

文章编号: 1004-7271(2008)03-0333-06

上海世博园白莲泾浮游藻类群落结构和物种多样性的研究

陈立婧¹, 顾静¹, 张饮江², 彭自然², 何培民¹

(1. 上海水产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 200090;
2. 上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:上海白莲泾生态环境是中国2010年上海世界博览会规划区的重点建设项目。2006年3月至9月对白莲泾的浮游藻类进行了调查,分析了浮游藻类的群落结构、物种多样性以及浮游藻类与水质理化参数的关系。共检出浮游藻类181种,隶属于7门82属,主要优势种为水华微囊藻、铜绿微囊藻、不定微囊藻、湖泊鞘丝藻、巨颤藻、小席藻和扭曲小环藻;浮游藻类密度年平均值为 21.03×10^4 ind./L,生物量年平均值为4.027 mg/L;浮游藻类的香农威尔多样性指数为0.94~2.47,丰富度指数为0.58~2.75,均匀度指数为0.39~0.78;涨潮时生物密度均值为 17.60×10^4 ind./L,生物量均值为0.775 mg/L;落潮时生物密度均值为 24.78×10^4 ind./L,生物量均值为1.569 mg/L。

关键词:白莲泾;浮游藻类;群落结构;物种多样性;上海世博园

中图分类号:Q 145+.1; X 524 **文献标识码:** A

The research on community structure and species diversity of planktonic algae in Bailianjing, Shanghai Expo Garden

CHEN Li-jing¹, GU Jing¹, ZHANG Yin-jiang², PENG Zi-ran², HE Pei-ming¹

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Shanghai Fisheries University, Ministry of Education, Shanghai 200090, China;

2. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: The ecological environment in Shanghai Bailianjing is the key construction project of planning area of Shanghai World Expo in China in 2010. The community of planktonic algae was investigated in Bailianjing from March to September in 2006. The species diversity and mutual relations of planktonic algae with physico-chemical parameters of water were analyzed. The results showed that there were 181 species planktonic algae in Bailianjing which belong to 7 phyla, 82 genera. Dominant species were *Microcystis flos-aqua*, *M. aeruginosa*, *M. incerta*, *Lyngbya limnetica*, *Oscillatoris princes*, *Phormidium tenue* and *Cyclotella stelligera*. The annual average density of planktonic algae was 21.0348×10^4 ind./L and the annual average biomass of planktonic algae was 4.027 mg/L. The value of Shannon-Wiener diversity index, Margalef diversity index and

收稿日期: 2007-10-30

基金项目: 国家科委(2005ba908b23); 上海市科学技术委员会(05dz05823); 上海市教委水产养殖重点学科基金项目(Y1101); 上海市教委一般项目(科05-226)

作者简介: 陈立婧(1971-), 女, 湖北恩施人, 副教授, 主要从事水生生物生态学方面的研究。E-mail: ljchen@shfu.edu.cn

通讯作者: 张饮江, E-mail: yjzhang@shfu.edu.cn

Pielou index were 0.94 – 2.47, 0.58 – 2.75 and 0.39 – 0.78 respectively. The average density of planktonic algae was 17.60×10^4 ind./L in flood tide and 24.78×10^4 ind./L in ebb tide. The average biomass of phytoplankton was 0.775 mg/L in flood tide and 1.569 mg/L in ebb tide.

Key words: Bailianjing; planktonic algae; community structure; species diversity; Shanghai Expo Garden

中国2010年上海世博会位于上海市中心城区,地处南浦大桥与卢浦大桥之间,跨越黄浦江两岸,由浦西、浦东两部分组成^[1]。白莲泾是黄浦江重要支流之一,为潮汐性河流,西起黄浦江,东流经白莲泾镇,六里、北蔡、花木、张江,然后与南汇县河流连接,全长22.5 km,并且与张家浜及川杨河相连,是浦东地区的水运要道^[2]。白莲泾世博园区段长约2 000 m^[3],其水体直接影响世博园区生态与景观效应,营造世博园区白莲泾水体景观生态,对于城市水体生态环境建设,保护城市生态安全,促进城市生态性和经济性的协调发展具有重要意义。

