

元荡湖水域后生浮游动物群落特征与水质评价

胡景¹, 钟俊生¹, 郁蔚文², 王忆¹, 陈立婧^{1*} (1. 上海海洋大学省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092)

摘要 [目的]研究元荡湖水域后生浮游动物群落特征,对元荡湖水域水质进行初步评价。[方法]于2013年对元荡湖水域后生浮游动物的种类组成、现存量、生物多样性等进行了调查研究。[结果]后生浮游动物共有11属20种,包括轮虫11种,枝角类6种,桡足类3种。主要优势种为萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)、唇形叶轮虫(*Notholon labis*)、卜氏晶囊轮虫(*Asplanchna brightwelli*)、尾猪吻轮虫(*Dicranophorus caudatus*)、微型裸腹溞(*Moina micrura*)、长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、筒弧象鼻溞(*Bosmina coregoni*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、毛饰拟剑水蚤(*Paracyclops fimbriatus*)和模式爪猛水蚤(*Onychocamptus mohammed*)。调查数据显示,元荡湖后生浮游动物生物密度最高峰出现在秋季,达184.7 ind/L,生物量最高峰在春季,达1.193 mg/L。[结论]利用多样性指数、轮虫B/T指数、后生浮游动物E/O值和污染指示种等综合判断,元荡湖水域处于中-富营养水平。

关键词 元荡湖水域;后生浮游动物;群落结构

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)16-051-03

Features of Metazoan Zooplankton and Water Quality Assessment in Yuandang Lake Area

HU Jing¹, ZHONG Jun-sheng¹, YU Wei-wen², CHEN Li-jing^{1*} et al (1. Ministry of Education Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306; 2. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092)

Abstract [Objective] The aim was to study community features of metazoan zooplankton in Yuandang Lake area and evaluate its water quality. [Method] The species, existing quantity, biological diversity of metazoan zooplankton in Yuandang Lake area was investigated in 2013. [Result] There were 20 species of metazoan zooplankton in the lake, belonging to 11 genera, including 11 species of rotifer, 6 species of cladocera and 3 species of copepoda. The dominant species were *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus diversicornis*, *Notholon labis*, *Asplanchna brightwelli*, *Dicranophorus caudatus*, *Moina micrura*, *Bosmina longirostris*, *Bosmina coregoni*, *Calanus sinicus*, *Paracyclops fimbriatus* and *Onychocamptus mohammed*. The statistics indicated that the highest density of metazoan zooplankton was in autumn (184.7 ind/L). The highest biomass was in spring (1.193 mg/L). [Conclusion] Based on the Shannon-Wiener index, the B/T index of rotifer, the E/O index of metazoan zooplankton and the species sensitive to eutrophication, biological assessment of water quality suggested that the Yuandang Lake area is on mid-eutrophication.

Key words Yuandang Lake area; Metazoan zooplankton; Community structure

后生浮游动物包括轮虫、枝角类和桡足类,营养价值丰富,消化吸收率高,是鲢鳙等滤食性鱼类良好的生物饵料,其在食物链中制约着浮游植物和微生物的发生和发展^[1]。在富营养化水体中,浮游动物还能够发挥一定的控藻作用^[2]。某些种类对环境条件变化较为敏感,常根据浮游动物群落组成和动态等综合指标,来评价水质状况^[3]。

元荡湖水域位于上海市青浦区西南约25 km处,与淀山湖相通,水域面积达12.9 km²,青浦区管辖2.8 km²。湖区渔业资源丰富,盛产鱼、虾、蟹、贝等优质水产品。近年来,地区经济的发展使得土地资源日渐紧张,陆基养殖水面积呈逐年下降趋势。2007~2011年,陆基养殖水面积的减少,对青浦区水产品造成的损失达7 000 t。青浦区类似元荡湖水域的自然生态水域缺乏科学的规划、合理开发和利用,湖区的生态环境、水生生物资源正面临着破坏和衰竭。与元荡湖相连的淀山湖,作为上海市重要的居民用水水源地,是上海市最大的淡水湖泊。受上游生活污水和湖泊养殖废水的影响,水体污染问题严重。近年来,我国学者对淀山湖的蓝藻毒素和污染源进行了研究^[4-6]。元荡湖是与淀山湖相连的最大水

