

青草沙水库浮游藻类的调查及控制

蒋增辉

(上海市供水调度监测中心, 上海 200002)

摘要 为预防和控制青草沙水库藻类大量增殖, 在水库全面通水前(2011年1~6月)对浮游藻类进行调查, 共检出8门80属, 鉴定出124种/变种, 出现频次较高的有梅尼小环藻、游丝藻、针晶蓝纤维藻、波吉卵囊藻、扁圆卵形藻等。水库进水中检出蓝藻9属、硅藻18属、绿藻14属、其他藻5属, 水库内检出蓝藻14属、硅藻23属、绿藻27属、其他藻7属, 库内种类比库外大幅增加。结果表明水库在发挥“避污蓄清”和“避咸蓄淡”功能时会导致库内水体流速减慢, 有利于藻类增殖。并提出一系列藻类预警及监控措施。

关键词 青草沙水库 浮游植物 藻类 控制 增殖 水质

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2012)05-0009-07

Investigation and Control of Phytoplankton in Qingcaosha Reservoir

Jiang Zenghui

(Shanghai Municipal Control & Monitor Center of Water Supply, Shanghai 200002, China)

Abstract To control and prevent the excessively proliferating of algae in Qingcaosha reservoir in Shanghai China, phytoplankton was investigated. A total of 8 phylum, 80 genera and 124 species (varieties) were identified. Among them, *Cyclotella meneghiniana*, *Planctonema lauterbornii*, *Dactylococcopsis raphidioides*, *Oocystis borgei*, *Cocconeis placentula*, etc. has higher frequency of occurrence. There were 9 genera of Cyanophyta, 18 genera of Bacillariophyta, 14 genera of Chlorophyta, 5 genera of other phylum identified in influent and 14 genera of Cyanophyta, 23 genera of Bacillariophyta, 27 genera of Chlorophyta, 5 genera of other phylum identified in the reservoir. The results show that while the function of avoiding saltwater and polluted water together with storing fresh and clean water is applied in the reservoir, reducing the flowing rate may promotes proliferating of algae. In addition, some special methods of monitoring, pre-warning, controlling of algae are put forward.

Keywords Qingcaosha Reservoir phytoplankton algae control proliferation water quality

我国最大的江心河口水库—青草沙水库是上海市水源地建设实现“两江并举、三足鼎立”战略中最为重要的一项工程。相比黄浦江上游、陈行水库和东风西沙水源地, 青草沙水库具有库容大(有效库容达 $4.35 \times 10^8 \text{ m}^3$)、供水量大(设计供水规模 $7.19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$)、水质好(总体评价基本达到地表水Ⅱ类标准)三大特点, 完全建成后可在不取水的情况下连续供水68 d, 确保咸潮期的原水供应。水库建设自2007年6月正式开工, 2010年12月起陆续投入试运行, 2011年6月全面切换通水, 实现了对金海、杨树浦、南市、陆家嘴、居家桥、临江、凌桥、闸

北、长桥水厂的原水供应。

2009年4~12月的研究表明, 青草沙水库投入运行前的氨氮低于 0.45 mg/L , 总氮约在 $0.5 \sim 2.0 \text{ mg/L}$, 总磷小于 0.20 mg/L , 与黄浦江原水相比, 水库水质较好, 适合作为上海新水源地^[1]。然而, 上海处于长江最下游, 水质受到上游污染排放的直接影响, 长江水进入水库后, 水体流速和生态发生改变, 水质也会发生较大变化。2000年后, 全国大型天然湖泊出现大面积藻类水华, 湖泊的富营养化面积急剧增加^[2-3]。北京市湖泊富营养化评价与分析结果显示, 2006年市区大小30余个湖泊中有20个处于富营养状态, 部分发生大规模藻类水华^[4], 而同样取用长江水的上海陈行水库在2004、2005年夏季暴发了微囊藻和颤藻水华^[5]。湖泊和水库发生富营养化趋势后有可能引发藻类问题, 因此, 对上海“十一五”期间最重要的民生工程——青草沙水库开展藻类调查和控制研究具有十分重要的意义。

