

文章编号: 1000-5641(2011)06-0122-10

# 淀山湖后生浮游动物群落结构特征分析

冯德祥, 刘一, 禹娜, 陈亮, 李二超, 陈立侨

(华东师范大学 生命科学学院, 上海 200062)

**摘要:** 于2008年10月至2009年10月对淀山湖浮游动物的群落结构组成及现存量进行了调查研究。共鉴定浮游动物80种,其中轮虫46种(58%),枝角类21种(26%),桡足类13种(16%),优势种主要为螺旋形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)、长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、筒弧象鼻溞(*Brachionus coregoni*)、微型裸腹溞(*Moina micrura*)、广布中剑水蚤(*Microcyclops leuckarti*)、球状许水蚤(*Schmackeria forbesi*)和汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)。淀山湖浮游动物的月平均密度为(356 ± 334) ind./L,最高值出现在2009年5月,为1 260 ind./L,最低值出现在2008年12月,为52 ind./L;淀山湖浮游动物的月平均生物量为(12.67 ± 12.53) mg/L,最高值出现在2009年7月,为40.85 mg/L,最低值为2008年12月的1.45 mg/L。水平分布上,浮游动物周年年均生物量在S11(水产养殖场)最高,生物密度和生物量分别达208 ind./L和22.77 mg/L,S9(威尼斯别墅段)样站年平均密度最低,为208 ind./L;年平均生物量最低点出现在S7站位,仅为6.91 mg/L。淀山湖浮游动物 Shannon-Wiener 物种多样性指数(*H*)变动在0.841~2.187之间,平均为1.718,采用生物多样性指数法对水质状况进行初步评价,结果显示淀湖水体总体呈现 $\alpha$ -中污型污染程度。

**关键词:** 淀山湖; 浮游动物; 群落结构; 富营养化

**中图分类号:** Q948.12 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2011.06.015

## Study on meta-zooplankton community structure of Dianshan Lake

FENG De-xiang, LIU Yi, YU Na, CHEN Liang, LI Er-chao, CHEN Li-qiao

(School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** The investigation of the community structure of zooplankton in Dianshan Lake was undertaken monthly during October 2008 to October 2009, including species composition, standing crop dynamics and diversities. A total of 80 metazooplankton species including 46 Rotifera (58%), 21 Cladocera (26%) and 13 Copepoda (16%) were encountered. The dominant species were five species of rotifera (*Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Keratella valga*, *Bra-*

收稿日期: 2010-09

基金项目: 上海市科委重大项目专项(08DZ1203101, 08DZ1203102); 上海市科委社会发展领域重大项目(09DZ120010A); 浙江省重大科技专项农业项目(2008C12009); 温州市海洋与渔业局科研基金

第一作者: 冯德祥, 男, 硕士研究生, 研究方向为水生生物学和系统模型学。

E-mail: fengdexiang2002@yahoo.com.cn.

通讯作者: 陈立侨, 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为水生动物营养学。E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn.

*chionus calyciflorus* and *Brachionus diversicornis*), three species of copepod (*Microcyclops leuckarti*, *Sinocalanus dorrii* and *Schmackeria forbesi*) and two other species of cladocera which showed a trend of miniaturization (*Bosmina longirostris*, *Brachionus coregoni* and *Moina micrura*). The zooplankton mean density was  $356 \pm 334$  ind./L and ranged from 52 ind./L in May 2009 to 1260 ind./L in December 2008, and the zooplankton average biomass was  $12.67 \pm 12.53$  mg/L, with the highest value in July 2009 and lowest in December 2008, which was 40.85 mg/L and 1.45 mg/L respectively. Regarding the distribution of the sampling sites, the highest values of the yearly mean density and biomass both appeared in Site 11, and the lowest density in Site 9 with the lowest<sup>b</sup> biomass in Site 7, respectively. The value of Shannon-Wiener index(H) in Dianshan Lake fluctuated between 0.841 and 2.187, with 1.718 as average. Upon the evaluation of biological diversity index, the water quality of Dianshan Lake could be regarded as  $\alpha$  mesosaprobity according to the results analysis.

**Key words:** Dianshan Lake; zooplankton; community structure; eutrophication

## 0 引 言

浮游动物在水域生态系统中有重要的作用,是食物链中的重要一环,其种类和数量的变化直接或间接影响着食物链中其他浮游生物、鱼类的群落组成和数量,进而影响到水体生态系统的结构,对整个生态系统的物质循环和能量流动起着重要的调控作用.浮游动物与水体质量关系密切,其中不少种类对环境变化比较敏感,利用浮游动物群落结构的种类组成差异、种类数的变化、个体数量变动、生物量分布以及生物多样性等综合指标,可以评价水体质量及环境的变化趋势,反映水域生态环境质量的优劣<sup>[1-3]</sup>.

