

西湖引水前后氮、磷、叶绿素 A 含量的年周期变化

马 玖 兰

(杭州市西湖水域管理处, 杭州 310002)

摘要 研究了杭州西湖引水前后主要湖区水体中的氮、磷、叶绿素 a 的年周期动态变化。结果表明:外湖等五个湖区的总氮含量在春季和秋季有两个高峰值,与引水前相比变化不大。硝酸盐氮各湖区均在 1~4 月呈现高峰。各湖区的总磷含量 5 月开始急剧上升,9 月后降至最低;氮、磷在各湖区的年平均含量也略有差异,一般以岳湖和北里湖湖区的含量较高,而三潭内湖和小南湖湖区相对较低。对各湖区水样检测的相关分析表明:总磷和叶绿素 a 的年周期动态变化密切相关,而可溶性磷与各湖区的叶绿素 a 含量相关不显著,但其动态变化一致。从西湖水质改善的程度来看,引水工程只是治理西湖的一项重要措施,但不是根本措施,还需进一步加强截污、科学疏挖、控制游船数量等综合治理。

关键词 杭州西湖 引水工程 氮 磷 叶绿素 a

杭州西湖是世界上著名的风景游览湖泊,由于西湖周围生活、工业等污水的大量排入及其本身的长期富营养化,已经严重影响到西湖的旅游观赏价值。因此,西湖水体的水质引起了广泛的关注,经过三年的科学论证和两年多的引水试验后,于 1986 年 9 月 30 日开始定期从钱塘江向西湖引水以期改善西湖水质。关于西湖,已有浮游动物^[1-2]、浮游藻类^[3-4]、异养细菌^[5],以及西湖引水扩散过程^[6]等方面的报道,但至今尚未见到有关其水体的理化特性和西湖引水后的水体特性研究的报道。为此,本文就其主要湖区水体中的氮、磷和叶绿素 a 含量的年周期动态变化进行了系统的分析,以便为更有效的综合治理西湖,评估引水效果和um提高其旅游观赏价值提供有价值的资料。

1 研究方法

1.1 采样点的布设和采样频率

每月采样分析两次,每次 8 个站位(图 1)。水样用中国科学院水生生物研究所生产的有机玻璃采水器采集,并于 2h 内送化验室分析。

1.2 水样分析方法

水样中总氮和总磷含量的测定依照钱君龙等^[7]介绍的方法,可溶性磷含量采用钼蓝比色法测定。氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮含量分别采用纳氏比色法、酚二磺酸法和(N-1-萘)乙烯二胺比色法测定^[8],叶绿素 a 含量的测定步骤基本按 SCOR-UNESCO 推荐的程序,

收稿日期:1993-11-26;接受日期:1995-06-12。

作者简介:马玖兰,女,1955年生,助理工程师。主要从事水质分析研究工作。

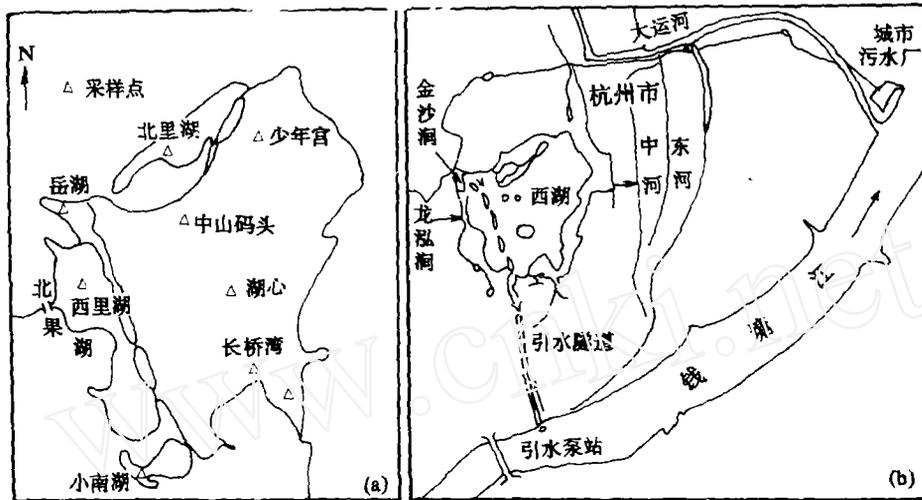


图 1 西湖各湖区采样点布设(a)和截污工程、引水工程概况(b)

Fig. 1 Sampling stations distribution in lake districts (a) and sketch of the sewerage project and the water diversion project (b) of West Lake

