

## 元荡水域浮游植物的群落结构及水质评价

王忆<sup>1</sup>, 钟俊生<sup>1</sup>, 郁蔚文<sup>2</sup>, 胡景<sup>1</sup>, 陈立婧<sup>1</sup>

(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机所, 上海 200092)

**摘要** 2013年对元荡湖的浮游植物群落和物种多样性进行了初步调查研究, 共发现浮游植物111种, 隶属7门, 72属, 其中绿藻门为主要类群, 35属48种, 占浮游植物总物种的43.24%。浮游植物生物量和密度分别为2.13 mg/L和 $842.80 \times 10^4$  cells/L, 主要优势种有微小平列藻(*Merismopedia tenuissima*)、两栖颤藻(*Oscillatoria amphibia*)、灿烂颤藻(*Oscillatoria splendida*)、小空心藻(*Coelastrum microporum*)、小型黄丝藻(*Tribonema minus*)等。蓝藻门的优势种出现在春、夏、秋季, 绿藻门的优势种出现在冬季, 黄藻门的优势种出现在秋冬季。Shannon-Wiener多样性指数全年均值为1.70, Margalef丰富度指数全年均值为1.13, 藻类综合指数全年均值为6.00, 元荡湖水体呈富营养型。

**关键词** 元荡湖; 浮游植物; 群落结构; 水质评价

**中图分类号** S963.21\*3; X824 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)19-030-03

## Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Yuandang Lake Area

WANG Yi<sup>1</sup>, ZHONG Jun-sheng<sup>1</sup>, YU Wei-wen<sup>2</sup>, CHEN Li-jing<sup>1</sup> 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 Engineering Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092)

**Abstract** A preliminary survey was carried on phytoplankton community and species diversity of Yuandang Lake in 2013. It found a total of 111 species of phytoplankton belonging to 7 phyla and 72 genera, among which there are 35 genera and 48 species. 43.24% of the total species were Chlorophyta. Phytoplankton biomass and density were 2.13 mg/L and  $842.80 \times 10^4$  cells/L. *Merismopedia tenuissima*, *Oscillatoria amphibia*, *Oscillatoria splendida*, *Coelastrum microporum*, *Tribonema minus*, etc. are the main dominant species. The dominant species of Cyanophyta appeared in spring, summer and autumn. The dominant species of Chlorophyta appeared in winter, and the Xanthophyta appeared in autumn and winter. Based on the analysis of statistics, the annual average values of Shannon-Wiener index, Margalef index, and Algae index were 1.70, 1.13, 6.00 respectively, so this survey indicated that Yuandang Lake suffered from eutrophication.

**Key words** Yuandang Lake; Phytoplankton; Community structure; Water quality assessment

浮游植物是水域环境中主要的初级生产者以及食物链上的基础环节, 在能量的转换和物质的循环过程中扮演着重要的角色, 其群落结构是反映水域环境状况的重要指标<sup>[1]</sup>。浮游植物的种类组成、群落结构和丰度变化, 直接影响水体水质、系统内能量流、物质流和生物资源变动<sup>[2-3]</sup>。故系统深入地了解浮游植物群体结构变化规律及其特点对改善水环境, 进行湖泊生态修复有着重要的理论和实际意义。

元荡湖位于上海市青浦区西南约25 km处, 与朱邵漾、雪落漾相连, 与淀山湖相通, 原系淀山湖湖湾, 后因芦滩封淤, 始成一独立湖泊, 和江苏省吴江市比邻。元荡湖最宽处3.8 km, 南北长约6 km, 属于青浦区, 区域水面积为4 250 km<sup>2</sup>, 水位最深处为2.5 m, 平均水深为1.8 m, 湖区水草茂盛, 渔业资源丰富, 多产鱼、虾、蟹、贝类等高质量的水产品。元荡湖也是淀山湖的入湖湖泊之一, 但随着地区社会经济的发展, 淀山湖区域内污染问题日渐突出, 水环境日趋恶化, 生态环境遭到破坏, 严重威胁着下游地区人民的饮用水安全, 严重制约着区域经济社会的可持续发展。元荡水域与淀山湖相连, 在一定程度上受到淀山湖的影响, 水体也趋于富营养化。国内有关淀山湖的研究有浮游植物、浮游动物、水中营养盐和蓝藻爆发等<sup>[4-5]</sup>, 尚无关于元荡湖浮游植物的报