浮游藻类是水环境中的初级生产者和食物链的基础环节,在物质循环和能量转化过程中起着重要作用。浮游藻类群落结构的变化,往往是反映水环境状况的重要指标。以浮游藻类作为生物监测、评价水质污染和营养水平的重要指标,目前国内外均已广泛采用,并卓有成效^[4,5]。但白莲泾浮游藻类群落的研究几乎为空白,本文于2006年3月至9月对白莲泾浮游藻类进行采样观察,研究浮游藻类种类及优势种组成、密度和生物量状况、物种多样性,同时对浮游藻类群落结构指标与水质关系进行初步探讨,以为白莲泾富营养化治理、水环境评价以及世博园建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样及处理

白莲泾由北到南共设置4个采样点,如图1所示。于2006年3月至6月每月采样两次,7月14日、7月18日、8月8日、8月16日、9月7日和9月16日在涨落潮期间各采样1次。

浮游藻类定性样品用25号浮游生物网采集,光学显微镜下 10×40 倍观察,鉴定其种类;定量样品用采水器在表层、底层采水,混合后取1L混合水样,用鲁哥氏液固定后在室内沉淀器中沉淀48 h,浓缩至50 mL,取0.1 mL在计数框内计数,每个标本重复计数两次,每次计数视野数为100个。两次计数结果允许相对偏差小于 $\pm 15\%$ ^[6]。浮游藻类的种类鉴定主要依据胡鸿钧^[7]、朱浩然^[8]、施之新^[9,10]、齐雨藻^[11]等人的著作。用细胞体积法推算浮游藻类的生物量,对优势种随机测量30~50个细胞或个体的体积,求得平均值^[12]。

1.2 数据分析

采用 $Y = (N_i/N) f_i$ 计算种类优势度。其中 N_i 为第*i*种的个体数, N 为每个种出现的总个体数, f_i 为第*i*种在各站点中出现的频度。 $Y > 0.02$ 以上为优势种^[13]。

采用Shannon-Wiener物种多样性指数 $H' = -\sum (n_i/N) \ln(n_i/N)$,Margalef物种丰富度指数 $D = (S-1)/\ln N$,Pielou物种均匀度指数 $J = H'/\ln S$ 进行群落种类组成的多样性分析。其中, N 为样品中所有种类的总个体数, S 为样品中种类总数, n_i 为第*i*种物种个体数^[14]。

利用SPSS13.0进行。运用相关分析、方差分析探讨水质理化参数对浮游藻类现存量、物种多样性的影响。

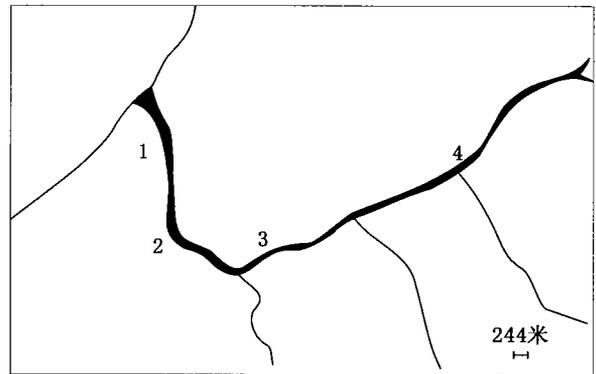


图1 白莲泾采样站点

Fig. 1 Sampling site of Bailianjing

2 结果

2.1 白莲泾浮游藻类种类组成及季节变化

2006年3月至9月共鉴定出浮游藻类181种,隶属于7门82属。其中蓝藻门14属31种,硅藻门12属18种,黄藻门4属8种,裸藻门4属7种,金藻门1属1种,甲藻门2属5种,绿藻门45属111种。

春季浮游藻类的种类约20种,夏季随着温度的升高,浮游藻类的种类也开始增多,到了8月份达到最高值,有83种。可见,夏季是浮游藻类生长迅速并且种类繁多的季节。

浮游藻类的优势种为水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)、铜绿微囊藻(*M. aeruginosa*)、不定微囊藻(*M. incerta*)、湖泊鞘丝藻(*Lyngbya limnetica*)、螺旋鞘丝藻(*L. contorta Lemn*)、极大螺旋藻(*Spirulina maxima*)、巨颤藻(*Oscillatoris princes*)、小席藻(*Phormidium tenue*)、银灰平裂藻(*Merismopedia glanca*)、扭曲小环藻(*Cyclotella stelligera*)、小箍藻(*Trochiscia reticularis*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)、针形纤维藻(*Ankistrodesmus acicularis*)、四角十字藻(*Crucigenia quadrata*)。可见优势种多为蓝藻。其中在3-6月,优势度最大的是水华微囊藻和铜绿微囊藻,分别为0.32、0.41;7-9月份,占优势的藻类分别为:扭曲小环藻、湖泊鞘丝藻、巨颤藻、小席藻、针形纤维藻,其优势度分别为0.06、0.17、0.12、0.03、0.02。