[收稿日期] 2012-01-04

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07420-007, 2008ZX07420-001, 2008ZX07420-005); 上海市科委科研项目(10231201000)

[作者简介] 蒋增辉, 男, (1975-), 高级工程师。

E-mail: waynehuihui@hotmail.com。

1 采样与检测方法

1.1 采样点设置

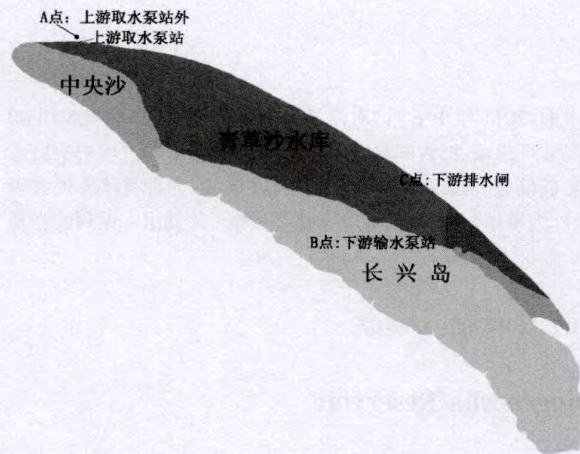


图1 采样点位置

Fig.1 Position of Water Sampling Spots

在青草沙水库上游取水泵站外、下游输水泵站、下游排水闸共设置3个采样点,分别命名为A、B、C,其中A为库外水,B和C均为库内水(见图1)。A、B两点采样时间为2011年1~6月,C点采样时间为2011年2~6月,频率为每月一次。

1.2 藻类检测方法

现场采集2 L水样,用15 %鲁哥氏液固定后经24~48 h沉淀浓缩至10 mL,用0.1 mL浮游植物计数框在10×40倍光学显微镜下对浮游植物(藻类)进行定性鉴定。

2 藻类定性调查结果

2.1 蓝藻门种类

A、B、C三点共检出蓝藻16属,其中有15种鉴定到种(见表1)。在出现频次上,针晶蓝纤维藻为11次,束色球藻为5次,其余种类出现频次均很少。

表1 蓝藻检出结果

Tab.1 Results of Identified Cyanophyta

种类	拉丁名	1月		2月			3月			4月			5月			6月		
		A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
鱼腥藻属	<i>Anabaena</i> sp.					+	+											
阿氏项圈藻	<i>Anabaenopsis arnoldii</i>	+																
项圈藻属	<i>Anabaenopsis</i> sp.				+													
针形纤维藻	<i>Ankistrodesmus acicularis</i>			+														
束丝藻属	<i>Aphanizomenon</i> sp.												+					
小型色球藻	<i>Chroococcus minor</i>	+	+		+	+												
微小色球藻	<i>Chroococcus minutus</i>								+		+	+						
色球藻属	<i>Chroococcus</i> sp.				+													+
束色球藻	<i>Chroococcus tenax</i>		+			+	+	+					+	+				
针状蓝纤维藻	<i>Dactylococcopsis acicularis</i>						+			+								
针晶蓝纤维藻	<i>Dactylococcopsis raphidioides</i>	+	+	+	+	+		+	+		+	+		+	+			
立方藻属	<i>Eucapsis</i> sp.														+			
湖泊鞘丝藻	<i>Lyngbya limnetica</i>												+	+				
细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>														+			
点形平裂藻	<i>Merismopedia punctata</i>											+						
铜绿微囊藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>												+	+		+	+	
水华微囊藻	<i>Microcystis flos-aquae</i>												+					+
具缘微囊藻	<i>Microcystis marginata</i>												+	+		+	+	
颤藻属	<i>Oscillatoria</i> sp.									+						+	+	
席藻属	<i>Phormidium</i> sp.					+	+									+	+	
小席藻	<i>Phormidium tenue</i>														+			
伪鱼腥藻属	<i>Pseudanabaena</i> sp.												+	+				
螺旋藻属	<i>Spirulina</i> sp.				+													+
灰蓝聚球藻	<i>Synechococcus lividus</i>									+		+						
集胞藻属	<i>Synechocystis</i> sp.							+	+							+	+	