域,其水体营养状况对于淀山湖有着不可忽略的影响。然而,元荡湖一直处于未完全开发状态,有关湖区后生浮游动物群落结构及动态的相关研究鲜见报道。笔者调查研究了元荡湖水域后生浮游动物资源的分布,以期为该水域的渔业资源生态评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置 根据浮游生物采集的要求和元荡湖水域形态与水文条件,设置7个采样点(图1)。

1.2 样品采集与处理 于2013年分4个季度采集元荡湖水域后生浮游动物定性和定量样品。样品采集和固定处理按《淡水浮游生物研究方法》^[7]进行。该水域属于浅水性湖泊,在水面下0.5 m采样。用25号浮游生物网(网目64 μm)拖捞5 min,获取定性样品,用5%甲醛溶液固定带回。

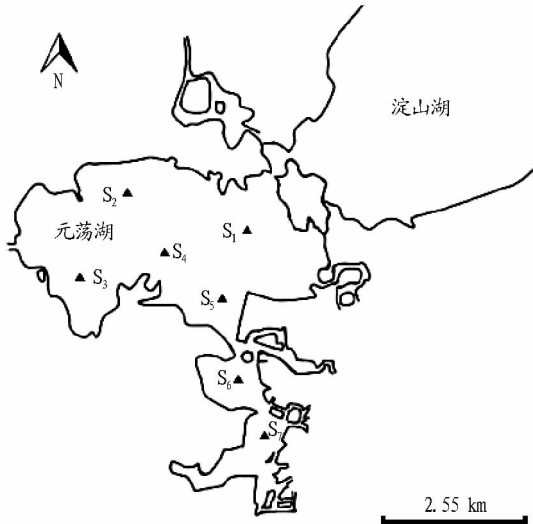
轮虫定量样品,用5 L有机玻璃采水器于水面下0.5 m处共采集10 L水样,混匀后取1 L水样,加入4%鲁哥氏碘液和5%甲醛溶液固定,静置48 h后浓缩至50 mL。计数采用1 mL浮游生物计数框,混匀取样后置于奥林巴斯显微镜下全部计数,3次平行。

枝角类与桡足类定量样品,用5 L有机玻璃采水器于水面下0.5 m处采集10 L水样,混匀后经13号浮游生物过滤网(网目86 μm)过滤,加入4%福尔马林固定,静置浓缩后均匀取样,显微镜下全片计数,3次平行。生物量的计算是用体积公式计算出生物体积,假定比重为1,获得生物量^[7]。参考文献[8-11]进行种类鉴定。

基金项目 上海高校知识服务平台上海海洋大学水产动物遗传育种中心(ZF1206);元荡湖渔业资源生态评价项目(D-8006-13-0049)。

作者简介 胡景(1995-),男,安徽宣城人,硕士研究生,研究方向:水产养殖。*通讯作者,副教授,博士,硕士生导师,从事水环境的生物调控和生态修复、浮游生物的物种多样性和优势种演替机制等研究。

收稿日期 2016-04-29



注: $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ 分别为 7 个采样点。

Note: $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7$ are 7 sampling sites.

图 1 元荡湖水域采样点分布

Fig. 1 Sampling sites in Yuandang Lake area

1.3 数据分析 采用优势度(Y)^[12]、Shannon - Wiener 物种多样性指数(H)^[13]分析浮游动物的优势种和物种多样性。公式如下:

$$Y = \frac{N_i}{N} \times f_i$$

$$H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{N_i}{N} \right) \cdot \log_2 \frac{N_i}{N}$$

式中, N_i 为第 i 种密度, N 为该种群总密度, S 为该种群总种类数, f_i 为 i 种在 1 年中出现的频率。 H 为 0 ~ 1.0 表示重污染; 1.0 ~ 3.0 为中度污染; > 3.0 为轻度污染至无污染^[14-15]。

