

杭州西湖总氮、总磷周年变化与水体富营养化研究

毛成贵, 余雪芳, 邵晓阳

(杭州师范大学生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310012)

摘要:2006年10月~2007年9月,对西湖5个主要湖区的8个样点水体的温度、溶解氧、pH、透明度、悬浮物、总氮、总磷、叶绿素a浓度等理化因子和藻类生物量进行测定和分析,讨论总氮、总磷与优势种藻类、藻类总量的平均浓度的关系。结果表明,总氮年平均值2.63 mg/L,变化范围0.17~7.88 mg/L;总磷年平均值为0.087 mg/L,10月最高,为0.187 mg/L;叶绿素年平均值为24.49 $\mu\text{g/L}$,最大值和最小值分别出现在2007年7月(50.59 $\mu\text{g/L}$)与2月(1.09 $\mu\text{g/L}$)。优势种藻类及藻类总量的平均浓度与总氮呈极显著负相关($P < 0.01$),与总磷呈显著正相关($P < 0.05$),总磷为西湖藻类增殖的主要限制因子。作为一个内源性污染的浅水富营养化湖泊,西湖的治理需要控制人为因素对水体的影响,减少底泥营养盐的再释放,尤其是降低可溶性磷酸盐的释放,从而抑制藻类的过量繁殖。

关键词:总氮;总磷;富营养化;杭州西湖

中图分类号:X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2010)04-0001-07

杭州西湖位于杭州市西部,面积5.6 km²,平均水深1.8 m,是一个小型城市浅水湖泊。从20世纪50年代以来,西湖一直面临着以富营养化及生态系统退化为主要特征的严峻的水质恶化问题。氮、磷含量居高不下,蓝藻等浮游植物大量繁殖,曾先后2次爆发水华事件(吴洁和虞左明,2001)。为治理西湖富营养化,改善水质,自20世纪80年代起先后采取了截污、局部疏浚和引水冲污等一系列重大工程治理措施,但西湖水质并没有得到根本性改善(吴根福等,1998;吴洁和虞左明,2001)。

湖泊富营养化控制研究表明,在蓝藻型富营养化浅水湖泊中,作为优势种的蓝藻对外源性营养盐的控制反应迟缓,或者没有反应,因而希望通过控制外源性营养盐来控制蓝藻水华的努力难以奏效(Nixdorf B & Deneke R, 1997; Padisak J & Reynolds C S, 1998)。同时,湖泊富营养化问题与湖泊底泥所造成的内源污染有关,动力作用导致底泥悬浮,促进底泥中营养盐的释放,控制浅水湖泊富营养化,除了进行外源性营养盐控制之外,还必须进行内源营养盐处理(秦伯强,2002)。

磷是生物圈内重要的营养元素,也是引起水体

富营养化的重要因素之一。本文通过对西湖主要湖区四季总氮(TN)、总磷(TP)浓度变化与相关环境因子联合作用的研究,以期探讨西湖四季营养盐浓度变化与西湖水体富营养化的关系,为西湖富营养化的治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样地点与采样时间

根据西湖湖区的分布和周围环境状况共设置8个采样点(图1):1~4号采样点位于外湖,其中1号位于少年宫排水水闸附近;2号采样点处有音乐喷泉定时喷射;3号采样点位于外湖最南端,紧邻小南湖;4号采样点位于外湖的中心。5~8号采样点分别位于北里湖、西里湖、茅家埠和小南湖的中心。

