

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

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

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO₂ 的来源 刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)

广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映 廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)

北京雾霾天气期间气溶胶光学特性 于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)

白马泉风景区夏季大气 PM_{2.5} 中二次有机物的初步研究 代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)

机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性 乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)

法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究 王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)

胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨 薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)

基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价 郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)

流域水质时空分布特征及其影响因素初析 黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)

潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究 崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)

春季盘溪河水质日变化规律及水质评价 张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)

西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究 肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)

三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价 郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)

淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究 徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)

三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验 王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)

沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征 李振炜, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)

合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性 李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)

鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析 张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)

三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价 敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)

黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价 刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)

竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算 姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)

雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析 赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)

中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究 潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)

三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征 邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)

海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究 田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)

新生态铁的混凝作用探索 杨雪, 张景成, 关小红 (1221)

饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究 岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)

核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究 王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)

络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究 秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯奎 (1241)

赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物 张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)

掺氮 Ta₂O₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究 赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)

O₃/H₂O₂ 降解水中扑灭通效能研究 李绍峰, 孙楚 (1260)

Pr-N 共掺杂 TiO₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学 沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)

铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究 张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)

聚合铝铁对 A²/O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响 温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)

温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响 张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)

温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响 李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)

好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究 王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)

除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析 李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)

利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌 王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)

紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究 于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)

1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究 陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)

氨氮对稀有鮎鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究 王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)

多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响 孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)

生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响 王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)

水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究:¹⁴C连续标记法 聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)

油田污染土壤残留油组成与特征参数分析 王坚, 张旭, 李广贺 (1352)

挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究 孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)

田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究 黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)

中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响 马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)

基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究 袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)

填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式 兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)

生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化 方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)

岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)

《环境科学》征订启事(1062) 《环境科学》征稿简则(1107) 信息(1135, 1215, 1396)

中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究

潘苏红^{1,2,4}, 张干², 孙亚莉³, 解启来^{1,4}

(1. 华南农业大学资源环境学院, 广州 510642; 2. 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; 3. 中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室, 广州 510640; 4. 广东高校土壤环境与废物资源农业利用重点实验室, 广州 510642)

摘要: 为探讨城市道路街尘中多环芳烃(PAHs)和黑碳(BC)的分布特征, 2007年12月~2009年2月, 分别在中国的北京、上海、广州和武汉以及印度的加尔各答采集了城市主干道的街尘。样品处理后分别用GC-MS和元素分析仪进行测定。结果表明, 中国主要城市道路街尘中PAHs的含量范围为2.30~22.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 主要是以荧蒽、菲、芘、蒽、苯并(b)荧蒽和苯并(ghi)芘为主要的多环芳烃化合物。印度加尔各答PAHs的含量范围为4.85~30.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 呈现出以2环的萘为主要的PAHs化合物。BC在中国主要城市道路街尘中的含量值高于印度的加尔各答, 说明了2个国家可能的不同能源结构和能源消耗。相关分析表明, PAHs与BC在不同的城市显示出不同的特点, 可能指示了不同的来源。特征比值法表明城市街尘中的PAHs主要来源于机动车排放, 其次来源于燃煤。

关键词: 中国; 印度; 街尘; 多环芳烃; 黑碳

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1204-05

Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India

PAN Su-hong^{1,2,4}, ZHANG Gan², SUN Ya-li³, XIE Qi-lai^{1,4}

(1. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Guangzhou 510640, China; 4. Key Laboratory of Soil Environment and Waste Reuse in Agriculture of Guangdong High Education Institutions, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to investigate the distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and black carbon (BC) in road dusts in typical cities of Beijing, Shanghai, Guangzhou and Wuhan in China and Kolkata in India, samples were collected in urban roads during Dec., 2007 to Feb., 2009. The total 16 PAHs concentrations in metro cities from China were 2.30-22.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, which was dominated by FLA, PHE, PYR, CHR, BBF and BGP. PAHs contents were in the range of 4.85-30.5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in Kolkata from India, which was dominated by NAP. Higher levels of BC in Chinese cities than India city were likely due to different power structures and consumes. The correlation between PAHs and BC showed different characteristics in different city, which might be reflected diverse sources. Diagnostic ratios demonstrated that the main source of PAHs was from the emission of vehicle, and coal combustion is another possible source.

