

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜巨昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岚璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOCs)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价

刘恩峰¹, 杜臣昌^{1,2}, 羊向东¹, 沈吉¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 研究了巢湖表层沉积物及西部湖心区沉积岩芯中总磷(TP)及NaOH提取态磷(NaOH-P)、HCl提取态磷(HCl-P)、有机磷(OP)含量变化,揭示了沉积物中磷的人为污染贡献量时空变化特征。1850年以来,西部湖心区沉积岩芯中TP呈明显的3段式变化,1850~1950年,TP含量较为稳定;1950~1980年,TP含量逐渐增加;1980年以来,TP含量达到近150年来的最大值,平均为858.3 mg·kg⁻¹。沉积岩芯中NaOH-P及OP含量变化趋势与TP一致,但NaOH-P所占TP质量分数在上述3个阶段中逐渐增加,OP所占TP质量分数相对稳定;沉积岩芯中HCl-P含量较为稳定,所占TP质量分数逐段降低。表层沉积物中NaOH-P与TP含量空间变化规律一致,总体上为西部湖区>东部湖区,北部湖区>南部湖区。采用地球化学方法对沉积物中磷含量“粒度效应”进行矫正,计算得到1850年以来上述3个阶段沉积岩芯中磷的人为污染贡献量平均分别为59.5、118.8、297.9 mg·kg⁻¹;表层沉积物中磷的人为污染贡献量为22.9~2500.0 mg·kg⁻¹,由西北部湖区向东南部湖区递减,与水体TP质量浓度变化趋势完全一致。人为污染贡献的磷主要以NaOH-P结合态蓄积于巢湖沉积物中。除了农业面源污染之外,通过南淝河输入的来自合肥等城市废水是西部湖区磷污染的主要“贡献者”。

关键词: 巢湖; 沉积物; 磷; 赋存形态; 人为污染; 时空变化

中图分类号: X524; X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3024-07

Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification

LIU En-feng¹, DU Chen-chang^{1,2}, YANG Xiang-dong¹, SHEN Ji¹

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Content of phosphorus (TP) and three species (NaOH-P, OP and HCl-P) in the sediment core from the central region of west Chaohu Lake and surface sediments of the lake were determined. TP exhibited three stages variation in the sediment core over the last 150 years, which was with relatively constant values in 1850-1950, increased gradually in 1950-1980 and reached the maximum average values of 858.3 mg·kg⁻¹ after 1980. Content of NaOH-P increased in parallel with that of TP. The percentage of NaOH-P increased gradually in the three stages. Content of OP also varied in parallel with that of TP, however, the percentage of OP was relatively constant in the three stages. HCl-P was with constant content over the last 150 years, but the percentage of which decreased more recently. In the surface sediment, NaOH-P and TP exhibited similar variation trends, which were with higher values in the west region of the lake than those in the east region and with higher values in the north region of the lake than those in the south region. Anthropogenic pollution of phosphorus in the core and surface sediments was quantified after the geochemical normalization for the compensation of “grain size effect”. Anthropogenic phosphorus, mainly presented in the specie of NaOH-P, were 59.5 mg·kg⁻¹, 118.8 mg·kg⁻¹ and 297.9 mg·kg⁻¹ averagely during the three periods of 1850-1950, 1950-1980 and after 1980 in the sediment core from the central region of west Chaohu Lake, and was 22.9-2500.0 mg·kg⁻¹ in the surface sediment. Content of anthropogenic phosphorus in surface sediment presented similar spatial variations of TP in the water, decreased to the southeast lake part away from the northwest region near Nanfei River mouth. We deduced that the discharge via Nanfei River of sewage from Heifei City should dominantly contribute the enrichment of anthropogenic phosphorus in the sediment of west Chaohu Lake in addition to the non-point agricultural sources.

Key words: Chaohu Lake; sediments; phosphorus; species; anthropogenic pollution; spatial and temporal characteristics

磷的人为污染排放及水体磷浓度的升高被认为是众多湖泊发生富营养化及蓝藻水华暴发的主要驱动因子^[1]。人为污染排放进入湖泊的磷除了一部分被藻类等生物直接利用之外,大部分被埋藏于沉积物中^[2~5]。相对于来源于流域土壤及岩石风化碎屑的“自然磷”,沉积物中人为污染来源的磷大多以吸

附态、铁铝氧化物/氢氧化物结合态以及部分有机

收稿日期: 2011-11-27; 修订日期: 2012-02-17

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2012CB956100); 国家自然科学基金项目(40972217); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07103-003)

作者简介: 刘恩峰(1976~),男,博士,副研究员,主要研究方向为环境地球化学, E-mail: efliu@niglas.ac.cn

结合态存在,这部分磷通常被认为更具有生物可利用性^[5,6],其“二次释放”可能成为蓝藻水华暴发所需营养盐的重要来源^[7,8]. 因此,定量评价沉积物磷人为污染贡献及主要赋存形态,可为湖泊富营养化及污染治理提供重要的科学依据. 目前对我国长江中下游地区等湖泊沉积物中磷的赋存形态进行了较多的研究,而对人为污染贡献定量估算的研究尚不多见.

