

淀山湖浮游动物的群落结构及动态

郑小燕 王丽卿* 盖建军 季高华 范志锋 张瑞雷

(上海海洋大学水产与生命科学学院 上海 201306; 江苏省水产技术推广站 南京 210036)

摘要: 为帮助利用生物操纵技术进行淀山湖水体富营养化治理,2004年1月至2005年12月对淀山湖浮游动物群落结构,包括种类组成、种群动态、现存量进行了2周年的系统调查。淀山湖浮游动物有128种,其中浮游原生动物23属29种、轮虫23属51种、枝角类15属33种、桡足类15种。年均密度6965 ind/L,原生动物和轮虫分别占62.19%和36.77%,密度高峰出现在春季;生物量年均均为6.00 mg/L,以轮虫和枝角类占优势,分别占51.65%和38.38%,生物量高峰出现在夏季。4个类群浮游动物多样性指数 H 与其均匀度指数 J 呈显著正相关,原生动物群落多样性指数 H 与其密度呈显著负相关。根据浮游动物密度及优势种组成特征判断,淀山湖水质为富营养型。原生动物多样性指数具有较好的水质指示作用。

关键词: 淀山湖;浮游动物;群落结构;多样性指数

中图分类号:Q958,Q145 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2009)05-78-08

Dynamic and Community Structure of Zooplankton in Dianshan Lake

ZHENG Xiao-Yan WANG Li-Qing* GAI Jian-Jun JI Cao-Hua

FAN Zhi-Feng ZHANG Rui-Lei

(College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

Jiangsu Province Fisheries Technological Extension Station, Nanjing 210036, China)

Abstract: To utilize biomanipulation technique in eutrophication control of Dianshan Lake, the dynamics of zooplankton community structure including species composition, population dynamics, and standing crop were investigated in Dianshan Lake from January 2005 to December 2006. One hundred and twenty eight species of zooplankton were found, of which 29 species of 23 genera were Protozoa, 51 species of 23 genera were Rotifera, 33 species of 15 genera were Cladocera and 15 species were Copepoda. The annual average density of zooplankton was 6965 ind/L, and protozoa and rotifera was accounted for 62.19% and 36.77% respectively, peaked in spring; the annual average biomass of zooplankton was 6.00 mg/L, dominated by rotifera (51.65%) and cladocera (38.38%), peaked in summer. The diversity index H of each zooplankton community had a significant positive correlation with its evenness index J and protozoa diversity index H showed a significant negative correlation with its density. Based on zooplankton density and dominant species composition, it indicated that Dianshan Lake was in eutrophication status. And the diversity index of protozoa has a good indication of water quality.

Key words: Dianshan Lake; Zooplankton; Community structure; Species diversity

基金项目 上海市科委重大项目(No. 2008DZ1203103),上海市重点学科建设项目(No. S30701);

* 通讯作者, E-mail: lqwang@shou.edu.cn

第一作者介绍 郑小燕,女,硕士研究生;研究方向:水域生态学;E-mail: xzhen gm@126.com.

收稿日期:2009-04-08,修回日期:2009-06-19

淀山湖位于江苏省与上海市的交界处,处于太湖以东、上海西郊,形似葫芦,湖泊面积约 62 km²,其中上海市管辖部分为 45 km²。湖泊主要接受太湖流域上游来水,出水经黄浦江流入长江口至东海,沿湖进出河流达 59 条,平均水深约 2 m,换水周期 29 d 左右^[1]。淀山湖作为上海市最大的淡水湖泊,是上海市供水水源地之一,同时兼有交通运输、农田灌排、水产养殖、调蓄洪涝等功能。近年来,其水体富营养化以及蓝藻水华引起普遍关注,一些学者对淀山湖蓝藻毒素及污染源等进行了研究^[2-4],程曦等^[5]、王丽卿等^[6]及郑小燕等^[7]对淀山湖浮游藻类种类组成、轮虫及原生动物数量变动等进行了调查和研究。而关于淀山湖浮游动物四大类群(原生动物、轮虫、枝角类和桡足类)的群落结构特征以及相互之间相关性研究未见报道。