注:以藻类拉丁名排序,未能鉴定到种的仅列出属名,下同。

2.2 硅藻门种类

A、B、C 三点共检出硅藻 26 属,其中有 58 种与变种鉴定到种(见表 2)。在出现频次上(6 个月共采

样 17 次),梅尼小环藻出现频率最高为 17 次,扁圆卵形藻为 11 次,岛直链藻、尖针杆藻均为 10 次,双球舟形藻为 8 次,肘状针杆藻为 7 次。

表 2 硅藻检出结果
Tab.2 Results of Identified *Bacillariophyta*

种类	拉丁名	1 月		2 月			3 月			4 月			5 月			6 月		
		A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
短小曲壳藻	<i>Achnanthes exigua</i>				+													
透明双肋藻	<i>Amphipleura pellucida</i>									+								
卵圆双眉藻	<i>Amphora ovalis</i>								+	+	+		+	+				
美丽星杆藻	<i>Asterionella formosa</i>						+			+	+	+	+	+				
梯楔藻属	<i>Climacosphenia</i> sp.								+									
扁圆卵形藻	<i>Cocconeis placentula</i>			+	+	+	+			+	+		+	+	+	+	+	+
偏心圆筛藻	<i>Coscinodiscus excentricus</i>												+	+	+			+
圆筛藻属	<i>Coscinodiscus</i> sp.	+	+			+				+			+					
库津小环藻	<i>Cyclotella kützingiana</i>												+	+				
梅尼小环藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
椭圆波缘藻	<i>Cymatopleura elliptica</i>										+							
椭圆波缘藻缢缩变种	<i>Cymatopleura elliptica</i> var.														+			
波缘藻属	<i>Cymatopleura</i> sp.			+														
近缘桥弯藻	<i>Cymbella affinis</i>														+			
尖头桥弯藻	<i>Cymbella cuspidata</i>											+						
胡斯特桥弯藻	<i>Cymbella hustedtii</i>	+										+						
舟形桥弯藻	<i>Cymbella naviculaiformis</i>											+						
极小桥弯藻	<i>Cymbella perpusilla</i>										+							
桥弯藻属	<i>Cymbella</i> sp.						+						+					
膨胀桥弯藻	<i>Cymbella tumida</i>			+			+						+	+		+		
卵圆双壁藻	<i>Diploneis ovalis</i>								+									
美丽双壁藻	<i>Diploneis puella</i>																+	
短线脆杆藻	<i>Fragilaria brevistria</i>									+	+	+	+	+	+			
钝脆杆藻披针形变种	<i>Fragilaria capucina</i> var.	+	+	+	+		+	+										
绿脆杆藻	<i>Frgilaria virescens</i>												+					
尖异极藻布雷变种	<i>Gomphonema acuminatum</i> var.															+		
缢缩异极藻	<i>Gomphonema constrictum</i>			+														
异极藻属	<i>Gomphonema</i> sp.										+							
尖布纹藻	<i>Gyrosigma acuminatum</i>			+								+		+		+		
斯氏布纹藻	<i>Gyrosigma spencerii</i>									+								
双尖菱板藻	<i>Hantzschia amphioxys</i>						+			+	+							
颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	+		+						+			+	+				
颗粒直链藻极狭变种	<i>Melosira granulata</i> var.						+			+	+				+			
岛直链藻	<i>Melosira islandica</i>			+	+		+	+	+	+	+		+	+				+
变异直链藻	<i>Melosira varians</i>												+			+	+	+
双球舟形藻	<i>Navicula amphibola</i>			+	+				+	+	+		+	+				+
头端舟形藻	<i>Navicula capitata</i>														+			
隐头舟形藻	<i>Navicula cryptocephala</i>																+	
尖头舟形藻	<i>Navicula cuspidata</i>						+			+	+		+	+				
双头舟形藻	<i>Navicula dicephala</i>																+	