采样时间为2006年10月~2007年9月,每月

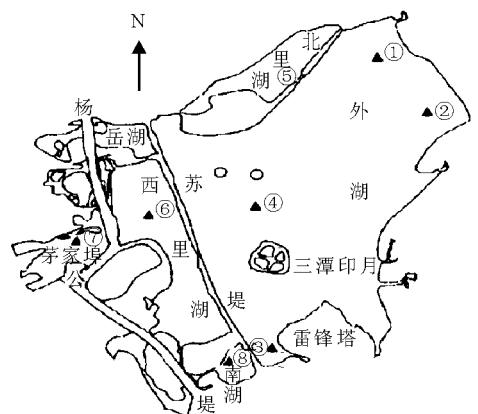


图1 西湖采样点位置

Fig. 1 Distribution of sampling points in West Lake

收稿日期:2010-02-23

基金项目:国家自然科学基金(30670222);浙江省科技厅面上项目2009C33064。

通讯作者:邵晓阳,1960年生,主要从事水生生物生理生态学。

作者简介:毛成贵,1986年生,浙江绍兴人,硕士研究生,主要从事水生生物学研究。E-mail:maochengze@126.com

采样1次,每次按1~8号样点的顺序依次用1.5 L采水器采集表层下0.50 m深处水样,时间控制在8:30~15:30。

1.2 采样与测定方法

1.2.1 总氮和总磷测定 用1.5 L采水器采集表层0.50 m深处水样,采水量为100 mL,立即加酸处理,带回实验室。总氮测定按照碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89)测定,总磷按照钼酸铵分光光度法(GB11893-89)进行。

1.2.2 透明度、pH、溶解氧(DO)、水温测定 透明度用直径为20 cm的白色塞克圆盘进行测量。将盘在船的背光处平放入水中,逐渐下沉,至恰巧不能看见盘面的白色时,记取其深度。

pH、DO、水温测定选用美国EUTECH公司的PD300型便携式分析仪,均在现场取样测定。用1 L采水器采集表层0.50 m深处水样,将校准后的仪器探头放入,注意使感应器部分完全浸没,静置至数值稳定,记下读数。

1.2.3 悬浮物测定 实验准备:将玻璃纤维滤膜置于高温电阻炉中,设置温度为550℃,煅烧2 h,称得膜重 M_0 。

处理和分析:用事先处理过的玻璃纤维滤膜抽滤,每个样点200 mL,将滤得物置于80℃的恒温干燥箱中干燥24 h,称重 M_1 。把以上干样品放置高温电阻炉中,温度为550℃,煅烧2 h,称重 M_2 。

悬浮物计算方法如下:

$$\text{总悬浮物干重(TSS)} = M_1 - M_0$$

$$\text{无机物干重(ISS)} = M_2 - M_0$$

$$\text{有机物干重(OSS)} = M_1 - M_2$$

1.2.4 浮游植物的定性和定量测定 采集的600 mL水样现场用鲁哥氏液固定。水样静置24 h后,用虹吸法缓慢移去上层清液,最后定容到30 mL。装入标本瓶,然后每瓶分别加入2 mL甲醛保存,标本瓶上贴上标签,注明地点、日期、采样点号。

种类鉴定时,取0.1 mL已固定的均匀样品注入凹波片中,在NIKON光学显微镜下进行观察鉴定。浮游植物鉴定一般鉴定到属(胡鸿钧等,1980;章宗涉和黄祥飞,1991;黄祥飞等,1999;周凤霞和陈剑虹,2005;胡鸿钧和魏印心,2006)。

个体计数时,取0.1 mL已固定的均匀样品注入浮游植物计数框中,在NIKON光学显微镜下进行计数,计数方法为目镜视野法。计数框内应无气泡,也不能有样品溢出。为了减少误差,每个样品分别计数3次,然后取平均值换算为单位体积的数量(个/

mL)。

将计数结果换算为原来所采的水样中浮游植物的数量时,计算公式为:

$$N = (A/Ac) \times (Vs/Va) \times (n/V)$$

式中:

N ——每毫升水样中浮游植物密度(个/mL);

A ——计数框面积(400 mm²);

Ac ——计数面积(mm²);

Vs ——1升原水样沉淀浓缩后的体积(30 mL);

Va ——计数框的体积(0.1 mL);

n ——计数所得浮游植物的数目;

V ——原水样体积(600 mL)。

1.2.5 叶绿素测定 参考文献《湖泊生态调查观测与分析》和《淡水浮游生物研究方法》,采用Lorenzen的单色分光光度法。主要测量仪器为UV-2102PCS型紫外可见分光光度计。

