

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM _{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估	谢元博, 陈娟, 李巍 (1)
长白山 PM _{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响	柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化	张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放	卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放	张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征	蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究	符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化	童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)
重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化	余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降	王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究	吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究	马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO ₂ 释放的影响	柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铀地球化学分布特征	吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价	马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测	张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义	陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 (123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素	唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征	赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响	宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征	宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)
河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究	张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制	武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析	敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价	毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究	王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术	王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究	王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究	刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究	孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究	胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态	谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响	廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)
水稻土团聚体 Cu ²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化	许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)
Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响	刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响	马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探	周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较	姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究	杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响	胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价	王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究	郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)
微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性	游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)
硝酸盐抑制油田采出水中硫酸盐还原菌活性研究	杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系	吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素	谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究	史晶晶, 耿元波 (341)
南京河流夏季水-气界面 N ₂ O 排放通量	韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响	肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究	彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究	卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用	严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO ₂ 排放时空演变特征	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展	李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

黄东海表层沉积物中磷的分布特征

宋国栋, 刘素美*, 张国玲

(中国海洋大学化学化工学院, 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要: 于 2011 年 3~6 月分两个航次在黄东海采集了表层沉积物样品, 测定了其中总磷 (TP)、无机磷 (IP) 和有机磷 (OP) 的含量。结果表明, TP 的变化范围为 $10.50 \sim 24.10 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, IP 的变化范围为 $7.14 \sim 17.10 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, IP 是 TP 的主要赋存形态, 平均占 TP 的 70% 以上; 黄东海大部分站位 IP 与 TP 的百分比在 50%~90% 之间, 有 4 个站位的百分比高于 90%, 都分布在东海。沉积物中磷的含量和平面分布特征受到人类活动、物质来源、沉积物的粒度、沉积环境和水文条件等多种因素的影响。黄东海沉积物中总磷的埋藏通量呈现出区域性的差异, 埋藏通量主要受沉积速率、沉积物的孔隙度和底层水含氧量等多种因素的影响, 其中沉积物中总磷的含量和沉积速率是决定埋藏通量大小的关键因素。

关键词: 总磷; 无机磷; 有机磷; 埋藏通量; 沉积物; 黄东海

中图分类号: X145 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0157-06

Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea

SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling

(Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Different phosphorus compositions (TP, IP and OP) were determined in surface sediments of the Yellow Sea (YS) and the East China Sea (ECS), sampled from two cruises between March and June, 2011. The results showed that, contents of TP were from $10.50 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ to $24.10 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$, IP ranged from $7.14 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ to $17.10 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ was the major phosphorus speciation accounting for more than 70% in TP. The percent of IP in TP at most stations was between 50% and 90%, only four stations which lied in the East China Sea with the percent was over 90%. The dominant factors affecting the phosphorus concentration and distribution in surface sediments were anthropogenic activities, sources of input materials, grain size, depositional environments and hydrological conditions. TP burial flux (TPBF) that appeared regional differences was affected by sedimentation rates, porosity and oxygen in bottom water, but TP content and sedimentation rates were crucial factors for TPBF.

Key words: total phosphorus; inorganic phosphorus; organic phosphorus; burial flux; sediments; the Yellow Sea and the East China Sea

生源要素的循环是全球变化研究的重要组成部分^[1]。磷(P)是海洋生态系统中重要的营养元素之一, 磷的可利用性会影响海洋生态系统中浮游植物的生物量和群落结构^[2, 3]。近年来, 随着我国经济发展、人口增加和人民生活水平的提高, 工农业和人类活动产生的含磷废水等通过排污和地表径流进入海洋, 引起局部海域富营养化、初级生产力增加、底层水体缺氧^[4, 5], 使海域的生物资源和生态环境遭到破坏, 影响了海洋生态系统的可持续性。

近海海洋沉积物是生源要素的重要储库^[6]。海洋沉积物中的磷以不同的结合态存在, 其具有不同的生物有效性和地球化学行为, 而不同结合态磷的相对含量和分布特征呈现出区域性的差异^[1]。同时, 海洋沉积物作为环境演变较为完备的信息载体, 记录了自然因素和人为因素影响下海洋生态系统中生物、物理及化学作用等过程。研究沉积物中磷的