淀山湖地处上海、江苏交界处是由长江河流冲积作用与湖泊淤积长期作用下形成的一个吞吐性浅水湖泊,属太湖水系,湖泊面积约 62 km<sup>2</sup>,其范围大致为北纬 31°04'~31°12',东经 120°54'~121°01'之间.沉积物主要为冲积—湖积平原相淤泥质砂粘土,湖荡湖底表层多为粉砂质粘土.平均水深约 2.1 m,容积为 1.30 亿 m<sup>3</sup>,由急水港、大朱砂、白石矾等入湖,由拦路港等支流下泄黄浦江.主要承泄太湖来水,是上海市最大的淡水湖泊,也是黄浦江上游的主要水源地之一.淀山湖同时兼有船运、渔业生产、旅游、农田排灌、调蓄洪涝等多种功能,在上海市的社会和经济发展中有着重要的地位<sup>[4,5]</sup>.近年来,随着太湖流域及周边地区国民经济和工、农业生产的快速发展,上游来水的污染负荷逐年增加,导致淀山湖的水质不断趋于恶化<sup>[6]</sup>.

淀山湖水环境及水生生物的调查工作始于 20 世纪 60 年代,迄今已进行过多次<sup>[7-9]</sup>,但对近年来淀山湖污染加重、水体环境质量不断退化下浮游动物群落变化的报道则颇为缺乏.有研究表明随着水体营养化程度日益加重,会导致浮游动物的多样性指数下降,产生明显的次生演替,浮游动物的数量随富营养化程度的加剧而显著增加<sup>[10]</sup>.根据 2008 年 10 月~2009 年 10 月在淀山湖进行的生态调查资料,本文分析了浮游动物群落组成、物种多样性与水质状况之间的关系,以期为淀山湖的生态治理和环境修复提供基础资料和参考.

## 1 材料与方 法

### 1.1 采样站的设置

根据淀山湖形态、水文条件和浮游生物采集的要求,共设置 14 个样点,具体见图 1 和表 1.

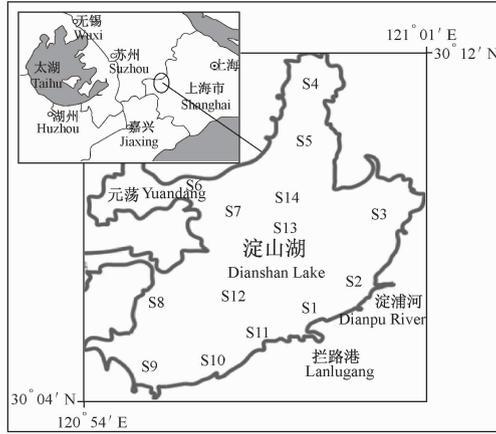


图 1 淀山湖采样点

Fig. 1 Sampling sites in Dianshan Lake

表 1 淀山湖浮游动物监测站位经纬度

Tab. 1 The latitude and longitude of sampling sites in Dianshan Lake

样点	经度(E)	纬度(N)	位置
S1	31°05.438'	120°58.388'	拦路港
S2	31°06.163'	120°59.583'	东方绿舟外
S3	31°08.138'	121°00.887'	金家庄
S4	31°11.266'	120°58.915'	千墩浦桥下
S5	31°11.018'	120°58.649'	赵田湖
S6	31°08.627'	120°55.626'	大朱砂桥下
S7	31°08.429'	120°55.695'	大朱砂内
S8	31°06.112'	120°54.753'	青商公路段
S9	31°04.470'	120°54.813'	威尼斯别墅段
S10	31°04.339'	120°55.129'	318 国道段
S11	31°04.878'	120°56.457'	水产养殖场
S12	31°05.723'	120°57.236'	航道断面
S13	31°07.815'	120°56.551'	湖心
S14	31°08.365'	120°57.872'	省界断面

## 1.2 样品的采集和处理

根据淀山湖属于浅水型湖泊,没有出现温跃层的特点,水样由水面下 0.5 m 处采集.定性分析时,轮虫用 25 号(网孔 0.064 mm)浮游生物网采集,大型浮游动物用 13 号(网孔 0.113 mm)浮游生物网拖取,经 4% 甲醛溶液固定后带回实验室鉴定;定量样品用 5 L 采水器采集 20 L 水样,用 25 号浮游生物网过滤浓缩,并将浮游动物装入 100 mL 的圆形塑料瓶中,立即加入 4% 的甲醛固定,带回实验室静置沉淀浓缩至 20 ml,在显微镜下对样品进行鉴定、计数.浮游动物的鉴定参考相关文献<sup>[11-15]</sup>.

