

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

**2016**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

编者按 ..... (403)

我国化学品的风险评价及风险管理 ..... 王铁宇,周云桥,李奇锋,吕永龙 (404)

土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 ..... 吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)

中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 ..... 黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)

关中地区冬季PM<sub>2.5</sub>中碳气溶胶的污染特征及来源解析 ..... 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)

利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 ..... 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434)

南京夏季市区VOCs特征及O<sub>3</sub>生成潜势的相关性分析 ..... 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)

北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 ..... 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)

重庆垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 ..... 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)

三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 ..... 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)

长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 ..... 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)

青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程 ..... 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)

西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 ..... 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)

坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 ..... 余成,陈爽,张路 (499)

近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 ..... 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)

舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 ..... 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄煊芳 (513)

模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 ..... 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)

中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 ..... 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)

江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 ..... 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)

巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 ..... 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)

合肥城郊典型农田溪流系统沉积物磷形态及释放风险分析 ..... 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)

桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 ..... 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)

苏州市老城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 ..... 李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)

洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 ..... 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)

三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 ..... 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)

pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 ..... 王辉,孙波,关小红 (588)

EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 ..... 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)

镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 ..... 王婷,朱春山,胡承志 (602)

微生物对砷的氧化还原竞争 ..... 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍咏,王明星,袁林江 (609)

处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 ..... 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)

污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 ..... 景明,王磊 (622)

异养硝化-好氧反硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析 ..... 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫渊辉 (630)

基于新一代测序技术的A<sup>2</sup>O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 ..... 田美,刘汉湖,申欣 (638)

1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 ..... 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)

纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 ..... 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)

3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 ..... 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)

合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 ..... 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)

芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 ..... 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)

芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 ..... 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)

季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 ..... 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)

增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 ..... 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)

基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 ..... 王幼奇,白一茹,王建宇 (710)

不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 ..... 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)

紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸持特征及影响因素 ..... 王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)

几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 ..... 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)

河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 ..... 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶澍,刘文新 (740)

湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 ..... 罗鹏程,李航,王曙光 (750)

溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 ..... 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)

自组装哑铃状Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 ..... 黄鑫辰,宗刚,刘焯焯,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)

盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N<sub>2</sub>O产生的影响 ..... 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)

污泥直接干化尾气中恶臭污染物重要性评价:以指标权重评分法为例 ..... 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)

《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)

# 近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征

沈贝贝<sup>1,2</sup>, 吴敬禄<sup>1</sup>, 赵中华<sup>1</sup>, 曾海鳌<sup>1</sup>, 金苗<sup>1</sup>

(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. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 本研究分析了新疆博斯腾湖沉积岩芯中 16 种多环芳烃 (PAHs) 的垂直分布情况, 并对其来源和生态风险进行了初步评估。结果表明, 沉积岩芯中总 PAHs 的变化范围为  $37.5 \sim 184.5 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , 其中主要成分为萘和菲。近百年来, 在 20 世纪 50 年代前后, 沉积物中 PAHs 以及各主要组份出现明显变化。20 世纪 50 年代以前, 总 PAHs 和各组分变化相对稳定, 并以低分子量 PAHs 组成为主。20 世纪 50 年代后, 高分子量 PAHs 开始出现并呈现波动上升, 尤其是 20 世纪 90 年代以来, 总 PAHs 及各组分都出现明显增加, 至表层达到峰值, 表明湖泊流域除了受人类低温燃烧排放影响外, 近年来受工业和机动车尾气等高温燃烧释放的 PAHs 影响也明显增加。但通过风险评估表明, 博斯腾湖中 PAHs 不会造成生态风险。

**关键词:** 博斯腾湖; 沉积岩芯; 多环芳烃; 垂直变化; 风险评估

中图分类号: X524; X820.4 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0507-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.02.014

## Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang

SHEN Bei-bei<sup>1,2</sup>, WU Jing-lu<sup>1</sup>, ZHAO Zhong-hua<sup>1</sup>, ZENG Hai-ao<sup>1</sup>, JIN Miao<sup>1</sup>

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

**Abstract:** The vertical distributions of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were investigated from a sediment core in the Lake Bosten, Xinjiang. Meanwhile, the possible source and risk assessment of PAHs in Lake Bosten were also discussed. The total PAHs concentration in the sediment core ranged from  $37.5 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  to  $184.5 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ , and Naphthalene and Phenanthrene were the dominant compounds throughout the core. Over the one hundred year, the vertical profile of PAHs underwent significant changes around 1950s. The vertical distributions of PAHs had little change and low molecular weight PAHs were dominant PAHs before 1950s. Since then, the high molecular weight PAHs appeared and increased with fluctuations. A sharp increase in PAHs level and individuals was observed especially after 1990s and a maximum was found in the surface sediment. The results suggested PAHs in Lake Bosten were from the local sources, which were dominated by the low temperature combustion. Besides, the abundance of PAHs from high temperature combustion processes, such as combustion of industrial coal and vehicle emission, increased significantly in recent years. However, based on the results of risk assessment, the PAHs may not induce adverse biological effects on the aquatic ecosystem in Lake Bosten.