巢湖位于安徽省中部,是我国第五大淡水湖,湖区面积 769 km²,集水区面积 9 258 km²,平均水深约 2.7 m^[9]. 监测资料表明,自 20 世纪 80 年代以来巢湖水体 TP 平均质量浓度一直处于较高水平(> 0.15 mg·L⁻¹)^[10],近年来巢湖湖水环境问题更加突出,按照湖泊富营养化划分标准^[11],几乎整个湖区均处于富营养-超富营养状态^[12]. 众多学者对巢湖沉积物中磷的含量及赋存特征进行了研究^[2,4,13~15],发现巢湖西部湖区磷的含量显著高于东部湖区,表层沉积物磷的含量显著高于早期历史沉积物,并且沉积物中磷的赋存形态存在显著的时空差异. 但受到沉积物年代与沉积物中自然磷背景值等资料以及磷人为污染定量判识方法的局限,目前对巢湖沉积物磷人为污染贡献量时空变化规律及其在沉积物中的赋存方式等还不十分清楚. 本研究通过对巢湖 38 个表层沉积物及西部湖区沉积岩芯中磷含量与形态组成的分析,分析了沉积物中磷赋存的时空变化规律;采用历史沉积物作为背景,利用地球化学方法对沉积物中磷含量“粒度效应”进行矫正,估算了沉积物中磷的人为污染贡献量,揭示了人为污染对巢湖磷赋存形态的影响,以期全面了解巢湖沉积物污染及其治理提供参考依据.

1 样品采集与试验方法

2007 年 4 月,利用水上采样平台在巢湖西部湖心区采集了长 1.5 m 沉积岩芯,实验室内按照 0.5 cm 厚度进行分样;2009 年 4 月,利用重力采样器在巢湖整个湖区采集了 38 个表层(0~2 cm)沉积物样品(图 1). 样品经冷冻干燥后进行磷的含量及形态组成、金属元素含量、粒度组成、²¹⁰Pb 及 ¹³⁷Cs 等指标分析.

沉积物样品经 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解后,采用美国 Leeman Labs Profile 电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)测定金属元素及总磷(TP)含量. 沉积物磷形态分析采用 SMT 提取方法^[16],包括 NaOH 提取态磷(NaOH-P,主要为吸附态、水合

Al/Fe/Mn 氧化物及氢氧化物结合的磷)、HCl 提取态磷(HCl-P,主要是存在于磷灰石或者与 Ca 结合的磷)、有机磷(OP,各种动植物残体、腐殖质类有机物中含有的磷). 沉积物有机质含量采用 LOI(loss on ignition)表示^[8],沉积物粒度组成分析、²¹⁰Pb 及 ¹³⁷Cs 测年方法见文献^[17].

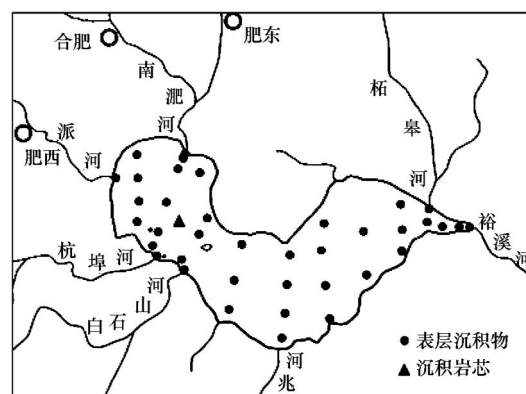


图 1 巢湖表层沉积物和沉积岩芯采样点位置示意

Fig. 1 Sampling sites for the surface and core sediment in Chaohu Lake

2 结果与分析

巢湖西部湖区沉积岩芯中¹³⁷Cs、²¹⁰Pb 活度及金属元素含量变化指示了较为稳定的沉积序列^[17]. 根据测年结果^[17],本研究主要对沉积岩芯上部 0~40 cm(1850 年以来)磷的含量、形态组成、人为污染贡献量进行详细分析.