浮游动物不仅是鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等滤食性鱼类的饵料,还制约着浮游植物及微生物的发生和发展^[8],在淡水生态系统的营养级联中起着重要的作用。浮游动物不同类群对环境的适应能力存在明显的种间差异,其种群结构、数量变化以及优势种和污染指示种的变化可作为湖泊水质监测的重要指标^[9],可间接反映水体的水质状况。于 2004~2005 年(2 周年)对淀山湖浮游动物的群落结构和物种多样性进行了调查分析,并研究了浮游动物群落结构与水质状况之间的关系,以期利用生物操纵技术进行淀山湖水体富营养化生态修复提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查方法

根据淀山湖湖泊自然形态及生态特征,设立 6 个采样站点(图 1):淀峰(St1),近拦路港,为主要出水口;金家庄(St2),村庄和水上运动场附近;干墩湾(St3),网围区,属昆山辖区;湖心(St4);急水港(St5),进水口;马兰港(St6),湖南区。

于 2004 年 1 月至 2005 年 12 月逐月采集淀山湖浮游动物定性和定量样品。样品采集和室内处理按《淡水浮游生物研究方法》^[10]进行。

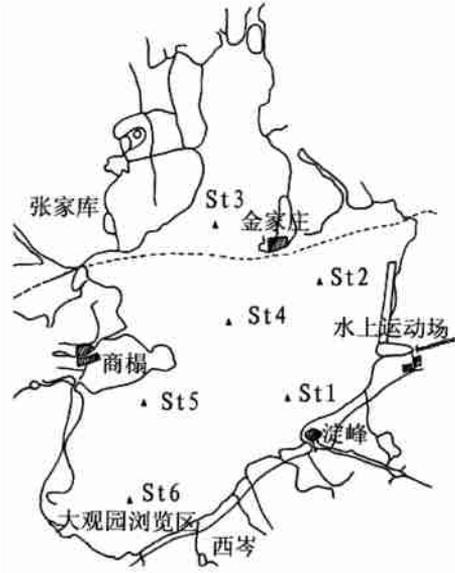


图 1 淀山湖采样点

Fig. 1 Sampling sites in Dianshan Lake

St1 ~ St6 分别表示 6 个采样点(St1, 淀峰; St2, 金家庄; St3, 干墩湾; St4, 湖心; St5, 急水港; St6, 马兰港);
表示上海与江苏交界处。

St1 - St6 indicate the six sampling sites respectively
(St1, Dianfeng; St2, Jinjiazhuang; St3, Qian墩湾;
St4, Lake Center; St5, Jishui Port; St6, Malan Port);
At the junction of Shanghai and Jiangsu Province.

定性样品用 25 号浮游生物网(孔径 64 μm)在水面下 0~0.5 m 水层做“拖取 5 min 采集,经 4% 福尔马林固定后镜检观察。

原生动物及轮虫定量样品用 5 L 有机玻璃采水器在水面下 0.5 m 和 1.5 m 处各采 5 L,等量混合后取 1 L,4% 福尔马林及鲁哥氏碘液固定,静置 24 h 后浓缩至 50 ml。移取 0.1 ml 浓缩匀液至 0.1 ml 计数框,在 20 ×10 倍显微镜下全片计数原生动物数量(平行 3 次);移取 1 ml 浓缩匀液至 1 ml 计数框,在 10 ×10 倍显微镜下全片计数轮虫数量(平行 3 次)。种类鉴定参照文献^[11,12]。

枝角类与桡足类定量样品用 5 L 有机玻璃采水器在 0.5 m 和 1.5 m 处水层各采 10 L,混合后经 13 号浮游动物过滤网(孔径 86 μm)过滤后 4% 福尔马林固定,浓缩后在 10 ×10 倍显微镜下全部计数。种类鉴定参照文献^[13,14]。

浮游动物密度按下列公式换算： $N = (V_s \cdot n) / (V \cdot V_a)$ ，其中， N 为 1L 水中浮游动物的个体数(ind/L)， V_s 为沉淀体积(ml)， n 为计数所得个数， V 为采样体积(L)； V_a 为计数体积(ml)。

