

杭州西湖浮游藻类变化规律与水质的关系

张志兵¹, 施心路^{1,2,*}, 刘桂杰¹, 杨仙玉³, 王娅宁¹, 刘晓江¹

(1. 杭州市动物科学与技术重点实验室, 杭州师范大学, 杭州 310036;

2. 中国科学院水生生物研究所 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072; 3. 浙江林学院, 林业与生物技术学院, 杭州 311300)

摘要:于 2006~2007 年对杭州西湖浮游藻类的种类及个体丰度进行初步研究, 并依据《水和废水监测分析方法》对其水质现状进行了生物学评价。综合生物和理化指标数据, 对杭州西湖的水质作一总体评估, 并对西湖水中的物种多样性保护及水质的可持续利用提出了建议。共鉴定浮游藻类 179 种, 其中蓝藻 25 种, 隐藻 1 种, 金藻 3 种, 甲藻 3 种, 黄藻 5 种, 裸藻 23 种, 硅藻 41 种和绿藻 78 种。分析了杭州西湖浮游藻类的组成和分布的特点, 揭示出西湖浮游藻类的种类组成与西湖水质变化之间的关系。结果表明: 藻类的组成和分布与水质变化规律基本吻合, 西湖水质较整治前有明显的改善, 一些清水藻类的物种逐步增多。

关键词:杭州西湖; 浮游藻类; 物种多样性; 水质

文章编号: 1000-0933(2009)06-2980-09 中图分类号: Q142, Q145, Q178, Q948.8 文献标识码: A

The relationship between planktonic algae changes and the water quality of the West Lake, Hangzhou, China

ZHANG Zhi-Bing¹, SHI Xin-Lu^{1,2,*}, LIU Gui-Jie¹, YANG Xian-Yu³, WANG Ya-Ning¹, LIU Xiao-Jiang¹

1 Hangzhou Key Laboratory for Animal Sciences and Technology, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, China

2 State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China

3 School of Forestry and Bio-technology, Zhejiang Forestry University, Hangzhou 311300, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 2980~2988.

Abstract: The species diversity and individual abundance of planktonic algae were investigated and preliminary studied of the West Lake (Hangzhou, China) from 2006 to 2007. The water quality of the West Lake was evaluated as well according to water and wastewater monitoring and analysis methods. This article combine biological and chemistry experimental data to make an overall appraisal and put forward the proposal to species diversity protection and the water quality continuable use. In this studies, 179 species of planktonic algae were identified, species numbers belonging to phyla Cyanophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta, Xanthophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta and Chlorophyta were 25, 1, 3, 3, 5, 23, 41 and 78 respectively. In addition, the characters of species composition and distribution as well as the relationship between them and the changes of the water quality were analyzed. The results showed that the composition and distribution of species and water quality changes matched in principle. The water quality of the West Lake (Hangzhou) has been improved significantly than that in the past, some planktonic algae indicating clean water gradually increase in species number.

Key Words: West Lake(Hangzhou); planktonic algae; species diversity; water quality

杭州西湖位于杭州市西侧, 为我国著名的游览性湖泊。是由淡水湖沼经历了海水入侵的海相时期再淡化

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30670222, 30670297); 中国科学院淡水生态与生物技术国家重点实验室资助项目(2009FB11); 中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室部分资助项目(2006027)

收稿日期: 2008-10-07; 修订日期: 2009-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shixl56@163.com

成现代西湖,一般研究多认为西湖形成淡水湖的年代距今约2000年^[1]。西湖一面濒临市区,三面环山,南北长约3.2km,东西宽约2.8km,绕湖一周近15km,有水面积5.66km²,平均水深仅1.56m,全湖被苏堤、白堤分割成5个子湖区:外湖、北里湖、西里湖、岳湖和小南湖,各湖区的水体通过堤下的桥洞相互沟通。湖中有三潭印月、湖心亭和阮公墩3个小岛。湖水原靠天然雨水补给,自1986年钱塘江引水工程竣工后,每年人工引水平均约2400万m³;主要有长桥溪、龙泓洞、金沙洞等支流汇入,西湖泄水主要通过圣塘河和古新河入运河。

有关研究资料表明:杭州西湖浮游藻类的种类极为丰富,其中蓝藻、绿藻占优势,反映水质超富营养化的特点^[2]。湖内藻类成份正由附生性转变为以浮游性为主^[1]。西湖水体富营养化的原因是多方面的,主要原因是可溶性磷浓度含量过高,刺激了藻类的生长^[3]。

水体富营养化的治理是一个世界性的难题,我国大多数湖泊水体中氮磷含量普遍存在超标现象,是造成水体富营养化的主因^[1~16],导致水质下降。由于西湖为半封闭性湖泊,水的更新程度差,自净能力弱,加上湖区周围经济迅速发展,致使含氮、磷等营养物质大量累积,当氮磷比值达到15~20且气温、光照、水文气象等外部条件适宜时会引起藻类疯长,出现大面积“水华”现象^[17]。虽然通过截污、疏浚和钱塘江引水等一系列治理措施,使西湖水质得到了一定程度的改善,但西湖水体富营养化趋势仍未得到根本控制。本文旨在通过对杭州西湖浮游藻类变化规律与水质关系的研究为西湖环境的综合治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 监测断面的设置

根据需要共设6个采样站,样站1(N30°15'10.63",E120°07'40.36"),曲苑风荷,位于岳湖。样站2(N30°15'24.66",E120°08'12.83"),位于北里湖。样站3(N30°15'45.31",E120°09'06.05"),位于外湖出水口处。样站4(N30°14'54.78",E120°09'18.75"),涌金池,位于外湖。样站5(N30°13'47.98",E120°08'13.79"),苏堤入水口处,位于小南湖。样站6(N30°14'33.86",E120°07'43.14"),设于丁家山景区,位于西里湖。(图1)

1.2 实验方法^[18~20]

1.2.1 样品采集

自2006年9月开始,每月采集水样两次,至2007年9月结束。现场测定水温,加入1ml硫酸锰溶液和2ml碱性碘化钾固定溶解氧水样,总氮水样加硫酸酸化至pH≤1保存,总磷水样加硫酸酸化至pH<2,4℃保存^[21]。

