

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第12期

Vol.33 No.12

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

特别策划:再生水灌溉利用生态风险研究专题

序 陈卫平 (4069)

再生水灌溉利用的生态风险研究进展 陈卫平, 张炜铃, 潘能, 焦文涛 (4070)

绿地再生水灌溉土壤微生物量碳及酶活性效应研究 潘能, 侯振安, 陈卫平, 焦文涛, 彭驰, 刘文 (4081)

绿地再生水灌溉土壤盐度累积及风险分析 潘能, 陈卫平, 焦文涛, 赵忠明, 侯振安 (4088)

再生水灌溉对土壤性质及重金属垂直分布的影响 赵忠明, 陈卫平, 焦文涛, 王美娥 (4094)

模型模拟再生水灌溉对土壤水盐运动的影响 吕斯丹, 陈卫平, 王美娥 (4100)

模型模拟土壤性质和植被种类对再生水灌溉水盐运移的影响 吕斯丹, 陈卫平, 王美娥 (4108)

再生水灌溉农田土壤镉累积规律模拟研究 赵忠明, 陈卫平, 焦文涛, 王美娥 (4115)

再生水灌溉土壤人工合成麝香累积模型模拟 王美娥, 陈卫平, 焦文涛 (4121)

城市绿化草坪再生水灌溉对地下水水质影响研究 王巧环, 陈卫平, 王效科, 任玉芬, 张烨 (4127)

北京市再生水的公众认知度评估 张炜铃, 陈卫平, 焦文涛 (4133)

研究报告

北京地区臭氧时空分布特征的飞机探测研究 陈鹏飞, 张蕾, 权建农, 高扬, 黄梦宇 (4141)

世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染来源研究 王红丽, 陈长虹, 黄海英, 王倩, 陈宜然, 黄成, 李莉, 张钢锋, 陈明华, 楼晟荣, 乔利平 (4151)

贡嘎山本底站大气中 VOCs 的研究 张军科, 王跃思, 吴方堃, 孙杰 (4159)

区域大气环境风险源识别与危险性评估 张晓春, 陈卫平, 马春, 詹水芬, 焦文涛 (4167)

稻草烟尘中正构烷烃和正构脂肪酸的碳同位素 刘刚, 孙丽娜, 李久海, 徐慧 (4173)

汽油轿车 NEDC 循环超细颗粒物排放特性 胡志远, 李金, 谭丕强, 楼狄明 (4181)

城市道路绿化带不同植物叶片附尘对大气污染的磁学响应 隆茜, 周菊珍, 孟颖, 达良俊 (4188)

闽江口养殖塘水-大气界面温室气体通量日进程特征 杨平, 仝川, 何清华, 黄佳芳 (4194)

模拟增温对冬小麦-大豆轮作农田土壤呼吸的影响 刘艳, 陈书涛, 胡正华, 任景全, 沈小帅 (4205)

广西大石围天坑中多环芳烃的大气传输与分异 孔祥胜, 祁士华, 孙寿, 黄保健 (4212)

松花江流域冰封期水体中多环芳烃的污染特征研究 马万里, 刘丽艳, 齐虹, 白杨, 刘吉敏, 陈忠林, 李一凡 (4220)

温州城市河流中多环芳烃的污染特征及其来源 周婕成, 陈振楼, 毕春娟, 吕金刚, 许世远, 潘琪 (4226)

温州城市河流河岸带土壤中 PAHs 的污染特征与来源 周婕成, 毕春娟, 陈振楼, 王璐, 许世远, 潘琪 (4237)

辽河水系沉积物中 PAHs 的分布特征及风险评估 武江越, 刘征涛, 周俊丽, 高富 (4244)

某炼油厂退役场地土壤与浅层地下水酚类污染特征研究 裴芳, 罗泽娇, 彭进进, 祁士华 (4251)

某大型焦化企业污染场地中多环芳烃空间分布的分异性特征 刘庚, 郭观林, 南锋, 魏文侠, 李发生, 毕如田 (4256)

太原市市灌区有机氯农药垂直分布特征及源解析 廖小平, 张彩香, 赵旭, 向青清, 李佳乐 (4263)

上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价 吕金刚, 毕春娟, 陈振楼, 周婕成, 韩景超 (4270)

近 50 年来深圳湾红树林湿地 Hg、Cu 累积及其生态危害评价 李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 贺蓓 (4276)

北运河源头区沙河水库沉积物重金属污染特征研究 张伟, 张洪, 单保庆 (4284)

太湖表层沉积物重金属赋存形态分析及污染特征 秦延文, 张雷, 郑丙辉, 曹伟 (4291)

典型季风型温冰川消融期融水化学日变化特征 朱国锋, 蒲焘, 何元庆, 王培震, 孔建龙, 张宁宁, 辛惠娟 (4300)

螺-草水质净化系统氮素环境归趋的实验研究 周露洪, 谷孝鸿, 曾庆飞, 毛志刚, 高华梅, 孙明波 (4307)

固定化果胶酶抑制铜绿微囊藻生长研究 沈清清, 彭谦, 赖泳红, 纪开燕, 韩秀林 (4316)

采用膜污染指数评估天然有机物在低压超滤膜中的污染行为 肖萍, 肖峰, 赵锦辉, 秦潼, 王东升, 冯金荣, 许光 (4322)

水体中甲基汞光化学降解特征研究 孙荣国, 毛雯, 马明, 张成, 王定勇 (4329)

