

鲢鳙放养水库浮游动物群落季节演替及影响因素分析*

陈欣蕾, 商静雯, 王耀伟, 孙敏芳, 韩嘉敏, 张诗苑, 李文琦, 秦海明**

(曲阜师范大学生命科学学院, 曲阜 273165)

摘要: 为探究鲢鳙生态养殖水库中浮游动物群落结构的季节动态变化及其驱动因子, 本研究于 2023 年 4 月、7 月、10 月和 2024 年 1 月对三河水库浮游动物群落结构和环境因子进行了调查分析。共采集到浮游动物 16 科 57 种, 其中轮虫 45 种, 桡足类 9 种, 枝角类 3 种。春季、夏季和秋季浮游动物的优势种均以轮虫为主, 冬季浮游动物的优势种转为桡足类。不同季节之间浮游动物的丰度和生物量差异显著 ($P=0.001$), 春季丰度 (245.22 ind./L) 和生物量 (1.40 mg/L) 最高, 夏季丰度 (57.22 ind./L) 和生物量 (0.37 mg/L) 极低, 显著低于其他季节 ($P<0.001$)。非度量多维尺度分析和群落相似性分析揭示三河水库浮游动物群落具有显著季节差异 (Global test; $R=0.63$, $P=0.001$)。蒙特卡洛检验发现叶绿素 *a*、溶解氧、水温和氨氮是影响浮游动物群落结构的主要环境因子。此外, 本研究进行了鱼类前肠内含物分析及鱼类放养和渔获数据分析, 结果表明生态养殖水库中鲢鳙的滤食压力直接驱动了浮游动物群落结构的变化。

关键词: 浮游动物; 群落结构; 季节动态; 环境因子; 生态养殖; 三河水库

Seasonal dynamic changes and driving factors of zooplankton community in a silver carp and bighead carp stocked reservoir*

Chen Xinlei, Shang Jingwen, Wang Yaowei, Sun Minfang, Han Jiamin, Zhang Shiyuan, Li Wenqi & Qin Haiming**

(School of Life Sciences, Qufu Normal University, Qufu 273165, P.R.China)

Abstract: In order to explore the seasonal dynamics and driving factors of zooplankton community structure in a silver carp and bighead carp ecological stocked reservoir, the zooplankton community structure and environmental factors in Sanhe Reservoir were investigated and analyzed in April, July, October, 2023 and January, 2024. A total of 57 species of zooplankton belonging to 16 families were collected, including 45 species of rotifers, 9 species of copepods and 3 species of cladocera. The dominant species of zooplankton in spring, summer and autumn were mainly rotifers, while copepods dominated in winter. There were significant differences in zooplankton abundance and biomass between different seasons, with the highest abundance (245.22 ind./L) and biomass (1.40 mg/L) in spring and extremely low abundance (57.22 ind./L) and biomass (0.37 mg/L) in summer, which were significantly lower than those in other seasons. Non-metric multidimensional scale analysis (NMDS) and community similarity analysis (ANOSIM) revealed that the zooplankton community in Sanhe Reservoir had significant seasonal differences (Global test; $R=0.63$, $P=0.001$). Monte Carlo test showed that chlorophyll-*a*, dissolved oxygen, water temperature and ammonia nitrogen were the main environmental factors affecting the community structure of zooplankton. In addition, the foregut contents of fish and fish stocking and catch data were analyzed. The results showed that the filter feeding pressure of silver carp and bighead carp in the ecological culture reservoir directly drove the changes of zooplankton community structure.

Keywords: Zooplankton; community structure; seasonal dynamic; environmental factors; ecological aquaculture; Sanhe Reservoir

浮游动物在水中广泛分布, 是水生生态系统中重要的生物组成部分^[1]。浮游动物主要以浮游植物、细菌和有机碎屑为食^[2], 同时又是滤食性鱼类(鲢、鳙等)的天然饵料和鱼类幼鱼的开口饵料^[3], 因此在水生

* 2024-04-12 收稿; 2024-06-17 收修改稿。

国家自然科学基金项目(31560133)资助。

** 通信作者; E-mail: qinhaiming@qfnu.edu.cn。

生态系统物质循环和能量流动过程中发挥着桥梁作用^[4]。浮游动物位于上、下行效应的中间位置,受到浮游植物生物量和鱼类捕食的共同影响^[5]。有研究发现即使食源丰富,浮游动物的数量仍会在高密度鱼类较强的捕食压力下减少^[6]。鲢鳙是水生态系统中的主要滤食性鱼类,鱼类的滤食压力增加会使下行效应的作用更为显著^[7]。有些学者提出通过鲢鳙对浮游植物的滤食作用来控制其生物量^[8-9],然而鲢鳙在牧食浮游植物的过程中,也会导致浮游动物群落结构改变^[10]。

目前,学者们普遍认为鲢鳙的滤食作用会导致体型较大的枝角类和桡足类减少,从而使得小型浮游动物轮虫占据优势^[11],即滤食性鱼类的高捕食压力会导致浮游动物的群落结构呈现低生物量和小型化^[12]。滤食性鱼类不仅可以通过直接摄食浮游动物对其种群造成影响,还可以通过减少浮游动物的可食用藻类资源,间接影响浮游动物^[13-14]。因此研究鲢鳙养殖水体中浮游动物的群落结构,探究鲢鳙与浮游动物的关系,对于实现净水渔业,达到生态效益和经济效益双赢具有重要意义。

除捕食压力和食物资源外,水环境因子也是影响浮游动物群落结构的重要因素^[4]。浮游动物对水环境因子的变化非常敏感,不仅可以作为水环境变化的指示生物,还可用于评价水质状况^[15]。浮游动物的生长、繁殖受水环境因子的直接影响,并最终表现在浮游动物的群落结构变化上^[16]。季节变化和人类活动会引起湖泊、河流和水库等水体理化特征的改变^[17-18]。其中,承担着防洪、灌溉、供水、养殖等多种功能的水库比自然状态下的河流、湖泊受人类活动的影响更大^[19]。因此,水库的水环境因子对浮游动物群落结构的影响与自然水体相比具有一定差异性。近年来,国内对水库浮游动物的研究已有较多报道,但多在大中型水库开展^[20-21],有关小型生态养殖水库的浮游动物研究报道相对较少。

三河水库位于湖北省安陆市东北 15 km,是一座以防洪灌溉为主、兼顾渔业养殖综合利用的小型水库。近年来,该水库的渔业养殖均以鲢鳙为主。本研究以三河水库为研究地点,主要探究以下 3 个问题:1) 鲢鳙养殖水库浮游动物群落结构的季节变化特征如何? 2) 鲢鳙养殖水库中水环境因子对浮游动物群落结构的影响是否显著? 3) 鲢鳙滤食对浮游动物群落结构造成了什么影响? 研究结果以期为中小型水库渔业养殖和生态修复提供科学依据,并可丰富内陆小型人工水体浮游动物群落生态学的研究内容。

1 材料方法

1.1 研究地点

安陆市(31°04'~31°29'N, 113°10'~113°57'E)位于湖北省东北部(图 1),位于亚热带季风气候区,具有四季分明,春、秋季时间短且气候温和,冬、夏季时间长的气候特征^[22]。安陆市年平均降水量为 1100 mm,年平均气温为 26.1 °C。安陆市是湖北省渔业养殖的重要城市,共有水库三十多座。本研究地点位于三河水库,是一座面积为 1.95 km²的小型水库,夏季平均水深为 5.7 m,最大水深约为 6.5 m;冬季平均水深 4.5 m,最大水深约为 5.3 m。三河水库是以防洪灌溉为主,兼顾渔业养殖的综合利用型水库。每年的春末(3—4 月),三河水库中会投入大量的鲢、鳙幼苗,幼苗的体重在 0.5~1.0 kg 之间,每年 10 月开始捕捞,直到次年 1 月停止。

