

常熟铁黄沙河段浮游生物的调查分析

景丽^{1,2}, 周彦锋², 徐东坡², 刘凯², 段金荣², 张敏莹², 施炜纲^{2*}

(1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院 农业部长江下游渔业资源环境科学观测实验站/内陆渔业生态环境和资源重点开放实验室 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081)

摘要: 为了解工程建设之前铁黄沙水域浮游生物群落的结构及水质状况, 2011年6月对该河段13个监测点进行浮游生物的调查。结果表明: 铁黄沙水域浮游植物共有5门28属36种, 浮游动物包括原生动物、轮虫、枝角类、桡足类, 共有22种。铁黄沙水域不同断面浮游生物种类组成的不同, 但整体看来, 浮游植物组成以硅藻为主, 浮游动物以轮虫为主。浮游生物量和密度在各个样点波动较大, 从断面上表现为铁黄沙断面高于上游和下游断面, 这是由于在各个样点种类组成和水文环境等差别造成的。根据所测数据对浮游生物多样性 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数进行计算, 浮游植物 Shannon-Wiener 指数为 1.84~2.80, 平均为 2.33, Pielou 均匀度指数变动范围为 0.74~0.97, 平均为 0.91; 浮游动物 Shannon-Wiener 指数在 1.24~2.10 之间变动, 平均为 1.76, Pielou 均匀度指数在 0.456~0.813 之间变动, 平均为 0.680。综合判定常熟铁黄沙河段浮游生物群落结构较为稳定, 水质属于中度污染。

关键词: 长江铁黄沙江段; 浮游生物; 群落; 生物多样性

中图分类号: Q179.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2012)06-1226-06

A Survey Analysis of the Plankton in the Changshu Tiehuangsha River

JING Li^{1,2}, ZHOU Yan-feng², XU Dong-po², LIU Kai²,
DUAN Jin-rong², ZHANG Min-ying², SHI Wei-gang^{2*}

(1. Wuxi Fishery College, Nanjing Agriculture University, Wuxi 214081, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture Key Laboratory of Ecological Environment and Resources of Inland Fisheries, Freshwater Fisheries Research Center, CAFS, Wuxi 214081, China)

Abstract: In order to understand the plankton community structure and water quality of the Changshu Tiehuangsha section of the Changjiang River at the prior period of the project, a survey was taken at the 13 river monitoring points in June 2011. 36 species, 28 genera and 5 phylum of phytoplankton were observed and 78 species of zooplankton including the Protozoa, the Rotifer class, the Cladocera, the Copepoda were also observed. The observation indicated that the plankton composition of diversity of the Tiehuangsha River was different at individual sample points. The Diatoms and rotifer were the dominant species in phytoplankton and zooplankton on the whole. The diversity index of plankton changed greatly at the different sample points. The biomass of the plankton in the Tiehuangsha section was larger than that in the upstream and downstream

收稿日期: 2012-06-12 修回日期: 2012-08-20

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203065)、嘉兴市科技支撑计划(2010AY1009)和中央级公益性科研基本专项资金(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心)资助项目(2011JBFA05 2011JBFA06)

作者简介: 景丽(1988—)女, 硕士生, 主要从事渔业资源调查研究, E-mail: flyingfreesoul@126.com; * 通讯作者: 施炜纲, 研究员, E-mail: shiwg@ffrc.cn。

sections ,which was due to the difference in species composition in individual samples and hydrological environment. The plankton diversity of Shannon–Wiener index and Pielou indexes calculated based on the measured data. The phytoplankton Shannon–Wiener indexes were between 1.84 to 2.80 ,the average value was 2.33 , Pielou indexes changed in the range of 0.74 –0.97 ,the average value was 0.91. The zooplankton Shannon–Wiener indexes changed between 1.24 –2.10 with the average value of 1.76 ,Pielou indexes changes in the range of 0.456 –0.813 ,the average value was 0.680. In summary ,the Changshu Tiehuangsha section was classified as the moderately polluted ,and the composition and structure of plankton community were relatively stable.

