

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第8期

Vol.34 No.8

**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

2006~2009年我国超大城市霾天气特征及影响因子分析 ..... 戴永立,陶俊,林泽健,谢绍东,曹军骥,张仁健(2925)  
南京北郊秋季 VOCs 及其光化学特征观测研究 ..... 李用宇,朱彬,安俊琳,高晋徽,夏丽,张祥志,秦玮,汤莉莉(2933)  
大气 PM<sub>2.5</sub> 中水溶性离子在线观测技术的应用研究 ..... 程萌田,潘月鹏,王辉,刘全,王跃思(2943)  
一种纳米气溶胶发生系统的设计及性能测试 ..... 麦华俊,蒋靖坤,何正旭,郝吉明(2950)  
焦炉顶和厂区环境中有机碳和元素碳的粒径分布 ..... 刘效峰,彭林,白慧玲,牟玲,宋耕芳(2955)  
昼夜增温对大豆田土壤 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 胡正华,周迎平,崔海玲,陈书涛,肖启涛,刘艳(2961)  
不同土地利用方式下冬季 N<sub>2</sub>O 排放及其影响因素 ..... 伍延正,张苗苗,秦红灵,侯海军,陈春兰,魏文学(2968)  
基于支持向量回归模型的水稻田甲烷排放通量预测研究 ..... 陈强,蒋卫国,陈曦,袁丽华,王文杰,潘英姿,王维,刘孝富,刘海江(2975)  
夏季黄海和渤海微表层和次表层海水中营养盐的分布特征 ..... 王文涛,杨桂朋,于娟,吴冠伟(2983)  
氮磷浓度对东海原甲藻优势种群吸附 BDE28 和 BDE47 的影响 ..... 汪芳,葛蔚,柴超,孟祥霞(2992)  
基于光学分类的太湖水体叶绿素 a 浓度高光谱遥感 ..... 孙德勇,周晓宇,李云梅,陈晓玲,黄昌春,龚绍琦(3002)  
基于浮游细菌生物完整性指数的河流生态系统健康评价——以滇池流域为例 ..... 黄艺,舒中亚(3010)  
珠江三角洲城市非点源 COD 影响因素分析及其负荷估算 ..... 廖义善,卓慕宁,李定强,郭太龙(3019)  
珠江流域河流碳输出通量及变化特征 ..... 张连凯,覃小群,杨慧,黄奇波,刘朋雨(3025)  
三峡库区兰陵溪小流域养分流失特征 ..... 曾立雄,肖文发,黄志霖,王佐庆(3035)  
三峡库区消落带典型草本植物淹水浸泡后可溶性有机碳的释放特征 ..... 谭秋霞,朱波,花可可(3043)  
混合层深度对藻类生长的影响研究 ..... 陈洋,杨正健,黄钰铃,张平,刘德富(3049)  
伊乐藻-氮循环菌联用对太湖梅梁湾水体脱氮的研究 ..... 赵琳,李正魁,周涛,吴宁梅,叶忠香,刘丹丹(3057)  
组合型生态浮床对上覆水和沉积物之间氮磷的影响 ..... 郑立国,杨仁斌,王海萍,宋建军(3064)  
生物炭覆盖对底泥污染物释放的影响 ..... 李扬,李锋民,张修稳,吴召富,于辉(3071)  
东莞石马河流域重金属污染及生态毒性的时空差异 ..... 高磊,陈建耀,柯志庭,王江,杨雪韵,清水裕太(3079)  
连环湖牙门气泡沉积物重金属演化 and 污染研究 ..... 肖海丰,臧淑英,关莹,刘少军,徐海凤,孙清展,王京京,李苗(3088)  
人工湿地净化工业区含非污染降雨径流的效果研究 ..... 敬丹丹,王金泉,马邕文,李东亚,王艳,黄明智(3095)  
四环素抗性基因在人工湿地中的去除及累积 ..... 郑加玉,刘琳,高大文,刘超翔(3102)  
不确定节点水量下水质监测点优化选址方法 ..... 刘书明,吴雪,欧阳乐岩(3108)  
饮用水中含氮消毒副产物三氯硝基甲烷的形成过程和影响因素 ..... 丁春生,邹邦文,缪佳,傅洋平,沈嘉辰(3113)  
漆酶催化氧化水中雌激素的研究 ..... 夏青,谢卫平,刘国强,廖云燕,王斌楠,孔德洋,陆隽鹤(3119)  
碳纳米管电极电还原降解水中头孢他啶 ..... 朱宏,胡翔,李俊峰(3125)  
UV-vis 光照下唑类抗菌药氟康唑的光化学反应类型 ..... 葛林科,李凯,杨凯,那广水,于春艳,张蓬,姚子伟(3132)  
氙灯/TiO<sub>2</sub> 体系下敌草隆光催化降解动力学的研究 ..... 阳海,曾健,黎源,阳立平,易兵(3137)  
羟基磷灰石对水中刚果红的吸附作用研究 ..... 詹艳慧,林建伟(3143)  
乙醇处理对树脂基纳米水合氧化铁结构及其除砷性能的影响 ..... 万琪,李旭春,潘丙才(3151)  
污水中溶解性有机氮类化合物的氯化反应特性及其消毒副产物生成潜能 ..... 刘冰,于鑫,余国忠,古励,赵承美,翟慧敏,李清飞(3156)  
短程深度脱氮中试工艺的低温启动和维持 ..... 顾升波,王淑莹,彭永臻(3164)  
生物活性炭厌氧氨氧化反应器启动过程研究 ..... 赖玮毅,周伟丽,何圣兵(3171)  
东北三省畜禽养殖类固醇激素排放及其潜在污染风险 ..... 刘妹芳,李艳霞,张雪莲,冯成洪,鲁肖飞,杨明,李帷,朱铁群,黄泽春(3180)  
淮河流域土壤中全氟化合物的空间分布及组成特征 ..... 孟晶,王铁宇,王佩,吕永龙(3188)  
华北平原典型区土壤氟的形态及其分布特征 ..... 易春瑶,汪丙国,靳孟贵(3195)  
长期施磷的产量效应及其环境风险评价 ..... 颜晓,王德建,张刚,冉景,郑继成(3205)  
污灌渠中有机氯农药对沿渠土壤的影响 ..... 徐亮,张彩香,刘敏,廖小平,姚林林,李佳乐,向青清(3211)  
表面活性剂及其组合洗脱污染土壤中的硫丹 ..... 熊佰炼,郑国灿,张进忠,邢曠,徐卫红(3216)  
黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响 ..... 赵彤,蒋跃利,闫浩,黄懿梅,安韶山(3223)  
氮素添加对樟树林红壤微生物的影响 ..... 郁培义,朱凡,宿少锋,王志勇,闫文德(3231)  
医疗废物焚烧炉周边环境介质中二噁英的浓度、同系物分布与来源分析 ..... 黄文,张素坤,杜国勇,张漫雯,冯桂贤,任明忠(3238)  
固相萃取和固相萃取评价多环芳烃降解过程中的生物有效性变化 ..... 郭美霞,巩宗强,李晓军,刘丹,王悦(3244)  
改良型固定化 *Pseudomonas oleovorans* DT4 降解四氢呋喃的研究 ..... 邵钱,叶杰旭,欧阳杜娟,陈建孟,陈东之(3251)  
PCR-DGGE 技术解析固体碳源表面生物膜的微生物群落结构 ..... 徐影,仇天雷,韩梅琳,李军,王旭明(3257)  
温度对嗜酸性硫杆菌活性和生物成因次生铁矿物形成的影响 ..... 宋永伟,赵博文,霍敏波,崔春红,周立祥(3264)  
小白菜对外源硝酸盐和亚硝酸盐动态吸收的差异及其机制研究 ..... 郭璐,满楠,梁东丽,谢钧宇,刘娟娟(3272)  
预处理对打捆麦秸贮存和厌氧生物产沼气的的影响 ..... 马慧娟,陈广银,杜静,常志州,叶小梅(3280)  
硝酸盐对淡水水生生物毒性及水质基准推导 ..... 张铃松,王业耀,孟凡生,周岳溪,于海斌(3286)  
生物毒性测试微孔板 MTOXPlate 的分析性能研究 ..... 林奕云,张国霞,贺丽苹,孙国萍,许玫英(3294)  
两种实验设计研究 DES 和 EV 对 MCF-7 细胞增殖的联合作用 ..... 刘倩,雷炳莉,安静,尚羽,钟玉芳,康佳,文育(3303)  
中国近海海洋环境多氯联苯 (PCBs) 污染现状及影响因素 ..... 刘敏霞,杨玉义,李庆孝,王俊(3309)  
城市污水处理厂出水中的药品和个人护理品 ..... 郑少奎,李晓峰(3316)  
生物炭封存技术的研究进展 ..... 姜志翔,郑浩,李锋民,王震宇(3327)  
饮用水水源地严格管理水质的对策分析——对实行严格水资源管理问题上的看法和建议 ..... 傅国伟(3334)  
《环境科学》征稿简则(2967) 《环境科学》征订启事(3034) 信息(3063,3136,3194,3302)