原生动物和轮虫生物量按体积法统计，枝角类和桡足类生物量按体长-体重回归方程式^[15,16]计算。

1.2 数据分析方法 应用优势度 $Y^{[17]}$ 、Shannon-Wiener 多样性指数 $H^{[18]}$ 、Margalef 丰富度指数 $D^{[19]}$ 、Pielou 均匀度指数 $J^{[20]}$ 对浮游动物群落结构进行分析。公式如下：

$$Y = \frac{N_i}{N} f_i, H = - \sum_{i=1}^s \frac{N_i}{N} \cdot \log_2 \frac{N_i}{N},$$

$$D = \frac{S-1}{\ln N}, J = \frac{H}{\log_2 S}$$

其中， N_i 为第 i 种密度， N 为该类群总密

度， S 为该类群总种类数， f_i 为第 i 种在一年中出现的月份频率。

利用 SPSS 16.0 软件对浮游动物多样性指数 H 与群落其他结构特征进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 浮游动物种类组成和优势种 经鉴定，2004~2005 年淀山湖浮游动物共有 128 种。其中原生动物 23 属 29 种，占总种数 22.7%；轮虫 23 属 51 种，占 39.8%；枝角类 15 属 33 种，占 25.8%；桡足类 15 种，占 11.7%。根据优势度 $Y > 0.02$ 确定优势种^[17]，淀山湖各类群浮游动物优势种见表 1。

2.2 浮游动物现存量时空变化

2.2.1 淀山湖浮游动物现存量 2004~2005

表 1 淀山湖 4 个类群浮游动物优势种及其优势度

Table 1 Dominance of dominant species of four groups of zooplankton in Dianshan Lake

优势种 Dominant species		优势度 Dominance (Y)			
		2004 年	2005 年	均值 Average	
原生动物 Protozoa	淡水筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviatile</i>	0.257	0.424	0.341	
	恩茨筒壳虫 <i>T. entzii</i>	0.139	0.042	0.091	
	绿急游虫 <i>Strombidium viride</i>	0.054	0.111	0.083	
	小单环栉毛虫 <i>Didinium balbiamii nanum</i>	0.046	0.051	0.049	
	钟形钟虫 <i>Vorticella companula</i>	0.034	0.041	0.038	
	轮虫 Rotifera	针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i>	0.466	0.27	0.368
长三肢轮虫 <i>Filinia longiseta</i>		0.077	0.083	0.080	
曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i>		0.081	0.032	0.057	
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>		0.056	0.083	0.070	
萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>		0.056	0.081	0.069	
螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i>		0.032	0.033	0.033	
椎尾水轮虫 <i>Epiphanes senta</i>		0.031	0.05	0.041	
枝角类 Cladocera		长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0.400	0.337	0.369
		筒弧象鼻溞 <i>B. coregoni</i>	0.167	0.224	0.196
	脆弱象鼻溞 <i>B. fatalis</i>	—	0.084	—	
	短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	0.025	0.033	0.029	
	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>	0.021	—	—	
	角突网纹溞 <i>Ceriodaphnia comuta</i>	0.092	—	—	
桡足类 Copepoda	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.038	0.035	0.037	
	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	0.064	0.065	0.065	
	球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	0.174	0.118	0.146	
	特异荡镖水蚤 <i>Neutrodiaptomus tumidus</i>	0.02	—	—	
	汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dornii</i>	—	0.033	—	

“—”表示该种在该年度不是优势种。“—” Indicates that the species is not the dominant species of the year.

年 2 周年调查期间,淀山湖单位体积浮游动物个体数(密度)年均 6 965 ind/L,单位体积浮游动物重量(生物量)年均均为 6.00 mg/L。其中原生动物群落密度最高,为 4 332 ind/L,占浮游动物总密度 62.19%,但生物量最低,为 0.19 mg/L,占浮游动物总生物量 3.22%;轮虫不仅种类数最多,生物量也最高,为 3.04 mg/L,占浮游动

物总生物量 50.75%;枝角类群落年均生物量仅次于轮虫,为 2.35 mg/L,占总生物量 39.25%;桡足类年均密度和生物量均最低(表 2)。淀山湖浮游动物数量结构主要由原生动物和轮虫组成,生物量结构则主要由轮虫和枝角类组成。