含量和分布特征能够获得有关生源要素的地球化学信息, 揭示生源要素的循环和人类活动、环境变化的关系, 反映陆源输入和上层水体营养盐含量的变化, 这对研究碳、氮、氧、硫的循环、生态系统的结构具有重要作用, 同时为预测未来环境变化提供理论依据。

黄海和东海是西北太平洋边缘海的重要组成部分。位于中国和朝鲜半岛间的黄海是典型的半封闭陆架边缘海, 平均水深 44 m; 东海在东南部通过冲绳海槽和琉球群岛与西太平洋相连, 东海的大陆架宽度约 640 km, 平均水深 72 m^[7]。黄海和东海每年接受

收稿日期: 2013-03-23; 修订日期: 2013-07-09

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2011CB409802, 2010CB428900); 国家自然科学基金项目(40925017)

作者简介: 宋国栋(1984~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为海洋生物地球化学, E-mail: guodong123@126.com

* 通讯联系人, E-mail: sumeilu@ouc.edu.cn

沉积物高达 0.2×10^{10} t, 其中长江输送 0.48×10^9 t, 黄河输送 0.11×10^{10} t, 老黄河口侵蚀 0.5×10^9 t^[7-9].

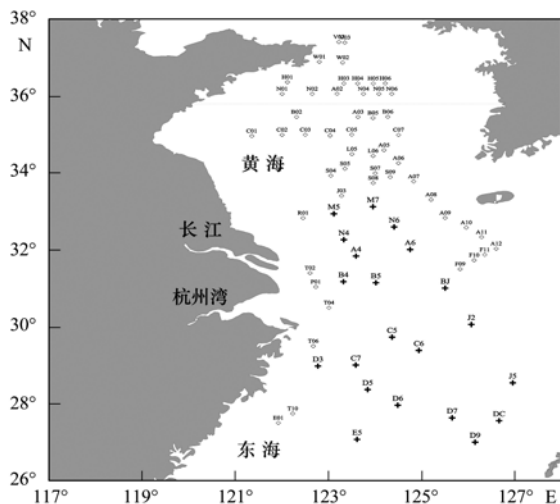
近年来, 学者对黄东海沉积物中的磷进行了一些调查和研究, 例如黄东海表层和柱状沉积物中磷的含量、分布特征、生物地球化学行为和生态学指示意义等^[10-14]. 然而, 这些研究主要集中在黄海, 涉及的东海站位较少, 整个调查区域内站位观测密度较低; 样品不是取自同一时期, 年代间隔较长. 另外, 由于黄海和东海沉积物来源、输送机制不同^[7], 有必要从整体上研究中国东部陆架边缘海沉积物中磷的含量和分布特征, 为此本研究基于两个“973”项目航次, 在东海和黄海采集了表层沉积物样品, 采用 Aspila 等^[15]的方法, 测定了黄海和东海表层沉积物中总磷、无机磷和有机磷的含量, 探讨了磷的含量和分布特征同人类活动、物质来源、沉积物粒度、沉积环境和水文条件等因素的关系, 并计算了总磷的埋藏通量.

1 材料与方法

1.1 样品的采集和处理

于 2011 年 3~6 月分两个航次在黄东海采集了 73 份表层沉积物样品, 取样站位如图 1 和图 2 所示. 沉积物利用箱式采泥器采集后, 取表层 2 cm 以内的沉积物装入干净的聚乙烯封口袋中, -20°C 冷冻保存. 样品带回实验室后用冷冻干燥机冻干, 玛瑙研钵研磨, 待测.