1.2 实验设计

1.2.1 浮游动物采集及分析 浮游动物的采集和处理依照《淡水浮游生物研究方法》^[23]进行。根据地形特征,在安陆市三河水库设置 6 个采样点(图 1),分别于 2023 年 4 月(春季)、7 月(夏季)、10 月(秋季)和 2024 年 1 月(冬季)进行浮游动物样品采集工作。每个采样点间隔 10 m 设置 3 个采样重复,使用 5 L 有机玻璃采水器连续采集表层下 50 cm 处水样 4 次,共采集 20 L,混合后用 25[#](64 μm)浮游生物网过滤收集浮游动物定量样品,定性样品使用 13[#](112 μm)浮游生物网在表层缓慢拖曳采集,将采集的浮游动物样品转移至含有 4% 福尔马林溶液的塑料样品瓶(50 mL)中固定保存,并带回实验室。实验室内使用虎红钠盐将浮游动物样品染色,采用体积法抽样,解剖镜下鉴定和计数,轮虫的生物量采用体积法计算,比重取 1,枝角类和桡足类的生物量采用体长—体重回归方程计算^[23],剩余样品用 4% 福尔马林溶液固定保存。浮游动物分类鉴定主要参考《中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类》、《中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水枝角类》和《中国淡水轮虫志》^[24-26]。其中桡足类无节幼体未鉴定到物种,进行群落分析时作为一个物种统计^[27]。

1.2.2 水体理化参数测定 采集浮游动物的同时,使用 YSI 6600V2 多参数水质分析仪现场测定各采样点的



图1 三河水库地理位置(a)及浮游动物采样点设置(b)

Fig.1 Location of Sanhe Reservoir (a) and setting of zooplankton sampling sites (b)

水温(WT)、酸碱度(pH)、浊度(Tur)、溶解氧(DO)和盐度(Sal)。每个采样点采集水样 1000 mL,在实验室内参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)^[28]进行氨氮(NH₃-N)、硝态氮(NO₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)和叶绿素 *a* (Chl.*a*)浓度测定。

1.2.3 鱼类肠道内含物分析 2023年7月和10月对浮游动物样品进行采集的同时,使用单层刺网捕捞鲢、鳙各5尾。带回实验室解剖后自鲢、鳙前肠取肠道总长的1/20(用吸水纸吸去其水分和粘液并称量)并分离出肠道内含物^[29],后将肠道内含物稀释至50 mL并混合均匀,取1 mL于解剖镜下进行浮游动物鉴定计数。所有肠内含物均鉴定到属。

1.3 数据分析

物种优势度计算公式为:

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

式中, n_i 为第*i*种的个体数, N 为所有物种个体数的总和。 f_i 为物种出现的频率,当 f_i 大于65%时定义为常见种。 Y 为物种优势度,当 $Y \geq 0.02$ 时定义为优势种^[30]。

使用R v4.1.2软件中的“VennDiagram”包对浮游动物进行物种水平分析并生成Venn图。在统计分析软件Statistica 7.0中进行单因子方差分析(One-way ANOVA),通过最小显著差检验(LSD检验)比较不同季节浮游动物丰度和生物量的差异, $P < 0.05$ 表明具有显著差异。在软件包Primer 5.0中采用基于多度的Bray-Curtis相似性排序矩阵对浮游动物群落进行群落相似性分析(analysis of similarities, ANOSIM)和群落聚类。在SPSS 26中对环境因子进行共线性诊断,排除具有较强共线性的环境因子。进行生物与环境因子相关分析前,把个体数量占总数量小于1%的物种剔除,然后使用Canoco for Windows 4.5分析软件,对浮游动物与水环境因子之间的关系进行去趋势分析(DCA)和冗余分析(RDA),蒙特卡罗检验(Monte Carlo Test)确定对浮游动物群落具有显著影响的环境因子。进行统计分析前对所有数据进行了 $\lg(x+1)$ 转换。

2 结果与分析

2.1 水理化因子季节特征

调查期间,三河水库的水理化因子具有显著的季节差异(图2)。监测结果显示,三河水库夏季水温最高,冬季水温最低,平均水温分别为28.82和7.43℃(图2A)。溶解氧浓度为5.85~12.08 mg/L,夏季溶解氧浓度显著低于其他季节(图2B)。叶绿素 *a* 浓度和浊度的变化趋势基本一致,从春季到秋季逐渐增加,冬季骤降,且显著低于其他季节($P < 0.05$,图2C、D)。pH和盐度的变化趋势较为相似(图2E、F),春、夏、秋三季无显著变化,冬季显著低于其他季节($P < 0.05$)。三河水库营养盐中,氨氮、总氮和总磷的季节变化一致(图2G、I、J),均为春季最低,夏季显著升高,秋季降低,冬季再升高。但总磷浓度冬季最高,为0.095 mg/L,总氮

浓度夏季最高, 均值为 1.203 mg/L。硝态氮的季节变化与其他营养盐变化趋势相反(图 2H)。

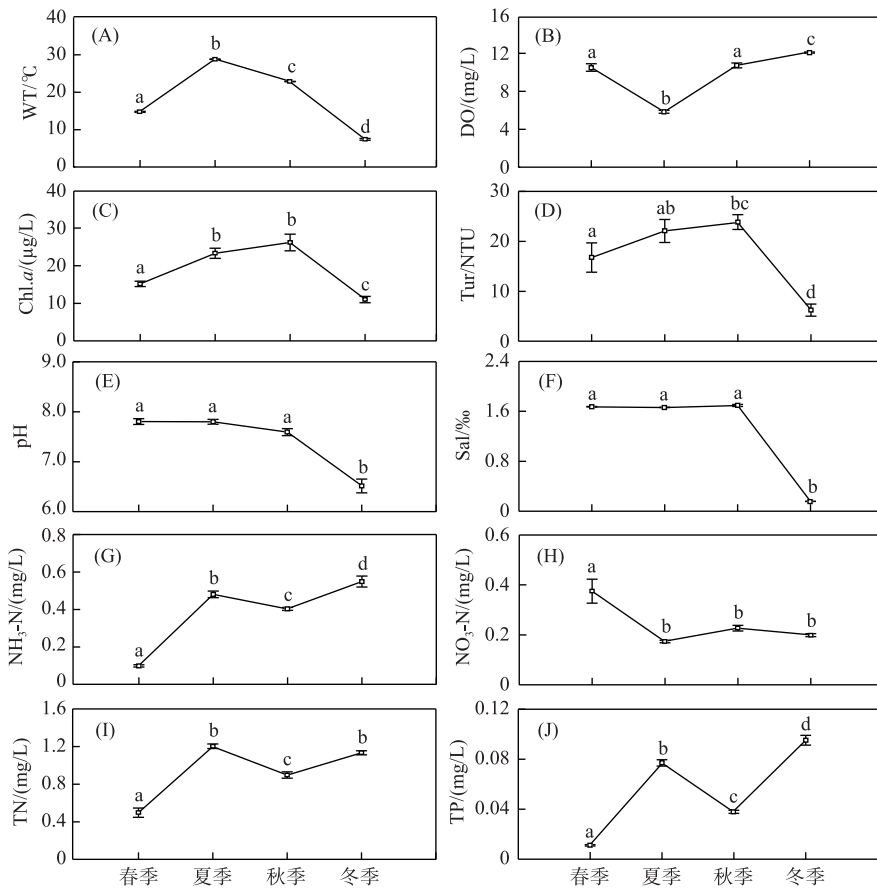


图 2 三河水库水体理化性质及营养盐季节差异(不同小写字母表示不同季节存在显著差异)
 Fig.2 Seasonal difference of water physicochemical characteristics and nutrients in Sanhe Reservoir
 (Different lowercase letters indicate significant differences under different seasons)

