

内蒙古呼伦湖沉积物营养元素分布及环境污染评价

李卫平^{1,2}, 李畅游¹, 贾克力¹, 张生¹, 史小红¹, 张晓晶¹

(1.内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 2.内蒙古科技大学能源与环境学院, 内蒙古 包头 014010)

摘要:对呼伦湖各采样点表层沉积物营养元素(TN、TP 和 TOC)的分布特征及相互关系进行了分析,并对表层沉积物进行了营养元素的环境评价和重金属的地积累指数评价。结果表明,新开河、乌尔逊河及克鲁伦河入湖点(A10、F9、I2)营养元素的含量均低于其他采样点,且 TOC 与 TN 和 TP 的环境行为近似,说明 TN 和 TP 的沉积与生物有机质的沉积相伴随;呼伦湖沉积物碳氮比的均值约为 10.2,说明内、外源有机质基本达到平衡状态。通过对沉积物的环境污染评价发现,呼伦湖沉积物有机污染较轻,仍处于较清洁状态,但有机氮的污染程度较为严重;地积累指数评价显示,主要污染元素为 Cd 和 As,而 Hg、Cu 和 Zn 属于无污染状态。

关键词:呼伦湖;沉积物;重金属;营养元素;环境评价

中图分类号:X524 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2010)02-0339-05

Distribution of Nutrient Elements and Environmental Pollution Assessment in Sediment of Hulun Lake, Inner Mongolia

LI Wei-ping^{1,2}, LI Chang-you¹, JIA Ke-li¹, ZHANG Sheng¹, SHI Xiao-hong¹, ZHANG Xiao-jing¹

(1.Faculty of Water Conservancy & Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2.Faculty of Environment & Energy Resources, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: The distribution and inter relationship of nutrient elements(TN, TP and TOC) in surface sediment of Hulun Lake to all investigated samples were analyzed in this paper. The environmental evaluation of nutrient elements and geo-accumulation evaluation of heavy metals in the sediment were also determined. The results showed that the concentrating of nutrients at the entrance of Xinkai River, Wuexun River and Kelulun River were less than other samples. The environmental behavior of TOC was similar as TN's and TP's. This indicated that the deposition of TN and TP were accompanied with organic matters'. In addition, the average value of C/N was about 10.2, which illustrated that it reached balance between extraneous sources and endogenous sources. Through evaluating the sediments, it showed that Hulun Lake was lightly polluted by organic matter, but severely polluted by organic nitrogen. The results of index of geo-accumulation(I_{geo}) evaluation showed that the dominant contaminant was Cd, and the second was As. There were no pollution caused by Hg, Cu, Zn.

Keywords: Hulun Lake; sediment; heavy metals; nutrient elements; environmental assessment

在湖泊生态系统中,沉积物是一个庞大的贮存库,进入湖泊水体中的污染物大部分沉积于湖泊底泥中。底泥记录着湖区环境变化的丰富信息,其中重金属成分反映了流域工业生产对湖泊环境的影响,营养盐含量是湖泊富营养化过程的标志^[1]。因此,可以把湖泊沉积物看作环境变化的档案^[2-3],并通过对湖泊底泥

的研究来评价人类活动产生的污染物的影响。

呼伦湖也称达赉湖,位于呼伦贝尔市新巴尔虎右旗、新巴尔虎左旗及满洲里之间,东经 117°00'10"~117°41'40",北纬 48°30'40"~49°20'40"。湖面呈不规则斜长方形,轴为东北至西南方向,长度为 93 km,最大宽度为 41 km,湖周长 447 km,湖水面积 2 339 km²,平均水深 5.7 m,最大水深 10 m,总储水量 138.5 亿 m³。在呼伦贝尔草原的生态保护和经济发展中,其水域与湿地发挥着不可替代的重要作用^[4]。但近 40 多年来,由于气候变化和人类活动的影响,湖水水位逐年下降,水域面积减小,湿地萎缩,致使周边生态环境和湖水水质严重恶化,湖水总含盐量和 pH 值逐年升高,