Key words: China; India; road dust; polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); black carbon (BC)

城市是人类活动的最主要集中场所, 人类活动过程中消耗大量的能源, 使用能源过程中产生大量的污染物, 这些污染物不但影响人体健康(如多环芳烃), 也对全球气候变化产生重要的影响(黑碳)。多环芳烃(PAHs)主要是通过生物质、化石燃料等不完全燃烧而生成的, 由2个或2个以上苯环连接在一起的有机化合物, 因具有致癌、致畸、致突变等特性, 在环境研究中受到了广泛的重视^[1,2]。黑碳(BC)也是由生物质和化石燃料不完全燃烧过程中形成的产物, 具有耐热性、化学稳定性和吸光性, 能够吸收太阳辐射而对地球有增温作用, 在碳、氧的生

物地球化学循环及全球气候变化过程中起着不容忽视的作用^[3]。

中国和印度是全世界最主要的2个发展中国家, 也是全球能源消耗大国, 其城市大气污染以及该污染对全球的影响一直是环境研究的重点。道路街尘可直观反映该地区大气污染水平与特征, 同时也是污染物再次进入大气以及江河湖泊的来源, 能够对整个生态系统造成影响。国内目前对BC在大气、土壤以及沉

收稿日期: 2011-05-28; 修订日期: 2011-07-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40973069)

作者简介: 潘苏红(1973~), 女, 博士后, 主要研究方向为环境地球学, E-mail: pansuhong0120@163.com

积物中的相关研究较多^[4-8],而对城市道路街尘中的报道鲜见.本研究拟通过对中国典型城市北京、上海、广州和武汉以及印度的第三大城市加尔各答道路街尘中 PAHs 和 BC 的含量和组成特征的对比分析,探讨两大发展中国家城市污染的差异.

1 材料与方法

1.1 样品采集

2007 年 12 月~2009 年 2 月,分别在中国的北京、上海、广州和武汉以及印度的加尔各答采集了城市主干道的街尘.使用聚四氟乙烯铲、聚四氟乙烯刷作为采样工具,用前均经过水和去离子水清洗,然后自然风干.样品采集选择在城市的主干道旁进行,以硬化路面作为介质,在大约 10 m² 的范围用采样刷扫起路面街尘,采样后密封保存到冰箱.

1.2 样品分析和质量控制

本研究测定了美国 EPA 公布的 16 种优控 PAHs[萘 NAP、苊 ACE、二氢苊 ACEY、芴 FLU、菲 PHE、葱 ANT、荧葱 FLA、芘 PYR、苯并(a)葱 BAA、蒽 CHY、苯并(b)荧葱 BBF、苯并(k)荧葱 BKF、苯并(a)芘 BAP、茚并(1,2,3-cd)芘 INP、二苯并(a,h)葱 DIB 和苯并(ghi)芘 BGP].在样品进行索氏抽提之前加入 5 种氘代多环芳烃(萘-d8、二氢苊-d10、菲-d10、蒽-d10 和芘-d12)混合溶液,GC-MS 测定.回收率分别为:64% ± 21%、79% ± 18%、92% ± 11%、113% ± 25% 和 101% ± 33%.最终结果均经回收率校正.分析方法见文献[2].

BC 的分析方法见文献[6],10 mg 样品用 HCl 进行预处理,然后在 375℃ 的马氟炉中加热 24 h,Elementar Vario EL III 元素分析仪进行测定.