1.2.2 藻类鉴定

主要观察活体与固定样,所用显微镜为Nikon:E200(带数码摄像功能),物种鉴定主要依据《中国淡水藻类一系统、分类及生态》^[22]、《藻类名词及名称》^[23]和《淡水微型生物图谱》^[24]。

1.2.3 水样固定、浓缩和计数

取5ml鲁哥氏液注入495ml水样中,24h后用虹吸管小心抽掉上清液,余下20~25ml沉淀物转入30ml定量瓶中,再用上清液少许冲洗容器几次,冲洗液加到30ml定量瓶中。然后吸取0.1ml样品注入0.1ml计数框,在10×10或10×40倍的显微镜下测定样本大小并逐个计数。每个水样计数3片取平均值按公式:N=(Vs×n)/(V×Va)换算成单位体积中的个体数量。式中,N为1L水中浮游藻类个体数(个/L);V为采样体积(L);Vs为浓缩体积(ml);Va为计数体积(ml);n为计数时所得的个体数。

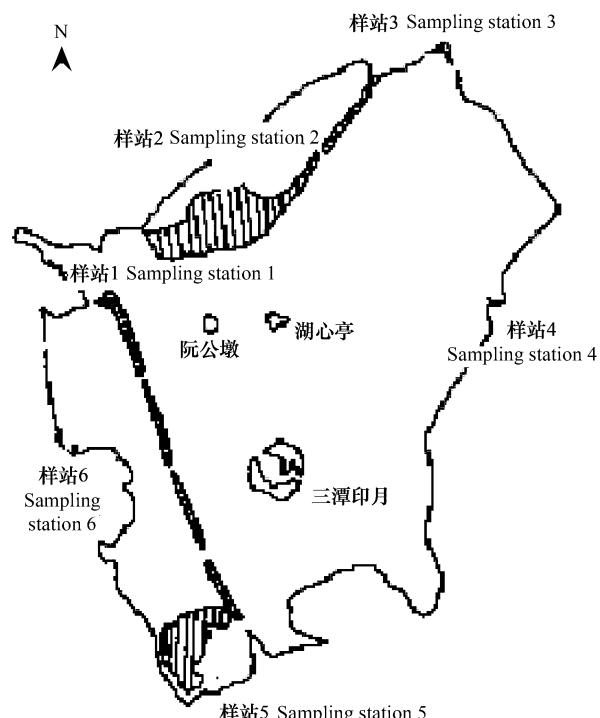


图1 各采样站分布示意图

Fig. 1 Sketch map of six sampling stations

1.2.4 水质状况分析

对采集的水样按水质评价和监测标准^[21]进行理化指标(主要包括T(温度)、DO(溶解氧)、BOD₅(五日生化需氧量)、COD_{Cr}(化学需氧量)、TN(总氮)、TP(总磷)等)分析。

2 结果

2.1 杭州西湖浮游藻类在各样站的分布及组成(表1)

杭州西湖共鉴定出浮游藻类179种,绿藻78种,占总数的43.6%;裸藻23种,占12.9%;蓝藻25种,占14.0%;隐藻1种,占0.6%;金藻3种,占1.7%;甲藻3种,占1.7%;黄藻5种,占2.8%;硅藻41种,占总数的22.9%。西湖浮游藻类的种类和个体丰度较过去均有所增加^[2]。

样站1共检出藻类54种,优势种为不整齐蓝纤维藻(*Dactylococcopsis irregularis*);样站2共检出78种,优势种为点形平裂藻(*Merismopedia punctata*)和两栖颤藻(*Oscillatoria amphibian*);样站3共检出79种,其中优势种为两栖颤藻(*Oscillatoria amphibian*);样站4共检出66种,优势种为两栖颤藻(*Oscillatoria amphibian*)、巨形螺旋藻(*Spirulina major*)和细小平裂藻(*Merismopedia minima*);样站5共检出67种,优势种为四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*);样站6共检出75种,优势种为四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*)。显然:蓝藻门和绿藻门在种类和优势种上都占据了绝对优势。

2.2 生物指标^[25]及评价^[26]

2.2.1 藻类种类数及 Margalef 多样性指数

浮游藻类种类数在一个较大的范围内变化,11月底各样站出现最高峰,然后开始逐渐下降,3月底4月份初又开始回升(图2)。Margalef多样性指数在0.249~4.973之间波动,从9月份开始显下降趋势,到3月的平均值达到最高为1.97(图3)。

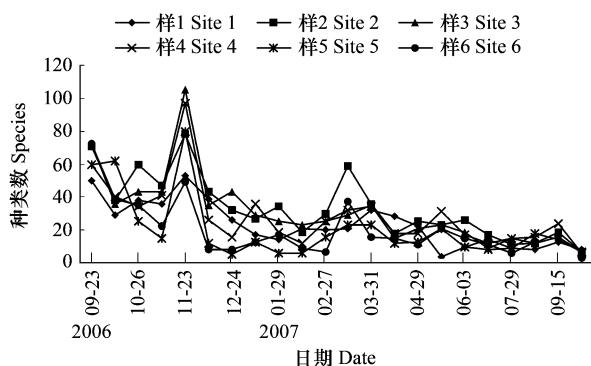


图2 6个样站物种数的变化

Fig. 2 Varieties of numbers of species of six sampling sites

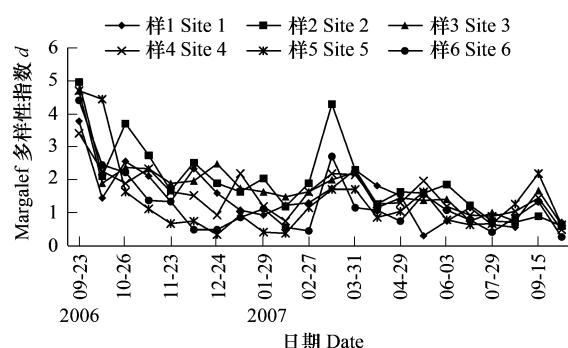


图3 6个样站 Margalef 多样性指数的变化

Fig. 3 Varieties of Margalef's index of six sampling sites

2.2.2 个体丰度及 Simpson 多样性指数

个体丰度最大值出现在样站3达44640000ind./L,10月中旬,多数样站达到最大值,然后呈下降趋势(图4)。Simpson多样性指数在0.4208~0.9987之间波动。样站5的平均值最高达0.9042,其他各样站的平均值保持在0.8700左右(图5)。