2.2 白莲泾浮游藻类的现存量

2.2.1 浮游藻类的生物密度

白莲泾浮游藻类平均生物密度为 21.03×10^4 ind./L。各站点平均生物密度有一定差异,其中3号站点浮游藻类的平均生物密度最大,达到了 25.05×10^4 ind./L;4号站点的平均生物密度最小,为 8.70×10^4 ind./L;1号站点和2号站点平均生物密度变化不大。由图2可知,在3月份,2号站点的藻类生物密度较其他站点要高,达到了 51.54×10^4 ind./L;在6,8月,3号站点的浮游藻类生物密度最高,分别达到了 21.96×10^4 ind./L、 44.42×10^4 ind./L。

白莲泾各站点浮游藻类中蓝藻生物密度最大,占绝对优势,其次是绿藻、硅藻、黄藻、裸藻、金藻、甲藻。

白莲泾浮游藻类生物密度的季节变化较明显。春季浮游藻类生物密度低,其中6月份最低,均值为 66.44×10^4 ind./L,5月份的生物密度也较低,均值为 67.88×10^4 ind./L;8月份浮游藻类生物密度最高,其均值为 204.44×10^4 ind./L。各月藻类密度均以蓝藻占绝对优势。在3月、5月,分别达到了89.80%、88.95%;夏季蓝藻密度有所下降,在8、9月所占比例为51.50%、55.88%;3、5月的绿藻密度比例为7.35%、9.11%;8、9月份达到了40.94%、30.61%。

2.2.2 浮游藻类的生物量

由图3可以看出,各站点浮游藻类生物量相差不大。3、4号站点较其他站点相对要高,其生物量是1、2号站点的1~2倍。5月份4号站点浮游藻类生物量最大,均值达到了0.241 mg/L;8月份3号站点藻类生物量最大,均值为7.320 mg/L;其余几月各站点生物量都较低,变化范围仅在0.381~1.825 mg/L。

白莲泾各站点生物量中,绿藻的生物量在5.462~13.165 mg/L,占总藻类生物量的

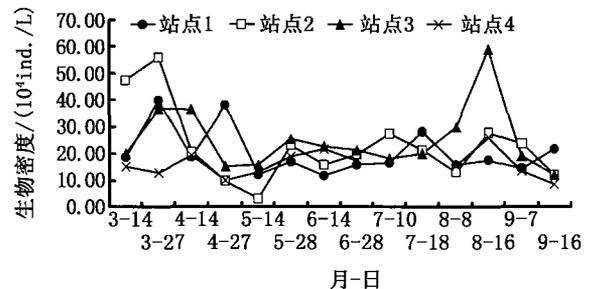


图2 2006年3月-9月白莲泾各站点浮游藻类生物密度

Fig. 2 Algae density at each sampling site of Bailianjing from March to September in 2006
(注:7月份4号站点样品缺失)

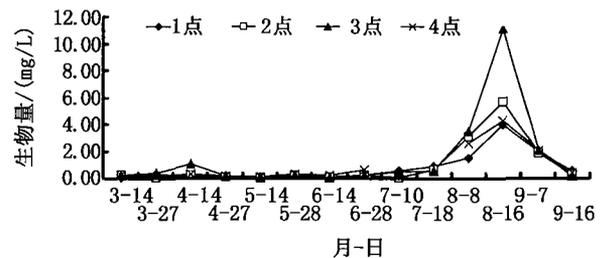


图3 2006年3月-9月白莲泾浮游藻类生物量
Fig. 3 Biomass of planktonic algae in Bailianjing from March to September in 2006

(注:7月份4号站点样品缺失)

49.76% ~ 64.11% ;其次是蓝藻,生物量在 3.227 ~ 5.112 mg/L,占 26.99% ~ 31.51% 。1 号站点蓝藻生物量较其他站点要高,达到 31.51% ;3 号站点绿藻生物量较其他站点高,达到 64.11% 。