2 结果与讨论

2.1 PAHs 在城市道路街尘的含量水平和组成特征

2.1.1 PAHs 的含量分布

49 个街尘样品中的 16 种优控 PAHs 含量范围见表 1.中国主要城市北京、上海、广州、武汉街尘中 PAHs 的含量范围为:2.30~22.2 μg·g⁻¹.其中北京的浓度范围为 2.85~22.2 μg·g⁻¹,与 2006 年北京道路街尘 PAHs 的浓度值 0.82~10.6 μg·g⁻¹ 相比大约高 1 倍^[9].上海的 PAHs 含量范围为 3.44~6.85 μg·g⁻¹,与 2004 年上海道路街尘的浓度值 6.88~32.6 μg·g⁻¹ 相比含量相对较低^[10].总体而言,城市道路街尘中 PAHs 的浓度值均低于中国的台湾^[11].印度加尔各答 PAHs 的含量范围为 4.85~

30.5 μg·g⁻¹.与中国主要城市的 PAHs 含量处于一个数量级.

与世界上其他城市相比较,本研究中 PAHs 总量低于日本的岗山、韩国的首尔^[13,15],远高于发展中国家埃及的开罗、泰国的曼谷等城市^[12,14].一方面可能是由于发达国家能源结构以及城市化管理更先进、合理,道路街尘较少被颗粒物所稀释,导致街尘中 PAHs 的相对含量较高.另一方面可能是由于发展中国家处于经济快速发展时期,城市化进程、工业化水平与区域能源消耗等都会排放出较高的 PAHs.珠江口沉积钻孔 PAHs 含量特征的研究表明,其与 GDP、机动车数量以及发电量之间有着很好的相关性,说明 PAHs 能够作为一个指标反映地区社会经济发展变化^[16].相应地,作为世界第一、第二大发展中大国的中国与印度,城市中 PAHs 含量也自然较高.

2.1.2 PAHs 的组成特征

中国主要城市街尘中主要是以 FLA、PHE、PYR、CHR、BBF、BGP 为主要的 PAHs 化合物,占据了总量的 59%~69%.而加尔各答则显著呈现出以 2 环的 NAP 为主要的化合物,最高值达到了总量的 50%,与埃及开罗 PAHs 化合物的组成接近.

在化合物组成上,中国城市的 PAHs 在各环皆有分布(图 1),武汉是以 4 环为主,5 环以上次之,2、3 环的 PAHs 化合物最少;其他 3 个城市则是 4 环、5 环以上多环芳烃化合物含量相当,2、3 环较少.而加尔各答由于 NAP 的高值,则是以 2、3 环的低环化合物为主,4 环次之,5 环以上的高环比值最少.

