

固城湖底栖动物群落结构及水质生态评价

尹子龙¹, 陆晓平², 翁松干¹, 胡晓东¹

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017;

2. 江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210001)

摘要: 2015 年 3 月~2016 年 2 月对南京市高淳区饮用水源地固城湖开展了全年的底栖动物监测与分析, 并通过 Wright 指数、Goodnight 指数、BPI 生物学指数和 Shannon-Wiener 多样性指数对固城湖进行水质生态评价。结果表明: 全年 12 个月共鉴定出底栖动物 21 种(属), 其中摇蚊科幼虫种类最多, 共计 11 种, 寡毛类 8 种, 软体动物 2 种; 主要优势种为苏氏尾鳃蚓(*Branchiura sowerbyi*)、中国长足摇蚊(*Tanytus chinensis*)、内摇蚊属(*Endochironomus sp.*)和环棱螺(*Bellamya sp.*)。四种指数评价结果显示固城湖水质现状处于轻度-中度污染时期, 属于富营养化过程的初中期。

关键词: 底栖动物; 优势种; 水质评价

中图分类号: X826

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 11-0014-06

Ecological assessment of zoobenthos community structure and water quality in Gucheng Lake

YIN Zilong¹, LU Xiaoping², WENG Songgan¹, HU Xiaodong¹

(1. *Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu;*

2. *Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210001, Jiangsu*)

Abstract: The monitoring and analysis of benthic zoobenthos were carried out in drinking water source of Gucheng Lake in Gaochun District, Nanjing City from March 2015 to February 2016, and the water quality ecological assessment was carried out by Wright index, Goodnight index, BPI biological index and Shannon-Wiener diversity index. The results showed that 21 species of zoobenthos were identified in 12 months of the year. Among them, the chironomidae larvae was the largest, a total of 11 species of larvae, 8 species of oligochaeta, and 2 species of mollusk. The main dominant species were *Branchiura sowerbyi*, *Tanytus chinensis*, *Endochironomus sp.* and *Bellamya sp.* The results of the four indexes assessment showed that the water quality of Gucheng Lake was in a mild to moderate pollution period, which belonged to the middle and middle stages of the eutrophication process.

Key words: zoobenthos; dominant species; water quality assessment

底栖动物是水生态系统的重要组成部分, 与水体环境是相互依存、相互影响的统一体, 具有分布广泛、生命周期较长、形体较易辨认、对污染

的逃避能力弱和对环境变化较为敏感等特征, 其群落结构作为预测环境质量变化的重要指标, 已广泛应用于生物监测和生态评价^[1]。

收稿日期: 2018-05-28

作者简介: 尹子龙 (1992—), 男, 硕士, 主要从事水生态与水环境工作。

固城湖位于南京市高淳区西南部, 其在保证当地居民生活用水、社会经济发展和生态环境平衡等方面起着不可替代的作用^[2]。随着社会经济的快速发展及受人类活动的影响, 固城湖水质不断恶化, 水体富营养化速度加快, 给高淳区人民的生活及经济的可持续发展带来了巨大威胁^[3-4]。本研究以 2015 ~ 2016 年底栖动物生态调查数据为依据, 分析了固城湖水域底栖动物群落结构及其变化, 并由此反映出固城湖水环境质量现状。

1 研究区域

1.1 研究区域概况

固城湖又名小南湖, 位于江苏省南京市高淳区西南部的苏皖接壤处, 是一个典型的浅水湖泊, 湖泊面积约为 30.95 km², 主要的入湖河流有港口河、胥河、漆桥河、横溪河等, 官溪河为唯一的出湖河流。固城湖水环境功能规划为饮用、渔业和景观, 现有功能以生活饮用水为主, 是高淳区最重要的饮用水源地, 提供全区 66% 以上人口的饮用水, 水产养殖、农田灌溉也是湖区的主要功能^[5]。