土霉素在乙酸水溶液中的臭氧氧化降解研究 李时银, 李小荣, 朱怡苹, 朱江鹏, 王国祥 (4335)

酰胺咪唑光降解效能与机制及其影响因素研究 陈超, 赵倩, 封莉, 张立秋 (4340)

利用 FeS 去除水中硝基苯的试验研究 王夏琳, 李睿华 (4346)

地下污水管线泄漏原位自动监测模拟实验研究 郭磊, 贾永刚, 付腾飞, 刘晓磊, 赵战坤 (4352)

表面活性剂改性沸石对水中酚类化合物吸附性能研究 谢杰, 王哲, 吴德意, 李春杰 (4361)

抗生素类制药废水厌氧消化产物急性毒性的检测 季军远, 邢雅娟, 郑平 (4367)

废砖块作为人工湿地填料的除磷能力研究 王振, 刘超翔, 李鹏宇, 董健, 刘琳, 朱葛夫 (4373)

基于生物沸石复合滤料的间歇式脱氨水处理 庆承松, 鲍韬, 陈天虎, 陈冬, 谢晶晶 (4380)

硝酸盐对厌氧生物膜和颗粒污泥的同时产甲烷反硝化性能影响研究 钟晨宇, 叶杰旭, 李若愚, 陈胜, 孙德智 (4387)

水平电场作用下活性污泥的脱水研究 季雪元, 王毅力, 冯晶 (4393)

多重环境因子对氟胺磺隆在土壤中的降解的影响 宋宁慧, 单正军, 石利利, 郭敏, 许静, 孔德洋 (4400)

碱后处理对互花米草沼渣理化特性的影响研究 陈广银, 郑正, 常志州, 王海芹, 叶小梅 (4406)

含砷废渣高温烧结过程砷的矿物相结构变化与环境释放行为 王兴润, 农泽喜, 王琪 (4412)

国家大气污染物排放标准体系研究 江梅, 张国宁, 张明慧, 邹兰, 魏玉霞, 任春 (4417)

环境基准向环境标准转化的机制探讨 毕岑岑, 王铁宇, 吕永龙 (4422)

对“有毒重金属”实施 2 种总量控制监管方式的利害分析 傅国伟 (4428)

《环境科学》第 33 卷(2012 年)总目录 (4434)

《环境科学》征订启事(4099) 《环境科学》征稿简则(4166) 信息(4180, 4219, 4225, 4275) 专辑征稿通知(4172)

上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价

吕金刚, 毕春娟*, 陈振楼, 周婕成, 韩景超

(华东师范大学资源与环境科学学院, 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要: 为研究崇明岛农田土壤中 PAHs 浓度分布和生态风险, 于 2008 年采集崇明岛农田表层土壤 33 个. 使用加速溶剂萃取仪 (ASE300) 进行萃取, 经净化后, 使用气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS) 测定. 结果表明, 在采集的土壤样品中, PAHs 的含量范围为 24.92 ~ 1 014.61 ng·g⁻¹ (干重), 均值为 192.83 ng·g⁻¹ (干重). 16 种美国 EPA 优控的多环芳烃, 只有茚并 (1,2,3-cd) 芘 (IcdP) 和二苯并 (a,h) 蒽 (DahA) 未全部检出. PAHs 主要以 2~4 环为主, 其中 2 环和 3 环多环芳烃所占比例为 42.6%; 4 环多环芳烃的比例为 42.2%; 5~6 环多环芳烃的比例为 15.7%. 使用浓度比值法判定, 主要来源为石油源以及煤和木材的燃烧; 崇明岛生活燃烧和汽车等尾气排放可能是农田土壤中 PAHs 的重要来源之一. 生态效应区间法评价显示, 崇明岛农田土壤中 PAHs 生态风险较小.

关键词: 崇明岛; 农田土壤; 多环芳烃; 生态风险

中图分类号: X53; X820.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2012)12-4270-06

Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai

LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, ZHOU Jie-cheng, HAN Jing-chao

(Key Laboratory of Geo-information Science, Ministry of Education, School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The concentration and ecological risk of Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were investigated in thirty-three surface soil samples collected from cultivated land in Chongming Island in July 2008. Those samples were extracted using an accelerated solvent extractor (ASE) and determined by GC-MS. Results showed that the concentrations of PAHs ranged between 24.92-1 014.61 ng·g⁻¹ (dry weight), with a mean value of 192.83 ng·g⁻¹. The sixteen priority PAHs with exception of Indeno(1,2,3-cd)pyrene (IcdP) and Dibenzo(a,h)anthracene (DahA) were all detected in all the samples. The dominant compounds were 2-3 ring and 4 ring PAHs, which accounted for 42.6% and 42.2%, respectively, while the 5-6 ring PAHs accounted for 15.7%. PAHs in soil were mainly derived from the fossil oil and the combustion of wood and coal, as determined by the concentration ratio method. The non-industrial combustion and automobile exhaust emissions in Chongming Island may be two of the important sources of PAHs in farmland soil. The analysis of ecological risk showed that the agricultural soil of Chongming Island had low ecological risk.

Key words: Chongming Island; agriculture soils; polycyclic aromatic hydrocarbons; ecological risk

多环芳烃是环境中重要的有毒有害有机污染物之一^[1], 因其强烈的持久性^[2]和潜在致癌性^[3], 而受到广泛关注. 到目前为止, 几乎在所有的环境介质中都发现了多环芳烃的存在^[4,5]. 自然界中的多环芳烃最初主要是来自于自然火灾和植物分解^[6]. 但是近代以来, 化石燃料和木材等的不完全燃烧已经成为环境介质中多环芳烃的重要来源^[7~9]. 土壤作为多环芳烃迁移和转化的源和汇, 已经成为研究的热点之一.

