

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

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

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放	何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气 CH ₄ 和 CO 在线观测方法研究	汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子	朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究	王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征	段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究	王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征	丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究	许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素	蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化	陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟	马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究	侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析	张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究	陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO ₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究	张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH 值对纳米零价铁吸附降解 2,4-二氯苯酚的影响	冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究	陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价	宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析	曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究	谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH 及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响	庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究	吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用	徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究	廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究	陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究	贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法	宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数	王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响	董峰,张捍民,杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响	刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究	曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究	陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估	陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究	杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建	朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究	别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)
纳米 TiO ₂ 对短裸甲藻的毒性效应	李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥 3 种内分泌干扰物的空间分布及环境风险	李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析	王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险	刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价	刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律	项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究	吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复	付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征	江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(II) 对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响	黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究	张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地微生物群落结构	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域 8 种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究	封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析	张健,关连珠,颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响	赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)

电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析

王学彤¹, 贾金盼¹, 李元成¹, 孙阳昭², 吴明红¹, 盛国英^{1,3}, 傅家谟^{1,3}

(1. 上海大学环境与化学工程学院环境污染与健康研究所, 上海 200444; 2. 中华人民共和国环境保护部, 北京 100035; 3. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州 510640)

摘要: 用 GC-NCI-MS 法测定了路桥农业表层土壤中 46 种多氯萘 (PCNs) 的含量. 目的是了解该地区表层土壤中 PCNs 的污染水平、空间分布特征和来源. 结果表明, 所有表层土壤样品中 $\sum$ PCNs 的含量为 $0.062 \sim 2.92 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均值为 $0.630 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$. 多数样品中 tetra-CN 和 penta-CN 是最主要的同族体, 分别占 18.4% ~ 88.8% (平均值为 46.7%) 和 8.40% ~ 53.1% (平均值为 30.7%), 其次是 tri-CN, 范围为 0 ~ 47.3%, 平均值为 10.6%. 聚类分析和燃烧指示物分析表明, 采样点主要受 Halowax 1014 和 Halowax 1013 工业品污染, PCBs 工业品和电子废物燃烧也可能对污染有贡献. 与国内外其它研究相比, 研究区域内土壤中 PCNs 污染处于中等水平.

关键词: 电子废物; 土壤; 多氯萘; 含量; 分布; 来源

中图分类号: X131.3 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0247-06

Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area

WANG Xue-tong¹, JIA Jin-pan¹, LI Yuan-cheng¹, SUN Yang-zhao², WU Ming-hong¹, SHENG Guo-ying^{1,3}, FU Jia-mo^{1,3}

(1. Institute of Environmental Pollution and Health, School of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 2. Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100035, China; 3. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The concentration of 46 polychlorinated naphthalenes (PCNs) in the agricultural soils from Luqiao was analyzed by GC-NCI-MS. The objectives of this study were to investigate the contents, spatial distribution and sources of PCNs. The total concentrations of PCNs ($\sum$ PCNs) in soil samples were in the range of 0.062 to $2.92 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, with a mean of $0.630 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$. Tetra-CN and penta-CN were the predominant homologues in most of the samples, accounting for 18.4% - 88.8% and 8.40% - 53.1%, with average values of 46.7% and 30.7%, respectively, followed by tri-CN, accounting for 0 - 47.3%, with a mean of 10.6%. Cluster analysis and combustion marker analysis showed that the sampling sites were mainly polluted by Halowax 1014 and Halowax 1013, also possibly polluted by PCBs mixtures and e-waste combustion process. Compared to other studies, the PCNs concentration in this study was at a medium level.

Key words: electronic waste; soils; polychlorinated naphthalenes (PCNs); contents; distribution; source

多氯萘 (polychlorinated naphthalenes, PCNs) 是一类结构与 PCBs 和 PCDD/Fs 相似的化合物, 广泛应用于电缆绝缘体、电容器阻燃剂、木材防腐剂和润滑剂等^[1~3]. PCNs 在全球的累计产量达 150 000 t^[3]. 除 PCNs 的历史使用外, 垃圾焚烧、金属冶炼、氯碱生产等过程也会产生 PCNs^[1,2,4,5]. PCNs 是典型的持久性有机污染物, 具有胚胎毒性、肝毒性、免疫毒性和“三致”毒性等^[1]. PCNs 在环境中普遍存在^[1,4], 在各种环境介质^[6~8]、生物体^[8~11]和人体组织中^[12]均有检出, 已引起广泛的关注. 联合国欧洲经济委员会 (United Nations Economic Commission for

Europe, UNECE) 和世界野生动物保护基金会 (World Wildlife Fund, WWF) 推荐将 PCNs 列入“优先控制持久性有机污染物的候补名单”中, 由 PCNs 所导致的环境污染已经成为环境科学研究的一大热点^[4].

