

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第6期

Vol.36 No.6

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京北郊春季气溶胶吸湿性分析	徐彬, 张泽锋, 李艳伟, 秦鑫, 缪青, 沈艳 (1911)
南京北郊秋冬季相对湿度及气溶胶理化特性对大气能见度的影响	于兴娜, 马佳, 朱彬, 王红磊, 严殊祺, 夏航 (1919)
南京北郊冬季霾天 PM _{2.5} 水溶性离子的污染特征与消光作用研究	周瑶瑶, 马嫣, 郑军, 崔芬萍, 王荔 (1926)
京津冀冬季大气混合层高度与大气污染的关系	李梦, 唐贵谦, 黄俊, 刘子锐, 安俊琳, 王跃思 (1935)
长江三角洲地区基于喷涂工艺的溶剂源 VOCs 排放特征	莫梓伟, 牛贺, 陆思华, 邵敏, 勾斌 (1944)
贵阳酸雨中溶解态重金属质量浓度及形态分析	朱兆洲, 李军, 王志如 (1952)
北京市火葬场大气污染物排放现状及污染特征	薛亦峰, 闫静, 田贺忠, 熊程程, 李敬东, 吴晓清, 王玮, 朱家昕 (1959)
北京市燃煤锅炉烟气中水溶性离子排放特征	胡月琪, 马召辉, 冯亚君, 王琛, 陈圆圆, 何明 (1966)
燃煤电厂湿烟卤降雨成因分析	欧阳丽华, 庄烨, 刘科伟, 陈振宇, 顾鹏 (1975)
Mn-Ce/分子筛的脱汞特性研究	谭增强, 牛国平, 陈晓文, 安振 (1983)
办公室内颗粒物载带溴系阻燃剂的人体呼吸暴露	李岫雯, 曾辉, 倪宏刚 (1989)
森林生物质燃烧烟尘中的有机碳和元素碳	黄柯, 刘刚, 周丽敏, 李久海, 徐慧, 吴丹, 洪蕾, 陈惠雨, 杨伟宗 (1998)
北京市常见落叶树种叶片滞纳空气颗粒物功能	王兵, 王晓燕, 牛香, 张维康, 汪金松 (2005)
气相中乙酸乙酯光解的光子效率: 波长和催化剂的影响	方雪慧, 赵洁, 舒莉, 高永, 叶招莲 (2010)
长江口邻近海域赤潮水体浮游植物光吸收特性分析	刘洋洋, 沈芳, 李秀珍 (2019)
深圳近岸海域全氟化化合物的污染特征	刘宝林, 张鸿, 谢刘伟, 刘国卿, 王艳萍, 王鑫璇, 李静, 董炜华 (2028)
杭州西湖“香灰土”沉积物轻、重有机质组成特征及其环境意义	李静, 朱广伟, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军 (2038)
小清河表层沉积物重污染区重金属赋存形态及风险评价	黄莹, 李永霞, 高甫威, 徐民民, 孙博, 王宁, 杨健 (2046)
调水型水库藻类对调水氮、磷浓度与水量的响应	万由鹏, 尹魁浩, 彭盛华 (2054)
三峡库区回水区营养盐和叶绿素 a 的时空变化及其相互关系	张磊, 蔚建军, 付莉, 周川, Douglas G. Haffner (2061)
藻华聚集的环境效应: 对漂浮植物水葫芦光合作用的影响	包先明, 顾东祥, 吴婷婷, 石祖良, 刘国锋, 韩士群, 周庆 (2070)
巢湖沉积物有效磷的原位高分辨分析研究	李超, 王丹, 杨金燕, 王燕, 丁士明 (2077)
贵州施秉白云岩喀斯特区水化学和溶解无机碳稳定同位素特征	肖时珍, 蓝家程, 袁道先, 王云, 杨龙, 敖向红 (2085)
长沙地区不同水体稳定同位素特征及其水循环指示意义	李广, 章新平, 张立峰, 王跃峰, 邓晓军, 杨柳, 雷超桂 (2094)
元阳梯田水源区土壤水氢氧同位素特征	张小娟, 宋维峰, 吴锦奎, 王卓娟 (2102)
植草沟控制道路径流污染效果的现场实验研究	黄俊杰, 沈庆然, 李田 (2109)
Fe/Cu 催化还原降解饮用水中溴氯乙腈的性能研究	丁春生, 马海龙, 傅洋平, 赵世督, 李东兵 (2116)
三维花状结构 α-FeOOH 协同 H ₂ O ₂ 可见光催化降解双氯芬酸钠	许俊鸽, 李云琴, 黄华山, 苑宝玲, 崔浩杰, 付明来 (2122)
UV/H ₂ O ₂ 降解羟苯甲酮反应动力学及影响因素	冯欣欣, 杜尔登, 郭迎庆, 李华杰, 刘翔, 周方 (2129)
钼掺杂 TiO ₂ 光催化降解全氟辛酸	刘晴, 喻泽斌, 张睿涵, 李明洁, 陈颖, 王莉, 匡瑜, 张搏, 朱有慧 (2138)
低频无极灯降解偶氮染料酸性橙 7	吴朋, 吴军, 高士祥, 孙成, 蒋正方 (2147)
纳米 Fe ₃ O ₄ /CeO ₂ -H ₂ O ₂ 非均相类 Fenton 体系对 3,4-二氯三氟甲苯的降解	孙正男, 杨琦, 纪冬丽, 郑琳 (2154)
流变相法制备包覆型 CMC-Fe ⁰ 及降解水中 TCE 的研究	樊文井, 成岳, 余淑贞, 范小丰 (2161)
Pd-Fe/石墨烯多功能催化阴极降解 4-氯酚机制研究	祁文智, 王凡, 王辉, 施钦, 逢磊, 卞兆勇 (2168)
锰氧化物改性硅藻土对苯胺的去除动力学与机制	肖少丹, 刘露, 姜理英, 陈建孟 (2175)
铅-十六烷基三甲基氯化铵改性活性炭对水中硝酸盐和磷酸盐的吸附特性	郑雯婧, 林建伟, 詹艳慧, 王虹 (2185)
聚(丙烯酸酰胺-二乙烯基苯)对水溶液中刚果红的吸附	张变变, 廖运文, 高和军, 王忠志, 帅超 (2195)
大型再生水厂不同污水处理工艺的能耗比较与节能途径	杨敏, 李亚明, 魏源送, 吕鑑, 郁达伟, 刘吉宝, 樊耀波 (2203)
污泥水热液化水相产物中氮元素变化规律的研究	孙衍卿, 孙震, 张景来 (2210)
不同接种污泥 ABR 厌氧氨氧化的启动特征	张海芹, 王翻翻, 李月寒, 陈重军, 沈耀良 (2216)
基于微波-过氧化氢-碱预处理的污泥水解影响因素	贾瑞来, 魏源送, 刘吉宝 (2222)
蠡河底泥中反硝化复合菌群富集及菌群结构研究	雍佳君, 成小英 (2232)
不同类型及不同浓度抗生素条件下活性污泥丝状菌种群多样性分析	王润芳, 王琴, 张红, 齐嵘 (2239)
石油降解菌的分离鉴定及 4 株芽胞杆菌种间效应	王佳楠, 石妍云, 郑力燕, 王喆, 蔡章, 刘杰 (2245)
Sheewanella oneidensis MR-1 对针铁矿的还原与汞的生物甲基化	司友斌, 孙林, 王卉 (2252)
根表铁氧化物胶膜对水稻吸收诺氟沙星的影响	马微, 鲍艳宇 (2259)
不同耕作措施对旱作夏玉米田土壤呼吸及根呼吸的影响	禄兴丽, 廖允成 (2266)
城市区域近地表灰尘及重金属沉降垂向季节变化	李晓燕, 张舒婷 (2274)
中山市农业区域土壤-农产品中邻苯二甲酸酯 (PAEs) 污染特征	李彬, 吴山, 梁金明, 梁文立, 陈桂贤, 李拥军, 杨国义 (2283)
经口摄入土壤多溴联苯醚生物可给性变化及影响因素的体外消化模拟	张云惠, 刘伟健, 程芳芳, 熊冠男, 杨笑寒, 王歆, 陶澍, 邢宝山, 刘文新 (2292)
生物炭输入对土壤本底有机碳矿化的影响	陈威, 胡学玉, 陆海楠 (2300)
改良剂对广西环江强酸铅锌污染土壤的修复作用	曾伟铨, 宋波, 袁立竹, 黄宇妃, 伏凤艳 (2306)
蒙脱石-OR-SH 复合体材料对土壤镉的钝化及机制	曾燕君, 周志军, 赵秋香 (2314)
焦岗湖湿地土地利用格局演变及区域可持续性评价	杨阳, 蔡怡敏, 白艳莹, 陈卫平, 杨秀超 (2320)