**Key words:** Lake Bosten; sediment core; polycyclic aromatic hydrocarbon; vertical variation; risk assessment

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 是一类广泛存在于环境中的持久性有毒有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs), 由于潜在的致癌和致畸变能力, 其在环境中的残留和生态风险一直受到人们的关注。

PAHs 的来源可分为天然源和人为源两种。人类活动特别是煤等化石燃料和生物质的不完全燃烧, 以及汽油、柴油等交通污染产生的废气是环境中 PAHs 的主要来源。由于 PAHs 具有憎水性, 水中 PAHs 极易聚积到沉积物中, 因此沉积物是 PAHs 的蓄积库之一<sup>[1, 2]</sup>。沉积物中的多环芳烃还可通过再悬浮成为水体中多环芳烃的源, 从而造成水体“二次污染”<sup>[3]</sup>。研究沉积岩芯中有机污染物的含量和组成变化有助于重建污染物在环境中的污染历史<sup>[4]</sup>, 揭示不同的人类活动对 PAHs 对沉积环境的

影响特征和差异, 如家庭燃料来源从煤炭到石油和天然气的转变过程<sup>[5~9]</sup>。

博斯腾湖 ( $41^{\circ}56' \sim 42^{\circ}14' \text{ N}$ ,  $86^{\circ}40' \sim 87^{\circ}56' \text{ E}$ ) 地处新疆天山南麓巴音郭楞蒙古自治州的焉耆盆地, 是我国最大的内陆淡水湖<sup>[10]</sup>。开都河是其唯一的常年性入湖河流, 孔雀河是唯一的出水河流。湖区属温带大陆性干旱气候, 干旱少雨, 对自然环境和人类活动的影响较为敏感。博斯腾湖向周边地区提供农田、工业与生活用水。近年来人类活动干扰的加重使得湖泊污染日益严重, 存在富营养化的趋势。关于博斯腾湖的研究目前主要集中在水环境质

收稿日期: 2015-08-31; 修订日期: 2015-09-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1138301, 41201535, 41271205); 科技基础性工作专项 (2014FY110400)

作者简介: 沈贝贝 (1988~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为湖泊环境化学, E-mail: shenbeibeio308@163.com

量、流域环境变化和长时间尺度的气候环境演化方面<sup>[11~15]</sup>,有关博斯腾湖沉积记录的有机污染物变化方面的研究还很少<sup>[16,17]</sup>. 本研究对博斯腾湖沉积岩芯中 PAHs 进行测定,并对其组成特征、来源及生态风险进行了分析和评估,以便了解博斯腾湖 PAHs 的污染历史及可能的来源,以期为湖泊水体污染控制和制定相应的对策提供一定的依据.