# 淮河流域土壤中全氟化化合物的空间分布及组成特征

孟晶<sup>1,2</sup>, 王铁宇<sup>1\*</sup>, 王佩<sup>1,2</sup>, 吕永龙<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为了阐明淮河流域土壤中全氟化合物(PFCs)的暴露特征和潜在来源, 2008年10月在淮河安徽段共采集了18个表层土壤样品, 通过离子燃烧色谱(CIC)测定总氟(TF)和可提取有机氟(EOF), 以及采用高效液相色谱/质谱联用(HPLC/MS-MS)分析了16种PFCs, 其中11种PFCs有不同程度的检出. PFCs含量为n. d. ~1.22 ng·g<sup>-1</sup>, 其中全氟辛酸(PFOA)、全氟壬酸(PFNA)和全氟辛烷磺酸(PFOS)是主要的PFCs. 在这些土壤样品中, PFCs含量相差不大, 但组成不一, 主要来源于周边小型化工厂的排放以及大气的干湿沉降. 利用氟原子质量平衡原理, 分析得出PFCs占EOF比例为0.3%, EOF占TF比例为0.02%, 一方面说明除PFCs外仍有很大一部分可提取有机氟难以定性和定量, 且离子态氟及未提取出的有机氟是TF的主要成分, 另一方面受现有标准物质和检测技术限制, 尚不能完全甄别和分析出PFCs的含量及未知的有机氟.

**关键词:** 全氟化合物; 土壤; 质量平衡; 总氟; 有机氟; 淮河

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)08-3188-07

## Spatial Distribution and Composition of Perfluorinated Compounds in Soils Around the Huaihe River

MENG Jing<sup>1,2</sup>, WANG Tie-yu<sup>1</sup>, WANG Pei<sup>1,2</sup>, LÜ Yong-long<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In order to analyze the occurrence and composition of perfluorinated compounds (PFCs), 18 topsoil samples were collected around the Huaihe River in October, 2008. Total fluoride (TF) and extractable organic fluorine (EOF) were determined using combustion ion chromatography (CIC), and PFCs were quantified by HPLC/MS-MS. Among the sixteen PFCs analyzed, eleven PFCs were detected. Concentrations of PFCs ranged from n. d. to 1.22 ng·g<sup>-1</sup>, and perfluorooctanoic acid (PFOA), perfluorononanoic acid (PFNA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) were the predominant PFCs. Concentrations of PFCs showed no significant difference, but compositions varied from soil to soil. PFCs mainly came from emissions of local small chemical plants and atmospheric dry and wet deposition. The results from mass balance analysis indicated that PFCs only accounted for 0.3% of EOF and EOF comprised 0.02% of TF. There was still a large amount of organic fluorine besides PFCs, and inorganic fluorine and non-extractable organic fluorine comprised the major portion of TF. Furthermore, the current analysis method could not detect all kinds of PFCs and related unknown organic fluorine.

**Key words:** perfluorinated compounds(PFCs); soils; mass balance; total fluoride(TF); extractable organic fluorine(EOF); Huaihe River

全氟化合物(perfluorinated compounds, PFCs)具有独特的性质, 如表面活性高、耐热性、耐酸性、疏水性和疏脂性, 因此具有非常广泛的应用: 在工业上, 可以作为聚合物、表面活性剂、润滑剂和农药; 在商业上, 可以用作纺织涂料、不粘涂料、去污剂、食品包装和消防泡沫等<sup>[1]</sup>. 同时, PFCs以其环境持久性、毒性大、生物蓄积性强等特性, 现已成为科学界和政府关注的热点. 2009年, 《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》将全氟辛烷磺酸(perfluorooctane sulfonate, PFOS)及其盐类列入持久性有机污染物(POPs)优控名单<sup>[2]</sup>. 土壤中PFCs能够通过挥发、扩散、渗漏进入大气、地表水和地下水, 也可以通过生物蓄积和食物链威胁动植物和人体的健康. 目前, 国内对流域PFCs的研究主要集中在

在水体、沉积物以及生物等介质<sup>[3-5]</sup>, 而对土壤环境中PFCs的研究甚少<sup>[6, 7]</sup>. 随着经济社会的快速发展, 淮河流域有机污染物的环境问题越来越严重. 淮河流域除了农业非点源污染外, 造纸、化工、皮革等高污染行业依旧是当地的主要产业. 因此, 本研究通过对淮河流域表层土壤进行采样分析, 探讨了土壤中PFCs、总氟(total fluoride, TF)和可提取有机氟(extractable organic fluorine, EOF)的含量和

收稿日期: 2012-11-19; 修订日期: 2013-01-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171394, 41071355); 国家科技基础性工作专项重点项目(2013FY111100); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-TZ-12)

作者简介: 孟晶(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为新型POPs区域风险评价与环境管理, E-mail: sea-mengjing@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: wangty@rcees.ac.cn

空间分布,利用质量平衡原理分析了 TF、EOF 和 PFCs 结构组成关系,并进行来源识别,以期为淮河流域的管理和土壤修复提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2008 年 10 月在安徽段淮河干流、颍河、淝河、西淝河、东淝河、涡河等支流流域采集 18 个表土样品,样点分布见图 1。每一土样将 5 m × 5 m 面积内四周及中间的 5 份表层土壤(0 ~ 20 cm)混匀,用甲醇清洗过的不锈钢铲子采集,装入聚丙烯塑料袋中送回实验室,风干,过 2 mm 网筛,储存在玻璃瓶中备用。