巢湖沉积物有效磷的原位高分辨分析研究

李超¹, 王丹², 杨金燕^{1*}, 王燕², 丁士明²

(1. 四川大学建筑与环境学院, 成都 610065; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要: 将两种原位被动采样技术——高分辨平衡式间隙水 (HR-Peeper) 与氧化锆薄膜梯度扩散技术 (Zr-oxide DGT) 相结合, 分别对巢湖西半湖 7 个点位溶解态反应性磷 (c_{PW}) 和有效磷 (c_{DGT}) 进行原位测定分析, c_{PW} 和 c_{DGT} 在大部分沉积物剖面的分布相似或局部相似, 说明不同深度沉积物固相有效磷组分对间隙水 SRP 的缓冲能力较接近。利用界面扩散通量和 c_{DGT}/c_{PW} 比值 (R) 表征沉积物磷的活性, 从巢湖湖心向南淝河入湖口方向, 界面以下 6 mm 的 c_{PW} 、 c_{DGT} 和扩散通量的变化基本一致, 均呈递增趋势, 表明沉积物磷的污染水平在增加; R 值变化较小, 说明沉积物界面处的缓冲能力差异不明显。

关键词: 被动采样; 巢湖; 薄膜扩散梯度 (DGT) 技术; 有效性; 磷

中图分类号: X524; X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)06-2077-08 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.06.022

In Situ High-Resolution Analysis of Labile Phosphorus in Sediments of Lake Chaohu

LI Chao¹, WANG Dan², YANG Jin-yan^{1*}, WANG Yan², DING Shi-ming²

(1. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: High-resolution pore water equilibrators (HR-Peeper) and diffusive gradients in the thin films (DGT) technologies were combined to *in situ* measure soluble reactive phosphorus (c_{PW}) and labile phosphorus (c_{DGT}) on seven sites in the west of Lake Chaohu. Vertical distributions of c_{PW} and c_{DGT} in most sediment profiles were similar to a different extent, demonstrating that the buffer capacity of the sediment solids to pore water SRP was similar at different depths. The diffusion flux across the sediment-water interface (SWI) and the ratio of c_{DGT}/c_{PW} (R) were used to characterize phosphorus activity in sediments. From the center of the lake to the estuary of Nanfei River, the values of c_{PW} and c_{DGT} within the 6 mm layer were below the SWI and the SWI diffusion flux gradually increased, reflecting an increase in pollution level of sediment phosphorus. The change of R values was unobvious, indicating that the buffering capacity of the interface sediment had no significant difference.

Key words: passive sampling; Lake Chaohu; diffusive gradients in thin films (DGT); availability; phosphorus

目前,我国五大淡水湖,除洞庭湖处于中营养水平,其余四大淡水湖在整体上都处于富营养化水平,水环境质量不容乐观^[1]。湖泊富营养化将导致水体中有机质增加,病原菌孳生,并产生有害的藻毒素和次生生态灾害,危及饮用水的安全^[2];大量藻类残体降解,会造成水体缺氧,水质恶化,鱼类及其他生物大量死亡^[3]。巢湖作为我国第五大淡水湖泊,近年来富营养化一直处于较高水平,沉积物磷污染可能是重要起因。

当前对湖泊沉积物磷的研究,绝大多数采用传统的主动采样方式,或依托其他常规的技术手段,如离心法、压榨法、化学提取法等^[4]。该类方法直接从水底采集沉积物样品,供各种分析需要,其既非原位又非被动性的缺陷,易导致样品脱离沉积环境后发生变化,得到的结果偏离实际,给研究结果带来很大的不确定性。此外,主动采样技术获取信息的分辨率低 (cm 级),难以做到快速分析测定。原位被动采样技术可以在不破坏沉积环境的前提下,以目标

物的自由扩散为基本原理,收集样品信息,包括平衡式间隙水采样技术 (pore water equilibrators, Peeper)^[5],薄膜扩散平衡技术 (diffusive equilibrium in thin films, DET)^[6]、薄膜扩散梯度技术 (diffusive gradients in thin films, DGT)^[7],在研究间隙水和沉积物物化特性方面得到了广泛的应用^[8~15]。

本研究将两种新型原位被动采样技术——高分辨 Peeper (HR-Peeper) 和氧化锆 DGT (Zr-oxide DGT) 相结合,快速、同步、高分辨获取了巢湖沉积物间隙水溶解态磷 (c_{PW}) 和有效磷 (c_{DGT}) 的分布信息。Peeper 技术可以准确估算溶解态磷在沉积物-水界面的扩散通量, DGT 技术则能够原位、快速、高分辨获取高移动性磷组分的分布信息,包括间隙

收稿日期: 2014-11-06; 修订日期: 2015-02-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21177134, 41001334); 江苏省产学研前瞻性联合研究项目 (BY2011165)

作者简介: 李超 (1989~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湖泊界面化学, E-mail: li.xiao.chao@163.com

* 通讯联系人, E-mail: yangyang@scu.edu.cn

水溶解态磷和从沉积物固相中解吸下来的磷。将 c_{PW} 和 c_{DGT} 进行比较,可以反映沉积物固相对间隙水 c_{PW} 的缓冲能力,通过界面扩散通量和沉积物固相缓冲能力两个指标,能够较准确地表征沉积物磷的活性^[13]。

本研究主要对巢湖沉积物有效磷进行了测定分析,通过快速、高分辨间隙水磷获取技术,结合 DGT 技术,准确获取了巢湖西半湖沉积物有效磷的信息,以期对评价沉积物磷污染水平、探讨内源污染发生机制提供重要信息。

1 材料与方法

1.1 技术原理

高分辨平衡式间隙水技术(HR-Peeper)基于内外膜渗透平衡原理,采用滤膜将装有采样介质(如去离子水或电解质溶液)的小室与沉积物、水隔开,利用滤膜的特性,使沉积物孔隙水中一些可溶离子和分子通过滤膜与 Peeper 装置中的采样介质进行物质交换,放置一段时间后达到平衡^[16]。

DGT 技术以 Fick's 第一扩散定律为理论基础,其结合相可以迅速结合水凝胶和结合相界面间的被监测物质,从而在水凝胶和外部水体间形成一个稳定的浓度梯度,假设放置时间内梯度保持不变,那么溶液中特定离子浓度可由扩散定律转化公式计算出^[7]。DGT 对通过扩散相的物质形态具有选择性,它只能测量那些能够通过扩散层并被结合相累积的可溶性形态,即 DGT 有效态。