道。因此定期对元荡湖浮游植物的群落结构进行研究, 可为元荡湖开发和修复水质提供基础资料。

## 1 材料与方法

**1.1 采样点设置** 根据元荡湖的形态、水文以及湖区内的渔业状况设立7个采样点(图1)。

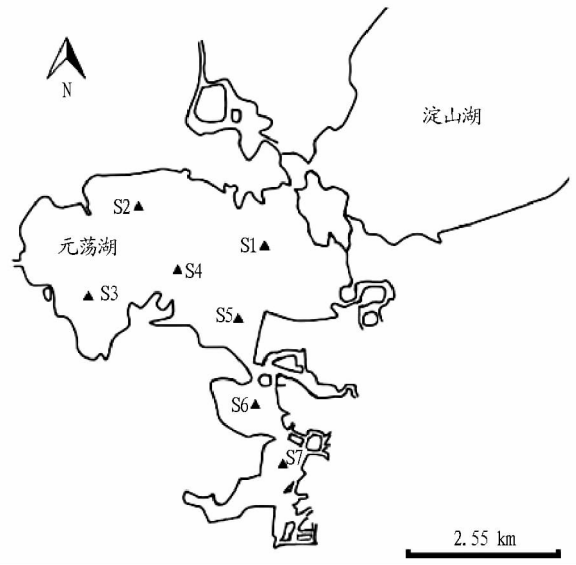


图1 元荡湖水域采样点

Fig. 1 Sampling sites in Yuandang Lake area

**1.2 样品采集和分析** 用5 L有机玻璃采水器采集表层水(0.5 m), 并从中取1 L水样加入15 mL的鲁哥氏碘液固定, 再加入10 mL的甲醛溶液用来延长样品的保存时间。样品带回实验室沉淀、浓缩、镜检。种类鉴定主要依据《中国淡水

**基金项目** 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心(ZF1206); 上海市科技兴农重点攻关项目(D-8006-13-0049)联合资助。

**作者简介** 王忆(1995-), 女, 河北廊坊人, 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** 2016-05-19

藻类:系统、分类及生态》<sup>[6]</sup>,计数时每个样品重复计数两片,误差超过 15% 时进行第 3 片计数后取结果相近的两片并取平均值。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<sup>[7-8]</sup>。

**1.3 数据分析** 物种多样性指数( $H'$ )的计算公式用香农-威纳指数<sup>[9]</sup>(Shannon-Wiener index)表达式为:

$$H' = - \sum \left( \frac{N_i}{N} \right) \ln \left( \frac{N_i}{N} \right) \quad (1)$$

物种丰富度指数( $D$ )采用 Margalef 的计算公式<sup>[10]</sup>:

$$D = \frac{(S-1)}{\ln N} \quad (2)$$

物种优势度( $Y$ )的计算公式<sup>[10]</sup>:

$$Y = \frac{N_i}{N} \times f_i \quad (3)$$

式(1)~(3)中, $N_i$ 为第*i*种的个体数; $N$ 为总个体数; $S$ 为总物种数; $f_i$ 为第*i*种的出现率。

藻类综合指数的计算公式<sup>[11]</sup>:

综合指数 =

$$\frac{(\text{蓝藻} + \text{绿球藻类} + \text{中心钢硅藻} + \text{裸藻}) \times \text{种数}}{\text{硅藻目种数}} \quad (4)$$

## 2 结果

**2.1 浮游植物种类组成** 元荡湖水域共发现浮游植物 7 门 72 属 111 种。其中绿藻门种类最多,35 属 48 种;硅藻门次之,16 属 27 种;蓝藻门 14 属 22 种;裸藻门 3 属 5 种;黄藻门 2 属 6 种;甲藻门 1 属 2 种;隐藻门 1 属 1 种。由图 2 可知,绿藻门种类最多,占总种类数的 43%;硅藻门次之,占总数的 24%;蓝藻门占总数的 20%;黄藻门占总数的 5%;裸藻门占