表 2 淀山湖浮游动物密度和生物量

Table 2 The density and biomass of four groups of zooplankton in Dianshan Lake

浮游动物类群 Zooplankton group	密度 Density (ind/L)			生物量 Biomass (mg/L)		
	2004 年	2005 年	均值 Average	2004 年	2005 年	均值 Average
原生动物 Protozoa	3 365	5 298	4 332	0.14	0.25	0.19
轮虫 Rotifera	2 805	2 314	2 559	3.70	2.39	3.04
枝角类 Cladocera	75	67	71	2.49	2.22	2.35
桡足类 Copeoda	4	3	3	0.52	0.29	0.41
总计 Total	6 249	7 682	6 965	6.85	5.14	6.00

2.2.2 淀山湖浮游动物现存量时间变化 淀山湖各类群浮游动物密度(ind/L)及生物量(mg/L)随时间变动的趋势(图 2):2004 年浮游动物密度高峰出现在 4~6 月份,5 月份最高,达 18 057 ind/L;生物量高峰出现在 5~8 月份,6

月份最高,达 18.55 mg/L;2005 年密度高峰出现 3~5 月份,4 月份最高(24 068 ind/L),生物量高峰出现在 5 月份(19.96 mg/L)。2004 年和 2005 年,淀山湖浮游动物生物量最高峰比密度最高峰均晚一个月出现。

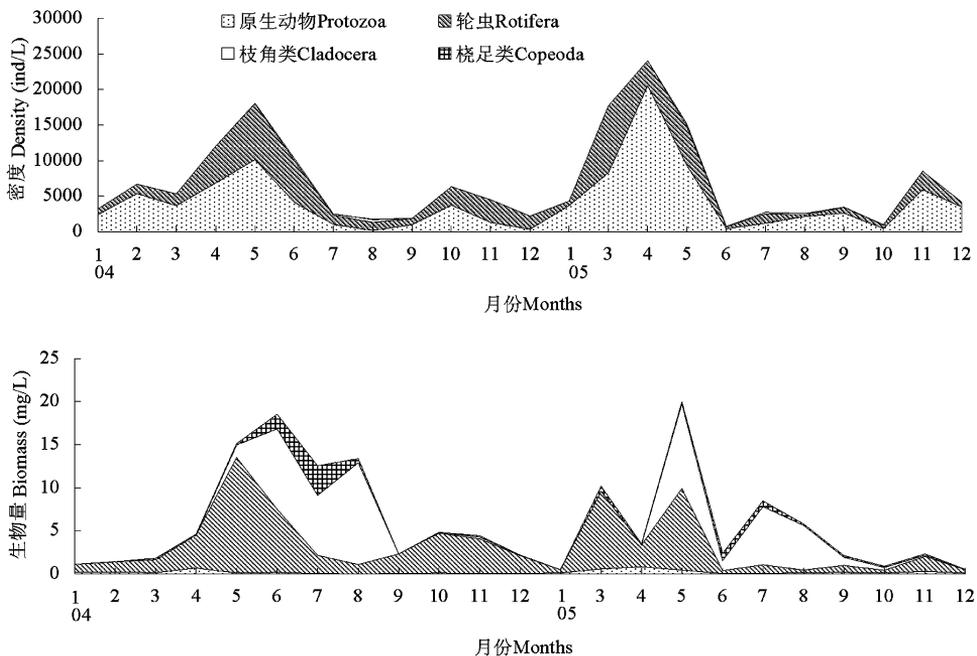


图 2 淀山湖不同类群浮游动物现存量(密度、生物量)月变化

Fig. 2 Monthly variation in density and biomass of four groups of zooplankton in Dianshan Lake

调查结果可知,淀山湖浮游动物密度终年由原生动物和轮虫占主要组成部分,原生动物与轮虫密度之和,除夏季外,其他3个季节均各占浮游动物总密度 99% 以上,夏季枝角类占

