

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第10期

Vol.34 No.10

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京地区大气气溶胶 PM _{2.5} 中稳定碳同位素组成研究	吴梦龙, 郭照冰, 刘凤玲, 孙德玲, 卢霞, 姜文娟 (3727)
太原市空气颗粒物中正构烷烃分布特征及来源解析	胡冬梅, 彭林, 白慧玲, 牟玲, 韩峰, 刘效峰, 冀豪栋, 张鹏九 (3733)
交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究	罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 官兆宁, 熊秋林 (3741)
公交车燃用生物柴油的颗粒物排放特性	楼狄明, 陈峰, 胡志远, 谭丕强, 胡炜 (3749)
兰州及其周边区域大气降水 δ ¹⁸ O 特征及其水汽来源	陈粉丽, 张明军, 马潜, 李小飞, 王圣杰, 李菲 (3755)
天山乌鲁木齐河源 1 号冰川区气溶胶水溶性离子变化特征及来源分析	岳晓英, 李忠勤, 张明军, 周平, 樊晋 (3764)
O ₃ /H ₂ O ₂ 氧化苯乙烯气体性能及机制	何觉聪, 黄倩茹, 叶杞宏, 罗雨薇, 张再利, 樊青娟, 魏在山 (3772)
马尾松针叶组织稳定硫同位素地球化学特征及来源示踪	关晖, 肖化云, 朱仁果, 郑能建, 瞿玲露 (3777)
江西省表层土壤和苔藓硫含量及硫同位素组成对比研究	李男, 肖化云, 陈永忠, 周丹, 罗笠, 吴代敏 (3782)
辽河流域非点源污染空间特征遥感解析	王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 姚延娟, 殷守敬, 吴迪 (3788)
景观带尺度高寒区水文特征时空变化规律研究	杨永刚, 胡晋飞, 肖洪浪, 邹松兵, 尹振良 (3797)
金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征	游丽丽, 宗海波, 张淑芳, 尹国宇, 李涛, 侯立军 (3804)
崇明东滩湿地干湿交替过程脲酶活性变化初探	韩建刚, 曹雪 (3810)
FDA 水解酶分析法表征近海泥滩微生物活性	刘叶, 邹立, 刘陆, 高冬梅 (3818)
中国东北主要河流沉积物中多溴二苯醚的含量状况及生态风险分析	袁海峰, 成杭新, 赵传冬, 刘应汉, 杨柯, 李括, 彭敏, 刘飞 (3825)
深圳大鹏湾海域表层沉积物和生物体中多环芳烃残留及其风险评价	孙闰霞, 柯常亮, 谷阳光, 卢腾腾, 杜飞雁, 马胜伟, 林钦 (3832)
PMF 和 PCA/MLR 法解析上海市高架道路地表径流中多环芳烃的来源	边璐, 李田, 侯娟 (3840)
三峡库区蓄水初期大宁河重金属食物链放大特征研究	余杨, 王雨春, 周怀东, 高博, 赵高峰 (3847)
小型封闭水体环境因子与叶绿素 a 的时空分布及相关性研究	李飞鹏, 张海平, 陈玲 (3854)
太湖氮、磷自净能力的实验与模型模拟	韩涛, 翟淑华, 胡维平, 张红举, 李钦钦 (3862)
湖泊疏浚方式对内源释放影响的模拟研究	陈超, 钟继承, 范成新, 孔明, 余居华 (3872)
水体/底泥生物基城市河道富营养化水体修复试验研究	周慧华, 宋晓光, 吴革, 谢鑫源 (3879)
底泥调控剂对感潮河涌沉积物中重金属的影响	区凤荏, 孙国萍, 许玫英 (3888)
区域水化学条件对淮南采煤沉陷区水域沉积物磷吸附特征的影响研究	易齐涛, 孙鹏飞, 谢凯, 曲喜杰, 王婷婷 (3894)
4 种人工湿地填料的 f2 噬菌体吸附特性	陈迪, 郑祥, 魏源送, 杨勇 (3904)
稻壳灰对抗生素磺胺的吸附特性研究	纪莹雪, 王凤贺, 张帆, 张艳红, 王国祥, 顾中铸 (3912)
紫外辐射对腐殖酸化学稳定性影响机制研究	王文东, 周礼川, 丁真真, 王洪平, 孙学军 (3921)
基于石墨烯载体的铁基材料制备及除砷性能比较	朝木尔乐格, 冯流, 霍艳霞 (3927)
nTiO ₂ 在水中的分散沉降行为研究	陈金媛, 方金凤, 魏秀珍 (3933)
微生物-铁氧化物交互作用对黄土中砷活化迁移的影响	谢芸芸, 陈天虎, 周跃飞, 谢巧勤 (3940)
两性离子在聚偏氟乙烯 (PVDF) 膜表面接枝改性的研究	周桂花, 肖峰, 肖萍, 王东升, 段晋明, 石健, 臧莉 (3945)
化粪池排口处土壤对典型农户生活污水氮素污染物的消减测算研究	周锋, 王文林, 王国祥, 马久远, 万寅婧, 唐晓燕, 梁斌, 季斌 (3954)
珠江三角洲典型集约化猪场废水污染特征及风险评价	李文英, 彭智平, 于俊红, 黄继川, 徐培智, 杨少海 (3963)
污泥堆肥草坪基质利用对草坪生长及土壤和水环境的影响	金树权, 周金波, 陈若霞, 林斌, 王德耀 (3969)
活性污泥絮体粒径分布与分形维数的影响因素	李振亮, 张代钧, 卢培利, 曾善文, 杨永浩 (3975)
不同恢复方式对硝化颗粒污泥活性的影响	郭秀丽, 高大文, 卢健聪 (3981)
生物陶粒反应器的氨自养反硝化研究	陈丹, 王弘宇, 宋敏, 杨开, 刘晨 (3986)
亚高山草甸土壤呼吸的空间异质性研究	严俊霞, 李君剑, 李洪建, 张义辉 (3992)
SiB3 模式对作物区 CO ₂ 通量的模拟研究	张庚军, 卢立新, 蒋玲梅, 蒋磊, Ian Baker (4000)
缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响	徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔 (4009)
典型农业城市街道灰尘重金属特征及其环境风险评价: 以许昌市为例	闫慧, 陈杰, 肖军 (4017)
苏州、无锡和南通道路灰尘中的多溴联苯醚和多氯联苯	史双昕, 董亮, 李玲玲, 张辉, 李斯明, 张天野, 黄业茹 (4024)
废旧汽车拆解区土壤中多环芳烃垂向分布特性	吴彦瑜, 胡小英, 洪鸿加, 彭晓春 (4031)
铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究	王旌, 罗启仕, 张长波, 谈亮, 李旭 (4036)
典型磺胺类抗生素在土柱中的淋溶规律研究	李曼, 陈卫平, 魏福祥, 焦文涛 (4042)
3 种金属氧化物纳米材料在不同土壤中迁移行为研究	方婧, 余博阳 (4050)
多孔介质中 NAPLs 流体毛细管指进形态及分形表征	李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4058)
毛竹入侵对常绿阔叶林主要树种的化感作用研究	白尚斌, 周国模, 王懿祥, 梁倩倩, 陈娟, 程艳艳, 沈蕊 (4066)
珠江口典型水产养殖区抗生素抗性基因污染的初步研究	梁惜梅, 袁湘平, 施震 (4073)
江苏盐城地区水产品重金属含量与安全评价	刘洋, 付强, 高军, 徐网谷, 殷波, 曹亚乔, 秦卫华 (4081)
铜胁迫对不同基因型谷子幼苗基因组 DNA 多态性的影响	张义贤, 付亚萍, 肖志华, 张喜文, 李萍 (4090)
利用高通量测序对封存 CO ₂ 泄漏情景下土壤细菌的研究	田地, 马欣, 李玉娥, 查良松, 伍洋, 邹晓霞, 刘爽 (4096)
酸性矿山废水区域废矿石中真核生物多样性分析	李思远, 郝春博, 王丽华, 吕铮, 张丽娜, 刘莹, 冯传平 (4105)
十溴联苯醚降解菌的特性及功能蛋白初步分析	常晶晶, 尹华, 秦华明, 叶锦韶, 彭辉, 宋小飞 (4112)
硒对水稻吸收积累和转运锰、铁、磷和硒的影响	胡堂, 黄益宗, 黄艳超, 刘云霞, 梁建宏 (4119)
外源铁对不同番茄品种生理特性、镉积累及化学形态的影响	刘俊, 周坤, 徐卫红, 陈惠, 张明中, 江玲, 杨芸, 王崇力, 熊治庭 (4126)
电子废物排放持久性有毒污染物的控制政策分析	李力, 吕永龙, 王铁宇 (4132)
《环境科学》征稿简则 (3926) 《环境科学》征订启事 (4057) 信息 (3878, 3953, 3999, 4041)	