浙江台州是中国较早的电子废物拆解地之一, 原始的手工拆解方式导致了当地的环境污染^[13]. 在

收稿日期: 2011-03-04; 修订日期: 2011-07-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40830744); 上海市重点学科项目 (S30109)

作者简介: 王学彤 (1963 ~), 男, 副教授, 主要研究方向为环境分析化学与环境物理化学, E-mail: wangxt0323@yahoo.com.cn

拆解过程中,含 PCNs 的电子废物的不当处置和燃烧都会使 PCNs 释放到环境中。目前,有关台州表层土壤中 PCNs 污染的数据还鲜见报道。本研究通过采集台州路桥的农业土壤,对其中 PCNs 的污染水平、分布特征和来源进行探讨,以期为当地生态环境保护 and 污染治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与制备

2007 年 3 月采集台州市路桥区 41 个农业土壤样品(表层 0~10 cm)(如图 1),每个样品是在 100 m×100 m 的范围内,取 3~5 份等量的表层土均匀混合而成。样品用聚乙烯密实袋包装后带回实验室,风干后研磨,过 60 目筛,再装入棕色试剂瓶中密封,低温避光保存、备用。

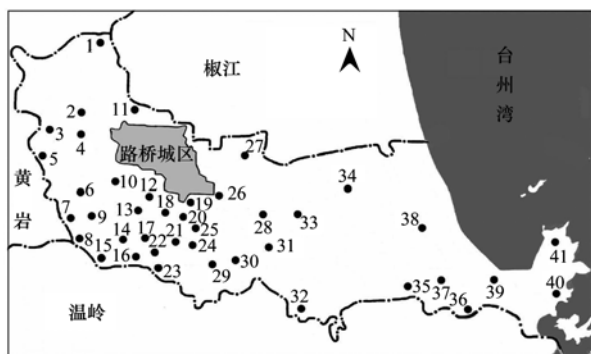


图 1 土壤采样点分布示意

Fig. 1 Map of sampling sites

1.2 标准物质与材料

丙酮、二氯甲烷、正己烷和异辛烷(均为分析纯,上海国药集团,采用全玻璃蒸馏系统二次蒸馏,并经色谱检验无干扰峰);甲苯(色谱纯);硅胶(100~200 目,130℃下活化 16 h 冷却后酸化处理,充分振荡至无结块,密封保存至干燥器中,平衡 24 h);中性氧化铝(100~200 目,130℃下活化 16 h 后冷却加 6% 的超纯水去活化,充分振荡至无结块,密封保存至干燥器中,平衡 24 h);旋转蒸发仪 R-215(瑞士 BUCHI);Milli-Q 超纯水机(美国 Millipore 公司);ENVI™-Carb 固相萃取柱(250 mg, 3 mL)与固相萃取装置(美国 Supelco 公司)。

PCNs 标样:Halowax1013、1014 和 1051(简称 HW1013、1014 和 1051,美国 Accustandard 公司),回收率内标¹³C₁₀-PCNs(¹³C₁₀-PCN27、42、52、67、73 和 75,美国 CIL 公司),进样内标 PCB209(美国 Accustandard 公司)。

1.3 样品前处理

准确称取 10 g 土壤样品,与 10 g 无水硫酸钠混合均匀,加入一定量回收率内标(¹³C₁₀-PCNs)后,用 150 mL 丙酮/正己烷混合液(1:1,体积比)索氏提取 24 h,提取前在平底烧瓶内加入新鲜活化铜片。提取液用旋转蒸发仪浓缩,将溶剂转换为正己烷。浓缩后提取液用硅胶/氧化铝复合柱(30 cm×1 cm i.d)净化。样品上柱后,用 50 mL 正己烷洗脱,洗脱液浓缩至 1 mL。然后过固相萃取柱(小柱预先依次用 20 mL 丙酮、20 mL 甲苯和 20 mL 正己烷淋洗),样品上柱后先用正己烷淋洗,弃去;再用甲苯洗脱,洗脱液浓缩、转换溶剂后,加入进样内标 PCB209,异辛烷定容至 0.2 mL,待 GC-MS 测定。