白莲泾浮游藻类的生物量随着季节的变化而变化。夏季有一个上升的过程,可见随着温度的升高,浮游藻类的生物量也大幅增长,8 月份达到了最高值,其均值为 4.499 mg/L; 春季浮游藻类的生物量较低,5 月份最低,均值仅为 0.169 mg/L。浮游藻类生物量占绝对优势的是绿藻,占浮游藻类总生物量的 65% 左右;其次是蓝藻、黄藻;其余几门藻类所占比例不大,合计只占 10% 。

2.3 白莲泾浮游藻类的物种多样性

由图 4 可知,香农-威尔指数(H')和物种丰富度指数(D)从 7 月份开始有一个上升的趋势,其均值在 7-9 月份较高,达到了 1.88 和 1.61; 5 月份较低,为 1.02 和 0.74。均匀度指数变化不大。

藻类的三种多样性指数与现存量之间存在一定的相关性。其中物种丰富度指数与均匀度指数都随着生物密度的增加而降低;而三种指数与生物量之间呈极显著正相关关系,即随生物量增加而升高(表 1)。

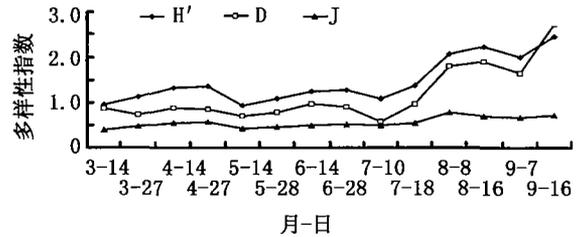


图 4 白莲泾 2006 年 3 月 - 9 月浮游藻类物种多样性指数均值

Fig. 4 Shannon-Wiener, species richness and evenness of planktonic algae of Bailianjing from March to September in 2006

表 1 多样性指数与现存量的相关性分析

Tab. 1 Regression analysis of density and biomass with Shannon-Wiener, species richness and evenness

	香农-威尔指数(H')			物种丰富度指数(D)			均匀度指数(J)		
	r 值	F 值	P	r 值	F 值	P	r 值	F 值	P
生物密度	-0.111	0.169	>0.1	-0.173	0.194	>0.1	-0.223	0.345	>0.1
生物量	0.485**	1.142	<0.01	0.438**	9.399	<0.01	0.354**	0.843	<0.05

** : P < 0.01

2.4 白莲泾水质理化参数与浮游藻类群落关系

由表 2 可知,水温与藻类生物量香农威尔指数和物种丰富度指数呈极显著正相关性;溶解氧、氨氮、活性磷与生物密度、生物量、三种多样性指数呈显著负相关性;总磷与生物量、香农威尔指数、物种丰富度指数呈显著负相关。

表 2 理化参数与浮游藻类密度、生物量和多样性指数的相关性分析

Tab. 2 Regression analysis of physico-chemical parameters with density, biomass and Shannon-Wiener, species richness and evenness

参数	生物密度	生物量	香农威尔指数	物种丰富度指数	均匀度指数
水温	r 值 0.329	0.607**	0.631**	0.611**	0.403
pH 值	r 值 -0.259	-0.403	-0.393	-0.354	-0.251
溶解氧	r 值 -0.378	-0.641**	-0.688**	-0.630**	-0.467*
高锰酸盐指数	r 值 -0.495*	-0.829**	-0.765**	-0.629**	-0.550*
生化需氧量	r 值 0.226	0.320	0.374	0.241	0.329
氨氮	r 值 -0.132	-0.555**	-0.722**	-0.747**	-0.589**
活性磷	r 值 -0.401	-0.804**	-0.692**	-0.751**	-0.367
总磷	r 值 -0.259	-0.549*	-0.541*	-0.573*	-0.387

** : P < 0.01, * : P < 0.05, n = 56

以下为生物密度、生物量及三种多样性指数与理化数据进行的逐步回归线性分析结果:

$$D_p = 56.731 - 3.106COD_{Mn}$$

$$(t_{常数} = 3.528, P = 0.003; t_{COD_{Mn}} = -2.142, P = 0.048)$$

$$B_D = 17.925 - 1.431 \text{COD}_{Mn}$$

$$(t_{\text{常数}} = 6.346, P = 0.000; t_{\text{COD}_{Mn}} = -5.619, P = 0.000)$$

$$H' = 4.036 - 0.179 \text{COD}_{Mn} - 0.098 \text{氨氮}$$

$$(t_{\text{常数}} = 7.622, P = 0.000; t_{\text{COD}_{Mn}} = -3.410, P = 0.004; t_{\text{氨氮}} = -2.796, P = 0.014)$$