金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征

游丽丽¹, 宗海波¹, 张淑芳², 尹国宇¹, 李涛¹, 侯立军^{1*}

(1. 华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062; 2. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023)

摘要: 利用气相色谱-脉冲火焰光度检测器(GC-PFPD), 对金普湾海域夏季表层沉积物中基质结合态磷化氢的含量及其影响因素进行了初步分析. 结果表明, 研究区域内沉积物中均检测到基质结合态磷化氢的存在, 其含量介于 62.58 ~ 190.81 ng·kg⁻¹之间, 均值为 114.42 ng·kg⁻¹; 并且, 在近岸海域沉积物中基质结合态磷化氢的含量普遍高于远岸海域沉积物. 相关数理统计分析显示, 沉积物中基质结合态磷化氢与有机磷含量和碱性磷酸酶活性有显著的线性正相关($R=0.882, P=0.01$; $R=0.819, P=0.023$), 而与有机氮、无机磷含量、沉积物粒径的相关性并不显著. 由此, 揭示了金普湾海域沉积物中基质结合态磷化氢的累积与分布主要受有机磷化合物微生物降解作用的影响.

关键词: 沉积物; 磷化氢; 分布差异; GC-PFPD; 金普湾

中图分类号: X131.2; X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-3804-06

Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay

YOU Li-li¹, ZONG Hai-bo¹, ZHANG Shu-fang², YIN Guo-yu¹, LI Tao¹, HOU Li-jun¹

(1. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Center of National Marine Environmental Monitoring, Dalian 116023, China)

Abstract: This work investigated the distribution of matrix-bound phosphine in surface sediments of Jinpu Bay and associated environmental factors in summer, using the gas chromatography combined with a pulsed flame detector (GC-PFPD). It showed that phosphine ubiquitously presented in the sediments of Jinpu Bay. Contents of matrix-bound phosphine varied between 62.58 and 190.81 ng·kg⁻¹, with the average value of 114.42 ng·kg⁻¹. In addition, the spatial distribution of matrix-bound phosphine indicated that matrix-bound phosphine in inshore sediments had relatively higher contents than those in offshore sediments. Statistical analysis showed that matrix-bound phosphine significantly related to organic phosphorus and alkaline phosphatase activity ($R=0.882, P=0.01$; $R=0.819, P=0.023$). However, there were no correlations between matrix-bound phosphine and organic nitrogen, inorganic phosphorus and sediment grain sizes. These results implied that accumulation and distribution of matrix-bound phosphine were mainly affected by the decomposition of organic phosphorus by microorganisms.

Key words: sediment; phosphine; distribution difference; GC-PFPD; Jinpu Bay

磷是组成生物圈的重要元素之一, 在生物地球化学循环过程中起着关键作用^[1]. 传统观点认为自然界的磷主要以溶解态或固态、有机磷或无机磷存在于自然界中, 且大部分研究只局限于磷酸盐^[2~5]. 直到1988年Dévai等^[6]在污泥处理过程中检测到气态磷化氢之后, 不断在土壤、沼泽、河流、大气和海底沉积物中检测到磷化氢的存在^[7~12]. 目前, 磷化氢广泛分布于自然界的观点已经得到了普遍认同.