1.2 采样点设置

根据固城湖湖区面积、地形轮廓、养殖分布、以及主要出入湖河流等情况, 在整个湖区共设置了 10 个采样点, 在 2015 年 3 月至 2016 年 2 月期间对固城湖湖区进行了全年的样品采集 (图 1)。

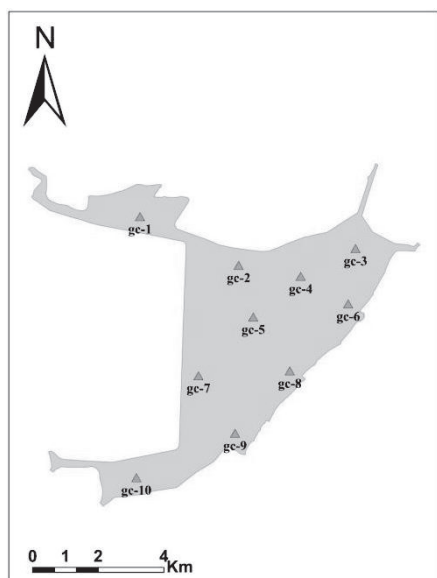


图 1 固城湖底栖动物采样点

2 调查方法

2.1 底栖动物采集方法

底栖动物样品采集用面积为 1/20 m² 的改良彼得生采泥器, 每个采样点采集三下, 底栖动物与底泥、碎屑等混为一体, 必须冲洗后才能进行挑拣。洗涤工作通常采用网径为 0.45 mm 网尼龙筛网进行洗涤, 剩余物带回实验室进行分样。在每个采样点挑拣出各类动物后, 放入已装好固定液的 50 ml 塑料瓶中。标本的固定可直接投入到 7% 福尔马林中固定。把每个采样点所采集到的底栖动物按不同种类准确地统计个体数, 并用分析天平对不同种类的底栖动物进行分别称重, 根据个体数以及称重所得结果推算出 1 m² 内的数量以及生物量 (g/m²)^[6]。底栖动物鉴定参照《中国经济动物志·淡水软体动物》《中国小蚓类研究》《辽河流域底栖动物监测图鉴》《中国北方摇蚊幼虫》等鉴定书籍。

2.2 底栖动物评价水质方法

底栖无脊椎动物个体较大, 寿命较长, 活动范围小, 对环境条件改变反应灵敏, 能够准确反映水质质量状况, 是监测污染、评价水质的理想指示生物。通过对底栖无脊椎动物群落结构调查研究, 可以客观地分析和评价湖泊营养状况。并采用以下几种生物指数试评价固城湖营养及污染状况^[7]。

Wright 指数, 从寡毛类的密度来评价水体水质, 认为密度低于 100 ind./m² 时无污染; 100 ~ 999 ind./m² 时为轻污染; 1000 ~ 5000 ind./m² 时为中度污染; 而在 5000 ind./m² 以上时为严重污染。Goodnight 指数、BPI 生物学指数和 Shannon-Wiener 多样性指数计算方法如下, 具体指数对应的水质评价结果见表 1。

$$\text{Goodnight 生物指数} = \frac{\text{颤蚓类个体数}}{\text{底栖动物总数}} \quad (1)$$

$$\text{BPI 生物学指数} = \frac{\log(N_1 + 2)}{\log(N_2 + 2) + \log(N_3 + 2)} \quad (2)$$

式中:

N_1 —寡毛类、蛭类和摇蚊幼虫个体数;

N_2 —多毛类、甲壳类、除摇蚊幼虫以外的水生昆虫个体数;

N_3 —软体动物个体数

$$\text{Shannon - wiener 指数} = - \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N} * \ln \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

式中: n_i —第 i 个种的个体数目, N —群落中所有种的个体总数。

螺。

3.1.3 底栖动物密度与生物量分布

表 1 各种生物指数评价标准

Goodnight 指数	BPI 生物学指数	Shannon-Wiener 指数 (bit)
	小于 0.1 为清洁	
小于 0.6 为轻污染	[0.1, 0.5) 为轻污染	[0,1.0) 为重污染
[0.6, 0.8] 为中污染	[0.5,1.5) 为 β —中污染	[1.0,3.0) 为中污染
(0.8–1.0] 为重污染	[1.5,5.0] 为 α —中污染	大于 3.0 为轻度污染至无污染
	大于 5.0 为重污染	