总数的 5%;甲藻门占总数的 2%;隐藻门占总数的 1%。

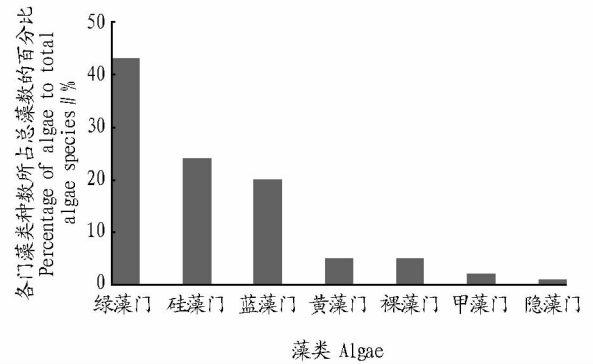


图 2 元荡湖水域浮游植物种类组成

Fig. 2 Composition of phytoplankton species in Yuandang Lake area

由表 1 可知,4 个季度共出现优势种 12 种,其中蓝藻门 6 种,绿藻门 4 种,黄藻门 2 种。元荡水域春夏秋 3 季蓝藻为绝对优势种群,冬季绿藻为绝对优势种群。蓝藻门的两栖颤藻和微小平列藻在春季、夏季、秋季 3 个季度的优势度较高;铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)和格孔隐杆藻(*Aphanothece clathrata*)在夏季和秋季的优势度较高。春季优势种还有蓝藻门的灿烂颤藻。冬季优势种除了蓝藻门的不定微囊藻(*Microcystis incerta*),还有绿藻门的小球藻(*Chlorella vulgaris*)、串球丝藻(*Ulothrix moniliformis*)、集球藻(*Palmelloccoccus miniatus*)和小空星藻(*Coelastrum microporum*)。黄藻门的小型黄丝藻在秋季和冬季的优势度较高,普通黄丝藻(*Tribonema vulgare*)是春季的优势种。

表 1 2013 年元荡水域浮游植物优势种及其优势度

Table 1 Dominance of dominant species of phytoplankton in Yuandang Lake area in 2013

优势种 Dominant species	优势度 Dominance (Y)			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
灿烂颤藻 <i>Oscillatoria splendida</i>	0.13	—	—	—
两栖颤藻 <i>Oscillatoria amphibia</i>	0.15	0.03	0.02	—
格孔隐杆藻 <i>Aphanothece clathrata</i>	—	0.06	0.04	—
微小平列藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>	0.03	0.11	0.09	—
不定微囊藻 <i>Microcystis incerta</i>	—	—	—	0.04
铜绿微囊藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	—	0.05	0.05	—
小球藻 <i>Chlorella vulgaris</i>	—	—	—	0.07
串球丝藻 <i>Ulothrix moniliformis</i>	—	—	—	0.06
集球藻 <i>Palmelloccoccus miniatus</i>	—	—	—	0.05
小空星藻 <i>Coelastrum microporum</i>	—	—	—	0.15
普通黄丝藻 <i>Tribonema vulgare</i>	0.03	—	—	—
小型黄丝藻 <i>Tribonema minus</i>	—	—	0.31	0.05

**2.2 浮游植物生物密度和生物量** 2013 年浮游植物生物密度年平均值为  $842.8 \times 10^4$  cells/L。夏季浮游植物生物密度最大为  $2324.0 \times 10^4$  cells/L,冬季浮游植物密度最低为  $15.9 \times 10^4$  cells/L,季节间差异极显著( $P < 0.01$ )。

2013 年元荡湖浮游植物生物量年平均值为 2.127 9 mg/L。春季浮游植物生物量最大(6.144 1 mg/L),而冬季浮游植物生物量最低(0.087 3 mg/L),季节间差异极显著( $P <$

0.01)(图 3)。

由表 2 可知,2013 年蓝藻门的生物密度很高,占总浮游植物密度的 93.17%,最高出现在夏季。其次是绿藻门,占总浮游植物的 3.89%,最大生物密度也是出现在夏季。黄藻门的生物密度占总浮游植物密度的 2.65%,最大生物密度出现在秋季。裸藻门、隐藻门和甲藻门在 4 个季度的生物密度都很低,最低的是隐藻门,只有冬季出现。