磷化氢是一种有毒、易氧化的还原性气体, 主要以气体自由态和基质结合态存在于自然界中. 基质结合态磷化氢是指利用强的无机酸(H₂SO₄、HCl)或碱(NaOH)消化固体样品后释放的气态磷化氢, 包括吸附态磷化氢、以某种形式与沉积物等固体样品结合的气态磷化氢以及以固体形式存在的磷化物等^[12]. 与碳、氮、硫循环研究相比^[13~16], 目前国内关于海洋环境中磷化氢的研究仍相对甚

少^[7,8,17~20], 因此基于目前的数据资料还难以评估磷化氢在海洋磷生物地球化学循环过程中的作用和地位. 鉴于此, 本研究选取大连金普湾海域作为典型区, 分析了基质结合态磷化氢在表层沉积物中的含量水平, 并探讨基质结合态磷化氢的分布特征与环境因子之间的相互关系, 以期为进一步深入开展近海环境中磷化氢的循环过程研究提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 样品采集

2011年夏季, 在大连金普湾海域布设了JP1、JP2、JP3、JP4、JP5、JP6等6个采样点(图1), 并利

收稿日期: 2012-12-03; 修订日期: 2013-02-28

基金项目: 海洋公益性行业科研专项(200905007); 国家自然科学基金项目(41106074, 41271114, 41071135); 河口海岸学国家重点实验室科研业务经费项目(2010RCDW07)

作者简介: 游丽丽(1989~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境生物地球化学, E-mail: youlili0576@sina.cn

* 通讯联系人, E-mail: ljhou@sklec.ecnu.edu.cn

用箱式采泥器在上述站位采集表层(0~5 cm)沉积物样品. 沉积物样品采集后,分别装入聚乙烯塑料袋中,避光,密封以隔绝空气,低温冷冻(-30℃)保存. 待样品运回实验室后,立即进行沉积物理化参数和基质结合态磷化氢含量的分析与测定.

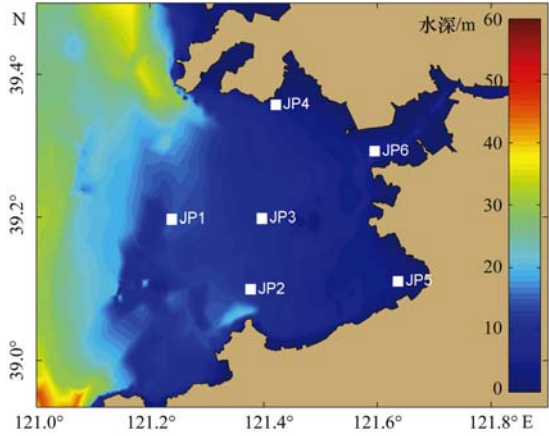


图1 采样站位示意

Fig. 1 Map of sampling sites

1.2 基质结合态磷化氢的分析

本研究采用稀硫酸消解法提取沉积物中的基质结合态磷化氢^[21],即称取1 g左右的沉积物湿样于25 mL 密闭玻璃容器中,加入5 mL 0.5 mol·L⁻¹ H₂SO₄,在氮气环境和100℃的温度条件下消解5 min. 消解反应完成后,产生的气体经高纯氮气置换注入50 mL 注射器中,再将混合气体经干燥管(NaOH 作为干燥剂,以去除H₂O、CO₂、H₂S)干燥后,利用低温冷阱柱(CD-PLOT Q 的毛细管)富集,然后经过六通阀转换由载气直接吹入色谱柱,并通过VARIAN GC-3800 气相色谱仪-脉冲式火焰光度检测器(GC-PFPD)联用技术测定消解气体中磷化氢的含量^[22]. 色谱柱采用WCOT FUSED SILICA (60 m × 0.32 mm × 1.0 μm 膜厚, CP- 8763, VARIAN). 触发电位为200 V,柱温40℃,检测器温度300℃,载气(氮气)流速为2 mL·min⁻¹,高纯空气流速为17 mL·min⁻¹,氢气流速14 mL·min⁻¹,辅助气氮气的流速为10 mL·min⁻¹. 每个样品平行测定3~5次.

1.3 沉积物理化参数分析

沉积物粒度的测定:取适量沉积物样品经过超声振荡分散后,利用激光粒度仪LS13 320 分析. 有机碳(OC)和有机氮(ON)的测定:沉积物样品先用1 mol·L⁻¹ HCl 浸泡淋洗24 h,除去无机碳,再将酸化的沉积物干燥后,利用Elementar 公司Vairo EL

Ⅲ型元素分析仪测定沉积物中的有机碳和有机氮含量,标准偏差均小于0.1%^[23]. 沉积物总磷(TP)的测定:将沉积物在550℃下灼烧2 h,加入40 mL 1 mol·L⁻¹ HCl,在25℃下振荡提取16 h,然后4 000 r·min⁻¹离心5 min,取上清液2 mL 稀释后用磷钼蓝法测定其含量. 沉积物中无机磷(IP)的测定无需高温灼烧,其他步骤与总磷的测定方法一致^[24]. 沉积物中有机磷(OP)的含量为总磷与无机磷的差值. 碱性磷酸酶活性(APA)的测定,称取适量沉积物,加入2.5 mL 1 mmol·L⁻¹的对硝基苯磷酸二钠盐底物(*p*-NPP),摇匀、37℃水浴1 h后,加入5 mL 0.5 mol·L⁻¹ CaCl₂与20 mL 0.5 mol·L⁻¹ NaOH 溶液,3 000 r·min⁻¹离心10 min,取上清液利用分光光度法测定碱性磷酸酶的活性,碱性磷酸酶活性以每单位质量沉积物生成的对硝基酚(*p*-NPP)的量表示^[25].

2 结果与分析

2.1 沉积物的理化性质

表1 给出了金普湾海域表层沉积物的机械组分. 6个采样站位,沉积物中的粉砂(4~63 μm)含量最多,变化范围在48.62%~63.21%之间,平均含量为55.36%;砂(>63 μm)含量次之,变化范围在19.17%~32.45%之间,平均含量为26.55%;黏土(<4 μm)含量最少,变化范围在14.62%~21.83%之间,平均含量为18.09%. 从沉积物粒度的空间分布来看,研究区域内沉积物的机械组成并未呈现显著的沉积分异规律,其中在JP2、JP6 站位粉砂含量较其它站位高;在JP1、JP4 和JP5 站位砂含量较其它站位高;在JP3 站位黏土含量较其它站位高.