3 调查结果

3.1 底栖动物群落结构

3.1.1 底栖动物种类组成

2015 年 3 月至 2016 年 2 月期间固城湖共鉴定出底栖动物 21 种(属), 见表 2, 其中摇蚊科幼虫种类最多, 共计 11 种; 寡毛类次之, 共检出 8 种; 软体动物种类最少, 共 2 种。

3.1.2 底栖动物优势种

从表 2 中可以看出, 底栖动物种类方面, 固城湖 2015 ~ 2016 年度生态监测检出的底栖动物包括寡毛类、摇蚊幼虫以及软体动物 3 大类。固城湖底栖动物密度和生物量被少数种类所主导。密度方面, 寡毛类的苏氏尾鳃蚓和霍甫水丝蚓, 摇蚊科幼虫的中国长足摇蚊、内摇蚊以及红羽摇蚊优势度较高, 分别占总密度的 9.95%、4.99%、26.79%、35.78% 和 10.42%, 其中摇蚊幼虫类密度最高, 密度排在前两位的内摇蚊属和中国长足摇蚊的密度分别为 1198ind./m² 和 897ind./m²。生物量方面, 由于软体动物个体较大, 软体动物的环棱螺在总生物量上占据绝对优势, 达到 61.42%, 红羽摇蚊、内摇蚊、苏氏尾鳃蚓所占比重次之, 分别为 10.03%、8.34%、7.32%, 除去占绝对优势的软体动物, 生物量排在前两位的是红羽摇蚊和内摇蚊, 其生物量分别为 14.76 g/m² 和 112.277 g/m²。从 21 个物种的出现频率来看, 苏氏尾鳃蚓、霍甫水丝蚓、中国长足摇蚊、内摇蚊、羽摇蚊、红羽摇蚊等共 6 个种类是固城湖最常见的种类, 其在大部分采样点均能采集到。综合底栖动物的密度、生物量以及各物种在 10 个采样点的出现频率, 利用优势度指数确定优势种类, 结果表明固城湖现阶段的底栖动物优势种主要为苏氏尾鳃蚓、中国长足摇蚊、内摇蚊和环棱

固城湖底栖动物密度和生物量各季度及全年平均值的空间分布格局见图 2。总体而言, 生物量较密度空间差异更大。从图 2 中可以看出, 在各个季度中各采样点密度空间分布不均、差异较大, 最大差异出现在 2015 年冬季, 最高值出现在 gch-3 采样点, 为 1810 ind./m², 最低值为 24 ind./m² (图 2d); 最小差异出现在 2015 年夏季, 最高值出现在 gch-5 采样点, 为 95 ind./m², 最低值为 0 ind./m² (图 2b), 全年平均密度最大值出现在 gch-3 采样点, 为 675 ind./m²; 而生物量空间差异极大, 最大差异也出现在 2015 年夏季, 最高值出现在 gch-8 采样点, 为 150.357 g/m², 最低值为 0.000 g/m² (图 2f); 最小差异出现在 2015 年春季, 最高值出现在 gch-7 采样点, 为 51.290 g/m², 最低值为 1.024 g/m² (图 2e), 全年平均生物量最大值出现在 gch-5 采样点, 为 50.460 g/m²。在各个季度中, 密度和生物量最高值均出现在固城湖的中北部等固定区域, 且密度最高值主要分布在 gch-2、gch-3 以及 gch-4 等采样点, 生物量最高值集中在 gch-2、gch-5 等采样点, 空间格局较为一致, 而在湖区中南部区域, 密度和生物量均较低。

