>[5-6]</sup>。水温、营养盐、溶解氧含量等环境因子是影响浮游动物生长、发育、摄食、繁殖的主要限制因素<sup>[7]</sup>。因此, 充分了解盐碱池塘中浮游动物在不同季节的变化情况, 对于调节水体生态环境、提高盐碱池塘鱼类养殖效率至关重要。笔者对北方不同碳酸盐碱度池塘浮游动物的群落结构特征以及水环境因子开展调查, 以期建立盐碱池塘绿色、生态、高效养殖奠定理论基础。

**基金项目** 国家重点研发计划项目(KY2020210100)。

**作者简介** 刘超奇(1995—), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向: 渔业发展。\*通信作者: 王庆奎, 教授, 博士, 从事海水鱼营养需求与人工配合饲料的研制研究; 梁利群, 研究员, 博士, 从事鱼类抗逆分子遗传机理及基因工程育种研究。

**收稿日期** 2021-07-14; **修回日期** 2021-08-11

## 1 材料与方法

**1.1 试验地点** 在大庆连环湖选取 3 个不同碱度、放养相同密度的雅罗鱼养殖池塘进行研究。3 个池塘概况见表 1。

表 1 3 个池塘概况

Table 1 The basic situations of three ponds

池塘 Ponds	碱度 Alkalinity // mmol/L	面积 Area // m <sup>2</sup>
1	13.70~12.68	3 335
2	18.20~21.47	3 335
3	12.00~14.80	4 669

**采样点布局:** 通过对连环湖池塘综合考察, 结合《内陆水域渔业自然资源调查手册》等资料<sup>[8]</sup>, 布设 15 个采样点, 沿 1 号、2 号、3 号池塘长边, 每个池塘设置 5 个采样点, 每月采样 1 次。

**1.2 浮游动物样品采集、固定与鉴定方法** 池塘浮游动物样品采集与固定方法参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》<sup>[8]</sup>, 将处理过的样品放在显微镜下观察, 种类鉴定参考《中国淡水生物图谱》和《淡水浮游生物图谱》<sup>[9-10]</sup>, 丰度、生物量计算参照《内陆水域渔业自然资源调查手册》<sup>[8]</sup>的方法进行。

**1.3 水环境因子的测定** 2020 年 8—10 月在池塘采样, 水

温(WT)和溶解氧含量(DO)使用便携式溶氧仪检测;pH使用pH仪测定,总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素a(Chla)、硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)含量参考《内陆水域渔业自然资源调查手册》<sup>[8]</sup>方法进行测定,碱度(A)用0.02 mol/L的HCl滴定测定。

**1.4 数据处理** 优势种根据 Menaughton 优势度  $Y$  确定,当  $Y \geq 0.02$  时确定为优势种:

$$Y = (n_i/N)f_i \quad (1)$$

式中, $n_i$ 为物种  $i$  的个数, $N$ 为所有种类的个体数, $f_i$ 为  $i$  物种出现的频率。

按照以下公式计算香农-威纳(Shannon-Wiener)指数( $H$ )、Margalef 丰富度指数( $D$ )和 Pielou 均匀度指数( $J$ ):