1.2 样品的分析测定

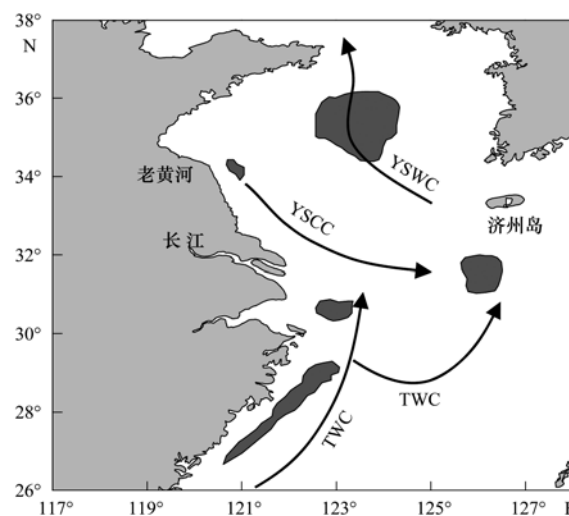


“◇”表示 2011 年 3~4 月航次取样站位,
“+”表示 2011 年 5~6 月航次取样站位

图 1 黄东海采样站位示意

Fig. 1 Locations of sediment samples in the Yellow Sea and the East China Sea

总磷 (TP) 和无机磷 (IP) 的测定采用 Aspila 等^[15]的方法. TP 采用高温灰化法, 即准确称取 0.15 g 样品于坩埚中, 在马弗炉中 550°C 灰化 2 h, 冷却后用 19.5 mL 盐酸 ($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 转移至 50 mL 离心管中, 室温下振荡 24 h, 测定提取液中磷酸盐的浓度^[12]; IP 直接用盐酸振荡提取 16 h, 测定提取液中磷酸盐的浓度; 总磷和无机磷的差值即为有机磷 (OP) 的含量. 采用该方法对国家近海沉积物标准 (GBW07314) 进行磷的测定, 磷的回收率在 95% 以上, TP 和 IP 的精密度小于 1% ($n=5$).



图中洋流: 黄海暖流 (YSWC), 黄海沿岸流 (YSCC), 台湾暖流 (TWC); 黑色代表泥质区; 根据文献^[16,17]绘制

图 2 黄海洋流和细粒径沉积物分布示意

Fig. 2 Currents and the distribution of fine-grained sediments in the YS and the ECS

1.3 表层沉积物中总磷的埋藏通量

生源要素的埋藏通量可以反映某段特定历史时期内环境的变化和趋势. 埋藏通量主要受沉积速率、沉积物的孔隙度和底层水含氧量等多种因素的影响^[18,19]. 生源要素的埋藏对于揭示生源要素的生物地球化学循环具有重要意义.

总磷的埋藏通量 TPBF [$\mu\text{mol} \cdot (\text{a} \cdot \text{cm}^2)^{-1}$]:

$$\text{TPBF} = c_i \omega = c_i S (1 - \phi) \rho_s^{[20]}$$

式中, c_i ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) 是沉积物中总磷的浓度; ω [$\text{g} \cdot (\text{a} \cdot \text{cm}^2)^{-1}$] 是质量积累速率; ϕ 是沉积物的孔隙率; ρ_s 是沉积物的干密度, 本研究取 $2.1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; S ($\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$) 是沉积速率, 本研究中所用数据来自文献^[21~23].

2 结果与分析

2.1 表层沉积物中磷的含量及分布

黄东海表层沉积物中各形态 P 的含量分布如

图3所示,其中TP、IP和OP的变化范围分别是10.50 ~ 24.10、7.14 ~ 17.10和0.48 ~ 10.42 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,平均值分别是17.49、12.47和5.03 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$. TP和IP的分布特征类似,在南黄海中北部、长江口附近以及闽浙沿岸含量较高,东海中部地区含量较低,济州岛西南附近有最小值. OP在南黄海北部地区有较高的含量,向南浓度逐渐减小,整个东海浓度要低于黄海.

部、长江口附近以及闽浙沿岸含量较高,东海中部地区含量较低,济州岛西南附近有最小值. OP在南黄海北部地区有较高的含量,向南浓度逐渐减小,整个东海浓度要低于黄海.