轮虫的 B/T 指数: 臂尾轮虫属 (B) 多是富营养型种, 异尾轮虫属 (T) 几乎都是贫营养型种。 $B/T < 1$ 时, 为贫营养型; $1 \leq B/T < 2$ 为中营养类型; $B/T \geq 2$ 为富营养类型^[16]。

E/O 指数: 浮游动物富营养总数和贫营养总数的比值, Hakkari (1978) 等应用该指数来判定水质, 即 $E/O < 0.5$ 为贫营养型; $0.5 \leq E/O < 1.5$ 为中营养类型; $1.5 \leq E/O < 5.0$ 为富营养类型; $E/O \geq 5.0$ 为超富营养类型^[16]。

2 结果与分析

2.1 后生浮游动物种类和优势种 由表 1 可知, 2013 年元荡湖水域后生浮游动物共有 15 属 19 种。其中, 轮虫 8 属 10 种, 占总种数 55.00%; 其中, 长足轮虫为 7 月偶见种, 不作为优势种; 枝角类 4 属 6 种, 占 30.00%; 桡足类 3 属 3 种 (不含无节幼体和桡足幼体), 占 15.00%。 $Y > 0.02$, 判定为优势种^[12], 其中萼花臂尾轮虫为轮虫中的第 1 优势种, 长额象鼻溇和中华哲水蚤为全年优势种, 微型裸腹溇为春、夏、秋季的优势种, 且优势度很高。优势种中污染指示种所占比例较高。

表 1 元荡湖水域后生浮游动物优势种及其优势度

Table 1 Dominant species and dominance of metazoan zooplankton in Yuandang Lake area

优势种 Dominant species	名称 Name	拉丁名 Latin	Y			
			春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
轮虫 Rotifer	萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>	0.44	0.53	0.72	0.46
	裂足臂尾轮虫	<i>Brachionus diversicornis</i>		0.06		
	曲腿龟甲轮虫	<i>Keratella valga</i>				0.13
	唇形叶轮虫	<i>Notholon labis</i>	0.04			
	卜氏晶囊轮虫	<i>Asplanchna brightwelli</i>	0.06			
	腹足腹尾轮虫	<i>Gastropus hyplopus</i>	0.17			
	针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>		0.04		
	长肢多肢轮虫	<i>Polyarthra dolichoptera</i>				0.03
	奇异六腕轮虫	<i>Hexarthra mira</i>	0.06			
	尾猪吻轮虫	<i>Dicranophorus caudatus</i>		0.19	0.09	
枝角类 Cladocera	棘体网纹溇	<i>Ceriodaphnia setosa</i>			0.04	
	模糊网纹溇	<i>Ceriodaphnia dubia</i>				0.08
	微型裸腹溇	<i>Moina micrura</i>	0.11	0.75	0.64	
	长额象鼻溇	<i>Bosmina longirostris</i>	0.40	0.03	0.12	0.43
	筒弧象鼻溇	<i>Bosmina coregoni</i>	0.28			
桡足类 Copepods	吻状异尖额溇	<i>Disparalona rostrata</i>				0.15
	中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	0.64	0.73	0.66	0.48
	毛饰拟剑水蚤	<i>Paracyclops fimbriatus</i>	0.33		0.20	0.02
	模式有爪猛水蚤	<i>Onychocamptus mohammed</i>		0.04		

2.2 后生浮游动物生物密度、生物量时空变化 从图 2 可见, 2013 年元荡湖生物量为 0.158 ~ 1.193 mg/L, 以春季最高, 达 1.193 mg/L, 夏季下降, 秋季有所回升; 生物密度为 63.1 ~ 174.7

ind/L, 以秋季最高, 达 174.7 ind/L, 冬季下降。该水域后生浮游动物生物密度、生物量终年由轮虫占主要部分。轮虫生物密度占总浮游动物的 96.12%, 夏季最高可达到 98.42%。桡足类