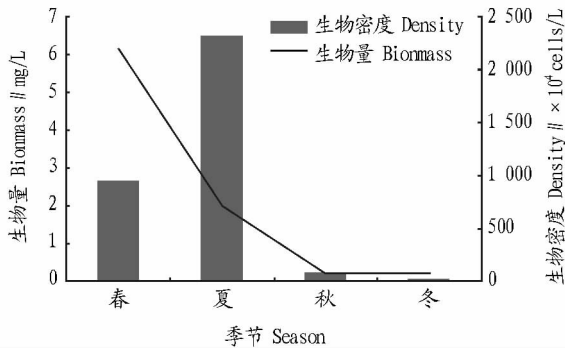


图3 2013年元荡湖水域浮游植物生物量和生物密度变化

Fig.3 Changes in phytoplankton biomass and density in Yuandang Lake area in 2013

表2 2013年元荡水域4季度各门浮游植物生物密度

Table 2 The density of phytoplankton in Yuandang Lake area in four seasons of 2013

藻类 Algae	蓝藻门 Cyanophyta	裸藻门 Euglenophyta	隐藻门 Cryptophyta	甲藻门 Pyrrophyta	硅藻门 Bacillariophyta	黄藻门 Xanthophyta	绿藻门 Chlorophyta
春季 Spring	873.363	0.498	0	0.105	4.400	26.213	47.068
夏季 Summer	2219.713	0.029	0	0.700	3.279	16.554	83.682
秋季 Autumn	261.843	0.014	0	0	0.207	52.293	1.043
冬季 Winter	5.236	0	0.014	0	0.757	1.043	8.529

表3 元荡湖水体污染评价

Table 3 Evaluation on water pollution in Yuandang Lake

项目 Item	评价标准 <sup>[11-13]</sup> Assessment criteria	全年均值 Annual average	污染评价 Pollution assessment
Shannon - Wiener 多样性指数	0~1: 重污染 1~2: 中重污染	1.70	中重污染
Shannon - Wiener diversity index	2~3: 轻中污染 >3: 轻污染或无污染		
Margalef 丰富度指数	0~1: 重度污染 1~2: 严重污染	1.13	严重污染
Margalef abundance index	2~4: 中度污染 4~6: 轻度污染 >6: 清洁水		
藻类综合指数	<1: 贫营养型 1~3: 中营养型 >3: 富营养型	6.00	富营养型
藻类综合指数 Algae composite index			
细胞密度评价 <sup>[14]</sup>	< 30 × 10 <sup>4</sup> cell/L 贫营养水平 30 × 10 <sup>4</sup> ~ 100 × 10 <sup>4</sup> cell/L 中营养水平 > 100 × 10 <sup>4</sup> cell/L 富营养水平	842.80 × 10 <sup>4</sup> cells/L	富营养水平
Cell density evaluation			

### 3 讨论

**3.1 浮游植物群落结构的季节变化** 根据2013年元荡湖水域浮游植物组成,得出元荡水域属绿藻-硅藻-蓝藻型。一般认为,硅藻型的浮游植物群落是水质污染较轻水体的典型特征,而蓝藻型则意味着水质富营养化程度比较高<sup>[15]</sup>,据此可以判断元荡湖的水体富营养化程度较高。元荡湖浮游植物数量和生物量随季节变化十分明显。喜温性的蓝藻门与水温呈现很好的正相关性,夏季生长、繁殖旺盛,数量随着水温上升而上升。较喜低温的硅藻门则与温度呈负相关关系,在冬春两季生长较好。在春夏季因为单个细胞鲜重质量较大的两栖颤藻大量繁殖,而秋冬季藻类都不多,使得春夏季

**2.3 浮游植物多样性指数和藻类综合指数及水质评价** 元荡湖水体中浮游植物多样性指数有明显的时间分布规律,Shannon - Wiener 多样性指数全年均值为1.70, Margalef 丰富度指数全年均值为1.13,藻类综合指数全年均值为6.00。浮游生物的各项多样性指数对水质有着不一样的评价标准(表3),根据评价标准 Shannon - Wiener 多样性指数处于中重污染, Margalef 丰富度指数处于严重污染,综合前面两者应该为重污染。藻类综合指数中蓝藻种类有22种,绿球藻种类有0种,中心纲硅藻纲种类有3种,裸藻种类有5种,鼓藻目有5种,藻类综合指数为6,体现为富营养型。综合以上参数,元荡湖水体整体呈现出富营养型。