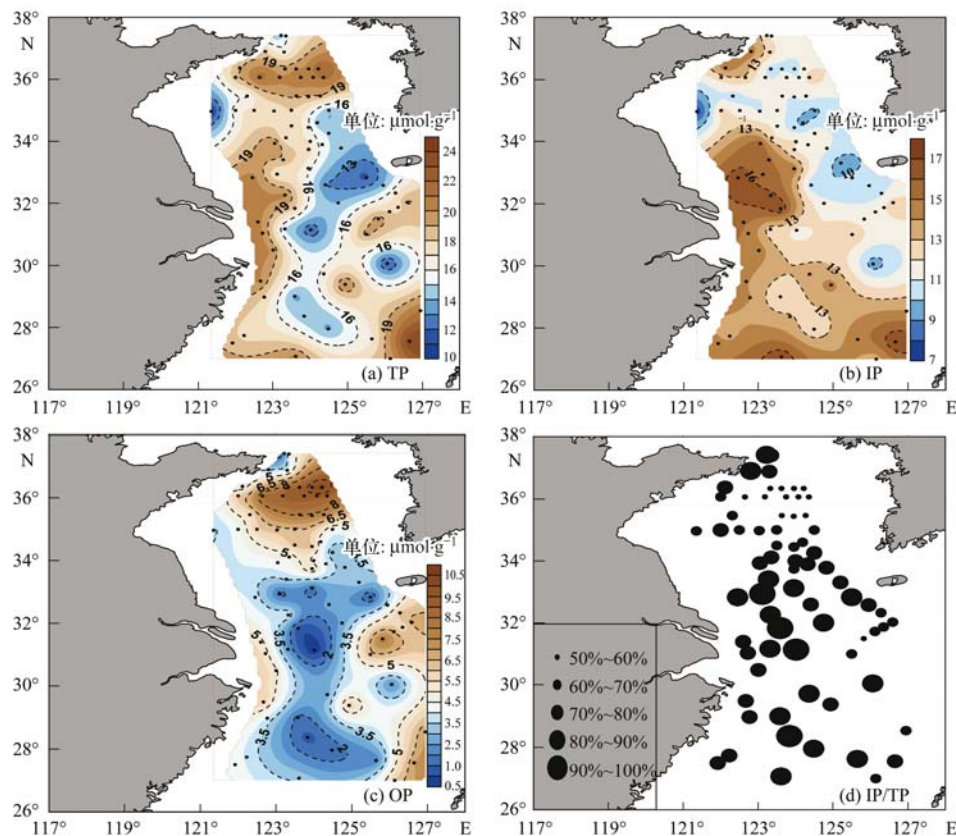


图3 黄东海表层沉积物中TP、IP和OP的含量分布图及IP占TP的百分比

Fig. 3 Distribution of the TP, IP and OP concentrations and the percent of IP in TP in surface sediments of the Yellow Sea and the East China Sea

2.2 IP占TP的百分比

无机磷在总磷中所占的百分比是研究磷的生物地球化学的另一个重要的参数. 由图3中可以看出,大部分站位的IP与TP的比值在50% ~ 90%之间,只有4个站位的比值高于90%.

2.3 TP的埋藏通量

黄东海表层沉积物中TP的变化范围为10.50 ~ 24.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$,由此估算出TP的埋藏通量的范围为0.82 ~ 15.46 $\mu\text{mol}\cdot(\text{a}\cdot\text{cm}^2)^{-1}$. 只有8个站位的TP的埋藏通量高于10 $\mu\text{mol}\cdot(\text{a}\cdot\text{cm}^2)^{-1}$,都分布在东海(图4).

3 讨论

3.1 影响因素

近海沉积物中有机和无机磷主要来源于河流的输送^[24],河流所携带的含磷物质进入海洋后,经过一系列物理、化学和生物的作用,最终埋藏在沉积

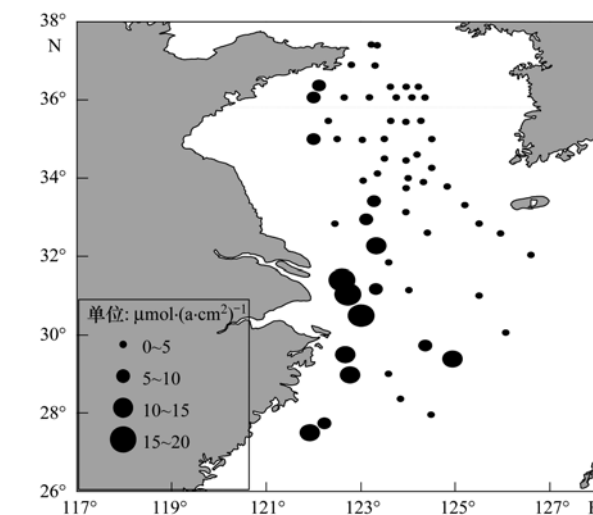


图4 表层沉积物中总磷的埋藏通量TPBF

Fig. 4 TP burial flux in surface sediments

物中^[25],但是其中大部分的磷会在河口和陆架区域被捕获,并不会到达大洋^[26]. 位于长江口附近的站

位,沉积物中 TP 和 IP 均出现高值,呈现从长江口往外海含量逐渐递减的趋势,这种变化与水体中磷酸盐浓度、颗粒态磷的浓度、表层海水中叶绿素 a 的含量以及初级生产力都具有致性^[25, 27~30],表明该区域受长江冲淡水的影响显著.长江口附近较高的 TP 和 IP 含量主要来源于长江输送的陆源泥沙,长江流域沉积物中 TP 和 IP 的平均含量分别为 $19.6 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $18 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[31].

