

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, 韩锋, 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 δ¹⁸O 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)

O₃/H₂O₂ 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)

nTiO₂ 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)

生物陶粒反应器的氮自养反硝化研究 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, 王洪建, 张义辉 (3992)

SiB3 模式对作物区 CO₂ 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运移行为研究 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 CO₂ 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 胡莹, 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)

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

(环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘要: 研究分析了废旧汽车拆解区土壤剖面的美国 EPA 优控的 16 种多环芳烃的纵向分布。结果表明, 表层土壤中 16 种多环芳烃总含量达到了 $17\,323\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 其中芘(Pyr)、苯并[a]蒽(BaA)、芴(Flu)含量最高, 分别达到 $11\,820$ 、 $1\,234$ 和 $1\,083\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。汽车拆解区表面和土壤深度为 10 cm 的土壤均达到了重度污染级别; 深度在 50~350 cm 之间的土壤为轻度至中度污染, 当土壤深度超过 400 cm, 土壤基本未受到污染。但是, 7 种致癌性 PAHs(Chr、BaA、BbF、BkF、BaP、DahA、IcdP)总量在土壤深度达到 850 cm 时仍有 $34.15\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 。随着土壤深度的增大, 多环芳烃含量急剧降低, 当土壤深度超过 300 cm, 三环的菲(Phe)、荧蒽(Fl)和二氢芘(Ace)成为优势组分。土壤剖面菲(Phe)/蒽(Ant)比值和荧蒽(Fla)/芘(Pyr)、Fluo/Pyr、BaA/(BaA+Chr)等参数表明, 土壤表面的多环芳烃主要来源于石油污染。

关键词: 土壤; 多环芳烃; 汽车拆解; 垂向分布; 特性

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)10-4031-05

Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Abandoned Vehicles Dismantling Area Soil

WU Yan-yu, HU Xiao-ying, HONG Hong-jia, PENG Xiao-chun

(South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China)

Abstract: In order to study the contamination by the U. S. EPA 16 priority polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the soil of the end-of-life vehicle dismantling area, soil samples with vertical depth of 0-1 000 cm were collected and analyzed. The concentrations of EPA 16 priority PAHs were determined in soils samples. The results showed that total concentrations of PAHs were $991\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ in surficial samples, with the highest concentrations detected for pyrene, benzo [a]anthracene and fluorine, reaching $11\,820$, $1\,234$ and $1\,083\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$, respectively. The soils with the depth range of 0-10 cm were heavily polluted by PAHs, and the soils in the depth range of 50-350 cm were moderately or slightly polluted by PAHs. It seems that there was no PAHs pollution when the soil depth was over 400 cm. However, it was noted that the total concentration of 7 carcinogenic PAHs including chrysene (Chr), benzo [a]anthracene (BaA), Benzene and (b) fluoranthene (BbF), Benzene and (k) fluoranthene (BkF), Benzo [a] pyrene (BaP), Diphenyl and [a, h] anthracene (DahA), Indene and [1,2,3-CD] pyrene (IcdP) was still as high as $34.15\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ in soil with a depth of 850 cm. The contents of PAHs decreased sharply with the increase in vertical depth. Low-ring PAHs such as phenanthrene, Fluoranthene and acenaphthene became the priority compounds when the depth was over 300 cm. The ratios of Phe/Ant and Fla/Pyr demonstrated that the PAHs in the soil profiles could be primarily sourced from petroleum pollution.