收稿日期:2009-09-13

基金项目:NSFC(50669004,50969005,40901262);内蒙古自然科学基金重点项目(200711020604);内蒙古“十一五”科技攻关项目;内蒙古水利厅重点支持项目

作者简介:李卫平(1973—),博士生,副教授,主要从事寒旱区湖泊水环境治理与保护研究。

通讯作者:李畅游 E-mail:nndlichangyou@163.com

湖周大面积芦苇消失,渔业资源濒临枯竭和大量珍稀鸟类迁移。目前,呼伦湖水质已属中度富营养化水平^[5],湿地生态环境正在急剧恶化,严重威胁着东北乃至华北地区的生态安全。

国内外对呼伦湖的研究报道甚少,仅有的研究主要集中在对湖水水质、水量和水位的调查与分析,重点放在气候变化对区域湿地生态状况影响及环境治理方面^[6-8]。本文以呼伦湖沉积物为研究对象,对其重金属及营养元素的分布与累积状况进行了研究,分析沉积物的环境变化特征,旨在为湖区生态环境的治理与改善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本研究于 2008 年 12 月进行,在呼伦湖布设 11 个沉积物采样点,具体布点见图 1。所有测点均采用全球定位系统定位,使用柱状采泥器,采集表层 15 cm 的沉积物样品。样品是在冬季于冰冻湖面各采样点位破冰钻孔进行采集,然后放入聚乙烯塑料袋中密封,运回实验室冷冻保存。

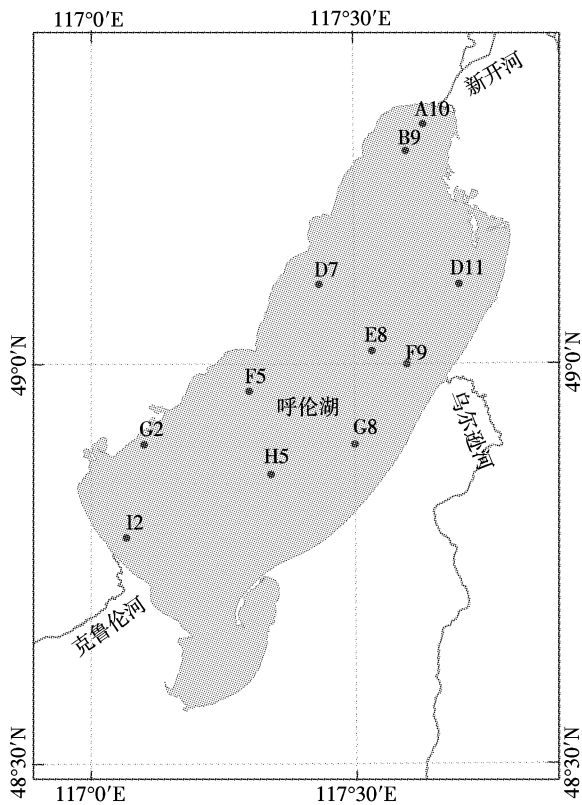


图 1 呼伦湖沉积物采样点分布
Figure 1 Distribution of sampling sites for the sediment of Hulun Lake

1.2 测试项目与分析方法

在实验室中将样品自然风干后再用玻璃棒压散,剔除大小砾石、贝壳及动植物残体等杂质,用研钵研磨后过 100 目筛,进行 TN、TP、TOC 及金属元素 Fe、Mn、Hg、Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、As 的分析测定。TN 的测定采用重铬酸钾-硫酸消化,定氮蒸馏标准酸滴定法;TP 的测定采用高氯酸-硫酸消化,钼锑抗比色法;TOC 采用干烧法测定;详见《湖泊富营养化调查规范》^[9]。金属元素的含量采用 HNO₃-HF-HClO₄ 对沉积物样品进行消化,然后 Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、As、Fe、Mn 用火焰原子吸收分光光度法,Hg 则用冷原子吸收光度法,应用 Z-8000 型原子吸收分光光度计测定。