1.3 数据处理方法

对数据的处理和分析主要采用Excel,对各理化因子进行方差分析和相关性分析,使用的软件为Excel2003、Statistic5.0和SPSS13.0。

2 结果与分析

2.1 环境因子

2.1.1 采样点理化参数 西湖水体理化参数年变化如表1所示,各环境因子年变化明显,主要受四季气温变化和人为干扰影响。水温主要受气温影响而呈双峰变化;由于严重的富营养化,水体生产力较高,使pH总体呈弱碱性;溶氧和pH在2~4月较高,3月达到峰值,为10.66 mg/L,随着温度的上升,呼吸作用也增强,从而使pH和溶氧降低。透明度和悬浮物主要受人为因素和风浪扰动影响,无明显规律。

2.1.2 总氮 氮是湖泊水体中非常重要的营养元素,是浮游植物大量繁殖的前提条件。西湖水中总氮的平均值为2.63 mg/L,变化范围0.17~7.88 mg/L。

总氮水平随时间变化具有一定的差异 [$H_{(9, n=80)} = 50.53, P < 0.01$],如图2,其大小在一定浓度作上下波动。全年中,4月总氮平均浓度最高,是最低月份10月的4.9倍。西湖引水使全年湖水的总氮含量控制在一定水平;4月正是春季,雨水较多,雨水的冲刷使陆地上的许多营养物质进入水体中,同时,游船对水体的频繁扰动使底泥上翻,营养盐释放,给湖水带来了较为丰富的含氮营养盐;经

表1 西湖水体理化参数年度变化

Tab.1 Annual variation of physical and chemical index of the water body of West Lake

月份	透明度/m	温度/°C	DO/mg · L ⁻¹	pH	TSS/mg · L ⁻¹	OSS/mg · L ⁻¹	ISS/mg · L ⁻¹
2006-01	63.33	25.71	2.38	8.22	17.63	10.00	7.87
2006-11	70.83	9.35	4.48	7.80	10.06	6.38	3.69
2006-12	107.50	10.99	7.19	7.88	10.00	4.81	5.20
2007-01	104.17	8.43	7.60	8.64	8.19	3.94	5.00
2007-02	127.50	9.40	10.66	8.19	8.31	2.69	5.63
2007-03	92.50	13.70	8.48	8.72	9.25	6.38	3.00
2007-04	61.67	21.08	7.52	9.20	14.94	6.44	8.50
2007-05	69.17	25.69	6.85	7.31	16.00	7.38	8.63
2007-06	65.83	27.96	6.29	7.30	15.63	7.31	8.31
2007-07	55.00	32.70	6.77	7.57	21.63	12.63	9.00
2007-08	46.67	33.09	2.98	7.53	18.81	9.81	9.00
2007-09	52.50	26.15	1.70	7.47	15.38	8.00	7.38
平均值	76.39	21.19	5.94	8.00	13.82	7.15	6.77

过多次换水和水体植物的吸收利用,水体中氮盐含量逐渐下降至10月的最低值;此后,水生植物的生长减缓,氮盐的利用率降低,水中氮盐含量升高,然后保持在一定的水平。

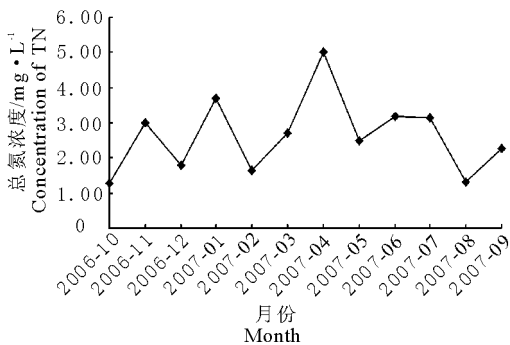


图2 西湖总氮的周年变化

Fig.2 Annual variation of total nitrogen in West Lake

2.1.3 总磷 总磷浓度的年平均值为0.087 mg/L。月平均值变化无明显规律,见图3,10月最高为0.187 mg/L,1、2、7、8月相对较高,而12、3、5月浓度低。