## 1.3 数据处理及相关性分析

浮游动物数量的计算 参照章宗涉等<sup>[14]</sup>的研究方法,按下式换算浮游动物的数量.

$$N = (V_s \times n) / (V \times V_a)$$

式中: $N$ 为1 L水中浮游动物个体数(ind·L<sup>-1</sup>); $V$ 为采样体积(L); $V_s$ 为沉淀体积(mL); $V_a$ 为计数体积(mL); $n$ 为计数所获得的个体数。

浮游动物生物量的计算 轮虫根据体积法获得生物体积,即把生物体当作一个近似几何图形,按体积公式求得生物体积,并假定比重为1,这就得到体质量.甲壳动物根据体长与体重回归方程,由体长求得体质量<sup>[14]</sup>,生物量皆为湿重。

优势种按计算公式, $Y = (N_i/N) \times F$ .其中, $N$ 为样品中的个体总数, $N_i$ 为第*i*种的个体数, $F_i$ 为样品中第*i*种个体出现频率.优势度 $Y > 0.02$ 时,该种即为优势种。

浮游动物多样性指数的计算采用 Shannon-Wiener 生物多样性指数( $H$ )<sup>[16]</sup>,

$$H = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

式中, $N$ 为某样点浮游动物总个体数, $N_i$ 为第*i*种的个体数, $S$ 为物种总数目。

#### 1.4 理化因子的测定

采样时同步测定了淀山湖水体的主要理化因子,项目主要包括:透明度(SD)、水温(Wt)、溶解氧(DO)、pH、总磷(TP)、总氮(TN)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N).其中水温、溶解氧、pH采用美国哈希 SensINO6 便携式溶氧仪进行现场采样和测定,其他理化因子系将水样带回实验室,用英国 Palintest-Photometer 8000 多参数水质分析仪测定。

## 2 结 果

### 2.1 淀山湖浮游动物种类组成

经过一周年的调查,共鉴定浮游动物 80 种,其中轮虫 10 科 18 属 46 种,占总种类数的 58%;枝角类 6 科 10 属 21 种,占 26%;桡足类 6 科 11 属 13 种,占 16%(见表 2).出现种类数最多的季节为秋季,共检出 57 种,夏季和春季次之,分别为 56 种和 53 种;冬季最少,仅 28 种。

从浮游动物优势种情况来看,轮虫中优势种有龟甲轮属的螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)、矩形龟甲轮虫(*K. quadrata*)、曲腿龟甲轮虫(*K. valga*)和臂尾轮属的蓼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、裂足臂尾轮虫(*B. diversicornis*).枝角类中优势种为长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、筒弧象鼻溞(*B. coregoni*)和微型裸腹溞(*Moina micrura*);桡足类中则以广布中剑水蚤(*Microcyclops leuckarti*)、球状许水蚤(*Schmackeria forbesi*)和汤匙水哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)为主要优势种,优势种中耐污种类比例较高(见表 3)。

### 2.2 浮游动物密度与生物量

从逐月变化情况来看(见图 2),淀山湖浮游动物的月平均密度变动范围在 52 ~ 1 260 ind./L 之间,平均值为(356 ± 334) ind./L,最高值出现在 2009 年 5 月,为 1 260 ind./L,最低值出现在 2008 年 12 月,为 52 ind./L;浮游动物的月平均生物量变动范围在 1.45 ~ 40.85 mg/L 之间,平均值为(12.67 ± 12.53) mg/L,最高值出现在 2009 年 7 月,为 40.85 mg/L,最低值出现在 2008 年 12 月,为 1.45 mg/L。

淀山湖浮游动物密度年均最大值出现在 S14,为 458 ind./L,其次是 S11,年平均为 450 ind./L,S9 年平均密度最低,为 208 ind./L;浮游动物生物量的年均最大值出现在 S11,为 22.77 mg/L,其次是 S14,年平均生物量 18.71 mg/L,最低是 S7,为 6.91 mg/L。