1.2 主要的仪器和试剂

仪器:高分辨 Peeper、DGT 投放装置、沉积物柱状采样器(中国科学院地理与湖泊研究所自制)、多参数水质分析仪(YSI 6600V2-2)、烘箱(上海科盈环保设备有限公司,型号:JM881-5)、马弗炉(洛阳力宇窑炉有限公司,型号:JNL-14G)、pH 计(上海三信仪表厂,型号:PHS-3C 型)、酶标仪(Bio-Tek, USA)、离心机(Bekeman cetrifuger, USA)、恒温振荡器(MSK, 合肥艾本森科学仪器有限公司)、微量移液排枪(Eppendorf 公司)。

试剂:Cross-linker 交联剂(DGT 有限公司,英国)、氧氯化锆(国药集团化学试剂有限公司)、丙烯酰胺(Biosharp, 美国)、四甲基乙二胺(TEMED, Biosharp, 美国)、甲叉双丙烯酰胺(Biosharp, 美国)、过硫酸铵(APS, Biosharp, 美国)、磷酸二氢钠(NaH_2PO_4)、六水合硫酸铁(II)铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 、上海市四赫维化工有限公司、钼锑

抗显色剂(国标自制)、邻菲罗啉(温州市化学用料厂)、高纯氮(南京 55 所)、过硫酸钾(国药集团化学试剂有限公司)等。

1.3 采样及装置投放

2013 年 8 月从巢湖忠庙附近往南淝河方向设置 7 个采样点(图 1),现场投放 Peeper 和 DGT 背靠背装置于沉积物中,用多参数水质分析仪现场测定常规水质指标(表 1),采集柱状沉积物样品若干,部分按厘米分层收集各深度沉积物样品。

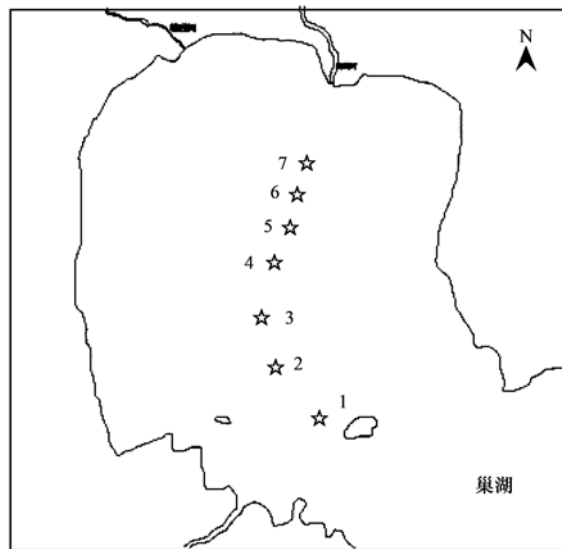


图 1 巢湖采样点的布设示意

Fig. 1 Map of sampling sits in the Chaohu Lake

HR-Peeper 装置主要由手柄、主体部分和边框组成,主体部分用于排列采样格室,边框用来将渗透膜固定在采样格室表面,采样格室由凹下去的孔洞组成。单个采样格室的尺寸为 20 mm(长)×1 mm(宽)×1 mm(高),容积为 20 μL ,相邻采样格室间隔 1.0 mm,因而分辨率可达 2.0 mm^[17]。DGT 装置由滤膜、扩散膜、固定膜及固定这三层膜的塑料外套组成,本研究采用锆膜(Zr-oxide)为固定膜,该固定膜具有容量高、有效期长的优点。Zr-oxide DGT 材料和装置的准备参考 Ding 等^[18]的实验方法。将组装好的微型 Peeper 和 DGT 装置背靠背组合在一起,放在水中充氮去氧 16 h,密封放入无氧水中,运到现场后,利用自行设计的投放器将组合装置投放到水底。平衡 48 h 后,取出组合装置,立即用半湿滤纸将微型 Peeper 和 DGT 表面的沉积物擦除,Peeper 取下冷冻保存。

1.4 HR-Peeper 和 DGT 样品分析测定

微型 Peeper 样品的测定参照 Xu 等^[17]的操作进行,装置解冻后利用 384 孔微量比色法进行溶解

态反应性磷 (SRP) 的测定. DGT 样品的测定参照 个长条加入 0.4 mL 1.0 mol·L⁻¹ 的 NaOH 提取 24 h. 提取液磷采用 96 孔微量比色法测定.

Ding 等^[18]的方法,取出固定膜后,按 1 mm 切片,每

表 1 采样点上覆水常规水质指标

Table 1 General physicochemical properties in overlying waters

采样点编号	电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	盐度/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	TDS/ $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	溶解氧/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	氧化还原电位/mV	pH
1	286	0.13	0.186	8.13	189.9	9.34
2	310	0.15	0.201	7.44	189.6	9.01
3	316	0.15	0.205	7.57	211.3	9.26
4	314	0.15	0.204	7.48	178.5	9.41
5	305	0.14	0.199	7.95	168.3	9.56
6	300	0.14	0.195	8.01	193.9	9.64
7	286	0.13	0.186	7.05	190.1	9.58

1.5 沉积物理化特征分析

沉积物含水率和烧失量 (LOI) 测定,均采用常规方法分析^[19]. 沉积物总磷采用 LiBO₂ 消解,钼蓝比色法测定. 活性磷分别采用水、0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ (pH 8.5) 和 0.1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液进行提取,分别得到水溶性磷 (WSP)、Olsen 磷和藻类可利用磷 AAP^[20].

1.6 数据处理

(1) 界面磷交换通量

利用 c_{PW} 在界面附近的扩散梯度,计算获得界面磷的扩散通量. 公式如下:

$$J = -\varphi D_s \left(\frac{\delta c}{\delta x} \right)_{(x=0)} \tag{1}$$

式中, J 为磷酸盐释放通量 [$\text{mmol}\cdot(\text{m}\cdot\text{d})^{-1}$], φ 为孔隙度 (%), D_s 为沉积物的扩散系数 ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$), δc 为水土磷酸盐浓度之差, $(\delta c/\delta x)$ 为水土界面的浓度梯度, $x=0$ 为单位距离磷酸盐的浓度梯度变化. J 值为正值表明磷酸盐由沉积物向上覆水释放,反之则表明上覆水磷酸盐被沉积物吸附. 采用界面以下 6 mm、界面以上 2 mm 的范围进行直线拟合,所有剖面拟合结果均达到显著性水平.

(2) c_{DGT} 浓度根据以下公式进行

$$c_{\text{DGT}} = \frac{M\Delta g}{D_g A t} \tag{2}$$

式中, M 为固定膜上 SRP 的积累量 ($\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}$), Δg 为扩散层厚度, D_g 为磷酸根在扩散膜中的扩散速率 ($\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$), A 为 DGT 开口面积 (cm^2), t 为扩散时间 (s), c_{DGT} 是放置时间内通过 DGT 扩散得到的平均浓度 ($\text{mol}\cdot\text{cm}^{-3}$)^[21]. 其中 M 用下式求得:

$$M = \frac{c_e \cdot (V_e + V_g)}{f_e} \tag{3}$$

式中, c_e 是测定得到的提取液中 SRP 浓度, V_g 和 V_e 分别是固定膜和提取剂体积, f_e 是提取率^[22].