2.1 沉积岩芯中磷的含量及形态组成特征

沉积岩芯中 TP 含量为 434.5~929.7 mg·kg⁻¹, NaOH-P、OP 与 TP 具有一致的变化趋势,其含量分别为 146.0~466.0 mg·kg⁻¹、117.7~238.5 mg·kg⁻¹; HCl-P 含量较稳定,为 102.5~130.5 mg·kg⁻¹. 沉积岩芯中磷的含量及形态组成可分为 3 个变化阶段(图 2).

第一阶段(40~24 cm, 1850~1950 年),TP 含量较低,为 434.5~535.3 mg·kg⁻¹,平均为 503.0 mg·kg⁻¹; NaOH-P、HCl-P、OP 含量较为稳定,平均为 173.2、115.8、118.2 mg·kg⁻¹,分别占 TP 的质量分数为 34.4%、23.0%、23.5%.

第二阶段(24~15 cm, 1950~1980 年),TP 含量逐渐增加,最大值达到了 744.1 mg·kg⁻¹; NaOH-P、OP 含量分别为 204.3~364.5 mg·kg⁻¹、148.1~183.8 mg·kg⁻¹,与第一阶段相比均明显增加; HCl-P 含量为 105.9~123.6 mg·kg⁻¹. NaOH-P、HCl-P、OP 占 TP 的质量分数分别为 41.9%、17.7%、

26.4%；与其一阶段相比,NaOH-P 质量分数增加,而 HCl-P 质量分数下降,OP 质量分数变化不大。

第三阶段(15 ~ 0 cm,1980 ~ 2007 年),TP 含量达到整个沉积岩芯的最大值,为 759.0 ~ 929.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均为 858.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; NaOH-P 含量为 381.9 ~ 449.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值 413.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,占到

TP 含量的 48.6%,与前 2 个阶段相比显著增加; OP 含量为 193.2 ~ 238.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值 217.3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其占 TP 的质量分数与前 2 个阶段基本相似,为 25.5%; HCl-P 含量为 108.6 ~ 127.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均值 114.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,与前 2 个阶段相比变化不大,但所占 TP 的质量分数显著降低,仅为 13.5%。

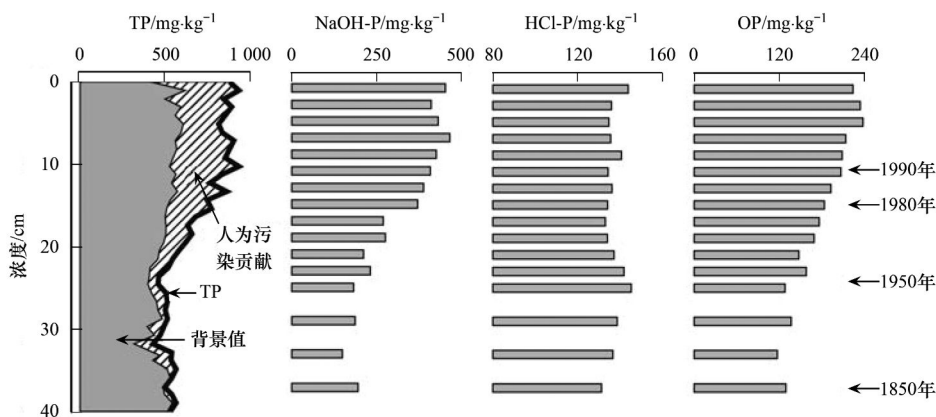


图2 巢湖西部湖心区沉积岩芯中磷含量及形态组成

Fig. 2 Content and species of phosphorus in the sediment core from the central region of west Chaohu Lake

沉积岩芯中有机质 (LOI) 含量为 2.6% ~ 8.7%,与 TP、NaOH-P、OP 具有相似的变化趋势,1850 ~ 1950 年、1950 ~ 1980 年及 1980 年以来有机质含量分别为 2.6% ~ 5.2%、3.7% ~ 5.2%、6.1% ~ 8.7%,其平均值分别为 4.0%、4.6%、7.1%。

2.2 表层沉积物磷的含量与形态组成

巢湖表层沉积物中 TP 含量为 412.6 ~ 2 858.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,NaOH-P、HCl-P、OP 含量分别为 147.4 ~ 2 004.8、78.2 ~ 248.0、88.9 ~ 281.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别占 TP 的质量分数为 30.7% ~ 76.5%、15.3% ~ 37.6%、22.2% ~ 42.4%。以全湖 38 个表层沉积物为数据节点,利用 Surfer 8.0 (Golden Software, Inc.) 绘制得到 TP、NaOH-P、HCl-P、OP 空间分布等值线图(图 3)。各湖区 TP 含量总体为西部湖区 > 东部湖区,北部湖区 > 南部湖区,最高值出现在西北部湖区南淝河入湖口附近,与其他研究结果一致^[13,15]。巢湖表层沉积物中磷的平均含量为 848.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远高于巢湖流域土壤磷的平均含量 (540.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[18]。NaOH-P 与 TP 含量空间变化趋势完全一致,二者相关系数达到了 0.985 ($P = 0.000$); HCl-P 含量在西部湖区及东部湖区较高,而中部湖区较低, HCl-P 与 TP 呈正相关 ($r = 0.490$, $P = 0.006$); OP 含量在西部湖区及东部湖区较高,南部湖区较低,OP 与 TP 不具有典型相关性 ($r = 0.200$,