表 2 淀山湖浮游动物的种类组成

Tab. 2 Composition variation of zooplankton in Dianshan Lake

中文名	拉丁名	中文名	拉丁名	中文名	拉丁名
<b>轮虫 Rotatoria</b>		囊形单趾轮虫	<i>Monostyla bulla</i>	脆弱象鼻溞	<i>B. fatalis</i>
长足轮虫	<i>Rotaria neptunia</i>	前节晶囊轮虫	<i>Asplanchna priodonta</i>	筒弧象鼻溞	<i>B. coregoni</i>
转轮虫	<i>R. rotatoria</i>	盖氏精囊轮虫	<i>A. girodi</i>	微型裸腹溞	<i>Moina micrura</i>
吕氏猪吻轮虫	<i>Dicranophorus lutkeni</i>	二突异尾轮虫	<i>Trichocerca bicristata</i>	发头裸腹溞	<i>M. irrasa</i>
尾猪吻轮虫	<i>D. caudatas</i>	暗小异尾轮虫	<i>T. pusilla</i>	直额裸腹溞	<i>M. rectirostris</i>
前突猪吻轮虫	<i>D. lutkeni</i>	针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>	多刺裸腹溞	<i>M. macrocopa</i>
卵形鞍甲轮虫	<i>Lepadella ovalis</i>	小多肢轮虫	<i>P. minor</i>	方形网纹溞	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>
郝氏皱甲轮虫	<i>Ploesoma hudsoni</i>	广布多肢轮虫	<i>P. vulgaris</i>	角突网纹溞	<i>C. cornuta</i>
萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	长多肢轮虫	<i>P. dolichoptera</i>	老年低额溞	<i>Simocephalus vetulus</i>
尾突臂尾轮虫	<i>B. caudatus</i>	梳状疣毛轮虫	<i>Synchaeta pectinata</i>	方形尖额溞	<i>Alona quadrangularis</i>
褶皱臂尾轮虫	<i>B. Plicatilis</i>	尖尾疣毛轮虫	<i>S. stylata</i>	矩形尖额溞	<i>A. rectangula</i>
角突臂尾轮虫	<i>B. angularis</i>	盘镜轮虫	<i>Testudinella patina</i>	圆形盘肠溞	<i>Chydorus sphaericus</i>
裂足臂尾轮虫	<i>B. diversicornis</i>	沟痕泡轮虫	<i>Pompholyx sulcata</i>	镰角锐额溞	<i>Alonella sxcisa</i>
矩形臂尾轮虫	<i>B. leydigi</i>	长三肢轮虫	<i>Filinia longiseta</i>	<b>桡足类 Copepoda</b>	
方形臂尾轮虫	<i>B. quadridentatus</i>	顶生三肢轮虫	<i>F. terminalis</i>	汤匙华哲水蚤	<i>Sinocalanus dorrii</i>
剪形臂尾轮虫	<i>B. forficula</i>	跃进三肢轮虫	<i>F. passa</i>	细巧华哲水蚤	<i>S. tenellus</i>
壶状臂尾轮虫	<i>B. urceus</i>	尾三肢轮虫	<i>F. major</i>	球状许水蚤	<i>Schmackeria forbesi</i>
镰状臂尾轮虫	<i>B. falcatus</i>	裂痕龟纹轮虫	<i>Anuraeopsis fissa</i>	指状许水蚤	<i>S. inopinus</i>
可变臂尾轮虫	<i>B. variabilis</i>	奇异六腕轮虫	<i>Hexarthra mira</i>	大型中镖水蚤	<i>Sinodiaptomus sarsi</i>
肛突臂尾轮虫	<i>B. bennini</i>	<b>枝角类 Cladocera</b>		右突新镖水蚤	<i>Neodiaptomus schmackeri</i>
花篮臂尾轮虫	<i>B. capsuliflorus</i>	透明薄皮溞	<i>Leptodora kindti</i>	中华原镖水蚤	<i>Eodiaptomus sinensis</i>
四角平甲轮虫	<i>Platyias quadricornis</i>	蚤状溞	<i>Daphnia pulex</i>	猛水蚤未定种	Harpacticotda sp.
螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>	透明溞	<i>D. hyalina</i>	中华窄腹剑水蚤	<i>Limnithona sinensis</i>
曲腿龟甲轮虫	<i>K. valga</i>	多刺秀体溞	<i>Diaphanosoma sarsi</i>	大尾真剑水蚤	<i>Eucyclops macruroides</i>
缘板龟甲轮虫	<i>K. ticinensis</i>	长肢秀体溞	<i>Di. leuchtenbergianum</i>	近邻剑水蚤	<i>Cyclops vucinus</i>
矩形龟甲轮虫	<i>K. quadrata</i>	短尾秀体溞	<i>Di. brachyurum</i>	广布中剑水蚤	<i>Microcyclops leuckarti</i>
椎尾水轮虫	<i>Epiphanes senta</i>	寡刺秀体溞	<i>Di. paucispinosum</i>	台湾温剑水蚤	<i>Thermocyclopst aihokuensis</i>
月形腔轮虫	<i>Lecane luna</i>	长额象鼻溞	<i>Bosmina longirostris</i>		

表 3 淀山湖浮游动物的优势种

Tab. 3 Dominant species of zooplankton in Dianshan Lake

优势种	出现月份	最适生境	优势度
螺形龟甲轮虫	全年	$\beta_0$	0.031
曲腿龟甲轮虫	全年	$\beta_0$	0.042
萼花臂尾轮虫	全年	$\beta_a$	0.048
角突臂尾轮虫	4~6月、9~10月	$\beta_a$	0.024
针簇多肢轮虫	4~10月	$\beta_a$	0.067
长额象鼻溞	全年		0.387
筒弧象鼻溞	10月~3月		0.189
微型裸腹溞	全年	$P-\alpha$	0.024
广布中剑水蚤	全年		0.039
球状许水蚤	5~10月		0.121
汤匙华哲水蚤	全年		0.027

注: 0表示寡污; a表示 $\alpha$ 中污;  $\beta$ 表示 $\beta$ 中污; P表示多污

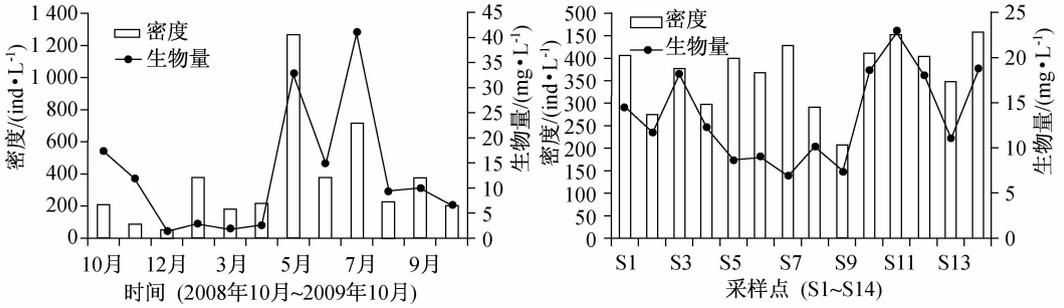


图 2 浮游动物平均密度和平均生物量的月分布和水平分布

Fig. 2 Monthly and Spatial distribution of zooplankton average density and average biomass