表1 金普湾表层沉积物的理化性质
Table 1 Physicochemical characteristics of the surface sediment in Jinpu Bay

站位	黏土/%	粉砂/%	砂/%	ON/%	OC/%
JP1	18.93	48.62	32.45	0.042	0.47
JP2	17.32	62.94	19.74	0.084	0.63
JP3	21.83	53.74	24.43	0.058	0.53
JP4	14.62	53.84	31.54	0.041	0.72
JP5	18.23	49.82	31.95	0.054	0.69
JP6	17.62	63.21	19.17	0.053	0.68

表层沉积物中有机碳的含量介于0.47%~0.72%之间,平均含量为0.62%. 近岸海域表层沉积物中有机碳的含量略高于远岸海域,其中近岸海域站位表层沉积物中有机碳的含量介于0.68%~

0.72%, 平均含量为 0.70%; 而远岸海域站位表层沉积物中有机碳的含量介于 0.47% ~ 0.63%, 平均含量为 0.54%。沉积物中有机氮的含量为 0.041% ~ 0.084%, 平均含量为 0.055%, 并且总体上具有与有机碳相似的空间变化特征。

金普湾海域采样站位沉积物中总磷的含量范围在 561.98 ~ 688.39 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间, 平均含量为 635.16 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 最高含量出现在 JP4 站位, 最低含量出现在 JP1 站位(图 2)。无机磷含量介于 423.6 ~ 596.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量为 515.89 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 约占总磷含量的 67.92% ~ 92.79%, 是沉积物中总磷

的主要赋存形态, 其中 JP5 号站位含量最低, JP2 号站位含量最高。有机磷含量明显小于无机磷, 介于 46.32 ~ 200.04 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量为 119.27 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 仅占总磷的 7.2% ~ 32.07%。

金普湾海域表层沉积物中碱性磷酸酶的活性介于 0.25 ~ 1.02 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$, 平均活性约为 0.54 $\mu\text{g}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$ 。从碱性磷酸酶活性的空间分布来看, 近岸海域表层沉积物中碱性磷酸酶的活性明显高于远岸海域, 其中 JP5 站位离岸最近, 碱性磷酸酶的活性最高; 而 JP1 站位离岸最远, 碱性磷酸酶的活性最低。

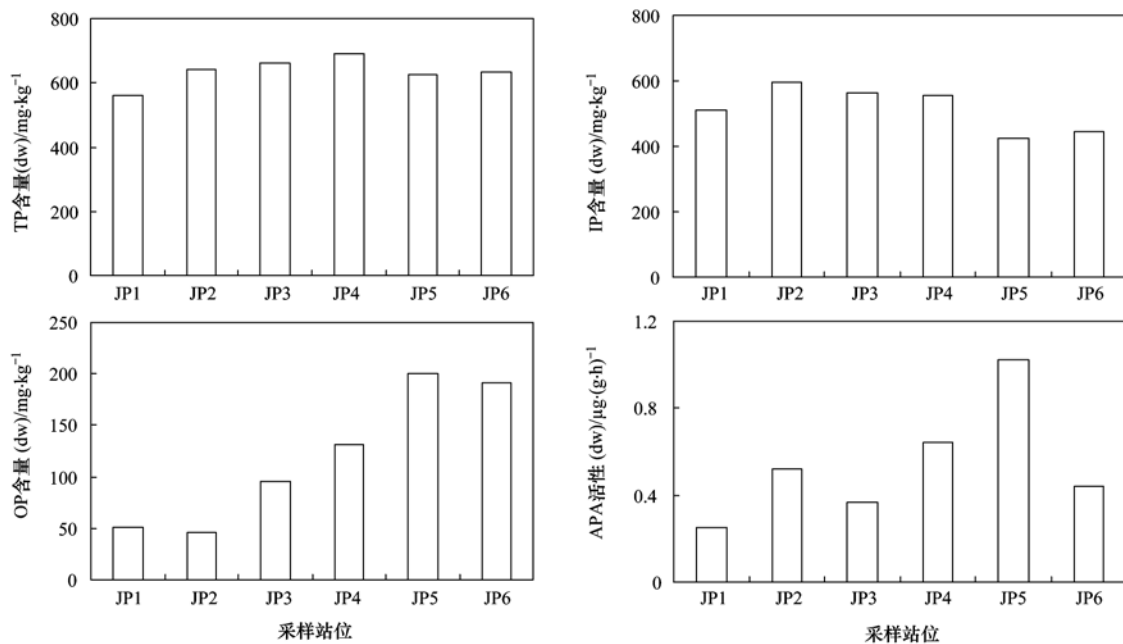


图 2 金普湾海域表层沉积物中总磷 (TP)、无机磷 (IP)、有机磷 (OP) 及碱性磷酸酶活性 (APA) 的分布变化

Fig. 2 Distributions of total phosphorus (TP), inorganic phosphorus (IP), organic phosphorus (OP) and alkaline phosphatase activities (APA) in the surface sediment of Jinpu Bay

2.2 基质结合态磷化氢的含量

图 3 给出了金普湾海域表层沉积物中基质结合

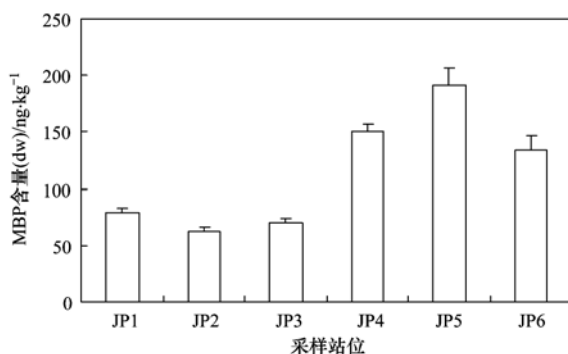


图 3 金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢 (MBP) 的含量分布

Fig. 3 Distribution of matrix-bound phosphine (MBP) in the surface sediment of Jinpu Bay

态磷化氢的含量及其分布特征。研究区域内沉积物中基质结合态磷化氢的含量介于 62.58 ~ 190.81 $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$, 平均含量约为 114.42 $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。方差分析显示, 沉积物中基质结合态磷化氢的含量具有显著的地理空间分布差异 (ANOVA, $N = 18$, $F = 94.9$, $P < 0.0001$)。总体上, 近岸海域站位表层沉积物中基质结合态磷化氢的含量相对较高, 其含量介于 133.86 ~ 190.81 $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$; 而远岸海域站位表层沉积物中基质结合态磷化氢的含量明显偏低, 其含量约为 62.58 ~ 78.71 $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 讨论

根据金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢的含量与总磷、无机磷和有机磷的数理统计分析

显示(图4),基质结合态磷化氢与有机磷之间存在显著的线性正相关($R=0.882, P=0.01$),而与无机磷和总磷之间的关系不显著,说明金普湾海域表层沉积物中基质结合态磷化氢含量主要与有机磷的赋存水平有关,这与对胶州湾沉积物和南极生物圈沉积物中基质结合态磷化氢的研究结果相吻合^[17, 26]. 研究区域内,沉积物中基质结合态磷化氢与有机磷之间的相关关系,反映了沉积物中的基质结合态磷化氢可能主要来源于有机磷的微生物转化过程. 目前,关于自然界中磷化氢的形成机制主要存在两种见解,一种认为磷化氢是无机磷在微生物作用下转化而来的;另一种认为磷化氢是有机磷在微生物作用下分解形成的^[27~29]. 而本研究的实验结果,则反映了研究区域内有机磷作为基质结合态磷化氢前体