2.2 浮游动物种类组成及优势物种

在三河水库 6 个样点中共采集到浮游动物 16 科 57 种, 其中轮虫物种数最多, 共 45 种, 占总物种数的 77.59%; 枝角类物种数最少, 仅 3 种, 占总物种数的 5.17%; 桡足类共 9 种, 占总物种数的 17.24%。物种多集韦恩图显示, 4 个季节共有物种仅有 4 种(图 3), 分别是针簇多肢轮虫 (*Polyarthra trigla*)、角突臂尾轮虫 (*Brachionus angulari*)、等刺温剑水蚤 (*Thermocyclops kawamurai*) 和跨立小剑水蚤 (*Microcyclops varicans*)。秋季浮游动物的物种数最多, 为 40 种, 特有物种为 24 种, 均为轮虫; 夏季次之, 共 26 种, 特有物种为 9 种, 其中轮虫为 8 种; 春、冬两季物种数最低, 均为 15。

三河水库浮游动物优势种具有明显的季节差异, 夏、秋季优势种与春、冬季相比更为多样。春、夏和秋季浮游动物的优势物种均以轮虫为主, 冬季浮游动物的优势物种

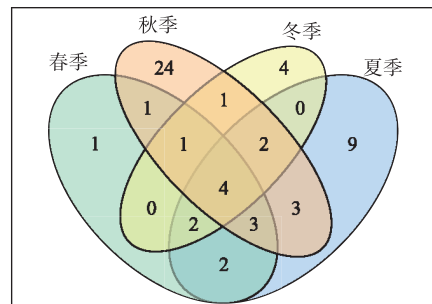


图 3 4 个季节浮游动物物种水平分布韦恩图
 Fig.3 Venn diagram of horizontal distribution of zooplankton species in four seasons

转为桡足类。角突臂尾轮虫和针簇多肢轮虫在 4 个季节均为优势种。枝角类(模糊秀体溞 *Diaphanosoma dubium*)仅在夏季为优势种(表 1)。

表 1 4 个季节浮游动物优势物种及优势度

Tab.1 Dominant species and the dominance of zooplankton in four seasons

浮游动物	优势物种	优势度			
		春季	夏季	秋季	冬季
轮虫	角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	0.043	0.065	0.033	0.111
	裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>	—	0.157	0.062	—
	棒状水轮虫 <i>Epiphanes clavulatus</i>	—	—	0.030	—
	前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	0.636	0.063	0.252	—
	舞跃无柄轮虫 <i>Ascomorpha saltans</i>	—	0.032	*	—
	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.037	0.058	0.046	0.198
	梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>	—	—	0.236	—
	长圆疣毛轮虫 <i>Synchaeta oblonga</i>	—	—	0.182	—
	枝角类	模糊秀体溞 <i>Diaphanosoma dubium</i>	—	0.075	*
桡足类	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus vicinus</i>	—	—	—	0.034
	跨立小剑水蚤 <i>Microcyclops varicans</i>	*	0.076	*	*
	虫宿温剑水蚤 <i>Thermocyclops vermifer</i>	—	0.083	—	—
	等刺温剑水蚤 <i>Thermocyclops kawamurai</i>	*	*	*	0.062

“—”表示该物种未采集到,“*”表示该物种的优势度小于 0.02。

2.3 浮游动物现存量季节变化

2.3.1 浮游动物丰度季节差异 三河水库不同季节之间浮游动物丰度差异极显著($P=0.001$,表 2)。春季浮游动物总丰度最高,为 245.22 ind./L,夏季浮游动物丰度(57.22 ind./L)极显著低于其他 3 个季节($P<0.01$)。除冬季外,其他 3 个季节轮虫的丰度均高于枝角类和桡足类。轮虫在秋季丰度最高(205.30 ind./L),春(185.28 ind./L)、秋两季轮虫丰度显著高于夏(26.81 ind./L)、冬(76.63 ind./L)两季($P<0.05$);枝角类在夏季丰度最高(5.26 ind./L),夏、秋(3.16 ind./L)两季的丰度显著高于春(2.00 ind./L)、冬(0.25 ind./L)两季($P<0.05$);桡足类在冬季丰度(146.36 ind./L)显著高于其他 3 个季节($P<0.05$)。

表 2 4 个季节浮游动物主要类群及优势物种丰度*

Tab.2 Abundance of the main groups and the main dominant species of zooplankton in four seasons

主要类群		丰度/(ind./L)			
		春季	夏季	秋季	冬季
主要类群	轮虫类	185.28±13.12 ^a	26.81±2.47 ^b	205.30±25.10 ^a	76.63±7.94 ^c
	枝角类	2.00±1.16 ^a	5.26±0.75 ^b	3.16±0.67 ^b	0.25±0.25 ^a
	桡足类	57.94±5.86 ^a	25.12±2.54 ^b	11.11±2.02 ^c	146.36±19.91 ^d
	总丰度	245.22±38.66 ^a	57.22±13.66 ^b	219.57±42.09 ^a	223.24±41.91 ^a
主要优势物种	角突臂尾轮虫	10.50±2.75 ^a	7.73±0.86 ^a	7.32±1.42 ^a	24.85±4.09 ^b
	针簇多肢轮虫	9.11±1.79 ^a	3.30±0.96 ^b	10.10±3.31 ^a	44.24±5.28 ^c
	等刺温剑水蚤	4.50±1.50 ^a	0.68±0.31 ^a	2.53±1.10 ^a	13.86±2.48 ^b

* 上标不同小写字母表示浮游动物丰度在不同季节之间存在显著差异。

浮游动物优势种丰度在不同季节间差异极显著($P=0.001$,表 2)。角突臂尾轮虫和针簇多肢轮虫均在冬季丰度最高,分别为 24.85 和 44.24 ind./L,夏季丰度最低,分别为 7.73 和 3.30 ind./L;等刺温剑水蚤亦在冬季丰度最高(13.86 ind./L),夏季丰度最低(0.68 ind./L)。

2.3.2 浮游动物生物量季节变化 三河水库各季节浮游动物生物量具有极显著差异($P=0.001$),与各季节浮

游动物丰度变化趋势较为一致(表3)。浮游动物生物量季节变化在0.37~1.40 mg/L之间,春季浮游动物生物量最高(1.40 mg/L),夏季浮游动物生物量最低(0.37 mg/L),且与其他季节具有显著差异($P<0.05$)。春季轮虫生物量最高(1.03 mg/L),其次为秋季(0.69 mg/L),春、秋两季轮虫生物量极显著高于夏(0.04 mg/L)、冬(0.02 mg/L)两季($P<0.01$);枝角类在夏季生物量最高(0.18 mg/L),其次为秋季(0.14 mg/L),夏、秋两季的生物量极显著高于春(0.01 mg/L)、冬(0.001 mg/L)两季($P<0.01$);桡足类在冬季生物量(0.861 mg/L)极显著高于其他3个季节($P<0.01$)。