粒度是影响沉积物中磷含量的重要因素.一般认为,沉积物粒度越小,比表面积越大,吸附能力越强,磷含量越高^[1, 32].陆架泥质区是陆源河流入海物质的聚集“汇”^[33].闽浙沿岸是典型的泥质区域(图 2),被认为是来源于长江的细颗粒物沉积而成^[34],沉积物主要以黏土或者粉砂为主,具有很强的吸附能力,造成了该区域各形态磷出现高值,其中 TP、IP 和 OP 含量分别高达 16、13 和 $3.5 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上.安明梅等^[35]报道,闽浙沿岸区域表层沉积物中 OP 含量与表层沉积物粒度存在显著正相关.

对于南黄海中部北部的 TP 和 OP 高值区,沉积物的来源被认为是现代黄河物质进入南黄海后由于沉积环境的变化,很少量物质会在渤海沿岸流的影响下向成山头的南面或者东南方向扩散,扩散范围东部以黄海暖流(YSWC)为界,南部则会到达 35°N 左右^[36];该区域沉积物的沉积环境、物源和沉积作用一直处于稳定状态^[37, 38];此区域是一个冷涡泥质区^[9, 16, 17](图 2),水动力条件较弱,底层水体温度较低,是一个还原性的沉积环境^[14, 39, 40],使得进入该泥质区的有机质易于保存.另外,沉积物在到达黄海中部泥质区之前,经历了一个长距离的搬运和输送过程,由于动力沉积作用,由陆源输送带来的粗颗粒物会沉积在近岸海域,不能到达黄海中部,只有细颗粒物才会通过渤海沿岸流输送到该区域,同时该区域存在气旋式涡旋、弱的潮流以及水体分层现象,使得输送到此的细颗粒物能够沉降海底不断积累^[7, 41].春季该海域真光层中叶绿素 a 含量和初级生产力较高^[42],浮游动物生物量较高,导致了富含有机质的生物体以及排泄物向海底的不断沉降;该海域持续、稳定上升流的存在为上层水体提供了丰富的营养物质,反过来促进了浮游生物的生长,为富含有机质的碎屑向海底沉积提供了海源的保证^[14].

济州岛西南泥质区附近,沉积物中各形态磷的含量均出现低值,这与水体中磷酸盐含量相对应,该海域受黑潮水影响,磷酸盐含量较低^[27, 30].济州岛

西南泥质区的沉积物主要是来自黄河的陆源物质^[43, 44],通过黄海沿岸流(YSCC)输送而来^[43, 45, 46];还有少量长江物质以及泥质区周边(包括东海陆架残留沉积区和现代滨海沉积区)的再悬浮物质^[33](图 2).同时现代苏北古黄河三角洲受潮流和沿岸流的强烈侵蚀作用,物质会向东南方向搬运,在长江口受台湾暖流(TWC)和长江冲淡水的顶托作用改为向东搬运(图 2),最终在济州岛西南气旋型涡旋区沉降^[36],该涡旋被称为“东海冷涡”^[47].海底表层沉积物在冷涡持续涌升的作用下会不停地发生沉降和再悬浮,使得沉积物中的生源要素释放进入水体^[48],底层水营养盐含量升高,因此沉积物中的各形态磷含量较低.

3.2 IP 占 TP 的百分比

无机磷在总磷中所占的百分比是研究磷的生物地球化学的另一个重要的参数.由图 3 中可以看出,大部分站位的 IP 与 TP 的比值在 50%~90%之间,只有 4 个站位的比值高于 90%.