物的可能性更大. 此外,还发现研究区域内沉积物中基质结合态磷化氢的含量与碱性磷酸酶的活性密切相关($R=0.819, P=0.023$),揭示了碱性磷酸酶也是影响沉积物中基质结合态磷化氢分布的一个重要因素. 在对河口和极地冻土带沉积物中基质结合态磷化氢含量的分析中,也发现了基质结合态磷化氢含量与碱性磷酸酶活性之间的耦合关系^[22, 30]. 通常,碱性磷酸酶活性可作为参与磷生物地球化学循环的细菌活动指示剂^[30],并在沉积物中磷的迁移和转化过程中起着重要作用. 沉积物中碱性磷酸酶活性与基质结合态磷化氢含量之间的相关关系,在一定程度上也进一步说明了研究区内沉积物中基质结合态磷化氢的形成与解磷细菌的新陈代谢活动密切相关.

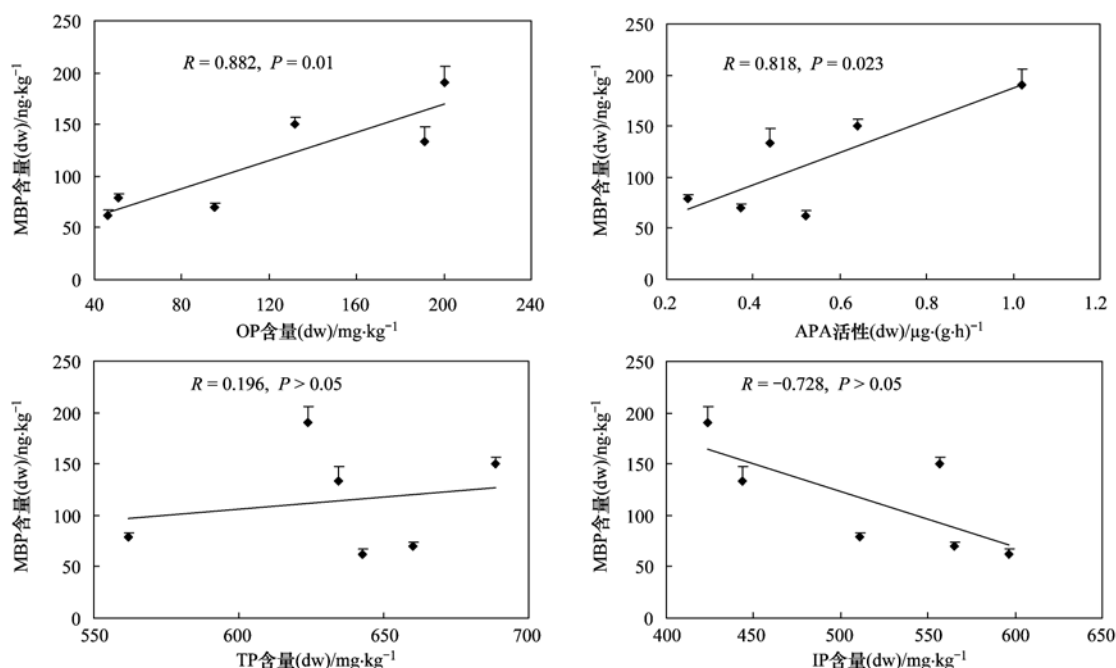


图4 金普湾海域沉积物表层中基质结合态磷化氢含量与磷组分(TP、OP、IP)、碱性磷酸酶活性(APA)之间的相关性

Fig. 4 Relationships between matrix-bound phosphine (MBP) and phosphorus fractions (TP, OP and IP) and alkaline phosphatase activities (APA) in the surface sediment of Jinpu Bay

已有文献报道水体沉积物中基质结合态磷化氢除受沉积物磷组分的影响外,有机碳、氮、粒径等理化参数对磷化氢的含量变化也起到至关重要的作用. Feng等^[18]在研究长江口邻近海域沉积物中的基质结合态磷化氢时,发现沉积物中磷化氢含量与有机碳、氮存在明显的正相关关系,而与沉积物粒径大小呈明显的负相关关系,即沉积物粒径越小,越有利于基质结合态磷化氢的累积. 表2的相关分析数据显示,金普湾海域沉积物中基质结合态磷化氢含量与有机氮和粒径的相关关系并

不显著,这在一定程度上说明了该区域内沉积物粒径和氮的含量不是影响基质结合态磷化氢空间分布差异的主要因素;但与有机碳的含量存在一定的正相关性($R=0.737, P=0.047$),表明除磷组分外有机碳含量也是影响研究区内沉积物中基质结合态磷化氢含量的重要因素. 这可能与沉积物中磷化氢的微生物产生途径有关,即沉积物中若相对富含有机碳,则可为微生物的新陈代谢过程提供充足的碳源,进而有利于基质结合态磷化氢的形成^[19].

表 2 沉积物理化参数与基质结合态磷化氢 (MBP) 的相关系数¹⁾

Table 2 Correlation coefficients of matrix-bound phosphine and sediment physicochemical parameters

	ON	OC	黏土	粉砂	砂	MBP
ON	1					
OC	0.49	1				
黏土	0.149	-0.718	1			
粉砂	0.635	0.371	-0.225	1		
砂	-0.701	-0.106	-0.148	-0.930 **	1	
MBP	-0.443	0.737 *	-0.459	-0.248	0.424	1

1) ** 表示显著水平 $P < 0.01$; * 表示显著水平 $P < 0.05$

近年来,尽管已有大量文献报道了自然环境系统内磷化氢循环的研究成果,但是有关沉积物中基质结合态磷化氢含量的基础数据资料仍相当有限.表 3 给出了目前已报道的河流、湖泊、河口及其近海等不同水体沉积物中基质结合态磷化氢的含量.与其他水体沉积物相比,研究区域内沉积物中基质结合态磷化氢的含量处于中间水平,与德国 Hamburg 港和太湖水域沉积物中的相当,而高于长江口和黄海近岸海域沉积物中的基质结合态磷化氢

含量,但是明显低于德国 Elster 河、南京乌龙潭、胶州湾和德国北海 German Bright 海域沉积物中基质结合态磷化氢的含量.此外,与沉积物中总磷的含量相比,尽管基质结合态磷化氢在沉积磷库中所占的份额相对较低,但是磷化氢具有相对较高的转化速率,因此磷化氢在沉积物磷的生物地球化学循环中可能具有不可忽视的作用,尤其在磷限制的水体中磷化氢的形成与转化的耦合过程可能是上覆水柱中磷酸盐的有效来源与补充^[32].