从不同类群底栖动物所占比重可以看出。密度方面, 在各个采样点中, 寡毛类和摇蚊幼虫主导了密度的空间分布状况, 软体动物所占比重相对较低; 同时, 随着时间向冬、春季过渡, 底栖动物密度有所提高, 寡毛类、摇蚊幼虫的密度在各采样点均有很大程度的增大, 软体动物密度随季节变化不明显, 其主要原因可能与不同种类底栖动物的生长习性相关, 冬春季为摇蚊幼虫在泥水界面的繁殖期, 在密度方面占比较大; 随着温度的升高, 摇蚊幼虫逐渐羽化, 密度占比降低。生物量方面, 随着时间向冬、春季过渡, 底栖动物生物量均

表 2 2015 年 3 月至 2016 年 2 月固城湖底栖动物密度和生物量

种类	Taxa	平均密度 ind./m ²	相对密 度 %	平均生物 量 g/m ²	相对 生物量 %	出现 频率	优势度 指数
寡毛类	<i>Oligochaeta</i>						
霍甫水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	167	4.99	0.928	0.63	6	33.71
苏氏尾鳃蚓	<i>Branchiura sowerbyi</i>	333	9.95	10.772	7.32	10	172.68
中华河蚓	<i>Rhyacodrilus sinicus</i>	83	2.48	0.082	0.06	4	10.14
管水蚓	<i>Aulodrilus sp.</i>	6	0.18	0.002	0.00	2	0.36
单孔蚓	<i>Monopylephorus sp.</i>	12	0.36	0.003	0.00	2	0.72
带丝蚓	<i>Lumbriculus variegatum</i>	8	0.24	0.012	0.01	1	0.25
豹行仙女虫	<i>Nais pardalis</i>	5	0.15	0.009	0.01	2	0.31
参差仙女虫	<i>Nais variabilis</i>	2	0.06	0.007	0.00	2	0.13
摇蚊幼虫	<i>Chironomidae</i>						
中国长足摇蚊	<i>Tanypus chinensis</i>	897	26.79	4.925	3.35	8	241.12
内摇蚊属	<i>Endochironomus sp.</i>	1198	35.78	12.277	8.34	10	441.27
羽摇蚊	<i>Chironomus plumosus</i>	87	2.60	2.446	1.66	6	25.57
红羽摇蚊	<i>Chironomus plumosus-reductus</i>	349	10.42	14.760	10.03	4	81.83
半折摇蚊	<i>Chironomus semireductus</i>	63	1.88	2.806	1.91	3	11.37
前突摇蚊	<i>Procladius choreus</i>	24	0.72	0.740	0.50	1	1.22
毛突摇蚊	<i>Chaetocladius sp.</i>	8	0.24	0.046	0.03	1	0.27
红裸须摇蚊	<i>Prosilocerus akamusi</i>	48	1.43	0.044	0.03	5	7.32
太湖德永摇蚊	<i>Tokunagayusurika taihuensis</i>	5	0.15	0.002	0.00	1	0.15
摇蚊属	<i>Tendipes sp.</i>	3	0.09	0.009	0.01	2	0.19
侧叶雕翅摇蚊	<i>Glyptotendipes lobiferus</i>	2	0.06	0.006	0.00	2	0.13
软体动物	<i>Mollusca</i>						
环棱螺	<i>Bellamya sp.</i>	32	0.96	90.363	61.42	3	187.13
长角涵螺	<i>Alocinma longicornis</i>	16	0.48	6.884	4.68	2	10.31

* 相对密度和相对生物量分别为某一物种占总密度和总生物量的百分比, 出现频率为某物种在所有采样点中的出现次数, 优势度指数 = (相对密度 + 相对生物量) × 出现频率。

有所提高, 但由于软体动物的特殊性, 软体动物生物量所占比重大, 特别是夏、秋季, 导致其它底栖动物相对变化不明显。总体而言, 寡毛类、摇蚊幼虫共同主导了固城湖底栖动物密度的空间分布格局; 生物量方面, 个体较大的软体动物在各个季度均占据绝对优势。