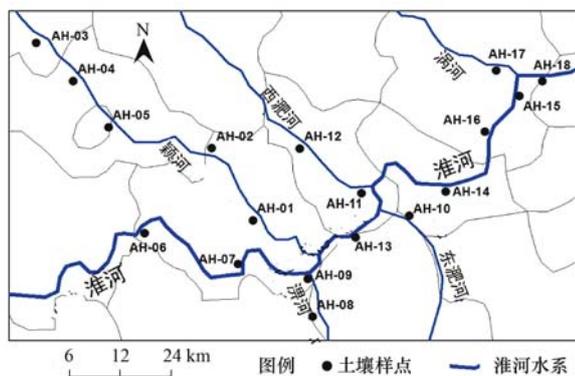


图 1 淮河流域周边区域及土壤采样点

Fig. 1 Soil sampling area and sites around the Huaihe River

### 1.2 主要试剂与仪器

16 种 PFCs 分别为:全氟丁酸(perfluorobutanoic acid, PFBA)、全氟戊酸(perfluoropentanoic acid, PFPeA)、全氟己酸(perfluorohexanoic acid, PFHxA)、全氟庚酸(perfluoroheptanoic acid, PFHpA)、全氟辛酸(perfluorooctanoic acid, PFOA)、全氟壬酸(perfluorononanoic acid, PFNA)、全氟癸酸(perfluorodecanoic acid, PFDA)、全氟十一酸(perfluoroundecanoic acid, PFUDA)、全氟十二酸(perfluorododecanoic acid, PFDoA)、全氟丁基磺酸(perfluorobutane sulfonate, PFBS)、全氟己基磺酸(perfluorohexane sulfonate, PFHxS)、全氟辛基磺酸(perfluorooctane sulfonate, PFOS)、全氟癸基磺酸(perfluorodecane sulfonate, PFDS)、全氟乙基辛基酰胺乙醇(2-N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamido-ethanol, N-EtFOSE)、全氟甲基辛基酰胺乙醇(2-N-methylperfluoro-1-octanesulfonamido-ethanol, N-MeFOSE)、全氟辛基磺胺(perfluoro-1-octanesulfonamide, FOSA)。5 种 PFCs 同位素标记物

为:PFBA(1,2,3,4<sup>13</sup>C)、PFOA(1,2,3,4<sup>13</sup>C)、PFNA(1,2,3,4,5<sup>13</sup>C)、PFDA(1,2<sup>13</sup>C)和 PFOS(1,2,3,4<sup>13</sup>C)。PFCs 及同位素标记物纯度 > 98% (Wellington 实验室,加拿大)。色谱级甲醇、四丁基硫酸氢铵(TBAHS)、甲基叔丁基醚(MTBE)和醋酸钠(J. T. Baker 公司,美国)。分析级硫代硫酸钠(EMD 公司,美国)。

SPE 小柱(Oasis WAX, Waters 公司,美国)中填充了混合型弱阴离子交换反相吸附剂聚苯乙烯/二乙烯苯-氨(PS/DVB-NH<sub>2</sub>)。高效液相色谱(Agilent 1200 型,美国)/质谱(SCIEX 3000 型,美国)联用仪(HPLC/MS-MS)。

### 1.3 样品预处理

称取 0.2 g 土样通过离子燃烧色谱(combustion ion chromatography, CIC)分析 TF 的含量<sup>[8]</sup>。另外称取 2.5 g 样品置于 50 mL 聚丙烯离心管中,加入 2 mL 高纯水混匀,然后依次加入 0.5 mol·L<sup>-1</sup> TBAHS 溶液 1 mL、25 mmol·L<sup>-1</sup> 醋酸钠溶液 2 mL 和 100 μg·L<sup>-1</sup> 的内标 100 μL 涡轮混匀。随后加入 5 mL 的 MTBE 溶液,振荡 20 min, 3 500 r·min<sup>-1</sup> 离心 20 min,取上层清液于另一 15 mL 离心管中,重复上述步骤 2 次,共收集 15 mL 的 MTBE 溶液。高纯氮气吹干,加入 1 mL 甲醇,其中 0.2 mL 用于 CIC 检测 EOF<sup>[8]</sup>,剩余 0.8 mL 转入 50 mL 离心管中,用超纯水定容至 50 mL。采用固相萃取法,用 4 mL 0.1% 的氨水/甲醇溶液、4 mL 甲醇、4 mL 高纯水对 SPE 小柱进行活化,然后将处理好的 MTBE 溶液通过 SPE 小柱,使溶液中的 PFCs 吸附在 SPE 柱上,再用 20 mL 高纯水和 4 mL 25 mmol·L<sup>-1</sup> 醋酸钠淋洗。而后用 4 mL 甲醇和 4 mL 0.1% 氨水/甲醇溶液洗脱。高纯氮气吹至 0.5 mL,进行 HPLC/MS-MS 检测<sup>[7]</sup>。

### 1.4 液相色谱/质谱条件

HPLC/MS-MS 联用仪。色谱条件:流动相为 2 mmol·L<sup>-1</sup> 醋酸铵和乙腈,柱温 30℃,保留时间 40 ms,流速 0.3 mL·min<sup>-1</sup>,进样量 10.0 μL。质谱条件:电喷雾电离负源,雾化温度 450℃,辅助气(N<sub>2</sub>)流量 5 L·min<sup>-1</sup>,毛细管电压 3 500 V。

### 1.5 质量控制及保证

样品在采集过程中采用的是聚丙烯材料的塑料袋,分析过程中严格控制并避免了含氟材料的使用。同时,所有的实验容器和装置在使用前均用超纯水和甲醇进行了前处理。为保证数据的可靠性,分析中包括了场地空白、运输空白、程序空白等操作,所有处理空白均未超过检测限,分析标准偏差均在

允许范围内(  $\pm 20\%$  )。

外标法定量,信噪比为 3:1,方法的最低检测限

为  $0.03 \sim 0.30 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ,样品的加标回收率为(75%