的浮游生物生物量和秋冬季相差很大。蓝藻决定了春夏季浮游植物生物密度。根据 Sommer 等提出的著名 PEG (Plankton Ecology Group) 模型认为浮游植物的季节演替规律大概是:从冬春的隐藻、硅藻转变为夏季的绿藻,在夏末秋初时蓝藻占主要优势,再到冬季硅藻大量存在,而这一模型也是主要反映中营养型深水湖泊,元荡水域主体为浅水性的静水水体,蓝藻从春季延续到秋季,不仅仅在高温季节形成优势种,即在元荡水域中的生长时间大大增长,这完全不同于 EPG 模型,也标志着水体的富营养化,对比淀山湖也存在着相同的情况。随着湖泊的富营养化,特别是磷浓度的增加,通常会导致水体中蓝藻在浮游植物群落演替中占优势<sup>[16-17]</sup>。蓝藻的最适温度范围是 25 ~ 30 °C,对高温的耐受性要强于其他藻类<sup>[18]</sup>。

**3.2 元荡湖浮游植物与上海其他湖泊的比较** 富营养湖泊的藻类组成主要为绿藻和蓝藻,藻类的年平均密度较大(表4),可见湖泊的富营养化与藻类的变化密切相关。湖泊水质的污染使得营养盐增加,导致藻类的大量爆发,并伴随污染致使藻类增长。元荡水域与上海其他湖泊比较,上述特点也很明显。元荡水域与淀山湖相通,淀山湖近几年污染严重,对元荡湖有一定的影响。随着市场经济的发展,人们对元荡水域及周边的开发都影响到水质。生活污水的排放,水系内水产养殖的经营,都使得元荡水域逐步富营养化。

综合多样性指数、丰富度指数以及藻类综合指数,都显示元荡水域已经富营养化,水质受到污染。随着元荡水域周边区域的经济的发展,人们生活水平的提高,输入元荡水域的营养物质也增加了,湖内营养物质随之增加。生活废水和工厂的废水处理等环节越来越重要,避免直接排放造成水域体

(下转第41页)

增大表明其体内合成的有机物优先分配给了根系。该试验结果表明,在较低浓度范围的 PEG<sub>6000</sub> 处理后,参试油菜的根冠比呈现增加趋势,但其根冠比与其总体的抗旱级别之间相关性并不显著。

不同品种萌发期耐旱性表现不同,根据综合分析可知,陕油 803、油研 817 最耐旱,中双 11 抗旱能力较强,湘杂油 188 耐旱程度中等,中油杂 16、陕油 16、浙油 51 为干旱敏感品种。

**3.2.2 萌发期抗旱性鉴定指标的筛选。**作物抗旱的方式各自不同,其抗旱性是一个受多基因微效调控的复杂的数量性状,由多种性状共同起决定,其机制也不尽相同。该研究中,通过测定油菜发芽指标及苗期形态指标来进行分析,认为发芽指数、总长、总鲜重等 3 个指标可以作为鉴定油菜萌发期抗旱性的指标。由于作物的抗旱机制在不同生育期可能会发生改变,该研究所筛选的抗旱性鉴定指标还应该结合油菜其他生育期

(上接第 32 页)

系中某一物质过高过低引起水体物质间平衡关系的破坏,使

的抗旱性鉴定,从而筛选出抗旱性稳定的油菜新品种。

## 参考文献

- [1] 戴清明,吕爱钦,何维君,等. 洞庭湖区油菜主要气象灾害发生规律与减灾避灾对策[J]. 作物研究,2006(1):60-65.
- [2] 张静. 干旱对油菜萌发出苗与生长的影响及抗旱机制研究[D]. 武汉:华中农业大学,2015.
- [3] 胡承伟,张学昆,邹锡玲,等. PEG 模拟干旱胁迫下甘蓝型油菜的根系特性与抗旱性[J]. 中国油料作物学报,2013(1):48-53.
- [4] 王玉萍,刘庆昌,李爱贤,等. 甘薯耐旱突变体的离体筛选与鉴定[J]. 中国农业科学,2003,36(9):1000-1005.
- [5] 王贺正,李艳,马均,等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选[J]. 作物学报,2007,33(9):1523-1529.
- [6] 杨春杰,张学昆,邹锡玲,等. PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国油料作物学报,2007,29(4):425-430.
- [7] 毕辛华,戴心维. 种子学[M]. 北京:中国农业出版社,1993:60-75.
- [8] 郭雪松,唐章林. PEG 胁迫下 42 个油菜品种(系)耐旱性的评价[J]. 西南大学学报,2009,31(10):1-6.
- [9] 杜晓燕,张玉霞,谭巍巍,等. PEG 胁迫对芦笋种子萌发的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版),2008,23(1):51-54.