浮游动物优势种的生物量在不同季节间差异极显著($P=0.001$,表3)。角突臂尾轮虫和针簇多肢轮虫均在冬季生物量最高,分别为0.0060和0.0111 mg/L,夏季生物量最低,分别为0.0009和0.0008 mg/L;等刺温剑水蚤亦在冬季生物量最高(0.2133 mg/L),夏季生物量最低(0.0105 mg/L)。

表3 4个季节浮游动物主要类群及优势物种生物量*

Tab.3 Biomass of the main groups and the main dominant species of zooplankton in four seasons

		生物量/(mg/L)			
		春季	夏季	秋季	冬季
主要类群	轮虫类	1.0308±0.1126 ^a	0.0387±0.0071 ^b	0.6860±0.1474 ^c	0.0173±0.0035 ^b
	枝角类	0.0113±0.0084 ^a	0.1787±0.0224 ^b	0.1381±0.024 ^b	0.0014±0.0014 ^a
	桡足类	0.3582±0.0765 ^a	0.1500±0.0272 ^a	0.0688±0.0267 ^a	0.8609±0.2007 ^b
	总生物量	1.4028±0.1430 ^a	0.3683±0.0442 ^b	0.8946±0.1670 ^c	0.8856±0.2004 ^c
主要优势物种	角突臂尾轮虫	0.0025±0.0007 ^a	0.0009±0.0003 ^a	0.0018±0.0002 ^a	0.0060±0.0012 ^b
	针簇多肢轮虫	0.0023±0.0004 ^a	0.0008±0.0003 ^a	0.0025±0.0014 ^a	0.0111±0.0021 ^b
	等刺温剑水蚤	0.0693±0.0353 ^a	0.0105±0.0067 ^a	0.0389±0.0203 ^a	0.2133±0.0418 ^b

* 上标不同小写字母表示浮游动物生物量在不同季节之间存在显著差异。

2.4 浮游动物群落结构季节格局

基于浮游动物个体数的群落聚类分析揭示了三河水库浮游动物群落具有显著的季节差异(图4)。相似性分析进一步揭示了三河水库4个季节浮游动物群落之间具有显著差异(Global test: $R=0.937, P=0.001$)。

2.5 浮游动物与水环境因子的相关分析

选择个体数量占总数量1%以上的浮游动物与环境因子进行相关分析,首先对浮游动物的个体数进行DCA检验,结果显示第一轴的最大特征值为2.275(小于3),因此选择冗余分析对浮游动物与水环境因子进行相关分析。水环境因子与浮游动物个体数的RDA分析结果显示第一轴的解释率为47.3%,第二轴的解释率为22.7%(图5)。蒙特卡洛检验结果显示:叶绿素 a 、溶解氧、总氮和水温是对浮游动物群落结构具有显著影响的4个水环境因子($P=0.002$)。冬季浮游动物丰度与溶解氧、总氮呈极显著正相关,与叶绿素 a 、水温呈极显著负相关,春、夏两季与冬季相反,浮游动物丰度与溶解氧、总氮呈极显著负相关,与叶绿素 a 、水温呈极显著正相关。

除跨立小剑水蚤(S26)外,优势物种角突臂尾轮虫(S1)、针簇多肢轮虫(S14)和等刺温剑水蚤(S28)均与溶解氧具有极显著正相关关系,与总氮具有显著正相关关系,与其他水环境因子具有负相关关系。

2.6 鱼类前肠内含物及水库中浮游动物组成

鲢鳙食物组成中浮游动物各类群个体数占比的变化表现出明显的季节特点(表4):夏季鲢鳙食物组成中轮虫个体数占绝对优势,从夏季到秋季轮虫占比均明显减少,枝角、桡足类占比明显增加。水库中浮游动物组成季节变化则与之相反,从夏季到秋季,轮虫占比明显增加而枝角、桡足类占比明显减少。此外,水库中浮游动物组成也显示出独特的季节变化,轮虫个体数占比从春季到夏季明显减少,枝角、桡足类占比从秋季到冬季明显增加。

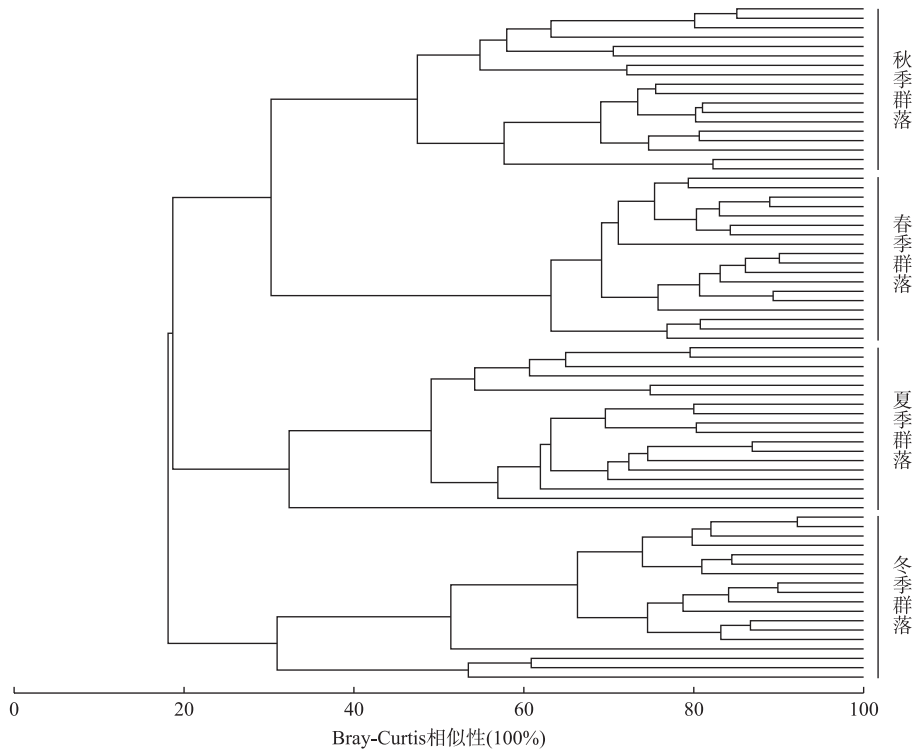


图 4 基于丰度数据的浮游动物群落的 Bray-Curtis 相似性聚类图

Fig.4 Clustering of zooplankton communities by Bray-Curtis similarity measure based on abundance data

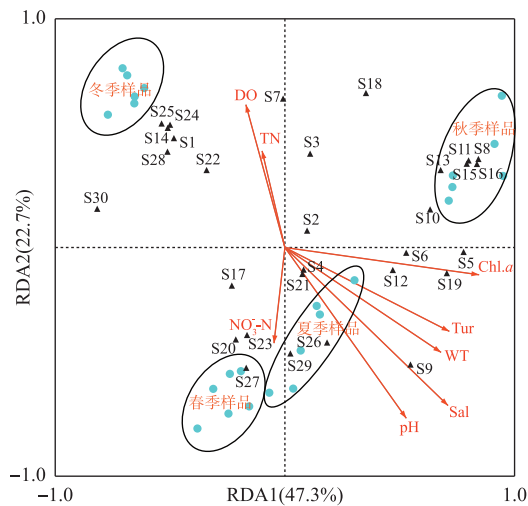


图 5 基于浮游动物丰度和样品与环境因子的冗余分析(RDA)排序图
(S1~S30 代表浮游动物编码, 见附表 I)