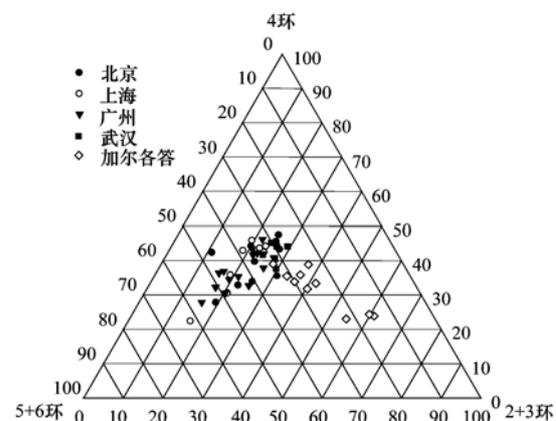


图 1 城市道路街尘中 PAHs 的组成

Fig. 1 Relative distributions of PAHs in road dusts from different cities

由于道路街尘是污染物的一个库,与大气颗粒物具有显著的源汇响应关系,两者在组成上的异同

表 1 世界各大城市道路街尘中的 PAHs 和 BC 含量¹⁾

Table 1 Concentrations of PAHs and BC in road dusts around the world

城市	采样时间(年)	N	\sum PAH/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	BC/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	文献
台湾,中国	2002~2003		65.8		[11]
曼谷,泰国			1.1 ± 0.8		[12]
上海,中国	2004		6.88 ~ 32.6		[10]
岗山,日本	2005		45.8		[13]
开罗,埃及	2005		0.05 ~ 2.61		[14]
北京,中国	2006		0.82 ~ 10.6		[9]
首尔,韩国	2006		45.8 ~ 112		[15]
北京	2007	10	6.71 (2.85 ~ 22.2)	19.5 (11.8 ~ 27.7)	本研究
上海	2008	8	5.11 (3.44 ~ 6.85)	7.09 (5.46 ~ 8.60)	本研究
广州	2007	13	6.23 (2.97 ~ 21.8)	8.25 (6.11 ~ 14.4)	本研究
武汉	2007	8	10.5 (6.20 ~ 13.4)	12.6 (7.39 ~ 23.8)	本研究
加尔各答	2009	10	11.2 (4.85 ~ 30.5)	6.41 (3.65 ~ 9.22)	本研究

1) 表中黑体字表示平均值(最小值~最大值)

可反映 PAHs 在气-粒两相间不同的物理化学特性. 与大气颗粒物中的 PAHs 进行比较,发现大气颗粒物中主要是以高质量的化合物为主^[17,18]. 研究表明,高质量的化合物由于较低的亨利系数和饱和蒸气压,一经排放就以颗粒物形式存在,主要吸附在细颗粒上,在大气中缓慢沉降. 而低质量的化合物具有较高的亨利系数和饱和蒸气压,主要是以气态形式存在,易于吸附在扬尘以及植物蜡等大颗粒物上,并在大气中不断地进行交换分配,最终由于重力的作用快速沉降. 同时,雨水等湿沉降也会使得 PAHs 最终沉降在路面以及江海湖泊中,由于低质量的 PAHs 亲水性较强,相比高质量的也会更易被雨水冲刷降落在地面^[19]. 正是由于高质量和低质量 PAHs 化合物不同的物理化学性质,从而引起街尘样品中不同于大气颗粒物的分布特征.

2.2 BC 在城市道路街尘中的分布特征

BC 在中国主要城市街尘中的含量范围(表 1)为 5.46 ~ 27.7 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$. 街尘中的研究结果与何跃等^[7]对南京市道路绿化带表层土壤中 BC 的浓度范围相当,但远高于城市公园及郊区菜地土壤中的含量值. 这种差异性特征反应了 BC 的地域分布特征和所受人为活动影响的不同,城市范围中 BC 的含量更多地受到来自化石燃料燃烧来源的影响,如机动车以及工业燃煤等. 印度加尔各答 BC 的浓度范围(表 1)为 3.65 ~ 9.22 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$. 从总体上看,加尔各答 BC 含量低于中国城市,可能是由于其来源的不同. 南亚国家如印度等主要以作物或牛粪燃烧为主,而这些生物质燃料排放的 BC 较化石燃料少^[20],从这方面可能说明印度的能源结构和消耗不同于中国,化石燃料燃烧的来源相对少于我国城市.

2.3 PAHs 与 BC 的相关性

PAHs 与 BC 的主要来源均是燃烧过程中的副产物. BC 由于形状不规则并具有一定的比表面积,能够吸附有机污染物. 以往的研究表明 BC 与土壤和沉积物中的 PAHs 有很好的相关性^[21],指示出两者具有一致的来源.

相关分析结果表明,城市道路街尘中的 PAHs 与 BC 无相关性($n = 49, P > 0.05$). 但如果从每一个城市来进行具体分析,则可以发现随着城市的不同,其 PAHs 与 BC 的相关性也不尽相同. PAHs 与 BC 在广州具有显著性相关($n = 13, r^2 = 0.77, P < 0.05$),而在其它城市无显著性相关($P > 0.05$),这可能表明每个城市 PAHs 与 BC 的来源均不同,也可能是由于两者的物理化学性质不同. 相比 BC, PAHs 来源更为广泛,天然来源如火山爆发、花粉等,人为来源如烹调等. 另外,BC 的性质相对来说比较稳定,研究认为 BC 是惰性碳,一般情况下不会发生化学变化^[22]. 而 PAHs 的低环和高环化合物具有不同的饱和蒸气压和亨利系数,挥发性较强,易发生光降解,并且 PAHs 在气-粒两相之间的分配平衡也受到温度、湿度、风力等的影响,其凝聚和沉降的方式不同于 BC^[2]. 再者,PAHs 的吸附量多少与 BC 本身的表面积、孔隙大小和数量密切相关^[22],即在其吸附量未达到饱和之前,理论上 BC 与化合物的含量也不存在线性关系. 从而使得 PAHs 在城市道路街尘中显示出不同于 BC 的特性.