2.2.3 Shannon-Weiner 多样性指数及均匀度指数

Shannon-Weiner多样性指数在0.002~2.254之间变动。样站2、样站6最高值同时出现在4月底,样站1在2月初出现最高值,样站4的最大值出现在3月中旬,样站5在12月底出现最大值,样站3维持在一个相对稳定的水平(图6)。均匀度指数在0.003~10.466范围内变动,各样站随时间的变化趋势与Shannon-Weiner多样性指数基本保持一致,各样站之间的差异显著(图7)。

表1 杭州西湖浮游藻类种类组成

Table 1 Species list of planktonic algae found of the West Lake, Hangzhou

种名 Species	种名 Species	种名 Species
类颤鱼腥藻 <i>Anabaena oscillarioides</i>	纤细裸藻 <i>Euglena gracilis</i>	微小异极藻 <i>Gomphonema parvulum</i>
环圈拟鱼腥藻 <i>Anabaenopsis circularis</i>	易变裸藻 <i>Euglena mutabilis</i>	尖布纹藻 <i>Gyrosigma acuminatum</i>
钝顶节旋藻 <i>Arthospira platensis</i>	鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i>	斯潘塞布纹藻 <i>Gyrosigma spencerii</i>
内栖博氏藻 <i>Borzia endophytica</i>	近轴裸藻 <i>Euglena proxima</i>	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>
小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	绿色裸藻 <i>Euglena viridis</i>	系带舟形藻 <i>Navicula cincta</i>
微小色球藻 <i>Chroococcus minutus</i>	密盘裸藻 <i>Euglena wangi</i>	线形舟形藻 <i>Navicula graciloides</i>
居氏腔球藻 <i>Coełosphaerium kuetzingianum</i>	扭曲藻 <i>Helikotropis okteres</i>	放射舟形藻 <i>Navicula radiosa</i>
静水筒孢藻 <i>Cylindrospermum stagnale</i>	卵形鳞孔藻 <i>Lepocinclis ovum</i>	舟形藻 <i>Navicula</i> sp.
不整齐蓝纤维藻 <i>Dactylococcopsis irregularis</i>	喙状鳞孔藻 <i>Lepocinclis playfairiana</i>	细齿菱形藻 <i>Nitzschia denticala</i>
膜状黏杆藻 <i>Gloeothecaceae membranacea</i>	椭圆鳞孔藻 <i>Lepocinclis steinii</i>	泉生菱形藻 <i>Nitzschia fonticola</i>
中国双尖藻 <i>Hammatoidea sinensis</i>	圆柱扁裸藻 <i>Phacus cylindrus</i>	线形菱形藻 <i>Nitzschia linearis</i>
银灰平裂藻 <i>Merismopedia glauca</i>	粒形扁裸藻 <i>Phacus granum</i>	布雷羽纹藻 <i>Pinnularia brebissonii</i>
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	钩状扁裸藻 <i>Phacus hamatus</i>	中突羽纹藻 <i>Pinnularia mesolepta</i>
点形平裂藻 <i>Merismopedia punctata</i>	曲尾扁裸藻 <i>Phacus lismorensis</i>	细条羽纹藻 <i>Pinnularia microstauron</i>
微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>	长尾扁裸藻 <i>Phacus longicauda</i>	弯形弯楔藻 <i>Rhoicosphenia curvata</i>
屈氏平裂藻 <i>Merismopedia trolleri</i>	亚铃扁裸藻 <i>Phacus peteloti</i>	双头辐节藻 <i>Stauroneis</i> sp1.
紫色微囊藻 <i>Microcystis amethystina</i>	陀螺剑尾藻 <i>Strombomonas ensifera</i>	双头辐节藻 <i>Stauroneis</i> sp2.
沼泽念珠藻 <i>Nostoc paludosum</i>	暗绿囊裸藻 <i>Trachelomonas euchlora</i>	端毛双菱藻 <i>Surirella capronii</i>
两栖颤藻 <i>Oscillatoria amphibia</i>	细粒囊裸藻 <i>Trachelomonas granulosa</i>	尖针杆藻 <i>Synedra acus</i>
珊瑚颤藻 <i>Oscillatoria corallinae</i>	旋转囊裸藻 <i>Trachelomonas volvocina</i>	近缘针杆藻 <i>Synedra affinis</i>
伪双点颤藻 <i>Oscillatoria pseudogeminata</i>	卵圆双眉藻 <i>Amphora ovalis</i>	双头针杆藻 <i>Synedra amphicephala</i>
纤细席藻 <i>Phormidium tenue</i>	扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>	偏凸针杆藻 <i>Synedra vaucheriae</i>
弯形小尖头藻 <i>Raphidiopsis curvata</i>	科曼小环藻 <i>Cyclotella comensis</i>	窗格平板藻 <i>Tabellaria fenestriata</i>
中华尖头藻 <i>Raphidiopsis sinensis</i>	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	绒毛平板藻 <i>Tabellaria flocculosa</i>
巨形螺旋藻 <i>Spirulina major</i>	草鞋形波缘藻 <i>Cymatopleura solea</i>	集星藻 <i>Actinastrum hantzschii</i>
啮蚀隐藻 <i>Cryptomonas erosa</i>	奥地利桥弯藻 <i>Cymbella austriaca</i>	针形纤维藻 <i>Ankistrodesmus acicularis</i>
角甲藻 <i>Ceratium hirundinella</i>	膨胀桥弯藻 <i>Cymbella tumida</i>	狭形纤维藻 <i>Ankistrodesmus angustus</i>
裸甲藻 <i>Gymnodinium aeruginosum</i>	长等片藻 <i>Diatoma elongatum</i>	卷曲纤维藻 <i>Ankistrodesmus convolutus</i>