生物量比例有所上升,秋季最高时可达 38.53%。

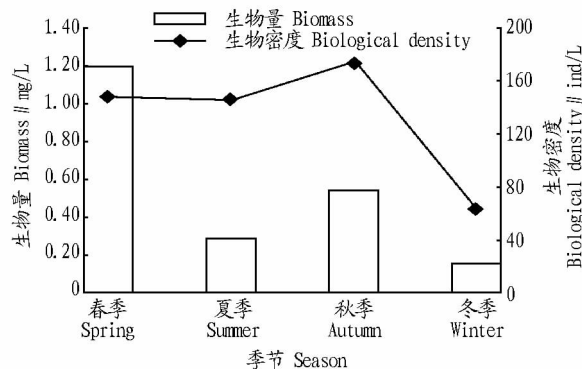


图2 元荡湖水域后生浮游动物生物密度和生物量的季度变化

Fig. 2 Seasonal variation in density and biomass of metazoan zooplankton in Yuandang Lake area

2.3 后生浮游动物多样性指数 由表2可知,元荡湖水域不同采样点不同季节后生浮游动物的 H 无显著差异,除 S_6 (0.238) 站点外,其他站点之间差异不显著, S_1 站点稍高 (0.971)。从季节上看,春季最高 (0.982), 冬季最低 (0.326)。根据 H 对污染程度的评价标准^[14-15]可知,元荡湖水域全年整体呈现中度污染局面。不同站点之间差别并不明显,春季污染程度较轻。

表2 元荡湖水域各站点后生浮游动物群落多样性指数 (H)

Table 2 Shannon - Wiener index of metazoan zooplankton community in sampling sites in Yuandang Lake area

采样点 Sampling sites	H				平均 Mean
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	
S_1	1.040	0.995	0.900	0.950	0.971
S_2	1.330	0.693	0.562	0	0.862
S_3	1.468	0.950	0.860	0	0.820
S_4	0.956	1.234	0.451	0.693	0.834
S_5	1.040	0.693	0.956	0.637	0.832
S_6	0	0.950	0	0	0.278
S_7	1.040	1.332	0.349	0	0.680
平均 Mean	0.982	0.978	0.583	0.326	—

2.4 生态学水质和污染评价 元荡湖水域中臂尾轮虫属有2种(萼花臂尾轮虫和裂足臂尾轮虫),异尾轮虫属有1种(纵长异尾轮虫)。轮虫的 B/T 指数为2,水质属于中营养型。

元荡湖水域的后生浮游动物富-中营养类型种(E)有尾猪吻轮虫、萼花臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫、卜氏晶囊轮虫、微型裸腹蚤和长额象鼻蚤6种,且长额象鼻蚤、萼花臂尾轮虫为全年优势种。贫-中营养类型种(O)为唇形叶轮虫和纵长异尾轮虫等2种。因此,元荡湖后生浮游动物的 E/O 值为3,水质属于富营养型。

3 讨论

3.1 元荡湖水域后生浮游动物群落结构分析 2013年元荡湖水域初次调查显示,元荡湖后生浮游动物群落结构表现为大型浮游动物(枝角类和桡足类)数量比例较小,小型浮游动物(轮虫)所占比例较大的结构特征,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^[17-19]。后生浮游动物群落结构在生物量和生物密度的组成上主要为轮虫。轮虫个体较小,在生物密度上占主导地位,而在生物量上,由于桡足类个体较大,所占总体比重有所上升。鱼类捕食对浮游动物个体大小有明显的选择性,通常在同等条件下优先选择个体较大的浮游动物^[20],这就解释了在生物密度和生物数量上,个体较大的枝角类和桡足类都不占优势的情况。后生浮游动物群落结构的变化受食物链中所处营养级的影响。区域经济发展的需要,水体中每年都会被投放一定的经济鱼类。这些鱼所形成的捕食压力,会影响群落结构。夏季时,鱼类代谢活动增强,摄食强度增大,使水体生物量相比于春季有所下降,秋季由于摄食强度的减弱和浮游动物的相对生长,有一定回升。另外,在群落的组成上,轮虫占主要地位,对于群落的变化趋势有显著影响。而王丽卿等对淀山湖轮虫的群落动态分析表明,淀山湖水体轮虫生物量每年均呈双驼峰趋势,春秋出现高峰值,夏冬季出现低值^[21]。这与元荡湖水域后生浮游动物群落的动态变化一致。出现该现象的原因,主要是受水温和食物对轮虫优势种的影响。