5.81%;生物量季节组成在夏季主要由枝角类占主要组成部分外(占 67.46%),其他季节均由轮虫占主要部分,所占百分比高达 70% 以上(图 3)。

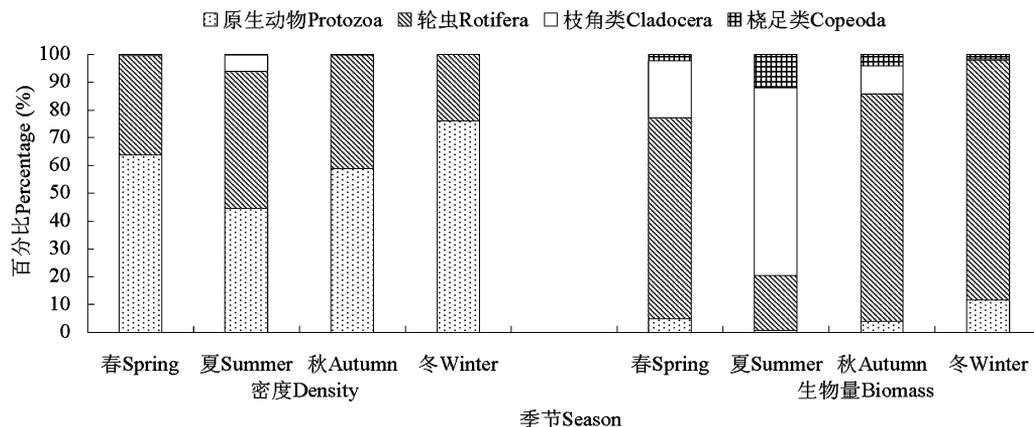


图 3 淀山湖浮游动物 4 大类群密度和生物量组成的季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of the density and biomass composition of four groups of zooplankton in Dianshan Lake

2.2.3 浮游动物现存量水平变化 如图 4 所示,淀山湖不同站点各类群浮游动物密度变化表现为:金家庄 St2、进水口 St5 及湖南区 St6 站点居高;生物量变化则以湖心 St4、金家庄 St2 及湖南区 St6 居高,最低值出现在网围区 St3。由于各站点浮游动物类群组成不同,导致生物

量的水平变化和密度水平变化不完全一致。采样时,网围区 St3 进行围网养殖生产,该站点浮游动物数量和生物量均较低,与鱼类的捕食有关。各站点浮游植物数量主要有原生动物和轮虫组成,但生物量则主要由轮虫和枝角类组成。

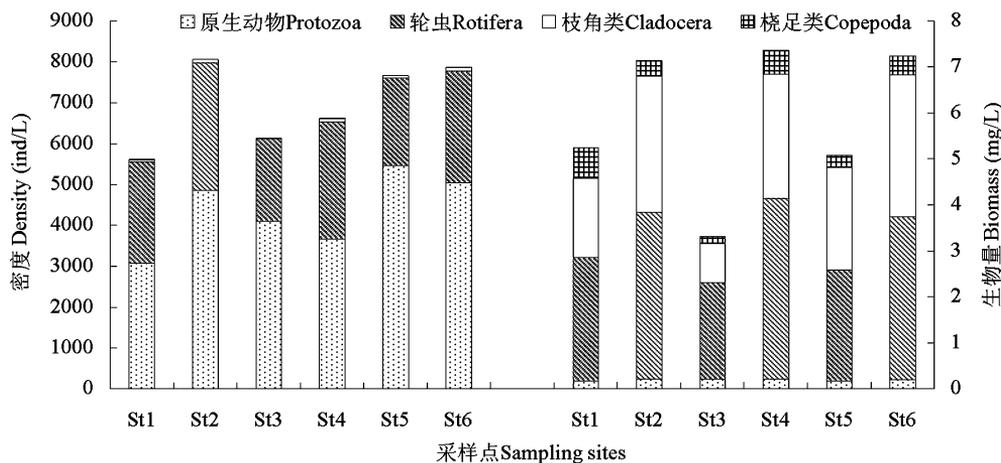


图 4 淀山湖浮游动物不同类群密度及生物量水平分布

Fig. 4 Horizontal distribution in abundance and biomass of four groups of zooplankton in Dianshan Lake

St1: 淀峰; St2: 金家庄; St3: 千墩湾; St4: 湖心; St5: 急水港; St6: 马兰港。

St1: Dianfeng; St2: Jinjiazhuang Village; St3: Qian dun Bay; St4: Lake Center; St5: Jishui Port; St6: Malan Port.