外穴裸甲藻 <i>Gymnodinium excavatum</i>	普通等片藻 <i>Diatoma vulgare</i>	镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus falcatus</i>
小刺角绿藻 <i>Goniochloris brevispinosa</i>	鼠形窗纹藻 <i>Epithemia sorex</i>	纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> sp.
钝角绿藻 <i>Goniochloris mutica</i>	短线脆杆藻 <i>Fragilaria brevistriata</i>	螺旋纤维藻 <i>Ankistrodesmus spiralis</i>
小型黄管藻 <i>Ophiocytium parvulum</i>	克洛脆杆藻 <i>Fragilaria crotomensis</i>	狭形小椿藻 <i>Characium augustum</i>
小型黄丝藻 <i>Tribonema minue</i>	十字脆杆藻 <i>Fragilaria harrissonii</i>	直立小椿藻 <i>Characium strictum</i>
拟丝状黄丝藻 <i>Tribonema ulothrichoides</i>	中型脆杆藻 <i>Fragilaria intermidia</i>	土生绿球藻 <i>Chlorococcum humicola</i>
弯曲变胞藻 <i>Astasia curvata</i>	变绿脆杆藻 <i>Fragilaria viresens</i>	中华拟衣藻 <i>Chloromonas sinica</i>
变异多形藻 <i>Distigma proteus</i>	微绿肋缝藻 <i>Frustulia viridula</i>	纤毛顶棘藻 <i>Chodatella ciliata</i>
刺鱼状裸藻 <i>Euglena gasterosteus</i>	缢缩异极藻 <i>Gomphonema constrictum</i>	弓形藻 <i>Schroederia setigera</i>
库津新月藻 <i>Cladostelium kuetzingii</i>	盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp4.	螺旋弓形藻 <i>Schroederia spiralis</i>
小空星藻 <i>Coelastrum microporum</i>	四角盘星藻 <i>Pediastrum tetras</i>	纤细月牙藻 <i>Selenastrum gracile</i>
颗粒鼓藻 <i>Cosmarium granatum</i>	透镜壳衣藻 <i>Phacotus lenticularis</i>	端尖月牙藻 <i>Selenastrum westii</i>
华美十字藻 <i>Crucigenia lauterbornii</i>	心形素衣藻 <i>Polytoma cordatum</i>	乳突顶接鼓藻 <i>Spondylosium papillosum</i>
四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i>	钝素衣藻 <i>Polytoma obtusum</i>	平顶顶接鼓藻 <i>Spondylosium planum</i>
直角十字藻 <i>Crucigenia rectangularis</i>	极小葡萄藻 <i>Pyrobotrys minima</i>	四角角星鼓藻 <i>Staurastrum tetracerum</i>
棘鞘藻 <i>Echinocoleum elegans</i>	柯氏并联藻 <i>Quadrigula chodatii</i>	具尾四角藻 <i>Tetraedron caudatum</i>
芒锥藻 <i>Errerella bornhemiensis</i>	新月并联藻 <i>Quadrigula closterioides</i>	细小四角藻 <i>Tetraedron minimum</i>
布雷棒形鼓藻 <i>Gonatozygon brebissonii</i>	尖细栅藻 <i>Scenedesmus acuminatus</i>	整齐四角藻 <i>Tetraedron regulare</i>
棒形鼓藻 <i>Gonatozygon monotaenium</i>	被甲栅藻 <i>Scenedesmus armatus</i>	三角四角藻 <i>Tetraedron trigonum</i>
水网藻 <i>Hydrodictyon reticulatum</i>	对对栅藻 <i>Scenedesmus bijuga</i>	三叶四角藻 <i>Tetraedron trilobulatum</i>
蹄形藻 <i>Kirchneriella lunaris</i>	龙骨栅藻 <i>Scenedesmus cavinus</i>	四月藻 <i>Tetrallantos lagerkeimii</i>
大叶衣藻 <i>Lobomonas ampla</i>	齿牙栅藻 <i>Scenedesmus denticulatus</i>	网膜藻 <i>Tetrasporidium javanicum</i>
环离鞘丝藻 <i>Lyngbya circumcreta</i>	二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>	短刺四星藻 <i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>
丛毛微孢藻 <i>Microspora floccosa</i>	厚顶栅藻 <i>Scenedesmus incrassatus</i>	片状胸板藻 <i>Thorakomonas laminata</i>
池生微孢藻 <i>Microspora stagnorum</i>	裂孔栅藻 <i>Scenedesmus perforatus</i>	粗刺四刺藻 <i>Treubaria crassispina</i>
肾形藻 <i>Nephrocystium agardhianum</i>	扁盘栅藻 <i>Scenedesmus platydiscus</i>	网纹小瘤藻 <i>Trochiscia reticularis</i>
新月肾形藻 <i>Nephrocystium lunatum</i>	四尾栅藻 <i>Scenedesmus quadricauda</i>	球团藻 <i>Volvox globator</i>
单生卵囊藻 <i>Oocystis solitaria</i>	栅藻 <i>Scenedesmus</i> sp.	浮生韦斯藻 <i>Wislouchiella planctonica</i>
短棘盘星藻 <i>Pediastrum boryanum</i>	武汉栅藻 <i>Scenedesmus wuhanensis</i>	囊生单鞭金藻 <i>Chromulina freiburgensis</i>
盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp1.	拟菱形弓形藻 <i>Schroederia nitzschioides</i>	肾形双角藻 <i>Dicera phaseolus</i>
盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp2.	硬弓形藻 <i>Schroederia robusta</i>	具尾鱼鳞藻 <i>Mallomonas caudata</i>
盘星藻 <i>Pediastrum</i> sp3.		