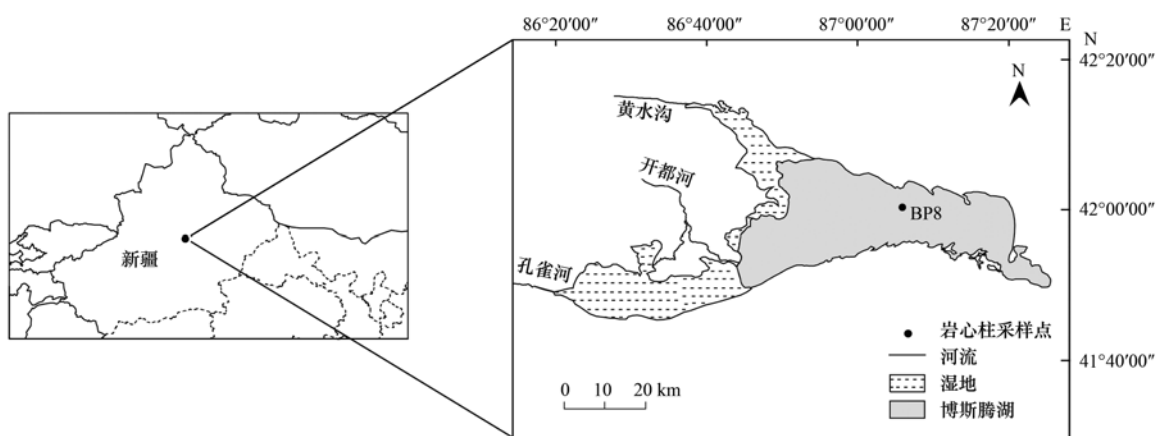


图1 博斯腾湖 BP8 岩芯柱位示意

Fig. 1 Map of the sampling site BP8 in Lake Bosten

## 1.2 多环芳烃测定

### 1.2.1 试剂

实验中所用试剂,包括正己烷、二氯甲烷、甲醇、乙腈等有机溶剂均为色谱纯;无水  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  为分析纯,硅胶(100~200目)和氧化铝(80~100目)均为层析用,使用前均用甲醇和二氯甲烷分别抽提 48 h. 16 种 PAHs 标准混合品包括:萘(Naphthalene, Nap)、苊烯(Acnaphthylene, Acy)、苊(Acenaphthene, Ace)、芴(Fluorene, Flu)、菲(Phenanthrene, Phe)、蒽(Anthracene, Ant)、荧蒽(Fluoranthene, Flu)、芘(Pyrene, Pyr)、苯并(a)蒽[Benzo(a)anthracene, BaA]、䓑(Chrysene, Chr)、苯并(b)荧蒽[Benzo(b)fluoranthene, BbF]、苯并(k)荧蒽[Benzo(k)fluoranthene, BkF]、苯并(a)芘[Benzo(a)pyrene, BaP]、二苯并(a,h)蒽[Dibenzo(a,h)anthracene, DahA]、苯并(g,h,i)芘[Benzo(g,h,i)pyrene, BghiP]、茚并(1,2,3-c,d)芘[Indeno(1,2,3-c,d)pyrene, IcdP], 购于美国 Supelco 公司. 所有玻璃器皿均用铬酸洗液清洗后,在马弗炉中焙烧,使用前用溶剂淋洗.

### 1.2.2 样品预处理

样品分析前经冷冻干燥,研磨过 100 目筛. 准确称取 5 g 沉积物样品添加 3 g 石英砂充分混匀后置于加速溶剂萃取仪(Accelerated solvent extraction

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2014 年 7 月利用重力采样器在博斯腾湖(图 1)采集 1 根短柱沉积岩芯( $42^\circ 0' 16.01'' \text{N}$ ,  $87^\circ 5' 59.55'' \text{E}$ ). 以 1 cm 间隔分样,样品密封于塑料袋内带回实验室并于  $-20^\circ \text{C}$  条件下冷藏以备分析.

system, ASE, Dionex 100) 中进行萃取. ASE 萃取过程以二氯甲烷为提取剂在  $150^\circ \text{C}$ 、1 500 psi 条件下静态萃取 2 次,每次静态萃取时间为 6 min,每次萃取后以 60% 萃取池体积的二氯甲烷为淋洗剂淋洗整个萃取系统. 所有提取剂收集后过无水硫酸钠干燥去除水分干扰,经旋转蒸发器蒸发浓缩至近干,加入 5 mL 正己烷为置换溶剂,继续浓缩至 1 mL 左右转移至 5 mL 玻璃刻度量管中,之后过硅胶/氧化铝柱(2:1)净化处理. 以 15 mL 正己烷、70 mL 正己烷/二氯甲烷(5:2, 体积比)依次淋洗,收集正己烷/二氯甲烷组分旋转蒸发浓缩至小体积,溶剂置换为乙腈,经  $0.22 \mu\text{m}$  的有机相微孔滤膜过滤后氮吹仪浓缩定容至 0.5 mL 装入气相小瓶中,  $-20^\circ \text{C}$  保存待仪器分析.

### 1.2.3 仪器分析

沉积物中 PAHs 的含量分析由 Agilent 1200 高效液相色谱仪(High performance liquid chromatography, HPLC)完成,以二极管阵列紫外检测器(Diode-array detector, DAD)串联荧光检测器(Fluorescence detector, FLD)进行 PAHs 的定性和定量分析. 色谱柱为 WATERS PAHs C18(4.6 mm  $\times$  250 mm, 粒径:  $5 \mu\text{m}$ , Supelco, USA), 实验中, 色谱柱柱温为  $25^\circ \text{C}$ , 泵流速为  $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ , 进样量为  $20 \mu\text{L}$ .

### 1.2.4 质量保证与质量控制

依据标准物质的出峰顺序和保留时间对 PAHs 定性, 采用 6 点校正曲线峰面积外标法定量. 为了保证实验分析数据的准确性和可靠性, 每次样品分析的过程中均同步设置方法空白实验和基质加标实验判定整个实验操作过程中是否有基质的干扰. 方法回收率实验选用经马弗炉焙烧处理过的石英砂代替环境样品, 加入定量的 PAHs 标准化合物, 按照上述同样的预处理方法进行样品处理, 仪器分析测定每种化合物的方法回收率. 方法检测限以基质样品中能够产生 3 倍信噪比 (S/N) 的样品量确定. 同时, 为了保证定性及定量的准确性, 每分析 15 个样品均添加某一特定浓度的标准样品重新校正化合物的保留时间和峰面积.