Key words: the Yangtze River Tiehuangsha section; plankton; community; biological diversity

常熟铁黄沙水域为长江常熟江段重要渔区 ,长江径流、潮水的涨落以及望虞河、北福山塘、耿泾等支流河水的汇入为铁黄沙水域带来了丰富营养物质 ,由于潮汐作用 ,多数淡水、半咸水鱼类都能够在此栖息、繁殖和索饵 ,同时该水域又是洄游性鱼类的过境通道 ,因此渔业资源十分丰富。常熟港拥有 37.5 km 长江岸线 ,属国家一类开放口岸。为了合理开发和有效利用岸线资源 ,使常熟港更好地为常熟市“十二五”新目标服务 ,常熟市港口局启动铁黄沙开发及福山水道南岸边滩整治工程 ,工程的建设是否会对该

水域水文环境和浮游生物群落造成影响、可能会造成怎么样的影响? 本文就这些问题在工程前期对该水域进行了取样调查 ,来作为工程完工后调查的一个对比参考数据。

浮游生物多样性是水域生态系统功能的重要评价指标之一 ,其种类组成和现存量的变动能及时准确地反映水域生态环境质量的优劣^[1]。本文对常熟铁黄沙段浮游生物的种类和数量初步调查分析 ,在此基础上运用生物多样性指数法对水质进行了评价 ,调查结果可作为常熟港工程建设完成后浮游生物种群状况、特征变化和水质研究的可比性的基础数据。

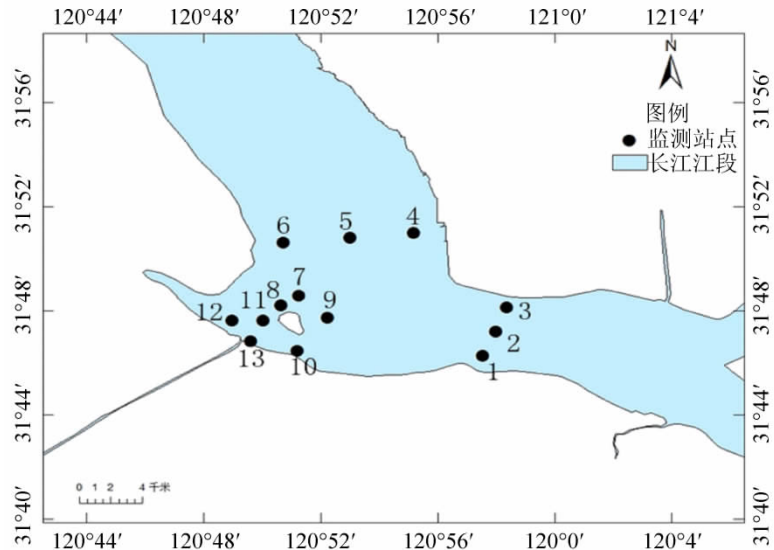


图 1 监测站点具体位置

Fig. 1 The specific location of the monitoring site

作为常熟港工程建设完成后浮游生物种群状况、特征变化和水质研究的可比性的基础数据。

1 材料和方法

1.1 采样点的设置

根据常熟铁黄沙的水域地理特点以及工程涉及水域 ,将该水域划分为 3 个断面 ,设置 13 个水样采集样点(图 1) ,其中包括支流汇入处(13 号采样点)。铁黄沙下游断面布设 1~3 号采样点;铁黄沙上游断面布设了 4~6 号采样点;铁黄沙断面布设了 7~13 号采样点。每个采样点均记录下该点的环境因子。

1.2 浮游生物样品的采集

1.2.1 浮游植物和浮游动物定性标本采集 使用 25 号浮游生物网(浮游甲壳动物使用 13 号浮游生物网)。使用时网口在水面下 0.5 m 处作回环运动 ,大约 1 min 左右。所采集水样及时用 4% 甲醛溶液固定 ,带回实验室进行浮游生物种类的定性鉴定^[2-4]。

1.2.2 浮游植物的定量采集 用水生 81 型有机玻璃采水器(容积 5 000 mL) 分别等量采取断面的上、下层水样 4 次 ,集中于 10 000 mL 容器中加以混合后 ,取出 1 000 mL 并立即加入 15 mL 鲁哥氏固定液 ,带回实验室静置浓缩 ,进行浮游植物的定量鉴定^[2-3]。