崇明岛位于长江入海口, 岛内以农业为主. 作为河口冲积岛, 农田土壤主要由沉积物转化而来, 同时每年由于秸秆燃烧、汽车、轮船等尾气排放, 产生大量的污染物. 但是关于崇明岛农田土壤中多环芳烃的分布和生态风险还没有相关的研究. 本研究以崇明岛农田土壤为研究对象, 探究其多环芳烃的

含量特征、可能来源并进行初步的生态风险评价.

1 材料与方法

1.1 样品的采集

根据崇明岛土地利用现状, 于 2008 年 7 月采集土壤样品 30 个. 采样使用网格布点法, 尽量涵盖所有的土壤利用类型. 采样时每个样点的所在地块均大于 100 m × 100 m. 根据样点的实际情况, 采用蛇形布点法和随机取样混合法采集表层土壤 (0 ~ 20 cm), 每个样点采集土壤混合均匀后, 使用四分法收

收稿日期: 2012-02-14; 修订日期: 2012-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40701164, 40971259); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07317-006); 上海市科委基础研究重点项目 (10JC1404300)

作者简介: 吕金刚 (1987 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为城市水环境与水资源, E-mail: lvjin_g@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: cjbi@geo.ecnu.edu.cn

集足量样品装入聚乙烯自封袋中,并使用 GPS 定位(如图 1)。样品运回实验室后冷冻保存。

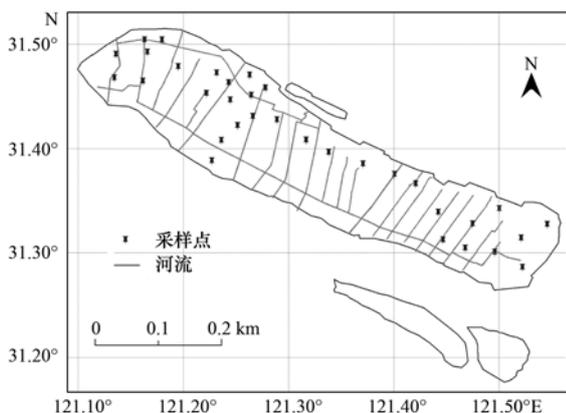


图 1 采样点示意

Fig. 1 Map of the sampling sites

1.2 样品的预处理

土壤样品经冷冻干燥后,剔除石块和植物根系后,取适量样品进行土壤有机质的测定;剩余部分研磨后过 60 目钢筛,用于多环芳烃(PAHs)测定。

取 20 g 过筛样品,使用加速溶剂萃取仪 ASE300(DIONEX 公司,美国)进行萃取。萃取剂选择丙酮和二氯甲烷(1:1,体积比)。萃取条件为:萃取压力为 10 342.14 kPa,静态循环 3 次,加热温度为 100℃,溶剂快速冲洗样品体积比为 60%,氮气吹扫收集提取液时间为 60 s。

用丙酮和二氯甲烷分 3 次洗涤收集瓶,合并萃取液。使用 DryVap 全自动定量浓缩仪(LabTech 公司,美国)浓缩,浓缩至 2~3 mL,加入 15 mL 正己烷进行溶剂转换;继续浓缩至 2~3 mL 后,使用硅胶和氧化铝层析柱净化。

层析柱使用二氯甲烷进行湿法装柱,自上至下依次是无水硫酸钠、中性氧化铝、硅胶、石英砂、玻璃棉;层析柱中硅胶和氧化铝的体积比为 2:1。使用 70 mL 洗脱液(二氯甲烷:正己烷,体积比 3:7)对层析柱进行冲洗;待浓缩液加入层析柱后,首先使用 15 mL 正己烷淋洗,弃掉淋洗液,然后加入 70 mL 洗脱液,收集洗脱液。在未加入洗脱液前始终保持层析柱页面要高于无水硫酸钠,并维持流速在 2 mL·min⁻¹左右。

洗脱液用 DryVap 浓缩至 2~3 mL,加入 15 mL 正己烷进行溶剂转换,并继续浓缩,准确定量至 0.9 mL。加入 100 μL 内标,待上机分析。

实验中所用的有机溶剂(丙酮、正己烷、二氯甲烷)均为农残级,购自 Merck 公司(德国);石英

砂、无水硫酸钠、氧化铝均购自国药集团,并在马弗炉中经 450℃ 灼烧 4 h;硅胶(国药集团)在 130℃ 下活化 16 h;玻璃棉为农残级,购自 CNW 公司,在马弗炉中经 350℃ 下灼烧 8 h。

1.3 样品测试

样品测定使用配有 CTC 自动进样器的气质联用仪 GC-MS(Agilent 7890AGC/5975CMS,美国)。色谱柱选择 HP-5MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)石英毛细管柱。进样方式为不分流进样,进样量为 1 μL;进样口温度为 300℃;离子源温度 150℃;传输线温度为 280℃。升温方法为:80℃ 保持 1 min;10℃·min⁻¹升温至 235℃,保持 0 min;4℃·min⁻¹升温至 300℃,保持 4 min。使用 SCAN 模式定性,SIM 模式定量。