(3) 沉积物缓冲性判别

通过 $c_{\text{DGT}}/c_{\text{PW}}$ 比值 R ,可以反映沉积物的缓冲能力,有 3 种情况:①完全缓冲:扩散进入 DGT 的 SRP 立即得到沉积物固相结合 SRP 的补充,即固相对间隙水 SRP 有足够的缓冲能力,此时 $c_{\text{DGT}} = c_{\text{PW}}$, $R = 1$; ②无缓冲:沉积物固相对间隙水 SRP 没有缓冲,扩散进入 DGT 的 SRP 仅来自间隙水,此时 $c_{\text{DGT}} \ll c_{\text{PW}}$, $R < 0.1$; ③部分缓冲:沉积物固相中有部分 SRP 向沉积物间隙水中进行补充,但缓冲能力不足以维持间隙水 SRP 向 DGT 的扩散,此时 $0.1 < R < 0.9$.

2 结果与讨论

2.1 水体基本性状

巢湖水体基本性状如表 1 所示,7 个采样点的电导率、盐度、总悬浮颗粒物由湖心向南淝河方向呈增大趋势,可能与南淝河排污量占巢湖 80% 以上有关^[23]. 5~7 号点呈现小幅度增加,可能是河口输入水流与湖区大水体相互冲击的水动力因素造成的. pH 值均高于普通地表水,这与蓝藻的光合作用有关,巢湖以东南风向为主,有利于西部汇流湾区聚集蓝藻,在 6 号点附近具备有利的水力条件,更容易形成蓝藻聚集,蓝藻光合作用大量消耗水体中的 CO₂,使得该点附近 pH 值最高. 水体溶解氧在湖区则基本持平,6~7 号点稍有降低. 可能与南淝河大量含有机污染物的水体排入、消耗水体氧气有关. 氧化还原电位变化不大,说明水体含有大量的氧化和还原性物质,对溶解氧的降低有比较强的缓冲能力.

2.2 沉积物基本理化性质

将现场按 cm 分层的沉积物测其含水率如图 2 (a) 所示,所有剖面的含水率从表层向下逐渐降低,遵循自然沉降的一般规律. 取剖面含水率的平均

值,获得含水率在不同采样点上分布的变化[图 2 (b)],靠近南淝河方向沉积物的含水量比湖区其他点的沉积物低,行船造成的水流冲击可能对压实沉积物起到一定的作用.

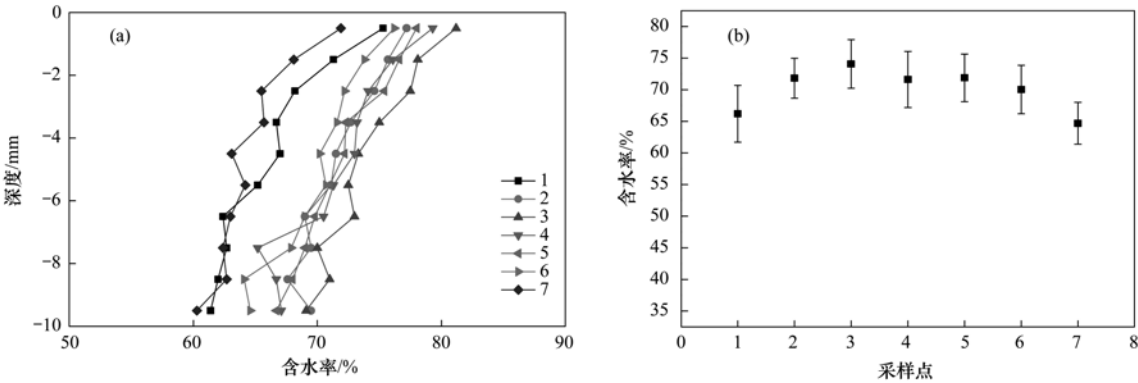


图 2 沉积物含水率
Fig. 2 Water content of selected sediments

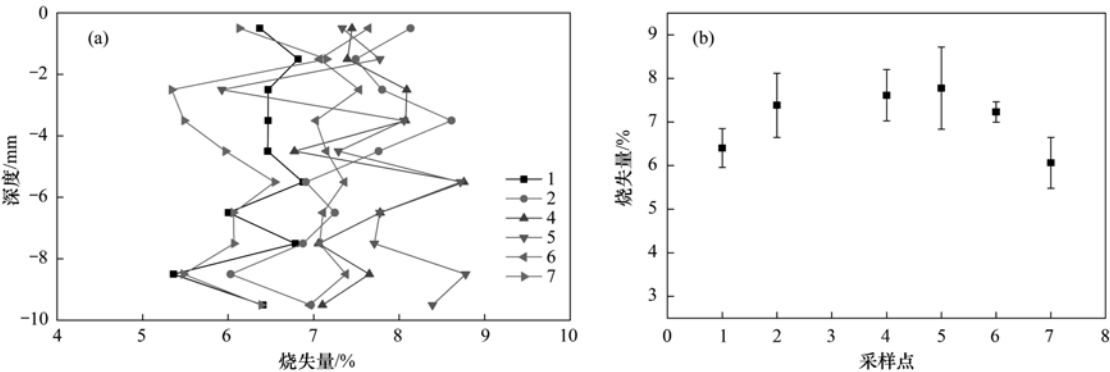


图 3 沉积物烧失量
Fig. 3 Loss on ignition of selected sediments

表层沉积物 pH 在不同沉积物之间的变化也缺乏规律(图 4). 总体而言,南淝河输入对上述 3 个指标的影响并不明显,但河口底泥疏浚会造成指标

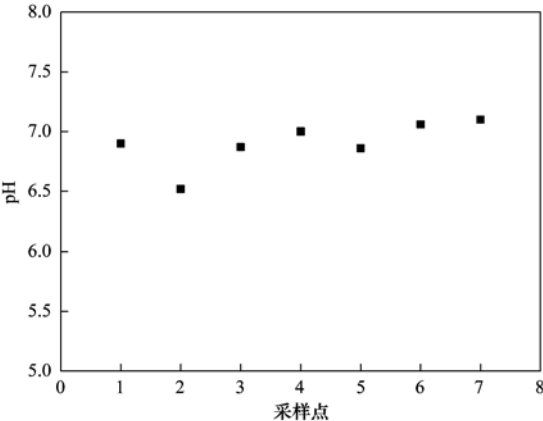


图 4 沉积物 pH
Fig. 4 The pH values of selected sediments

烧失量(LOI)反映了沉积物中有机质含量的高低. 如图 3(a)所示,所有沉积物 LOI 在垂向上的变化并不明显. 将各剖面的 LOI 取平均值后[图 3(b)],发现 6 和 7 号点 LOI 稍有降低,可能与疏浚有关.

的明显变化.
2.3 沉积物总磷和活性磷含量分析
沉积物总磷含量分布如图 5 所示. 湖区沉积物剖面总磷含量在垂向上没有明显变化,含量从 400

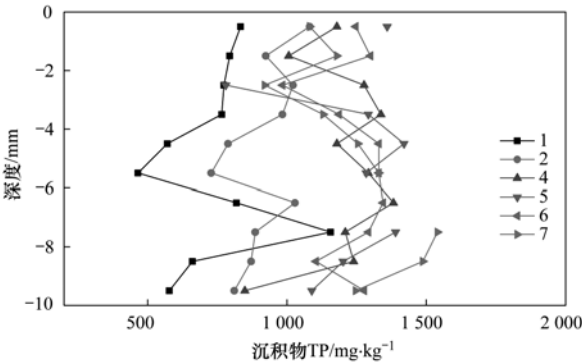


图 5 巢湖采样点沉积物总磷垂直分布
Fig. 5 Vertical distribution of TP in sediments of Lake Chaohu

$\sim 1\,300\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间变化. 该值与王绪伟等^[24]、温胜芳等^[25]报道的巢湖表层沉积物总磷含量基本一致,高于太湖^[26]. 剖面总磷含量的均值从南淝河向湖心有明显的递减趋势,说明南淝河的输入对西半湖沉积物磷积累有巨大的影响. 7号点偏离趋势,主要由疏浚造成.