2.3 浮游动物物种多样性指数及水质评价

12 个月的跟踪监测结果显示,淀山湖浮游动物 Shannon-Wiener 物种多样性指数( $H'$ )变动范围在 0.841~2.187 之间,平均为  $1.718 \pm 0.349$ ,最高值出现在 2009 年 9 月,为 2.187,最低值出现在 2009 年 1 月,为 0.841.从水平分布上来看,淀山湖全年多样性指数的平均值在各样点间的变动范围为 1.566~1.856,平均为  $1.717 \pm 0.088$ .如图 3.

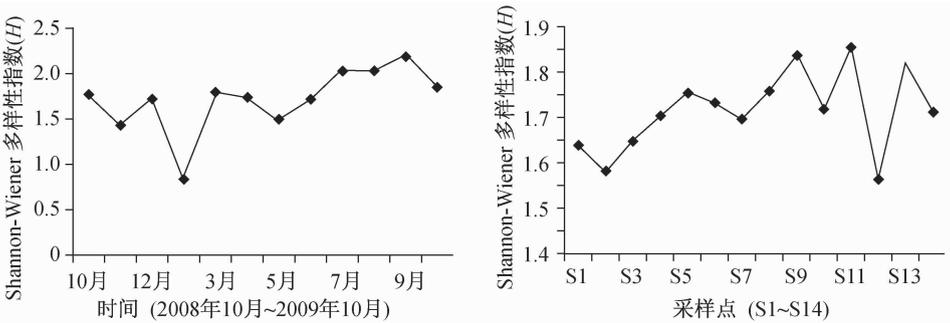


图 3 淀山湖浮游动物多样性指数( $H'$ )月变化和水平变化

Fig. 3 Monthly and Spatial variation of Shannon-Wiener index ( $H'$ ) in Dianshan Lake

2.4 浮游动物与环境因子的相关性分析

利用 SPSS 16.0 软件对淀山湖浮游动物密度、生物量和本研究组同期调查的浮游植物资料进行相关性分析.结果显示浮游动物密度与浮游植物密度、蓝藻种类数均成显著负相关,相关性指数分别为  $-0.702$  和  $-0.628 (P < 0.05)$ ,如表 4 所示.

表 4 浮游动物与浮游植物的相关性分析

Tab. 4 The correlation of zooplankton and phytolankton factors

参数	浮游植物密度	浮游植物多样性指数	绿藻种类	蓝藻种类
浮游动物密度	-0.702*	-0.410	-0.579	-0.628*
浮游动物生物量	-0.058	-0.122	-0.279	-0.479

注:“\*”表示  $P < 0.05$ ,显著相关

对淀山湖浮游动物的种类数、密度与理化因子的相关性分析结果见表 5.从中可见,氨氮、总氮与浮游动物的种类数呈显著负相关关系( $P < 0.05$ );水温与浮游动物种类数间呈显著正相关( $P < 0.05$ ).

表 5 浮游动物与理化因子的相关性分析

Tab. 5 The correlation index between zooplankton and enviromental factors

参数	Wt	SD	DO	pH	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
浮游动物种类数	0.598*	-0.114	-0.037	-0.239	-0.674*	-0.625*	-0.087
浮游动物密度	0.221	0.164	-0.124	0.257	-0.266	-0.039	0.051

注：“\*”表示  $P < 0.05$ , 显著相关。

### 3 讨 论

经一年的取样调查,共鉴定出三大类群浮游动物合计 80 种,与历史数据<sup>[8,17-19]</sup>相比(见表 6),可以看出 2007 年淀山湖局部水域蓝藻水华暴发以来,湖内浮游动物的种属数有明显下降的趋势,其中对浮游植物有较强摄食能力的枝角类,其种属数减少更为明显。

表 6 淀山湖各类群浮游动物种类数与优势种的演变

Tab. 6 Variation of zooplankton spices and dominant species in Dianshan Lake

	1982 年	1984 年 2 月~ 1985 年 2 月	1987 年 5 月~ 1988 年 5 月	2004~2005 年	2008 年 10 月~ 2009 年 10 月
轮虫	-	-	12 属 24 种	23 属 51 种	18 属 46 种
	-	-	针簇多肢轮虫 角突龟甲轮虫 矩形龟甲轮虫 长刺盖氏轮虫	针簇多肢轮虫 长三肢轮虫 曲腿龟甲轮虫	螺形龟甲轮虫 曲腿龟甲轮虫 萼花臂尾轮虫
枝角类	14 属 18 种	-	9 属 21 种	15 属 33 种	10 属 21 种
	透明溞 脆弱象溞 短尾秀体溞	-	短尾秀体溞 颈沟基台溞	长额象鼻溞 筒弧象鼻溞 角突网纹溞	长额象鼻溞 筒弧象鼻溞 微型裸腹溞
桡足类	-	10 属 11 种	10 属 12 种	15 种	11 属 13 种
	-	中华窄腹剑水蚤 汤匙华哲水蚤	中华窄腹剑水蚤 汤匙华哲水蚤 广布中剑水蚤 球状许水蚤	广布中剑水蚤 近邻剑水蚤	广布中剑水蚤 球状许水蚤