$P = 0.288$)。

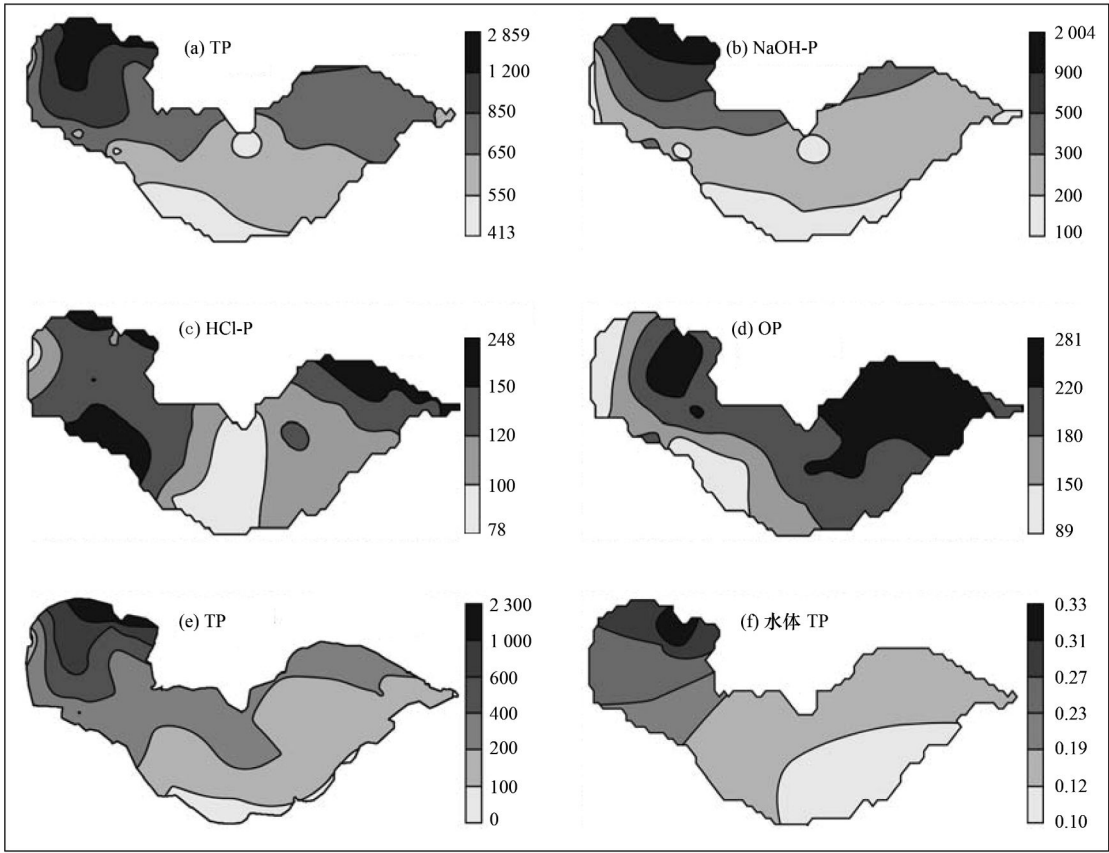
表层沉积物中有机质 (LOI) 含量为 2.7% ~ 11.9%,与 OP 具有相似的空间变化,二者相关系数为 0.634 ($P = 0.000$),而有机质含量与 NaOH-P、HCl-P、TP 相关系数仅为 0.102 ($P = 0.588$)、0.098 ($P = 0.623$)、0.178 ($P = 0.285$)。

3 讨论

3.1 沉积物中磷人为污染贡献量及时空变化

湖泊生态中的磷包括人为污染来源及自然来源,流域土壤及岩石风化碎屑在磷的自然源中占绝对优势,主要通过地表径流方式进入湖泊,在沉积物中通常以颗粒态 (非溶解态) 存在,可看作为“背景磷”。受到流域降水强度及人类活动的影响,土壤及岩石风化碎屑的侵蚀强度会发生变化,沉积物中表现为粒度组成等质地的变化^[19,20];而不同质地沉积物“背景磷”的含量存在差异^[20],表现出较强的“粒度效应”。因此,定量评价沉积物中磷的人为污染,需要考虑沉积物“粒度效应”,这在以往的研究中常常被忽视。