利用去离子水(WSP)、 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaHCO}_3$ (pH 8.5)(Olsen-P)和 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ NaOH}$ 溶液提取的沉积物磷组分(AAP),被认为是活性磷和生物有效磷,该方法被研究者广泛采用,用于评价沉积物磷的生物有效性^[27,28]. 本研究,3种形态活性磷的含量顺序为 $\text{WSP} < \text{Olsen-P} < \text{AAP}$,其均值分别为 0.42 、 106.6 和 $680.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别占总磷的 0.03% 、 7.5% 和 48.6% . 在垂向分布上,除WSP在表层向下有降低趋势外,其他两种形态磷的变化趋势不明显. 将剖面取均值后,3种活性磷在空间上的分布均较为类似,从湖心向南淝河方向呈现明显的递增趋势,与总磷的变化趋势类似,进一步说明南淝河外源输入控制西半湖沉积物活性磷的含量.

2.4 沉积物 c_{PW} 和 c_{DGT} 分布特征

现场投放背靠背装置(HR-Peeper和DGT),最

终获得巢湖7个点位沉积物剖面活性磷的空间分布特征. c_{PW} 和 c_{DGT} 的分布见图6,其主要特征如下.

(1) c_{PW} 和 c_{DGT} 在剖面1、5、6、7中分布相似. 发生这种情况有两种可能:一是间隙水浓度高,扩散进入DGT的主要是间隙水SRP;二是不同深度沉积物对间隙水SRP的缓冲能力相近. 由于在上述7个采样点中,仅有7号样点的 c_{PW} 较高,因此第二种可能性更大.

(2) c_{PW} 和 c_{DGT} 在剖面2、3、4中分布局部相似,有3种可能,一是不同深度沉积物存在不同的缓冲能力,二是现场投放中组合装置插入沉积物存在空间错位,三是插入组合装置时,装置表面和沉积物没有贴近,导致上覆水进入沉积下层,造成 c_{PW} 在局部的异常. 2、3的 R 值在界面下迅速升高,因而发生上覆水体泄漏的可能性比较大.

(3) c_{PW} 和 c_{DGT} 在局部深度存在突起点,说明沉积物具有很强的空间异质性. 这些突起点可能是微生物点(microniches),由局部有机质的强烈降解或硫酸铁的还原造成^[29]. 生物扰动也会造成沉积物空间异质性的增加^[30].

由于界面以下6 mm(含6 mm)用于计算扩散

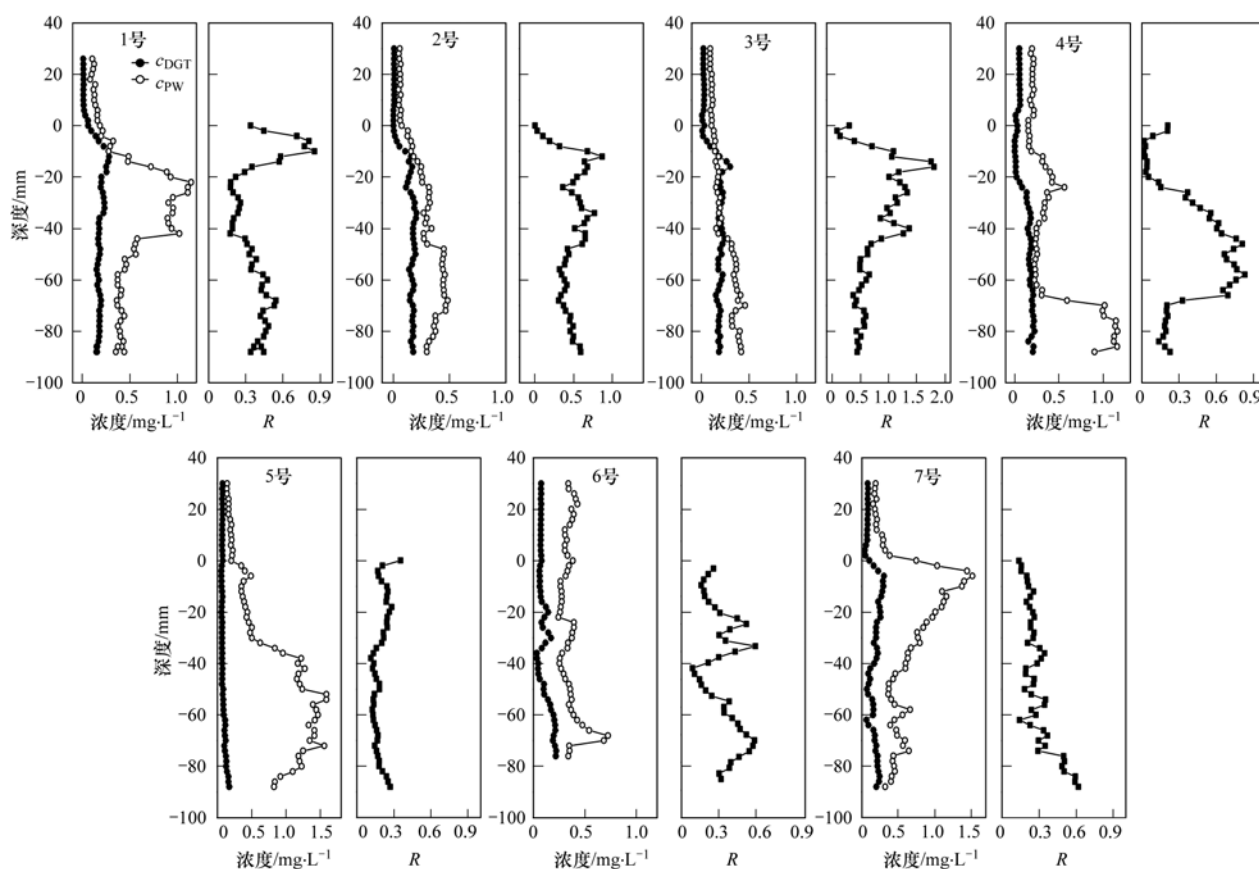


图6 沉积物剖面 c_{PW} 和 c_{DGT} 及 R 值分布

Fig. 6 Vertical distribution of c_{PW} , c_{DGT} and R values in sediment profiles

通量,将该区域的 c_{PW} 和 c_{DGT} 进行了平均,考察在不同空间位点的变化. 从图 7 可看出,除 1 号点外,从湖心往南淝河河口方向, c_{PW} 和 c_{DGT} 均呈上升趋势.