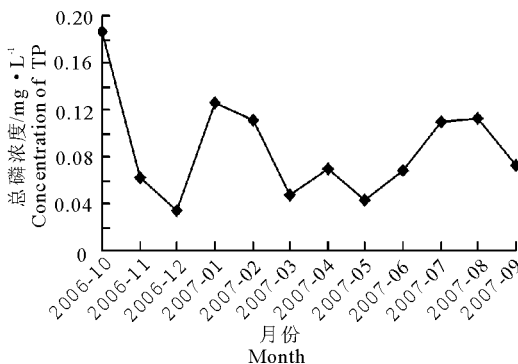


图3 西湖总磷的周年变化

Fig.3 Annual variation of total phosphorus in West Lake

作为一个内源性污染的湖泊,西湖的营养盐主要来自沉积物中的有机和无机磷的再释放,而磷的再释放受到很多因素影响,如风力大、生物扰动强度大、上覆水磷酸盐浓度较低有利于磷的释放。此外,底泥磷的吸附、固定和释放作用受多种环境因素的影响,如pH、有机物、氧化还原电位、金属元素含量(主要为Ca与Fe)等(王圣瑞等,2005;陈刚,2006;蔡景波等,2007;黎颖治和夏北成,2007),各种因素的作用复杂且随机性比较大,所以总磷的年度变化相对复杂。

2.2 浮游植物与营养盐的关系

2.2.1 叶绿素 叶绿素a浓度是反映水体中浮游植物生物量的综合指标之一。西湖叶绿素a浓度年平均值为24.49 μg/L,随时间呈明显的单峰型变化趋势(图4),月值变化显著 [$H_{(9, n=91)} = 43.46, P < 0.01$]。10月水温等条件发生明显变化,叶绿素a浓度急剧降低;11月后,叶绿素a浓度继续减少,但趋势非常平缓,至2月达到全年最低;3~7月呈S型曲线增长,7~9月先急剧降低后缓慢降低。最大值和最小值分别出现在7月(50.59 μg/L)和2月(1.09 μg/L),月值间差值高达50倍。分析认为,西湖叶绿素浓度呈明显的季节性变化是由水体的各种理化性质决定的,可能主要受水温影响。水温通过藻类光合作用与呼吸代谢速率的控制而影响叶绿素含量。

2.2.2 浮游植物的种类组成及优势种 共检测出浮游植物114种,分属于8门11纲18目32科65属。其中蓝藻门12属20种(占17.54%),绿藻门25属47种(占41.23%),硅藻门17属31种(占27.19%),金藻门2属2种(1.75%),黄藻门2属4种(3.51%),裸藻门3属5种(4.39%),甲藻门2

属4种(3.51%), 隐藻1种(0.88%), 各门构成比例如图5所示。蓝藻、绿藻、硅藻3门种类共计98种, 占藻类种数的85.96%, 是西湖水体中最主要的浮游植物。