短小舟形藻	<i>Navicula exigua</i>	+					+		+	+	+		+	+		
细长舟形藻	<i>Navicula gracilis</i>	+														
线性舟形藻	<i>Navicula graciloides</i>		+	+	+											
圆环舟形藻	<i>Navicula placenta</i>														+	+
扁圆舟形藻	<i>Navicula placentula</i>	+														
舍恩菲尔德舟形藻	<i>Navicula schoenfeldii</i>										+				+	
简单舟形藻	<i>Navicula simplex</i>										+		+			
舟形藻属	<i>Navicula</i> sp.					+										
范赫尔克舟形藻	<i>Navicula vanheurekii</i>										+				+	
微绿舟形藻	<i>Navicula viridula</i>											+				
齿菱形藻	<i>Nitzschia denticula</i>									+						
碎片菱形藻	<i>Nitzschia frustulum</i>									+		+	+			
线性菱形藻	<i>Nitzschia linearis</i>													+		
小头菱形藻	<i>Nitzschia microcephala</i>								+							
谷皮菱形藻	<i>Nitzschia palea</i>										+	+		+	+	+
菱形藻属	<i>Nitzschia</i> sp.			+												
根管藻属	<i>Rhizolenia</i> sp.										+					
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>					+				+	+				+	
尖辐节藻	<i>Stauroneis acuta</i>											+				
新星冠盘藻	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>							+	+		+	+				
端毛双菱藻	<i>Surirella capronii</i>															+
线形双菱藻	<i>Surirella linearis</i>										+					
双菱藻属	<i>Surirella</i> sp.			+												
尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
近缘针杆藻	<i>Synedra affinis</i>															+
肘状针杆藻	<i>Synedra ulna</i>			+		+		+		+	+		+	+		
平板藻属	<i>Tabellaria</i> sp.							+							+	
网纹三角藻	<i>Triceratium reticulum</i>															+

2.3 绿藻门种类

A、B、C 三点共检出绿藻 29 属,其中有 42 种与变种鉴定到种(见表 3)。在出现频次上,游丝藻为

12 次,波吉卵囊藻为 11 次,双对栅藻、纤细月牙藻均为 6 次,肾形藻、四尾栅藻均为 5 次。

表 3 绿藻检出结果
Tab.3 Results of Identified *Chlorophyta*

种类	拉丁名	1 月		2 月			3 月			4 月			5 月			6 月		
		A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
河生集星藻	<i>Acinastrum fluviatile</i>													+				
狭形纤维藻	<i>Ankistrodesmus angustus</i>																+	
镰形纤维藻奇异变种	<i>Ankistrodesmus angustus</i> var.																+	+
镰形纤维藻	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>							+										
镰形纤维藻奇异变种	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> var.				+	+												
衣藻属	<i>Chlamydomonas</i> sp.				+													
长绿梭藻	<i>Chlorogonium elongatum</i>																+	
绿带藻属	<i>Chlorolobion</i> sp.																+	
四刺顶棘藻	<i>Chodatella quadriseta</i>								+					+	+			
库氏新月藻	<i>Closterium kuetzingii</i>		+			+		+	+									

- 13 -

表 4 其他门藻类检出结果
Tab.4 Results of Other Algae

分门	种类	拉丁名	1月		2月			3月			4月			5月			6月		
			A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
黄藻门	近缘黄丝藻	<i>Tribonema affine</i>																	+
甲藻门	楯形多甲藻	<i>Peridinium umbonatum</i>						+											
金藻门	群聚锥囊藻	<i>Dinobryon sociale</i>			+			+	+					+	+				
金藻门	浮游金杯藻	<i>Kephyrion planctonicum</i>						+	+	+	+	+		+					
隐藻门	尖尾蓝隐藻	<i>Chroomonas acuta</i>			+														
隐藻门	嗜蚀隐藻	<i>Cryptomonas erosa</i>						+											
隐藻门	卵形隐藻	<i>Cryptomonas ovata</i>	+	+	+					+									
裸藻门	囊裸藻属	<i>Trachelomonas</i> sp.					+												
裸藻门	梭形裸藻	<i>Euglena acus</i>									+								
裸藻门	宽扁裸藻	<i>Phacus pleuronectes</i>																	+