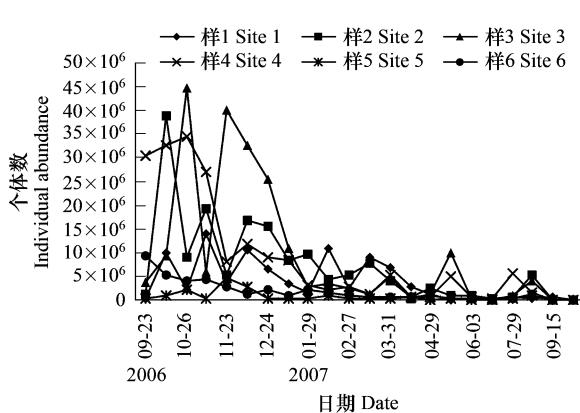


图 4 6个样站个体丰度的变化

Fig. 4 Varieties of individual abundance of six sampling sites

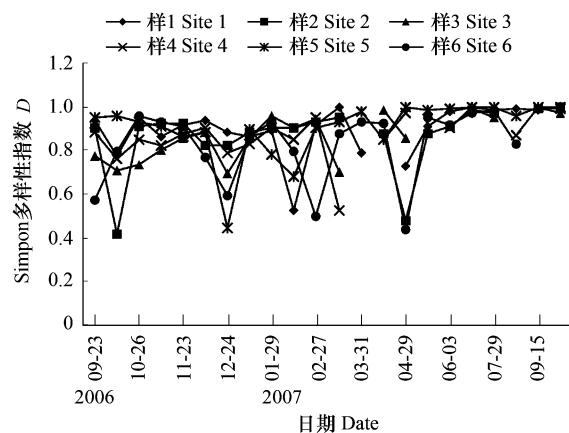


图 5 6个样站 Simpon 多样性指数的变化

Fig. 5 Varieties of Simpon's index of six sampling sites

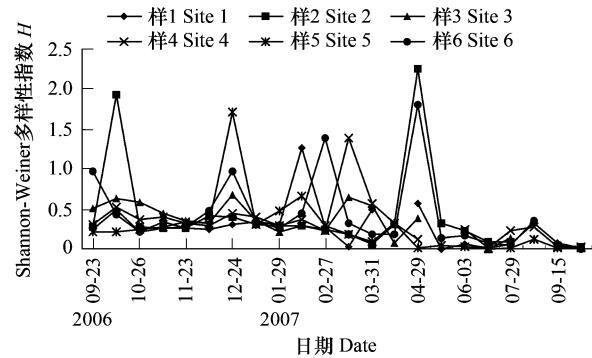


图 6 6个样站 Shannon-Weiner 多样性指数的变化

Fig. 6 Varieties of Shannon-Weiner index of six sampling sites

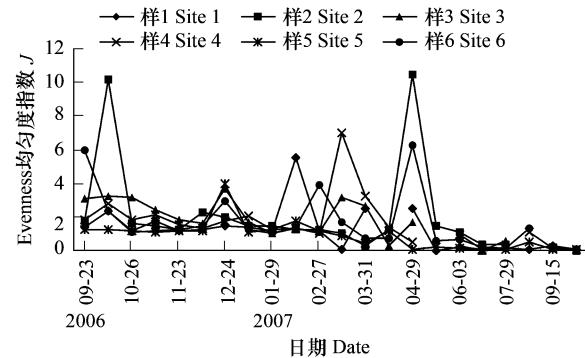


图 7 6个样站均匀度指数的变化

Fig. 7 Varieties of J value of six sampling sites

生物参数计算公式为: $d = (S - 1)/\ln N$, $D = 1 - \sum (ni/N)^2$, $H = - \sum (ni/N) \log_2 ni/N$, $J = H/\log_2 S$ 。式中 S 为种数, ni 为 i 种的个体数, N 为总个体数。

2.3 藻类污染指数

2.3.1 绿藻指数 = 绿藻种数(不包括鼓藻)/鼓藻种数

绿藻指数为 0~1 属贫营养型, 1~5 属富营养型, 5~15 属重富营养型。绿藻指数 = $72/6 = 12$, 属重富营养型。

2.3.2 综合指数 = (蓝藻 + 绿藻 + 中心壳目硅藻 + 裸藻种数)/鼓藻种数

小于 1 为贫营养型, 1~2.5 为弱富营养型, 3~5 为中度富营养型, 5~20 为重度富营养型, 20~43 为重富营养型。 $20 < \text{综合指数} < 43$, 为重富营养型。

2.3.3 Margalef 多样性指数

0~1 为重度污染, 1~2 为严重污染, 2~4 为中度污染, 4~6 为轻度污染, 大于 6 为清洁水体。共出现 33 次重度污染, 48 次严重污染, 20 次中度污染, 6 次轻度污染。

2.4 各样点的水质状况(表2)

表2 各样点的水质状况
Table 2 The water quality condition of six sampling sites

样站 Sampling site	化学指标 Chemical indexes	最大值 Maximum value	最小值 Minimum value	平均值 Average value	最差 The worst	最好 The best
样1 Sampling site 1	pH值	8.34	6.00	7.70	-	-
	溶解氧 DO(mg/L)	11.95	2.94	7.07	V	II
	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	3.11	0.27	1.44	III	I
	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	32.70	8.50	19.90	V	I
	总磷 TP(mg/L)	0.233	0.019	0.115	> V(0.2)	II
	总氮 TN(mg/L)	7.64	0.92	2.83	> V(2.0)	III
样2 Sampling site 2	pH值	8.83	6.00	7.99	-	-
	溶解氧 DO(mg/L)	10.91	2.37	7.53	V	I
	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	5.22	1.15	2.74	IV	I
	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	42.50	14.30	24.30	> V(40)	I
	总磷 TP(mg/L)	0.274	0.029	0.119	> V(0.2)	III
	总氮 TN(mg/L)	4.29	0.61	1.97	> V(2.0)	III
样3 Sampling site 3	pH值	9.18	7.00	8.39	-	-
	溶解氧 DO(mg/L)	12.68	5.52	9.00	III	I
	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	5.38	1.07	3.08	IV	I
	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	39.70	11.90	21.50	V	I
	总磷 TP(mg/L)	0.393	0.017	0.140	> V(0.2)	II
	总氮 TN(mg/L)	3.09	0.94	1.79	> V(2.0)	III
样4 Sampling site 4	pH值	8.95	7.38	8.27	-	-
	溶解氧 DO(mg/L)	10.94	3.53	7.96	IV	I
	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	4.97	0.77	2.64	IV	I
	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	38.00	12.90	21.60	V	I
	总磷 TP(mg/L)	0.266	0.024	0.114	> V(0.2)	II
	总氮 TN(mg/L)	3.35	0.64	1.87	> V(2.0)	III
样5 Sampling site 5	pH值	8.29	7.16	7.59	-	-
	溶解氧 DO(mg/L)	10.18	4.23	7.53	IV	I
	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	3.53	0.50	1.42	III	I
	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	28.10	2.38	10.30	IV	I
	总磷 TP(mg/L)	0.376	0.028	0.091	> V(0.2)	III
	总氮 TN(mg/L)	3.88	1.13	2.64	> V(2.0)	IV
样6 Sampling site 6	pH值	8.60	7.58	7.92	-	-
	溶解氧 DO(mg/L)	12.31	6.19	8.43	II	I
	五日生化需氧量 BOD ₅ (mg/L)	4.54	0.76	1.54	IV	I
	化学需氧量 COD _{Cr} (mg/L)	32.00	2.00	10.60	V	I
	总磷 TP(mg/L)	0.356	0.023	0.101	> V(0.2)	II
	总氮 TN(mg/L)	4.27	1.09	2.60	> V(2.0)	IV