含量计算采用 Teffrey 和 Humpnrey 所修改的方程。

2 钱塘江水质与西湖水质的比较

从表 1 可以看出钱塘江水除无机氮高于西湖外,其它指标均优于西湖,其中耗氧量、总磷、藻量仅为西湖水的 29.35%、58.97%、8.83%,三氮亦低于西湖。对照地面水环境质量标准 GB3838-88,钱塘江属于地面水 I~II 级,而西湖水属于地面水 IV~V 级。

表 1 钱塘江(1987~1989 年,引水口)与西湖(1985~1986 年,引水前)水质的比较

Tab. 1 Comparisons of water quality in West Lake (1985~1986) and in Qiantang River (1987~1989)

参 数	钱 塘 江			西 湖		
	平 均	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低
pH	7.57	7.80	7.20	8.51	9.80	7.40
COD _{Mn} (mg/L)	3.07	6.99	0.85	10.46	16.38	4.20
TP(mg/L)	0.069	0.140	0.025	0.117	0.189	0.045
TN(mg/L)	1.714	2.110	1.335	2.286	3.780	0.970
NH ₄ ⁺ -N(mg/L)	0.060	0.154	0.015	0.066	0.134	0.005
NO ₂ ⁻ -N(mg/L)	0.080	0.220	0.009	0.018	0.076	未检出
NO ₃ ⁻ -N(mg/L)	0.775	1.640	0.080	0.410	1.080	0.134
藻量(×10 ⁵ 个/L)	94.20	206.0	12.70	1067.0	2061.7	177.0

3 引水前后各湖区水质年周期动态变化

3.1 总磷

湖泊中磷的积聚是影响水质的一个重要因素,也是藻类生长的必需营养元素,水体中总磷的含量过高,会使藻量增加,透明度下降。西湖湖水中总磷的含量相当高(表 2,图 2)。

表 2 引水前后西湖各湖区水体中总磷的年平均值

单位:mg/L

Tab. 2 Annual mean values of TP in districts of West Lake before/after the water diversion

湖 区	北里湖	岳 湖	西里湖	外 湖	小南湖
引水前(1986年) 年平均	0.137	0.142	0.116	0.115	0.121
变 幅	0.070~0.194	0.031~0.216	0.031~0.200	0.047~0.189	0.049~0.240
引水后(1992年) 年平均	0.145	0.133	0.112	0.126	0.084
变 幅	0.077~0.221	0.085~0.221	0.071~0.243	0.072~0.217	0.045~0.147

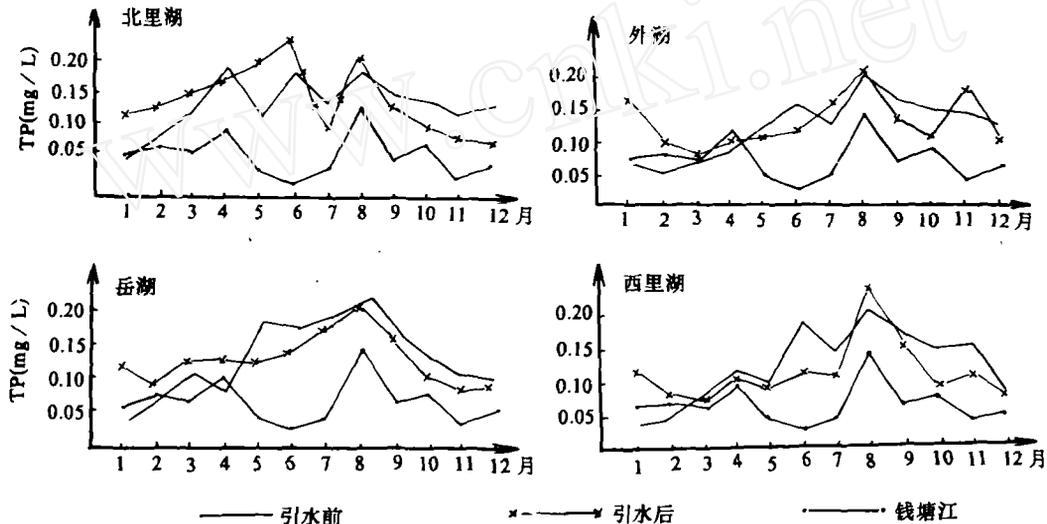


图 2 引水前后西湖主要湖区水体中总磷含量的年周期动态变化

Fig. 2 Annual cyclical changes of TP concentration in main districts of West Lake before/after the water diversion