Key words: soil; PAHs; abandoned vehicles dismantling; vertical distribution; characteristics

多环芳烃能以气态或者颗粒态存在于大气、水、植物、土壤中^[1,2], 能长时间地停留并在不同介质间相互迁移转化^[1,3,4]。多环芳烃并不是直接致癌物, 但可通过环境蓄积、生物蓄积、生物转化或化学反应等方式, 在人体内经过酶的作用生成致癌物而导致人体不可修复的损害^[5,6]。土壤是多环芳烃积累和迁移的重要介质, 既是多环芳烃的受体, 也可通过地球化学循环进入大气和水体, 造成二次污染^[7-9]。Menzie 等^[10]发现环境中的 PAHs 大部分进入土壤环境, 使土壤成为 PAHs 的“汇”, 因此土壤进入人体的多环芳烃的量要高于水和大气。

环境中的多环芳烃已引起人们的高度重视^[11,12], 国内如天津^[7,13]、香港^[14]、珠三角^[15]等城

市和区域, 已从大气、土壤、水体这 3 种载体分析了多环芳烃对城市区域的污染状况, 然而针对具体的汽车拆解场地土壤中多环芳烃的研究鲜见报道。本研究选取华南地区某汽车拆解厂拆解区不同深度的土壤, 分析了多环芳烃在土壤垂向深度的分布特点, 初步探讨了 PAHs 的垂向分布机制, 以期相关部门评价环境危害和进行环境治理提供一定的参考作用。

收稿日期: 2013-01-15; 修订日期: 2013-04-08

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项 (2011467024, 201209022); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (ZX-201106-089)

作者简介: 吴彦瑜(1973~), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为环境污染控制与固废资源化利用, E-mail: wuyanuyu@scies.org

1 材料与方法

1.1 样品采集

土壤样品采自华南地区某废旧汽车拆解厂拆解区共 22 个样品. 该拆解厂成立于 1994 年, 现有经营场地 57 760 m², 主要拆解报废汽车和摩托车等装备, 年拆解汽车 3 000 辆. 拆解工艺流程见图 1, 拆解后的主要产品及副产品为钢铁、有色金、塑料、玻

璃、橡胶、燃油、废油、制冷剂、气囊、废催化剂、废线路板、废蓄电池以及不可利用废物. 该拆解厂拆解区地面硬化较差, 报废机动车中残余的废油液有渗入地下的现象.

采样时间为 2011 年 10 月, 无降水. 样品采样深度依次为 0、10、50、100、150、200、250、300、350、400、450、500、550、600、650、700、750、800、850、900、950、1 000 cm.

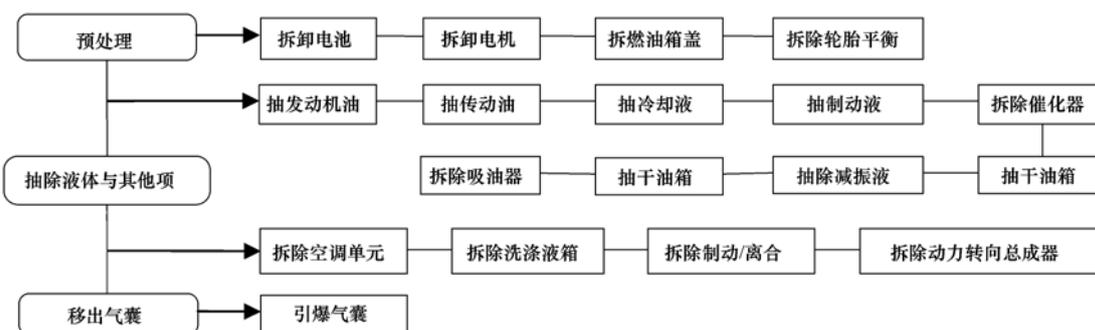


图 1 废旧汽车拆解工艺流程

Fig. 1 Process flows of dismantling of abandoned vehicles

1.2 样品分析

采集的土壤样品先经自然风干, 除去砾石和树根, 研磨过 100 目筛. 精确称取 5.0 g 土研磨样品, 各加入约 2.0 g 无水 Na₂SO₄ (400℃ 下预处理 4 h), 同时加入 2.12 μg 联苯 (内标), 混合均匀, 用滤纸包好放到索氏提取装置中. 该装置连 100 mL 的圆底烧瓶, 装有丙酮和正己烷混合溶剂 (1:1, 体积比). 恒温 60℃, 索氏提取 24 h. 将提取液在旋转蒸发器上浓缩至约 2 mL, 使用 10 mL 正己烷定量转移到 50 mL 鸡心瓶中, 再次浓缩定容至 1 mL, 完成溶剂替换. 将 1 mL 待净化浓缩样品用滴管移入硅胶净化柱, 浸泡 5 min. 用 15 mL 正己烷分 3 次清洗鸡心瓶, 进一步以 5 mL 正己烷/二氯甲烷 (7:3, 体积比) 混合液淋洗硅胶净化柱, 洗脱液用 50 mL 浓缩瓶收集, 氮气吹蒸后用甲醇定容至 5 mL, 低温 (4℃) 保存备用.