分级参考《地表水环境质量标准》GB 3838-2002^[27] Classification reference: Surface Water Environmental Quality Standard GB 3838-2002^[27]

杭州西湖全年水温在7.0~33.5℃内波动,最高水温出现在7月底8月初,最低水温出现在1月份,平均水温为19.9℃;pH值为中性稍偏碱性,所有样点的平均值为7.99;DO受季节的变化的影响较大,全年在2.37~12.31mg/L范围内变化,DO含量最高的为样站3,平均值为8.71 mg/L,最低的为样站1,平均值为6.71 mg/L,所有样站平均值为7.71mg/L;BOD₅在0.27~5.38 mg/L范围内变化,样站3的平均值最高为3.15mg/L,样站1的平均值最低为1.44mg/L,所有样站的平均值为2.21mg/L;COD_{Cr}的平均值相差较大,样站

2 最高为 24.7mg/L, 样站 5 最低为 9.24mg/L, 所有样站的平均值为 18.00mg/L; TP 的变化范围在 0.017 ~ 0.283mg/L 之间, 平均值最高的样站 2 为 0.121mg/L, 平均值最低的样站 5 为 0.074mg/L, 所有样站平均值为 0.102mg/L; 各样站的 TN 相差不大, 平均值在 1.75 ~ 2.80mg/L 范围内波动, 所有样站的平均值为 2.24mg/L, 样站 1 最高达 7.64 mg/L, 样站 3 最低为 0.61 mg/L。

3 讨论

与前人研究相比, 杭州西湖的浮游藻类种类和个体丰度均有所增加^[2]。与国内其他淡水湖泊相比, 杭州西湖的物种多样性指数也具一定优势^[9], 耐污性种类两栖颤藻 (*Oscillatoria amphibian*) 在各样站出现的次数和丰度都极高, 整个西湖水域藻类个体丰度非常高, 样站 3 的个体丰度最高可达 44640000ind/L。一般来说, 多样性指数越大, 则水质越好。一般在未污染的水体中, 种类多而种群数量大多偏低; 而在污染水体中, 由于不同种类对污染的反应不同, 少数种类的种群数量增加; 但在严重污染时, 种类数和种群数量都降低^[26]。

研究发现: 杭州西湖绿藻门的种类所占比例开始增大, 蓝藻门的种类所占比例开始减小, 说明西湖水质正在逐渐变好。然而, 综合绿藻指数(绿藻指数 = 12, 属重富营养型)、综合指数(20 < 综合指数 < 43, 为重富营养型)、Margalef 多样性指数以及裸藻门种类占浮游藻类总数 12.9%, 说明杭州西湖水体还是属典型富营养化水体^[2]。

化学指标方面, 根据《水质标准汇编》^[27] 中“地表水环境质量标准基本项目标准限值”部分标准进行评定: 所有样站中 DO、BOD₅、COD_{Cr}最好时均可达 I 类水标准 (DO ≥ 7.5 mg/L、BOD₅ ≤ 3mg/L、COD_{Cr} ≤ 15mg/L), TP 和 TN 大多情况处于属于 III 类水标准 (0.025 ≤ TP ≤ 0.05 0.5 ≤ TN ≤ 1.0) 以下。比较而言, 样站 3 的 DO 和 TN 较好, 但其他指标相对较差。样站 1、样站 5 和样站 6 的 BOD₅、COD_{Cr} 和 TP 较好, 样站 2 各指标较差, 样站 6 的各项指标大多好于样站 5。根据极值评价法(即以所有指标中最差的一项为评价标准), 杭州西湖的水质仍属于 V 类水。

与其他淡水湖泊水质情况一样^[2,4,10,14,15], 导致西湖水质标准下降的主要原因还是 TN 和 TP 的含量超标。调查发现, 主要原因有: 近 2000 年高龄的西湖已进入衰老期, 自身调节能力较差^[28], 加上水浅且交换率低, 只有小南湖一个进水口和圣塘闸一个出水口, 加上湖区内湾道较多使湖水不能达到充分混合的效果。湖中又有苏堤和白堤阻碍了湖水之间充分流动, 造成流动“死角”。又因西湖是处于大城市中的著名旅游景点, 大量游客的活动和机动车尾气的排放一定程度上影响了湖水的质量, 导致一些藻类生长十分迅速^[12], 极易造成湖水水质恶化。此外, 西湖底泥平均厚达 0.8m, 含大量丰富的有机质^[29], 特别是氮和磷。这些营养物质在一定条件下, 如风浪、船只的搅动, 底层氮磷等仍有可能上浮, 为藻类所利用。也可能藻类和其他浮游生物之间存在某种复杂的生物关系^[30,31] 从而促进藻类吸收 N、P。

究其原因, 样站 5 和样站 6 附近的宾馆、饭店比较多, 周围还有大片茶树林, 下雨时, 含 P、N 很高的雨水从上游入西湖, 样站 5 和样站 6 的 DO (≥ 5mg/L)、BOD (≤ 4mg/L) 和 COD_{Cr} (≤ 20mg/L) 都至少达到 III 类水的标准, 一年中 TN 和 TP 的含量维持在一个比较稳定变化的水平。样站 2 旁边有一公交站点, 行人游客众多, 水的透明度较低且水草很少。样站 3 设在西湖一个主要的出水口处, 此处水深达 2m 以上, 风浪较大, DO (5.52 ~ 9.00mg/L) 和 TN (1.79mg/L) 是所有样点中相对较好的。样站 5 位于引钱塘水经净化处理过后流入西湖的入水口旁, 且生长大量沉水植物, 各项指标明显要好于其他各样站。