表 3 不同水体沉积物中基质结合态磷化氢 (MBP) 含量的对比分析¹⁾

Table 3 Levels of matrix-bound phosphine in different aquatic sediments

研究区	样品类型	MBP/ $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1}$		总磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	文献
		变化范围	平均含量		
德国 Hamburg 港	河流沉积物	43 ~ 201	99	nd	[8]
德国 Elster 河流	河流沉积物	4 ~ 1 140	227	nd	[12]
南京乌龙潭,	湖泊沉积物	250 ~ 420	335	2 080	[31]
太湖	湖泊沉积物	5.4 ~ 919.2	185	nd	[21]
长江口	河口沉积物	2 ~ 95	17	311 ~ 425	[18]
德国北海 Bright 海域	海洋沉积物	158 ~ 1 923	770	nd	[8]
黄海	海洋沉积物	0.7 ~ 179	31	278 ~ 768	[20]
胶州湾	海洋沉积物	125 ~ 591	290	340 ~ 740	[17]
金普湾	海洋沉积物	63 ~ 191	114	562 ~ 688	本研究

1) nd 表示没有检测样品中总磷的含量

4 结论

本研究在金普湾海域沉积物中检测到了基质结合态磷化氢的存在,其含量水平介于 $62.58 \sim 190.81 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均含量约为 $114.42 \text{ ng} \cdot \text{kg}^{-1}$.研究区域内沉积物中基质结合态磷化氢具有显著的空间分布差异.总体上,近岸海域沉积物中基质结合态磷化氢的含量相对较高,而远岸海域沉积物中基质结合态磷化氢的含量明显偏低.基质结合态磷化氢与环境因子之间的数理统计分析显示,沉积物中基质结合态磷化氢的含量与有机碳、有机磷和碱性磷酸酶活性有显著的相关关系,这在一定程度上揭示了研究区域内沉积物中的磷化氢可能主要来源于有机磷化合物的微生物降解作用;同时,也反映了

基质结合态磷化氢的来源过程是控制研究区域内磷化氢空间分异的主要因素.

参考文献:

[1] Smith S V. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment[J]. Limnology and Oceanography, 1984, **29**(6): 1149-1160.

[2] Aguiar V M C, Braga E S. Seasonal and tidal variability of phosphorus along a salinity gradient in the heavily polluted estuarine system of Santos/São Vicente-São Paulo, Brazil[J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, **54**(4): 467-471.

[3] Avilés A, Niell F X. Pattern of phosphorus forms in a Mediterranean shallow estuary: Effects of flooding events[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2005, **64**(4): 786-794.

[4] Hou L J, Liu M, Yang Y, et al. Phosphorus speciation and availability in intertidal sediments of the Yangtze Estuary, China [J]. Applied Geochemistry, 2009, **24**(1): 120-128.

- [5] Hanrahan G, Salmassi T M, Khachikian C S, *et al.* Reduced inorganic phosphorus in the natural environment: significance, speciation and determination[J]. *Talanta*, 2005, **66**(2): 435-444.
- [6] Dévai I, Felföldy L, Wittner I, *et al.* Detection of phosphine: new aspects of the phosphorus cycle in the hydrosphere [J]. *Nature*, 1988, **333**(6171): 343-345.
- [7] Dévai I, Delaune R D. Evidence for phosphine production and emission from Louisiana and Florida marsh soils [J]. *Organic Geochemistry*, 1995, **23**(3): 277-279.
- [8] Gassmann G. Phosphine in the fluvial and marine hydrosphere [J]. *Marine Chemistry*, 1994, **45**(3): 197-205.
- [9] Liu J A, Cao H F, Zhuang Y H, *et al.* Phosphine in the urban air of Beijing and its possible sources [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1999, **116**(3-4): 597-604.
- [10] 朱仁斌, 孔德明, 孙立广, 等. 南极大气中磷化氢的首次监测[J]. *科学通报*, 2006, **51**(18): 2212-2215.
- [11] 牛晓君, 耿金菊, 马宏瑞, 等. 富营养浅水湖泊中新发现的磷化氢[J]. *中国环境科学*, 2004, **24**(1): 85-88.
- [12] Glindemann D, Edwards M, Liu J A, *et al.* Phosphine in soils, sludges, biogases and atmospheric implications-a review [J]. *Ecological Engineering*, 2005, **24**(5): 457-463.
- [13] Jenkinson D S. An introduction to the global nitrogen cycle [J]. *Soil Use and Management*, 1990, **6**(2): 56-61.
- [14] Sievert S M, Kiene R P, Schulz-Vogt H N. The sulfur cycle [J]. *Oceanography*, 2007, **20**(2): 117-123.
- [15] Falkowski P G, Scholes R J, Boyle E, *et al.* The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system [J]. *Science*, 2000, **290**(5490): 291-296.
- [16] Gruber N, Galloway J N. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle [J]. *Nature*, 2008, **451**(7176): 293-296.
- [17] 俞志明, 宋秀贤. 基质结合态磷化氢: 胶州湾沉积物中新发现的一种磷化物存在形式 [J]. *科学通报*, 2002, **47**(20): 1596-1599.
- [18] Feng Z H, Song X X, Yu Z M. Seasonal and spatial distribution of matrix-bound phosphine and its relationship with the environment in the Changjiang River Estuary, China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, **56**(9): 1630-1636.
- [19] Feng Z H, Song X X, Yu Z M. Distribution characteristics of matrix-bound phosphine along the coast of China and possible environmental controls [J]. *Chemosphere*, 2008, **73**(4): 519-525.
- [20] Hong Y N, Geng J J, Qiao S, *et al.* Phosphorus fractions and matrix-bound phosphine in coastal surface sediments of the Southwest Yellow Sea [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, **181**(1-3): 556-564.
- [21] Geng J J, Niu X J, Jin X C, *et al.* Simultaneous monitoring of phosphine and of phosphorus species in Taihu lake sediments and phosphine emission from lake sediments [J]. *Biogeochemistry*, 2005, **76**(2): 283-298.
- [22] 李涛, 侯立军, 刘敏, 等. 长江口近岸表层沉积物中基质结合态磷化氢的分布特征 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(10): 3443-3448.
- [23] Hou L J, Liu M, Ou D N, *et al.* Influences of the macrophyte (*Scirpus mariqueter*) on phosphorous geochemical properties in the intertidal marsh of the Yangtze Estuary [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, **113**(G4): G04038, doi: 10.1029/2008JG000780.
- [24] Aspila K I, Agemian H, Chau A S Y. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments [J]. *Analyst*, 1976, **101**(1200): 187-197.
- [25] 宋炜, 袁丽娜, 肖琳, 等. 太湖沉积物中解磷细菌分布及其与碱性磷酸酶活性的关系 [J]. *环境科学*, 2007, **28**(10): 2355-2360.
- [26] Zhu R B, Sun L G, Kong D M, *et al.* Matrix-bound phosphine in Antarctic biosphere [J]. *Chemosphere*, 2006, **64**(8): 1429-1435.
- [27] Eismann F, Glindemann D, Bergmann A, *et al.* Balancing phosphine in manure fermentation [J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 1997, **32**(6): 955-968.
- [28] Jenkins R O, Morris T A, Craig P J, *et al.* Phosphine generation by mixed-and monoseptic-cultures of anaerobic bacteria [J]. *Science of the Total Environment*, 2000, **250**(1-3): 73-81.
- [29] Roels J, Verstraete W. Biological formation of volatile phosphorus compounds [J]. *Bioresource Technology*, 2001, **79**(3): 243-250.
- [30] Zhu R B, Ma D W, Ding W, *et al.* Occurrence of matrix-bound phosphine in polar orthonogenic tundra ecosystems: Effects of alkaline phosphatase activity and environmental variables [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **409**(19): 3789-3800.
- [31] Han S H, Wang Z J, Zhuang Y H, *et al.* Phosphine in various matrixes [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2003, **15**(3): 339-341.
- [32] 冯志华, 宋秀贤, 李小军, 等. 磷化氢在海水中的转化及其影响因素研究 [J]. *海洋科学*, 2010, **34**(4): 79-83.