2 结果与讨论

2.1 呼伦湖表层底泥中营养元素的分布

2.1.1 TN、TP 和 TOC 含量的变化特征

表 1 反映了呼伦湖表层沉积物中各采样点 TN、TP 和 TOC 的分布状况。沉积物中 TN 的含量为 0.06%~0.17%,新开河(A10)、乌尔逊河(F9)和克鲁伦河(I2)入湖点均值为 0.07%,其他采样点均值为 0.16%;TP 的含量为 0.02%~0.10%,三条河流入湖点均值为 0.03%,其他点均值为 0.08%。TN 的含量整体高于 TP,且二者在各采样点含量的总体变化趋势基本相同。湖西北边缘的 B9 和 D7 点 TN 含量最高,约为入湖点均值的 2 倍多,靠近乌尔逊河入口的 E8 点 TP 含量最高,约为入湖点均值的 3 倍多。

表 1 呼伦湖不同采样点表层沉积物营养盐含量(%) Table 1 Nutrient concentrations of surface sediment samples in Hulun Lake(%)			
采样点	TN	TP	TOC
A10	0.06	0.02	0.83
B9	0.17	0.06	1.65
D7	0.17	0.09	1.75
D11	0.14	0.06	1.31
E8	0.15	0.10	1.63
F5	0.16	0.09	1.86
F9	0.07	0.04	0.51
G2	0.16	0.08	1.58
G8	0.16	0.08	1.57
H5	0.15	0.09	1.44
I2	0.07	0.04	0.60
入湖点均值	0.07	0.03	0.64
其他点均值	0.16	0.08	1.60

注:新开河、乌尔逊河及克鲁伦河的入湖点分别是 A10、F9 和 I2。

总有机碳(TOC)含量的变化,反映了沉积物腐殖质的变化,也反映出湖泊的营养化程度。全湖 TOC 含量为 0.51%~1.86%, 三条河流入湖点的均值 0.64%, 其他采样点均值为 1.60%。湖西南边缘 F5 点 TOC 的含量最高,约为三条河流入湖点(A10、F9、I2)TOC 含量均值的 3 倍。

总之,三条河流入湖点 TN、TP 和 TOC 含量的均值都远低于其他采样点均值,主要可能与近年来呼伦湖水位下降,水量减少,湖水基本停止向外排水和大面积围网养殖以及湖周放牧的影响等因素有关。

2.1.2 TN、TP 和 TOC 间的相关关系

由于营养元素以一定的比例被生物吸收利用,包含大量生物排泄物和死亡残体的沉积物中的营养元素在发生矿化作用时也存在着一一定的相互作用,从而造成沉积物中各营养元素的分布具有一定相关性^[10]。对呼伦湖沉积物中 TN、TP 及 TOC(见表 1)进行相关分析发现,三者之间均呈极显著正相关(表 2)。

表 2 呼伦湖沉积物 TN、TP 和 TOC 含量的相关关系
Table 2 Correlations for TN, TP and TOC in sediments of Hulun Lake

项目	TN	TP	TOC
TN	1.000		
TP	0.783**	1.000	
TOC	0.934**	0.730**	1.000

注:**($P<0.01$)极显著相关(双尾检验)。

2.1.3 碳氮比的变化特征

已有研究表明,根据沉积物有机质及其 C 和 N 的组成差别,可以区分内源和外源有机质的比例。一般认为,C/N>10 时,沉积物有机质以外源为主;C/N<10 时,以内源有机质为主,C/N≈10 时,外源与内源有机质基本达到平衡状态^[11-12]。