如在北京,采样时间恰值 11 月初,虽然还未到采暖时间,但风势较大,且正值北京奥运会的前一年,正是各个体育场馆加强施工的时候,由此导致工地上的建筑扬尘四起,非燃烧源的扬尘随着北风飘

浮沉降,可能对 PAHs 和 BC 的吸附方式不同,也可能是大气和街尘的动态交换未达到平衡,因而显示出彼此无相关性。

2.4 PAHs 的来源分析

由于城市地理位置和发展规划的不同,不同城市之间 PAHs 的污染源是有所差别的. 如上海街尘中 PAHs 是油成因和热成因的共同来源^[10],杭州、澳门城市大气 PAHs 主要来源于机动车尾气排放^[23,24],广州大气颗粒物中 PAHs 的主要来源是机动车尾气和燃煤^[19],北方城市北京、天津大气和降尘的 PAHs 则是以燃煤等来源为主^[25,26]. 利用 PAHs 特征化合物的比值可以为来源判定提供参考,是目前应用较多的一种 PAHs 源解析方法。

LMW 指 3 环以下的 PAHs 化合物, HMW 指 4 环及以上的化合物, $LMW/HMW > 1$ 代表油成因, < 1 代表热成因^[27]. 蒽/(蒽 + 菲) ($ANT/178$), 通常也被文献用来判断油成因和热成因的来源^[27], < 0.1 代表油成因, > 0.1 则表示热成因的来源. 除加尔各答外, 本研究中所有城市全部落在了热成因的范围内(图 2). 加尔各答由于 NAP 的异常高值, 使得 LMW/HMW 的比值 > 1 , 但如果同时结合 $ANT/178$ 的比值, 应该也是以燃烧成因的来源为主。

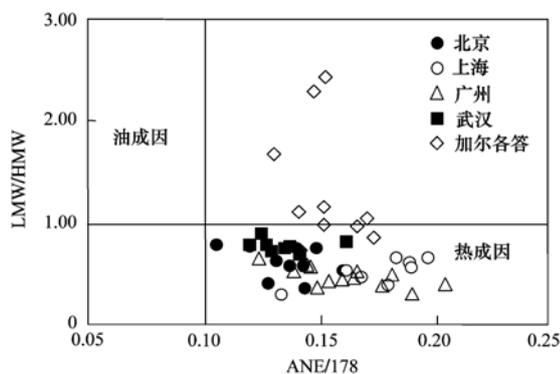


图 2 街尘中 ANE/178 与 LMW/HMW 的对应关系

Fig. 2 Plot of ANE/178 ratios against LMW/HMW ratios in road dusts

BAA/CHR、BAP/BGP、INP/BGP 的比值经常被用来判断机动车以及木材、燃煤等的来源^[2,27], 从表 2 可见, 各城市的 PAHs 来源主要是落在了机动车燃烧的比值范围内, 其中在 BAP/BGP 的比值中, 燃煤在北京、上海、加尔各答等城市也贡献了一部分来源, 对于加尔各答, 木柴燃烧也有一部分的贡献。