Fig.5 Redundancy analysis (RDA) ordination diagram based on zooplankton abundance and samples with environmental factors (S1-S30 represent the zooplankton codes, see Attached Tab. I)

表4 鲢、鳙前肠内含物及水库中浮游动物组成的季节变化*

Tab.4 The seasonal variation of zooplankton in intestinal of *H. molitrix*, *A. nobilis* and the reservoir

类群	个体数占比/%				
	春季	夏季	秋季	冬季	
轮虫	鲢	/	93.15±11.24	67.76±12.27	—
	鳙	/	62.69±7.44	41.67±5.48	—
	水库	75.56±4.59	46.91±6.60	93.50±13.40	34.32±7.31
枝角类和桡足类	鲢	/	6.85±2.73	32.24±5.18	—
	鳙	/	37.31±5.01	58.33±7.86	—
	水库	24.44±4.88	53.09±5.12	6.50±2.58	65.67±4.89

* “/”表示春季未投放鲢鳙，“—”表示冬季已捕获所有鲢鳙。

2.7 浮游动物生物量和鱼类投入产出量季节比较

秋冬季鲢鳙产量与春季鲢鳙投入量之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。鲢投入约为 1741 mg/m^3 ，鳙投入约为 508 mg/m^3 ；冬季鲢的产量约为 7400 mg/m^3 ，鳙的产量约为 3642 mg/m^3 ，产出比投入高约 6 倍 (图 6)。浮游动物生物量在夏季最低，且显著低于其他 3 个季节 ($P < 0.05$)，表明浮游动物在鲢鳙生长期被大量捕食。

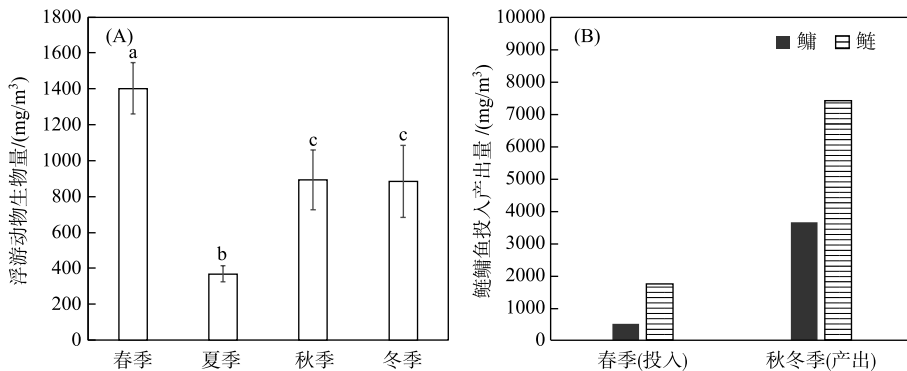


图6 浮游动物生物量的季节变化(A)及鲢鳙投入产出情况(B)

Fig.6 Seasonal change of zooplankton biomass (A); stocking-catch amount of silver carp and bighead carp (B)

3 讨论

3.1 浮游动物群落结构季节变化

三河水库 4 个季节的浮游动物均以小型种类轮虫为主,这与前人对水库浮游动物群落的研究结果较为一致^[31],主要原因是轮虫个体小、繁殖周期短、适应力强^[32]。三河水库浮游动物群落结构具有显著的季节差异,浮游动物丰度和生物量均为春季最高,且夏季极显著低于其他季节。这与许多研究报道的浮游动物丰度和生物量均在夏季最高不一致^[33-34]。三河水库浮游动物群落这种特有的季节演替可能与水库所处区域的气候条件以及水库鲢鳙的高密度放养有关。水温和溶解氧是浮游动物群落结构季节变化的重要影响因素^[35],三河水库属亚热带季风气候,春季水温开始升高,促进了轮虫休眠卵的孵化,增加了轮虫的繁殖能力,进而加快了轮虫种群的周转,所以丰度在春季出现峰值^[36]。而秀体溞对高温有较好的适应,高温能够加快秀体溞的繁殖速度^[37],秀体溞较小和较透明的特征也使其对视觉性的鱼类捕食者有较好的防御机制^[25]。因此夏季枝角类丰度显著高于春季,模糊秀体溞仅在夏季为优势物种。另有研究发现溶解氧浓度的下降会导致绝大多数轮虫丰度减少^[38]。夏季水温持续升高,会导致蓝藻水华的暴发,大量蓝藻集中在水体表面使水体溶解氧浓度下降,且降低了透光度,导致其他类群藻类(如硅藻、绿藻等)无法进行光合作用而死亡,减

少了浮游动物的优质食物来源^[39],而当秋季溶解氧浓度升高后,轮虫丰度也显著增加。但水温和溶解氧等因素不能完全驱动三河水库浮游动物出现如此独特的季节差异。经 RDA 分析结果显示,水环境因子对浮游动物密度的累计解释率为 70.0%,表明驱使三河水库浮游动物群落结构出现特有季节变化的另一个重要原因是夏季鲢鳙巨大的捕食压力。

3.2 鲢鳙养殖对浮游动物群落结构的影响

为减轻水体富营养化,有些学者提出非经典生物操纵理论——利用放养鲢鳙等滤食性鱼类对浮游植物生物量进行直接控制^[8-9]。但滤食性鱼类也会摄食浮游动物,对水体浮游动物群落结构造成影响^[40]。研究期间,三河水库在 3—4 月投放了大量鲢鳙苗,并在 10—12 月进行捕捞售卖,产出比投入高约 6 倍^[41](图 6),说明三河水库中的浮游动物在夏、秋季鲢鳙生长期间受到了巨大的捕食压力。另有学者发现鱼类捕食强度对浮游动物群落造成影响,较大的捕食强度使桡足类等个体较大的浮游动物数量显著下降,而小型浮游动物以其敏捷的逃跑能力躲避鲢鳙的捕食,使得小型浮游动物占据优势^[42]。这与本研究中鲢鳙的食性分析结果相一致,鲢鳙食性分析发现夏、秋季浮游动物的特有物种均以轮虫为主,且鲢鳙前肠内含物中轮虫占比从夏季到秋季均明显减少,枝角、桡足类占比明显增加。三河水库大量投放鲢鳙后桡足类丰度显著下降,夏、秋季桡足类丰度均较低,这与张佳敏等在以鲢、鳙放养为主的武山湖开展的浮游动物研究结果较为一致^[41]。冬季对鲢鳙进行捕捞后,桡足类丰度显著增加,在浮游动物群落中占优势,捕食压力的降低可能是造成这一现象的主要原因。

虽然多数研究表明鲢鳙对个体较大的甲壳类浮游动物的捕食压力更大^[43],但是鲢鳙对轮虫的捕食作用也不能忽视。武汉东湖围圈实验发现体型较大的臂尾轮虫、晶囊轮虫也多会被鲢鳙摄食^[44]。本研究对水库中鲢鳙前肠内含物的调查中发现:夏季鲢鳙食物组成中轮虫在个体数上占绝对优势,且夏季水库中轮虫丰度的降低主要表现为前节晶囊轮虫丰度的显著降低。这表明在水库中投放的大量鲢鳙的捕食作用,是造成夏季水库中轮虫丰度显著降低的原因之一。