$\pm 8\%$ )  $\sim$  (107%  $\pm 12\%$ ),见表 1。

表 1 PFCs 的检测限、回收率和检出率

Table 1 Detection limits, recoveries and detection rates of PFCs

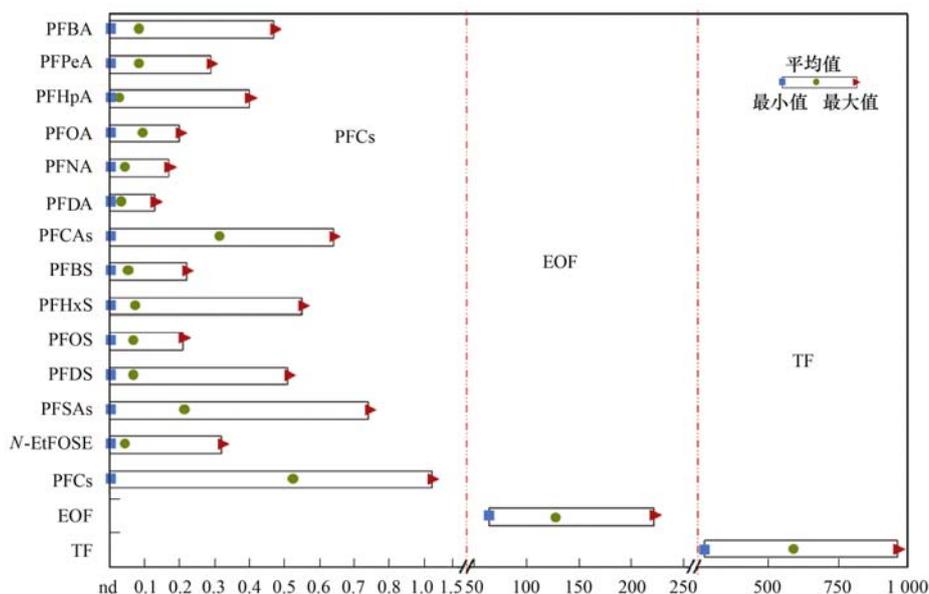
分析物	检测限/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	回收率/%	检出率/%
全氟丁酸 (perfluorobutanoic acid, PFBA)	0.21	$76 \pm 7$	16.7
全氟戊酸 (perfluoropentanoic acid, PFPeA)	0.03	$94 \pm 11$	27.8
全氟己酸 (perfluorohexanoic acid, PFHxA)	0.09	$83 \pm 5$	0
全氟庚酸 (perfluoroheptanoic acid, PFHpA)	0.24	$96 \pm 10$	5.6
全氟辛酸 (perfluorooctanoic acid, PFOA)	0.11	$89 \pm 3$	55.6
全氟壬酸 (perfluorononanoic acid, PFNA)	0.09	$92 \pm 5$	33.3
全氟癸酸 (perfluorodecanoic acid, PFDA)	0.09	$86 \pm 4$	11.1
全氟十一酸 (perfluoroundecanoic acid, PFUdA)	0.15	$88 \pm 8$	0
全氟十二酸 (perfluorododecanoic acid, PFDoA)	0.09	$92 \pm 7$	0
全氟丁基磺酸 (perfluorobutane sulfonate, PFBS)	0.09	$76 \pm 9$	16.7
全氟己基磺酸 (perfluorohexane sulfonate, PFHxS)	0.30	$94 \pm 8$	11.1
全氟辛基磺酸 (perfluorooctane sulfonate, PFOS)	0.09	$97 \pm 9$	33.3
全氟癸基磺酸 (perfluorodecane sulfonate, PFDS)	0.21	$95 \pm 11$	11.1
全氟乙基辛基酰胺乙醇(2-N-ethylperfluoro-1-octanesulfonamido-ethanol, N-EtFOSE)	0.24	$85 \pm 6$	5.6
全氟甲基辛基酰胺乙醇(2-N-methylperfluoro-1-octanesulfonamido-ethanol, N-MeFOSE)	0.27	$75 \pm 8$	0
全氟辛基磺胺(perfluoro-1-octanesulfonamide, FOSA)	0.10	$107 \pm 12$	0

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤中 PFCs 的含量

土壤样品中所检测的 16 种 PFCs 中,共 11 种 PFCs (除 PFHxA、PFUdA、PFDoA、N-MeFOSE、FOSA 外)有不同程度的检出,其中 PFOA、PFNA 和 PFOS 检出率较高,是主要的 PFCs,含量分别为  $\text{n. d} \sim 0.20$ 、 $\text{n. d.} \sim 0.17$  和  $\text{n. d.} \sim 0.21 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$  (图 2)。在中国几大流域的 PFCs 含量分布中,无

论是水体、土壤还是沉积物<sup>[9-12]</sup>,PFOA 和 PFOS 均是检出水平较高的 PFCs,表明中国各环境介质中 PFOA 和 PFOS 的来源最多,分布最广,因此相关研究也较多<sup>[13, 14]</sup>。本研究中浓度最高的 PFCs 是 PFHxS,最高浓度达  $0.55 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ,这表明除了 PFOA、PFNA 和 PFOS 这 3 种主要 PFCs 外,其它一些 PFCs 在环境监测和风险评估中也应得到足够重视。土壤中 PFCs 含量为  $\text{n. d.} \sim 1.22 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。在已检出的 PFCs 中,各 PFCs 的检出率相对较低,



PFCs、EOF 的含量以  $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$  表示,TF 的含量以  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  表示

图 2 PFCs、EOF 和 TF 含量

Fig. 2 Concentrations of PFCs, EOF and TF

含量差别不大. 全氟羧酸 (perfluorocarboxylates, PFCAs) 相比全氟磺酸 (perfluorosulfonates, PFSA) 暴露水平相对高一些, 平均含量分别为  $0.30 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$  和  $0.20 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ .

在分析淮河土壤 PFCs 的基础上, 进一步将 PFCs 含量与全国其它研究地区的数据进行对比 (表 2) [6, 7, 11, 15, 16]. 结果表明, 淮河流域土壤 PFCs 暴露水平整体低于国内其它地区, 尤其是上海. 上海地

区 PFCs 含量高达  $14.31 \sim 61.32 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 是淮河流域 PFCs 含量的 50 倍之多. 该结果可能与不同地区的工业发展水平及产业结构有关 [17]. 上海作为我国经济发展最快的地区, 无论是点源 (如化工区、污水处理厂) 还是面源 (如生活用品), 都对 PFCs 的污染造成了极大的影响 [18~21]. 而其它开展研究的地区均位于环渤海经济圈, 淮河流域相对这些地区, 工业发展程度偏低.

表 2 土壤中 PFCs 含量与中国其它研究区的对比<sup>1)</sup>/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

Table 2 Comparison of PFCs concentrations in soils from the studied areas in China/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

研究区域	采样时间	PFOS	PFOA	PFCs	文献
官厅水库	2008	n. d. $\sim 0.86$	n. d. $\sim 2.8$	$0.13 \sim 8.5$	[7]
渤海北部	2008	n. d. $\sim 0.702$	n. d. $\sim 0.473$	n. d. $\sim 1.72$	[11]
天津滨海	2008	n. d. $\sim 9.4$	n. d. $\sim 0.93$	$1.3 \sim 11$	[16]
天津	2008	0.99 (均值)	n. d. $\sim 0.51$	$0.02 \sim 2.36$	[15]
上海	2007	$8.58 \sim 10.4$	$3.28 \sim 47.5$	$14.41 \sim 63.62$	[6]
淮河	2008	n. d. $\sim 0.21$	n. d. $\sim 0.20$	n. d. $\sim 1.22$	本研究

1) n. d., 低于检测限的数值

## 2.2 土壤中 PFCs 的空间分布

从图 3 可以看出, 在淮河及其 5 条支流流域的土壤中 PFCs 的含量并没有明显差别. 除 AH-02 和 AH-12 土壤中没有检出 PFCs 外, 其它 16 个土样均有不同程度的 PFCs 检出. AH-01 处 PFCs 的含量最高, 达  $1.22 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ , 可能是受周边化工厂的影响. 在淮河及 5 条支流中, 颍河流域周边土壤中 PFCs 最高, 污染相对较重, 除当地可能存在潜在排放源外, 还可能因为颍河的东南流向以及受当地西北和东南主导风的影响, 在大气干湿沉降的作用下导致其 PFCs 含量较高. 此外, 受当地经营包装、纺织、橡胶和氟材料化工园区的影响, 涡河流域的 AH-17 及淮河流域的 AH-15、16、18 土壤中也含有较高浓度的 PFCs.