大气被动采样和土壤中的 PAHs 研究表明^[28,29], 北方地区城市 PAHs 总量和高环浓度较南方地区高, 城市地理位置和气候条件是其中重要的

表 2 街尘中 PAHs 的比值

Table 2 Diagnostic ratios of PAHs in road dusts			
城市	BAA/CHR	BAP/BGP	INP/BGP
汽油车	0.28 ~ 1.2	0.3 ~ 0.4	0.6 ~ 1.5
柴油车	0.17 ~ 0.36	0.46 ~ 0.81	1.30
煤	1.0 ~ 1.2	0.9 ~ 6.6	1.09
炼焦炉	0.7	5.10	
树木燃烧	0.93		
北京	0.44 ~ 0.72	0.82 ~ 1.07	0.83 ~ 1.08
上海	0.52 ~ 0.64	0.89 ~ 1.15	0.90 ~ 1.09
广州	0.39 ~ 0.66	0.51 ~ 1.08	0.66 ~ 0.99
武汉	0.49 ~ 0.70	0.73 ~ 1.02	0.84 ~ 1.04
加尔各答	0.52 ~ 0.75	0.86 ~ 1.47	0.88 ~ 1.08

影响因素, 从而使其显示出呈纬度分异的特点. 而本研究中街尘的 PAHs 浓度值在我国和印度城市并没有显示出以上特征, 可能是由于大气受控于多种因素的共同作用, 土壤则表明长期累积的作用, 而城市道路街尘的 PAHs 有可能更多地受控于机动车的影响, 因此显示出与其它环境介质不同的特性。

3 结论

(1) 中国主要城市北京、上海、广州、武汉街尘中 PAHs 的含量与印度加尔各答在一个数量范围. 中国城市主要是以 FLA、PHE、PYR、CHR、BBF、BGP 为主要的 PAHs 化合物. 印度加尔各答则呈现出以 2 环的 NAP 为主要的 PAHs 化合物. BC 在中国城市的含量高于印度的加尔各答可能指示这两个发展中大国能源结构和消耗的不同, 中国城市化石燃料的排放可能高于印度的加尔各答。

(2) PAHs 与 BC 的相关分析表明, 随着城市的不同, 其相关性也不尽相同. 这可能表明每个城市 PAHs 与 BC 的来源各自不同, 也可能是由于两者的物理化学性质不同, 从而使得 PAHs 在城市道路街尘中显示出不同于 BC 的特性。

(3) 特征比值法表明城市街尘中的 PAHs 主要来源于机动车排放, 其中煤和木柴燃烧在加尔各答也贡献了一部分来源. 城市街尘中多环芳烃的浓度值并未象大气和土壤中呈现出纬度分异的特点, 可能说明其更多地受控于机动车的影响。

致谢: 感谢 Paromita Chakraborty 博士、贾军涛博士和李杰硕士帮助采集印度加尔各答、上海和武汉的样品。

参考文献:

- [1] Guo Z G, Lin T, Zhang G, et al. Occurrence and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and n-alkanes in PM2.5 in the