19 世纪中期之前,巢湖流域以传统农业经济为主^[21],磷的人为污染排放量应限于较低水平,沉积物中磷主要为自然来源。Al、Fe、K、Mg 等金属可作为流域土壤及岩石风化碎屑丰度的标志^[17,19]。巢湖西部湖区沉积岩芯 (40 ~ 90 cm,1850 年之前) 中



水体 TP 质量浓度等值线图根据文献[12]绘制, (a) ~ (e) 单位为 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, (f) 单位为 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

图3 巢湖表层沉积物 TP 及各形态磷的含量、磷的人为污染贡献量及 2000 ~ 2007 年水体总磷质量浓度等值线

Fig. 3 Contour of TP, NaOH-P, HCl-P and OP content and anthropogenic phosphorus in surface sediments, and phosphorus concentrations in water of Chaohu Lake

TP 含量与 Al、Fe、K、Mg 等金属元素,以及沉积物细颗粒($<16\ \mu\text{m}$)含量呈正相关(表 1 和图 4),说明 1850 年之前巢湖沉积物中磷主要为流域土壤及岩石风化碎屑等自然来源,其含量与碎屑物质组成有关. 1950 年以来,巢湖西部湖区沉积物中 TP 含量偏离了 Al-TP 的线性趋势(图 4),并且表层沉积物中 Al-TP 之间也不具备典型相关性($r = 0.003$, $P = 0.984$),说明除了自然来源,1950 年以来沉积物中磷还受到人为污染影响. 采用 Al 作为参比元素,以 40 ~ 90 cm 沉积物作为背景,根据沉积岩芯 40 ~ 90 cm 中 Al-TP 的相关关系,计算得到 1850 年以来沉积岩芯及表层沉积物中磷的自然来源及人为污染贡献量(图 2 和图 3).

计算公式为:

$$\text{TP}_{\text{natural}} = 10.442 \times \text{Al}_{\text{sample}} - 264.8 \quad (1)$$
$$\text{TP}_{\text{pollution}} = \text{TP}_{\text{total}} - \text{TP}_{\text{natural}} \quad (2)$$

式中, $\text{TP}_{\text{natural}}$ 为样品中自然来源的磷含量 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), $\text{Al}_{\text{sample}}$ 为样品中 Al 的含量 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), TP_{total} 、 $\text{TP}_{\text{pollution}}$ 分别为样品中总磷含量及人为污染

贡献量.

表 1 巢湖沉积岩芯(40 ~ 90 cm)金属元素、TP 及粒度($<16\ \mu\text{m}$)相关关系¹⁾

Table 1 Correlation coefficients between TP, metals and fine grained fraction ($<16\ \mu\text{m}$)

项目	Al	Fe	K	Mg	$<16\ \mu\text{m}$
$<16\ \mu\text{m}$	0.865 **	0.824 **	0.872 **	0.873 **	
TP	0.968 **	0.948 **	0.973 **	0.984 **	0.864 **

1) $n = 51$; * * 表示在 0.01 水平上显著相关

巢湖西部湖心区沉积岩芯中 1850 ~ 1950 年磷的人为污染贡献为 $13.3 \sim 112.3\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均为 $59.5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 占 TP 的质量分数为 11.8%; 1950 ~ 1980 年, 磷的人为污染贡献量逐渐增加, 平均为 $142.6\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 占 TP 的质量分数为 29.5%; 1980 年以来, 磷的人为污染贡献量达到近 150 年来的最大值, 平均为 $306.5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 占 TP 的质量分数为 35.7%. 本研究重建的巢湖沉积物磷的人为污染历史及阶段性特征与 Zhang 等^[22]对巢湖流域土壤研究揭示的磷的人为污染历史过程相似.

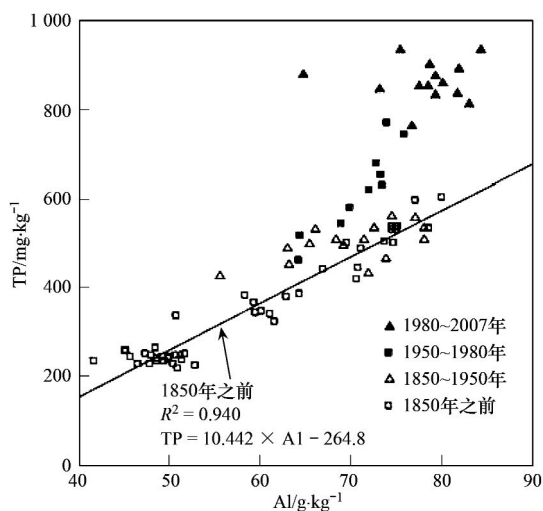


图4 巢湖西部湖心区沉积岩芯 Al-TP 散点图

Fig. 4 Scatter plot between Al and TP in the sediment core from central region of west Chaohu Lake