$$H = -\sum (P_i \times \ln P_i) \quad (2)$$

$$D = (S-1)/\ln N \quad (3)$$

$$J = H/\log_2 S \quad (4)$$

式中, $P_i$ 为物种  $i$  占总个体的比例, $H$ 为 Shannon-Wiener 多样性指数, $S$ 为物种数。

参照鞠永富等<sup>[11]</sup>的水质评价标准,评价池塘富营养化

程度;使用 Excel 软件进行多样性指数计算和绘图,使用 SPSS 23.0 统计软件进行数据统计与分析。

## 2 结果与分析

**2.1 浮游动物种类、丰度和生物量** 由图 1 可知,3 个试验池塘浮游动物共发现 40 种,1 号、2 号、3 号池塘分别鉴定出 28、34 和 28 个浮游动物种属,轮虫种类最多,其中原生动物分别为 9、11、10 个种属,轮虫分别为 12、16、15 个种属,枝角类分别为 5、5、1 个种属,桡足类均为 2 个种属;其中 2 号池 10 月份物种数最多,3 号池 8 月份最少。3 个试验池塘浮游动物丰度为 3 163.00~13 690.67 ind./L,3 个池塘水体浮游动物平均丰度分别为 10 264.89、9 416.89 和 3 939.33 ind./L,1 号池 8 月份丰度最高,3 号池 10 月份丰度最低;1、3 号池丰度随着时间的变化而逐渐降低,2 号池先增加后降低。3 个试验池塘浮游动物生物量为 3.43~35.86 mg/L,平均生物量分别为 17.03、20.69 和 8.14 mg/L,2 号池 10 月份最高,3 号池 8 月份最低。1、2 号池浮游动物生物量均随着时间的变化而呈先降低再增加的变化,而 3 号池浮游动物生物量随时间的变化呈逐渐升高的趋势。

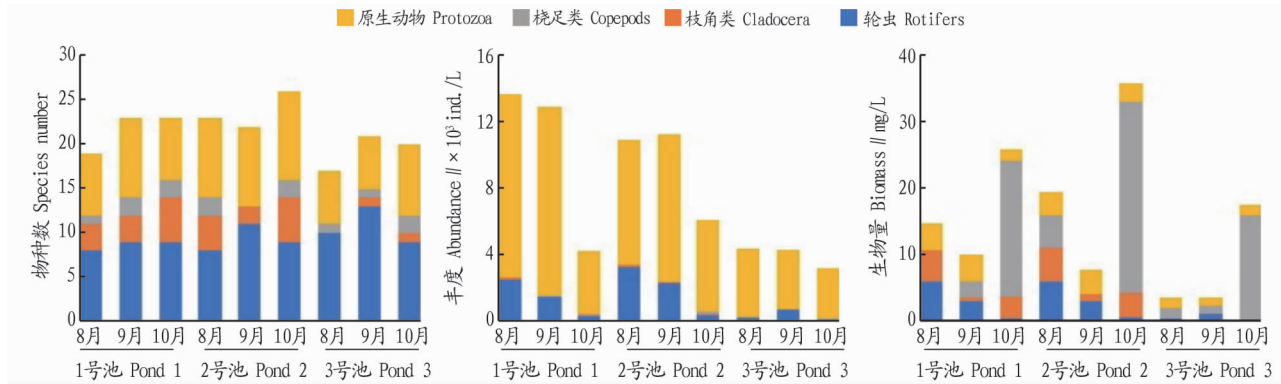


图 1 试验池塘浮游动物的种类、丰度和生物量

Fig.1 Species, abundance and biomass of zooplankton in test ponds

**2.2 池塘水化学因子** 于 2020 年 8—10 月对 3 个池塘进行浮游动物样品采集调查,并对水体的水温(WT)、溶解氧含量(DO)、pH、总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素a(Chla)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、硝酸盐(NO<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐(NO<sub>2</sub>-N)含量、碱度(A)10 个环境因子进行了测定,结果见表 2。

由表 2 可知,2020 年 8—10 月不同碱度池塘水体的水温逐

渐降低,3 个池塘水温均在 8 月份最高,均为 21.6 °C;8—10 月 3 号池塘溶解氧含量均随着水温的下降而逐渐增高;8—10 月 3 个池塘水体 pH 呈现先升高后下降的变化趋势;总氮含量 1 号池 8 月最高(3.78 mg/L),3 号池塘 8 月最低(1.41 mg/L);总磷含量 3 号池 10 月最高(1.62 mg/L),8 月份最低(0.51 mg/L);叶绿素 a 含量 2 号池 9 月份最高(251.1 mg/m<sup>3</sup>),8 月份最

表 2 2020 年 8—10 月 3 个试验池塘水化学因子的变化

Table 2 Changes of water chemical factors in three test ponds from August to October, 2020

池塘编号 Pond No.	月份 Month	WT °C	DO mg/L	pH	TN mg/L	TP mg/L	Chla mg/m <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	A mmol/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L
1 号 No.1	8	21.6	5.84	9.00	3.78	0.65	158.2	1.28	0.32	12.40	0.002
	9	16.7	10.43	9.26	3.07	0.77	193.6	1.41	0.38	13.70	0.027
	10	11.2	11.14	8.41	2.32	1.08	74.2	0.85	0.30	12.68	0.246
2 号 No.2	8	21.6	5.59	9.06	2.19	0.76	35.1	1.32	0.48	20.27	0.006
	9	16.7	10.96	9.32	3.50	0.89	251.1	1.39	0.46	21.47	0.016
	10	10.7	11.21	8.62	2.35	1.20	115.9	0.86	0.33	18.20	0.047
3 号 No.3	8	21.6	5.84	8.99	1.41	0.51	278.3	1.47	0.32	12.00	0.005
	9	16.7	10.99	9.05	2.00	0.73	105.0	1.60	0.34	12.00	0.043
	10	11.7	11.13	8.46	3.57	1.62	108.3	0.92	0.32	14.80	0.016