### 1.3 总有机碳测定

总有机碳 (TOC) 测定方法采用重铬酸钾氧化-容量法. 在浓硫酸条件下, 加入过量的重铬酸钾氧化样品中的有机碳, 然后用硫酸亚铁反滴定剩余的重铬酸钾, 从而计算有机碳的含量.

## 2 结果与讨论

### 2.1 博斯腾湖钻孔沉积物中检测到的 PAHs 的垂直分布

沉积岩芯中主要检测到的 PAHs 是低环的 PAHs (Nap、Acy、Ace、Flu、Phe、Ant) (图 2). PAHs 的含量变化范围为  $37.5 \sim 184.5 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 低于太湖沉积柱中的 PAHs ( $88 \sim 1600 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[7]</sup>、白洋淀沉积柱中的 PAHs ( $97.2 \sim 2402 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[5]</sup> 和滇池沉积柱中的 PAHs ( $479.3 \sim 4560.8$

$\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ )<sup>[18]</sup>. 不同环数 PAHs 化合物含量分析显示, 沉积物中 PAHs 组成以 2 环和 3 环化合物为主. 2 环 PAHs (Nap) 的含量为  $4.5 \sim 47.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 3 环 PAHs (包括 Acy、Ace、Flu、Phe、Ant) 的含量为  $31.3 \sim 140.2 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 分别占总 PAHs 的 30% 和 62%. 4 环、5 环和 6 环 PAHs (包括 Flu、Pyr、BaA、Chr、BbF、BkF、BaP、DahA、BghiP、IcdP) 的含量变化范围为  $\text{ND} \sim 62.6 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ . 就单个 PAHs 而言, Nap ( $4.5 \sim 47.7 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 和 Phe ( $12.3 \sim 50.5 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ) 是主要的污染物, 分别占总 PAHs 的 30% 和 30%.

为了了解 TOC 对沉积物中 PAHs 分布的影响, 本研究对 PAHs 与有机碳含量进行了相关性分析. 结果显示, 沉积柱中的 PAHs 与有机碳之间没有相关性 ( $P = 0.251$ ). 此外, PAHs 残留量曲线变化及最高峰段与有机碳含量变化二者明显的不一致 (图 2), 因此该柱样中的多环芳烃的分布主要不受有机碳控制. 表明沉积物中 PAHs 的变化主要与人类活动有关.

通过聚类分析, PAHs 的垂直变化大致分为 3 个阶段 (图 2);  $30 \sim 18 \text{ cm}$ , 总 PAHs 和各组分的含量变化小, 整体变化趋势一致, 没有明显的上升趋势; 这个阶段, 检测到的 PAHs 主要是低分子量 PAHs (LMW-PAHs, 包括 2、3 环 PAHs). 第二阶段:  $18 \sim 12 \text{ cm}$ , 各指标波动较大, 出现了两个明显的峰值. LMW-PAHs 含量在这一阶段出现波动, 高分子量 PAHs (HMW-PAHs, 包括 4、5、6 环 PAHs) 出现. 第三阶段:  $12 \text{ cm} \sim$  表层, 总 PAHs 及各成分总体呈波动上升的趋势, 尤其是在  $6 \text{ cm}$  至表层段迅速增加,