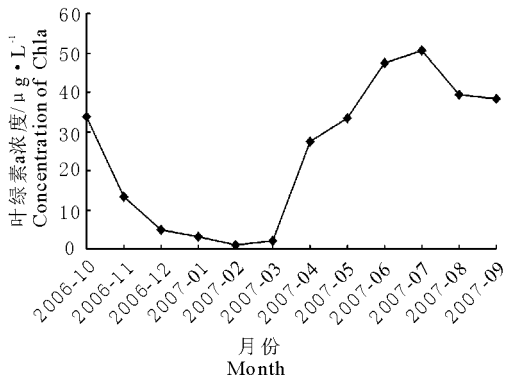


图4 西湖叶绿素a浓度的周年变化

Fig. 4 Annual variation of Chla concentration in West Lake

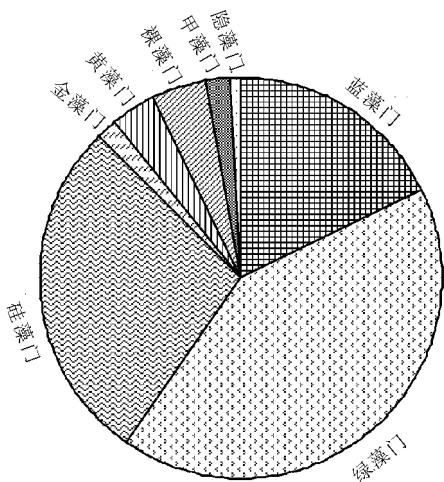


图5 西湖浮游植物的种类组成和分布

Fig. 5 Species composition and distribution of phytoplankton in West Lake

其中, 在春夏秋3季, 细小平裂藻(*Merismopedia minima*)、微小平裂藻(*Merismopedia tenuissima*)和小席藻(*Phormidiaceae tenue*)占优势, 四季的平均密度超过 10^5 个/mL; 中华小尖头藻(*Raphidiopsis sinensia*)与浮鞘丝藻(*Planktolyngbya* sp.)分别在春季和秋季占优势, 而肘状针杆藻(*Synedra ulna*)在秋冬2季占优势(表2)。

2.2.3 相关性分析 选取8个样点优势比较明显的细小平裂藻、微小平裂藻、小席藻及藻类总量的周年平均密度与总氮、总磷的平均浓度做相关性分析, 结果如表3所示。总氮与3种优势藻类及藻类总量的平均密度成极显著的负相关; 而总磷则与细小平裂藻的平均浓度呈极显著的正相关, 与微小平裂藻、

小席藻及藻类总量的平均浓度呈显著正相关。由此可知, 总磷是藻类增长的主要限制因子, 要控制西湖藻类的生物量必须先控制总磷的浓度。

表2 西湖浮游植物优势种的季节分布

Tab. 2 Seasonal distribution of phytoplankton dominant species in West Lake

种类	春	夏	秋	冬
细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	+	+	+	
微小平裂藻 <i>Merismopedia tenuissima</i>	+	+	+	
小席藻 <i>Phormidiaceae tenue</i>	+	+	+	
中华小尖头藻 <i>Raphidiopsis sinensia</i>	+			
浮鞘丝藻 <i>Planktolyngbya</i> sp.				+
肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>			+	+

说明: + 优势种。

表3 西湖3种优势藻类及藻类总量

平均浓度与总氮总磷的相关系数

Tab. 3 Correlation coefficients of average density of three dominant phytoplankton species and gross algae with TN and TP

	细小平裂藻	微小平裂藻	小席藻	藻类总量
总氮	-0.893 **	-0.899 **	-0.940 **	-0.966 **
总磷	0.898 **	0.734 *	0.742 *	0.786 *

说明: * 相关性显著 ($P < 0.05$), ** 相关性极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 富营养化的发生

很多专家学者对富营养化发生机制做了相关研究和报导, 但其发生机理和原因尚没有明确的定论 (Ryding S-O & Rast W, 1992; 李文朝, 1997; Phillips G, et al, 1999)。目前, 普遍认可的水体富营养化过程可以分为以下8个阶段: ①水环境的健康阶段; ②营养增加阶段; ③营养过量阶段; ④生产力上升阶段; ⑤沿岸生态系统受损阶段; ⑥沉水植物退化消亡阶段; ⑦藻华严重发生阶段; ⑧水体发黑发臭阶段 (吴洁和虞左明, 2001; 秦伯强, 2002; 成小英和李世杰, 2006; 张镇, 2007)。这是一个动态的过程, 营养盐的超负荷输入导致浮游植物大量增殖。一方面, 水体透明度降低, 导致沉水高等植被的退化; 另一方面, 大量的藻类和浮游生物尸体沉入湖底, 细菌为分解这些有机残体耗尽湖底的氧气, 造成了湖底的缺氧环境。缺氧的环境使各种营养盐, 尤其是磷酸盐的矿化减慢, 而沉水植物的消亡则使底泥长期性的易被风浪扰动而上翻, 使营养盐大量地再释放, 从而使营养盐浓度居高不下和藻华暴发 (史密斯 R L, 1988; 吴洁和虞左明, 2001; 朱广伟等, 2005)。在这个过程中, 人类的一些活动在一定程度上也加速