3.2 元荡湖水域水质生态学评价 冯德祥等^[22]研究认为,水体的营养状况不同,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。对元荡湖水域的初步调查研究显示,目前该水域已经出现一些富营养型生物种类,如微型裸腹蚤、长额象鼻蚤、萼花臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫等,结合多样性指数评价与后生浮游动物 E/O 值,判定元荡湖水域属于富营养类型。谭渝峰^[23]通过研究元荡湖高等水生植物群落结构,结合以各季度营养物主要因子为基准的营养状态指数与各季度综合评价营养状态指数,得出该水体呈富营养状态的结论,这也与笔者的调查结果一致。

4 结论

笔者通过对元荡湖水域后生浮游动物群落结构的调查分析,得出元荡湖水域水体已呈富营养状态。而淀山湖与元荡湖相连,水质必然受到影响,淀山湖作为上海市重要的水源地,其水体水质的监测与保护具有重要的战略意义。因此,要注重该水域生态养殖功能的开发,开展“以渔养水、合理捕捞、生态修复”等水域生态维护与修复试验,浅水区围荡种草养蟹,阔水区布置浮水植物带,传统网围改生态网围和减排网箱,增殖放流鲢鳙、螺蛳,合理捕捞等生态修复技术模式,同时加强对元荡湖水域水体的实时监测,控制其他污染源,构建良好、高效的生态系统。

参考文献

- [1] 刘建康. 东湖生态学研究(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1990: 104-128.
- [2] 张丽彬, 王启山, 丁丽丽, 等. 富营养化水体中浮游动物对藻类的控制作用[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 64-67.
- [3] 陈光荣, 钟萍, 张修峰, 等. 惠州西湖浮游动物及其水质的关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 351-356.
- [4] 郑晓红, 汪琴. 淀山湖水质状况及富营养化评价[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(2): 68-70.
- [5] 卢嘉, 李小平, 陈小华, 等. 淀山湖水环境污染探析[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(2): 116-120.

表7 覆盆子蜂蜜果冻加工工艺优化正交试验结果

Table 7 Results of the orthogonal test of process optimization for raspberry jelly with honey

试验号 Test No.	因素 Factors				综合评分 Comprehensive score
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	85
2	1	2	2	2	90
3	1	3	3	3	88
4	2	1	2	3	84
5	2	2	3	1	85
6	2	3	1	2	88
7	3	1	3	2	78
8	3	2	1	3	80
9	3	3	2	1	78
K_1	263	247	253	248	
K_2	257	255	252	256	
K_3	236	254	251	252	
R	9.000	2.667	0.666	2.666	

3 结论

覆盆子蜂蜜果冻是一种创新型果冻,原料上采用了具有丰富营养价值的覆盆子干果和蜂蜜,两者混合既能调和覆盆子的涩味,使产品酸甜爽滑,又可充分发挥覆盆子的保健功能。通过试验确定了覆盆子蜂蜜果冻的最佳工艺参数为:柠檬酸用量 0.10%,卡拉胶用量 2.5%,覆盆子浸提液用量 40%,混合糖用量 10% (其中蜂蜜 4%,白砂糖 6%)。通过最佳配比得到的果冻产品外观棕黄透明,清澈透亮,气味清香,

口感爽滑,成型性良好,可溶性固形物含量 $\geq 17\%$,细菌总数 ≤ 50 CFU/g,大肠杆菌 < 300 MPN/kg,致病菌未检出。所得产品符合国家食品卫生质量要求,兼具营养和保健功能,市场前景良好。