3.3 浮游动物群落结构与相关环境因子的关系

生态养殖水库作为人工建造的水体,受人类活动的影响更大^[19]。浮游动物群落结构除受种间竞争与捕食作用的影响外,非生物因素即水体环境因子对其也有重要影响^[45]。本研究中 RDA 和蒙特卡洛检验结果显示,叶绿素 *a*、溶解氧、总氮和水温等环境因子对三河水库浮游动物的群落分布具有显著影响^[46]。前人研究表明水温可以直接影响浮游动物生长、发育和繁殖^[47],也可以通过影响溶解氧、浮游植物和鱼类等间接影响浮游动物群落结构^[48-49]。叶绿素 *a* 可以从侧面反映浮游植物生物量的变化,浮游植物作为轮虫的主要食物来源之一,通过上行效应对浮游动物群落结构造成影响^[50]。氮、磷等营养盐对浮游动物生长具有重要意义,磷酸盐被认为是浮游植物生长的限制因子^[51]。另有研究指出,总氮与浮游动物群落结构具有显著相关性,除通过影响浮游植物生物量间接影响浮游动物外,还会直接对浮游动物群落结构造成影响^[52],本研究的结果与之一致。此外,水体的盐度是影响湖泊表层水体中浮游动物群落多样性的主要环境因子之一^[53],这可能与盐度对浮游动物的体液调节和渗透压平衡的影响有关^[54]。三河水库属半咸水水体(图 2),春、夏、秋季的水体盐度显著高于冬季,已有研究表明大部分轮虫种类喜好盐度较高的夏、秋季水环境^[55]。本研究发现轮虫的丰度在秋季最高,说明盐度对轮虫产生了一定影响。然而,轮虫的丰度在夏季却最低,这表明夏季鲢鳙对浮游动物的捕食压力超过了盐度对其群落的影响。

致谢:感谢胡旭仁、王子牧、王勇、王忠明在野外考察和样品采集过程中给予的帮助。

4 附录

附表 I 见电子版(DOI:10.18307/2025.0234)。

5 参考文献

- [1] Zsuga K, Inelova Z, Boros E. Zooplankton community structure in shallow saline steppe inland waters. *Water*, 2021, 13(9): 1164. DOI: 10.3390/w13091164.
- [2] Brito SL, Maia-Barbosa PM, Pinto-Coelho RM. Zooplankton as an indicator of trophic conditions in two large reservoirs in Brazil. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 2011, 16(4): 253-264. DOI: 10.1111/j.1440-1770.2011.00484.x.

- [3] Shi J, Han YH, Zhou XY *et al.* Resource investigation on the aquatic organisms and the assessment of fish productivity of Lianhuatai Reservoir of Shangnan County. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2024, **52**(5): 99-102, 115. [石建, 韩亚慧, 周小愿等. 商南县莲花台水库水生生物资源调查与鱼产力估算. *安徽农业科学*, 2024, **52**(5): 99-102, 115.]
- [4] 袁丹妮. 珠江口广州—珠海水域浮游动物群落结构及其环境特征[学位论文]. 广州: 暨南大学, 2014.
- [5] He H, Jin H, Jeppesen E *et al.* Fish-mediated plankton responses to increased temperature in subtropical aquatic mesocosm ecosystems: Implications for lake management. *Water Research*, 2018, **144**: 304-311. DOI: 10.1016/j.watres.2018.07.055.
- [6] Nicolle A, Hansson LA, Brodersen J *et al.* Interactions between predation and resources shape zooplankton population dynamics. *PLoS One*, 2011, **6**(1): e16534. DOI: 10.1371/journal.pone.0016534.
- [7] 李芸. 亚热带湖泊浮游动物群落对富营养化和滤食性鱼类捕食的生态学响应的研究[学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [8] Liu JK, Xie P. Unraveling the enigma of the disappearance of water bloom from the east lake (Lake Donghu) of Wuhan. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, **8**(3): 312-319. [刘建康, 谢平. 揭开武汉东湖蓝藻水华消失之谜. *长江流域资源与环境*, 1999, **8**(3): 312-319.]
- [9] Xie P, Liu J. Practical success of biomanipulation using filter-feeding Fish to control cyanobacteria blooms: A synthesis of decades of research and application in a subtropical hypereutrophic lake. *The Scientific World Journal*, 2001, **1**: 337-356. DOI: 10.1100/tsw.2001.67.
- [10] Mao JX, Chen HR, Li F *et al.* Impact of water environmental and biological factors on planktonic crustacean community structure in ecological water source reservoir. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2024, **44**(4): 401-410. DOI: 10.13671/j.hjkxb.2023.0331. [毛嘉欣, 陈皓若, 李丰等. 生态型水源水库浮游甲壳类群落结构对环境因子和生物因子的响应. *环境科学学报*, 2024, **44**(4): 401-410.]
- [11] Si N, Xu MZ, Dong LF *et al.* Effects of different proportions of silver carp and bighead carp on community structure and breeding efficiency of zooplankton in ponds. *Guangxi Sciences*, 2023, **30**(5): 899-909. [司楠, 许明珠, 董兰芳等. 不同鲢鳙配比对池塘浮游动物群落结构和养殖效能的影响. *广西科学*, 2023, **30**(5): 899-909.]
- [12] Jiang XJ, Han BP, Lin QQ. Effect of farming fish density on zooplankton community of reservoirs. *Journal of Hydroecology*, 2013, **34**(1): 30-36. DOI: 10.15928/j.1674-3075.2013.01.002. [江孝军, 韩博平, 林秋奇. 水库鱼类放养密度对浮游动物群落结构的影响. *水生态学杂志*, 2013, **34**(1): 30-36.]
- [13] De Vries DR, Stein RA. Complex interactions between fish and zooplankton: Quantifying the role of an open-water planktivore. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, **49**(6): 1216-1227. DOI: 10.1139/f92-137.
- [14] 贾璐歌. 长江天鹅洲故道、何王庙故道浮游动物群落结构及鱼产潜力比较研究[学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [15] Jeppesen E, Nøges P, Davidson TA *et al.* Zooplankton as indicators in lakes: A scientific-based plea for including zooplankton in the ecological quality assessment of lakes according to the European Water Framework Directive (WFD). *Hydrobiologia*, 2011, **676**(1): 279-297. DOI: 10.1007/s10750-011-0831-0.
- [16] Hu H, Wei XY, Liu L *et al.* Biogeographic patterns of meio- and micro-eukaryotic communities in dam-induced river-reservoir systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2024, **108**(1): 130. DOI: 10.1007/s00253-023-12993-4.
- [17] Makri S, Lami A, Lods-Crozet B *et al.* Reconstruction of trophic state shifts over the past 90 years in a eutrophicated lake in western Switzerland, inferred from the sedimentary record of photosynthetic pigments. *Journal of Paleolimnology*, 2019, **61**(2): 129-145. DOI: 10.1007/s10933-018-0049-5.
- [18] 杨鸿雁. 湖泊浮游植物演替历史与流域人类活动的关系分析[学位论文]. 武汉: 华中师范大学, 2020.
- [19] Luo CQ, Mao L, Lei C *et al.* Biological assessment of water quality and production estimation of silver carp and bighead carp in five reservoirs of Linli County, Changde City. *Environmental Ecology*, 2020, **2**(6): 73-78. [罗丛强, 毛亮, 雷澄等. 常德市临澧县5座中型水库水质生物学评价及鲢鳙鱼产力评估. *环境生态学*, 2020, **2**(6): 73-78.]
- [20] Du YY, Yang SY, Yang SW *et al.* Community structure of metazooplankton and its relationship with environmental factors in the Liujiaxia Reservoir. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, **41**(10): 1955-1961. DOI: 10.13292/j.1000-4890.202209.020. [杜岩岩, 杨濯羽, 杨顺文等. 刘家峡水库后生浮游动物群落结构及其与环境因子的关系. *生态学杂志*, 2022, **41**(10): 1955-1961.]
- [21] Qin YX, Zhou W, Qiao YM *et al.* Zooplankton community structure in Xinfengjiang Reservoir. *Journal of Hydroecology*, 2023, **44**(4): 35-43. DOI: 10.15928/j.1674-3075.202110200361. [秦云霞, 周雯, 乔永民等. 新丰江水库浮游动物群落结构特征. *水生态学杂志*, 2023, **44**(4): 35-43.]
- [22] 邓清扬. 湖北省丘陵山区与平原地区农户用地行为差异分析[学位论文]. 武汉: 中南民族大学, 2020.
- [23] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1995.
- [24] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水桡足类. 北京: 科学出版社, 1979.
- [25] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志·节肢动物门·甲壳纲·淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979.
- [26] 王家楫. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 1961.
- [27] Nie X, Hu XR, Liu GH *et al.* Effects of water level on zooplankton community during “plate-shaped lake enclosed in autumn” in a sub-lake of the Poyang Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, **43**(2): 402-414. DOI: 10.7541/2019.050. [聂雪, 胡旭仁, 刘观华等. 鄱阳湖子湖“玺秋湖”过程中水位变化对浮游动物群落结构的影响. *水生物学报*, 2019, **43**(2): 402-414.]