1.2.3 浮游动物的定量采集 在定性采样之前用采水器采集,每个采样点采水样 50 L,再用 25 号浮游生物网过滤浓缩至 100 mL,放入标本瓶中,加入甲醛固定液,使浓度达到 4% ~ 5%,样品带回实验室静置浓缩并进行浮游动物的定量鉴定^[2-3]。

1.3 数据处理

以优势度(Y) 判断群落的优势种,优势度的计算公式为:

$$Y = (n_i / N) \times f_i \tag{1}$$

(1) 式中 n_i 为第 i 个种的丰度, N 为样品的总丰度, f_i 为该种的站位出现频率。以优势度 $Y > 0.02$ 的标准来确定优势种类^[5]。

用 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数来分析群落的多样性^[6-7]。生物多样性指数和均匀度的计算采用 Shannon - wiener 和 Pielou 公式:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad E = H/H_{\max} \tag{2}$$

(2) 式中 $P_i = N_i/N$, $H_{\max} = \ln S$ 。 H' 为实际观察的物种多样性指数, E 为均匀度指数, N_i 为 i 种物种密度(ind. /L), N 为群落中所有物种的总密度(ind. /L), S 为群落中的总物种数。

2 结果与分析

2.1 群落的结构特征

2.1.1 浮游生物的种类组成 经过镜检和鉴定,在铁黄沙 13 个采样点共检出浮游植物 5 门 28 属 36 种(表 1),其中多数为硅藻,有 13 属 18 个种,在种类组成上占绝对优势,占种类组成的 50.00%;其次为绿藻共发现有 8 属 10 种,占种类组成的 27.78%;再次为蓝藻门,有 3 属 3 种占 8.33%,最后为裸藻门 2 属 2 种占 5.56% 和隐藻门 2 属 3 种占 8.33%。

表 1 常熟铁黄沙浮游植物监测名录

Tab.1 The phytoplankton monitoring list of Changshu Tiehuangsha

种类 Species	种类 Species	种类 Species
蓝藻门 Cyanophyta	13 短楔形藻 <i>Licmophora abbreviata</i>	绿藻门 Chlorophyta
1 小颤藻 <i>Oscillatoria tenuis</i>	14 双头针杆藻 <i>S. amphicephala</i>	25 普通球衣藻 <i>C. globosa</i>
2 针状蓝纤维藻 <i>D. acicularis</i>	15 肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>	26 小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>
3 色球藻 <i>Microcystis sp.</i>	16 尖布纹藻 <i>G. avuminatum</i>	27 四尾栅藻 <i>S. quadricauda</i>
隐藻门 Cryptophyta	17 针状菱形藻 <i>N. acicularis</i>	28 斜生四尾栅藻 <i>S. obliquus</i>
4 尖尾蓝隐藻 <i>Chroomonas acuta</i>	18 帽形菱形藻 <i>N. paleae</i>	29 镰形纤维藻 <i>A. falcatus</i>
5 卵形隐藻 <i>Cryptomonas ovata</i>	19 胡斯特桥弯藻 <i>Cymbella sp</i>	30 镰形纤维藻变异种 <i>A. f. var. nirabilis</i>
6 侵蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>	20 卵圆双眉藻 <i>A. ovalis</i>	31 黏四集藻 <i>P. mucosa</i>
硅藻门 Bacillariophyta	21 美丽星杆藻 <i>Asterionella Formosa</i>	32 美丽水绵 <i>Spirogyra sp</i>
7 意大利直链藻 <i>Melosira italica</i>	22 大羽纹藻 <i>P. majior</i>	33 四射星藻 <i>P. biradiatum</i>
8 变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	23 钝脆杆藻 <i>F. capucina</i>	34 中型新月藻 <i>Closterium sp</i>
9 梅尼小环藻 <i>C. meneghiniana</i>	24 卡式双菱藻 <i>S. capronii</i>	裸藻门 Euglenophyta
10 线性舟形藻 <i>N. graciloides May</i>		35 尖尾裸藻 <i>Euglena oxyuris</i>
11 绿舟形藻 <i>N. viridula</i>		36 扁裸藻 <i>Phacus spp</i>
12 双头舟形藻 <i>Nav. dicephala</i>		