参考文献

- [1] 梁文珍,解灵芝,田小岭. 树莓营养果冻的研制[J]. 农产品加工·学刊,2006(2):69-71.
- [2] 陈坤华,方军,宫斌,等. 覆盆子提取成分促进淋巴细胞增殖作用及与环核苷酸的关系[J]. 上海免疫学杂志,1995,15(5):302-304.
- [3] 徐晓玉. 中药药理学[M]. 北京:人民卫生出版社,2005.
- [4] 张清华,董凤翔. 树莓发展现状与前景[J]. 林业实用技术,2007(11):9-11.
- [5] 程丹,李洁,周斌,等. 覆盆子化学成分与药理作用研究进展[J]. 中药材,2012,35(11):1873-1876
- [6] XIAO F,ZHU J,ZHAO L,et al. Involvement of pro-inflammatory and anti-inflammatory cytokines in the anti-inflammatory activity of *Rubus idaeus* L. on LPS-treated RAW 264.7 cells[J]. Journal of Chinese pharmaceutical science,2010,19:201-208.
- [7] 徐雅琴,于泽源,任华锋. 红树莓叶片中黄酮类物质提取及抗氧化性的研究[J]. 中国油脂,2003(5):546-549.
- [8] 李晓波. 树莓化学成分及降血糖有效物质的研究[D]. 重庆:西南农业大学,2005.
- [9] 张驰,朱玉昌,陈卫琴,等. 绿豆魔芋果冻的研制[J]. 食品科学,2007,28(8):601-605.
- [10] SUN Y X,HAYAKAWA S,OGAWA M,et al. Antioxidant properties of custard pudding dessert containing rare hexose, D-psicose[J]. Food control,2007,18(3):220-227.
- [11] 郑凤锦,方晓纯,孙健,等. 响应面法优化香蕉果冻的加工工艺[J]. 西南农业学报,2015(5):2241-2248.
- [12] 吕佳杰,蔡景竹,赵非凡,等. 桃胶枸杞新型营养果冻的研制[J]. 安徽农业科学,2016(11):86-88.
- [13] 张觉民,何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京:中国农业出版社,1990.
- [14] 李共国,虞佐明. 浙江千岛湖浮游动物群落结构多样性研究[J]. 生物多样性,2001,9(2):115-121.
- [15] 王凤娟,胡子全,汤洁,等. 用浮游动物评价巢湖湖区的水质和营养类型[J]. 生态科学,2006,25(6):550-553.
- [16] 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]. 生态杂志,2008,27(11):1948-1954.
- [17] HALL D J, THRELKELD S T, BURNS C W. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities[J]. Annual review of ecology and systematics, 1976, 7:177-208.
- [18] 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):908-912.
- [19] 冯德祥,刘一,禹娜,等. 淀山湖后浮游动物群落结构特征分析[J]. 华东师范大学学报,2001,11(6):128-129.
- [20] 谭渝峰. 淀山湖及元荡高等水生植物群落特征结构和水质评价研究[D]. 上海:华东师范大学,2015.
- [6] 王旭晨,王丽卿,彭自然. 灰色聚类法评价淀山湖水质状况[J]. 上海水产大学学报,2006,15(4):497-502.
- [7] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京:科学出版社,1991:358-388.
- [8] 王家楫. 中国淡水轮虫志[M]. 北京:科学出版社,1961.
- [9] 沈嘉瑞. 中国动物志:淡水桡足类[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [10] 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.
- [11] 周凤霞. 淡水微型生物图谱[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [12] 徐兆礼,陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲢鳙渔场的关系[J]. 生态学报,1989, 8(4):13-15.
- [13] SHANNON C E,WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [14] 蔡立哲,马丽,高阳,等. 海洋底栖动物多样性指数污染程度评价标准的分析[J]. 厦门大学学报,2002,41(5):642-644.
- [15] 张景平,黄小平,江志坚,等. 珠江口海域污染的水质综合污染指数和生物多样性指数评价[J]. 热带海洋学报,2010,29(1):71-76.

(上接第53页)