3 讨论

陈行水库建成初期, 长江入库水浑浊度、pH、COD_{Mn}的平均值为 160 NTU, 7.92, 4.2 mg/L, 水库水上述三项指标的平均值为 19.3 NTU, 8.03, 2.9 mg/L, 通过水库的蓄存和沉淀作用, 原水水质得到明显地改善; 同期, 由于水库藻类最高值仅为 2.31×10^5 个/L, 因此藻类不会对水库水质产生影响^[6]。2004~2005 年夏季, 陈行水库暴发了微囊藻和颤藻水华, 虽然水库的平均停留时间较短为 4~7 d, 年平均浊度也大于 30 NTU, 但水库的年平均总氮、硝酸氮、总磷为 2.35, 1.50, 0.13 mg/L, 给藻类生长提供了营养基础。进一步根据水库水动力学研究发现, 水库滞留区的停留时间远高于 5 d, 而这些区域也恰恰是藻类水华多发区域。通过多种措施, 水库滞留区藻类生长已经得到有效控制, 再未发生藻类局部水华现象^[5]。

青草沙水库运行前的研究表明, 氨氮含量低于 0.45 mg/L, 亚硝酸氮与硝酸氮含量分别在 0.1 mg/L 和 2 mg/L 以下, 总磷浓度低于 0.2 mg/L, 初步推算磷为富营养化的限制因子。长江口青草沙水域浮游植物的调查结果显示, 共鉴定出浮游植物 43 种, 其中硅藻门占 79%, 绿藻门占 14%, 蓝藻门占 7%^[7]。本次调查是在水库基本建成且全面通水前的调查, 藻类同样主要分布在这三个门中; 水库外藻类分属情况为硅藻门 18 属、绿藻门 14 属、蓝藻门 9 属、其他门 5 属, 共计 46 属; 水库内(A、B 两个点合计)藻类分属情况为绿藻门 27 属、硅藻门 23 属、蓝藻门 14 属、其他门 7 属, 共计 71 属, 库内种类比库外种

类大幅增加(见图 2)。

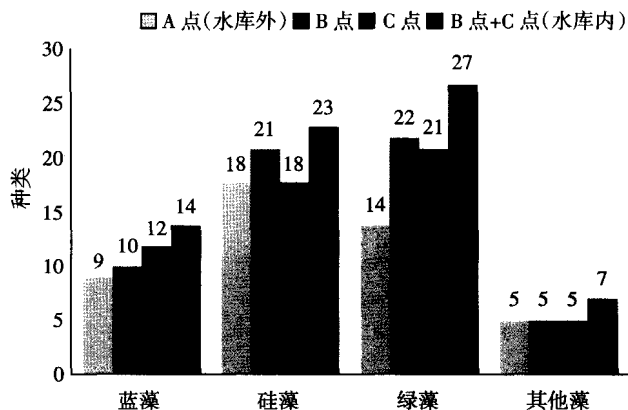


图 2 水库内外各点藻类分属比较

Fig.2 Comparison of Various Genera of Algae at Three Sampling Spots Inside and outside of the Reservoir

对陈行水库、宝钢水库、长江口水中藻类增殖潜力的研究显示, 28℃直接培养原水样品 24 d 后, 出现蓝藻、绿藻大量增殖的现象; 灭菌接种铜绿微囊藻, 12 d 结束对数增长; 三个水体的藻类增殖能力差异主要与总磷相关^[8], 说明上述三处原水均具有引发藻类大量增殖的潜力。影响藻类增殖的主要因素包括光照、透明度(浑浊度)、水温、营养盐、水体流速、内源和外源藻类孢子、水产品养殖、动物捕食等。一般地, 河流水进入水库后, 会使流速减慢、透明度增高、形成局部滞留区, 这都有利于藻类的增殖; 沉淀作用会将部分营养盐带入底泥, 加上水生大型植物的吸收, 降低了水中溶解性氮、磷含量, 同时也降低了藻类增殖的风险; 四季更迭和气象变化所引起的温度和光照变化对藻类(下转第 54 页)

的研究[J]. 武汉科技学院学报, 2008,21(6):34-38.

- [7] 杨刘, 王海涛, 戴海平, 等. 磺化聚醚砜/聚醚砜共混超滤膜的制备及性能表征[J]. 天津工业大学学报, 2009,28(1):9-12.
- [8] 程亮, 许振良, 魏永明, 等. PVC 共混超滤膜制备及其对印染废水处理的研究[C]. 上海市化学化工学会 2008 年度学术年会论文集, 2008.
- [9] 杨亚楠, 李良飞, 杨海东, 等. PSF/PEG 共混超滤膜的性能研究[J].