了水质的恶化,如西湖的底泥疏浚,使大范围内的沉积物上翻,营养盐大量释放,同时,悬浮颗粒的浓度增加使水体透明度下降,不利于水生植被的恢复,所以在水体富营养化的治理过程中要考虑多种因素和后果,减少对水生生态系统的干扰和破坏(范成新等,2004;余雪芳等,2008)。

西湖作为一个典型的浅水富营养化湖泊,自20世纪80年代以来,已建成环湖截污、底泥疏浚及钱塘江引水工程,但水体的营养盐浓度仍较高。总氮年平均值 2.63mg/L ,变化范围为 $0.17\sim 7.88\text{mg/L}$;总磷年平均值为 0.087mg/L ,10月最高为 0.187mg/L ,究其主要原因,可能是由于风浪和旅游船只的频繁扰动导致底泥上翻而使营养盐再释放,形成内源性污染。

3.2 富营养化与总氮、总磷含量的关系

湖泊富营养化发生的根本要素是营养盐的超负荷输入,在众多的营养盐中,氮和磷通常是水体中植物生长、繁殖的制约因子(王淑娟,2003)。在氮、磷2种营养盐中,哪种才是藻类生长繁殖的限制因子,各家说法不一。关于氮、磷浓度比值对浮游植物生长的影响已经有较多的报道(Brett M T et al,1999;徐敏和程凯,2001;Hlaili A S et al,2006)。由于不同藻类细胞的元素组成存在差异,所以对各营养物质的需求也不同(林昱等,1994)。一般来说,藻类健康生长及生理平衡所需的氮磷比率(原子比)为 $16:1$,当比值大于该值时,磷为藻类繁殖的限制因子。藻类增殖的最佳 N/P 范围为 $12:1\sim 13:1$;而当水体中氮和磷浓度的比值 $10:1\sim 25:1$ 时,藻类生长与氮磷浓度存在直线相关关系(Klausmeier C A et al,2004;王静等,2006;张晟等,2006)。也有学者认为,在淡水湖泊和河流等水体中,处于溶解态的无机磷(DIP)含量太低,因而磷是藻类生长的限制因子(Edwards V R et al,2003),是湖泊富营养化的限制性营养元素(金相灿,1990)。一旦磷酸盐浓度升高,藻类便会大量繁殖,引起藻华。

西湖水体氮和磷浓度的比值2~8月的变化与叶绿素3~9月的变化相似(图6)。TN/TP变化先于叶绿素变化,是否存在浮游植物生长消耗与死亡分解对后续浮游植物群落数量增长的影响,需要通过现场模拟控制实验进行进一步的研究。

据西湖的3种优势种藻类及藻类总量与总氮总磷的相关性分析看来,总氮与3种优势藻类及藻类总量的平均密度成极显著的负相关,而总磷则与4者呈显著的正相关。说明促使藻类过度增殖的主要

因子为总磷,西湖是一个典型的磷限制型富营养化湖泊,要控制西湖的富营养化,必须首先降低西湖水体的可溶性营养盐的浓度。

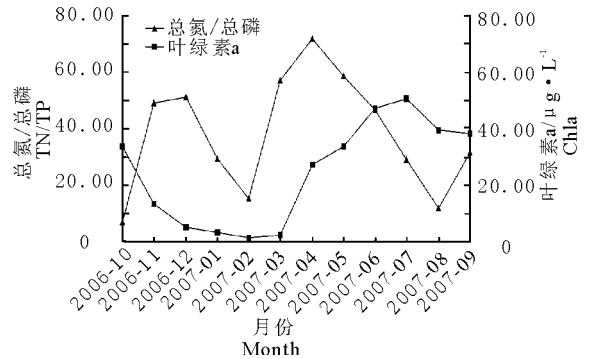


图6 西湖叶绿素a与总氮/总磷的周年变化

Fig. 6 Annual variation of TN/TP and Chla in West Lake

此外,中国科学院水生生物研究所王洪铸和王海军(2008),以及加拿大和美国的科学家基于对湖泊富营养化多年的研究基础上得出,湖水总磷浓度都是限制浮游藻类生长的最重要因素,在野外条件下控制总氮并不能减少藻类总量。只要有足够的磷和充足的时间,蓝藻的固氮作用就可以使藻类的总量维持较高水平,从而使湖泊保持高度富营养化状态(王洪铸和王海军,2008)。