表层沉积物中,磷的人为污染贡献量为 $22.9 \sim 2500.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 总体为西部湖区 > 东部湖区 > 中部湖区, 北部湖区 > 南部湖区, 最高值出现在西北部湖区南淝河入湖口附近, 这与水体 TP 质量浓度变化趋势一致^[12] (图3). 监测资料表明, 1984 年以来巢湖水体 TP 平均质量浓度维持在 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上^[10], 无显著的变化规律, 这与沉积岩芯记录的磷的人为污染变化趋势也较为一致. 说明沉积物中磷的人为污染蓄积时空变化同步响应于水体磷的质量浓度.

在 ArcGIS 空间分析模块中, 选择克里金法进行空间插值, 沉积物表层 $0 \sim 2 \text{ cm}$ 样品平均重量为 $7.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 计算获得巢湖表层 $0 \sim 2 \text{ cm}$ 沉积物中磷的人为污染蓄积量为 1626 t . 巢湖西部湖心区沉积岩芯中 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 磷的人为污染贡献量垂向变化不大, 假定其他湖区 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 沉积物也具有与表层 $0 \sim 2 \text{ cm}$ 沉积物相似的磷人为污染特征, $0 \sim 10 \text{ cm}$ 样品重量平均为 $55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 计算获得巢湖 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 沉积物中磷的人为污染贡献蓄积量为 11924 t . 根据巢湖西部湖心区沉积岩芯测年资料, 沉积物表层 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 约相当于 1990 年以来的沉积物, 由此计算获得 20 世纪 90 年代以来沉积物中磷的人为污染蓄积量约为 $745 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$. 根据 1999 年统计资料^[10,23], 巢湖流域磷的人为污染排放量为 $2156.4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中入湖量为 $1250.2 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 据此计算获得巢湖流域人为污染排放进入巢湖的磷约有 60% 储存于沉积物中.

据 1999 年统计资料^[23], 面源污染及生活污染

源排放分别占到巢湖流域磷的人为污染排放的 40.3% 和 44.9%; 巢湖流域生活污水磷的排放量为 968.7 t , 其中合肥市为 600.3 t , 占到整个流域生活污水磷排放量的 61.9%. 流经合肥市的南淝河水体 TP 质量浓度 (2000 ~ 2007 年) 平均为 $0.77 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[24], 远高于湖区水体磷的质量浓度 ($0.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 1984 ~ 2004 年)^[10]. 比邻南淝河河口的湖区表层沉积物磷的人为污染贡献量及水体中磷的质量浓度也显著高于其他湖区, 并且远离河口区呈递减趋势 (图3). 以上分析表明, 除了农业面源污染之外, 源自合肥市的生活污水是巢湖西部湖区磷人为污染的主要来源.

3.2 人为污染对沉积物中磷赋存形态的影响

本研究中 NaOH-P 主要包括了吸附态磷、水合 Al/Fe/Mn 氧化物及氢氧化物结合的磷, HCl-P 主要是存在于磷灰石或者与 Ca 结合的磷, OP 主要是沉积物中各种动植物残体、腐殖质类有机物中含有的磷^[16]. HCl-P 是沉积物中较惰性的磷组分, 主要来源于碎屑岩, 反映了较稳定的流域自然输入过程^[7]; 而 NaOH-P 及 OP 在一定的环境条件下可发生“活化”, 成为蓝藻水华暴发所需营养盐的重要来源^[5-8]. 因此, 研究人为污染对沉积物中磷赋存形态的影响对湖泊污染治理及生态保护有重要意义.

与 1850 ~ 1950 年相比, 1950 ~ 1980 年及 1980 年以来巢湖西部湖心区沉积物中 NaOH-P 的增加量平均为 $92.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $240.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 这与根据 TP 含量计算得到的人为污染贡献增加量 ($83.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $247.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 基本吻合; 巢湖表层沉积物中磷的人为污染贡献量与 NaOH-P 含量呈典型相关 ($r = 0.982$, $P = 0.000$). 说明人为污染输入的磷在巢湖沉积物中主要以 NaOH-P 结合态存在, 这与巢湖流域土壤中磷的人为污染主要赋存形态^[22]、以及南四湖流域城市污水补给河流沉积物磷的存形态研究结果一致^[3].