1.4 样品分析

样品分析所用仪器为 Agilent 6890N 气相色谱-5975 质谱联用仪(美国 Agilent)。色谱条件:初始温度 75℃,保持 1.5 min,以 10℃·min⁻¹速度升至 180℃,保持 5 min,以 3℃·min⁻¹速度升至 210℃,再以 2℃·min⁻¹速度升至 246℃,最后以 5℃·min⁻¹速度升至 280℃,保持 5 min。质谱条件:电离方式为负化学电离源(NCI);接口温度 280℃,离子源温度 250℃,四极杆温度 150℃,反应气为甲烷;数据采集采用选择离子模式(SIM)。采用保留时间和质谱法定性,内标法定量。

1.5 质量保证及质量控制

以¹³C₁₀-PCNs 作为回收率内标,PCB209 作为进样内标。目标化合物的基质加标回收率为 61.5%~108%(n=5)。每 12 个样品增加 1 个实验室空白和 1 个平行样品。平行样品的相对标准偏差<15%。以过程空白样品 3 倍信噪比作为方法的检测限(LODs),LODs 为 0.002~0.005 ng·g⁻¹。样品中回收率内标¹³C₁₀-PCNs 回收率均大于 80%。分析结果未经回收率校正,所有结果均以干重表示。

2 结果与讨论

2.1 PCNs 的污染水平及分布特征

所有样品中均能检测到 PCNs,但各同类物的检出率有较大差别。PCN14/21/24、23、37/33/34、47、28/43、48/35、38/40、52/60、57、62、53/55、59、56、66/67、64/68、71/72 和 65 等 29 种同类物的检出率大于 70%,PCN36、27/30、32、46、41、63、73 和 74 等 9 种同类物的检出率低于 50%。所测 46 种 PCNs($\sum$ PCNs)的浓度范围为 0.062~

2.92 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$, 平均值为 0.63 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$; 7、29 和 12 号样品浓度最高, 分别为 2.92、2.73 和 2.19 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$; 其次是 18、14、19 和 21 号样品, 浓度分别为 2.06、1.23、1.20 和 1.13 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$; 其余样品浓度较低 ($<1 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)。从空间分布上看, 污染较高的采样点在路桥城区以南的区域(图 2), 主要表现为点源污染, 其余区域样品的 PCNs 含量普遍较低。

本研究根据已知的相对毒性因子 (relative potencies, REPs)^[14] 计算各样品中 PCNs 的毒性当量浓度 (TEQs)。TEQs 范围 (以干重计, 下同) 在 $1.10 \times 10^{-4} \sim 1.05 \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$ 之间, 平均值为 $1.35 \times 10^{-1} \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$, 高于卧龙地区土壤的背景值 $1 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-4} \text{ pg}\cdot\text{g}^{-1}$ ^[15]。PCN66/67、64/68、69 和 63 是 TEQs 的主要贡献者, 平均占 TEQs 的 87.0%。与 $\sum$ PCNs 分布情况不同, 19 号样品的 TEQs 值最大, 其次为 14 和 21 号, 主要是因为这些点的 66/67 含量较高, 且 66/67 的 REP 较大。66/67 对上述各样品 TEQs 贡献值分别为 97.8%、96.2% 和 93.8%。

2.2 PCNs 同族体的组成特征

PCNs 工业品分为 Halowax1031、1000、1001、1099、1013、1014 和 1051 等 7 类^[1]; PCBs 工业品 Aroclor1016、1232、1248、1254、1260 和 1262 (简称 Ar1016、1232、1248、1254、1260 和 1262) 中也含有少量的 PCNs, 但由 PCBs 工业品使用所释放的 PCNs 不超过 PCNs 工业品释放的 1%^[16,17]。这些产品在