在铁黄沙 13 个采样点观察到轮虫、枝角类、桡足类和原生动物共 22 种(表 2),其中轮虫 7 种,占种类组成的 31.82%;枝角类和桡足类均为 6 种,占种类组成的 27.27%。原生动物相对较少,只有 3 种,占种类组成的 13.64%。

2.1.2 浮游生物优势种 以优势度大于 0.02 确定优势种,则铁黄沙河段共检出浮游植物优势种为 2 门 6 种,分别为绿藻门的小球藻、美丽水绵和硅藻门的双头针杆藻、绿舟形藻、尖布纹藻、梅尼小环藻。其中小球藻和梅尼小环藻的水平分布达到 100%,而隐藻门只在铁黄沙断面有发现。

表 2 常熟铁黄沙浮游动物监测名录

Tab.2 The zooplankton monitoring list of Changshu Tiehuangsha

种类 Species	种类 Species
原生动物 Protozoa	11 透明溞 <i>D. hyaline</i>
1 冠砂壳虫 <i>Diffugia corona</i>	12 筒弧象鼻溞 <i>Bosmina coregoni</i>
2 普通表壳虫 <i>A. vulgaris</i>	13 脆弱象鼻溞 <i>Bosmina fatalis</i>
3 矛状鳞壳虫 <i>Euglypha laevis</i>	14 微形裸腹溞 <i>Moina micrura</i>
轮虫类 Rotifera	15 长枝秀体溞 <i>D. leuchtenbergianum</i>
4 萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	16 僧帽溞 <i>Daphnia cucullata</i>
5 前节晶囊轮虫 <i>A. priodonta</i>	桡足类 Copepoda
6 尾突臂尾轮虫 <i>B. caudatus</i>	17 汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>
7 裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>	18 中华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>
8 较大三肢轮虫 <i>F. passa</i>	19 英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>
9 卜氏晶囊轮虫 <i>A. brightwelli</i>	20 广布中剑水蚤 <i>M. leuckarti</i>
10 矩形龟甲轮虫 <i>K. quadrata</i>	21 湖泊美丽猛水蚤 <i>N. lacustris</i>
枝角类 Cladocera	22 窄肢湖角猛水蚤 <i>L. angustodes</i>

整个河段浮游动物的优势类群为轮虫的萼花臂尾轮虫、前节晶囊轮虫和裂足臂尾轮虫;枝角类的筒弧象鼻溞和透明溞;桡足类的无节幼体和湖泊美丽猛水蚤。其中筒弧象鼻溞水平分布达到 100% ,优势度最大,为 0.17。

2.2 浮游生物的生物量和密度

浮游植物和浮游动物的生物量和密度由于受理化因子的影响在不同的采样点间存在差异。经计算,13 个采样点浮游植物密度在 $1.00 \times 10^4 \sim 1.83 \times 10^6$ ind./L 变动,平均密度 3.38×10^5 ind./L。以 12 号采样点为最高,为 1.83×10^6 ind./L,最低在 3 号样点,为 1.00×10^4 ind./L,最高点是最低点的 183 倍之多。生物量在 0.018 ~ 13.98 mg/L 之间

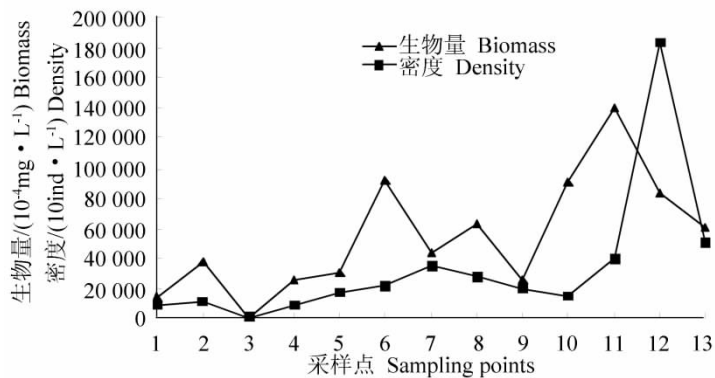


图 2 13 个采样点浮游植物生物量和密度变化趋势

Fig.2 The trends of phytoplankton biomass and density at 13 sampling points

变动,平均生物量为 5.43 mg/L。以 11 号采样点为最高,为 13.98 mg/L,最低在 3 号采样点,为 0.018 mg/L,最高点达到最低点的 776 倍之多。从趋势图(图 2)可以看出,1—6 号点铁黄沙上下游断面平均密度和生物量的整体变化趋势是一样的,而铁黄沙断面密度和生物量的变化不一致,变化幅度较大,这主要是由各个点的浮游植物细胞数量和生物量中占主导地位的种类组成存在差异造成,因为生物量的高低除与细胞数量有关外,还与细胞个体大小密切相关。