标样包括 18 种 PAHs(Supelco,美国),其中包含 EPA 优先控制的 16 种 PAHs(萘(Nap)、蒽(Acy)、二氢蒽(Ace)、芴(Flo)、菲(Phe)、蒹(Ant)、荧蒹(Fla)、芘(Pyr)、苯并[a]蒹(BaA)、䓛(Chr)、苯并[b]荧蒹(BbF)、苯并[k]荧蒹(BkF)、苯并[a]芘(BaP)、茚并[1,2,3-cd]芘(IcdP)、二苯并[a,h]蒹(DahA)、苯并[g,h,i]芘(BghiP)和 1-甲基萘(1MNap)以及 2-甲基萘(2MNap),对其中的 16 种优控 PAHs 进行定量。

以氘代 PAHs(萘-d8、蒽-d10、菲-d10、芘-d12、䓛-d12)作回收率指示物,十氯联苯作为内标。方法的检出限为 0.01~0.23 ng·g⁻¹,样品的加标回收率为 64.2%~89.5%。

2 结果与讨论

2.1 崇明岛农田土壤中多环芳烃(PAHs)的含量特征

在采集的崇明岛 33 个农田土壤样品中,多环芳烃(PAHs)含量以及各个单体的含量水平如表 1 所示。16 种 EPA 优控的多环芳烃(\sum PAHs)含量范围为 24.92~1 014.61 ng·g⁻¹,均值为 192.83 ng·g⁻¹。各个单体的检出率也较高,只有茚并(1,2,3-cd)芘(IcdP)和二苯并(a,h)蒹(DahA)未全部检出。其中被认为具有高致癌性的苯并(a)芘(BaP)也全部检出,含量范围为 0.74~84.28 ng·g⁻¹,均值为 11.52 ng·g⁻¹。各种单体多环芳烃的变异系数较大,如萘(Nap)的变异系数高达 286%,表现出较大的离散型。

目前国内还没有关于 PAHs 方面的土壤质量标准,相对而言荷兰政府已经建立了一套关于多环芳烃评价和治理的标准,规定无污染的土壤中 PAHs

含量为 20 ~ 50 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$. 按照此标准崇明岛农田土壤中 PAHs 含量最高超过此标准的 20 倍. Maliszewska 等^[10] 研究波兰地区农业土壤, 将土壤 PAHs 污染分为 4 种水平, 即无污染 ($< 200 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)、轻微污染 (200 ~ 600 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$)、中等污染 (600 ~ 1 000 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$) 和严重污染 ($> 1 000 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$). 参照该标准崇明岛农田土壤中只有 1 个

样品属于 PAHs 严重污染, 而 90.1% 的土壤属于无污染或轻微污染, 农田土壤总体尚好.

与国内的研究 (表 2) 相比, 崇明岛农田土壤中 PAHs 含量要低于河北省大清河流域、广州周边和江苏吴江市农田土壤, 但是要高于杭州、南京和慈溪市等农田土壤, 大致和福州市农田土壤相当.

表 1 崇明岛农田土壤中 PAHs 含量统计特征

Table 1 Statistical characteristics of the concentrations of PAHs in agriculture soils of Chongming Island

多环芳烃(PAHs)		含量范围	平均值	变异系数	检出率
名称	环数	/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$	/%	/%
萘 Nap	2	2.81 ~ 320.46	18.99	286	100
苊烯 Acy	3	0.36 ~ 5.11	1.26	72	100
苊 Ace	3	0.31 ~ 7.04	1.38	96	100
芴 Flo	3	1.08 ~ 19.86	4.85	76	100
菲 Phe	3	6.12 ~ 151.33	28.92	94	100
蒽 Ant	3	0.44 ~ 58.10	6.92	171	100
荧蒽 Fla	4	4.43 ~ 238.93	34.62	142	100
芘 Pyr	4	3.53 ~ 228.63	30.01	152	100
苯并(a)蒽 BaA	4	0.79 ~ 81.27	11.97	159	100
䓑 Chr	4	1.01 ~ 80.56	13.47	142	100
苯并(b)荧蒽 BbF	5	0.43 ~ 56.95	8.25	169	100
苯并(k)荧蒽 BkF	5	0.64 ~ 35.77	6.45	140	100
苯并(a)芘 BaP	5	0.74 ~ 84.28	11.52	169	100
茚并(1,2,3-cd)芘 IcdP	5	ND ~ 32.51	3.94	196	97.0
二苯并(a,h)蒽 DahA	5	ND ~ 9.92	1.11	195	94.8
苯并(g,h,i)芘 BghiP	6	0.70 ~ 60.89	9.17	162	100
\sum PAHs	—	24.92 ~ 1 014.61	192.83	—	—

表 2 国内不同地区农田土壤中 PAHs 含量比较/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 2 Comparison of PAHs in agriculture soils from different regions/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

土壤来源	PAHs 种类	\sum PAHs	文献
杭州郊区农田土壤	16	507.21 ~ 781.44 (675.26)	[11]
广州周边农田土壤	16	42 ~ 43 077	[12]
福州市农田土壤	16	100.2 ~ 1 215.1 (522.7)	[13]
慈溪市农田土壤	15	70.4 ~ 325.1 (189.8)	[14]
河北省大清河流域农田土壤	16	54.2 ~ 3 231.6 (405.1)	[15]
兴化市农田土壤	16	673.6 ~ 2 286.8 (1 370.3)	[16]
吴江市农田土壤	16	219.5 ~ 1 628.6 (801.1)	[16]
宜兴市农田土壤	16	93.0 ~ 266.5 (210.8)	[16]
南京市六合区农田土壤	16	45.6 ~ 210.9 (126.7)	[16]