3.2 水质状况评价

利用全年 12 个月的底栖动物监测数据, 计算各采样点四种生物学指数得分 (图 3 ~ 图 6) 结果显示, 寡毛类平均密度均不高, 在全部点位介于 8 ~ 127 ind./m² 之间, 除 gch-9 采样点外均低于 100 ind./m², 属于轻污染状态, gch-9 采样点

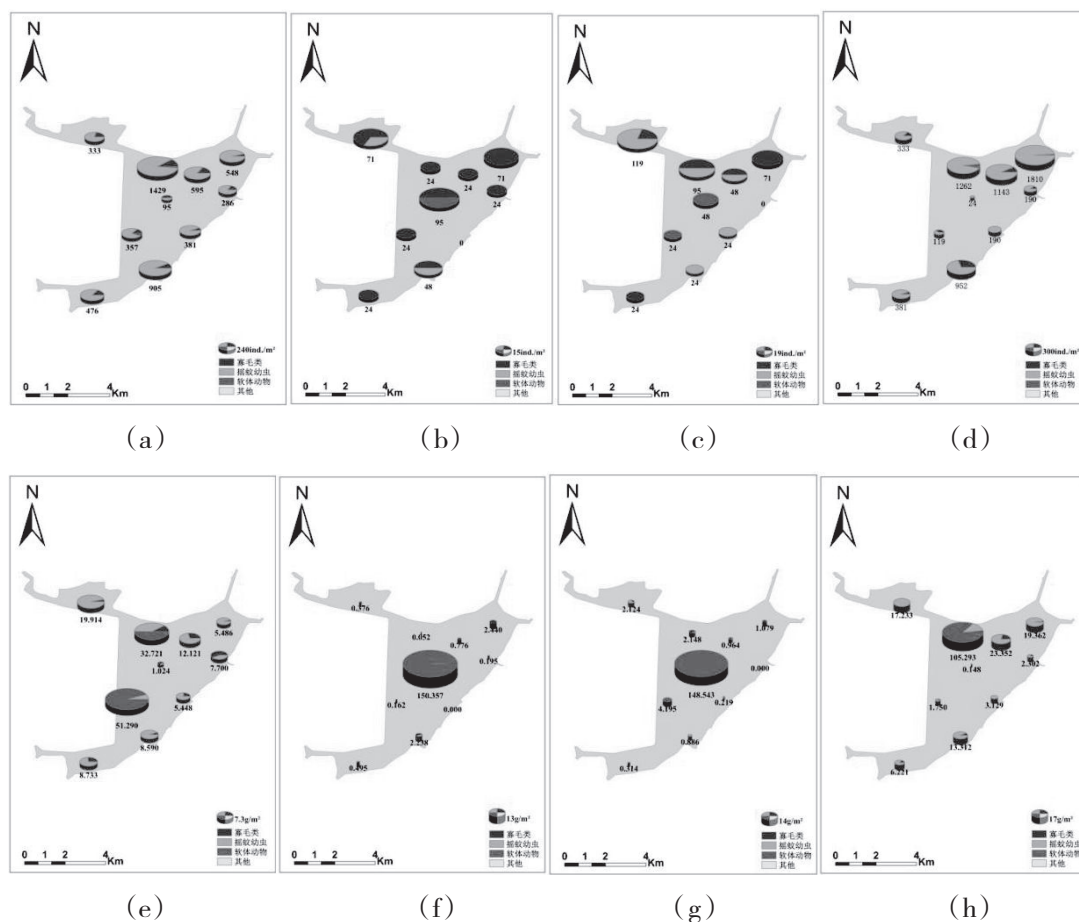


图2 固城湖底栖动物密度 (ind./m^2) 和生物量 (g/m^2) 空间分布格局

位于固城湖东南部水域, 靠近居民区, 附近有吴家村等7个自然村, 人类生产生活产生的污染物经河流汇入湖中, 比较适合底栖动物的生长繁殖, 特别是污染指示作用较强的寡毛类。寡毛类平均密度最高值为 127 ind./m^2 , 出现在 gch-9 采样点, 平均密度最低值为 8 ind./m^2 , 出现在 gch-8 采样点。由图4可以看出, 固城湖所有10个采样点的 Goodnight 指数小于0.5, 其中 gch-5 采样点 Goodnight 指数最高, 为0.5, 最低值出现在 gch-8 采样点, 为0.06, 说明固城湖整体处于轻污染状态。从图5可以看出, 固城湖10个采样点的 BPI 指数均介于1.0 ~ 3.5之间, 说明固城湖依照 BPI 指数分析法处于中污染状态, 同时可以看出固城湖污染状态呈现地理区域特点, 中部主要表现出 α -中污染, 环湖沿岸带主要表现为 β -中污染。从图6可以看出, 固城湖10个采样点的 Shannon-wiener 指数均在1.5 ~ 2.5之间, 说明固城湖水质整体处于中污染状态。可以发现, 4种指数评价结果显示固城湖现状态处于轻度-中度污染时期, 属于富营养化过程的初中期。