低( $35.1 \text{ mg/m}^3$ );氨氮含量 3 号池 9 月份最高( $1.60 \text{ mg/L}$ ), 1 号池 10 月份最低( $0.85 \text{ mg/L}$ );亚硝酸盐含量 2 号池 8 月份最高( $0.48 \text{ mg/L}$ ), 1 号池 10 月份最低( $0.30 \text{ mg/L}$ );2020 年 8—10 月 3 个池塘水体碱度为  $12.00 \sim 21.47 \text{ mmol/L}$ ;硝酸盐含量 1 号池 10 月份最高( $0.246 \text{ mg/L}$ ), 8 月份最低( $0.002 \text{ mg/L}$ )。3 个池塘平均总氮含量为  $2.69 \text{ mg/L}$ , 平均总磷含量为  $0.91 \text{ mg/L}$ , 试验池塘均为富营养型水体。

**2.3 浮游动物优势种分布特征** 3 个池塘共发现浮游动物 40 种, 优势种为 16 种, 其中轮虫 6 种, 原生动物 10 种。砂壳

虫、河生筒壳虫、钟形虫在 2020 年 8—10 月都是优势种群(表 3)。

**2.4 浮游动物多样性指数特征** 由图 2 可知, 试验期间浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数( $H$  值)最高值出现在 2 号池 9 月份(2.44), 最低值出现在 1 号池 8 月份(1.78)。

试验池塘浮游动物 Margalef 丰富度指数( $D$ )最高值出现在 2 号池 10 月份(2.87), 最低值出现在 1 号池 8 月份(1.89)。

试验池塘浮游动物 Pielou 均匀度指数( $J$ )最高值出现在 2 号池 9 月份(0.55), 最低值出现在 1 号池 9 月份(0.40)。

表 3 不同碱度池塘浮游动物优势度( $Y$ )分析

Table 3 Dominance ( $Y$ ) analysis of zooplankton in ponds with different alkalinity

品种 Species	8 月 Aug			9 月 Sept.			10 月 Oct		
	1 号池 Pond 1	2 号池 Pond 2	3 号池 Pond 3	1 号池 Pond 1	2 号池 Pond 2	3 号池 Pond 3	1 号池 Pond 1	2 号池 Pond 2	3 号池 Pond 3
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas	0.07	0.09	0.01	0.01					
跃进三肢轮虫 <i>Filinia passa</i> O.F.Müller	0.06	0.16							
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01			
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i> Guerne	0.01			0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angula</i> Gosse	0.02			0.04	0.04	0.05			
矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i> O.F.Müller							0.03	0.02	
砂壳虫 <i>Diffugia</i> sp.	0.15	0.20	0.18	0.04	0.14	0.11	0.06	0.10	0.11
太阳虫 <i>Actinophrys</i> sp.	0.39		0.03	0.49	0.09		0.03	0.02	0.05
河生筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviale</i>	0.04	0.09	0.25	0.02	0.03	0.13	0.18	0.29	0.21
钟形虫 <i>Vorticella</i> sp.	0.16	0.05	0.15	0.08	0.03	0.19	0.16	0.03	0.02
侠盗虫 <i>Strobilidium</i> sp.			0.21			0.03		0.02	
拟急游虫 <i>Strombidium</i> sp.	0.01	0.13	0.12	0.04	0.03		0.03	0.02	
似壳铃虫 <i>Tintinnopsis</i> sp.	0.02	0.09		0.01	0.01	0.05	0.13	0.03	0.05
短棘刺胞虫 <i>Aanthocystis brevicirrhis</i> Perty		0.02							
点滴筒变虫 <i>Vahlkampfia guttula</i> Dujardin.				0.18	0.07	0.06		0.03	0.02
变形虫 <i>Amoeba</i> sp.	0.05	0.09		0.01	0.05		0.16	0.09	0.18