巢湖西部湖心区沉积岩芯中 OP 含量随着 TP、NaOH-P 含量、磷的人为污染贡献量的增加而增加; 但表层沉积物中磷的人为污染量与 OP 含量未表现出典型相关性 ($r = 0.053$, $P = 0.779$), 表层沉积物及沉积岩芯 OP 与有机质 (LOI) 含量呈典型相关 ($r > 0.634$, $P < 0.01$). 研究表明巢湖沉积物中有机质主要来源于藻类等湖泊生物, 沉积物有机质含量代表了湖泊生产力的变化^[25]. 巢湖表层沉积物及沉积岩芯中 OP 与有机质含量的同步变化, 说明沉积物 OP 含量更直接地响应于湖泊生产力的变化. 随

着磷的人为污染输入及水体中磷质量浓度的增加, 湖泊生产力的提高, 藻类等水生生物对磷的“固化”使沉积物中 OP 蓄积量增加。

本研究得到的沉积物中磷的人为污染特征与水体中磷质量浓度及湖泊富营养化具有同步的变化历史过程。陈旭等^[26]根据硅藻化石数据和硅藻-总磷转换函数库对巢湖西部湖心区过去 200 a 来的水体中 TP 的质量浓度进行了推导, 1978 年之前, 水体中 TP 的质量浓度在 $65 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右; 而 1978 年以来水体中 TP 的质量浓度迅速上升至 $100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右, 最大值达到了 $164 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。20 世纪 80 年代之前, 磷的人为输入强度较小, 并且大部分与颗粒物结合埋藏于沉积物中, 并未表现出显著的富营养化态势, 可能与湖泊生态系统处于自身调节能力范围之内有关^[27]; 而 20 世纪 80 年代以来, 随着磷人为污染输入量的急剧增加, 水体中 TP 的质量浓度升高; 同时沉积物中 NaOH-P 含量增加导致内源污染负荷升高^[2,14], 在内外源污染的共同作用下, 巢湖生态系统类型发生“突变”, 蓝藻水华大面积持续暴发。

4 结论

近 150 年来, 巢湖西部湖心区沉积岩芯中 TP、NaOH-P、OP 含量逐渐增加, 而 HCl-P 含量相对稳定; NaOH-P 所占 TP 的质量分数逐渐增加, OP 的质量分数相对稳定, 而 HCl-P 的质量分数逐渐减小。1850~1950 年, 沉积岩芯记录的磷的人为污染贡献量较低, 平均为 $59.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 1950~1980 年, 磷的人为污染贡献量逐渐增加, 平均为 $142.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 占 TP 的质量分数为 29.5%; 1980 年以来, 沉积物中磷的人为污染贡献量达到最大值, 平均为 $306.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 占 TP 的质量分数达 35.7%。巢湖表层沉积物中 TP 含量总体表现为西部湖区 > 东部湖区, 北部湖区 > 南部湖区, 与水体中 TP 的质量浓度变化一致, 表层沉积物中磷的人为污染贡献量为 $22.9 \sim 2\,500.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最高值出现在西北部湖区南淝河入湖口附近。人为污染排放输入巢湖的磷在沉积岩芯及表层沉积物中主要以 NaOH-P 的形式存在; 沉积物中 OP 除了少部分直接来源于人为污染之外, 更直接地响应于湖泊生产力变化。20 世纪 80 年代以来, 巢湖富营养化加重可能是外源性磷的输入及内源污染负荷升高导致的磷的释放共同作用的结果。

参考文献:

[1] 秦伯强. 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, 2002, **14**(3): 193-202.

[2] 汤宝靖, 陈雷, 姜霞, 等. 巢湖沉积物磷的形态及其与间隙水磷的关系[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(9): 1867-1873.

[3] 刘恩峰, 沈吉, 杨丽原, 等. 南四湖及主要入湖河流沉积物中磷的赋存形态研究[J]. 地球化学, 2008, **37**(3): 290-296.

[4] 咎逢宇, 霍守亮, 席北斗, 等. 巢湖近代沉积物及其间隙水中营养物的分布特征[J]. 环境科学学报, 2010, **20**(10): 2088-2096.

[5] 戴纪琴, 宋金明, 李学刚, 等. 胶州湾沉积物中的磷及其环境指示意义[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 1953-1962.

[6] 张路, 范成新, 朱广伟, 等. 长江中下游湖泊沉积物生物可利用磷分布特征[J]. 湖泊科学, 2006, **18**(1): 36-42.

[7] Dong L M, Yang Z F, Liu X H. Phosphorus fractions, sorption characteristics, and its release in the sediments of Baiyangdian Lake, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, **179**(1-4): 335-345.