要彻底改善西湖的水质, 当地政府应完善和加强管理力度: 坚决关闭湖区周边的工厂, 杜绝生活污水排往湖中, 禁止游客乱扔废弃物; 改善水流在湖中的分布: 增加换水频率和流量, 增加进水口和出水口, 各区域间相互灌通, 以达到最好的引水效果。引入的水在进入西湖前应经净化处理, 去除其中含 N、P 有机物及有害物质。探索新的治理方法: 根据国内和国外一些治理湖泊经验, 可在湖中种植适量较大型水生植物吸收 N、P, 然后加以收集和捕捞。此外, 在湖中投放聚合氯化铝、聚合氯化铁等盐可使含磷盐被吸附而沉降, 降低 TP^[12]。笔者设想: N、P 有机物 → 藻类 → 浮游动物 → 鱼类食物链上, 在控制 N、P 排放的同时, 构造更复杂的食物网, 让藻类成为更多种浮游生物的食物, 如研究专以浮游藻类为食的转基因鱼类, 从而使更多的 N、P 朝有利的方向

流动。鉴于西湖水浅泥多的现状,能否探究先在小范围内围湖挖泥,然后依次向前推进,彻底清除淤泥中的N、P的方法。

总之,利用生物(浮游藻类)参数监测杭州西湖水质的结果与理化参数监测所得的结果能较好的吻合,两者都显示了西湖水体富营养化的事实。但以目前所用的极值评价法,杭州西湖水质仍属于V类水体。实验证明,样站5位于进水口附近,其生物多样性、个体丰度以及其他理化指标均明显要好于其他样点且大部分指标较好,如果仅仅因为总氮超标而被定为V类水似乎不太科学,应尽可能多的从各个方面对水质进行一个综合评价。中国和北美学者最新研究资料表明:减氮不能控制藻类总量,富营养化治理应集中控磷。因此,对磷的控制就显得更加重要了。自从2002年杭州市政府实施西湖西进工程,定人定时打捞湖面污物等。西湖的水质在很大程度上得到改善,氮磷的排放已被有效的控制,其他各理化指标也较以前有了明显好转^[2],水螅等环境指示生物也正逐步增多。

References:

- [1] Xiang S D, Wu W W, Huang S H, Chen L J, Yao M. Algae species succession and trophic developing process during the past 2000 years in the West Lake, Hangzhou. *Journal of Lake Sciences*, 2000, 12(3): 219—225.
- [2] He S J, Liu J Y, Mao F X. A preliminary investigation of the phytoplankton in the West Lake, Hangzhou. *Journal of Hangzhou University*, 1980, (1): 104—116.
- [3] Pei H P, Ma J Y, Zhou H, Cai J X, Li G G. The dynamic model of algae in West Lake of Hangzhou. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 24(2): 143—149.
- [4] Jiang Y C, Ding J Q, Zhang H J. Analysis of algae condition of Taihu. *Jiangsu Environmental Technology*, 2001, 14(1): 30—31.
- [5] He J T, Pei H P, Jiang X M. Prediction method and result analysis of the water quality in the West Lake, Hangzhou. *Journal of Biomathematics*, 1994, 9(2): 85—90.
- [6] Zheng X J, Luo N N, Pei H P. Assessment of spatio-temporal changes of water quality in West Lake, Hangzhou using SOFM neural network. *Journal of Biomathematics*, 2007, 22(2): 317—322.
- [7] Yao H M, Huang R T, Liu Y, Jiang W K. Principal component analysis of water high eutrophication evaluation in Taihu Lake. *Journal of Guilin University of Technology*, 2005, 25(2): 248—251.
- [8] Huang W Y, Gao G, Shu J H, Yu Z H, Zhou X W. The effect of phosphorus in detergents on algae growth in Taihu Lake. *Journal of Lake Sciences*, 2003, 15(4): 326—330.
- [9] Zhang L P. Diversity analysis of algae in Chaohu Lake. *Journal of Biology*, 2007, 24(6): 53—54.
- [10] Han X Y. Studies and research on water quality in Chaohu Lake. *Protection of Water Resources*, 1998, 7(1): 24—28.
- [11] Shun Y H, Chen X Q, He X H. Vague evaluation to water quality of the West Lake. *Zhejiang Water Science and Technology*, 2003, (6): 31—34.
- [12] Yu J J. Review the effect after diversion to improve West Lake water quality. *Protection of Water Resources*, 1998, 11(2): 50—55.
- [13] Zeng H Q, He Z J, Peng X L. The study of water quality and the protect measurement in the Poyang Lake. *Jiangxi Science*, 2003, 21(3): 226—229.
- [14] Lv L J. Status and trend of water quality in Poyang Lake. *Journal of Lake Sciences*, 1994, 6(1): 86—93.
- [15] Zhao H Q, Li C H, Du F Y, Wang X F, Li Z D, Jia X P. Species composition, abundance distribution and diversity of Planktonic Ostracoda in the Beibu Gulf. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 25—33.
- [16] Xing P, Kong F X, Cao H S, Zhang M. Relationship between bacterioplankton and phytoplankton community dynamics during late spring and early summer in Lake Taihu. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 1696—1702.
- [17] Fukami K, Nishijima T, Murata H, et al. Distribution of bacteria influential on the development and the decay of *Gymnodinium nagaasakiense* red tide and their effects on algal growth. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1991, 57: 2321—2326.
- [18] Shi X L, Yu Y H, Shen Y F. Studies on the morphology and infraciliature *Vorticella campanula*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, 27(1): 64—68.
- [19] Han L, Shi X L, Liu G J, Tan X L, Han H L. Preliminary studies on protozoans community diversity in the water area of the sun island in Harbin. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(2): 272—277.
- [20] Song W B, Xu K D. Protocols in protozoological studies. In: Song W B ed. *Progress in Protozoology*. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1999. 9—26.
- [21] Compiled By Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods (Fourth Updated Edition)*. Beijing: China Environmental Science Press. 2002. 88—104.
- [22] Hu H J, Wei Y X. Algae identification. In: Hu H J, Wei Y X eds. *The Freshwater Algae of China-Systematics, Taxonomy and Ecology*. Beijing:

- Science Press, 2006. 23—915
- [23] Zeng C K, Bi L J, Lu B R, et al. Part name. In: Zeng C K, Bi L J eds. A Glossary of Terms and Names of Algae (Second Edition). Beijing: Science Press, 2005. 56—300.
- [24] Zhou F X, Chen J H. Algae identification. In: Zhou F X, Chen J H eds. Freshwater Maps of Microbiological. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. 35—192.
- [25] Tan X L, Shi X L, Liu G J, Bai X. Studies on the regular changes of protozoan community diversity in an artificial lake in Harbin. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2650—2657.
- [26] Zhang Z S. Algae used to monitor the various index and standards. In: Shen Y F ed. Modern Biomonitoring Techniques Using Freshwater Microbiota. Beijing: China Architecture Industry Press, 1990. 119—142.
- [27] Compiled by the water quality standards group. Compilation of Water Quality Standard. Beijing: Standards Press of China, 2005. 12—26.
- [28] Xu M Q, Cao H, Wang Y L. The purification efficiency of the Hangu Stabilization Ponds and its relationship with biodiversity of protozoan community. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 20(2): 283—287.
- [29] Lindström E S. Bacterioplankton community composition in five lakes different in trophic status and humic content. *Microbial Ecology*, 2000, 40: 104—113.
- [30] Riemann L, Wingding A. Community dynamics of free-living and particle-associated bacterial assemblages during a freshwater phytoplankton bloom. *Microbial Ecology*, 2001, 42: 274—285.
- [31] Cole J J. Interactions between bacteria and algae in aquatic ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1982, 13: 291—314.

参考文献:

- [1] 项斯端,吴文卫,黄三红,陈丽娟,姚敏.近2000年来杭州西湖藻类种群的演替与富营养化的发展过程. *湖泊科学*,2000,12(3):219~225.
- [2] 何绍箕,刘经雨,毛发新.杭州西湖浮游藻类的初步研究. *杭州大学学报*,1980,(1):104~116.
- [3] 裴洪平,马建义,周宏,蔡景现,李共国.杭州西湖藻类动态模型研究. *水生生物学报*,2003,24(2):143~149.
- [4] 江耀慈,丁建清,张虎军.太湖藻类状况分析. *江苏环境科技*,2001,14(1):30~31.
- [5] 何金土,裴洪平,章向明.杭州西湖水质预测方法和结果分析. *生物数学学报*,1994,9(2):85~90.
- [6] 郑晓君,罗妮娜,裴洪平.利用SOFM网络评价杭州西湖水质的时空变化. *生物数学学报*,2007,22(2):317~322.
- [7] 姚焕政,黄仁涛,刘洋,蒋文凯.主成分分析法在太湖水质富营养化评价中的应用. *桂林工学院学报*,2005,25(2):248~251.
- [8] 黄文钰,高光,舒金华,于忠华,周修炜.含磷洗衣粉对太湖藻类生长繁殖的影响. *湖泊科学*,2003,15(4):326~330.
- [9] 张良璞.巢湖藻类群落多样性分析. *生物学杂志*,2007,24(6):53~54.
- [10] 韩小勇.巢湖水质调查与研究. *水资源保护*,1998,7(1):24~28.
- [11] 孙映宏,陈雪芹,何晓洪.西湖水质的模糊评判. *浙江水利科技*,2003,(6):31~34.
- [12] 俞建军.引水对西湖水质改善作用的回顾. *水资源保护*,1998,11(2):50~55.
- [13] 曾慧卿,何宗健,彭希珑.鄱阳湖水质状况及保护对策. *江西科学*,2003,21(3):226~229.
- [14] 吕兰军.鄱阳湖水质现状及变化趋势. *湖泊科学*,1994,6(1):86~93.
- [15] 赵汉取,李纯厚,杜飞雁,王学锋,李占东,贾晓平.北部湾海域浮游介形类物种组成、丰度分布及多样性. *生态学报*,2007,27(1):25~33.
- [16] 邢鹏,孔繁翔,曹焕生,张民.太湖浮游细菌与春末浮游藻类群落结构演替的相关分析. *生态学报*,2007,27(5):1696~1702.
- [18] 施心路,余育和,沈韫芬.钟形钟虫形态学及表膜下纤维系统的研究. *水生生物学报*,2003,27(1):64~68.
- [19] 韩蕾,施心路,刘桂杰,谭晓丽,韩红蕾.哈尔滨太阳岛水域原生动物群落变化的初步研究. *水生生物学报*,2007,31(2):272~277.
- [20] 宋微波,徐奎栋.现代原生动物学研究的常用方法.见:宋微波主编.原生动物专论.青岛:青岛海洋大学出版社,1999.9~26.
- [21] 国家环境保护总局编.水和废水监测分析方法(第四版).北京:中国环境科学出版社,2002.88~104.
- [22] 胡鸿钧,魏印心.藻类鉴定.见:胡鸿钧,魏印心主编.中国淡水藻类-系统、分类及生态.北京:科学出版社,2006.23~915.
- [23] 曾呈奎,毕列爵,陆保仁.等.名称部分.见:曾呈奎,毕列爵主编.藻类名词及名称(第二版).北京:科学出版社,2005.56~300.
- [24] 周凤霞,陈剑虹.藻类鉴定.见:周凤霞,陈剑虹主编.淡水微型生物图谱.北京:化学工业出版社,2005.35~192.
- [25] 谭晓丽,施心路,刘桂杰,白欣.哈尔滨人工湖泊中原生动物群落变化规律. *生态学报*,2005,25(10):2650~2657.
- [26] 章宗涉.藻类监测时采用的各种指标和标准.见:沈韫芬主编.微型生物监测新技术.北京:中国建筑工业出版社,1990.119~142.
- [27] 水质标准汇编组编.水质标准汇编.北京:中国标准出版社,2005.12~26.
- [28] 许木启,曹宏,王玉龙.原生动物群落多样性变化与汉沽稳定塘水质净化效能相互关系的研究. *生态学报*,2002,20(2):283~287.