常熟铁黄沙河段 13 个采样点浮游动物密度变化范围为 8.00 ~ 100.00 ind./L,平均密度为 42.92 ind./L。最高出现在 11 号采样点,为 100.00 ind./L,最低在 8 号采样点,为 8.00 ind./L,最高值是最低值的 12.5 倍。生物量在 0.092 ~ 1.20 mg/L 之间变动,平均生物量为 1.58 mg/L。最大值出现在 9 号采样点,为 1.20 mg/L;最小值在 8 号采样点,为 0.092 mg/L,最高值达到最低值得 13 倍之多。由趋势图(图 3)可以看出,浮游动物的平均密度和生物量的最小值都出现在 8 号点,1—6 号点也就是铁黄沙上下游断面浮游动物分布较均匀,各点之间变动不明显。7—13 号点也就是铁黄沙断面各样点之间密度变化较大,浮游动物分布不均匀。生物量在各个采样点之间波动一直较大,这可能是由于各点种类组成不同,各种类细胞大小不一造成的。

2.3 生物多样性

物种多样性是指群落中物种数目的多少,它是衡量群落规模和重要性的基础^[8],是群落独特的生物学特征。物种多样性是衡量一定区域内生物资源丰富程度的一个客观指标,用于评价群落中物种组成的稳定程度及其数量分布的均匀程度和群落的结构特征,并常作为描述群落演替方向、速度和稳定程度的指标^[9]。本文用 1.3 的方法来计算各样点的浮游植物、浮游动物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数,以此来评价铁黄沙水域的浮游生物物种的数量分布和群落结构特征。

计算结果表明,铁黄沙水域浮游植物 Shannon-Wiener 指数在 1.84 ~ 2.80 波动,平均值为 2.33,其中铁黄沙断面 Shannon-Wiener 指数平均值为 2.44,而下游断面平均只 2.04,上游断面平均值为 2.34,呈现出铁黄沙断面 > 上游断面 > 下游断面的规律,表明整个铁黄沙水域的多样性较为丰富,铁黄沙断面较其他两个断面浮游植物群落多样性丰富。浮游植物 Pielou 均匀度指数变动范围为 0.74 ~ 0.97,平均均匀度为 0.91,其中铁黄沙断面均匀度均值为 0.873,下游断面均值为 0.953,上游断面均值为 0.937,呈现出铁黄沙断面 < 上游断面 < 下游断面的规律。

铁黄沙水域浮游动物 Shannon-Wiener 指数在 1.24 ~ 2.10 之间变动,平均值为 1.76。其中铁黄沙断面 Shannon-Wiener 指数平均值为 1.885,下游断面平均为 1.689,上游断面平均值为 1.587,呈现出铁黄沙断面 > 下游断面 > 上游断面的规律。浮游动物 Pielou 均匀度指数在 0.456 ~ 0.813 变动,平均均匀度为 0.680。其中铁黄沙断面均匀度均值为 0.712,下游断面均值为 0.690,上游断面均值为 0.630,呈现出铁黄沙断面 > 下游断面 > 上游断面的规律。浮游动植物的生物多样性指数变动趋势如图 4 和图 5 所示。