呼伦湖沉积物的 C/N 为 7.7~15.0,全湖均值为 10.2,说明内、外源有机质基本达到平衡状态。各采样点的 C/N 各不相同,其中位于新开河入口的 A10 点 C/N 最高,其次是湖西南边缘的 F5 点,这两点 C/N 均大于 10,其沉积物以外源有机质为主;位于乌尔逊河(F9)和克鲁伦河(I2)入口点 C/N 最小,均值为 7.8,其沉积物的内源有机质比重较大;D7、E8 和 G8 点 C/N 约为 10,外源与内源有机质基本达平衡。主要原因可能与呼伦湖的温度分布和湖区气候特点有关,当地春季干旱多大风,夏季温凉短促,秋季降温急剧、霜冻早,冬季严寒漫长,这样的气候特点决定了湖体水草稀少,藻类浮游生物生长期短,抑制了浮游生物的种类和数量。

2.2 呼伦湖表层底泥与上覆水体中氮、磷含量

氮、磷等营养元素在底泥中的积累受湖水总氮、总磷浓度、湖水理化性质及沉积环境等多种因素制约^[13]。当湖水总氮、总磷浓度较高时,除了满足水生生物的摄取需要外,氮、磷等元素通常在底泥中就有较多的沉积和积累。呼伦湖各采样点底泥中总氮、总磷的含量与其对应上覆湖水中总氮、总磷浓度的相互关系见表 3 所示。

表 3 呼伦湖各采样点底泥中氮、磷含量与
其上覆水体总氮、总磷含量
Table 3 Nutrient concentrations of surface sediment and
lake water samples in Hulun Lake

采样点	水深/m	泥深/m	总氮		总磷	
			上覆水体/ mg·L ⁻¹	表层底泥/ %	上覆水体/ mg·L ⁻¹	表层底泥/ %
A10	1.88	0.29	1.47	0.06	0.14	0.02
B9	2.04	0.40	1.28	0.17	0.15	0.06
D7	3.36	0.70	1.21	0.17	0.15	0.09
D11	3.10	0.53	1.18	0.14	0.20	0.06
E8	3.70	1.30	1.21	0.15	0.10	0.10
F5	3.67	0.50	1.20	0.16	0.12	0.09
F9	2.90	1.05	1.39	0.07	0.17	0.04
G2	2.62	0.45	2.19	0.16	0.18	0.08
G8	3.08	0.40	1.36	0.16	0.23	0.08
H5	3.47	0.81	1.46	0.15	0.25	0.09
I2	0.85	0.50	0.15	0.07	0.13	0.04

2.3 呼伦湖沉积物的环境评价

2.3.1 沉积物营养元素的环境评价

有机指数通常作为水域沉积物环境状况的指标:有机指数= $w(OC) \times w(ON)$ 。其中, $w(OC)$ 为有机碳质量分数,%; $w(ON)$ 为有机氮质量分数,%, $w(ON)=0.95w(TN)$ 。 $w(ON)$ 也是衡量湖泊表层沉积物是否遭受氮污染的重要指标。参照国内相关标准^[14],结合实际情况制定的评价标准见表 4。

根据表 4 对呼伦湖沉积物各采样点进行分析,结果见图 2。整体上看,全湖的有机指数不高,均值为 0.18,处于较清洁状态; $w(ON)$ 的均值为 0.12%,属于尚清洁范畴。对各采样点而言,三条河流的入口(A10、F9、I2)点有机指数均小于 0.05,属标准 I,清洁状态; $w(ON)$ 介于 0.052%~0.071%,属标准 II 和 III,较清洁和尚清洁状态。其他采样点有机指数均介于 0.20~0.50,属标准 III,尚清洁状态;而有机氮的污染程度较有机质严重, $w(ON)$ 都高于 0.133%,属标准 IV,有机氮污染严重。

表 4 水体沉积物有机指数评价标准				
Table 4 Evaluation criterion of organic index in sediments				
等级	I	II	III	IV
有机指数类型	<0.05 清洁	0.05~0.20 较清洁	0.20~0.50 尚清洁	≥0.50 有机污染
w(ON)/%类型	<0.033 清洁	0.033~0.066 较清洁	0.066~0.133 尚清洁	≥0.133 有机氮污染