- [28] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法: 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [29] 周琼. 碳、氮稳定同位素技术在湖泊与河流食物网研究中的应用[学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
- [30] Yang GM, He DH, Wang CS. Ecology characteristics in the island waters off Zhejiang I. Species dominance of the zooplankton and ecology character of waters. *Marine Environmental Science*, 1998, **17**(4): 48-53. [杨关铭, 何德华, 王春生. 浙江省海岛海域环境生态特征 I. 浮游动物种类优势度与水体生态性质. 海洋环境科学, 1998, **17**(4): 48-53.]
- [31] Shao XD, Li YC, Bai LJ *et al.* Community structure characteristics of phytoplankton and estimation of fish productivity in Dahushi reservoir. *Fisheries Science*, 2022, **41**(3): 467-474. [邵旭东, 李毅超, 白禄军等. 打虎石水库浮游生物群落结构特征及鱼产力评估. 水产科学, 2022, **41**(3): 467-474.]
- [32] Sharma BK. Rotifer communities of Deepor Beel, Assam, India: Richness, abundance and ecology. *Journal of Threatened Taxa*, 2010, **2**(8): 1077-1086. DOI: 10.11609/jott.o2411.1077-86.
- [33] Lei Q, Bao YF, Tan QJ *et al.* Zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in cascade reservoirs in the lower reaches of the Lancang River. *Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition)*, 2023, **51**(6): 128-138. [雷琦, 包宇飞, 谭庆军等. 澜沧江下游梯级水库浮游动物群落结构与环境因子关系. 河南师范大学学报(自然科学版), 2023, **51**(6): 128-138.]
- [34] Liu X, Lei MJ, Huang XL *et al.* Diversity of meta-zooplankton and its relationship with water environmental factors in Daaio reservoir. *Journal of Changjiang River Scientific Research Institute*, 2024, (9): 53-59. DOI: 10.11988/ckyyb.20230522. [刘昔, 雷明军, 黄小龙等. 大坳水库后生浮游动物多样性特征及其与环境因子关系研究. 长江科学院院报, 2024, (9): 53-59.]
- [35] Zhang Z, Shi ZZ, Yu ZF *et al.* Spatio-temporal variations of zooplankton and correlations with environmental parameters around Tiaowei Island, Fujian, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, **19**(19): 12731. DOI: 10.3390/ijer-ph191912731.
- [36] Pavón-Meza EL, Sarma SSS, Nandini S. Combined effects of algal (*Chlorella vulgaris*) food level and temperature on the demography of *Brachionus havanaensis* (rotifera): A life table study. *Hydrobiologia*, 2005, **546**(1): 353-360. DOI: 10.1007/s10750-005-4245-8.
- [37] Han BP, Yin J, Lin X *et al.* Why is *Diaphanosoma* (Crustacea: Ctenopoda) so common in the tropics? Influence of temperature and food on the population parameters of *Diaphanosoma dubium*, and a hypothesis on the nature of tropical cladocerans. *Hydrobiologia*, 2011, **668**(1): 109-115. DOI: 10.1007/s10750-010-0501-7.
- [38] Du X, Wang QD, Zhang CW *et al.* Community structure of rotifers in relation to environmental factors in Lake Hongze. DOI: 10.18307/2014.0214. *J Lake Sci*, 2014, **26**(2): 269-276. [都雪, 王齐东, 张超文等. 洪泽湖轮虫群落结构及其与环境因子的关系. 湖泊科学, 2014, **26**(2): 269-276.]
- [39] Lee EH, Choi SY, Seo MH *et al.* Impacts of hypoxia on the mesozooplankton community structure in a semi-enclosed bay. *Frontiers in Marine Science*, 2022, **9**: 1005442. DOI: 10.3389/fmars.2022.1005442.
- [40] Shen RJ, Gu XH, Chen HH *et al.* Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) stocking promotes phytoplankton growth by suppression of zooplankton rather than through nutrient recycling: An outdoor mesocosm study. *Freshwater Biology*, 2021, **66**(6): 1074-1088. DOI: 10.1111/fwb.13700.
- [41] Zhang JM, Gao J, Yang C *et al.* Metazooplankton community structure in Wushan Lake stocked densely with planktivorous filter-feeding bighead and silver carp. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, **30**(8): 1848-1857. DOI: 10.11870/cjlyzyyhj202108007. [张佳敏, 高健, 杨诚等. 以鲢、鳙放养为主的武山湖后生浮游动物群落结构特征. 长江流域资源与环境, 2021, **30**(8): 1848-1857.]
- [42] Lin QQ, Jiang XJ, Han BP *et al.* Does stocking of filter-feeding fish for production have a cascading effect on zooplankton and ecological state? A study of fourteen (sub)tropical Chinese Reservoirs with contrasting nutrient concentrations. *Hydrobiologia*, 2014, **736**(1): 115-125. DOI: 10.1007/s10750-014-1896-3.
- [43] Wang SB, Xie P, Wu SK *et al.* Crustacean zooplankton size structure in aquaculture lakes: Is larger size structure always associated with higher grazing pressure? *Hydrobiologia*, 2007, **575**(1): 203-209. DOI: 10.1007/s10750-006-0394-7.
- [44] Yang YF, Huang XF. The influence of silver carp and bighead on zooplankton community structure. *J Lake Sci*, 1992, **4**(3): 78-86. DOI: 10.18307/1992.0311. [杨宇峰, 黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响. 湖泊科学, 1992, **4**(3): 78-86.]
- [45] Fintelman-Oliveira E, Kruk C, Lacerot G *et al.* Zooplankton functional groups in tropical reservoirs: Discriminating traits and environmental drivers. *Hydrobiologia*, 2023, **850**(2): 365-384. DOI: 10.1007/s10750-022-05074-6.
- [46] 林义, 邹清, 王航俊等. 温州沿岸海域春、夏季浮游动物群落特征及与环境因子的关系. 海洋开发与管理, 2021, **38**(6): 51-59.
- [47] Zhao WT, Dai LL, Chen XC *et al.* Characteristics of zooplankton community structure and its relationship with environmental factors in the South Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 2022, **176**: 113471. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113471.
- [48] Hu BJ, Hu XR, Nie X *et al.* Seasonal and inter-annual community structure characteristics of zooplankton driven by water environment factors in a sub-lake of Lake Poyang, China. *PeerJ*, 2019, **7**: e7590. DOI: 10.7717/peerj.7590.
- [49] Lv Q, Hu XR, Nie X *et al.* Impact of water level fluctuations on the succession of zooplankton in Poyang Lake. *Acta Ecologica Sinica*,