气相色谱-质谱 (GC-MS) 分析采用 HP6890 型气相色谱与 HP5973 型质谱联用仪. 色谱条件: DB-5MS 石英毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm). 升温程序: 以 5℃ · min⁻¹ 的速率从 70℃ 升至 280℃, 终温恒温 15 min. 进样口温度 300℃, 进样量 1 μL, 氮气为载气, 载气流速 1.0 mL · min⁻¹. 质谱条件: 电子轰击源, 电离能量 70 eV, 四级杆质量分离器, 分析质量范围: 50 ~ 550 u. GC 与 MS 接口温度 280℃. 采用离子模式. 多环芳烃根据 QTM 多环芳烃混合

标样 (Suplco 公司) 进行定性并根据标准曲线定量分析.

按照美国 EPA 规范, 每个样品中加入回收率指示物以监控整个分析流程的回收率, 同时, 最终样品浓度用回收率进行校正. 指示物标样的回收率为二氢萘-d₁₀: 78% ~ 89%, 菲-d₁₀: 85% ~ 98%. 每 18 个样品做 1 个空白, 在空白中未检出目标化合物 (检测限范围: 1.0 ~ 10.0 pg), 可知整个实验流程对目标化合物没有人为因素影响.

2 结果与讨论

2.1 土壤中 PAHs 的组成特征

土壤的垂直分布特征为距土壤表面 15 cm 以上 PAHs 浓度最大, 20 cm 以下 PAHs 浓度较小. 表层土壤和 10 cm 深度的样品中 16 种优控 PAHs 均有检出, \sum PAHs 分别为 17 323 ng · g⁻¹ 和 1 791 ng · g⁻¹ (图 2). 表层土壤中 7 个致癌性化合物占总 PAHs 的 16.39%. 从单个化合物的检出和含量情况来看, 芘 (Pyr)、苯并[a]蒽 (BaA)、芴 (Flu) 含量最高, 分别达到 11 820、1 234 和 1 083 ng · g⁻¹, 与该土壤为汽车拆解生产区的污染现状吻合.

随着土壤垂向深度的增加, PAHs 含量急剧降低. 当土壤深度超过 50 cm, 二苯并[a,h]蒽 (DahA) 和苯并[ghi]芘 (BghiP) 基本未被检出. 当土壤深度

超过 450 cm, 蒾 (Acy)、二氢蒾 (Ace)、荧蒾 (Fl) 和蒽 (ANT) 未有检出。此外, 值得注意的是, 7 种致癌性 PAHs 总量 ($\sum \text{PAHs}_{\text{scarc}}$) 在土壤深度达到 850 cm 时仍有 $34.15 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

此外, 随着土壤深度的不同, PAHs 的构成不同, 不同环数 PAHs 含量差异较大。按 PAHs 环数分类, 表层土壤 PAHs 含量分布趋势为 4 环 > 5 环 > 3 环 > 2 环 > 6 环。表层土壤中 4 环 PAHs 几乎占 PAHs 总量的 85.49%。当土壤深度超过 30 cm, 土壤中低环 (2、3 环) 芳烃成为优势组分。土壤垂直深度达到 300 cm 时, 土壤 PAHs 含量分布趋势为 2 环 > 3 环 > 4 环 > 5 环 > 6 环, 其中二环 PAHs 占 PAHs 总量的 85.80% (图 3)。这主要是由于低环芳烃在水中的溶解度以及渗透能力较强, 更易向土壤深处迁移^[16]。汽车拆解过程中石油类物质的泄露及汽油的燃烧导致多环芳烃进入土壤, 并随着地表径流、雨水冲洗进入土壤内部。因此, 土壤内部多环芳烃的变化主要与污染时间的长短有关。PAHs 化合物在水中的溶解度以及渗透能力的差异导致土壤内部与表层的 PAHs 具有不同的分布特征。值得注意的是, 当土壤深度达 450 cm 时, 土壤样品中低环 PAHs 含量出现了一定程度的异常, 2 环的萘 (Nap) 以及 3 环的蒾 (Acy)、二氢蒾 (Ace)、荧蒾 (Fla) 蒽 (Ant) 消失, 该层位异常的具体原因还有待进一步探讨。