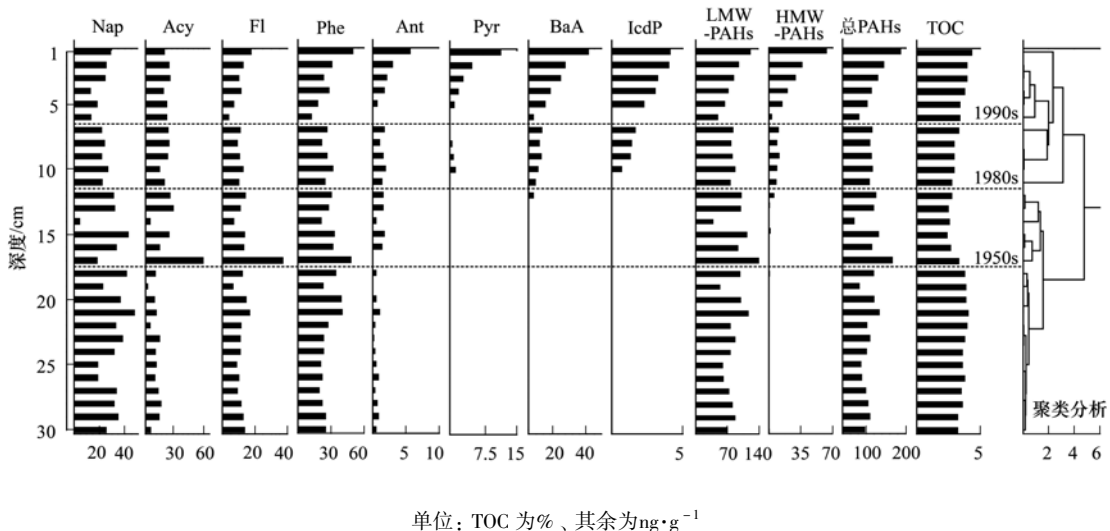


图 2 博斯腾湖沉积柱中 PAHs 及各组分和 TOC 的垂直变化

Fig. 2 Vertical profiles of PAHs, the individual components and TOC concentrations in sediment core from Lake Bosten

并在表层达到峰值. HMW-PAHs 在这一阶段占总 PAHs 的比重也迅速增加. 此外, TOC 也迅速上升, 说明湖泊的有机质增加, 人类活动的干扰加重.

郑柏颖等<sup>[14]</sup>通过博斯腾湖河口和湖心沉积岩芯的<sup>210</sup>Pb和<sup>137</sup>Cs测年, 获得对应的平均沉积速率分别为 $0.32 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $0.36 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ , 表明博斯腾湖不同水深处沉积速率变化不大. Guo 等<sup>[16]</sup>研究认为博斯腾湖深水区的平均沉积速率约为 $0.28 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ . 总体分析, 博斯腾湖沉积速率相对稳定, 本研究采用博斯腾湖深水区平均沉积速率 $0.32 \text{ cm}\cdot\text{a}^{-1}$ 推测沉积岩芯 17 ~ 18 cm 层段对应于 1950s 中后期, 深 11 ~ 12 cm 对应 1980s 初, 深 6 ~ 7 cm 对应 1990s (图 2).

## 2.2 近百年来博斯腾湖沉积物中 PAHs 的变化及环境意义

PAHs 的污染源有自然源和人为源两种. 自然源主要是火山爆发、森林火灾和生物合成等自然因素所形成的污染. 人为源包括各种矿物燃料(如煤、石油、天然气等)、木材等的不完全燃烧, 城市污水排放及交通尾气排放<sup>[19, 20]</sup>. 通常 LMW-PAHs 主要来自石油类污染, 家庭的煤、草和木材的中低温燃烧(造岩源), 而 HMW-PAHs 则主要是源于大型工厂的燃煤或燃油、尾气排放、家庭燃气和化石燃料的高温燃烧(燃烧源)<sup>[21, 22]</sup>.

本研究中, LMW-PAHs 是主要的 PAHs, 表明 PAHs 主要来自中低温燃烧或石油类污染. 从沉积物中 PAHs 的组成变化也可以得到一些 PAHs 的来源及其变化的线索. 从图 2 可以看出两个明显的特征: 一是低环数 PAHs 在沉积柱中的贡献近年来有逐渐下降的趋势, 但其在沉积物中始终占主导地位, 尤其是 Nap 和 Phe, 说明博斯腾湖沉积物中的 PAHs 主要还是来自木材及家庭燃煤的中低温燃烧过程<sup>[23, 24]</sup>; 二是高环数 PAHs 在沉积柱中的相对含量呈明显上升的趋势. 这说明近年来高温燃烧过程排放的 PAHs (如大型工厂燃煤, 机动车尾气排放等) 在博斯腾湖沉积物中有明显增加的趋势.

在 1950s 年之前, 经济发展缓慢, 人们使用的燃料以木材为主, PAHs 的含量变化不大, 排放的 PAHs 以 LMW-PAHs 为主. 1950 ~ 1980 年, 由于新中国成立, 经济缓慢发展, 排放的 PAHs 增加, 煤等在燃料结构中的比重逐渐增大, HMW-PAHs 含量在沉积物中逐渐增加. 大跃进(1958 ~ 1960 年)和文化大革命(1966 ~ 1976 年)的发生, 造成农业和经济发展基本停滞, PAHs 在 1960s 和 1970s 左右出现下降. 在 1990 年之后新疆经济快速发展, 燃料的使

用(尤其是石化燃料的使用)进入一个快速增长的时期. 这时沉积物中 PAHs 快速增加, HMW-PAHs 也明显增加. Guo 等<sup>[16]</sup>对博斯腾湖岩心柱中 PAHs 的研究发现, 沉积物中的 LMW-PAHs 是主要的 PAHs, HMW-PAHs 在 1950 ~ 1980 年之间开始缓慢出现并有所波动, 在 1980 年末至今呈现一个快速增长的过程.