在对西湖的富营养化治理中,根据西湖的内源性污染的特点,应当尽量减少人为因素对西湖底泥的扰动,减少沉积物的再悬浮和营养盐的释放,尤其是控制可溶性磷酸盐的浓度,抑制藻类的过量增长,提高水体透明度,以利于水生高等植被和湖泊生态系统的恢复,进而使湖泊的富营养化从根本上得到控制。

参考文献:

- 蔡景波,丁学锋,彭红云,等. 2007. 环境因子及沉水植物对底泥磷释放的影响研究[J]. 水土保持学报, 21(2): 151-154.
- 陈刚. 2006. 浅水湖泊底泥与上覆水间磷迁移规律的研究[J]. 环境研究与监测, 19(3): 17-19.
- 成小英,李世杰. 2006. 长江中下游典型湖泊富营养化演变过程及其特征分析[J]. 科学通报, 51(7): 848-855.
- 范成新,张路,王建军,等. 2004. 湖泊底泥疏浚对内源释放影响的过程与机理[J]. 科学通报, 49(15): 1523-1528.
- 胡鸿钧,李尧英,魏印心,等. 1980. 淡水藻类志[M]. 上海: 上海科学技术出版.
- 胡鸿钧,魏印心. 2006. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社.
- 黄祥飞,陈伟民,蔡启明. 1999. 湖泊生态调查观测与分析

- [M].北京:中国标准出版社.
- 金相灿. 1990. 中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社:91-93.
- 黎颖治,夏北成. 2007. 影响湖泊沉积物-水界面磷交换的重要环境因子分析[J].土壤通报, 38(1):162-164.
- 李文朝. 1997. 浅水湖泊生态系统的多稳态理论及其应用[J].湖泊科学, 9(2):97-104.
- 林昱,庄栋法,陈孝麟,等. 1994. 初析赤潮成因研究的围隔实验结果II.浮游植物群落演替与甲藻赤潮[J].应用生态学报,5(3):314-318.
- 秦伯强. 2002. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探[J].湖泊科学, 14(3):193-194.
- 史密斯 R L. 1988. 生态学原理和野外生物学[M].北京:科学出版社.
- 王洪铸,王海军. 2008. 蓝藻水华治理应放宽控氮、集中控磷以大幅度降低污水处理成本[N].科技导报, 26(22):10.
- 王静,梁秀娟,杨天行,等. 2006. 密云水库中总磷的分布、迁移及控制[J].吉林水利, 29(8):1-4.
- 王圣瑞,金相灿,赵海超,等. 2005. 长江中下游浅水湖泊沉积物对磷的吸附特征[J].环境科学, 26(3):40-41.
- 王淑娟. 2003. 水体的富营养化及其防治[J]. 锦江师范学院学报:自然科学版, 24(2):16-18.
- 吴根福,吴雪昌,金承涛,等. 1998. 杭州西湖底泥释磷的初步研究[J].中国环境科学, 18(2):107-110.
- 吴洁,虞左明. 2001. 西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应[J].中国环境科学, 21(6):540-544.
- 徐敏,程凯. 2001. 环境因子对衣藻水华消长影响的初步研究[J].华中师范大学学报:自然科学版, 35(3):322-325.
- 余雪芳,胡江琴,毛成责,等. 2008. 杭州西湖冬、春季水体光学特性比较[J].环境科学研究, 21(4):119-125.
- 张晟,刘景红,黎莉莉,等. 2006. 三峡水库成库初期营养盐与浮游植物分布特征[J].环境科学, 27(6):1056-1060.
- 张镇. 2007. 从系统角度对湖泊富营养化形成机理的解释[J].中国水利, 17:3-5.
- 章宗涉,黄祥飞. 1991. 淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.
- 周凤霞,陈剑虹. 2005. 淡水微型生物图谱[M].北京:化学工业出版社.
- 朱广伟,秦伯强,高光. 2005. 风浪扰动引起大型浅水湖泊内源磷暴发性释放的直接证据[J].科学通报, 50(1):66-71.
- Brett M T, Lubnow F S, Villar-Argaiz M, et al. 1999. Nutrient control of bacterioplankton and phytoplankton dynamics [J]. Aquatic Ecology, 33:135-145.
- Edwards V R, Tett P, Jones K J. 2003. Changes in the yield of chlorophyll a from dissolved available inorganic nitrogen after an enrichment event-applications for predicting eutrophication in coastal waters [J]. Continental Shelf Research, 23:1771-1785.
- Hlaili A S, Chikhaoui M A, Grami B E, et al. 2006. Effects of N and P supply on phytoplankton in Bizerte Lagoon (western Mediterranean) [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, (1):79-96.
- Klausmeier C A, Litchman E, Daufresne T, et al. 2004. Optimal nitrogen-to-phosphorus stoichiometry of phytoplankton [J]. Nature, 429:171-174.
- Nixdorf B, Deneke R. 1997. Why "very shallow" lakes are more successful opposing reduced nutrients loads [J]. Hydrobiologia, 342/343:269-284.
- Padisak J, Reynolds C S. 1998. Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to cyanoprokaryotes [J]. Hydrobiologia, 84:41-53.
- Philips G, Bramwell A, Pitt J, et al. 1999. Practical application of 25 years' research into the management of shallow lakes [J]. Hydrobiologia, 395/396:61-76.
- Ryding S O, Rast W. 1992. 湖泊与水库富营养化控制[M].朱萱等译.北京:中国环境科学出版社.