$$D_1 = -2.699 - 0.062 \text{活性磷} - 0.318 \text{硝氮} + 0.153 \text{水温}$$

$$(t_{\text{常数}} = -1.415, P = 0.179; t_{\text{活性磷}} = -0.047, P = 0.963; t_{\text{硝氮}} = -4.366, P = 0.001; t_{\text{水温}} = 2.828, P = 0.013)$$

$$D_2 = -2.799 - 0.320 \text{硝氮} + 0.155 \text{水温}$$

$$(t_{\text{常数}} = -3.293, P = 0.005; t_{\text{硝氮}} = -6.010, P = 0.000; t_{\text{水温}} = 5.612, P = 0.000)$$

$$J = 0.927 - 0.986 \text{亚硝氮} - 0.065 \text{硝氮}$$

$$(t_{\text{常数}} = 10.708, P = 0.000; t_{\text{亚硝氮}} = -3.420, P = 0.004; t_{\text{硝氮}} = -2.201, P = 0.044)$$

2.5 白莲泾涨落潮时浮游藻类生物密度及生物量

由表3可知,白莲泾浮游藻类的现存量在涨潮与落潮时有一定差异。从生物密度来看,7月初和8月初涨潮时浮游藻类的生物密度要比落潮时大,均值为 $78.39 \times 10^4 \text{ ind./L}$;从8月中旬开始,落潮时浮游藻类的生物密度比涨潮时大,均值为 $125.04 \times 10^4 \text{ ind./L}$;从生物量来看,落潮时浮游藻类的生物量要比涨潮时大,均值为 1.569 mg/L ;但7月上旬及9月上旬,涨潮时的生物量要略大于落潮时的生物量。

表3 涨落潮时各站点浮游藻类生物密度及生物量均值

Tab.3 The density and biomass of algae in each site during flux and reflux

现存量	站点1		站点2		站点3		站点4	
	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
生物密度 (10^4 ind./L)	19.40	15.23	14.01	23.57	21.60	38.53	14.31	20.79
生物量 (mg/L)	0.719	0.395	0.742	1.448	0.735	2.782	0.970	1.680

将以上数据进行统计分析,发现涨潮与落潮时两者的生物密度及生物量之间存在极显著的正相关性, r 值为0.887, $P < 0.01$ 。

以下为涨落潮生物量与理化数据逐步回归线性分析(B_D 为生物量):

$$\text{涨潮: } B_D = -3.825 - 0.990 \text{COD}_{Mn} + 0.449 \text{水温}$$

$$(t_{\text{常数}} = -0.565, P = 0.583; t_{\text{COD}_{Mn}} = -4.108, P = 0.002; t_{\text{水温}} = 2.220, P = 0.048)$$

$$\text{落潮: } B_D = 8.826 - 0.631 \text{COD}_{Mn}$$

$$(t_{\text{常数}} = 3.317, P = 0.009; t_{\text{COD}_{Mn}} = -2.674, P = 0.025)$$

3 讨论

3.1 白莲泾浮游藻类群落结构

从水平分布来看,白莲泾的4号站点浮游藻类密度最少,3号站点浮游藻类密度最大;而生物量是4号站点最高,可能是因为4号站点有较多生物量大的黄丝藻、新月藻和裸藻。藻类的生物密度和生物量夏季较高,春季较低。在6月达到第一个高峰,8月份生物密度达到最大值,造成8月藻类爆发的主要原因是:水温较高,适合蓝藻门的藻类生长,同时氮磷含量也较高,为藻类生长提供了充足的营养。

一般认为浮游藻类或多或少存在时空上的不规则分布,这是由诸如温度、水流和光照等各种环境因子^[15,16]和种间关系^[17]作用的结果。本次调查发现,在春季占优势的蓝藻门中,优势种为水华微囊藻和铜绿微囊藻;在夏季,这两种微囊藻数量下降,但伴随着另外三种蓝藻的大量出现,即湖泊鞘丝藻、巨颤藻和小席藻。所以种间竞争可能是主要的影响因素,后者更适应于相对较高的水温。优势种几乎都被蓝藻门占据,这说明白莲泾的污染程度比较严重。白莲泾藻类优势种与Tuges河口^[18]基本一致;