2.3 浮游动物多样性分析 表 3 显示淀山湖不同站点 4 大类群浮游动物群落多样性指数 H 、丰富度指数 D 和均匀度指数 J 变动情况。从表 3 可知,淀山湖多样性指数 H 值枝角类(2.56) > 轮虫(2.39) > 原生动物(1.91) > 桡足类(1.76);丰富度指数 D 值桡足类最高(7.82),原生动物最低(1.48);均匀度指数 J 值枝角类最高(0.62),轮虫、桡足类低,分别为 0.47 和 0.49。4 个类群浮游动物在不同站点多样性指数 H 变化,原生动物:St5 < St6 < St3 < St2 < St4

< St1;轮虫:St1 < St2 < St4 < St3 < St6 < St5;枝角类:St6 < St5 < St3 < St4 < St2 < St1;桡足类:St4 < St3 < St2 < St6 < St1 < St5。可见,不同浮游动物类群指示不同站点群落结构参数值不同。淀山湖各类群浮游动物多样性指数 H 与群落种类数、密度、生物量及相关指数的相关性分析见表 4。由表 4 可知,4 个类群浮游动物群落多样性指数 H 均与均匀度 J 呈显著相关;原生动物群落多样性指数 H 与密度呈显著负相关;轮虫群落多样性指数 H 与丰富度 D 呈显著正相关。

表 3 淀山湖各站点浮游动物群落多样性指数 H 、丰富度指数 D 及均匀度指数 J

Table 3 Shannon-Wiener, species richness and evenness indexes of zooplankton community for sampling sites in Dianshan Lake

站点 Sampling sites	H				D				J			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
St1	2.13	2.20	2.79	1.94	1.50	2.00	4.80	1.47	0.60	0.44	0.66	0.53
St2	2.00	2.27	2.96	1.90	1.36	2.12	3.81	5.72	0.56	0.45	0.74	0.54
St3	1.88	2.36	2.50	1.60	1.45	2.31	5.871	2.81	0.52	0.46	0.58	0.44
St4	2.00	2.34	2.54	1.16	1.66	2.01	3.59	7.81	0.52	0.47	0.65	0.30
St5	1.68	2.71	2.31	2.04	1.41	3.00	3.701	1.70	0.46	0.52	0.58	0.57
St6	1.79	2.44	2.24	1.92	1.47	2.47	3.75	7.39	0.49	0.48	0.56	0.54
均值 Average	1.91	2.39	2.56	1.76	1.48	2.32	4.26	7.82	0.53	0.47	0.62	0.49

表中数据为 2004 ~ 2005 年的平均值,A、B、C、D 分别表示原生动物、轮虫、枝角类及桡足类。

Date in the table for 2004 - 2005 average and "A, B, C, D" indicate that "protozoa, rotifera, cladocera and copepoda" respectively.

表 4 浮游动物多样性指数 H 与种类数、密度、生物量、丰富度指数及均匀度指数的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of number of species, density, biomass, species richness, evenness with the diversity indices of four groups of zooplankton

群落 Community	种类数 Species	密度 Density	生物量 Biomass	D	J
r 值	原生动物 Protozoa	- 0.289	- 0.842 *	0.049	0.338
r value	轮虫 Rotifera	0.750	- 0.454	- 0.288	0.959 **
	枝角类 Cladocera	0.169	- 0.142	- 0.020	0.132
	桡足类 Copepoda	0.395	- 0.012	- 0.087	- 0.163

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ 。

3 讨 论

3.1 淀山湖浮游动物群落结构分析 2004 ~ 2005 年淀山湖水域浮游动物群落结构调查分析得出,淀山湖浮游动物群落结构在数量上主要由原生动物和轮虫组成,在生物量上主要由轮虫和枝角类组成。浮游动物群落结构除受本身演替规律影响外,受浮游植物等饵料生物的

上行效应以及鱼类摄食的下行效应影响。为了有效利用淀山湖水资源,同时达到控制淀山湖蓝藻水华的目的,相关政府部门每年都往湖中增殖放流一些鱼类,特别是鲢、鳙等上层滤食性鱼类,这些鱼类对浮游动物形成捕食压力,对其群落结构组成造成一定的影响。鱼类捕食对浮游动物个体大小有明显的选择性,通常在同等能耗下优先选择个体较大的浮游动物^[21],因此