生产、运输、保存、使用和处置时都有可能向环境中释放 PCNs。样品中各种 PCNs 同族体的百分含量如图 3。从中可以看出主要同族体为 tetra-CNs 和 penta-CNs, 分别占 18.4% ~ 88.8% (平均值为 47.4%) 和 7.2% ~ 53.1% (平均值为 30.3%)。14 个样品中 tetra-CNs 相对含量 $>50\%$, 其中 4 个样品 (18、39、40 和 41 号样品) 中 tetra-CNs 相对含量 $>80\%$; 12 个样品中 penta-CNs 的相对含量 $>50\%$; 其次为 tri-CNs, 范围在 0 ~ 47.3% 之间 (平均值为 10.5%)。Hexa ~ octa-CNs 的含量对 $\sum$ PCNs 贡献较小, 分别为 0 ~ 36.0% (平均值为 9.3%)、0 ~ 5.0% (平均值为 0.4%) 和 0 ~ 24.5% (平均值为 2.1%)。

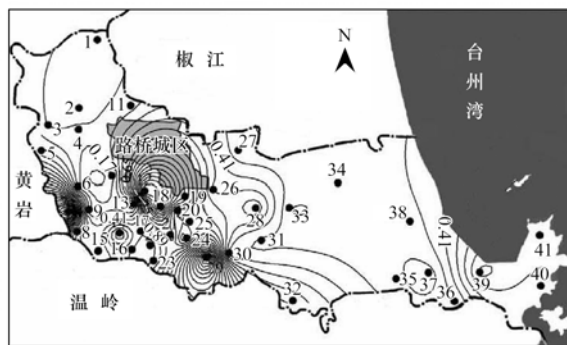


图 2 土壤中 $\sum$ PCNs 等值线

Fig. 2 Contour map of $\sum$ PCNs in soils

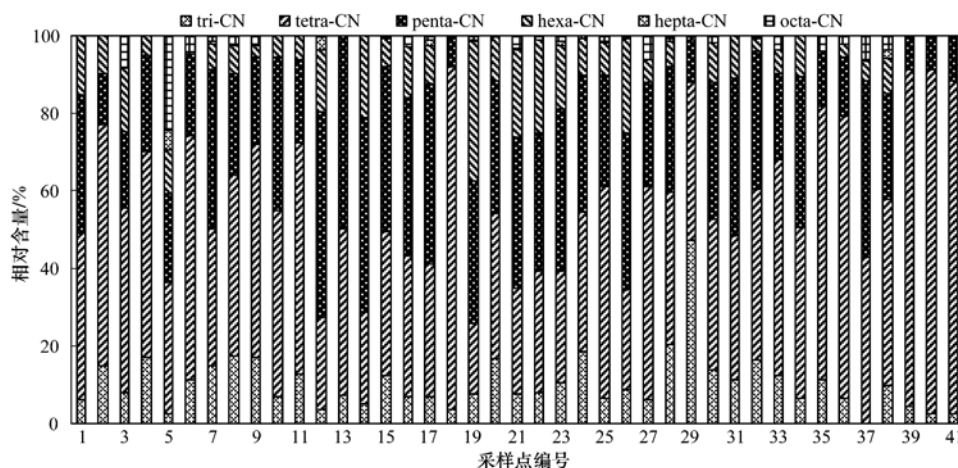


图 3 土壤样品中 PCNs 同族体的相对含量

Fig. 3 Percentage of PCNs homologues in soils

2.3 PCNs 来源分析

为研究样品与工业品中 PCNs 同族体组成的关系, 进而探究 PCNs 可能的来源, 本研究对 41 个样品、7 类 PCNs 工业品和 6 类 PCBs 工业品进行了 Q-

型聚类分析(图 4)。由图 4 可知, 所有采样点和工业品可以分为 4 大类: 第一类包括 18 个样品、工业品 HW1013 和 Ar1016, 说明该类采样点主要受 HW1013 的污染, Ar1016 也可能对污染有贡献; 第