从 PFCs 的空间分布格局可以看出, 距离城市较近的土壤中 PFCs 含量偏高. 由于城市工业较发达, 而且人口较多, 不论是点源还是面源污染都比农村区域严重 [22]. 如 AH-01 位于颍上县, 距离县城较近, PFCs 含量最高; 位于阜阳市区附近的 AH-05, 怀远市的 AH-17 也含有较高浓度的 PFCs. 此外, 水闸、渡口处的土壤中 PFCs 含量也明显高于其它区域, 主要是由于交通以及水闸处污染物聚集所致. 如 AH-01、AH-05、AH-15 均位于水闸处, 且 AH-15 有生活污水的排放.

从图 3 土壤 PFCs 的组成可以看出, 各土壤样品中 PFCs 的种类彼此不同, 由此可见其来源途径的不同. 土壤中 PFCs 主要由大气中前驱体转化而来,

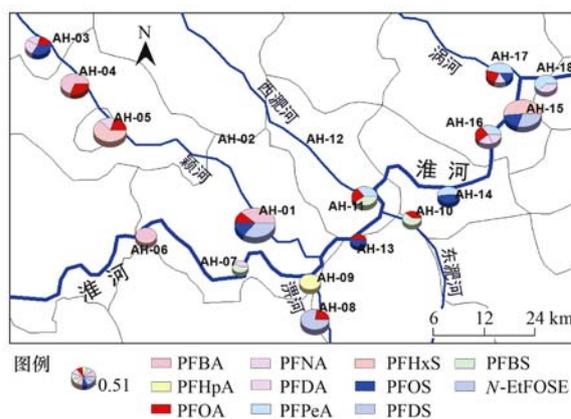


图 3 淮河流域土壤中 PFCs 的空间分布和组成

Fig. 3 Spatial distribution and relative contributions of individual PFCs in soils along the Huaihe River

如氟化调聚物、全氟磺胺类物质. 与此同时, 存在于房屋及街道中的 PFCs 也是土壤中 PFCs 的来源之一 [6]. 尽管有 11 种 PFCs 检出, 但针对每一土壤样点 PFCs 的种类不超过 4 种, 组成比较简单. PFOA 及 PFOS 虽是该流域土壤中主要的 PFCs, 但是两者往往出现在不同的样点, 未表现出相关性, 因此可以基本判定它们有不同的来源途径.

## 2.3 土壤中氟原子的质量平衡

本研究中 TF 和 EOF 的含量以  $\text{F}^-$  含量来表示, 为了便于对比分析, PFCs 的含量也折算为  $\text{F}^-$  含量 ( $c_{\text{F}}, \text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ ), 计算公式如下 [23]:

$$c_{\text{F}} = \frac{nM_{\text{F}}}{M_{\text{PFC}}} c_{\text{PFC}}$$

式中,  $c_{PFC}$  是指 PFC 含量 ( $ng \cdot g^{-1}$ ),  $M_{PFC}$  是相应 PFC 的相对分子质量,  $n$  是 PFC 中 F 的个数,  $M_F$  是 F 的相对原子质量 ( $g \cdot mol^{-1}$ ).

分析表明, 土壤 PFCs 中  $F^-$  含量为 n. d.  $\sim 0.79 ng \cdot g^{-1}$ , EOF 中  $F^-$  含量为  $67.4 \sim 225.5 ng \cdot g^{-1}$ , TF 中  $F^-$  含量为  $270\ 117 \sim 949\ 866 ng \cdot g^{-1}$  (图 2). PFCs 仅占到 EOF 的 0.3%, EOF 占 TF 仅 0.02%. EOF 只是 TF 的很小一部分, 离子态氟 (inorganic flurine, IF) 和未提取出来的有机氟 (organic flurine, OF) 占据了 TF 的绝大部分. 除 PFCs 外, 土壤中仍有很大一部分未知的有机氟化合物.

进一步分析 PFCs、EOF 和 TF 暴露的空间关系, 由图 4 可以看出, 在 EOF 含量较高的 AH-05、AH-09、AH-16、AH-17 点位, PFCs 中的  $F^-$  含量除 AH-05 点位外, 其它区域含量并不高, 而在 PFCs 中的  $F^-$  含量较高的 AH-01、AH-15 点位, EOF 的含量在 AH-01 处则较低, 在 AH-15 点位却较高, 说明 EOF 和 PFCs 中的  $F^-$  含量的空间分布并没有表现出完全的一致性. 同时, 反映出由于 PFCs 中  $F^-$  含量只占到 EOF 很少的一部分, 致使其相关性偏低.

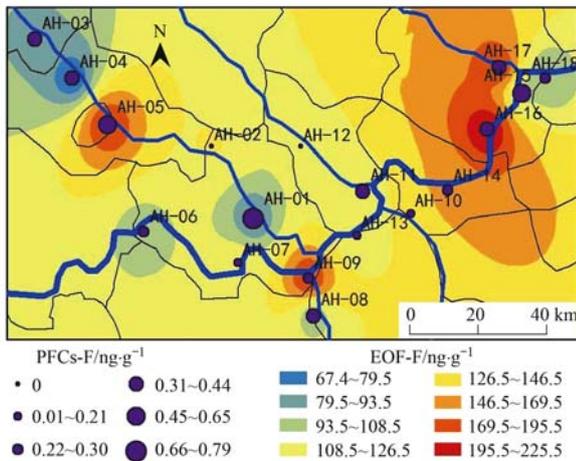


图 4 淮河流域土壤中 PFCs ( $c_F$ ) 和 EOF 的空间分布  
Fig. 4 Spatial distribution and relationship of individual PFCs ( $c_F$ ) and EOF in soils along the Huaihe River

由图 5 可以看出, 在 TF 较高的 AH-05、AH-07、AH-08、AH-12、AH-16 和 AH-17 点位, AH-05、AH-16、AH-17 处的 EOF 含量也较高, 而 AH-07、AH-08、AH-12 处 EOF 含量则较低, 在 EOF 含量较高的 AH-09 和 AH-14 点位, TF 的含量相对较低, 反映出在 AH-05、AH-16、AH-17 处, EOF 与 TF 的含量分布表现出较高的一致性, 而在 AH-07、AH-08、AH-09、AH-12、AH-14, EOF 与 TF 含量的空间格局一致性又较低. 这也反映出由于 TF 的来源途径多,

EOF 占 TF 的含量较少, 使得两者之间的含量分布并未表现出较好的空间一致性.