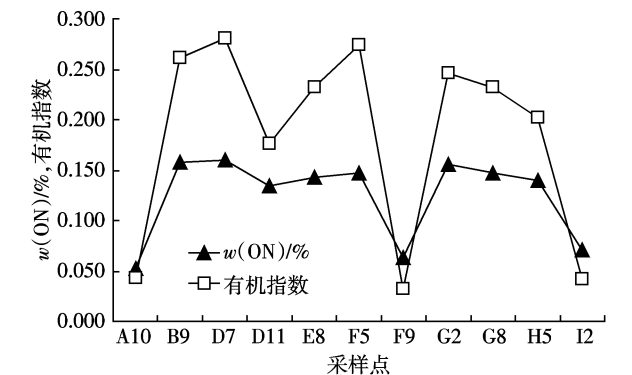


图 2 呼伦湖沉积物各采样点有机指数和 $w(\text{ON})$ 分布特征
Figure 2 Distribution of organic index and $w(\text{ON})$ for each sample of sediment in Hulun Lake

由此可见,目前呼伦湖沉积物的有机氮污染较为严重,尽管有机质污染状况还不突出,但如不有效控制外来污染,尤其是氮的输入,污染程度必然逐渐加重,从而对上覆水造成严重威胁,对此必须予以重视。

2.3.2 重金属的地积累指数评价

地积累指数(I_{geo})是德国科学家 Müller^[15]提出的一种研究水环境沉积物中重金属污染状况的定量指标,实质是从现在的重金属含量除去其相应的天然含量或背景含量,从而得到因人为活动所造成的重金属的总富集程度。 I_{geo} 的计算公式如下:

$$I_{geo}=\log_2[C_n(KB_n)]$$

表 7 呼伦湖沉积物地积累指数和地积累指数分级

Table 7 Index of Geo-accumulation(I_{geo}) and index of Geo-accumulation classify in sediments of Hulun Lake												
采样点	I_{geo} 值						I_{geo} 分级					
	Hg	Cd	As	Pb	Cu	Zn	Hg	Cd	As	Pb	Cu	Zn
A10	-2.68	2.23	1.96	-0.64	-2.85	-2.37	0	3	2	0	0	0
B9	-2.52	3.21	2.36	0.15	-1.06	-0.40	0	4	3	1	0	0
D7	-2.32	2.92	1.64	0.38	-0.98	-0.48	0	3	2	1	0	0
D11	-2.41	2.08	1.93	-0.86	-1.02	-0.58	0	3	2	0	0	0
E8	-1.88	2.12	3.08	-0.63	-1.39	-1.26	0	3	4	0	0	0
F5	-1.83	2.16	1.38	0.74	-1.12	-0.73	0	3	2	1	0	0
F9	-2.65	2.03	0.74	-0.07	-1.56	-1.42	0	3	1	0	0	0
G2	-3.61	3.16	0.77	0.29	-0.84	-0.66	0	4	1	1	0	0
G8	-3.74	0.12	1.53	-0.01	-0.87	-0.85	0	1	2	0	0	0
H5	-4.07	2.19	1.65	-0.24	-1.20	-0.66	0	3	2	0	0	0
I2	-4.86	1.80	1.35	0.14	-1.98	-1.45	0	2	2	1	0	0

式中: C_n 为元素 n 在沉积物中的质量分数实测值, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; B_n 为沉积岩(即普通页岩)中该元素的地球化学背景值(表 5), $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; K 为考虑各地岩石差异可能会引起背景值的变动而取的系数(一般取 1.5)。地积累指数共分为 7 级,即 0~6 级,表示污染程度由无至极强(表 6)^[16]。