得水体受污染,趋于富营养化。

表 4 元荡水域与其他湖泊藻类种类、现存量的比较

Table 4 Comparison of species, density and biomass of phytoplankton between Yuandang Lake area and other lakes

湖泊 Lake	种类组成(% ,年平均,按个体统计) Species composition (% annual average, as per individual statistics)	年平均生物量 Annual average biomass mg/L	年平均密度 Annual average density × 10 <sup>4</sup> md/L	营养型 Eutrophic
元荡水域(2013年) Yuandang Lake	绿藻(43%)、蓝藻(20%)为主	2.13	842.80	富营养
滴水湖 <sup>[14]</sup> (2009-2010年) Dishui Lake	绿藻(50%)、蓝藻(18%)为主	8.15	4 552.29	富营养
明珠湖 <sup>[19]</sup> (2007年) Mingzhu Lake	绿藻(51%)、蓝藻门(21%)为主	7.68	5 917.51	富营养
淀山湖 <sup>[20]</sup> (2013年) Dianshan Lake	绿藻(43%)、硅藻(20%)为主	0.13~16.61	180~2 435	富营养

## 参考文献

- [1] 王丽卿,施荣,季高华,等. 淀山湖浮游植物群落特征及其演替[J]. 生物多样性,2011,19(1):48-56.
- [2] 赵文. 刺参池塘养殖生态学及健康养殖理论[M]. 北京:科学出版社,2009:109.
- [3] 黄良民,张恩,王汉奎,等. 三亚湾生态环境与生物资源[M]. 北京:科学出版社,2007:105.
- [4] 汪益斌,由文辉,胡雪芹,等. 淀山湖蓝藻季节动态及其影响因子[J]. 生态学杂志,2010,19(12):2477-2485.
- [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[J]. 湖泊科学,2008,20(4):409-419.
- [6] 胡鹤钧,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.
- [7] 刘冬燕,赵建夫,张亚雷,等. 富营养化水体生物修复中的浮游植物的群落特征[J]. 水生生物学报,2005,29(2):177-183.
- [8] 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.
- [9] 尚玉昌. 普通生态学[M]. 北京:北京大学出版社,2002.
- [10] 孙军,刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报,2004,26(1):62-75.
- [11] 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,1991:62-66.

- [12] 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评价[J]. 热带海洋学报,2010,29(1):69-76.
- [13] 沈温芬,章宗涉,龚循矩. 微型生物监测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1990.
- [14] 陈立婧,景钰湘. 人工滩涂湖泊滴水湖浮游藻类群落特征[J]. 生态学杂志,2012,31(7):1771-1779.
- [15] KANGRO K, LAUGASTE R, NOGES P, et al. Long-term changes and seasonal development of phytoplankton in a strongly stratified hypertrophic lake[J]. Hydrobiologia, 2005, 547: 91-103.
- [16] 管越强,郭云学,李博,等. 拒马河浮游植物群落特征及水质评价[J]. 河北大学学报(自然科学版),2007,27(4):401-406.
- [17] STEIBERG C E W, HARTMANN H M. Planktonic bloom forming cyanobacteria and the eutrophication of lake and rivers[J]. Freshwater biology, 1988, 20: 279-287.
- [18] NALEWAJKO C, MURPHY T P. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of Anabaena and Microcystis in Lake Biwa, Japan: An experimental approach[J]. Limnology, 2001, 2: 45-48.
- [19] 陈立婧,吴竹臣,胡忠军,等. 上海崇明岛明珠湖浮游植物群落结构[J]. 应用生态学报,2011,22(6):1599-1605.
- [20] 蓝天. 淀山湖浮游植物与环境因子的相关性研究[D]. 上海:上海师范大学,2014:7-8.