2.2 崇明岛农田土壤中 PAHs 结构特征以及与 TOC 的关系

崇明岛农田土壤中多环芳烃(PAHs)的组成结构如图 2 所示. 在采集的 33 个农田土壤样品中, PAHs 的组成以 2 ~ 4 环为主. 其中 2 环和 3 环多环芳烃所占比例为 15.6% ~ 65.0% (平均 42.6%); 4 环多环芳烃的比例为 27.8% ~ 64.7% (平均 42.2%); 5 环和 6 环多环芳烃的比例为 4.9% ~ 33.4% (平均 15.7%). 这也与广州、福州以及江苏省关于农田土壤的研究相一致^[12,13,16]. 由于 PAHs 就有很强的疏水性, 因此在很多研究中总有机碳

(TOC)的含量有很好的相关性. 在采集的 33 个崇明岛农田土壤中, TOC 的含量为 0.37% ~ 3.3%, 均值为 2.02%. 但在本研究中, 土壤 TOC 与 PAHs 并没有的明显的相关性, 可能原因是采集的土壤为农田土壤, 而农田土壤受人类耕作等活动影响导致 TOC 含量出现差异性.

2.3 崇明岛农田土壤中 PAHs 判源分析

Edwards 等^[6] 研究表明, 典型的土壤中 PAHs 内源主要来自于植物的分解或自然火灾等, PAHs 的含量范围为 1 ~ 10 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$. 在检测的 33 个表层土壤样品中, 都要高于这个数值, 说明存在外源输入.

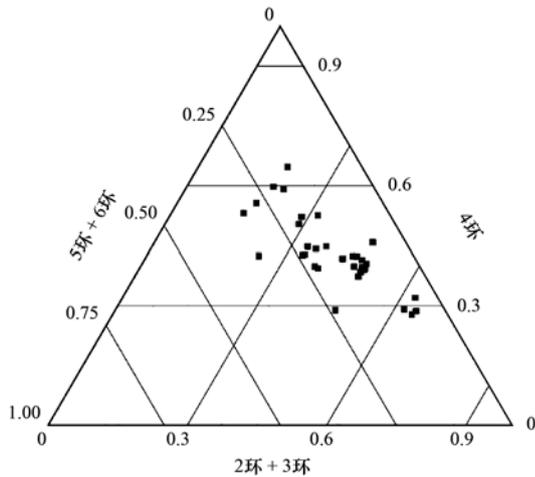


图2 崇明岛农田土壤中 PAHs 的结构特征
Fig. 2 Structural features of PAHs in agriculture soils of Chongming Island

不同源产生的 PAHs 在种类和环数上不同,如挥发性较强的萘(Nap)等主要是原煤和原油燃烧的产物^[17~19]; Phe、Ant、Fla 及 Pyr 等主要是煤和木材等燃烧的产物等^[8,20]. 因此研究中常用浓度比值法对 PAHs 进行判源.

研究中常使用 Fla/(Fla + Pyr) 和 Ant/(Ant + Phe) 对 PAHs 来源进行判别. Fla/(Fla + Pyr) < 0.4, 说明可能是石油源; 0.4 < Fla/(Fla + Pyr) < 0.5, 说明可能是来自于石油燃烧; Fla/(Fla + Pyr) > 0.5, 则说明主要来源于煤和木材的燃烧^[21]. 同样 Ant/(Ant + Phe) < 0.1, 说明为石油源; Ant/(Ant + Phe) > 0.1, 说明为燃烧源^[22]. 本研究以 Fla/(Fla

+ Pyr) 和 Ant/(Ant + Phe) 为 x、y 轴,对崇明岛农田土壤中的 PAHs 进行判源分析,结果如图 3 所示. 在采集的 33 个土壤样品中,PAHs 的来源主要有石油源和燃烧源两种,其中燃烧源主要是以煤和木材燃烧. 崇明岛地处农村地区,冬季燃煤取暖等可能是 PAHs 的重要来源之一,另外随着崇明岛经济的发展,汽车尾气的排放和沿岸港口的利用是另一个崇明岛农田土壤中 PAHs 的来源.

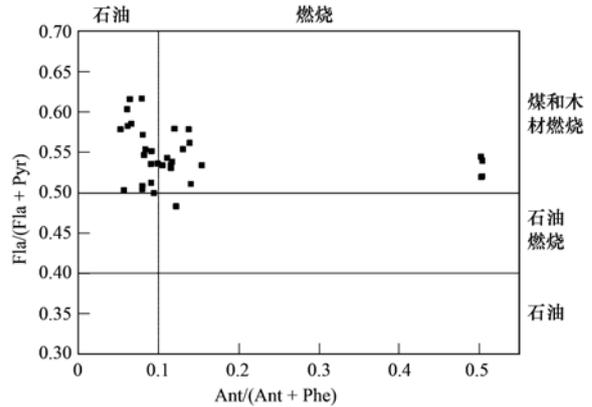


图3 崇明岛农田土壤中 PAHs 来源分析
Fig. 3 Source apportionment of PAHs in agriculture soils of Chongming Island

2.4 崇明岛农田土壤生态风险评价

目前关于土壤生态风险评价的研究还相对较少,一般来说高分子量 PAHs 的潜在致癌性要高于低分子量^[23]. Long 等^[24]研究水系沉积物中有机污染物的潜在生态风险,将生态风险效应划分为不同的风险效应区间. 如表 3 所示,低于 ERL 说明生物