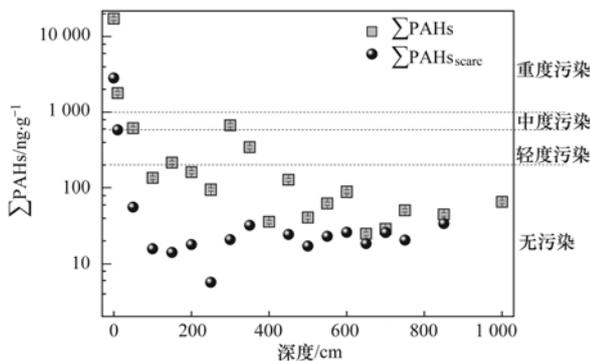


图 2 不同土壤深度 PAHs 总含量变化

Fig. 2 Total PAHs concentrations in soil samples with various depths

2.2 土壤中 PAHs 污染现状评价

根据 Maliszewska-Kordybach^[17] 针对 16 种优控 PAHs 提出的土壤污染划分标准, 分析汽车拆解区土壤 PAHs 污染情况, 表面土壤和土壤深度为 10 cm 的土壤均达到了重度污染级别 ($\sum \text{PAHs} > 1000 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$); 深度在 50 ~ 350 cm 间的土壤受到了轻度 ($\sum \text{PAHs} 200 \sim 600 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$) 至中度 ($\sum \text{PAHs} 600$

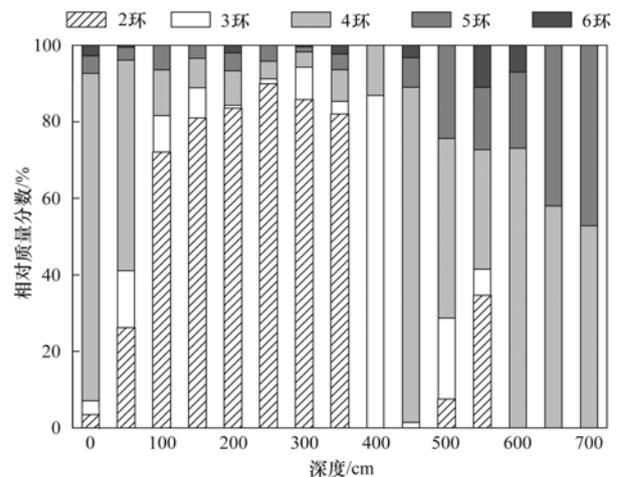


图 3 不同环数的 PAHs 在深度土壤中的相对质量分数

Fig. 3 Percentages of PAHs with different ring numbers in the soil samples with various depths

$\sim 1000 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$) 污染; 深度超过 400 cm 的土壤基本未受到污染 ($\sum \text{PAHs} < 200 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$)。

参考荷兰 Aannokkee 对土壤中 10 种 PAHs 的评价标准^[18] (表 1), 发现浅层土壤 (0 ~ 20 cm) 已受到 PAHs 严重污染。10 种被评价组分中, 从最大超标倍数进行判断, Nap 的超标程度最严重, 其次是 Chr 和 BaP, 在表层土壤和 10 cm 深度的土壤中的超标倍数分别达到 12.16、13.46、20.40, 以及 7.63、3.99、7.96。强致癌物 BaP 的超标存在较大环境风险, 需引起进一步关注。此外, 当土壤深度超过 50 cm, 除了 Nap 仍超出标准 3.22 倍外, 其余 PAHs 均未超标。