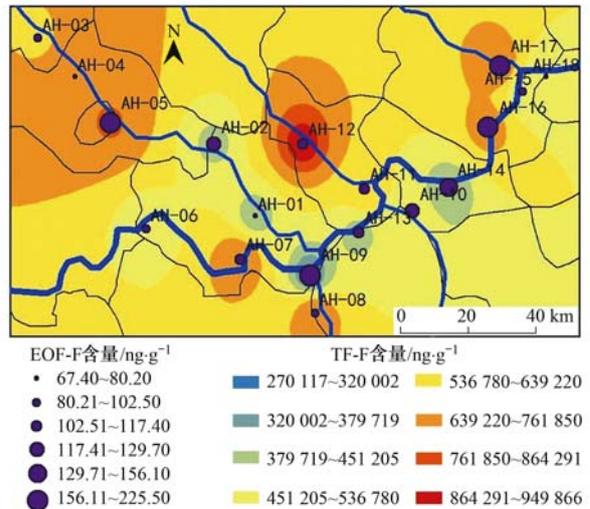


图 5 淮河流域土壤中 EOF 和 TF 的空间分布  
Fig. 5 Spatial distribution and relationship of individual EOF and TF in soils along the Huaihe River

氟原子质量平衡方法在国际上已经被用于水体、血液、哺乳动物体内 PFCs 的来源追溯等研究<sup>[24, 25]</sup>, 提供了一个很好的用于分析 PFCs 来源、迁移和环境行为, 以及确定未知有机氟的技术方法. 不同介质中 PFCs/EOF、EOF/TF 表现不一 (图 6), 但针对土壤的研究仍比较缺乏, 主要集中在生物体. 通常生物体内两者比例均高于环境介质中的比例. 哺乳动物体内, 如海豚肝脏中 PFCs/EOF 为 29.6%、EOF/TF 为 58.3%, 江豚肝脏中 PFCs/EOF 为 30.8%、EOF/TF 为 27.3%<sup>[24]</sup>. 而人体血液中 PFCs/EOF 约为 10%, EOF/TF 达 30%, 而且往往发达城市比例较高, 人体血液被 PFCs 污染的程度较高<sup>[26]</sup>. 相比较而言, 土壤中 PFCs/EOF、EOF/TF 偏低, 并且低于水体中的组分<sup>[23]</sup>. 如受污染的海水中

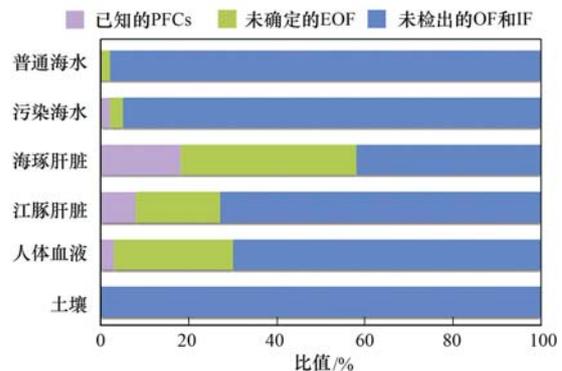


图 6 不同介质中 PFCs/EOF 和 EOF/TF  
Fig. 6 PFCs/EOF and EOF/TF in different media

PFCs/EOF 为 37.5%、EOF/TF 为 5.3%,而普通海水中 PFCs/EOF 为 1.8%、EOF/TF 为 1.6%。这可能与土壤条件更为复杂,PFCs 和 EOF 在土壤中更易被吸附固定或迁移转化,现有监测技术方法尚难以全部提取土壤中的有机氟等因素有关;同时,PFCs 相关标准物质的缺乏,也限制了 PFCs 的精确性和准确定量。

### 3 结论

(1)淮河流域安徽段土壤中普遍检出 PFCs 的暴露,并以 PFOA、PFNA 和 PFOS 为主,PFCs 总量为 n. d. ~1.22 ng·g<sup>-1</sup>。整体看,研究区土壤中 PFCs 含量低于中国其它地区的土壤。

(2)土壤 PFCs 含量空间差异性不大,但组成却彼此不同,说明流域内的排放是淮河安徽段土壤 PFCs 的主要来源,而且城市、水闸、渡口处的 PFCs 含量整体偏高。

(3)土壤中 PFCs、EOF 和 TF 的 F<sup>-</sup> 含量分别为 0.33、127.3 和 580 199 ng·g<sup>-1</sup>。PFCs/EOF 和 EOF/TF 比例均很小。氟原子质量平衡分析表明,复杂的土壤环境条件,限制了土壤 EOF-PFCs 贡献关系的分析,有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Giesy J P, Kannan K. Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife[J]. *Environmental Science and Technology*, 2001, **35**(7): 1339-1342.
- [ 2 ] Wang T, Wang Y W, Liao C Y, *et al.* Perspectives on the inclusion of perfluorooctane sulfonate into the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants[J]. *Environmental Science and Technology*, 2009, **43**(14): 5171-5175.
- [ 3 ] 刘冰, 金一和, 于棋麟, 等. 松花江水系江水中全氟辛烷磺酸和全氟辛酸污染现状调查[J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(3): 480-486.
- [ 4 ] 赵淑江, 曹培, 朱诚侃, 等. 温州近海海域海水及滩涂沉积物中 PFOS 和 PFOA 污染特征分析[J]. *海洋环境科学*, 2012, **31**(2): 221-224.
- [ 5 ] Bao J, Liu W, Liu L, *et al.* Perfluorinated compounds in urban river sediments from Guangzhou and Shanghai of China[J]. *Chemosphere*, 2010, **80**(2): 123-130.
- [ 6 ] Li F, Zhang C J, Qu Y, *et al.* Quantitative characterization of short-and long-chain perfluorinated acids in solid matrices in Shanghai, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(3): 617-623.
- [ 7 ] Wang T Y, Chen C L, Naile J E, *et al.* Perfluorinated compounds in water, sediment and soil from Guanting Reservoir, China [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, **87**(1): 74-79.
- [ 8 ] Miyake Y, Yamashita N, So M K, *et al.* Trace analysis of total fluorine in human blood using combustion ion chromatography for fluorine: a mass balance approach for the determination of known and unknown organofluorine compounds [J]. *Journal of Chromatography A*, 2007, **1154**(1-2): 214-21.
- [ 9 ] Bao J, Jin Y H, Liu W, *et al.* Perfluorinated compounds in sediments from the Daliao River system of northeast China[J]. *Chemosphere*, 2009, **77**(5): 652-657.
- [ 10 ] Li C L, Ji R, Schaeffer A, *et al.* Sorption of a branched nonylphenol and perfluorooctanoic acid on Yangtze River sediments and their model components [J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 2012, **14**(10): 2653-2658.
- [ 11 ] Wang T Y, Lu Y L, Chen C L, *et al.* Perfluorinated compounds in estuarine and coastal areas of north Bohai Sea, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, **62**(8): 1905-1914.
- [ 12 ] So M K, Miyake Y, Yeung W Y, *et al.* Perfluorinated compounds in the Pearl River and Yangtze River of China[J]. *Chemosphere*, 2007, **68**(11): 2085-2095.
- [ 13 ] 曹金玲, 席北斗, 许其功, 等. 水环境中 PFOA 和 PFOS 的质量浓度分布及其生态毒性[J]. *环境科学*, 2011, **32**(10): 2817-2826.
- [ 14 ] 金一和, 刘晓, 秦红梅, 等. 我国部分地区自来水和不同水体中的 PFOS 污染[J]. *中国环境科学*, 2004, **24**(2): 166-169.
- [ 15 ] Pan Y Y, Shi Y L, Wang J M, *et al.* Pilot investigation of perfluorinated compounds in river water, sediment, soil and fish in Tianjin, China[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, **87**(2): 152-157.
- [ 16 ] Wang T Y, Lu Y L, Chen C L, *et al.* Perfluorinated compounds in a coastal industrial area of Tianjin, China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2012, **34**(3): 301-311.
- [ 17 ] Wang T Y, Khim J S, Chen C L, *et al.* Perfluorinated compounds in surface waters from Northern China: Comparison to level of industrialization[J]. *Environment International*, 2012, **42**: 37-46.
- [ 18 ] Becker A M, Gerstmann S, Frank H. Perfluorooctane surfactants in waste waters, the major source of river pollution [J]. *Chemosphere*, 2008, **72**(1): 115-121.
- [ 19 ] Sun H W, Li F S, Zhang T, *et al.* Perfluorinated compounds in surface waters and WWTPs in Shenyang, China: Mass flows and source analysis[J]. *Water Research*, 2011, **45**(15): 4483-4490.
- [ 20 ] Dauchy X, Boiteux V, Rosin C, *et al.* Relationship between industrial discharges and contamination of raw water resources by perfluorinated compounds. Part I: Case study of a fluoropolymer manufacturing plant [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, **89**(3): 525-530.
- [ 21 ] Dauchy X, Boiteux V, Rosin C, *et al.* Relationship between industrial discharges and contamination of raw water resources by perfluorinated compounds. Part II: Case study of a fluorotelomer polymer manufacturing plant [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, **89**(3): 531-536.
- [ 22 ] Li B, Danon-Schaffer M N, Li L Y, *et al.* Occurrence of PFCs and PBDEs in landfill leachates from across Canada[J]. *Water*,