引水后各湖区总磷年平均值以北里湖最高,达 0.145mg/L,因为北里湖是引水的死角,换水周期长,湖水的水色也较其它湖区不同,呈绿色。目前该湖换水工程已基本完成,水质将有重大改观。而岳湖是接纳流域径流的主要湖区,面积较小,游船活动频繁,故湖水中营养物质含量较高。小南湖年均值较低,主要因其处于引水的进水口,容积小,连续引水 7d 后,其水质指标即达钱塘江水平,所以水质较其它湖区都要好。

由图 2 可以看出各湖区湖水中总磷含量的周年变化呈单峰型,主要峰值出现在 8 月。其中 5~9 月总磷含量明显上升,钱塘江总磷年平均含量为 0.069mg/L,仅为西湖的 59.0%。在连续引水的情况下,西湖水体总磷含量的下降很明显;但停水 10d 后,湖水中总磷浓度几乎恢复原来水平,说明引水效果维持不长,总磷的恢复基本是内源作用所致,西湖底泥磷的释放可能成为湖水中磷的补充来源(表 3)。

表 3 西湖底泥表层总磷、总氮含量

Tab. 3 General survey of N and P concentrations in top sediment layer of West Lake

湖 区	外 湖	西里湖	北里湖	小南湖	岳 湖
表层、半表层厚度(m)	0.300	0.230	0.340	0.220	0.200
表层 TP(%)	0.039	0.094	0.093	0.092	0.130
表层 TN(%)	1.195	0.095	1.262	1.468	0.758

3.2 叶绿素 a

西湖水体中叶绿素 a 的浓度同总磷一样也很高,年均值最高是北里湖,达 78.09 $\mu\text{g/L}$,最低的小南湖为 39.51 $\mu\text{g/L}$ ^①。

表 4 引水前、后西湖各湖区水体中叶绿素 a 的年平均值

单位: $\mu\text{g/L}$

Tab. 4 Annual mean values of chl-a in districts of West Lake before/after the water diversion

湖区	北里湖	岳湖	西里湖	外湖	小南湖
引水前(1985年) 年平均	52.87	69.54	57.84	56.46	57.83
变幅	14.36~87.27	23.64~118.49	13.66~107.66	15.60~98.52	20.03~95.87
引水后(1988年) 年平均	78.09	77.81	61.20	63.23	39.51
变幅	33.65~116.16	24.91~136.50	20.84~117.39	24.56~100.70	1.73~105.11

从表 4 中可看出除了小南湖引水后叶绿素 a 年平均值低于引水前外,其它各湖区都略高。引水后各湖区叶绿素 a 的季节变化见图 3。可以看出各湖区其周年变化特点与总磷相同,均呈单峰型,主要峰值在 8 月,但各湖区的周年变化曲线又有所不同,外湖、岳湖、北里湖、西里湖营养水平较高,5~8 月随着水温的升高,在强烈的光合作用下,绿、蓝藻大量繁殖,形成 8 月份高峰。小南湖营养水平相对较低,主要因其处于引水的入水口,湖水的更换率较高,加之游船搅动较少,故叶绿素 a 含量相对较低。

西湖水体中总磷与叶绿素 a 含量的变化情况基本一致,经对样品检测值的相关分析,结果表明各湖区总磷与叶绿素 a 浓度呈显著相关关系。

$$\text{北里湖: } \text{Chl-a} = 7.30 + 0.85 \ln(\text{TP}) \quad r = 0.6025$$

$$\text{岳湖: } \text{Chl-a} = 7.781 + 1.167 \ln(\text{TP}) \quad r = 0.6334$$

$$\text{西里湖: } \text{Chl-a} = 7.995 + 1.267 \ln(\text{TP}) \quad r = 0.7046$$

$$\text{外湖: } \text{Chl-a} = 8.35 + 1.302 \ln(\text{TP}) \quad r = 0.6110$$

3.3 可溶性磷

引水前后西湖各湖区水体中可溶性磷含量的年平均值有差异(表 5,图 4),其排列顺序为:金沙涧>龙泓涧>钱塘江>北里湖>岳湖>小南湖>西里湖>外湖。

从图 4 可以看出引水前西湖湖水可溶性磷含量均比引水后低,钱塘江可溶性磷含量比西湖水高得多,使西湖水可溶性磷含量居高不下。1~4 月钱塘江水质较好,大量的引水引入西湖后,使西湖水质好转,但也同时带进了大量可溶性磷和无机氮,形成了 4 月份西湖水可