- roadside environment of a major city in China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, **170**(2-3): 888-894.
- [2] Li J, Zhang G, Li X D, *et al.* Source seasonality of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a subtropical city, Guangzhou, South China [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **355**(1-3): 145-155.
- [3] 秦世广, 汤洁, 温玉璞. 黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义 [J]. *气象*, 2001, **27**(11): 3-7.
- [4] 曹军骥, 李顺诚, 李杨, 等. 2003 年秋冬季西安大气中有有机碳和元素碳的理化特征及其来源解析 [J]. *自然科学进展*, 2005, **15**(12): 1460-1466.
- [5] 戴婷, 李艾芬, 章明奎. 浙北平原农业土壤中黑碳分布特征的研究 [J]. *土壤通报*, 2009, **40**(6): 1321-1324.
- [6] 姜晓华, 陈颖军, 唐建辉, 等. 渤海湾海岸带表层沉积物中黑碳的分布特征 [J]. *生态环境学报*, 2010, **19**(7): 1617-1621.
- [7] 何跃, 张甘霖. 城市土壤有机碳和黑碳的含量特征与来源分析 [J]. *土壤学报*, 2006, **43**(2): 177-182.
- [8] 李杨, 曹军骥, 张小曳, 等. 2003 年秋季西安大气中黑碳气溶胶的演化特征及其来源解析 [J]. *气候与环境研究*, 2005, **10**(2): 229-237.
- [9] Zhang W, Zhang S C, Wan C, *et al.* Source diagnostics of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban road runoff, dust, rain and canopy throughfall [J]. *Environmental Pollution*, 2008, **153**(3): 594-601.
- [10] Liu M, Cheng S B, Ou D N, *et al.* Characterization, identification of road dust PAHs in central Shanghai areas, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(38): 8785-8795.
- [11] Fang G C, Chang C N, Wu Y S, *et al.* Characterization, identification of ambient air and road dust polycyclic aromatic hydrocarbons in central Taiwan, Taichung [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, **327**(1-3): 135-146.
- [12] Boonyatumanond R, Murakami M, Wattayakorn G, *et al.* Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust in a tropical Asian mega-city, Bangkok, Thailand [J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **384**(1-3): 420-432.
- [13] Kose T, Yamamoto T, Aneqawa A, *et al.* Source analysis for polycyclic aromatic hydrocarbon in road dust and urban runoff using marker compounds [J]. *Desalination*, 2008, **226**(1-3): 151-159.
- [14] Hassanien M A, Abdel-Latif N M. Polycyclic aromatic hydrocarbons in road dust over Greater Cairo, Egypt [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, **151**(1): 247-254.
- [15] Dong T T T, Lee B K. Characteristics, toxicity, and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in road dust of Ulsan, Korea [J]. *Chemosphere*, 2009, **74**(9): 1245-1253.
- [16] 刘国卿, 张干, 李军, 等. 多环芳烃在珠江口的百年沉积记录 [J]. *环境科学*, 2005, **26**(3): 141-145.
- [17] 段菁春, 毕新慧, 谭吉华, 等. 广州秋季不同功能区大气颗粒物中 PAHs 粒径分布 [J]. *环境科学*, 2006, **27**(4): 624-630.
- [18] 李军, 张干, 祁士华, 等. 广州市大气中颗粒态多环芳烃 (PAHs) 的主要污染源 [J]. *环境科学学报*, 2004, **24**(4): 661-667.
- [19] Omar N Y M J, Bin Abas M R, Ketuly K A, *et al.* Concentrations of PAHs in atmospheric particles (PM-10) and roadside soil particles collected in Kuala Lumpur, Malaysia [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(2): 247-254.
- [20] 支国瑞. 黑碳的测定方法与家用燃煤的黑碳排放因子研究 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2008. 5-6.
- [21] Mai B X, Qi S H, Zeng E Y, *et al.* Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal region off Macao, China: Assessment of input sources and transport pathways using compositional analysis [J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, **37**(21): 4855-4863.
- [22] 杨基峰, 应光国, 赵建亮, 等. 黑碳对污染物环境地球化学过程的影响 [J]. *生态环境*, 2008, **17**(4): 1685-1689.
- [23] 朱利中, 沈学优, 刘勇建. 城市居民区空气中多环芳烃污染特征和来源分析 [J]. *环境科学*, 2001, **22**(1): 86-89.
- [24] 祁士华, 盛国英, 傅家谟, 等. 澳门大气气溶胶中多环芳烃的源解析尝试 [J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(2): 118-122.
- [25] 赵淑莉, 戴天有, 段小丽, 等. 北京城市空气中多环芳烃的污染特征 [J]. *环境科学研究*, 2007, **20**(3): 16-20.
- [26] Wu S P, Tao S, Xu F L, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in dustfall in Tianjin, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2005, **345**(1-3): 115-126.
- [27] 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.
- [28] 刘向, 张干, 李军, 等. 利用 PUF 大气被动采样技术监测中国城市大气中的多环芳烃 [J]. *环境科学*, 2007, **28**(1): 26-31.
- [29] 余莉莉, 李军, 刘国卿, 等. 珠江三角洲表层土壤中的多环芳烃 [J]. *生态环境*, 2007, **16**(6): 1683-1687.

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and δ ¹⁵ N Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《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4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 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

国内外公开发行人