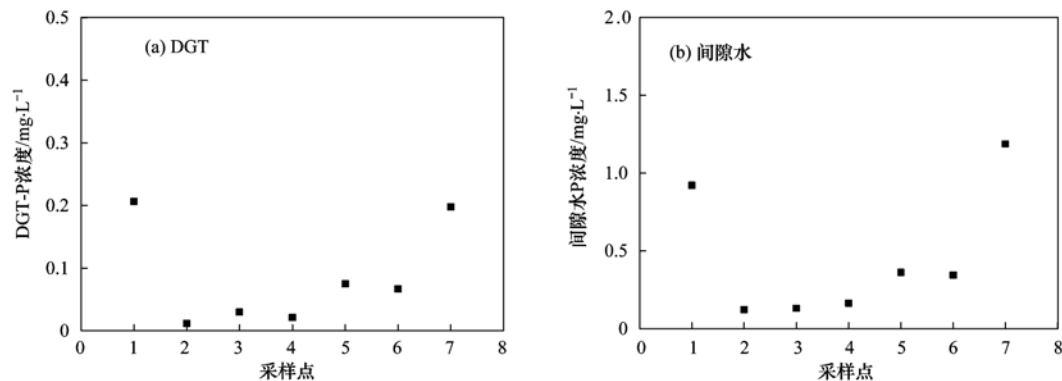


图 7 各点位界面以下 6 mm 间隙水及 DGT 磷浓度变化

Fig. 7 Concentration of pore water phosphorus and DGT-labile phosphorus in sediment layers at 6 mm below the SWI

2.5 沉积物-水界面磷的交换通量

通过 Fick 定律计算出不同点位 SRP 在界面的交换通量,都处于正值,其通量的变化范围为 $0.008 \sim 0.532 \mu\text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 平均值为 $0.146 \mu\text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$, 其中通量最大值和最小值分别出现在 7 号点与 4 号点(图 8), 说明巢湖沉积物向水体释放磷, 是水体磷的一个重要来源. 本研究对湖区测得的通量数值范围高于夏守先等^[31]室内模拟的结果, 可能是采样靠近南淝河造成. 1 号点的交换通量在 $0.27 \mu\text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 左右, 稍微高于湖区其他点. 湖区 2~6 号点变化比较稳定, 说明湖区沉积物的活性磷向间隙水释放后向上覆水的扩散较为平缓. 7 号点接近河道口, 交换量增大.

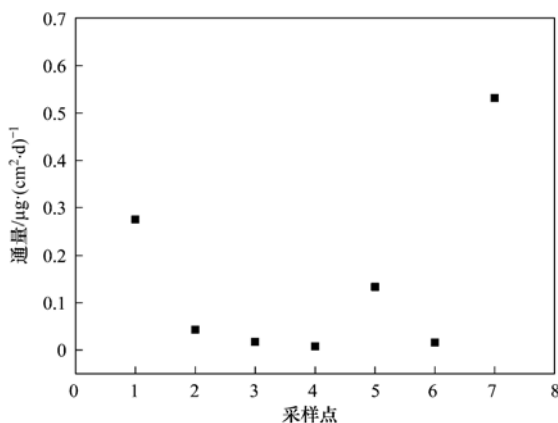


图 8 沉积物界面磷的交换通量

Fig. 8 Exchange flux of P across the SWI

2.6 沉积物磷的缓冲性能分析

R 值反映了沉积物对间隙水磷的缓冲能力(图 6). R 值在 1、2、3、5 剖面界面以下 10~20 mm 位

势. 由于 c_{DGT} 是活性磷或可迁移态磷, c_{DGT} 的递增说明南淝河输入在很大程度上控制西半湖沉积物磷的活性.

置出现峰值. 类似现象在太湖沉积物中也有发现, 分析可能与沉积物氧化还原环境的变化有关^[10]. R 值峰值处对应的 c_{DGT} 也相应最大, 此处沉积物的活性磷及缓冲能力均较强, 沉积物更容易向间隙水释放磷, 可以起到调节上覆水中磷向沉积物迁移速率的作用. R 值在 5、7 号点的垂向变化较为平缓, 说明不同深度沉积物的缓冲能力接近. 大部分 R 值在 0.2~0.6 范围内变化, 说明沉积物属于部分缓冲类型. 少量剖面的 R 值接近于 1, 可能与插入组合装置产生空间错位有关. 将界面以下 6 mm 区域的 R 进行平均, 考察 R 值在不同空间位点的变化. 从图 9 可看出, 从湖心到南淝河方向, R 值趋势不明显, 由于沉积物基本理化性质差异也不大, 沉积物在界面附近的缓冲能力基本相同, 同一湖区沉积物界面的缓冲能力比较接近.

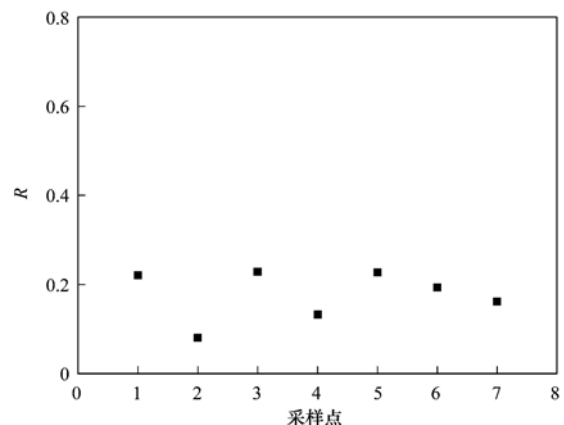


图 9 各点位界面附近 R 值变化

Fig. 9 Changes of R near the surface sediments

3 结论

将微型 Peeper 和 DGT 结合,原位获取巢湖西半湖 7 个点位的表层沉积物间隙水 SRP 和 c_{DGT} 剖面图, c_{PW} 和 c_{DGT} 在大部分沉积物剖面的分布相似或局部相似,说明不同深度沉积物对间隙水 SRP 的缓冲能力较接近。界面以下 6 mm 的 c_{PW} 、 c_{DGT} 和扩散通量的均值均在河口位点达到高值,从湖心向南淝河方向递增,表明沉积物磷污染水平呈增加趋势,反映了南淝河外源输入的影响。沉积物理化性质差异不大, R 值没有明显趋势,说明沉积物界面处的缓冲能力差异不明显。将微型 Peeper 和 DGT 结合,可较好地表征沉积物磷的活性。本研究为评价沉积物磷污染水平、探讨内源污染发生机制提供了重要信息,为准备评价该区域沉积物磷污染状况、制定防治对策提供了一定的科学依据。

参考文献:

- [1] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. 湖泊科学, 2010, **22**(6): 799-810.
- [2] Guo L. Doing battle with the green monster of Taihu Lake[J]. Science, 2007, **317**(5842): 1166.
- [3] 王玲玲, 沈熠. 水体富营养化的形成机理、危害及其防治对策探讨[J]. 环境研究与监测, 2008, **20**(4): 33-35.
- [4] 刘素美, 张经. 沉积物间隙水的几种制备方法[J]. 海洋环境科学, 1999, **18**(2): 66-71.
- [5] Hesslein R H. An in situ sampler for close interval pore water studies[J]. Limnology and Oceanography, 1976, **21**(6): 912-914.
- [6] Davison W, Grime G W, Morgan J A W, *et al.* Distribution of dissolved iron in sediment pore waters at submillimetre resolution[J]. Nature, 1991, **352**(6333): 323-325.
- [7] Davlson W, Zhang H. In-situ speciation measurements of trace components in natural waters using thin film gels[J]. Nature, 1994, **367**(6463): 546-548.
- [8] 王建军, 范成新, 张路, 等. 太湖底泥间隙水中金属离子分布特征及相关性[J]. 中国环境科学, 2004, **24**(1): 120-124.
- [9] Jarvie H P, Mortimer R J G, Palmer-Felgate E J, *et al.* Measurement of soluble reactive phosphorus concentration profiles and fluxes in river-bed sediments using DET gel probes[J]. Journal of Hydrology, 2008, **350**(3-4): 261-273.
- [10] Ding S M, Sun Q, Xu D. Development of the DET technique for high-resolution determination of soluble reactive phosphate profiles in sediment pore waters[J]. International Journal of Environmental and Analytical Chemistry, 2010, **90**(14-15): 1130-1138.
- [11] 范英宏, 林春野, 何孟常, 等. 大辽河水系表层沉积物中重金属的迁移特征及生物有效性研究[J]. 环境科学, 2008, **29**(12): 3469-3476.
- [12] Leermakers M, Gao Y, Gabelle C, *et al.* Determination of high resolution pore water profiles of trace metals in sediments of the Rupel River (Belgium) using DET (diffusive equilibrium in thin films) and DGT (diffusive gradients in thin films) techniques[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2005, **166**(1-4): 265-286.
- [13] Monbet P, McKelvie I D, Worsfold P J. Combined gel probes for the in situ determination of dissolved reactive phosphorus in porewaters and characterization of sediment reactivity[J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42**(14): 5112-5117.
- [14] 李斌, 贾飞, 张银龙, 等. 沉积物间隙水溶解态磷和铁(II)高分辨同步分析方法的研究[J]. 生态环境学报, 2011, **20**(3): 485-489.
- [15] 时丹. 沉积物间隙水磷的高分辨被动采样技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [16] Teasdale P R, Batley G E, Apte S C, *et al.* Pore water sampling with sediment peepers[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 1995, **14**(6): 250-256.
- [17] Xu D, Wu W, Ding S M, *et al.* A high-resolution dialysis technique for rapid determination of dissolved reactive phosphate and ferrous iron in pore water of sediments[J]. Science of the Total Environment, 2012, **421-422**(4): 245-252.
- [18] Ding S M, Xu D, Sun Q, *et al.* Measurement of dissolved reactive phosphorus using the diffusive gradients in thin films technique with a high-capacity binding phase[J]. Environmental Science & Technology, 2010, **44**(21): 8169-8174.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [20] Zhou Q X, Gibson C E, Zhu Y M. Evaluation of phosphorus bioavailability in sediments of three contrasting lakes in China and the UK[J]. Chemosphere, 2001, **42**(2): 221-225.
- [21] 罗军, 王晓蓉, 张昊. 梯度扩散薄膜技术(DGT)的理论及其在环境中的应用 I: 工作原理、特性与在土壤中的应用[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(2): 205-213.
- [22] Zhang H, Davison W. Performance characteristics of diffusion gradients in thin films for the in situ measurement of trace metals in aqueous solution[J]. Analytical Chemistry, 1995, **67**(19): 3391-3400.
- [23] 张龙, 叶少有. 南淝河生态治理对策研究[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2008, **8**(2): 7-9.
- [24] 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.
- [25] 温胜芳, 单保庆, 张洪. 巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(7): 2322-2329.
- [26] Trolle D, Zhu G W, Hamilton D, *et al.* The influence of water quality and sediment geochemistry on the horizontal and vertical distribution of phosphorus and nitrogen in sediments of a large, shallow lake[J]. Hydrobiologia, 2009, **627**(1): 31-44.
- [27] Wang S R, Jin X C, Bu Q Y, *et al.* Evaluation of phosphorus bioavailability in sediments of the shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River region, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2010, **60**(7): 1491-1498.

- [28] 徐望龙, 王晓蓉, 鲜放鸣, 等. 不同方法测定沉积物中生物可利用性磷对铜绿微囊藻生长量的影响[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(9): 1486-1491.
- [29] Stockdale A, Davison W, Zhang H. Micro-scale biogeochemical heterogeneity in sediments: a review of available technology and observed evidence[J]. Earth-Science Reviews, 2009, **92**(1): 81-97.
- [30] Robertson D, Teasdale P R, Welsh D T. A novel gel-based technique for the high resolution, two-dimensional determination of iron (II) and sulfide in sediment [J]. Limnology and Oceanography: Methods, 2008, **6**(10): 502-512.
- [31] 夏守先, 高亮, 张广萍, 等. 巢湖沉积物-水界面磷酸盐释放通量研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(2): 322-327.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明.

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为. 自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊.

2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊.

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动.

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任. 我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合.