- Air, and Soil Pollution, 2012, **223**(6): 3365-3372.
- [23] Miyake Y, Yamashita N, Rostkowski P, *et al.* Determination of trace levels of total fluorine in water using combustion ion chromatography for fluorine; A mass balance approach to determine individual perfluorinated chemicals in water [J]. Journal of Chromatography A, 2007, **1143**(1-2): 98-104.
- [24] Yeung L W Y, Miyake Y, Wang Y, *et al.* Total fluorine, extractable organic fluorine, perfluorooctane sulfonate and other related fluorochemicals in liver of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) and finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from South China [J]. Environmental Pollution, 2009, **157**(1): 17-23.
- [25] Yeung L W Y, Miyake Y, Li P, *et al.* Comparison of total fluorine, extractable organic fluorine and perfluorinated compounds in the blood of wild and perfluorooctanoate (PFOA)-exposed rats; Evidence for the presence of other organofluorine compounds [J]. Analytica Chimica Acta, 2009, **635**(1): 108-114.
- [26] Yeung L W Y, Miyake Y, Taniyasu S, *et al.* Perfluorinated compounds and total and extractable organic fluorine in human blood samples from China [J]. Environmental Science and Technology, 2008, **42**(21): 8140-8145.

## 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

Characteristics of Haze and Its Impact Factors in Four Megacities in China During 2006-2009 .....	DAI Yong-li, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2925)
Characteristics of VOCs and Their Photochemical Reactivity in Autumn in Nanjing Northern Suburb .....	LI Yong-yu, ZHU Bin, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2933)
On-Line Measurement of Water-Soluble Composition of Particulate Matter in Beijing .....	CHENG Meng-tian, PAN Yue-peng, WANG Hui, <i>et al.</i> (2943)
Design and Evaluation of an Aerosol Nanoparticle Generation System .....	MAI Hua-jun, JIANG Jing-kun, HE Zheng-xu, <i>et al.</i> (2950)
Aerosol Size Distribution of Organic Carbon and Elemental Carbon on the Top of Coke Oven and in the Plant Area .....	LIU Xiao-feng, PENG Lin, BAI Hui-ling, <i>et al.</i> (2955)
Effects of Diurnal Warming on Soil N <sub>2</sub> O Emission in Soybean Field .....	HU Zheng-hua, ZHOU Ying-ping, CUI Hai-ling, <i>et al.</i> (2961)
N <sub>2</sub> O Flux in Winter and Its Affecting Factors Under Different Land Use Patterns .....	WU Yan-zheng, ZHANG Miao-miao, QIN Hong-ling, <i>et al.</i> (2968)
Prediction of Methane Emission of Paddy Field Based on the Support Vector Regression Model .....	CHEN Qiang, JIANG Wei-guo, CHEN Xi, <i>et al.</i> (2975)
Distributional Characteristics of Nutrients in the Sea-surface Microlayer and Subsurface Water of the Bohai and Yellow Sea in Summer .....	WANG Wen-tao, YANG Gui-peng, YU Juan, <i>et al.</i> (2983)
Effect of Nitrogen and Phosphorus Concentrations on the Adsorption of BDE28 and BDE47 by <i>Prorocentrum donghaiense</i> Dominant Population .....	..... WANG Fang, GE Wei, CHAI Chao, <i>et al.</i> (2992)
Hyperspectral Remote Sensing of Chlorophyll a Concentrations in the Lake Taihu, Based on Water Optical Classification .....	SUN De-yong, ZHOU Xiao-yu, LI Yun-mei, <i>et al.</i> (3002)
Bacterioplankton Index of Biotic Integrity (BP-IBI): An Approach for Assessing River Ecosystem Health in Dianchi Watershed .....	HUANG Yi, SHU Zhong-ya (3010)
Estimation of Urban Non-Point Source Pollution Loading and Its Factor Analysis in the Pearl River Delta .....	LIAO Yi-shan, ZHUO Mu-ning, LI Ding-qiang, <i>et al.</i> (3019)
Transported Fluxes of the Riverine Carbon and Seasonal Variation in Pearl River Basin .....	ZHANG Lian-kai, QIN Xiao-qun, YANG Hui, <i>et al.</i> (3025)
Characteristics of Nutrient Loss of Lanlingxi Watershed in the Three Gorges Reservoir Area .....	ZENG Li-xiong, XIAO Wen-fa, HUANG Zhi-lin, <i>et al.</i> (3035)
Characteristics of Dissolved Organic Carbon Release Under Inundation from Typical Grass Plants in the Water-Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Area .....	..... TAN Qiu-xia, ZHU Bo, HUA Ke-ke (3043)
Research on the Influence of Mixing Layer Depth on Algal Growth .....	CHEN Yang, YANG Zheng-jian, HUANG Yu-ling, <i>et al.</i> (3049)
Denitrification Study of <i>Elodea nuttallii</i> -Nitrogen Cycling Bacteria Restoration in Meiliang Bay, Taihu Lake .....	ZHAO Lin, LI Zheng-kui, ZHOU Tao, <i>et al.</i> (3057)
Influence of Combined Ecological Floating Bed on Nitrogen and Phosphorus Between Overlying Water and Sediment .....	ZHENG Li-guo, YANG Ren-bin, WANG Hai-ping, <i>et al.</i> (3064)
Effects of Biochar Covering on the Release of Pollutants from Sediment .....	LI Yang, LI Feng-min, ZHANG Xiu-wen, <i>et al.</i> (3071)
Temporal-spatial Difference of Ecotoxicity and Heavy Metals Pollution in Shima Catchment, Dongguan .....	GAO Lei, CHEN Jian-yao, KE Zhi-ting, <i>et al.</i> (3079)
Evolution and Pollution of Heavy Metals in Core Sediments from Yamenqi Lake in Lianhuan Lake, China .....	XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying, GUAN Yung, <i>et al.</i> (3088)
Effect of Constructed Wetland on the Purification of Industrial Zone Rainfall Runoff Contaminated with Phenanthrene .....	JING Dan-dan, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (3095)
Removal and Accumulation of the Tetracycline Resistance Gene in Vertical Flow Constructed Wetland .....	ZHENG Jia-yu, LIU Lin, GAO Da-wen, <i>et al.</i> (3102)
Method for Optimal Sensor Placement in Water Distribution Systems with Nodal Demand Uncertainties .....	LIU Shu-ming, WU Xue, OUYANG Le-yan (3108)