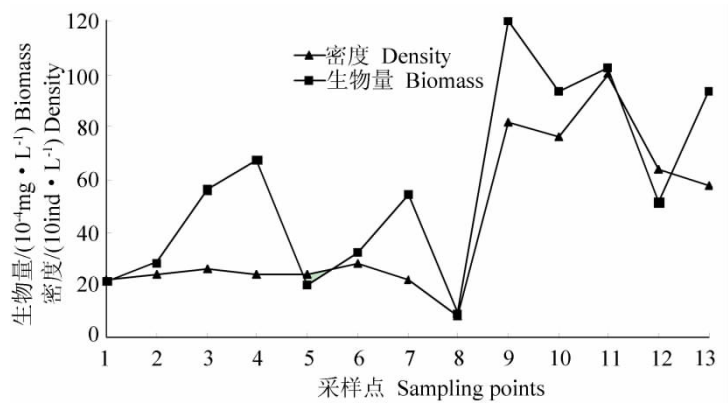


图 3 13 个采样点浮游动物生物量和密度变化趋势

Fig. 3 The trends of zooplankton biomass and density at 13 sampling points

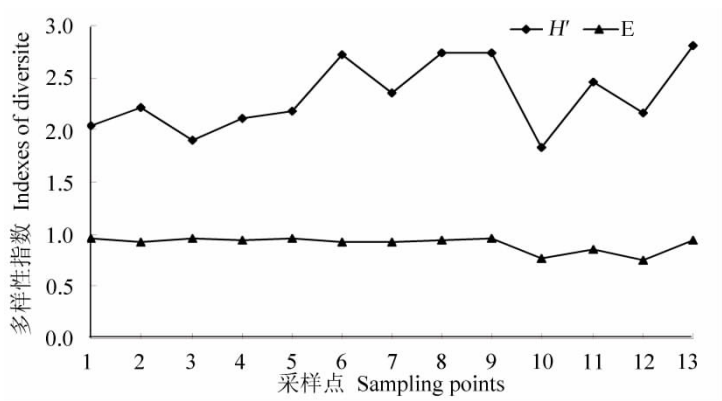


图 4 铁黄沙不同采样点浮游动物群落多样性指数

Fig. 4 Diversity indexes of zooplankton community of sampling points in the Tie huangsha

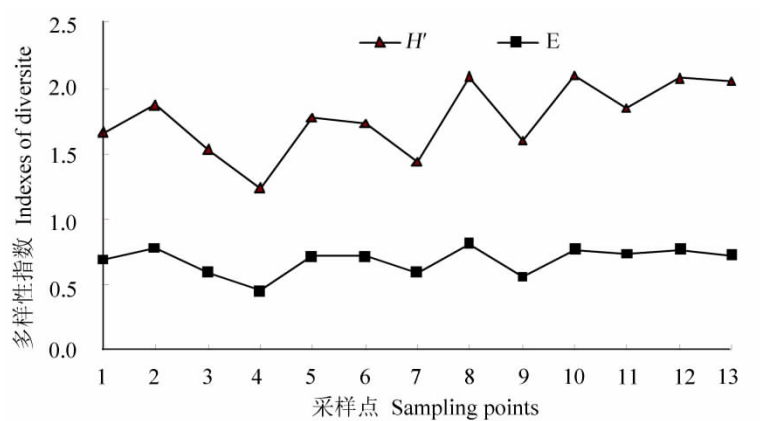


图 5 铁黄沙不同采样点浮游动物群落多样性指数

Fig. 5 Diversity indexes of zooplankton community of sampling points in the Tie huangsha

3 讨论

黄春贵^[10]1999年秋季的调查表明:长江江苏段共有浮游植物7门38种,其中硅藻占种类组成的52.23%。而本次调查(6月份)得到浮游植物5门36种,其中硅藻占种类组成的50%,与上述调查结果相比,没有发现指示极贫营养型水质的金藻门及甲藻门种类^[11],说明铁黄沙水域营养化程度尚不严重。从浮游植物种类组成上看,本次调查水域的浮游植物仍以硅藻为主,说明近些年来长江江苏段以硅藻主要种类的浮游植物群落基本结构没有变,这也在一定程度上反映出长江水质的污染程度尚不严重。