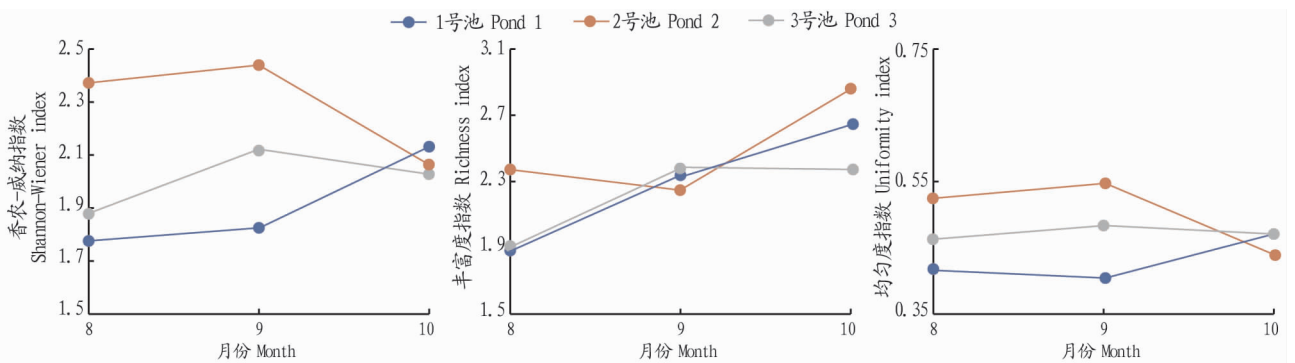


图 2 3 个试验池塘浮游动物多样性指数比较

Fig.2 Diversity indices comparison of zooplankton in three test ponds

**2.5 池塘浮游动物与水环境因子的 Pearson 相关性分析** 对池塘水环境因子与浮游动物物种数、多样性指数、浮游动物四大类群生物量等指标进行 Pearson 相关性分析, 结果见表 4~6。

由表 4~6 可知, 3 个池塘水温与物种数、丰富度指数、桡足类生物量都呈负相关; 3 个池塘 pH 与桡足类、枝角类生物量呈都负相关, 与轮虫生物量呈正相关; 3 个池塘溶解氧含量与物种数、丰富度指数、桡足类生物量均呈正相关, 与原生动物生物量呈负相关; 3 个池塘总磷含量与物种数、丰富度指数、桡足类生物量均呈正相关; 3 个池塘叶绿素 a 含量与物种数、枝角类生物量、桡足类生物量均呈负相关; 3 个池塘氨氮

含量与枝角类生物量、桡足类生物量呈负相关; 3 个池塘亚硝酸盐含量与物种数、丰富度指数均呈正相关, 与原生动物生物量均呈负相关。

### 3 讨论

**3.1 原生动物物种及丰度变化** 此次调查鉴定结果表明 3 个池塘原生动物种类相差不大, 其中 2 号池种类最多。2009 年他拉红泡鉴定出原生动物(含未定种)10 个种属<sup>[12]</sup>, 2019 年阿木塔和牙门喜泡鉴定原生动物 20 种<sup>[13]</sup>, 相较于 2019 阿木塔和牙门喜泡鉴定此次鉴定种类有所减少, 其原因可能与此次有未定种有关。

表4 1号池浮游动物与环境因子的 Pearson 相关系数

Table 4 Pearson correlation coefficients between zooplankton and environmental factors in No.1 pond

指标 Index	WT	pH	A	DO	TN	TP	Chla	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N
S	-0.784**	0.064	0.900**	0.640**	0.407**	0.846**	-0.627**	0.389**	0.515**
H	-0.652**	-0.821**	-0.126	0.567**	-0.532**	0.616**	-0.341**	-0.616**	0.912**
J	-0.008	-0.778**	-0.767**	0.258*	-0.756**	-0.065	0.143	-0.834**	0.437**
D	-0.903**	-0.252*	0.713**	0.694**	0.150	0.944**	-0.659**	0.099	0.773**
B <sub>1</sub>	0.295**	0.344**	0.185	-0.691**	0.942**	-0.047	-0.384**	0.236*	-0.404**
B <sub>2</sub>	0.052	-0.412**	-0.225*	-0.417**	0.706**	0.270**	-0.725**	-0.485**	0.183
B <sub>3</sub>	-0.779**	-0.815**	0.068	0.552**	-0.222*	0.832**	-0.627**	-0.562**	0.997**
B <sub>4</sub>	0.028	0.574**	0.624**	-0.495**	0.932**	0.147	-0.375**	0.599**	-0.341**