Formation Process of Nitrogenous Disinfection Byproduct Trichloronitromethane in Drinking Water and Its Influencing Factors .....	DING Chun-sheng, ZOU Bang-wen, MIAO Jia, <i>et al.</i> (3113)
Removal of Estrogens in Laccase Catalyzed Oxidative Processes .....	XIA Qing, XIE Wei-ping, LIU Guo-qiang, <i>et al.</i> (3119)
Study on Electrochemical Degradation of Cefazidime by Carbon Nanotubes Electrode .....	ZHU Hong, HU Xiang, LI Jun-feng (3125)
Photochemical Reaction Types of the Azole Fungicide Fluconazole Under UV-vis Irradiation .....	GE Lin-ke, LI Kai, YANG Kai, <i>et al.</i> (3132)
Photocatalytic Degradation Kinetics of Diuron by TiO <sub>2</sub> and Simulated Sunlight .....	YANG Hai, ZENG Jian, LI Yuan, <i>et al.</i> (3137)
Adsorption of Congo Red from Aqueous Solution on Hydroxyapatite .....	ZHAN Yan-hui, LIN Jian-wei (3143)
Ethanol-Induced Influence on the Structure and Arsenate Adsorption of Resin-based Nano-hydrated Ferric Oxide .....	WAN Qi, LI Xu-chun, PAN Bing-cai (3151)
Chlorination Characteristic and Disinfection By-product Formation Potential of Dissolved Organic Nitrogen Compounds in Municipal Wastewater .....	LIU Bing, YU Xin, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (3156)
Start-up and Maintenance Method for Short-Cut Advanced Nitrogen Removal Process in a Pilot-Scale Reactor at Low Temperature .....	GU Sheng-bo, WANG Shu-ying, PENG Yong-zhen (3164)
Study on the Start-Up of Anaerobic Ammonium Oxidation Process in Biological Activated Carbon Reactor .....	LAI Wei-yi, ZHOU Wei-li, HE Sheng-bing (3171)
Excretion of Manure-Borne Steroid Hormones and Their Potential Risk in the Three Northeast Provinces of China .....	LIU Shu-fang, LI Yan-xia, ZHANG Xue-lian, <i>et al.</i> (3180)
Spatial Distribution and Composition of Perfluorinated Compounds in Soils Around the Huaihe River .....	MENG Jing, WANG Tie-yu, WANG Pei, <i>et al.</i> (3188)
Fluorine Speciation and Its Distribution Characteristics in Selected Agricultural Soils of North China Plain .....	YI Chun-yao, WANG Bing-guo, JIN Meng-gui (3195)
Effects of Long-Term Manure and Crop Residues Incorporation on Yield and Phosphorus Saturation in a Paddy Soil .....	YAN Xiao, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (3205)
Influence of Organochlorine Pesticides in Wastewater on the Soil Along the Channel .....	XU Liang, ZHANG Cai-xiang, LIU Min, <i>et al.</i> (3211)
Elution of Endosulfan from Contaminated Soil by Surfactants and Their Combination .....	XIONG Bai-lian, ZHENG Guo-can, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (3216)
Effects of Different Aspects on Soil Microbial Biomass and Dissolved Organic Carbon of the Loess Hilly Area .....	ZHAO Tong, JIANG Yue-li, YAN Hao, <i>et al.</i> (3223)
Effects of Nitrogen Addition on Red Soil Microbes in the <i>Cinnamomum camphora</i> Plantation .....	YU Pei-yi, ZHU Fan, SU Shao-feng, <i>et al.</i> (3231)
Concentration, Profile Distribution and Source Identification of PCDD/Fs in Environmental Medium Around a HSWI .....	HUANG Wen, ZHANG Su-kun, DU Guo-yong, <i>et al.</i> (3238)
Assessment of Bioaccessibility of PAHs in Microbial Degradation Process Using Solid Phase Micro Extraction and Solid Phase Extraction .....	..... GUO Mei-xia, GONG Zong-qiang, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3244)
Biodegradation of Tetrahydrofuran by Combined Immobilized of <i>Pseudomonas oleovorans</i> DT4 .....	SHAO Qian, YE Jie-xu, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3251)
Analysis on Microbial Community in Biofilm Coating onto Solid Carbon Source Using the PCR-DGGE Technique .....	XU Ying, QIU Tian-lei, HAN Mei-lin, <i>et al.</i> (3257)
Effect of Temperature on Activity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> and Formation of Biogenic Secondary Iron Minerals .....	SONG Yong-wei, ZHAO Bo-wen, HUO Min-bo, <i>et al.</i> (3264)
Differences of Selenium Uptake Pattern of Pakchoi and the Possible Mechanism When Amended with Selenate and Selenite .....	GUO Lu, MAN Nan, LIANG Dong-li, <i>et al.</i> (3272)
Effect of Pretreatment on Storage and Biogas Production of Baling Wheat Straw .....	MA Hui-juan, CHEN Guang-yin, DU Jing, <i>et al.</i> (3280)
Toxicity of Nitrate-N to Freshwater Aquatic Life and Its Water Quality Criteria .....	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3286)
Analysis Performance of Biological Toxicity Testing MTOXPlate Using Microplate .....	LIN Yi-yun, ZHANG Guo-xia, HE Li-ping, <i>et al.</i> (3294)
Study of Combined Effects of DES and EV on the Proliferation of MCF-7 Cells by Two Experimental Designs .....	LIU Qian, LEI Bing-li, AN Jing, <i>et al.</i> (3303)
Status and Influencing Factors of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) Pollution in the Coastal Areas in China .....	LIU Min-xia, YANG Yu-yi, LI Qing-xiao, <i>et al.</i> (3309)
Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Effluent of Sewage Treatment Plants .....	ZHENG Shao-kui, LI Xiao-feng (3316)
Research Progress on Biochar Carbon Sequestration Technology .....	JIANG Zhi-xiang, ZHENG Hao, LI Feng-min, <i>et al.</i> (3327)
Countermeasures for Strict Water Quality Management of Drinking Water Sources: Some Thoughts and Suggestions on Implementing Strict Water Resources Management .....	FU Guo-wei (3334)

# 《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8月15日 34卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 8 Aug. 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