Liu 等<sup>[7]</sup>对太湖沉积柱的研究发现, 沉积物中的 PAHs 自下至上呈缓慢增长的趋势, 20 世纪 50 年代左右达到第一个峰值, 20 世纪 60、70 年代年之间出现波动, 但从 20 世纪 80 年代开始呈现一个快速增长的过程, Hu 等<sup>[25]</sup>对渤海湾沉积柱的研究也得出了类似的结果. 博斯腾湖沉积柱中 PAHs 的沉积记录与其有较好的可比性, 但 PAHs 出现快速增长的时间基本滞后近 10 年, 这与新疆地区的工业和经济发展状况有关. 研究表明, 多环芳烃的含量变化与人口数量、区域经济发展指数(国民生产总值, GDP), 机动车数量有着很好的相关性<sup>[26, 27]</sup>. 与沉积钻孔中 PAHs 的含量相似, 博斯腾湖流域的 GDP、人口数量和民用汽车数量都在 1990s 之后出现迅速的增加(图 3).

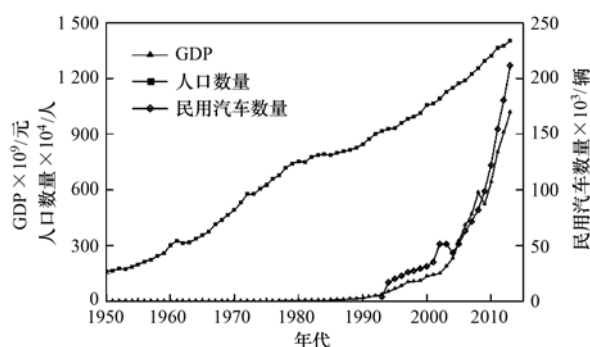


图 3 博斯腾湖流域近 60 年来社会经济发展指数变化特征

Fig. 3 Variation of socioeconomic indexes of Lake Bosten Catchment in last nearly 60 years

而与国外同类的研究相比较, 本研究结果明显不同于美国<sup>[8]</sup>和欧洲<sup>[28, 29]</sup>沉积柱中 PAHs 的垂直变化趋势. 在 Michigan 的 11 个内陆湖的沉积物中, 9 个湖泊的 PAHs 在 1960 ~ 1980 年达到顶峰<sup>[8]</sup>, Clyde 河口沉积柱中的 PAHs 在 20 世纪 50 年代达到峰值, 随后呈下降的趋势<sup>[28]</sup>. 而在欧洲的湖泊沉积柱, PAHs 在 1960 ~ 1980 年达到最大值, 随后也呈下降的趋势<sup>[29]</sup>. 而博斯腾湖沉积柱中的 PAHs 在 1980 年至今一直呈增加趋势, 这种差异可能主要来自于我国与欧美等发达国家经济转型和能源利用方式转变时期不同所造成.

### 2.3 博斯腾湖钻孔沉积物中 PAHs 的风险评估

对污染物的生态风险进行评估对于了解当前的环境污染状况和确定关键污染物质具有重要的意义. 本文采用常用的生物效应低值 (effects range low, ERL) 和生物效应中值 (effects range median, ERM) 来进行评估<sup>[30]</sup>. 当 < ERL 时, 说明污染物导

致的生态危害可能性很小; 当 > ERL 且 < ERM 时, 说明污染物可能导致潜在的生态风险; 而当 > ERM 时, 则说明污染物可能导致严重的生态风险. 风险评估的结果显示, 整个沉积柱中, PAHs 单体及其总量均小于 ERM, 说明博斯腾湖沉积物中的 PAHs 还没有导致严重生态危害的可能性 (表 1).

表 1 博斯腾湖沉积柱中各 PAHs 的风险评估<sup>1)</sup>

Table 1 Risk assessments of individual PAHs in the sediments from Lake Bosten

污染物	本研究中的含量 /ng·g <sup>-1</sup>	评估标准/ng·g <sup>-1</sup>		本研究中相应的比例/%		
		ERL	ERM	< ERL	ERL ~ ERM	> ERM
Nap	4.5 ~ 47.7	160	2 100	100	0	0
Acy	1.8 ~ 54.3	44	640	97	3	0
Ace	ND ~ 1.4	16	500	100	0	0
Flu	4.0 ~ 37.5	19	540	100	0	0
Phe	12.3 ~ 50.5	240	1 500	100	0	0
Ant	ND ~ 5.7	85.3	1 100	100	0	0
Pyr	ND ~ 11.5	665	2 600	100	0	0
BaA	ND ~ 41.2	261	1 600	100	0	0
Chr	ND ~ 4.8	384	2 800	100	0	0
BaP	ND ~ 1.0	430	1 600	100	0	0
LMW-PAHs	37.5 ~ 158.6	552	3 160	100	0	0
HMW-PAHs	ND ~ 62.6	1 700	9 600	100	0	0
总 PAHs	37.5 ~ 184.5	4 022	44 792	100	0	0