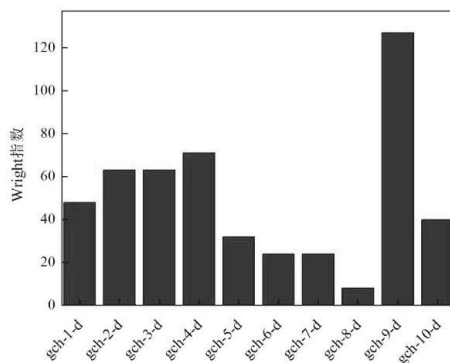


图3 固城湖各采样点底栖动物 Wright 指数

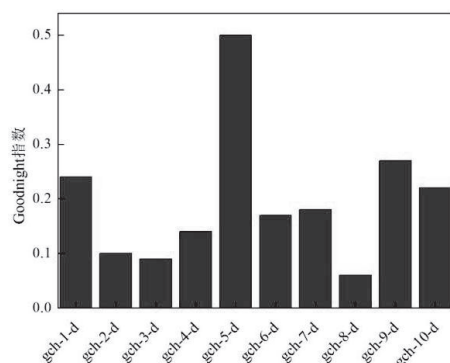


图4 固城湖各采样点底栖动物 Goodnight 指数

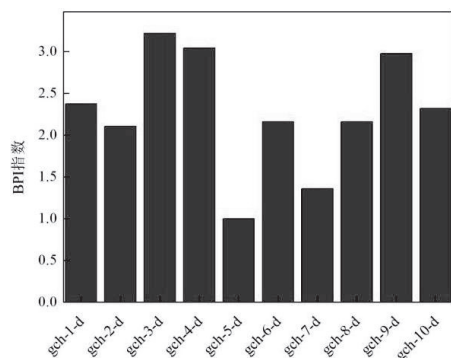


图 5 固城湖各采样点底栖动物 BPI 指数

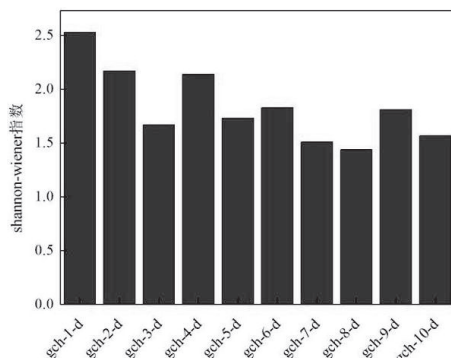


图 6 固城湖各采样点底栖动物 Shannon-wiener 指数

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 固城湖 2015 ~ 2016 年度底栖动物主要以摇蚊幼虫为主, 共鉴定出摇蚊幼虫 11 种, 占总种类数的一半以上, 密度方面也是摇蚊幼虫占比最高, 所有种类摇蚊幼虫密度总和占总密度的 80.16%, 其中密度排在前两位的内摇蚊属和中国长足摇蚊的密度分别为 1198 ind./m^2 和 897 ind./m^2 , 分别占总密度的 35.78% 和 26.79%。生物量方面除去个体较大的软体动物, 也是摇蚊幼虫占比较高。内摇蚊属与中国长足摇蚊也是湖区常见种和优势种。