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部

CONTENTS

Hygroscopic Properties of Aerosol Particles in North Suburb of Nanjing in Spring	XU Bin, ZHANG Ze-feng, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (1911)
Effects of Relative Humidity and Aerosol Physicochemical Properties on Atmospheric Visibility in Northern Suburb of Nanjing	YU Xing-na, MA Jia, ZHU Bin, <i>et al.</i> (1919)
Pollution Characteristics and Light Extinction Effects of Water-soluble Ions in PM _{2.5} During Winter Hazy Days at North Suburban Nanjing ...	ZHOU Yao-yao, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (1926)
Characteristics of Winter Atmospheric Mixing Layer Height in Beijing-Tianjin-Hebei Region and Their Relationship with the Atmospheric Pollution	LI Meng, TANG Gui-qian, HUANG Jun, <i>et al.</i> (1935)
Process-based Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Paint Industry in the Yangtze River Delta, China	MO Zi-wei, NIU He, LU Si-hua, <i>et al.</i> (1944)
Concentrations and Speciation of Dissolved Heavy Metal in Rainwater in Guiyang, China	ZHU Zhao-zhou, LI Jun, WANG Zhi-ru (1952)
Situation and Characteristics of Air Pollutants Emission from Crematories in Beijing, China	XUE Yi-feng, YAN Jing, TIAN He-zhong, <i>et al.</i> (1959)
Emission Characteristics of Water-Soluble Ions in Fumes of Coal Fired Boilers in Beijing	HU Yue-qi, MA Zhao-hui, FENG Ya-jun, <i>et al.</i> (1966)
Analysis on Mechanism of Rainout Carried by Wet Stack of Thermal Power Plant	OUYANG Li-hua, ZHUANG Ye, LIU Ke-wei, <i>et al.</i> (1975)
Removal Characteristics of Elemental Mercury by Mn-Ce/molecular Sieve	TAN Zeng-qiang, NIU Guo-ping, CHEN Xiao-wen, <i>et al.</i> (1983)
Indoor Exposure to Particle-Bound BFRs via Inhalation	LI Xiu-wen, ZENG Hui, NI Hong-gang (1989)
Organic Carbon and Elemental Carbon in Forest Biomass Burning Smoke	HUANG Ke, LIU Gang, ZHOU Li-min, <i>et al.</i> (1998)
Atmospheric Particle Retaining Function of Common Deciduous Tree Species Leaves in Beijing	WANG Bing, WANG Xiao-yan, NIU Xiang, <i>et al.</i> (2005)
Photonic Efficiency of Ethyl Acetate Photolysis in Gas Phase: Dependence on Wavelength and Catalyst	FANG Xue-hui, ZHAO Jie, SHU Li, <i>et al.</i> (2010)
Phytoplankton Light Absorption Properties During the Blooms in Adjacent Waters of the Changjiang Estuary	LIU Yang-yang, SHEN Fang, LI Xiu-zhen (2019)
Pollution Characteristics of Perfluorinated Compounds in Offshore Marine Area of Shenzhen	LIU Bao-lin, ZHANG Hong, XIE Liu-wei, <i>et al.</i> (2028)
Composition and Environmental Effects of LFOM and HFOM in "Incense-Ash" Sediments of West Lake, Hangzhou, China	LI Jing, ZHU Guang-wei, ZHU Meng-yuan, <i>et al.</i> (2038)
Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments from the Heavily Polluted Area of Xiaoqing River	HUANG Ying, LI Yong-xia, GAO Fu-wei, <i>et al.</i> (2046)
Response of Algae to Nitrogen and Phosphorus Concentration and Quantity of Pumping Water in Pumped Storage Reservoir	WAN You-peng, YIN Kui-hao, PENG Sheng-hua (2054)
Temporal and Spatial Variation of Nutrients and Chlorophyll a, and Their Relationship in Pengxi River Backwater Area, Three Gorges Reservoir	ZHANG Lei, WEI Jian-jun, FU Li, <i>et al.</i> (2061)
Environmental Effects of Algae Bloom Cluster: Impact on the Floating Plant Water Hyacinth Photosynthesis	BAO Xian-ming, GU Dong-xiang, WU Ting-ting, <i>et al.</i> (2070)
<i>In Situ</i> High-Resolution Analysis of Labile Phosphorus in Sediments of Lake Chaohu	LI Chao, WANG Dan, YANG Jin-yan, <i>et al.</i> (2077)
Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon Stable Isotope of Shibing Dolomite Karst Area in Guizhou Province	XIAO Shi-zhen, LAN Jia-cheng, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2085)
Stable Isotope Characteristics in Different Water Bodies in Changsha and Implications for the Water Cycle	LI Guang, ZHANG Xin-ping, ZHANG Li-feng, <i>et al.</i> (2094)
Characteristics of Hydrogen and Oxygen Isotopes of Soil Water in the Water Source Area of Yuanyang Terrace	ZHANG Xiao-juan, SONG Wei-feng, WU Jin-kui, <i>et al.</i> (2102)
Performance of Grass Swales for Controlling Pollution of Roadway Runoff in Field Experiments	HUANG Jun-jie, SHEN Qing-ran, LI Tian (2109)
Performance Study of Bromochloroacetonitrile Degradation in Drinking Water by Fe/Cu Catalytic Reduction	DING Chun-sheng, MA Hai-long, FU Yang-ping, <i>et al.</i> (2116)
Catalytic Degradation of Diclofenac Sodium over the Catalyst of 3D Flower-like α -FeOOH Synergized with H ₂ O ₂ Under Visible Light Irradiation	XU Jun-ge, LI Yun-qin, HUANG Hua-shan, <i>et al.</i> (2122)
Degradation of Organic Sunscreens 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone by UV/H ₂ O ₂ Process: Kinetics and Factors	FENG Xin-xin, DU Er-deng, GUO Ying-qing, <i>et al.</i> (2129)
Photocatalytic Degradation of Perfluorooctanoic Acid by Pd-TiO ₂ Photocatalyst	LIU Qing, YU Ze-bin, ZHANG Rui-han, <i>et al.</i> (2138)
Efficient Photolysis of Acid Orange 7 Using Low-frequency Electrodeless Lamp	WU Peng, WU Jun, GAO Shi-xiang, <i>et al.</i> (2147)
Degradation of 3,4-Dichlorobenzotrifluoride by Fe ₃ O ₄ /CeO ₂ -H ₂ O ₂ Heterogeneous Fenton-Like Systems	SUN Zheng-nan, YANG Qi, JI Dong-li, <i>et al.</i> (2154)
Preparation of Coated CMC-Fe ⁰ Using Rheological Phase Reaction Method and Research on Degradation of TCE in Water	FAN Wen-jing, CHENG Yue, YU Shu-zhen, <i>et al.</i> (2161)
Degradation Mechanism of 4-Chlorophenol on a Pd-Fe/graphene Multifunctional Catalytic Cathode	QI Wen-zhi, WANG Fan, WANG Hui, <i>et al.</i> (2168)
Removal Kinetics and Mechanism of Aniline by Manganese-oxide-modified Diatomite	XIAO Shao-dan, LIU Lu, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (2175)
Adsorption Characteristics of Nitrate and Phosphate from Aqueous Solution on Zirconium-Hexadecyltrimethylammonium Chloride Modified Activated Carbon	ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2185)
Removal Congo Red from Aqueous Solution Using Poly (AM-co-DVB)	ZHANG Luan-luan, LIAO Yun-wen, GAO He-jun, <i>et al.</i> (2195)
Energy Consumption Comparison and Energy Saving Approaches for Different Wastewater Treatment Processes in a Large-scale Reclaimed Water Plant	YANG Min, LI Ya-ming, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (2203)
Transformation Regularity of Nitrogen in Aqueous Product Derived from Hydrothermal Liquefaction of Sewage Sludge in Subcritical Water	SUN Yan-qing, SUN Zhen, ZHANG Jing-lai (2210)
Start-up Performance of ANAMMOX Enrichment with Different Inoculated Sludge in Anaerobic Baffled Reactor	ZHANG Hai-qin, WANG Fan-fan, LI Yue-han, <i>et al.</i> (2216)
Influencing Factors for Hydrolysis of Sewage Sludge Pretreated by Microwave-H ₂ O ₂ -OH Process	JIA Rui-lai, WEI Yuan-song, LIU Ji-bao (2222)
Enrichment and Characterization of a Denitrifying Bacteria Consortium from Lihe River's Sediment	YONG Jia-jun, CHENG Xiao-ying (2232)
Investigation for Filamentous Bacteria Community Diversity in Activated Sludge Under Various Kinds and Concentration Conditions of Antibiotics	WANG Run-fang, WANG Qin, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (2239)
Isolation and Identification of Petroleum Degradation Bacteria and Interspecific Interactions Among Four <i>Bacillus</i> Strains	WANG Jia-nan, SHI Yan-yun, ZHENG Li-yan, <i>et al.</i> (2245)
Effects of Dissimilatory Reduction of Goethite on Mercury Methylation by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1	SI You-bin, SUN Lin, WANG Hui (2252)
Effect of Root Iron Plaque on Norfloxacin Uptake by Rice	MA Wei, BAO Yan-yu (2259)
Effects of Tillage on Soil Respiration and Root Respiration Under Rain-Fed Summer Corn Field	LU Xing-li, LIAO Yun-cheng (2266)
Seasonal Provincial Characteristics of Vertical Distribution of Dust Loadings and Heavy Metals near Surface in City	LI Xiao-yan, ZHANG Shu-ting (2274)
Characteristics of Phthalic Acid Esters in Agricultural Soils and Products in Areas of Zhongshan City, South China	LI Bin, WU Shan, LIANG Jin-ming, <i>et al.</i> (2283)
Variations and Influencing Factors of Oral Bioaccessibility of Polybrominated Diphenyl Ethers in Soils Using an <i>In-vitro</i> Gastrointestinal Model	ZHANG Yun-hui, LIU Wei-jian, CHENG Fang-fang, <i>et al.</i> (2292)
Impacts of Biochar Input on Mineralization of Native Soil Organic Carbon	CHEN Wei, HU Xue-yu, LU Hai-nan (2300)
Effects of Remedies on the Remediation of Typical Pb and Zn-contaminated soil in Huanjiang, Guangxi	ZENG Wei-quan, SONG Bo, YUAN Li-zhu, <i>et al.</i> (2306)
Mechanism Study of the Smectite-OR-SH Compound for Reducing Cadmium Uptake by Plants in Contaminated Soils	ZENG Yan-jun, ZHOU Zhi-jun, ZHAO Qiu-xiang (2314)
Land Use Pattern Change and Regional Sustainability Evaluation of Wetland in Jiaogang Lake	YANG Yang, CAI Yi-min, BAI Yan-ying, <i>et al.</i> (2320)

《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)

2015年6月15日 第36卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 6 Jun. 15, 2015

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