- 2020, **40**(4): 1486-1495. [吕乾, 胡旭仁, 聂雪等. 鄱阳湖丰水期水位波动对浮游动物群落演替的影响. 生态学报, 2020, **40**(4): 1486-1495.]
- [50] Zhang Q, Xu XM, Chen Q. Seasonal variation and drivers of zooplankton community in reservoirs of Chaobai River Basin. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2023, **59**(2): 290-300. DOI: 10.13209/j.0479-8023.2023.006. [张群, 许旭明, 陈倩. 潮白河流域水库浮游动物群落季节变化特征及其驱动因素. 北京大学学报: 自然科学版, 2023, **59**(2): 290-300.]
- [51] Wang JY, Huo Z, Guo CX *et al.* Vertical distribution characteristics and influencing factors of phytoplankton community structure in Qiandao Lake. *Environmental Science*, 2022, **43**(7): 3575-3586. DOI: 10.13227/j.hjcx.202110117. [王吉毅, 霍翟, 国超旋等. 千岛湖浮游植物群落结构的垂向分布特征及其影响因素. 环境科学, 2022, **43**(7): 3575-3586.]
- [52] Hong CC, Hu Q, Chen HR *et al.* Characteristics and influencing factors of metazooplankton functional groups in Qingcaosha Reservoir. *Journal of Biology*, 2023, **40**(5): 47-53. [洪陈聪, 胡权, 陈皓若等. 青草沙水库后生浮游动物功能群特征及影响因子. 生物学杂志, 2023, **40**(5): 47-53.]
- [53] Peng Y, Cui J, Li JF *et al.* Composition of phytoplankton and zooplankton in Zhangwei Lake and Yun Lake, Xuwei new zone, Lianyungang City. *Wetland Science*, 2023, **21**(1): 93-103. [彭颖, 崔健, 李金凤等. 连云港市徐圩新区张圩湖和云湖浮游动物和浮游植物群落组成研究. 湿地科学, 2023, **21**(1): 93-103.]
- [54] Liu XW, Steiner CF. Ecotoxicology of salinity tolerance in *Daphnia pulex*: Interactive effects of clonal variation, salinity stress and predation. *Journal of Plankton Research*, 2017, **39**(4): 687-697. DOI: 10.1093/plankt/fbx027.
- [55] Liu Q, Liu ZX, Wang JB *et al.* Spatial-temporal characteristics of zooplankton community structure and analysis for the impact factors in the Shanmei Reservoir, Fujian Province. *J Lake Sci*, 2022, **34**(6): 2039-2057. DOI: 10.18307/2022.0619. [刘俏, 刘智暘, 王江滨等. 福建山美水库浮游动物群落结构时空特征及其影响因子分析. 湖泊科学, 2022, **34**(6): 2039-2057.]

附表 I 三河水库浮游动物名录

Attached Tab.I List of zooplankton in Sanhe Reservoir

物种	春季	夏季	秋季	冬季	物种编号
轮虫 Rotifers					
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	+	+	+	+	S1
浦达臂尾轮虫 <i>Brachionus budapestiensis</i>	+		+	+	S2
萼花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>		+	+	+	S3
尾突臂尾轮虫 <i>Brachionus caudatus</i>		+			S4
裂足臂尾轮虫 <i>Brachionus diversicornis</i>		+	+		S5
剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	+	+	+		S6
板胸细脊轮虫 <i>Lophocharis oxysternon</i>			+		*
大肚须足轮虫 <i>Euchlanis dilatata</i>			+		*
透明须足轮虫 <i>Euchlanis pellucida</i>		+			*
矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i>				+	*
曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>			+	+	S7
尖削叶轮虫 <i>Notholca acuminata</i>			+		*
唇形叶轮虫 <i>Notholca labis</i>	+				*
臂尾水轮虫 <i>Epiphanes brachionus</i>			+		*
棒状水轮虫 <i>Epiphanes clavulatus</i>			+		S8
长圆腔轮虫 <i>Lecane ploenensis</i>			+		*
前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i>	+	+	+		S9
西氏晶囊轮虫 <i>Asplanchna sieboldi</i>			+		*
蚤上前翼轮虫 <i>Proales daphnicola</i>			+		*
细长肢轮虫 <i>Monommata longiseta</i>		+			*
眼镜柱头轮虫 <i>Eosphora najas</i>			+		*
小链巨头轮虫 <i>Cephalodella catellina</i>			+		*
高躄轮虫 <i>Scaridium longicaudum</i>		+	+		S10
卵形无柄轮虫 <i>Ascomorpha ovalis</i>			+		S11
没尾无柄轮虫 <i>Ascomorpha ecaudis</i>			+		*
舞跃无柄轮虫 <i>Ascomorpha saltans</i>		+	+		S12
韦氏异尾轮虫 <i>Trichocerca weberi</i>			+		*
二突异尾轮虫 <i>Trichocerca bicristata</i>			+		*
刺盖异尾轮虫 <i>Trichocerca capucina</i>			+		*
圆筒异尾轮虫 <i>Trichocerca cylindrica</i>			+		*
细异尾轮虫 <i>Trichocerca gracilis</i>		+			*
长刺异尾轮虫 <i>Trichocerca longiseta</i>			+		*
暗小异尾轮虫 <i>Trichocerca pusilla</i>			+		S13
等刺异尾轮虫 <i>Trichocerca stylata</i>		+			*
针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	+	+	+	+	S14
长圆疣毛轮虫 <i>Synchaeta oblonga</i>			+		S15
梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i>			+		S16
沟痕泡轮虫 <i>Pompholyx sulcata</i>	+	+		+	S17
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>		+			*
迈氏三肢轮虫 <i>Filinia maior</i>		+	+	+	S18

跃进三肢轮虫 <i>Filinia passa</i>		+				*
顶生三肢轮虫 <i>Filinia terminalis</i>		+				*
长柄巨冠轮虫 <i>Sinantherina procera</i>				+		*
叉角拟聚花轮虫 <i>Conochiloides dossuarius</i>				+		*
无常胶鞘轮虫 <i>Collotheca mutabilis</i>				+		*
枝角类 Cladocerans						
晶莹仙达溞 <i>Sida crystallina</i>				+		*
模糊秀体溞 <i>Diaphanosoma dubium</i>		+		+		S19
长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	+		+		+	S20
桡足类 Copepods						
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	+			+		S21
中华窄腹剑水蚤 <i>Limnoithona sinensis</i>					+	S22
棕色大剑水蚤 <i>Macrocyclus fuscus</i>	+		+			S23
英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>					+	S24
近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus vicinus</i>					+	S25
跨立小剑水蚤 <i>Microcyclus varicans</i>	+		+	+	+	S26
透明温剑水蚤 <i>Thermocyclops hyalinus</i>	+		+			S27
等刺温剑水蚤 <i>Thermocyclops kawamurai</i>	+		+	+	+	S28
虫宿温剑水蚤 <i>Thermocyclops vermifer</i>	+		+			S29
桡足类无节幼体 Copepod nauplii	+		+	+	+	S30

注：“+”表示在该季节采集到某种浮游动物；“*”表示该种浮游动物的丰度小于总丰度的 0.1%，没有进行物种编号。