注: \*表示相关性达到显著水平( $P<0.05$ ); \*\*表示相关性达到极显著水平( $P<0.01$ ); S.物种数; J.均匀度指数; H. 香农-威纳指数; D. 丰富度指数; B<sub>1</sub>. 轮虫生物量; B<sub>2</sub>. 枝角类生物量; B<sub>3</sub>. 桡足类生物量; B<sub>4</sub>. 原生动物生物量

Note: \* indicated significant correlation ( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant correlation ( $P<0.01$ ); S. Species number; J. Uniformity index; H. Shannon-Wiener index; D. Abundance index; B<sub>1</sub>. Rotifer biomass; B<sub>2</sub>. Cladoceran biomass; B<sub>3</sub>. Copepod biomass; B<sub>4</sub>. Protozoan biomass

表5 2号池浮游动物与环境因子的 Pearson 相关系数

Table 5 Pearson correlation coefficients between zooplankton and environmental factors in No.2 pond

指标 Index	WT	pH	A	DO	TN	TP	Chla	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N
S	-0.528**	-0.985**	-0.672**	0.213	-0.603**	0.736**	-0.438**	-0.941**	0.785**
H	0.591**	0.967**	0.733**	-0.272*	0.533**	-0.791**	0.359**	0.909**	-0.835**
J	0.504**	0.990**	0.648**	-0.191	0.629**	-0.714**	0.467**	0.951**	-0.764**
D	-0.587**	-0.969**	-0.729**	0.268*	-0.538**	0.788**	-0.365**	-0.911**	0.832**
B <sub>1</sub>	0.912**	0.300*	0.966**	-0.714**	-0.432**	-0.939**	-0.598**	0.131	-0.911**
B <sub>2</sub>	0.427**	-0.604**	0.349**	-0.518**	-0.985**	-0.263*	-1.000**	-0.733**	-0.191
B <sub>3</sub>	-0.611**	-0.959**	-0.752**	0.291*	-0.508**	0.809**	-0.332**	-0.896**	0.850**
B <sub>4</sub>	0.719**	0.897**	0.854**	-0.400**	0.354**	-0.897**	0.167	0.808**	-0.927**

注: \*表示相关性达到显著水平( $P<0.05$ ); \*\*表示相关性达到极显著水平( $P<0.01$ ); S.物种数; J.均匀度指数; H. 香农-威纳指数; D. 丰富度指数; B<sub>1</sub>. 轮虫生物量; B<sub>2</sub>. 枝角类生物量; B<sub>3</sub>. 桡足类生物量; B<sub>4</sub>. 原生动物生物量

Note: \* indicated significant correlation ( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant correlation ( $P<0.01$ ); S. Species number; J. Uniformity index; H. Shannon-Wiener index; D. Abundance index; B<sub>1</sub>. Rotifer biomass; B<sub>2</sub>. Cladoceran biomass; B<sub>3</sub>. Copepod biomass; B<sub>4</sub>. Protozoan biomass

表6 3号池浮游动物与环境因子的 Pearson 相关系数

Table 6 Pearson correlation coefficients between zooplankton and environmental factors in No.3 pond

指标 Index	WT	pH	A	DO	TN	TP	Chla	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N
S	-0.692**	-0.055	0.185	0.680**	0.531**	0.437**	-0.985**	-0.185	0.931**
H	-0.621**	0.058	0.073	0.631**	0.433**	0.333**	-0.959**	-0.073	0.966**
J	-0.561**	0.145	-0.014	0.588**	0.352**	0.249*	-0.931**	0.014	0.985**
D	-0.781**	-0.225	0.350**	0.738**	0.668**	0.584**	-1.000**	-0.350**	0.854**
B <sub>1</sub>	-0.105	0.642**	-0.536**	0.226	-0.191	-0.296*	-0.602**	0.536**	0.930**
B <sub>2</sub>	-0.788**	-0.239	0.364**	0.742**	0.679**	0.596**	-1.000**	-0.364**	0.846**
B <sub>3</sub>	-0.683**	-0.995**	0.999**	0.494**	0.918**	0.955**	-0.319**	-0.999**	-0.222
B <sub>4</sub>	0.130	-0.620**	0.512**	-0.247*	0.163	0.268*	0.624**	-0.512**	-0.940**