1) ND: 未检出, 低于检测限

### 3 结论

博斯腾湖沉积物中 16 种 PAHs 残留量为 37.5 ~ 184.5 ng·g<sup>-1</sup>, 并总体上由底层至表层呈上升趋势. 整个岩心柱中的 PAHs 主要以 LWM-PAHs (包括 Nap、Acy、Ace、Flu、Phe 和 Ant) 为主. 从沉积物中 PAHs 的组成特征来看, 博斯腾湖沉积物中的 PAHs 主要来自家庭燃煤和木材等的低温燃烧. 然而在 20 世纪 90 年代之后, 工业燃煤和机动车尾气等过程排放的 PAHs 在沉积物中有明显增加的趋势, 主要与当地的燃料结构的改变和经济快速发展有关. 但博斯腾湖中的 PAHs 不会造成生态风险.

#### 参考文献:

- [1] Zhou J L, Maskaoui K. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and surface sediments from Daya Bay, China [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **121** (2): 269-281.
- [2] 母清林, 方杰, 邵君波, 等. 长江口及浙江近岸海域表层沉积物中多环芳烃分布、来源与风险评价 [J]. *环境科学*, 2015, **36** (3): 839-846.
- [3] Yuan D X, Yang D N, Wade T L, *et al.* Status of persistent organic pollutants in the sediment from several estuaries in China [J]. *Environmental Pollution*, 2001, **114** (1): 101-111.
- [4] Xu J, Guo J Y, Liu G R, *et al.* Historical trends of concentrations, source contributions and toxicities for PAHs in dated sediment cores from five lakes in western China [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, **470-471**: 519-526.
- [5] Guo W, Pei Y S, Yang Z F, *et al.* Historical changes in polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) input in Lake Baiyangdian related to regional socio-economic development [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **187** (1-3): 441-449.
- [6] Li C C, Huo S L, Yu Z Q, *et al.* Historical records of polycyclic aromatic hydrocarbon deposition in a shallow eutrophic lake: Impacts of sources and sedimentological conditions [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2015, doi: 10.1016/j.jes.2015.05.007.
- [7] Liu G Q, Zhang G, Jin Z D, *et al.* Sedimentary record of hydrophobic organic compounds in relation to regional economic development: A study of Taihu Lake, East China [J]. *Environmental Pollution*, 2009, **157** (11): 2994-3000.
- [8] Kannan K, Johnson-Restrepo B, Yohn S S, *et al.* Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Michigan inland lakes [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39** (13): 4700-4706.
- [9] 刘国卿, 张干, 李军, 等. 多环芳烃在珠江口的百年沉积记录 [J]. *环境科学*, 2005, **26** (3): 141-145.
- [10] Wu J L, Liu W, Zeng H A, *et al.* Water quantity and quality of six lakes in the arid Xinjiang region, NW China [J]. *Environmental Processes*, 2014, **1** (2): 115-125.
- [11] 兰文辉, 阿比提, 安海燕. 新疆博斯腾湖流域水环境保护与治理 [J]. *湖泊科学*, 2003, **15** (2): 147-152.
- [12] 任雅琴, 王彩红, 李瑞博, 等. 有机质饱和烃和  $\delta^{13}C_{org}$  记录的