注：“-”表示没有相关记录

许木启<sup>[20]</sup>认为水体营养状况的不同,会造成浮游动物种类组成和分布的差异,一般来说,严重污染的水体中绝大部分敏感生物会逐渐消失,取而代之的是一些较耐污型种类,如萼花臂尾轮虫和长足轮虫等.与宋永昌<sup>[8]</sup>的研究相比,淀山湖浮现有游动物中轮虫的优势种,由原来的角突龟甲轮虫、长刺盖氏轮虫等变为以萼花臂尾轮虫、三肢轮虫等偏喜栖于富营养水体<sup>[20]</sup>的种类;随着淀山湖富营养程度的加剧,枝角类优势种发生了明显的变化,一些喜食微型藻类的枝角类逐步取代了大型枝角类,如喜好富营养化环境的象鼻溞已完全取代秀体溞成为绝对优势种;湖内的桡足类数量产生下降的趋势,但种类数相对稳定,桡足类的优势种多为广布性兼性种类,适应性较强.从上述即结果可见,在淀山湖浮游动物中耐受能力强的物种已逐渐取代敏感物种而成为优势种.同时,与 2004~2005 年的数据相比较,浮游动物种类组成变化不大,说明近几年来淀山湖水质状况没有较为明显的变化。

和地理位置相邻的湖泊太湖<sup>[21,22]</sup>比较后发现,淀山湖浮游动物优势种类与太湖浮游动物优势种类基本相同,都以耐污型种类为主.究其原因,一是淀山湖和太湖同处于长江三角

洲地区,随着湖区周边经济的不断发展,湖泊受污染的加重程度有相似之处.其次,淀山湖水源主要是上游太湖来水,太湖水质在很大程度上决定了淀山湖的水质,上游来水直接影响了淀山湖浮游动物种群的变化趋势.

本研究中调查的淀山湖枝角类呈现“小型化”的趋势,这一结果和鄱阳湖的研究结果相似<sup>[23]</sup>.出现这种现象的主要原因可能是:其一,有研究表明,鱼类对大型浮游甲壳动物的捕食压力通常使轮虫和小型的浮游甲壳动物在浮游动物群落中占优势<sup>[24,25]</sup>.近年来上海市渔业部门连续在湖内放养了大量的花鲢、白鲢和鲤等鱼类,而鱼类的生长旺季与枝角类的出现高峰基本一致,因此淀山湖鱼类对大型枝角类的捕食促使小型的、运动灵活的枝角类逐渐成为了优势种群;此外,蓝藻水华的出现也会影响大型浮游甲壳动物的生长和繁殖,而有利于小个体种类形成优势,最终影响到浮游动物的群落结构<sup>[26,27]</sup>.因此,夏、秋两季淀山湖的局部水域会出现不同程度的“蓝藻水华”,也可能是小型枝角类成为优势种的另一原因,其过程和成因尚需进一步探讨.从生物量和生物密度的角度来看,淀山湖浮游动物的年均密度略高于太湖,单位面积浮游动物的生物量也比太湖为高<sup>[21,22]</sup>.这与惠州西湖<sup>[28]</sup>的研究相似,水生植被的恢复改善了水质,从而影响了浮游动物群落结构的变化.淀山湖浮游动物的密度、生物量年均值的月变化趋势符合浮游动物的生长趋势,而水平变化趋势显示作为下风场的样点 S1、S3、S10、S11、S14 生物量要明显高于作为入水口的 S4、S5、S6、S7、S8 等样点,但密度优势并不明显,入水口各点浮游动物以小型种类为主.说明淀山湖水质的污染主要是受到上游来水和风场的影响,这和其他水源地受污染区域的分布趋势基本相同<sup>[29]</sup>.

将淀山湖浮游动物的密度、生物量与同期调查的浮游植物进行相关性分析,结果显示浮游动物密度与浮游植物密度、蓝藻种类呈显著负相关.提示扩大浮游动物密度有利于抑制水体中浮游植物(包括蓝藻)的生长.而浮游动物与理化因子的相关性分析表明,浮游动物种类数与水体总氮、氨氮呈显著负相关,这与武汉东湖多数浮游动物类群的生物多样性随着水体营养水平的上升而下降<sup>[30]</sup>的研究结果相似;但淀山湖浮游动物密度与水质相关性不显著,原因可能与淀山湖浮游动物耐污种类的大量繁殖有关.根据福州内河<sup>[31]</sup>的相关研究:生物多样性指数的变化来监测水体的污染状况及其水质的变化趋势.多样性指数  $H$  值处于 0~1 之间表示水质重污染,1~2 之间表示水质  $\alpha$ -中污型,2~3 表示水质  $\beta$ -中污型,>3 表示水体清洁.本次调查年均浮游动物多样性指数  $H$  值为 1.718,据此对淀山湖的水质状况进行初步评价,结果表明淀山湖水体总体呈现  $\alpha$ -中污型污染程度.