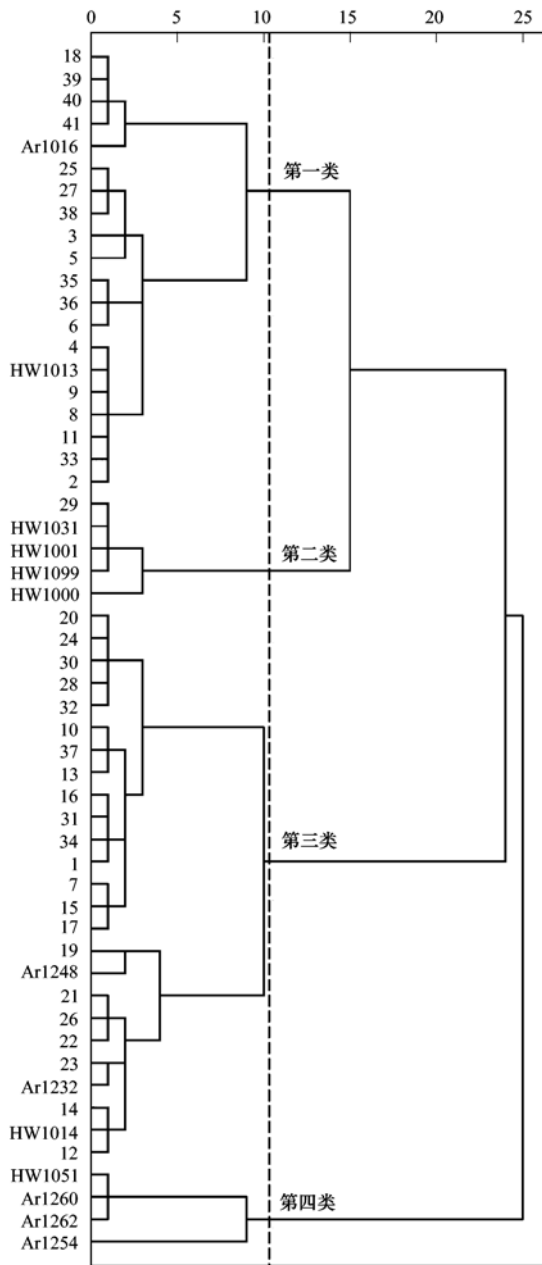


图4 土壤样品与 PCNs 和 PCBs 工业品的谱系聚类

Fig. 4 Dendrogram for soil samples, PCNs and PCBs technical formulations

二类包括工业品 HW1031、1000、1099、1001 和 29 号样品,说明 29 号样品主要受低氯代 PCNs 的影响;第三类包括 22 个样品、工业品 HW1014 和 Ar1248、1232,说明 HW1014 对上述 22 个样品影响较大,Ar1248 和 1232 也可能对此类样品的 PCNs 污染有贡献;第四类为 PCNs 工业品 HW1051、PCBs 工业品 Ar1254、1260 和 1262,这些工业品中主要含高氯代 PCNs,无样品与其组成相似。

在研究区域内曾存在大量的电子废物拆解作

坊,拆解工艺原始落后^[13,18,19]。电子废物的不当处置使 PCNs 工业品释放到环境中;废物燃烧过程也可能产生 PCNs^[20]。Odabasi 等^[21]以 PCN24/14、17/25、36/45、35、52/60、50 和 66/67 为燃烧指示物(其和为 $\sum PCN_{Comb}$),当样品的 $\sum PCN_{Comb} / \sum PCNs$ 大于工业品中的比值时则认为燃烧的贡献较大。本研究采用这种燃烧指示物比值法进行来源分析:聚类分析中第一类样品只有 2 个样品 $\sum PCN_{Comb} / \sum PCNs$ 大于 HW1013 中的比值(0.21),表明燃烧的贡献较小,主要为工业品污染;第三类 23 个样品中有 19 个高于 HW1014 的 $\sum PCN_{Comb} / \sum PCNs$ (0.13),平均值为 0.29,说明当地电子废物的燃烧过程对该类采样点 PCNs 污染的贡献比较大。

2.4 与其它研究区域土壤中 PCNs 污染水平的比较

将本研究的结果与其它研究相比较(表 1),从表 1 中可以看出,路桥农业土壤中 PCNs 的污染水平高于中国卧龙巴郎山的背景值^[15]、西班牙农业和工业区土壤^[10,22,23]、土耳其工业区土壤^[21]和德国农村土壤^[24],但是低于德国城市土壤^[24]、氯碱化工废物存放地土壤^[25]、英国试验田土壤^[26],与波兰农村土壤和重工业地区土壤中的污染水平(平均值 $560 \text{ pg} \cdot \text{g}^{-1}$)相近。台州路桥的电子废物拆解业发展较早,但农业土壤中的 PCNs 污染水平并不高,可能是由于当地政府及早采取措施,控制了电子废物拆解对当地环境的污染。