CONTENTS

Stable Carbon Isotopic Composition in PM _{2.5} in Nanjing Region	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (3727)
Distribution and Source Apportionment of <i>n</i> -Alkanes in Atmospheric Particle in Taiyuan, China	HU Dong-mei, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (3733)
Study on Influence of Traffic and Meteorological Factors on Inhalable Particle Matters of Different Size	LUO Na-na, ZHAO Wen-ji, YAN Xing, <i>et al.</i> (3741)
Particle Emission Characteristics of Diesel Bus Fueled with Bio-diesel	LOU Di-ming, CHEN Feng, HU Zhi-yuan, <i>et al.</i> (3749)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Water Vapor Sources in Lanzhou City and Its Surrounding Area	CHEN Fen-li, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (3755)
Characteristics and Sources of Soluble Ions in Aerosols from Glacier No. 1 at the Headwater of Urumqi River, Tianshan Mountains, China	YUE Xiao-ying, LI Zhong-qin, ZHANG Ming-jun, <i>et al.</i> (3764)
Mechanism and Performance of Styrene Oxidation by O ₃ /H ₂ O ₂	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, YE Qi-hong, <i>et al.</i> (3772)
Sulfur Isotopic Signatures in Leaves of <i>Pinus massoniana</i> Lamb. and Source Apportionment	GUAN Hui, XIAO Hua-yun, ZHU Ren-guo, <i>et al.</i> (3777)
Comparisons of Sulfur Contents and Isotopes Between Mosses and Surface Soils in Jiangxi Province	LI Nan, XIAO Hua-yun, CHEN Yong-zhong, <i>et al.</i> (3782)
Research on Spatial Characteristic of Non-point Source Pollution in Liaohe River Basin	WANG Xue-lei, CAI Ming-yong, ZHONG Bu-qing, <i>et al.</i> (3788)
Spatial and Temporal Variations of Hydrological Characteristic on the Landscape Zone Scale in Alpine Cold Region	YANG Yong-gang, HU Jin-fei, XIAO Hong-lang, <i>et al.</i> (3797)
Distribution of Matrix-Bound Phosphine in Surface Sediments of Jinpu Bay	YOU Li-li, ZONG Hai-bo, ZHANG Shu-fang, <i>et al.</i> (3804)
Effects of Drying-Rewetting Alternation on Urease Activity in Chongming East Intertidal Flat; Results of a Simulation Study	HAN Jian-gang, CAO Xue (3810)
Characterization of Microbial Activities in Marine Mudflat Sediment Using FDA Hydrolase Analysis	LIU Ye, ZOU Li, LIU Lu, <i>et al.</i> (3818)
Analysis of Ecological Risk and the Content Situation of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments from Northeast China River Basin	NIE Hai-feng, CHENG Hang-xin, ZHAO Chuan-dong, <i>et al.</i> (3825)
Residues and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments and Marine Organisms from Dapeng Bay, Shenzhen	SUN Run-xia, KE Chang-liang, GU Yang-guang, <i>et al.</i> (3832)
Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using Two Mathematical Models for Runoff of the Shanghai Elevated Inner Highway, China	BIAN Lu, LI Tian, HOU Juan (3840)
Biomagnification of Heavy Metals in the Aquatic Food Chain in Daning River of the Three Gorges Reservoir During Initial Impoundment	YU Yang, WANG Yu-chun, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (3847)
Temporal and Spatial Distribution of Environmental Factors and Chlorophyll-a and Their Correlation Analysis in a Small Enclosed Lake	LI Fei-peng, ZHANG Hai-ping, CHEN Ling (3854)
Experiment and Model Simulation of Self-Purification Capacity of Nitrogen and Phosphorus in Lake Taihu	HAN Tao, ZHAI Shu-hua, HU Wei-ping, <i>et al.</i> (3862)
Simulation Research on the Release of Internal Nutrients Affected by Different Dredging Methods in Lake	CHEN Chao, ZHONG Ji-cheng, FAN Cheng-xin, <i>et al.</i> (3872)
Research of Urban Eutrophic Water Repair by Water/Sediment Biological Bases	ZHOU Hui-hua, SONG Xiao-guang, WU Ge, <i>et al.</i> (3879)
Effects of Regulatory Agent on the Heavy Metal Stability in Tidal Sediments	OU Feng-zhuang, SUN Guo-ping, XU Mei-ying (3888)
Impact of Regional Water Chemistry on the Phosphorus Isothermal Adsorption of the Sediments in Three Subsidence Waters of the Huainan Mine Areas	YI Qi-tao, SUN Peng-fei, XIE Kai, <i>et al.</i> (3894)
Adsorption Characteristics of f2 Bacteriophages by Four Substrates in Constructed Wetland	CHEN Di, ZHENG Xiang, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (3904)
Adsorption Characteristics of the Antibiotic Sulfanilamide onto Rice Husk Ash	JI Ying-xue, WANG Feng-he, ZHANG Fan, <i>et al.</i> (3912)
Study on the Stability Variation Mechanism of Humic Acid Water Solution After Radiated by the UV Light	WANG Wen-dong, ZHOU Li-chuan, DING Zhen-zhen, <i>et al.</i> (3921)
Comparison of As Removal Performance by Graphene/Iron-Based Material	Chaomuerlege, FENG Liu, HUO Yan-xia (3927)
Studies on the Dispersion and Deposition Behavior of Nano-TiO ₂ in Aquatic System	CHEN Jin-yuan, FANG Jin-feng, WEI Xiu-zhen (3933)