长春工业大学学报(自然科学版), 2006,27(4):28-31.

- [10] 郝慧博, 邱广明, 于红梅, 等. PVC/PU 共混超滤膜性能研究[J]. 过滤与分离, 2010,20 (1):27-29.
- [11] Han M J, Nam S T. Thermodynamic and rheological variation in polysulfone solution by PVP and its effect in the preparation of phase inversion membrane[J]. Journal of Membrane Science, 2002,202:66-70.

(上接第 14 页)的增殖有至关重要的影响, 突变的影响尤甚; 持续性的外源营养盐、藻种、藻类孢子流入库内不仅会直接导致藻类的增殖, 也会积累在底泥中形成潜在的暴发因素。

4 结论

(1) 青草沙水库在发挥“避污蓄清”和“避咸蓄淡”两大功能时必然使库内水体流速减慢, 形成新的水库生态环境, 有利于藻类的增殖。

(2) 长江水进入青草沙水库后具有藻类增殖的潜力, 水库内浮游藻类种类明显高于水库外。

(3) 根据陈行水库的控藻经验, 局部滞留区的藻类水华是可以得到有效控制的。

5 建议

由于青草沙水库库容特别大, 且呈狭长形, 建成后逐渐形成一个相对独立的生态环境, 且水库的不同区域也会形成局部的小生态, 很可能引发藻类过度增殖甚至局部水华。因此, 必须特别重视控制藻类大量增殖, 并在以下方面加强保障措施:

(1) 充分开展对青草沙水库内外不同时间、不同季节、不同水层、不同区域的藻类调查, 摸清藻类种类和数量的变化规律。

(2) 通过人工检测和在线监测建立水质理化指标与藻类生长变化之间的模型, 开展藻类水华实时预警的研究。

(3) 缩短水力停留时间, 促进库水流动, 加大水

库更新和排水能力, 利用潮位差排出含藻水。

(4) 密切监控长江来水水质, 避开排污(如浏河等)对水库水质的影响。

(5) 合理投放鲢鳙^①、河蚌、螺蛳等水生动物, 利用生物除藻。

(6) 及时有序开展底泥疏浚工作, 尽可能提高运行水位。

(7) 选择性地集中设立次氯酸钠、高锰酸钾、活性炭、臭氧、二氧化氯、紫外线等原水预处理设施, 应对藻类应急突发处置。

参考文献

- [1] 周金金, 高乃云, 赵世峨, 等. 青草沙水库投入运行前原水中氮和磷动态变化特征研究[J]. 给水排水, 2010,36(12):49-52.
- [2] 国家环境保护总局科技标准司. 中国湖泊富营养化及其防治研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [3] 刘建华, 尚书铨, 陈杰平. 青草沙原水加氯消毒工艺的优化[J]. 净水技术, 2011,30(5):110-114.
- [4] 荆红卫, 华蕾, 孙成华, 等. 北京城市湖泊富营养化评价与分析[J]. 湖泊科学, 2008,20(3):357-363.
- [5] 王绍祥, 申一尘, 屈云芳, 等. 上海陈行水库浮游藻类分布规律及控制措施[J]. 中国给水排水, 2010,26(12):8-11.
- [6] 董秉直, 范瑾初, 孙有勋, 等. 长江水源水质特点以及处理工艺[J]. 给水排水, 1998,124(5):7-10.
- [7] 林卫青, 顾玉亮, 卢士强, 等. 防止藻类过度繁殖的青草沙水库合理水力停留时间初探[J]. 给水排水, 2009,35(19):60-62.
- [8] 孙扬才, 陈雪初, 孔海南, 等. 长江口边滩水库藻类增殖潜力及遮光控藻研[J]. 环境污染与防治, 2007,29(11):805-808.
- [9] 周志明, 朱俊杰, 顾志敏, 等. 四明湖水库浮游生物现状调查及评价[J]. 水生态学杂志, 2011,32(3):104-107.