3 结论

(1) 所有土壤样品中均能检测到 PCNs, $\sum PCNs$ 含量在 $0.062 \sim 2.92 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.630 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ 。高污染区域主要在路桥西南部,且主要表现为点源污染。

(2) 本研究区域土壤中的 PCNs 以 tetra-CN 和 penta-CN 同族体为主,其次是 tri-CN 同族体, hexa ~ octa-CN 对 $\sum PCNs$ 的贡献较小。

(3) 聚类分析和燃烧指示物分析结果表明,该区域大部分样品主要受 HW1014 污染,PCBs 工业品 Ar1248、1232 和 1254 可能对此类样品的 PCNs 污染有贡献,电子废物燃烧也有较大影响;少部分样品主要受 HW1013 污染,Ar1016 也有可能影响。

表 1 国内外土壤中 $\sum$ PCNs 的含量(干重) / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Table 1 Concentration of $\sum$ PCNs in soils all over the world (dw) / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

采样点	样品	$\sum$ PCNs	文献
中国卧龙巴郎山	无人区土壤	12.9 ~ 28.9	[15]
波兰	农村土壤和重工业地区土壤	350 ~ 1 100	[8]
土耳其 Hatay 和 Iskenderun 北部	工业区土壤	280	[21]
西班牙 Tarragona 省	石化工业区、城市和农村的土壤	32 ~ 180	[10]
		17 ~ 142	[22]
		39.4 ~ 152.8	[23]
德国 Bayreuth 市	庭院、草地、公园、工业园和农业土壤	城市: <100 ~ 15 400 农村: <100 ~ 820	[24]
德国 Brunswick 市	氯碱厂附近的土壤	1 790 000	[25]
英国 Broadbalk 和 Luddington 农业试验田	施用污泥与未施用污泥土壤	Broadbalk: 320 ~ 16 000 Luddington: 420 ~ 6 000	[26]
台州路桥区	电子废物拆解区农业土壤	62.0 ~ 2 920	本研究

(4) 与国内外相关研究相比,本研究中土壤 PCNs 污染处于中等水平,说明当地的生态环境已受到电子废物拆解活动的影响。

参考文献:

[1] World Health Organization. Concise international chemical assessment document 34: chlorinated naphthalenes [M]. Geneva, 2001.

[2] Hutzinger O, Paasivirta J. New types of persistent halogenated compounds [A]. In: Paasivirta J, (ed.). The handbook of environmental chemistry. Part K, vol. 3 [M]. New York: Springer, 1999. 97-126.

[3] Falandysz J. Polychlorinated naphthalenes: an environmental update [J]. Environmental Pollution, 1998, **101**(1): 77-90.

[4] 郭丽, 巴特, 郑明辉. 多氯萘的研究 [J]. 化学进展, 2009, **21**(2-3): 377-388.

[5] Bidleman T F, Helm P A, Braune B M, *et al.* Polychlorinated naphthalenes in polar environments-a review [J]. Science of the Total Environment, 2010, **408**(15): 2919-2935.

[6] Baek S Y, Choi S D, Lee S J, *et al.* Assessment of the spatial distribution of coplanar PCBs, PCNs, and PBDEs in a multi-industry region of South Korea using passive air samplers [J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42**(19): 7336-7340.

[7] Bogdal C, Schmid P, Kohler M, *et al.* Sediment record and atmospheric deposition of brominated flame retardants and organochlorine compounds in Lake Thun, Switzerland: lessons from the past and evaluation of the present [J]. Environmental Science & Technology, 2008, **42**(18): 6817-6822.

[8] Wyrzykowska B, Hanari N, Orlikowska A, *et al.* Polychlorinated biphenyls and-naphthalenes in pine needles and soil from Poland-concentrations and patterns in view of long-term environmental monitoring [J]. Chemosphere, 2007, **67**(9): 1877-1886.

[9] Kannan K, Yamashita N, Imagawa T, *et al.* Polychlorinated naphthalenes and polychlorinated biphenyls in fishes from Michigan waters including the Great Lakes [J]. Environmental Science & Technology, 2000, **34**(4): 566-572.