本文采用中国陆壳地球化学背景值评价呼伦湖沉积物污染情况,按地积累指数的计算公式和表 5 的分级标准,呼伦湖沉积物地积累指数和地积累指数分级如表 7 所示。

由表 7 可知,Hg、Cu 和 Zn 的 I_{geo} 都小于 0,污染级别为 0 级;Cd 的 I_{geo} 为 0.12~3.21, 污染级别 1~4 级,大多数采样点为 3 级,属中~强污染程度;As 的 I_{geo} 为 0.74~3.08,污染级别 1~4 级,大多数采样点为 2 级,属中等污染程度,只有 E8 点属强污染程度;Pb 的 I_{geo} 为 -0.86~0.74,污染级别 0~1 级,属无~中或无污染程度。从金属元素本身看,污染程度的大小顺序为 $\text{Cd}>\text{As}>\text{Pb}>\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Hg}$;从采样点看,B9 点和 E8 点的污染最为严重,其原因可能与围网捕鱼丢弃的废旧

表 5 地球化学背景值($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 5 Geo-chemistry background($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)							
元素 Metal	Hg	Cd	As	Pb	Cu	Zn	
页岩 shale	0.35	0.3	13	20	45	95	
中国陆壳 Chinese continental crust	0.08	0.055	1.9	15	38	86	

表 6 地积累指数与污染程度

Table 6 Index of Geo-accumulation and pollution level							
污染程度	极强	强~极强	强	中~强	中	无~中	无
I_{geo}	>5	4~5	3~4	2~3	1~2	0~1	<0
污染分级	6	5	4	3	2	1	0

电池有关。

3 结论

(1)通过对呼伦湖沉积物各采样点中营养盐含量进行分析,表明三条河流入湖点 TN、TP 及 TOC 的含量均低于其他采样点。TOC 与 TN 和 TP 的环境行为近似,说明 TN 和 TP 的沉积与生物有机物的沉积相伴随。

(2)对沉积物进行有机指数评价和有机氮评价表明,全湖的有机指数不高,均值为 0.18,处于较清洁状态; $w(\text{ON})$ 的均值为 0.12%,属于尚清洁范畴。有机氮的污染程度较有机质严重,除三条河流入湖点(A10、F9、I2)外,其他点的 $w(\text{ON})$ 都高于 0.133%,属标准 IV,严重有机氮污染,因此须采取有效措施控制外源氮的输入。

(3)运用地积累指数法评价了呼伦湖沉积物中重金属元素的环境变化特征,结果显示:沉积物中 Cd 的污染最严重,多数采样点表层属中~强污染程度,其次是 As 污染,属中等污染程度,Pb 的污染较轻,仅东北和西南部沿岸采样点属于无~中污染程度,Hg、Cu、Zn 属于无污染状态。

由于受研究条件和实际情况的限制,目前本研究尚处于初步探索阶段,有待于日后进一步完善。

参考文献:

- [1] 王天阳,王国祥. 昆承湖沉积物中重金属及营养元素的污染特征[J]. 环境科学研究, 2008, 21(1):51-58.
WANG Tian-yang, WANG Guo-xiang. Research on pollution characteristics of nutrient elements and heavy metals in sediment of Kuncheng Lake[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(1):51-58.
- [2] 杨丽原,沈洁,张祖陆,等. 南四湖表层底泥重金属和营养元素多元分析[J]. 中国环境科学, 2003, 23(2):206-209.
YANG Li-yuan, SHEN Jie, ZHANG Zu-lu. Multivariate analysis of heavy metal and nutrient in surface sediments of Nansihu Lake[J]. *China Environmental Science*, 2003, 23(2):206-209.
- [3] 刘恩峰,沈吉,朱育新,等. 太湖沉积物重金属及营养盐污染研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(3):507-512.
LIU En-feng, SHEN Ji, ZHU Yu-xin, et al. Heavy metals and nutrients pollution in sediments of Taihu Lake[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(3):507-512.
- [4] 岳彩英,赵卫东,李明娜,等. 达赉湖水质状况及影响因素分析[J]. 内蒙古环境科学, 2008, 20(2):7-9.
YUE Cai-ying, ZHAO Wei-dong, LI Ming-na, et al. The situation of Dalai Lake water quality and influencing factors analysis[J]. *Inner Mongolia Environmental Sciences*, 2008, 20(2):7-9.
- [5] 韩向红,杨持. 呼伦湖自净功能及其在区域环境保护中的作用分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6):684-690.
HAN Xiang-hong, YANG Chi. An analysis of the self-purification function of Hulun Lake and its effect on regional environmental conservation[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6):684-690.
- [6] 李翀,马巍,叶柏生,等. 呼伦湖水面蒸发及水量平衡估计[J]. 水文, 2006, 26(5):41-44.
LI Chong, MA Wei, YE Bai-sheng. Estimation of water evaporation and water balance in ungauged Hulun Lake[J]. *Journal of China Hydrology*, 2006, 26(5):41-44.
- [7] 王文华. 浅析呼伦湖水位变化对水质的影响[J]. 内蒙古水利, 2005(3):3-5.
WANG Wen-hua. Preliminary analysis on influences of water level change to water quality in Hulun Lake[J]. *Inner Mongolia Water Resources*, 2005(3):3-5.
- [8] 赵慧颖,乌力吉,郝文俊. 气候变化对呼伦湖湿地及其周边地区生态环境演变的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(3):1064-1071.
ZHAO Hui-ying, WU Li-ji, HAO Wen-jun. Influences of climate change to ecological and environmental evolution in the Hulun Lake wetland and its surrounding areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3):1064-1071.
- [9] 金相灿,屠清瑛,等. 湖泊富营养化调查规范[M]. (第二版). 北京:中国环境科学出版社, 1990:219-230.
JIN Xiang-chan, TU Qing-ying. Lake eutrophication investigation standard[M]. (The second edition). Beijing: China Environmental Science Press, 1990:219-230.
- [10] 吕晓霞,翟世奎,于增慧. 长江口及邻近海域表层沉积物中营养元素的分布特征及其控制因素[J]. 海洋环境科学, 2005, 24(3):1-5.
LV Xiao-xia, ZHAI Shi-kui, YU Zeng-hui. Nutrient distribution and controlled factors at the surface sediment of the Changjiang Estuary and adjacent sea area[J]. *Marine Environmental Science*, 2005, 24(3):1-5.
- [11] 冯峰,王辉,方涛,等. 东湖沉积物中微生物量与碳、氮、磷的相关性[J]. 中国环境科学, 2006, 26(3):342-345.
FENG Feng, WANG Hui, FANG Tao. The correlation between microbial biomass and carbon, nitrogen, phosphorus in the sediments of Donghu Lake[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(3):342-345.
- [12] Krishnaumrhy R V, Bhallacharya S K, Kusumgar S. Palaeoclimatic changes deduced from $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and C/N ratios of Karewa Lake sediments, India[J]. *Nat*, 1986, 323(11):150-152.
- [13] 杨丽原,王晓军,刘恩峰. 南四湖表层沉积物营养元素分布特征[J]. 海洋湖沼通报, 2007, 2:40-44.
YANG Li-yuan, WANG Xiao-jun, LIU En-feng. Characteristics of nutrient distribution in surface sediments of Nansihu Lake[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2007, 2:40-44.
- [14] 孙顺才,黄漪平. 太湖[M]. 北京:海洋出版社, 1993:224-228.
Sun Shun-cai, Huang Yi-ping. Taihu[M]. Beijing: Ocean Press, 1993:224-228.
- [15] Muller C. Sediment index[J]. *Chemiker Zeitung*, 1981, 105:53-58.
- [16] 郁亚娟,黄宏,王晓栋,等. 淮河沉积物中重金属的测定和污染评价[J]. 环境科学研究, 2003, 16(6):26-28.
YU Ya-juan, HUANG Hong, WANG Xiao-dong, et al. Sedimentary heavy metal pollution in Huaihe River[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2003, 16(6):26-28.