2.3 土壤中 PAHs 来源分析

PAHs 除自然成因外, 主要来自人类活动以及能源利用过程。图 4 为不同深度土壤中 PAH 的不同特征分子比率。

矿物油、煤以及木材的不完全燃烧都能产生荧蒾、芘, 此外, 煤焦油中本身也含有荧蒾和芘这两种化合物。但是不完全燃烧来源与矿物油来源的 PAHs 中荧蒾与芘的比值存在差异。研究表明^[19] 来源于石油输入时荧蒾/芘 < 1。本拆解生产区内所有深度土壤中的蒽/芘均小于 1, 可认为这些土壤样品的 PAHs 主要来源于石油输入。Fla/(Fla + Pyr) 和 荧蒾与芘比值 (Fluo/Pyr) 也常用于确定多环芳烃的污染源^[20, 21]。荧蒾 (Fla)/芘 (Pyr) > 1 时, 指示汽车尾气排放等燃烧源; 荧蒾 (Fla)/芘 (Pyr) < 1, 指示石油源。Yunker 等^[20] 提出 BaA/(BaA + Chr) < 0.20 指示石油来源, > 0.35 指示燃烧来源。Fla/(Fla +

表 1 不同深度的土壤中 10 种多环芳烃污染评价

Table 1 Pollution assessment of 10 PAHs in soils with various vertical depths

深度/cm	标准/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$									
	Nap	Fla	Phe	Ant	BaA	Chr	BkF	BaP	IcdP	BghiP
	50	100	100	100	50	50	50	10	50	100
0	12.16	0.17	4.36	0.90	24.69	13.46	2.98	20.40	2.75	3.45
10	7.63	0.13	1.18	0.25	0.97	3.99	1.09	7.96	1.15	0.74
50	3.22	0.15	0.51	0.14	0.16	0.49	0.06	0.19	0.06	
100	1.94		0.11	0.01	0.04	0.10	0.03	0.23		
150	3.48	0.02	0.12		0.03	0.11	0.02	0.19		
200	2.68		0.01		0.05	0.10	0.03	0.19	0.06	
250	1.71		0.00		0.02	0.01	0.01	0.10		
300	11.49	0.13	0.32	0.04	0.04	0.15	0.03	0.12	0.06	
350	5.65	0.01	0.09		0.10	0.19	0.04	0.38	0.07	0.04
400		0.14	0.09	0.01	0.00	0.01		0.00	0.00	
450			0.02		0.04	0.17	0.02	0.20	0.08	
500	0.06		0.09		0.03	0.11	0.02	0.13	0.00	
550	0.44		0.04		0.06	0.14	0.04	0.23	0.06	0.04
600					0.03	0.14	0.05	0.10		0.06
650					0.06	0.10	0.03			
700					0.10	0.14	0.05	0.05		
750					0.02	0.09	0.04	0.06		
800										0.06
850					0.02	0.12	0.09	0.18	0.12	0.07
900										
950										
1 000	1.15		0.04							

Py) < 0.4 说明是典型的石油源 PAHs 污染^[22, 23]; 如果 Fluo/PyT < 1, 为石油污染来源. 本拆解生产区表层土壤和深度低于 50 cm 的剖面土壤的 Fluo/PyT 比值均小于 1, 可以归结多环芳烃来源于石油污染. 需要注意的是, 不同深度土壤样品的 BaA/(BaA + Chr) 均接近或大于 0.2, 表明土壤剖面多环芳烃主要来源除了石油来源, 亦有一定程度的燃烧污染源贡献.