Effect of the Interaction of Microorganisms and Iron Oxides on Arsenic Releasing into Groundwater in Chinese Loess	XIE Yun-yun, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (3940)
Surface Modification of Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membrane by Using the Zwitterionic Substance	ZHOU Gui-hua, XIAO Feng, XIAO Ping, <i>et al.</i> (3945)
Estimate the Abatement Rate of Septic Tank Sewage Outfall Soil on Nitrogen Pollutants of Typical Farmer Household Sewage	ZHOU Feng, WANG Wen-lin, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (3954)
Wastewater Pollution Characteristics from Typical Intensive Pig Farms in the Pearl River Delta and Its Ecological Risk Assessment	LI Wen-ying, PENG Zhi-ping, YU Jun-hong, <i>et al.</i> (3963)
Effects of Sludge Compost Used as Lawn Medium on Lawn Growth and Soil and Water Environment	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, CHEN Ruo-xia, <i>et al.</i> (3969)
Influencing Factors of Floc Size Distribution and Fractal Dimension of Activated Sludge	LI Zhen-liang, ZHANG Dai-jun, LU Pei-li, <i>et al.</i> (3975)
Influence of Different Recovery Methods on the Activity of Nitrification Granular Sludge	GUO Xiu-li, GAO Da-wen, LU Jian-cong (3981)
Study on Hydrogen Autotrophic Denitrification of Bio-ceramic Reactor	CHEN Dan, WANG Hong-yu, SONG Min, <i>et al.</i> (3986)
Studies on Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow	YAN Jun-xia, LI Jun-jian, LI Hong-jian, <i>et al.</i> (3992)
Modeling of CO ₂ Fluxes at Cropland by Using SIB3 Model	ZHANG Geng-jun, LU Li-xin, JIANG Ling-mei, <i>et al.</i> (4000)
Effects of the Different Land Use on Soil Labile Organic Matter and Carbon Management Index in Junyun Mountain	XU Peng, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (4009)
Heavy Metal Content in Street Dust and Environmental Risk Assessment of Agricultural City: A Case Study of Xuchang City	YAN Hui, CHEN Jie, XIAO Jun (4017)
Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls in Road Dust from Suzhou, Wuxi and Nantong	SHI Shuang-xin, DONG Liang, LI Ling-ling, <i>et al.</i> (4024)
Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil	WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, <i>et al.</i> (4031)
Stabilization and Long-term Effect of Chromium Contaminated Soil	WANG Jing, LUO Qi-shi, ZHANG Chang-bo, <i>et al.</i> (4036)
Leaching Characteristics of Sulfadiazine and Sulfamethoxazole in Soil Column	LI Man, CHEN Wei-ping, WEI Fu-xiang, <i>et al.</i> (4042)
Transport Behaviors of Metal Oxide Nanomaterials in Various Soils	FANG Jing, YU Bo-yang (4050)
Fractal Characteristics of Capillary Finger Flow for NAPLs Infiltrated in Porous Media	LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4058)
Allelopathic Potential of <i>Phyllostachys edulis</i> on Two Dominant Tree Species of Evergreen Broad-leaved Forest in Its Invasive Process	BAI Shang-bin, ZHOU Guo-mo, WANG Yi-xiang, <i>et al.</i> (4066)
Preliminary Studies on the Occurrence of Antibiotic Resistance Genes in Typical Aquaculture Area of the Pearl River Estuary	LIANG Xi-mei, NIE Xiang-ping, SHI Zhen (4073)
Concentrations and Safety Evaluation of Heavy Metals in Aquatic Products of Yancheng, Jiangsu Province	LIU Yang, FU Qiang, GAO Jun, <i>et al.</i> (4081)
Effects of Cu ²⁺ Stress on DNA Polymorphism of Genome in Foxtail Millet of Different Genotypes	ZHANG Yi-xian, FU Ya-ping, XIAO Zhi-hua, <i>et al.</i> (4090)
Research on Soil Bacteria Under the Impact of Sealed CO ₂ Leakage by High-throughput Sequencing Technology	TIAN Di, MA Xin, LI Yu-e, <i>et al.</i> (4096)
Microeukaryotic Biodiversity in the Waste Ore Samples Surrounding an Acid Mine Drainage Lake	LI Si-yuan, HAO Chun-bo, WANG Li-hua, <i>et al.</i> (4105)
Characteristics and Functional Protein Analysis of an Effective Decabromodiphenyl Ether-Degrading Strain	CHANG Jing-jing, YIN Hua, QIN Hua-ming, <i>et al.</i> (4112)
Effect of Selenium on the Uptake and Translocation of Manganese, Iron, Phosphorus and Selenium in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	HU Ying, HUANG Yi-zong, HUANG Yan-chao, <i>et al.</i> (4119)
Effect of Exogenous Iron on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium, and Physiological Characterization in Different Varieties of Tomato	LIU Jun, ZHOU Kun, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4126)
Analysis of Control Policy for Persistent Toxic Substances from Electronic Wastes in China	LI Li, LÜ Yong-long, WANG Tie-yu (4132)

《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)

2013年10月15日 34卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 10 Oct. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行