影响水体浮游植物生长的环境因子很多,主要有营养盐、温度和光照^[12];此外,水体结构和水文情势对浮游植物群落结构也有一定影响^[13]。营养盐是维持浮游植物生长繁殖的最基础的营养物质,而含量相对较少的营养盐将成为浮游植物生长的限制因子,如氮、磷。在营养水平较高的水体中($TN > 0.2 \text{ mg/L}$, $TP > 0.02 \text{ mg/L}$),营养盐对藻类的限制作用会下降,其它因素会影响藻类对营养盐的利用^[14]。本次水质调查结果中13个采样点TP(另见报告)的变动范围为 $0.06 \sim 0.18 \text{ mg/L}$,均高于 0.02 mg/L ;TN的变动范围为 $0.81 \sim 1.3 \text{ mg/L}$,均高于 0.2 mg/L 。因此,氮磷可能已不是铁黄沙段藻类生长的限制性因子。同时,对比长江同时期、同流域的湖泊等流动性较小的水体,可以看出长江的浮游植物水平较湖泊低。因此,推测长江藻类生长的重要影响因素是水体结构和水文情势工程建设^[15],常熟市港口局启动铁黄沙开发及福山水道南岸边滩整治工程,河道的开发影响到水体结构与水文情势,由此将导致此河段的浮游生物群落发生变化,具体变化程度需等工程结束后再进行取样调查,此次调查的数据可为今后的调查做数据参考。

浮游植物群落的种类组成、数量分布和多样性等群落结构特征是评价水环境质量的重要标准,浮游植物作为生物监测、评价水质污染和营养水平的重要指标,在国内外已广泛被采用并卓有成效^[16-17]。本文以Shannon-Wiener多样性指数(H')评价水质, H' 与水质的关系: $H' > 3$,轻污染或无污染; $1 < H' < 3$,中度污染; $0 < H' < 1$,严重污染^[18]。13个采样点的 H' 值在 $1.84 \sim 2.80$,下游断面 H' 为 2.04 ,上游断面 H' 为 2.34 ,铁黄沙断面 H' 为 2.44 ,均为 $1 \sim 3$,水质情况属于中度污染状态,3个断面水质污染程度为下游断面 $>$ 上游断面 $>$ 铁黄沙断面。这可能是因为铁黄沙断面处于望虞河口与长江干流交汇处,生活污水等外源污染物的注入,水流相对于上下游层面比较小,导致污染程度较严重。

参考文献:

- [1] Echaniz S A. Zooplankton seasonal abundance of south American saline shallow lakes [J]. International Review of Hydrobiology, 2006, 91(1): 86 - 100.
- [2] 张梅, 李原. 滇池浮游植物的生物多样性调查研究 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2005, 27(2): 170 - 175.
- [3] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [4] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱 [M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [5] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲎渔场的关系 [J]. 生态学杂志, 2009, 8(4): 13 - 15.
- [6] 马克平. 生物多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162 - 168.
- [7] 马克平, 刘玉明. 生物多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 4(2): 231 - 239.
- [8] 沈会涛, 刘存歧. 白洋淀浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 773 - 779.
- [9] Duggan I C, Green J D, Shiel R J. Distribution of rotifers in North Island, New Zealand and their potential use as bioindicators of lake trophic state [J]. Hydrobiologia, 2001, 446/447: 15 - 164.
- [10] 黄春贵. 长江江苏段浮游植物调查报告 [J]. 水产养殖, 2002(3): 39 - 40.
- [11] 况琪军, 马沛明, 胡征宇, 等. 湖泊富营养化的藻类生物学评价与治理研究进展 [J]. 安全与环境学报, 2005, 5(2): 87 - 91.
- [12] 林少君, 顾继光, 魏鹏, 等. 广东省公平水库与星湖生态特征的对比分析 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 773 - 779.
- [13] Dokuli M T, Katrin T. Cyanobacterial dominance in lakes: Part I. Cyanoprokaryotes and Chlorophytes across Lake Trophic Status [J]. Hydrobiologia, 2000, 438: 1 - 12.
- [14] Yong K, Morse G K, Scrimshaw M D, et al. The relation between phosphorus and eutrophication in the Thames catchment UK [J]. Science of the Total Environment, 1999, 228: 157 - 183.
- [15] 陈家长, 孟顺龙, 胡庚东, 等. 长江下游江段秋季浮游植物生态指标与理化指标评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2010, (S2): 39 - 46.
- [16] 刘东艳, 孙军, 张利永. 胶州湾浮游植物水华期群落结构特征 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(11) B: 1963 - 1966.
- [17] Vilegas, Giner. Phytoplankton as a biological indicator of water quality [J]. Wat Res, 1973, 7(3): 479 - 487.
- [18] 王朝晖, 韩博平, 胡韧, 等. 广东省典型水库浮游植物群落特征与富营养化研究 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 402 - 405.