与苏州河浮游藻类优势种^[19]季节变化规律相比,情况基本一致,即随气温的升高,优势种种类增多。

3.2 白莲泾浮游藻类群落特征与理化参数的关系

通过调查发现,白莲泾浮游藻类三种多样性指数呈一定的时间变化。其中香农威尔指数与物种丰富度指数变化较大,夏季较高,春季较低。与苏州河浮游藻类多样性指数^[19]大致相同,都在夏季开始上升。

白莲泾浮游藻类多样性指数与理化数据存在一定的相关性。三种多样性指数与高锰酸盐指数、氨氮及总磷等都呈负相关,并达到显著水平,推断是由于水体中氮、磷含量的升高,导致藻类生物密度及生物量下降,仅有耐污力较强的蓝藻能存活;三种多样性指数与溶解氧指数呈正相关关系,可能是由于水体中溶解氧较高,水质较好,适合藻类生长。

3.3 白莲泾涨潮与落潮的比较

白莲泾的生物密度和生物量都是落潮比涨潮时高,可能是河道内潮流倒灌与下泄径流的相互变化作用^[20],由涨潮带来的大量藻类依然在水中,使得落潮时生物密度与生物量较高。

涨落潮时,其现存量都与高锰酸盐指数存在线性关系。可推断,涨落潮时水体中浮游藻类现存量的大小与水体中有机物含量有关,由于潮流所携带的周边地区污染负荷,同时导致水体中有机物的变化,从而影响了浮游藻类的现存量。

因此,潮汐对白莲泾水质有一定影响,高潮水质明显比低潮水质要好。潮流倒灌与下泄径流的相互作用,会即时反映在河道涨落潮时浮游藻类现存量的变化,从而反应水质的变化。

参考文献:

- [1] 张浪. 上海世博公园规划设计国际征集方案评价[J]. 中国园林, 2007(6): 44-48.
- [2] 陆勤. 浦东新区河网引清调水试验研究[J]. 水资源研究, 2004, 25(2): 30-31.
- [3] 罗坤, 张饮江, 何培民, 等. 上海白莲泾沿岸水生植物资源调查及三种大型挺水植物净化水质能力的研究[J]. 水产科技情报, 2007, 34(6): 243-246.
- [4] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 45-48.
- [5] Kamenir Y, Dubinsky Z, Zohary T. Phytoplankton size structure stability in a meso-eutrophic subtropical lake[M]. Kluwer Academic Publishers, 2004: 89-104.
- [6] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999, 9: 72-79.
- [7] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 1-644.
- [8] 朱浩然. 中国淡水藻类志(第七卷), 色球藻纲[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-161.
- [9] 施之新. 中国淡水藻类志(第六卷), 裸藻门[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1-414.
- [10] 施之新. 中国淡水藻类志(第十二卷), 硅藻门, 异极藻科[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-147.
- [11] 齐雨藻, 李家英, 谢淑琦. 中国淡水藻类志(第十卷), 硅藻门, 羽纹纲[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-414.
- [12] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物的研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 333-344.
- [13] 王云龙, 袁骥, 沈新强. 长江口及邻近水域春季浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 300-306.
- [14] 尚玉昌. 普通生态学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002, 2: 1-400.
- [15] Montecino V, Cabrera S. Phytoplankton activity and standing crop in an impoundment of central Chile[J]. J Plankton Res, 1982, 4(4): 943-950.
- [16] Parker J I, Conway H L, Yaguchi E M. Seasonal periodicity of diatoms and silicon limitation in offshore Lake Michigan[J]. J Fisheries Res Bd Can, 1977, 34: 552-558.
- [17] A sciotti F A, Beltrami E, Canoll T O, et al. Is there chaos in plankton dynamics[J]. J Plankton Res, 1993, 15(7): 613-617.
- [18] Maria Jose Brogueira, Maria do Rosario Oliveira, Graca Cabecadas. Phytoplankton community structure defined by key environmental variables in Tagus estuary, Portugal[J]. Marine environmental research, 2007, 6(7): 6-7.
- [19] 吴波, 陈德辉, 徐英洪, 等. 苏州河浮游藻类群落结构及其对水环境的指示作用[J]. 上海师范大学学报, 2006, 35(5): 67-69.
- [20] 吴新华, 陈峰, 金建霞, 等. 潮汐条件下感潮河流水质变化浅析[J]. 水资源研究, 2003, 24(1): 7-8.