此外, 有学者研究^[24]认为沉积物中菲(Phe)/蒽(Ant) > 10 指示石油源, Phe/Ant < 10 指示化石燃料燃烧源. 然而本研究中表层土壤的 Phe/Ant 值小于 10, 这一结果与前人的研究有较大差异, 其原因有待进一步深入研究. 需要注意的是, 本研究的表层土壤中 4 环、5 环、6 环物含量分别占总 PAHs 的 85.49%、4.59%、2.78%, 与文献报道的化石燃料不完全燃烧产生的 PAHs 以 4~6 环为主的结论相符^[25, 26], 即表明该废旧汽车拆解区域土壤中多环芳烃的主要来源于化石燃料不完全燃烧(热解).

以上分析表明, 不同的特征分子量比值, 会引起不同的分析结果. 因此, 同分异构体的比值对特殊区域多环芳烃复合来源的判断, 还需要进一步深入研究.

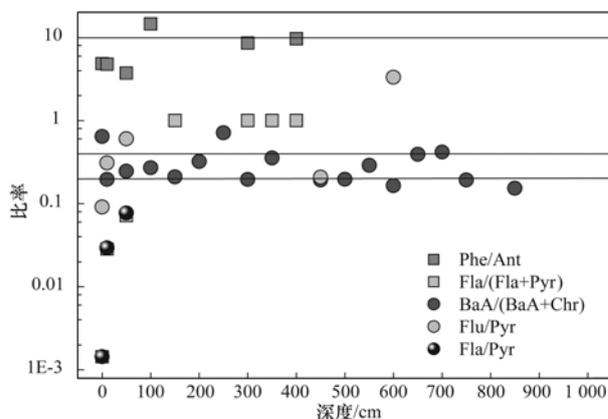


图 4 不同深度土壤中的 PAHs 特征分子比率

Fig. 4 Plot for the ratios of PAHs compounds in soils with various depths

3 结论

(1) 汽车拆解生产区表层土壤中检测到了美国 EPA 优控的 16 种多环芳烃, 总含量达到 $17\,323\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 其中芘(Pyr)、苯并[a]蒽(BaA)、芴(Flu)含量最高, 分别达到 $11\,820$ 、 $1\,234$ 和 $1\,083\ \text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$. 拆解区表层土壤以 4 环及以上高环多环芳烃为主. 随着土壤深度的增加, 多环芳烃含量急剧降低; 由于不同多环芳烃化合物溶解度及活性、渗透性的差