(2) 根据固城湖底栖动物分布可以看出, 在各个季度中, 密度和生物量最高值均出现在固城湖的中北部等固定区域, 空间格局较为一致, 而在湖区中南部区域, 密度和生物量均较低。这种密度、生物量空间分布格局与固城湖的地理位置以及功能区划有密切关系, 固城湖位于高淳市区的南部, 固城湖北部水域紧邻居民区, 人类生产生活加剧对固城湖北部水域的生态环境恶化, 对污染指示物种影响较大。而固城湖南部为开阔水域, 随着对

人工渔业养殖的控制, 底栖动物作为鱼蟹类的主要天然饵料, 生长繁殖受到一定的抑制。

固城湖底栖动物的年际变化, 在冬、春季, 底栖动物密度有所提高, 寡毛类、摇蚊幼虫的密度在各采样点均有很程度的增大, 随着温度的升高, 摇蚊幼虫逐渐羽化成摇蚊成虫后离开水体, 密度开始下降。生物量方面变化相类似, 但由于软体动物的特殊性, 软体动物生物量所占比重过大, 在各个季度均占据绝对优势。

(3) 根据各生物学指数结果表明固城湖水质相对较好, 整体处于轻 - 中度污染状态, 但是结合底栖动物种类组成和多样性分析结果, 耐污能力较强的种类 (苏氏尾鳃蚓、霍甫水丝蚓等) 在固城湖优势度较高, 表明固城湖水生态环境存在水质污染恶化的潜在危险。

4.2 建议

固城湖水生态环境目前正处于一个关键阶段, 应当继续进行相关生态方面的实时监测、治理, 同时加强宣传管理, 减少污染源头的扩大化、严重化。受胥河以及固城湖环湖工农业生产的影响, 固城湖的湖水已经受到影响, 营养水平已经较高, 有水环境恶化的潜在危险, 同时固城湖属于相对封闭型湖泊, 出入湖河道较少, 正常年份的换水周期较长, 在一定程度上更加剧了水环境的恶化。

首先固城湖可在夏季合理调控其水体水位, 加快湖水交换, 如夏季上游长江水位较高时, 引长江水交换湖水, 缩短湖水的交换周期, 降低湖水中营养物质的浓度; 其次严格控制输入固城湖的氮磷含量, 固城湖原有大堤已修建成浆砌石护坡, 原有植被已被破坏, 要有计划地进行植被的修复, 使固城湖沿岸成为绿色屏障, 削减面源营养物质, 建立生态缓冲带, 有效控制氮磷输入固城湖。

固城湖作为高淳区最大的饮用水源地, 要加强监控, 可采用人工监测、水质自动监测与卫星遥感相结合的方式, 高密度监控固城湖水水质生态发展的趋势, 及时预警, 采取合适措施应对。

参考文献:

- [1] 任淑智. 北京地区河流中大型底栖无脊椎动物与水质关系的研究 [J]. 环境科学学报, 1991, 11 (1): 31-46.
- [2] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 293-294.

(下转第 25 页)



(上接第 19 页)

- [3] 姚书春, 薛滨, 王小林. 人类活动影响下的固城湖环境变迁[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1):88-92.
- [4] 毛春梅, 张文锦. 固城湖富营养化评价及防治对策[J]. 安徽农业科学, 2007, 38(28):9005-9006, 9030.
- [5] 杨喆, 程灿, 谭雪, 等. 基于水质和水量视角下的水环境承载力研究——以高淳固城湖流域为例[J]. 环境保护科学, 2016, 42(1):70-76.
- [6] Yin Xuwang, Li Qingnan, Zhu Meihua et al. Community structure and biological integrity of macroinvertebrates in the wet and dry seasons of Wei River basin, China.[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14):4784-4796.
- [7] 蔡永久, 刘劲松, 戴小琳, 等. 长荡湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5):1224-1232.