[8] Wang S R, Jin X C, Zhao H C, *et al.* Phosphorus fractions and its release in the sediments from the shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River area in China [J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2006, **273**(1-3): 109-116.

[9] 屠清瑛, 顾丁锡, 徐卓然, 等. 巢湖——富营养化研究[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990.

[10] Shang G P, Shang J C. Spatial and temporal variations of eutrophication in western Chaohu Lake, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, **130**(1-3): 99-109.

[11] Smith V H, Tilman G D, Nekola J C. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems [J]. Environmental Pollution, 1999, **100**(1-3): 179-196.

[12] 方凤满, 金高洁, 高超. 巢湖水环境质量时空演变特征及成因分析[J]. 水土保持通报, 2010, **30**(5): 178-182.

[13] 王绪伟, 王心源, 封毅, 等. 巢湖沉积物总磷含量及无机磷形态的研究[J]. 水土保持学报, 2007, **21**(4): 56-59.

[14] 张敏, 谢平, 徐军, 等. 大型浅水湖泊——巢湖内源磷负荷的时空变化特征及形成机制[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, **35**(增刊 II): 63-72.

[15] 徐康, 刘付程, 安宗胜, 等. 巢湖表层沉积物中磷赋存形态的时空变化[J]. 环境科学, 2011, **32**(11): 3255-3263.

[16] Ruban V, López-Sánchez J F, Pardo P, *et al.* Development of a harmonised phosphorus extraction procedure and certification of a sediment reference material [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2001, **3**(1): 121-125.

[17] 杜臣昌, 刘恩峰, 羊向东, 等. 巢湖沉积物重金属富集特征与人为污染评价[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(1): 59-66.

[18] 周慧平, 高超, 孙波, 等. 巢湖流域土壤全磷含量的空间变异特征和影响因素[J]. 农业环境科学学报, 2007, **26**(6): 2112-2117.

[19] Liu E F, Yang X D, Shen J, *et al.* Environmental response to climate and human impact during the last 400 years in Taibai

- Lake catchment, middle reach of Yangtze River, China [J]. Science of the Total Environment, 2007, **385**(1-3): 196-207.
- [20] Sun Q L, Wang S M, Zhou J, *et al.* Sediment geochemistry of Lake Daihai, north-central China: Implications for catchment weathering and climate change during the Holocene [J]. Journal of Paleolimnology, 2010, **43**(1): 75-87.
- [21] Yan Z Z, Gu H Y, Dai Y B, *et al.* Population, land use and environmental impacts in Shucheng County, Anhui Province, China during the Ming and Qing Dynasties [J]. Environment and History, 2009, **15**(1): 61-78.
- [22] Zhang H, Shan B Q. Historical distribution and partitioning of phosphorus in sediments in an agricultural watershed in the Yangtze-Huaihe region, China [J]. Environmental Science and Technology, 2008, **42**(7): 2328-2333.
- [23] 国家环境保护总局. “三河”“三湖”水污染防治计划及规划 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [24] 张培, 吴开亚, 金菊良, 等. 巢湖出入湖口的水质动态分析评价 [J]. 水电能源科学, 2011, **29**(5): 29-33.
- [25] 周志华, 刘丛强, 李军, 等. 巢湖沉积物 $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 记录的生态环境演化过程 [J]. 环境科学, 2007, **28**(6): 1338-1343.
- [26] 陈旭, 羊向东, 刘倩, 等. 巢湖近代沉积硅藻种群变化与富营养化过程重建 [J]. 湖泊科学, 2010, **22**(4): 607-615.
- [27] Scheffer M, Carpenter S R. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2003, **18**(12): 648-656.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2011 年 12 月 2 日, 中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了 2010 年度中国科技论文统计结果. 统计结果显示 2010 年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术、安全科学技术类科技期刊前列.

综合评价总分 86.5, 排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》86.5, 《中国环境科学》77.9, 《环境科学学报》77.3).

总被引频次 5 197, 排名第一(排名前三名的期刊分别是《环境科学》5 197, 《环境科学学报》3 914, 《农业环境科学学报》3 700).

影响因子 1.125, 排名第三(排名前三名的期刊分别是《环境科学研究》1.531, 《中国环境科学》1.457, 《环境科学》1.125).

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系, 计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等), 采用层次分析法确定重要指标的权重, 分学科对每种期刊进行综合评定, 计算出每个期刊的综合评价总分. 这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异, 使科技期刊可以进行跨学科比较. 根据发布的统计结果, 2010 年度《环境科学》综合评价总分 86.5, 在被统计的 1998 种核心期刊中名列第 27 位, 在被统计的 36 种环境科学技术、安全科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科学出版社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发售