异,当垂向深度超过 300 cm,土壤中三环的菲(Phe)、荧蒽(Fla)和二氢蒎(Ace)成为优势组分。

(2)汽车拆解区表面和深度为 10 cm 的土壤均达到重度污染级别;深度在 50 ~ 350 cm 之间的土壤为轻度至中度污染,当垂向深度超过 400 cm 的土壤基本未受到污染。但是,7 种致癌性 PAHs(Chr、BaA、BbF、BkF、BaP、DahA、IcdP)总量在土壤深度达到 850 cm 时仍达到 $34.15 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(3)土壤剖面 Fla/Pyr、BaA/(BaA + Chr)等比值参数表明,土壤表面的多环芳烃主要来源于石油污染;而 Phe/Ant 参数表明废旧汽车拆解区域土壤中多环芳烃的主要来源于化石燃料不完全燃烧(热解)。因此针对特殊区域多环芳烃复合来源的判断需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Zhong Y, Zhu L. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **444**: 177-182.
- [2] Bruna F, Celis R, Real M, *et al.* Organo/LDH nanocomposite as an adsorbent of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and soil-water systems[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, **225-226**: 74-80.
- [3] Achten C, Cheng S B, Straub K L, *et al.* The lack of microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons from coal-rich soils[J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(2): 623-629.
- [4] Demircioglu E, Sofuoglu A, Odabasi M. Particle-phase dry deposition and air-soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Izmir, Turkey [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, **186**(1): 328-335.
- [5] Man Y B, Chow K L, Kang Y, *et al.* Mutagenicity and genotoxicity of Hong Kong soils contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons and dioxins/furans [J]. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2013, **752**(1-2): 47-56.
- [6] Man Y B, Kang Y, Wang H S, *et al.* Cancer risk assessments of Hong Kong soils contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2013. dx. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.067.
- [7] Zuo Q, Duan Y H, Yang Y, *et al.* Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface soil in Tianjin, China [J]. *Environmental Pollution*, 2007, **147**(2): 303-310.
- [8] Giannis A, Tay E, Kao J, *et al.* Impact of vertical electrokinetic-flushing technology to remove heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil [J]. *Electrochim Acta*, 2012, **86**: 72-79.
- [9] Wang X T, Miao Y, Zhang Y, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils of the megacity Shanghai: Occurrence, source apportionment and potential human health risk[J]. *Science of the Total Environment*, 2013, **447**: 80-89.
- [10] Menzie C A, Potocki B B, Santodonato J. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment [J]. *Environmental Science and Technology*, 1992, **26**(7): 1278-1284.
- [11] Aichner B, Glaser B, Zech W. Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban soils from Kathmandu, Nepal[J]. *Organic Geochemistry*, 2007, **38**(4): 700-715.
- [12] Amagai T, Takahashi Y, Matsushita H, *et al.* A survey on polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in soil in Chiang-Mai, Thailand[J]. *Environment International*, 1999, **25**(5): 563-572.
- [13] 段永红,陶澍,王学军,等. 天津表层土壤中多环芳烃的主要来源[J]. *环境科学*, 2006, **27**(3): 3524-3527.
- [14] 章海波,骆永明,黄铭洪,等. 香港土壤研究 III. 土壤中多环芳烃的含量及其来源初探[J]. *土壤学报*, 2005, **42**(6): 936-941.
- [15] 杨国义,张天彬,高淑涛,等. 珠江三角洲典型区域农业土壤中多环芳烃的含量分布特征及其污染来源[J]. *环境科学*, 2007, **28**(10): 2350-2354.
- [16] Zhang Y Z, Deng S X, Liu Y, *et al.* A passive air sampler for characterizing the vertical concentration profile of gaseous phase polycyclic aromatic hydrocarbons in near soil surface air[J]. *Environmental Pollution*, 2011, **159**(3): 694-699.
- [17] Maliszewska-Kordybach B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland; Preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination [J]. *Applied Geochemistry*, 1996, **11**(1-2): 121-127.
- [18] Aannokke G J. MT-TNO research into the biodegradation of soils and sediments contaminated with oils and PAHs[M]. New York. Kluwer Academic Publishers. 1990. 88-95.
- [19] Fernandez P, Bayona J M. Use of off-line gel permeation chromatography normal-phase liquid chromatography for the determination of polycyclic aromatic compounds in environmental samples and standard reference materials (air particulate matter and marine sediment)[J]. *Journal of Chromatography A*, 1992, **625**(2): 141-149.
- [20] Yunker M B, Macdonald R W, Vingarzan R, *et al.* PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition [J]. *Organic Geochemistry*, 2002, **33**(4): 489-515.
- [21] 汤根土,盛国英,傅家谟,等. 有机污染源标志物的探讨及其研究意义[J]. *中国环境科学*, 1996, **16**(3): 223-227.
- [22] Li G C, Xia X H, Yang Z F, *et al.* Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the middle and lower reaches of the Yellow River, China[J]. *Environmental Pollution*, 2006, **144**(3): 985-993.
- [23] Liu Y, Chen L, Zhao J F, *et al.* Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of rivers and an estuary in Shanghai, China[J]. *Environmental Pollution*, 2008, **154**(2): 298-305.
- [24] Yeom I T, Ghosh M M, Cox C D, *et al.* Dissolution of polycyclic aromatic hydrocarbons from weathered contaminated soil [J]. *Water Science and Technology*, 1996, **34**(7-8): 335-342.
- [25] 成玉,陈立民,盛国英,等. 广州市气溶胶中多环芳烃分布、季节性变化及来源判别指标[J]. *中国环境科学*, 1998, **18**(2): 41-44.
- [26] McCready S, Slee D J, Birch G F, *et al.* The distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial sediments of Sydney harbour, Australia [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, **40**(11): 999-1006.

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 δ ¹⁸ 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 Jun-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