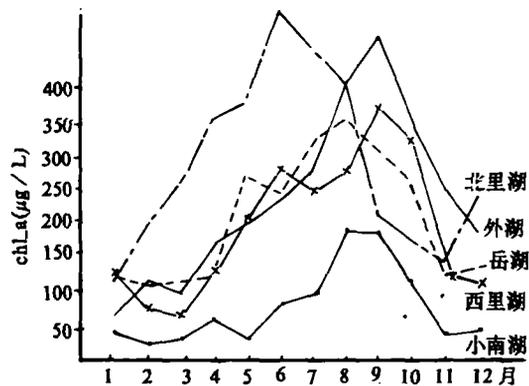


图 3 西湖水叶绿素 a 含量周年变化(1992 年)

Fig. 3 Annual cyclical changes of chl-a concentration in West Lake, 1992

① 中国环境科学研究院,杭州西湖富营养化调查及综合管理规划研究报告(75-60-02-01-7-2)。

溶性磷的含量高峰。5~8月由于藻量大量吸收,使可溶性磷含量降低;8~9月是第二个高峰,与温度、日照有关,系底泥磷的释放量增大所致。经过样品检测值相关分析,水体中可溶性磷与叶绿素 a 相关不显著($r=0.527$)。

表 5 引水前(1986)、后(1992年)钱塘江、溪涧水、西湖各湖区可溶性磷变化 单位:mg/L

Tab. 5 Annual mean values of dissolved P in Qiantang River, West Lake and its streams in 1986(before the water diversion) and 1992(after the water diversion)

水 体		北里湖	岳 湖	西里湖	外 湖	小南湖	金沙湖	龙泓湖	钱塘江
引水前	年平均	0.015	0.012	0.015	0.012	0.013			
	变 幅	0.005	0.005	0.003	未检出	未检出			
引水后	年平均	~0.054	~0.018	~0.058	~0.055	~0.018	0.073	0.044	0.039
	变 幅	0.028	0.027	0.021	0.020	0.022	0.022	0.011	0.016
		~0.080	~0.064	~0.064	~0.031	~0.064	~0.199	~0.094	~0.102

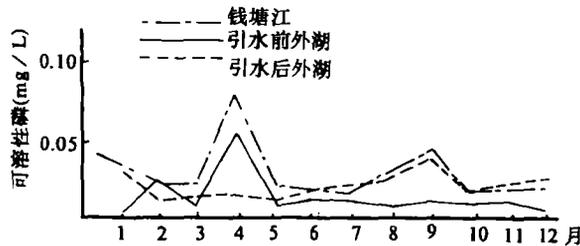


图 4 引水前、后西湖外湖区水体中可溶性磷含量的年周期动态变化
Fig. 4 Annual cyclical changes of dissolved P concentration in outer West Lake before/after the water diversion

3.4 总氮

西湖水中总氮含量在各湖区表现出相同的年周期动态变化,尤以外湖湖心为代表。总氮含量有春、秋两个高峰值,与引水前基本相同(图 5)。每年 3~4 月是杭州地区的春汛季节,冬春引水及春季径流把氮、磷带入湖内,特别是藻类可直接吸收的有机氮和无机氮,所以春

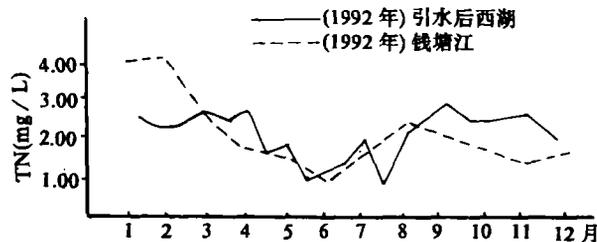


图 5 西湖外湖水体与钱塘江水体中总氮含量的年周期动态变化
Fig. 5 Annual cyclical changes of TN concentration in Outer West Lake and Qiantang River

季高峰系有机氮和无机氮共同增加所形成,并成为一年中总氮含量的最高峰。8~11 月秋季高峰主要有总有机氮(TON)决定,此时总无机氮(TIN)因藻类大量消耗而降低,但有机氮则因大量生物残骸的积聚而增高。从图 5 可见,钱塘江水引入西湖后,西湖总氮的含量略有下降,但变化不大,主要是西湖底泥中氮的不断释放而抵偿所致。

表 6 西湖外湖水体、钱塘江、溪涧水中硝酸盐氮的年平均值 单位:mg/L

Tab. 6 Annual mean values of $\text{NO}_3^- \text{N}$ in Outer West Lake, Qiantang River and the streams