注: \*表示相关性达到显著水平( $P<0.05$ ); \*\*表示相关性达到极显著水平( $P<0.01$ ); S.物种数; J.均匀度指数; H. 香农-威纳指数; D. 丰富度指数; B<sub>1</sub>. 轮虫生物量; B<sub>2</sub>. 枝角类生物量; B<sub>3</sub>. 桡足类生物量; B<sub>4</sub>. 原生动物生物量

Note: \* indicated significant correlation ( $P<0.05$ ); \*\* indicated extremely significant correlation ( $P<0.01$ ); S. Species number; J. Uniformity index; H. Shannon-Wiener index; D. Abundance index; B<sub>1</sub>. Rotifer biomass; B<sub>2</sub>. Cladoceran biomass; B<sub>3</sub>. Copepod biomass; B<sub>4</sub>. Protozoan biomass

1号和2号池塘原生动物丰度和生物量相差不大,均明显高于3号池塘;试验池塘原生动物平均丰度和生物量明显高于他拉红泡、牙门喜泡、阿木塔<sup>[12-13]</sup>,与原生动物在有机质丰富的静止水体中数量和种类较多的结果相符<sup>[14]</sup>。

此次调查发现3个碱水池塘原生动物优势种与其他泡沼有所不同,原生动物优势种前3种1号池塘为砂壳虫、太阳虫、钟形虫,2号池塘为砂壳虫、河生筒壳虫、拟急游虫,3号池塘为砂壳虫、河生筒壳虫、钟形虫;1号和3号池塘与他拉红泡(2009年)原生动物优势种为钟形虫和小口钟<sup>[12]</sup>相似;3个池塘均有砂壳虫出现,与阿木塔和牙门喜泡(2019年)鉴定原生动物优势种为瓶茎枝虫、球形砂壳虫、砂壳虫的结果<sup>[13]</sup>相似。

**3.2 轮虫群落结构变化** 与连环湖其他泡子相比,试验池塘轮虫种类有所不同。此次试验调查表明2号、3号池塘轮虫

种类相差不大,与卡拉白鱼放养场、他拉红泡相似,均略高于1号池塘,3个池塘都明显低于阿木塔和牙门喜泡鉴定轮虫种类数(21种)<sup>[13]</sup>。

3个试验池塘中,2号池塘轮虫丰度最高,1号池和2号池丰度都显著高于3号池;1号池体型大的轮虫较多,生物量略高于2号池,2号池塘显著高于3号池,平均丰度和生物量明显高于他拉红泡、阿木塔、牙门喜泡<sup>[12-13]</sup>。轮虫适合用作多种幼鱼的开口饵料<sup>[15]</sup>,总氮含量较高的水体中轮虫丰度也较高<sup>[16]</sup>。9月份池塘出现桡足类,10月份水温明显降低,轮虫数量急剧减少<sup>[17]</sup>。

1号、2号池塘优势种为萼花臂尾轮虫、跃进三肢轮虫、角突臂尾轮虫;3号池塘前节晶囊轮虫、角突臂尾轮虫和针簇多肢轮虫与卡拉白鱼场2007年优势种晶囊轮虫、须足轮虫<sup>[18]</sup>相似,3个池塘均有角突臂尾轮虫,他拉红泡(2009年)

轮虫优势种为曲腿龟甲轮虫和迈氏三肢轮虫<sup>[12]</sup>,阿木塔和牙门喜泡(2019年)优势种为针簇多肢轮虫<sup>[13]</sup>,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)<sup>[14]</sup>,他拉红泡枝角类1个种属、桡足类5个种属<sup>[12]</sup>,阿木塔和牙门喜泡枝角类15个种属、桡足类19个种属<sup>[13]</sup>。

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<sup>[18]</sup>,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<sup>[12-13]</sup>。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<sup>[13]</sup>,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<sup>[18]</sup>;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<sup>[12]</sup>。

**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<sup>[19-21]</sup>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<sup>[22]</sup>。

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<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-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<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-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.盐度对黑鲟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<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> 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)