## 4 结 论

与过去对淀山湖浮游动物群落的调查结果相比,目前湖水水体总体呈现  $\alpha$ -中污型污染程度,湖区浮游动物群落由喜贫营养型的种类向喜富营养型的种类演替,并已逐渐成为优势种类.食物网中浮游动物摄食浮游植物的能力明显减弱,直接或间接影响了湖泊自我修复和良性循环的能力,水质和环境质量不容乐观.针对影响淀山湖浮游动物群落发展的诸多因素,必需加强对外源性的面源污染和上游来水污染的管理和控制.

对营养水平较高的湖泊,合理放养浮游植物食性鱼类能有效控制藻类的生长、改善水质,为浮游动物提供更好的生存环境;而从浮游动物群落发展来看,由于淀山湖现阶段没有大面积的高等水生植物为动物(包括浮游动物)提供繁衍和栖息场所,而浮游动物是鱼类重要的生物饵料,这就决定了现阶段大量放养鱼类会直接或间接影响浮游动物的种群数量,特别是对浮游植物具有摄食抑制作用的大型浮游动物的量.因此,在淀山湖水体生态系统的修

复、重建过程中,除了要严格控制上游来水和其他面源污染外,如何制定科学的修复措施,将分阶段、合理投放不同鱼类和水生植被的有效重建有机地结合起来,还需进行更系统和深入的研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 陈光荣,钟萍,张修峰,等.惠州西湖浮游动物及其与水质的关系[J].湖泊科学,2008,20(3):351-356.  
CHEN G R, ZHONG P, ZHANG X F, et al. Zooplankton and its relationship with water quality in Huizhou West Lake[J]. Journal of Lake Science, 2008, 20(3): 351-356.
- [2] 彭建华,郑金秀,马沛明,等.长江口南北支浮游甲壳动物的比较及南水北调工程影响预测[J].生态学杂志,2008,27(11):1948-1954.  
PENG J H, ZHENG J X, MA P M, et al. Comparison of planktonic crustaceans in north and south branches at Yangtze River estuary and impact prediction of South-to-North Water Transfer Preproject [J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(11): 1948-1954.
- [3] 吴利,冯伟松,陈小娟,等.新疆伊犁地区夏季浮游动物群落结构特征[J].应用生态学报,2008,19(1):163-172.  
WU L, FENG W S, CHEN X J, et al. Community structure characteristics of zooplankton in Yili region of Xinjiang in summer[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 163-172.
- [4] 阮仁良,王云.淀山湖水环境质量评价及污染防治研究[J].湖泊科学,1993,5(6):153-158.  
RUAN R L, WANG Y. Study on assessment of water environmental quality and control of water pollution in Dianshan lake, Shanghai[J]. Journal of Lake Sciences, 1993, 5(6): 153-158.
- [5] 由文辉.淀山湖水生态系统的物质循环[J].中国环境科学,1997,17(4):293-296.  
YOU W H. Studies on the nutrients cycle of Dianshan Lake[J]. China Environmental Science, 1997, 17(4): 293-296.
- [6] 程曦,李小平.淀山湖氮磷营养物20年变化及其藻类增长响应[J].湖泊科学,2008,20(4):409-419.  
CHENG X, LI X P. 20-year variations of nutrients (N and P) and their impacts on algal growth in Lake Dianshan, China[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(4): 409-419.
- [7] 上海水产学院.淀山湖渔业资源的初步调查报告[J].上海水产学院学报,1960(1):3-99.  
Shanghai Fisheries University. Preliminary investigation on fishery resources of Dianshan Lake[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1960(1): 3-99.
- [8] 宋永昌.淀山湖富营养化及其防治研究[M].上海:华东师范大学出版社,1992:95-99.  
SONG Y C. Study on Eutrophication and its Countermeasure in Dianshan Lake[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1992: 95-99.
- [9] 王丽卿,程婧蕾,郑小燕,等.淀山湖轮虫多样性及生物量时空变化[J].水产学报,2008,32(6):906-914.  
WANG L Q, CHEN J L, ZHENG X Y, et al. Diversity and seasonal dynamics of rotifer in Dianshan Lake[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(6): 906-914.
- [10] 杨宇峰,陈雪梅,黄祥飞.武汉东湖桡足类的生态学演变[J].水生生物学报,1994,18(4):334-339.  
YANG Y F, CHEN X M, HUANG X W. Ecological changes of Copepods in Lake Donghu, Wuhan[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1994, 18(4): 334-339
- [11] 王家楫.中国淡水轮虫志[M].北京:科学出版社,1961.  
WANG J J. The Chinese Freshwater Rotifers[M]. Beijing: Science Press, 1961.
- [12] 蒋燮治,堵南山.中国动物志:淡水枝角类[M].北京:科学出版社,1979.  
JIANG X Z, DU N S. Chinese Fauna: Freshwater Cladocera [M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [13] 沈嘉瑞.中国动物志:淡水桡足类[M].北京:科学出版社,1979.  
SHEN J R. Fauna Sinica: freshwater Copepods [M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [14] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991.  
ZHANG Z S, HUANG X F. The Research Methods of Freshwater Plankton [M]. Beijing: Science Press, 1991.
- [15] 周凤霞.淡水微型生物图谱[M].北京:化学工业出版社,2005.  
ZHOU F X. Atlas of freshwater microorganism[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.