比值在 50%~60%之间的站位主要位于南黄海北部的 H 断面和 N 断面以及 A03、B05 和 B06 站位,这里的物质主要来自于黄河,沉积环境是一个低能的还原性环境,水动力条件弱^[14, 39, 40],物质来源稳定,含有有机磷的细颗粒物进入沉积物后分解较慢^[5],能够不断地积累. C 断面(35°N),位于南黄海泥质区中部,这里 IP 占 TP 的百分比介于 60%~70%之间, C02 站位除外.

长江口以及闽浙沿岸的站位,IP 与 TP 的比值介于 70%~80%,该区域物质主要来自长江输送的陆源泥沙,长江流域沉积物中 TP 和 IP 的平均含量分别为 $19.6 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $18 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[31].由于长江流域沉积物和长江口附近水体中 IP 在 TP 中占较高的比重,导致该区域沉积物中 IP 与 TP 的比值也较高.

东海和南黄海南部海域的比值大部分高于 70%,沉积物主要以砂质或者粉砂质为主,由于砂质和粉砂质沉积物氧气比较容易透过,沉积物中氧气渗透深度与泥质区相比较深^[49],OP 在氧气含量高的情况下分解较快,不利于 OP 的保存和积累^[5],导致了 OP 在总磷中比例下降,IP 的比重增加.

3.3 TP 的埋藏通量

东海受长江冲淡水的影响显著,长江每年携带大量的含磷泥沙输入东海,陆源输入对于东海沉积物中磷的积累有重要的作用.沉积速率在长江口附近和闽浙沿岸较高,并且沉积物中总磷含量较高,导

致该区域的埋藏通量较高; 而南黄海沉积速率较低^[21~23], 陆源输入有限, 并且孔隙率高于东海, 埋藏通量较低. 以 N 断面为例, N 断面总磷浓度与长江口附近站位接近, 但是由于孔隙率在 0.6 以上, 明显高于长江口, 同时沉积速率较低, 导致总磷的埋藏通量介于 $0 \sim 5 \mu\text{mol} \cdot (\text{a} \cdot \text{cm}^2)^{-1}$. 东海 C5 和 C6 站, 虽然离岸较远, 但是沉积速率在此高达 $0.5 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[21], 并且总磷浓度分别为 $16.19 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $20.40 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 孔隙率低于 0.5, 导致这两个站位埋藏通量出现高值.

4 结论

(1) 黄东海表层沉积物中 TP、IP 和 OP 的变化范围分别是 $10.50 \sim 24.10$ 、 $7.14 \sim 17.10$ 和 $0.48 \sim 10.42 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值分别是 17.49、12.47 和 $5.03 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$; IP 是 TP 的主要赋存形态, 平均占到 TP 的 70% 以上.

(2) TP、IP 在南黄海中北部、长江口以及闽浙沿岸含量较高, 东海中部海域含量较低, 济州岛西南泥质区附近有最小值. OP 在南黄海北部地区有较高的含量, 向南浓度逐渐减小, 整个东海浓度要低于黄海.

(3) 沉积物中磷的含量和平面分布特征受到人类活动、物质来源、沉积物的粒度、沉积环境和沉积区域的水文条件等多种因素的影响, 其中物质来源、沉积物的粒度和沉积环境是决定性因素, 人类活动、沉积区域的水文条件等因素是非决定性因素.

(4) 黄东海沉积物中总磷的埋藏通量呈现出区域性的差异, 沉积速率和沉积物中总磷的含量是决定埋藏通量大小的关键因素.

致谢: 感谢东方红 2 号和实验 3 号全体船员在航次调查过程中给予的配合; 感谢中国海洋大学海洋生物地球化学实验室全体人员在取样和实验过程中给予的帮助.

参考文献:

- [1] 岳维忠, 黄小平. 近海沉积物中氮磷的生物地球化学研究进展[J]. 台湾海峡, 2003, **22**(3): 407-414.
- [2] Paytan A, McLaughlin K. The oceanic phosphorus cycle [J]. Chemical Reviews, 2007, **107**(2): 563-576.
- [3] Benitez-Nelson C R. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems [J]. Earth-Science Reviews, 2000, **51**(1): 109-135.
- [4] Diaz R J, Rosenberg R. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna [J]. Oceanography and Marine Biology Annual Review, 1995, **33**: 245-303.
- [5] Mort H P, Slomp C P, Gustafsson B G, et al. Phosphorus recycling and burial in Baltic Sea sediments with contrasting redox conditions [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2010, **74**(4): 1350-1362.
- [6] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 河口滨岸潮滩沉积物-水界面 N、P 的扩散通量[J]. 海洋环境科学, 2001, **20**(3): 19-23.
- [7] Dong L X, Guan W B, Chen Q, et al. Sediment transport in the Yellow Sea and East China Sea [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2011, **93**(3): 248-258.
- [8] Milliman J D, Meade R H. World-wide delivery of river sediment to the oceans [J]. Journal of Geology, 1983, **91**(1): 1-21.
- [9] Saito Y, Yang Z S. Historical change of the Huanghe (Yellow River) and its impact on the sediment budget of the East China Sea [A]. In: Iseki K, Tsunogai S, Koike I, et al (Eds.). Proceedings of International Symposium on Global Fluxes of Carbon and its Related Substances in the Coastal-Ocean-Atmosphere System [C]. Sapporo: Hokkaido University, 1994. 7-12.
- [10] 冯强, 刘素美, 张经. 黄、渤海区沉积物中磷的分布[J]. 海洋环境科学, 2001, **20**(2): 24-27, 41.
- [11] 曹文卿, 刘素美. 东、黄海柱状沉积物中有机磷与无机磷的含量与分布研究[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2010, **40**(1): 69-74.
- [12] Liu S M, Zhang J, Li D J. Phosphorus cycling in sediments of the Bohai and Yellow Seas [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, **59**(2): 209-218.
- [13] 宋金明, 李学刚, 邵君波, 等. 南黄海沉积物中氮、磷的生物地球化学行为[J]. 海洋与湖沼, 2006, **37**(4): 370-376.
- [14] 韦钦胜, 王保栋. 南黄海冷水团海域及西部近岸区表层沉积物中碳、氮、磷的分布特征及其生态学指示意义[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(7): 1697-1707.
- [15] 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.
- [16] Bian C W, Jiang W S, Qi Q, et al. Distributions of suspended sediment concentration in the Yellow Sea and the East China Sea based on field surveys during the four seasons of 2011 [J]. Journal of Marine Systems, 2013, **121-122**: 24-35.
- [17] Yuan D L, Zhu J R, Li C Y, et al. Cross-Shelf circulation in the Yellow and East China Seas indicated by MODIS satellite observations [J]. Journal of Marine Systems, 2008, **70**(1-2): 134-149.
- [18] 戴纪翠, 宋金明, 李学刚, 等. 人类活动影响下的胶州湾近百年环境演变的沉积记录[J]. 地质学报, 2006, **80**(11): 1170-1178.
- [19] Song J M, Luo Y X, Lü X X, et al. Forms of phosphorus and silicon in the natural grain size surface sediments of the southern Bohai Sea [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2003, **21**(3): 286-292.
- [20] Ingall E, Jahnke R. Evidence for enhanced phosphorus