- 波斯腾湖早全新世晚期以来生态环境演变[J]. 第四纪研究, 2014, **34**(2): 425-433.
- [13] 吴敬禄, 马龙, 曾海鳌. 新疆波斯腾湖水质水量及其演化特征分析[J]. 地理科学, 2013, **33**(2): 231-237.
- [14] 郑柏颖, 张恩楼, 高光. 近百年来新疆波斯腾湖初级生产力的变化[J]. 湖泊科学, 2012, **24**(3): 466-473.
- [15] 周洪华, 李卫红, 陈亚宁, 等. 波斯腾湖水盐动态变化(1951-2011年)及对气候变化的响应[J]. 湖泊科学, 2014, **26**(1): 55-65.
- [16] Guo J, Wu F, Luo X, *et al.* Anthropogenic input of polycyclic aromatic hydrocarbons into five lakes in Western China [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158**(6): 2175-2180.
- [17] 杨彬, 解启来, 廖天, 等. 波斯腾湖沉积物中有机氯农药的分布特征及生态风险评价[J]. 湖泊科学, 2011, **23**(1): 29-34.
- [18] Guo J Y, Wu F C, Liao H Q, *et al.* Sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons and DDTs in Dianchi Lake, an urban lake in Southwest China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, **20**(8): 5471-5480.
- [19] Huang W X, Wang Z Y, Yan W. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from Zhanjiang Bay and Leizhou bay, South China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, **64**(9): 1962-1969.
- [20] Larsen R K, Baker J E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods[J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, **37**(9): 1873-1881.
- [21] Baek S O, Field R A, Goldstone M E, *et al.* A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources, fate and behavior[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1991, **60**(3-4): 279-300.
- [22] Chen H Y, Teng Y G, Wang J S. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Rizhao coastal area (China) using diagnostic ratios and factor analysis with nonnegative constraints[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, **414**: 293-300.
- [23] Mai B, Qi S, Zeng E Y, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: Assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis [J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, **37**(21): 4855-4863.
- [24] Sofowote U M, McCarry B E, Marvin C H. Source apportionment of PAH in Hamilton harbour suspended sediments: comparison of two factor analysis methods [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(16): 6007-6014.
- [25] Hu L M, Guo Z G, Shi X F, *et al.* Temporal trends of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in the Bohai Sea, China: Evidence from the sedimentary record [J]. *Organic Geochemistry*, 2011, **42**(10): 1181-1193.
- [26] Liu G Q, Zhang G, Li X D, *et al.* Sedimentary record of polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment core from the Pearl River Estuary, South China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, **51**(8-12): 912-921.
- [27] Hafner W D, Carlson D L, Hites R A. Influence of local human population on atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(19): 7374-7379.
- [28] Vane C H, Chenery S R, Harisson I, *et al.* Chemical signatures of the Anthropocene in the Clyde estuary, UK: sediment-hosted Pb, <sup>207/206</sup>Pb, total petroleum hydrocarbon, polyaromatic hydrocarbon and polychlorinated biphenyl pollution records[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2011, **369**(1938): 1085-1111.
- [29] Fernández P, Vilanova R M, Martínez C, *et al.* The historical record of atmospheric pyrolytic pollution over Europe Registered in the sedimentary PAH from remote mountain lakes [J]. *Environmental Science & Technology*, 2000, **34**(10): 1906-1913.
- [30] Long E R, Macdonald D D, Smith S L, *et al.* Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments [J]. *Environmental Management*, 1995, **19**(1): 81-97.



## CONTENTS

Editor's comment .....	( 403 )
Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China .....	WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> ( 404 )
Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution .....	WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng ( 413 )
Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010 .....	HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming ( 420 )
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM <sub>2.5</sub> During Winter in Guanzhong Area .....	TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> ( 427 )
Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS .....	LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> ( 434 )
Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District .....	YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> ( 443 )
Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area .....	MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> ( 452 )
Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing .....	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> ( 459 )
Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China .....	ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> ( 466 )
Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha .....	XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> ( 475 )
Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau .....	SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> ( 482 )
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet .....	GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> ( 490 )
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika .....	YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu ( 499 )
Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang .....	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> ( 507 )
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qingbang Island, Zhoushan, China .....	ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> ( 513 )
Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch .....	LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> ( 520 )
Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed .....	WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> ( 527 )
Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province .....	HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> ( 534 )
Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake .....	XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> ( 542 )
Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China .....	PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> ( 548 )
Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay .....	ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> ( 558 )
Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou .....	LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> ( 565 )
Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors .....	LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> ( 573 )
Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas .....	JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> ( 580 )
Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate .....	WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong ( 588 )
Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe .....	ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> ( 595 )
Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property .....	WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi ( 602 )
Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic .....	YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 609 )
Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water .....	ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> ( 615 )
Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria .....	JING Ming, WANG Lei ( 622 )
Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02 .....	SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> ( 630 )
Comparative Metagenomics of BIOLAK and A <sup>2</sup> O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology .....	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin ( 638 )
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment .....	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> ( 647 )
Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe .....	SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> ( 655 )
Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water .....	XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> ( 662 )
Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions .....	FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> ( 668 )
Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions .....	WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> ( 680 )
Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge .....	ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> ( 689 )
Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period .....	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> ( 697 )
Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland .....	CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> ( 703 )
Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City .....	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu ( 710 )
Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas .....	ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> ( 717 )
Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil .....	WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> ( 726 )
Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies .....	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> ( 734 )
Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province .....	WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> ( 740 )
Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment .....	LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang ( 750 )
Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms .....	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> ( 756 )
Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls .....	HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> ( 765 )
Impact of Salinity on Leachate Treatment and N <sub>2</sub> O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor .....	LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> ( 775 )
Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method .....	DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> ( 782 )

# 《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

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. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. 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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行