[10] Schuhmacher M, Nadal M, Domingo J L. Levels of PCDD/Fs, PCBs, and PCNs in soils and vegetation in an area with chemical and petrochemical industries [J]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**(7): 1960-1969.

[11] 杨永亮, 潘静, 朱晓华, 等. 青岛及崇明岛食用鱼和鸭中共平面多氯联苯与多氯萘的研究 [J]. 环境科学研究, 2009, **22**(2): 187-193.

[12] Williams D T, Kennedy B, LeBel G L. Chlorinated naphthalenes in human adipose tissue from Ontario municipalities [J]. Chemosphere, 1993, **27**(5): 795-806.

[13] Shen C F, Huang S B, Wang Z J, *et al.* Identification of Ah receptor agonists in soil of e-waste recycling sites from Taizhou area in China [J]. Environmental Science & Technology, 2007, **42**(1): 49-55.

[14] Noma Y, Yamamoto T, Sakai S I. Congener-specific composition of polychlorinated naphthalenes, coplanar PCBs, dibenzo-*P*-dioxins, and dibenzofurans in the Halowax series [J]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**(6): 1675-1680.

[15] 杨永亮, 潘静, 朱晓华, 等. 四川省卧龙地区土壤中二噁英类化合物和多氯萘的海拔梯度分布及对牦牛的毒性风险评价 [J]. 环境化学, 2009, **28**(2): 276-283.

[16] Taniyasu S, Kannan K, Holoubek I, *et al.* Isomer-specific analysis of chlorinated biphenyls, naphthalenes and dibenzofurans in Delor: polychlorinated biphenyl preparations from the former Czechoslovakia [J]. Environmental Pollution, 2003, **126**(2): 169-178.

[17] Yamashita N, Kannan K, Imagawa T, *et al.* Concentrations and profiles of polychlorinated naphthalene congeners in eighteen technical polychlorinated biphenyl preparations [J]. Environmental Science & Technology, 2000, **34**(19): 4236-4241.

[18] 姚卜成. “台州制造”: 洋垃圾堆出的“奇迹” [EB/OL]. http://www.caogen.com/blog/Infor_detail.aspx?ID=177&articleId=7133.

[19] 潘虹梅, 李凤全, 叶玮, 等. 电子废弃物拆解业对周边土壤

- 环境的影响——以台州路桥下谷岙村为例 [J]. 浙江师范大学学报 (自然科学版), 2007, **30**(1): 103-108.
- [20] Wang D, Xu X B, Chu S G, *et al.* Polychlorinated naphthalenes and other chlorinated tricyclic aromatic hydrocarbons emitted from combustion of polyvinylchloride [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, **138**(2): 273-277.
- [21] Odabasi M, Bayram A, Elbir T, *et al.* Investigation of soil concentrations of persistent organic pollutants, trace elements, and anions due to iron-steel plant emissions in an industrial region in Turkey [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2010, **213**(1): 375-388.
- [22] Nadal M, Schuhmacher M, Domingo J L. Levels of metals, PCBs, PCNs and PAHs in soils of a highly industrialized chemical/petrochemical area: temporal trend [J]. Chemosphere, 2007, **66**(2): 267-276.
- [23] Nadal M, Mari M, Schuhmacher M, *et al.* Multi-compartmental environmental surveillance of a petrochemical area: levels of micropollutants [J]. Environment International, 2009, **35**(2): 227-235.
- [24] Krauss M, Wilcke W. Polychlorinated naphthalenes in urban soils: analysis, concentrations, and relation to other persistent organic pollutants [J]. Environmental Pollution, 2003, **122**(1): 75-89.
- [25] Kannan K, Imagawa T, Blankenship A L, *et al.* Isomer-specific analysis and toxic evaluation of polychlorinated naphthalenes in soil, sediment, and biota collected near the site of a former chlor-alkali plant [J]. Environmental Science & Technology, 1998, **32**(17): 2507-2514.
- [26] Meijer S N, Harner T, Helm P A, *et al.* Polychlorinated naphthalenes in U. K. soils: time trends, markers of source, and equilibrium status [J]. Environmental Science & Technology, 2001, **35**(21): 4205-4213.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, YIN Jun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《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1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 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