表3 崇明岛农田土壤中 PAHs 生态风险评价

Table 3 Ecological risk assessment of PAHs in agricultural soil of the Chongming Island

项目	类型 ^[23] /ng·g ⁻¹		<ERL 的样品个数 /个	ERL ~ ERM 的样品个数/个	>ERM 的样品个数/个
	ERL	ERM			
Nap	160	2 100	32	1	0
Acy	44	640	33	0	0
Ace	16	500	33	0	0
Flo	19	540	32	1	0
Phe	240	1 500	33	0	0
Ant	85.3	1 100	33	0	0
Fla	600	5 100	33	0	0
Pyr	665	2 600	33	0	0
BaA	261	1 600	33	0	0
Chr	384	2 800	33	0	0
BbF	—	—	—	—	—
BkF	—	—	—	—	—
BaP	430	1 600	33	0	0
IcdP	—	—	—	—	—
DahA	63.4	260	33	0	0
BghiP	—	—	—	—	—
∑ PAHs	4 022	44 792	33	0	0

有害几率 < 10%, 极少产生负面生态效应; 高于 ERM 说明生物有害几率高于 50%, 经常出现负面生态效应; 在 ERL 和 ERM 之间则表示偶尔发生负面生态效应. 但在 Long 等^[24] 研究也发现 BbF、BkF、IcdP 和 BghiP 的生态风险没有最低的安全值, 即只要它们存在就会对生物产生毒害作用.

在本研究中, 崇明岛农田土壤中 PAHs 含量只有两个样品属于 ERL ~ ERM 之间, 但部分样品 PAHs 含量均低于 ERL, 说明崇明岛农田土壤中 PAHs 生态风险较小. 同时 BbF、BkF 和 BghiP 在所有的样品中都有检出, IcdP 部分检出 (检出率为 97.0%), 可能会产生负面生态效应, 因此在崇明岛农田土壤中 PAHs 具有一定的潜在生态风险.

3 结论

(1) 在采集的崇明岛农田土壤中, PAHs 的含量为 24.92 ~ 1 014.61 ng·g⁻¹, 均值为 192.83 ng·g⁻¹. PAHs 的各个单体检出率较高, 只有茚并(1,2,3-cd) 芘(IcdP) 和二苯并(a,h) 蒽(DahA) 未全部检出, 并表现出较大的离散型.

(2) 崇明岛农田土壤中 PAHs 的组成结构主要以 2~4 环 PAHs 为主, 与土壤总有机碳没有明显的相关性.

(3) 崇明岛农田土壤中 PAHs 主要来源为石油和燃烧源, 其中燃烧源主要来自于煤和木材的燃烧; 崇明地区生活燃烧以及汽车等尾气的排放可能是崇明岛农田土壤中 PAHs 的重要来源.

(4) 崇明岛农田土壤中的生态风险较小, 16 种 PAHs 中只有 BbF、BkF 和 BghiP 具有一定的潜在风险, 其他的 PAHs 潜在生态风险较小.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Neff J M. Polycyclic aromatic hydrocarbons[A]. In: Rand G M, Petrocelli S R (Eds.). *Fundamentals of aquatic toxicology: methods and applications* [M]. Washington DC: Taylor and Francis Ltd, 1985. 416-454.
- [3] DeWitt T H, Ozretich R J, Swartz R C, *et al.* The influence of organic matter quality on the toxicity and partitioning of sediment-associated fluoranthene [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1992, **11**(2): 197-208.
- [4] Ahmed B J, Gul K T, Qadir S A, *et al.* Speciation and evaluation of Arsenic in surface water and groundwater samples: A multivariate case study[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2010, **73**(5): 914-923.
- [5] Ogata Y, Takada H, Mizukawa K, *et al.* International pellet watch: global monitoring of persistent organic pollutants (POPs) in coastal waters. 1. Initial phase data on PCBs, DDTs, and HCHs[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, **58**(10): 1437-1446.
- [6] Edwards N T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the terrestrial environmental review [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1983, **12**: 427-441.
- [7] Wang X C, Sun S, Ma H Q, *et al.* Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2006, **52**(2): 129-138.
- [8] Mastral A M, Callén M, Murillo R. Assessment of PAH emissions as a function of coal combustion variables[J]. *Fuel*, 1996, **75**(13): 1533-1536.
- [9] Li C K, Kamens R M. The use of polycyclic aromatic hydrocarbons as source signatures in receptor modeling [J]. *Atmospheric Environment*, 1993, **27**(4): 523-532.
- [10] Maliszewska K B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soil in Poland: preliminary proposal for criteria to evaluate the level of soil contamination [J]. *Applied Geochemistry*, 1996, **11**(1-2): 121-127.
- [11] 于国光, 张志恒, 叶雪珠, 等. 杭州市郊区表层土壤中的多环芳烃[J]. *生态环境学报*, 2009, **18**(3): 925-928.
- [12] 陈来国, 冉勇, 麦碧娴, 等. 广州周边菜地中多环芳烃的污染现状[J]. *环境化学*, 2004, **23**(3): 341-344.
- [13] 韩志刚, 杨玉盛, 杨红玉, 等. 福州市农业土壤多环芳烃的含量、来源及生态风险[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2008, **3**(2): 34-41.
- [14] 李久海, 董元华, 曹志洪, 等. 慈溪市农田表层、亚表层土壤中多环芳烃 (PAHs) 的分布特征 [J]. *环境科学学报*, 2007, **27**(11): 1909-1914.
- [15] 赵健, 周怀东, 陆瑾, 等. 大清河流域表层土壤中多环芳烃的污染特征及来源分析[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(7): 1452-1458.
- [16] 丁爱芳, 潘根兴, 李恋卿. 江苏省部分地区农田表土多环芳烃含量比较及来源分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2007, **23**(2): 71-75.
- [17] Utvik T I R, Durell G S, Johnsen S. Determining produced water originating polycyclic aromatic hydrocarbons in North Sea waters: comparison of sampling techniques [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1999, **38**(11): 977-989.
- [18] Luca G D, Furesi A, Leardi R, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons assessment in the sediments of the Porto Torres Harbor (Northern Sardinia, Italy) [J]. *Marine Chemistry*, 2004, **86**(1-2): 15-32.
- [19] Zakaria M P, Takada H, Tsutsumi S, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in rivers and estuaries in Malaysia: a widespread input of perogenic PAHs [J]. *Environmental Science and Technology*, 2002, **36**(9): 1907-1918.