- [16] SHANNON C E, WEAVER W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [17] 赖伟,李逸平,堵南山. 上海淀山湖浮游桡足类群落组成与季节变动研究[J]. 水生生物学报, 1987, 11(2): 173-182. LAI W, LI Y P, DU N S. Studies on the composition and seasonal variations of planktonic copepod in Lake Dianshan, Shanghai[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1987, 11(2): 173-182.
- [18] 郑小燕,王丽卿,盖建军,等. 淀山湖浮游动物的群落结构及动态[J]. 动物学杂志, 2009, 44(5): 78-85. ZHENG X Y, WANG L Q, GE J J. Dynamic and community structure of zooplankton in Dianshan Lake [J]. Chinese Journal of Zoology, 2009, 44(5): 78-85.
- [19] 赖伟,林汉刚,堵南山. 淀山湖三种枝角类种群动态初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1988, 19(2): 101-108. LAI W, LIN H G, DU N S. Primary studies on population-dynamics of 3 species of cladocera(waterflea) in Dianshan lake[J]. Oceanologia et limnologia sinica, 1988, 19(2): 101-108.
- [20] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果[J]. 水生生物学报, 1996, 20(3): 212-220. XU M Q. Evaluation of self-purification efficiency of Fuhe stream-Baiyangdian Lake through zooplankton[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(3): 212-220.
- [21] 杨桂军,潘宏凯,刘正文,等. 太湖不同湖区浮游甲壳动物季节变化的比较[J]. 中国环境科学, 2008, 28(1): 27-32. YANG G J, PAN H K, LIU Z W, et al. A comparative study on seasonal variations of crustaceans in the different lake areas in Lake Taihu[J]. China Environmental Science, 2008, 28(1): 27-32.
- [22] 杨桂军,秦伯强,高光,等. 太湖不同湖区轮虫群落结构季节变化的比较研究[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2963-2969. YANG G J, QIN B Q, GAO G, et al. Comparative study on seasonal variations different lake areas in Lake Taihu [J]. Environmental Science, 2008, 29(10): 2963-2969.
- [23] 谢钦铭,李长春. 鄱阳湖桡足类的群落组成与现存量季节变动的初步研究[J]. 江西科学, 1998, 16(3): 180-187. XIE Q M, LI C C. Studies on the composition and seasonal variations of planktonic copepod in Poyang Lake[J]. Jiangxi Science, 1998, 16(3): 180-187.
- [24] CARPENTER S R, KITCHELL J E. The trophic cascade in Lakes[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993.
- [25] YANG Y E, HUANG X F, LIU J K, et al. Effects of fish stocking on the zooplankton community structure in a shallow lake in China[J]. Fisheries Management & Ecology, 2005, 12(2): 81-89.
- [26] DEMOTT W R. Foraging strategies and growth inhibition in five daphnids feeding on mixtures of a toxic cyanobacterium and a green alga[J]. Freshwater Biology, 1999, 42: 263-274.
- [27] ROHRLAEK T, DITTMANN E, HENNING M, et al. Role of Microcystins in poisoning and food ingestion inhibition of Daphnia galeata caused by the cyanobacterium microcystis aeruginosa[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65: 737-739.
- [28] 陈光荣,刘娴,应文晔,等. 惠州西湖浮游动物群落对生态恢复的响应[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1662-1663. CHEN G R, LIU X, YING W Y, et al. The response of zooplankton community to ecological restoration in Huizhou West Lake[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2007, 35(6): 1662-1663.
- [29] 韩博平. 中国水库生态学研究的回顾与展望[J]. 湖泊科学, 2010, 22(2): 151-160. HAN B P. Reservoir ecology and limnology in China: a retrospective comment[J]. Journal of Lake Science, 2010, 22(2): 151-160.
- [30] 谢平,诸葛燕,戴蓓. 水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响[J]. 水生生物学, 1996, 20(增刊): 30-37. XIE P, ZHU G Y, DAI M. Impacts of eutrophication on biodiversity of plankton community[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(Suppl.): 30-37.
- [31] 饶小珍,许友勤,陈寅山. 福州内河的轮虫与水质污染评价[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2000(1): 71-75. RAO X Z, XU Y Q, CHEN Y S. A study on rotifers and water quality assessment of the Fuzhou inland river[J]. Journal of Fujian Teachers University: Natural Science, 2000(1): 71-75.