当湖中鱼类密度高时,个体较大的枝角类的种类和数量会很低^[22,23],同时鱼类的捕食行为在一定程度上也减少了轮虫和小型枝角类的种外竞争压力^[24-26]。淀山湖浮游动物群落结构表现为小型浮游动物(原生动物和轮虫)数量比例较高,大型浮游动物(枝角类和桡足类)所占比例较少的结构特征,这与国内已知江河、湖泊和水库浮游动物各类群的组成比例情况相似^[27-30]。淀山湖浮游动物群落数量在3~5月较高,而在生物量上则在4~8月高,生物量高峰值晚于密度高峰值约一个月,这是由于相对轮虫和原生动物来说,大个体的枝角类和桡足类在夏季数量急剧上升,在生物量上的贡献比小个体的轮虫和原生动物表现出明显的优势,夏季浮游动物生物量主要以枝角类(占67%)和桡足类(占20%)占主体。浮游动物群落的这一特征也反映了不同个体大小类群浮游动物对环境季节变化的适应能力不同。原生动物对周围环境变化敏感,其种类和数量会随水温变化而产生较大幅度变动。调查期间,淀山湖平均水温春季16.8,夏季28.3,秋季21.76,冬季5.71。原生动物最适生长温度是10~25^[31],因此春、秋两季水温比较适应原生动物的生长与繁殖,从而导致其数量较多。轮虫生长温度与原生动物大致相同,故其密度峰值也出现在春季。

3.2 浮游动物密度、指示生物和生物多样性指数对水质指示作用 根据浮游动物密度小于1 000 ind/L为贫营养,1 000~3 000 ind/L为中营养,大于3 000 ind/L为富营养的生物指标评价标准^[32],淀山湖浮游动物密度高达6 965 ind/L,可知2004~2005年淀山湖水体的营养状况已处于富营养状态。淀山湖浮游动物优势种组成中,淡水筒壳虫、恩茨筒壳虫、小单环毛虫和钟形钟虫、针簇多肢轮虫、长三肢轮虫、曲腿龟甲轮虫、角突臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、螺形龟甲轮虫、广布中剑水蚤、短尾秀体蚤等被认为是富营养水体的指示种类^[33-35]。应用浮游动物密度及优势种类群组成作为指标来评价淀山湖水体的营养类型——富营养状态。

应用浮游动物多样性指数 H 对淀山湖水质状况进行评价,依据沈韞芬^[33]等提出的生物多样性指数越大水质越好的评价标准。4大类群浮游动物多样性指数评价水质结果不同。原生动物多样性指数显示,淀山湖各站点水质由劣到优依次为 St5 (1.68) < St6 (1.79) < St3 (1.88) < St2 (2.00) < St4 (2.00) < St1 (2.13),进水口 St5 水质最差,出水口 St1 水质最好;王丽卿等应用修正的卡尔森营养状态指数评价淀山湖各站点水质状况由劣到优依次为:St5 (73.7) > St6 (71.8) > St3 (71.3) > St2 (71.2) > St1 (70.9) > St4 (70.8),进水口 St5 水质最差,St1 和 St4 水质最好^[36]。应用原生动物多样性指数与修正的卡尔森营养状态指数评价的结果几乎完全一致。对比应用修正的卡尔森营养状态指数对淀山湖水质评价结果,发现原生动物物种多样性指数 H 能够较好地反映调查站点水质状况,其他类群浮游动物多样性指数 H 则不能很好地反映水体水质情况。谢进金等^[37]在研究中也发现,多样性指数 H 未能较好地反映晋江流域水质的现状及其变化趋势。马徐发等^[38]也对利用浮游动物群落多样性指数评价水体营养水平问题提出质疑。因此单纯从生态学角度分析及反映水域环境状况显得不够全面,在研究淀山湖水域水体污染情况时应结合其他各项指标进行综合评价,才能得到更切合实际的水质和营养状况结果。

参 考 文 献

- [1] 宋永昌,王云,戚仁海. 淀山湖富营养化及其防治研究. 上海:华东师范大学出版社,1992,95~98.
- [2] 郑晓红. 影响淀山湖水质变化的因素分析. 干旱环境监测,1999,13(4):226~228.
- [3] 张大弟,晓红,陈佩青. 淀湖区(上海部分)水质污染源调查评价. 上海农学院学报,1998,16(2):92~97.
- [4] 施玮,吴和岩,赵耐青等. 淀山湖水质富营养化和微囊藻毒素污染水平. 环境科学,2005,26(5):55~61.
- [5] 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. 湖泊科学,2008,20(4):409~419.
- [6] 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. 水产学报,2008,32(6):906~914.
- [7] 郑小燕,王丽卿. 淀山湖原生动物种类组成及数量变