- [20] Masclet P, Bresson M A, Mouvier G. Polycyclic aromatic hydrocarbons emitted by power stations, and influence of combustion conditions[J]. *Fuel*, 1987, **66**(4): 556-562.
- [21] Yunker M B, Macdonald R W, Vingarzen R, *et al.* PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicator of PAH sources and composition [J]. *Organic Geochemistry*, 2002, **33**(4): 489-515.
- [22] Budzinski H, Jones I, Belloep J, *et al.* Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary[J]. *Marine Chemistry*, 1997, **58**(1-2): 85-97.
- [23] USEPA. Health effect assessment for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [S]. Environmental Protection Agency, Environmental Criteria and Assessment Office. Cincinnati, OH. EPA 549/1-86-013.
- [24] Long R E, Macdonald D D, Smith L S, *et al.* Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments [J]. *Environmental Management*, 1995, **19**(1): 81-97.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjkx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjkx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjkx.ac.cn

CONTENTS

Preface	CHEN Wei-ping (4069)
Ecological Risks of Reclaimed Water Irrigation: A Review	CHEN Wei-ping, ZHANG Wei-ling, PAN Neng, <i>et al.</i> (4070)
Study on Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Carbon in Greenland Irrigated with Reclaimed Water	PAN Neng, HOU Zhen-an, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4081)
Soil Salinity in Greenland Irrigated with Reclaimed Water and Risk Assessment	PAN Neng, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4088)
Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Properties and Vertical Distribution of Heavy Metal	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4094)
Simulation of Effect of Irrigation with Reclaimed Water on Soil Water-Salt Movement by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4100)
Simulation of Effects of Soil Properties and Plants on Soil Water-salt Movement with Reclaimed Water Irrigation by ENVIRO-GRO Model	LÜ Si-dan, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e (4108)
Modeling the Cd Accumulation in Agricultural Soil Irrigated with Reclaimed Water	ZHAO Zhong-ming, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao, <i>et al.</i> (4115)
Model Simulation of the Transportation, Transformation and Accumulation of Synthetic Musk in Soils Input Through Recycle Water Irrigation	WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4121)
Impacts of Reclaimed Water Irrigation of Urban Lawn on Groundwater Quality	WANG Qiao-huan, CHEN Wei-ping, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (4127)
Public Awareness Assessment of Water Reuse in Beijing	ZHANG Wei-ling, CHEN Wei-ping, JIAO Wen-tao (4133)
Temporal and Spatial Distribution of Ozone Concentration by Aircraft Sounding over Beijing	CHEN Peng-fei, ZHANG Qiang, QUAN Jian-nong, <i>et al.</i> (4141)
Emission Strength and Source Apportionment of Volatile Organic Compounds in Shanghai During 2010 EXPO	WANG Hong-li, CHEN Chang-hong, HUANG Hai-ying, <i>et al.</i> (4151)
Study on Atmospheric VOCs in Gongga Mountain Base Station	ZHANG Jun-ke, WANG Yue-si, WU Fang-kun, <i>et al.</i> (4159)
Regional Atmospheric Environment Risk Source Identification and Assessment	ZHANG Xiao-chun, CHEN Wei-ping, MA Chun, <i>et al.</i> (4167)
Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanes and <i>n</i> -Alkanoic Acids in the Smoke from Combustion of Rice Straw	LIU Gang, SUN Li-na, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (4173)
Research on NEDC Ultrafine Particle Emission Characters of a Port Fuel Injection Gasoline Car	HU Zhi-yuan, LI Jin, TAN Pi-qiang, <i>et al.</i> (4181)
Magnetic Response of Street Tree Leaves to Particulate Pollution in Shanghai	LONG Qian, ZHOU Ju-zhen, MENG Jie, <i>et al.</i> (4188)
Diurnal Variations of Greenhouse Gas Fluxes at the Water-Air Interface of Aquaculture Ponds in the Min River Estuary	YANG Ping, TONG Chuan, HE Qing-hua, <i>et al.</i> (4194)
Effects of Simulated Warming on Soil Respiration in a Cropland Under Winter Wheat-Soybean Rotation	LIU Yan, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (4205)
Transport and Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Air from Dashiwei Karst Sinkholes in Guangxi, China	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, SUN Qian, <i>et al.</i> (4212)
Pollution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water of Songhua River Basin During the Icebound Season	MA Wan-li, LIU Li-yan, QI Hong, <i>et al.</i> (4220)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, <i>et al.</i> (4226)
Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Riparian Soils Along Urban Rivers of Wenzhou City	ZHOU Jie-cheng, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4237)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Partial Surface Sediments of Liaohe River	WU Jiang-yue, LIU Zheng-tao, ZHOU Jun-li, <i>et al.</i> (4244)
Phenols Pollutants in Soil and Shallow Groundwater of a Retired Refinery Site	PEI Fang, LUO Ze-jiao, PENG Jin-jin, <i>et al.</i> (4251)
Heterogeneous Characteristic of PAHs' Spatial Distribution in a Large Coking Site of China	LIU Geng, GUO Guan-lin, NAN Feng, <i>et al.</i> (4256)
Vertical Distribution and Source Analysis of Organochlorine Pesticides in Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LIAO Xiao-ping, ZHANG Cai-xiang, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (4263)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil of the Chongming Island in Shanghai	LÜ Jin-gang, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (4270)
Mercury and Copper Accumulation During Last Fifty Years and Their Potential Ecological Risk Assessment in Sediment of Mangrove Wetland of Shenzhen, China	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (4276)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in the Sediments from Shahe Reservoir, the Upper Reach of the North Canal River	ZHANG Wei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (4284)
Speciation and Pollution Characteristics of Heavy Metals in the Sediment of Taihu Lake	QIN Yan-wen, ZHANG Lei, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (4291)
Chemical Composition and Daily Variation of Melt Water During Ablation Season in Monsoonal Temperate Glacier Region; A Case Study of Baishui Glacier No. 1	ZHU Guo-feng, PU Tao, HE Yuan-qing, <i>et al.</i> (4300)
Experimental Study on the Environmental Fate of Nitrogen in Snail-Macrophyte Ecosystem for Water Purification	ZHOU Lu-hong, GU Xiao-hong, ZENG Qing-fei, <i>et al.</i> (4307)
Growth Inhibition Effect of Immobilized Pectinase on <i>Microcystis aeruginosa</i>	SHEN Qing-qing, PENG Qian, LAI Yong-hong, <i>et al.</i> (4316)
A Novel Approach of Using Fouling Index to Evaluate NOM Fouling Behavior During Low Pressure Ultrafiltration Process	XIAO Ping, XIAO Feng, ZHAO Jing-hui, <i>et al.</i> (4322)
Characteristics of Monomethylmercury Photodegradation in Water Body	SUN Rong-guo, MAO Wen, MA Ming, <i>et al.</i> (4329)
Degradation of Oxytetracycline with Ozonation in Acetic Acid Solvent	LI Shi-yin, LI Xiao-rong, ZHU Yi-ping, <i>et al.</i> (4335)
Photodegradation Performance and Mechanisms of Carbamazepine and Its Impact Factors	CHEN Chao, ZHAO Qian, FENG Li, <i>et al.</i> (4340)
Investigation of Nitrobenzene Removal by Iron Sulfide (FeS)	WANG Xia-lin, LI Rui-hua (4346)
Experimental Research on <i>In-Situ</i> Auto-Monitoring for Underground Sewage Pipeline Leakage	GUO Lei, JIA Yong-gang, FU Teng-fei, <i>et al.</i> (4352)
Adsorption of Phenol Chemicals by Surfactant-Modified Zeolites	XIE Jie, WANG Zhe, WU De-yi, <i>et al.</i> (4361)
Acute Toxicity of Antibiotics and Anaerobic Digestion Intermediates in Pharmaceutical Wastewaters	JI Jun-yuan, XING Ya-juan, ZHENG Ping (4367)
Study on Phosphorus Removal Capability of Constructed Wetlands Filled with Broken Bricks	WANG Zhen, LIU Chao-xiang, LI Peng-yu, <i>et al.</i> (4373)
Denitrification Water Treatment with Zeolite Composite Filter by Intermittent Operation	QING Cheng-song, BAO Tao, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (4380)
Influence of Nitrate on the Simultaneous Methanogenesis and Denitrification Reaction of Anaerobic Biofilm and Granular Sludge	ZHONG Chen-yu, YE Jie-xu, LI Ruo-yu, <i>et al.</i> (4387)
Study on Dewatering of Activated Sludge Under Applied Electric Field	JI Xue-yuan, WANG Yi-li, FENG Jing (4393)
Effects of Multiple Environmental Factors on Trifluorsulfuron-methyl Degradation in Soils	SONG Ning-hui, SHAN Zheng-jun, SHI Li-li, <i>et al.</i> (4400)
Effect of Alkaline Post-Treatment on Physicochemical Property of Digested <i>Spartina alterniflora</i>	CHEN Guang-yin, ZHENG Zheng, CHANG Zhi-zhou, <i>et al.</i> (4406)
Structural Changes in Mineral Phases and Environmental Release Behavior of Arsenic During Sintering of Arsenic-containing Waste	WANG Xing-run, NONG Ze-xi, WANG Qi (4412)
Study on Emission Standard System of Air Pollutants	JIANG Mei, ZHANG Guo-ning, ZHANG Ming-hui, <i>et al.</i> (4417)
Mechanism for Transformation of Environmental Criteria into Environmental Standards in China	BI Cen-cen, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long (4422)
Effect Analysis on the Two Total Load Control Methods for Poisonous Heavy Metals	FU Guo-wei (4428)

《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)

2012年12月15日 33卷 第12期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 12 Dec. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行