- regeneration from marine sediments overlain by oxygen depleted waters [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, **58**(11): 2571-2575.
- [21] 李军, 胡邦琦, 窦衍光, 等. 中国东部海域泥质沉积区现代沉积速率及其物源控制效应初探[J]. *地质论评*, 2012, **58**(4): 745-756.
- [22] 胡邦琦, 李国刚, 李军, 等. 黄海、渤海铅-210 沉积速率的分布特征及其影响因素[J]. *海洋学报(中文版)*, 2011, **33**(6): 125-133.
- [23] 李凤业, 高抒, 贾建军, 等. 黄、渤海泥质沉积区现代沉积速率[J]. *海洋与湖沼*, 2002, **33**(4): 364-369.
- [24] Küster-Heins K, Steinmetz E, De Lange G J, *et al.* Phosphorus cycling in marine sediments from the continental margin off Namibia [J]. *Marine Geology*, 2010, **274**(1-4): 95-106.
- [25] 郑丽波, 叶瑛, 周怀阳, 等. 东海特定海区表层沉积物中磷的形态、分布及其环境意义[J]. *海洋与湖沼*, 2003, **34**(3): 274-282.
- [26] Ruttenberg K C. Reassessment of the oceanic residence time of phosphorus [J]. *Chemical Geology*, 1993, **107**(3-4): 405-409.
- [27] Chen C T A. Distributions of nutrients in the East China Sea and the South China Sea connection [J]. *Journal of Oceanography*, 2008, **64**(5): 737-751.
- [28] 王修林, 孙霞, 韩秀荣, 等. 2002 年春、夏季东海赤潮高发区营养盐结构及分布特征比较[J]. *海洋与湖沼*, 2004, **35**(4): 323-331.
- [29] 王作华, 石晓勇, 张传松, 等. 黄、东海夏季叶绿素 a 分布特征的初步探讨[J]. *渔业科学进展*, 2009, **30**(2): 120-126.
- [30] 林志裕, 童金炉, 陈敏, 等. 夏季黄、东海初级生产力的分布及其变化[J]. *同位素*, 2011, **24**(Z1): 95-101.
- [31] Rao J L, Berner R A. Time variations of phosphorus and sources of sediments beneath the Chang Jiang (Yangtze River) [J]. *Marine Geology*, 1997, **139**(1): 95-108.
- [32] Salomons W, Gerritse R G. Some observations on the occurrence of phosphorus in recent sediments from Western Europe [J]. *Science of the Total Environment*, 1981, **17**(1): 37-49.
- [33] 杨作升, 范德江, 郭志刚, 等. 东海陆架北部泥质区表层沉积物碳酸盐粒级分布与物源分析[J]. *沉积学报*, 2002, **20**(1): 1-6.
- [34] 孙效功, 方明, 黄伟. 黄、东海陆架区悬浮体运输的时空变化规律[J]. *海洋与湖沼*, 2000, **31**(6): 581-587.
- [35] 安明梅, 王益鸣, 郑爱榕. 浙江近岸海域表层沉积物中磷的存在形态及其分布特征[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2012, **51**(1): 77-83.
- [36] 蓝先洪, 张训华, 张志珣. 南黄海沉积物的物质来源及运移研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2005, **36**(4): 53-60.
- [37] 赵一阳, 李凤业, 秦朝阳, 等. 试论南黄海中部泥的物源及成因[J]. *地球化学*, 1991, **20**(2): 112-117.
- [38] 王中波, 杨守业, 李从先. 南黄海中部沉积物岩芯常量元素组成与古环境[J]. *地球化学*, 2004, **33**(5): 483-490.
- [39] 李凤业, 史玉兰, 申顺喜, 等. 同位素记录南黄海现代沉积环境[J]. *海洋与湖沼*, 1996, **27**(6): 584-589.
- [40] 石学法, 申顺喜, Yi H I, 等. 南黄海现代沉积环境及动力沉积体系[J]. *科学通报*, 2001, **46**(Z1): 1-6.
- [41] Hu D X. Upwelling and sedimentation dynamics I. The role of upwelling in sedimentation in the Huanghai Sea and East China Sea—a description of general features [J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 1984, **2**(1): 12-19.
- [42] 宋金明. 中国近海生物地球化学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004. 229-230.
- [43] Milliman J D, Beardsley R C, Yang Z S, *et al.* Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms [J]. *Continental Shelf Research*, 1985, **4**(1-2): 175-188.
- [44] Demaster D J, McKee B A, Nitrouer C A, *et al.* Rates of sediment accumulation and particle reworking based on radiochemical measurements from continental shelf deposits in the East China Sea [J]. *Continental Shelf Research*, 1985, **4**(1-2): 143-158.
- [45] 向荣, 杨作升, 郭志刚, 等. 济州岛西南泥质区粒度组分变化的古环境应用[J]. *地球科学-中国地质大学学报*, 2005, **30**(5): 582-588.
- [46] 郭志刚, 杨作升, 王兆祥. 黄、东海海域水团发育对底质沉积物分布的影响[J]. *青岛海洋大学学报(自然科学版)*, 1995, **25**(1): 75-84.
- [47] 王刚, 兰健, 孙双文. 东海冷涡中心位置及季节性变化的初步研究[J]. *地球科学进展*, 2010, **25**(2): 184-192.
- [48] 王丕波, 宋金明, 郭占勇, 等. 海洋表层沉积物再悬浮的诱因及其对生源要素循环的影响[J]. *海洋科学*, 2005, **29**(10): 77-80.
- [49] Deek A, Emeis K, Van Beusekom J. Nitrogen removal in coastal sediments of the German Wadden Sea [J]. *Biogeochemistry*, 2012, **108**(1-3): 467-483.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

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