(责任编辑 杨春艳)

Study on the Annual variations of TN and TP and the Eutrophication in Hangzhou West Lake

MAO Cheng-ze, YU Xue-fang, SHAO Xiao-yang

(Life and Environment College, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310012, China)

Abstract: From Oct. 2006 to Sep. 2007, the physical and chemical factors of eight water sampling points from the five main parts of West Lake, including temperature, DO, pH, transparence, TSS(OSS and ISS), TN, TP, concentration of Chla and the biomass of algae were measured and analyzed monthly. The relationships between average density of three dominant phytoplankton species and gross algae and TN, TP were discussed. The results showed that the concentrations of TN and TP were still rather high. The average TN was 2.63mg/L, and the variation range of TN was 0.17 ~7.88 mg/L; The average TP was 0.087mg/L, the maximum of TP was 0.187 mg/L in Oct., 2006; and the average Chla was 24.49 $\mu\text{g/L}$, the maximum of Chla was 50.59 $\mu\text{g/L}$ in Jul., 2007, and the minimum was 1.09 $\mu\text{g/L}$ in Feb., 2007. The main causation may be the rerelease of nutrients caused by the disturbance on the sediment. Nitrogen and phosphorus are the main nutrient elements for phytoplankton. Result of the Pearson Correlation analysis (2-tailed) showed that there was a high significant negative correlation between the average density of three dominant phytoplankton species (*Merismopedia minima*, *Merismopedia tenuissima* and *Phormidiaceae tenue*) as well as total algae and TN ($P < 0.01$); and then there was significant positive correlation between the average density of three dominant phytoplankton species as well as total algae and TP ($P < 0.05$). So TP was the main limiting factor for the proliferation of algae. Once in an appropriate conditions of temperature, the high TP may result in a explosive growth of the phytoplankton. As a shallow lake with endogenous pollution eutrophication, in order to control the pollution of Hangzhou West Lake, we need to hold back the impact of man-made factors on the water body to reduce the rerelease of nutrients from the sediment, especially soluble phosphorus, improve the transparency of the water volume, and restore the water environment fundamentally.

Key words: TN; TP; Eutrophication; Hangzhou West Lake