水 体	西湖外湖(1986 年)	西湖外湖(1992 年)	钱塘江	金沙洞	龙泓洞
年平均	0.316	0.232	0.705	1.046	0.924
变 幅	0.046~0.835	0.073~0.879	0.068~1.070	0.022~2.090	0.027~2.290

3.5 硝酸盐氮

从表 6、图 6 可以看出西湖水体中硝酸盐氮在每年 3~4 月出现高峰,其周年变化既与引水及径流的输入有关,也与西湖水体中细菌、藻类等生物的活动密切相关。金沙洞径流硝酸盐氮浓度高达 1.046mg/L,比西湖水高出 5 倍以上。金沙洞、龙泓洞两支流的污染源均在上游,故流域上游的截污治理工程应引起足够重视。5 月份后随着温度的升高,水体中生物活动逐渐加强,藻类的大量繁殖吸收了大量的硝酸盐氮,使其浓度降低,总体趋于平衡。

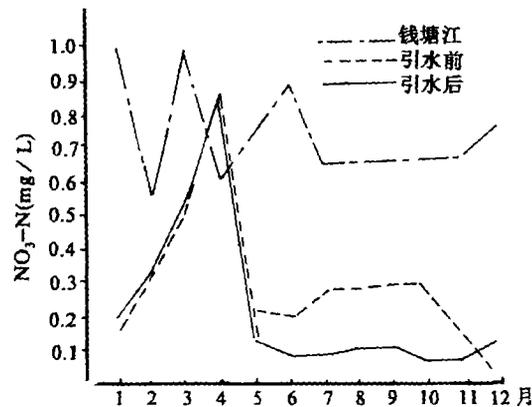


图 6 引水前、后西湖外湖水体中硝酸盐氮含量的年周期动态变化

Fig. 6 Annual cyclical changes of $\text{NO}_3^- \text{N}$ concentration in Outer West Lake before/after the water diversion

参 考 文 献

- 1 魏崇德,俞大维. 杭州西湖浮游动物的研究. 杭州大学学报(自然科学版),1983,10(增刊):1~17
- 2 魏崇德,张毓芳. 杭州市不同类型水体浮游动物种类组成和数量变动. 杭州大学学报(自然科学版),1983,10(增刊):18~27
- 3 朱根海. 杭州西湖浮游藻类的种类组成和数量变动. 海洋湖沼通报,1989,(4):69~75

- 4 项斯端. 杭州西湖浮游藻种的调查. 杭州大学学报(自然科学版), 1983, 10(增刊): 95~102
- 5 汪富三, 陈士怡. 杭州西湖水体异养细菌的调查研究. 杭州大学学报(自然科学版), 1983, 10(增刊): 65~74
- 6 陈子修, 朱林范, 朱延璋. 杭州西湖引水扩散过程研究. 环境污染与防治. 1988, 10(6): 4~7
- 7 钱君龙, 府灵敏. 用过硫酸盐氧化法同时测定水中的总氮和总磷. 环境科学, 1987, 3(1): 81~84
- 8 全国主要湖泊、水库富营养化调查研究课题组. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1987

ANNUAL CYCLICAL CHANGES OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND CHLOROPHYLL A CONCENTRATIONS IN WEST LAKE BEFORE/AFTER THE WATER DIVERSION

Ma Jiulan

(Hangzhou West Lake Management Office, Hangzhou 310002)

Abstract

With the aim of improvement in water quality and the rise in sightseeing value of West Lake, about 11.690 millions yuan RMB was invested in the construction of the water diversion project by national government. After 3-year feasibility studies and over 2-year water diversion experiments, the project from the Qiantang River to West Lake was launched in February, 1985 and completed in September, 1986. The article studied the annual cyclical changes of nitrogen, phosphorus and chlorophyll a concentrations in main parts of West Lake before/after the water diversion. As a result, the seasonal course of total nitrogen concentration which consisted of two peaks occurring in spring and autumn differed from that of pre-diversion project. The concentrations of nitrate in various lake districts all had their peaks in spring (from January to April), while those of total phosphorus appeared in autumn from August to November.

An interrelated analysis of samples from various lake districts indicated that the annual cyclical changes of total phosphorus and that of chlorophyll a were closely correlated, but no distinct correlation found between those of dissolved phosphorus and chlorophyll a.

As an important but not a fundamental step, the water diversion project did improve the water quality of West Lake in some way, but not so effective as expected. The problem concerning West Lake should be tackled in a comprehensive way, such as pollutants interception, deposit dredging, and pleasure-boat control.

Key Words West Lake(Hangzhou), water diversion, N, P, chlorophyll a