- 动. 生态学杂志, 2009, 28(1): 51 ~ 57.
- [8] 刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990, 104 ~ 128.
- [9] 刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社, 2002, 199.
- [10] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991, 358 ~ 388.
- [11] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [12] Koste W. Rotatoria, Die Rädertiere Mitteleuropas. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1978, 673.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 黄祥飞, 胡春英. 淡水常见枝角类体长-体重回归方程式. 见: 甲壳动物学论文集编辑委员会编. 甲壳动物学论文集. 北京: 科学出版社, 1986, 147 ~ 157.
- [16] 陈雪梅. 淡水桡足类生物量的测算. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 397 ~ 408.
- [17] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鱼渔场的关系. 生态学报, 1989, 8(4): 13 ~ 15.
- [18] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [19] Margalef D R. Information theory in ecology. *General Systems*, 1958, (3): 36 ~ 71.
- [20] Pielou E C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, 10: 370 ~ 383.
- [21] Hall D J, Threlkeld S T, Burns C W. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1976, 7: 177 ~ 208.
- [22] Korponai J, Matyas K, Paulovits G. The effect of different fish communities on the cladoceran plankton assemblages of the Kis-Balaton Reservoir, Hungary. *Hydrobiologia*, 1997, 360: 211 ~ 221.
- [23] Swiercowski A, Godlewska M, Poltorak T. The relationship between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental parameters in the Solina reservoir, Poland. *Aquat Living Resour*, 2000, 13: 373 ~ 377.
- [24] Domaizon I, Devaux J. Impact of moderate silver carp biomass gradient on zooplankton communities in a eutrophic reservoir. Consequences for the use of silver carp in biomanipulation. *Life Sciences*, 1999, 322: 621 ~ 628.
- [25] Nogueira M G. Zooplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River), Sao Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, 2001, 455: 1 ~ 18.
- [26] Korponai J, Paulovits G, Matyas K. Long-term changes of cladoceran community in a shallow hyper-trophic reservoir in Hungary. *Hydrobiologia*, 2003, 504: 193 ~ 201.
- [27] 王凤娟, 胡子全, 汤洁等. 用浮游动物评价巢湖东湖区的水质和营养类型. 生态科学, 2006, 25(6): 550 ~ 553.
- [38] 姜作发, 唐富江, 董崇智等. 黑龙江水系主要江河浮游动物种群结构特征. 东北林业大学学报, 2006, 34(4): 64 ~ 66.
- [29] 陈光荣, 钟萍, 张修峰等. 惠州西湖浮游动物及其水质的关系. 湖泊科学, 2008, 20(3): 351 ~ 356.
- [30] 李共国, 虞佐明. 浙江千岛湖浮游动物群落多样性研究. 生物多样性, 2001, 9(2): 115 ~ 121.
- [31] 沈蕴芬. 原生动植物学. 北京: 科学出版社, 1999.
- [32] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册. 北京: 中国农业出版社, 1990.
- [33] 沈蕴芬, 章宗涉, 龚循矩等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990, 126 ~ 134.
- [34] 龚循矩, 肖化忠, 沈蕴芬. 长江三峡地区的原生动植物区系研究. 水生生物学报, 1990, 14(4): 289 ~ 297.
- [35] 王凤娟, 胡子全, 汤洁等. 用浮游动物评价巢湖东湖区的水质和营养类型. 生态科学, 2006, 25(6): 550 ~ 553.
- [36] 王丽卿, 张军毅, 王旭晨等. 淀山湖水体叶绿素 a 与水质因子的多元分析. 上海水产大学学报, 2008, 17(1): 58 ~ 64.
- [37] 谢进金, 许友勤, 陈寅山等. 晋江流域水质污染与浮游动物四季群落结构的关系. 动物学杂志, 2005, 40(5): 8 ~ 13.
- [38] 马徐发, 熊邦喜, 王卫民等. 道观河水库浮游动物的群落结构与物种多样性. 华中农业大学学报, 2005, 24(1): 63 ~ 67.