

广州市工业、交通区表层土壤中多环芳烃分布特征初探*

杨秀虹, 李适宇, 李 岚, 汤婉环, 黄雄飞

(中山大学环境科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 在广州市的石化企业、发电厂、高速公路、机场等典型工业、交通区采集了 28 个表层土壤, 分析其中多环芳烃 (PAHs) 的含量水平和组成特征, 并初步评价和揭示土壤 PAHs 的污染程度和来源。结果表明: 研究区表层土壤中 PAHs 含量分布存在较大的变异性, PAHs 总含量分布于未检出 ~ 5543.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间; 单种 PAH 中芴 (Flu)、荧蒽 (Fla)、蒽 (Chr) 和苯并 [b] 荧蒽 (Bbf) 的检出率较高, 均在 70% 以上; 采自废弃化肥厂遗址及旧机场的部分土壤受 PAHs 污染的程度相对较严重, PAHs 的残留程度明显高于其他采样区的土壤; 各采样区土壤中 PAHs 的组成以 4 环及 4 环以上化合物为主; 根据 PAHs 的组成特征及 Fla/Pyr 特征比值可以初步推测高温燃烧排放是大部分研究区土壤中 PAHs 的主要污染来源之一。

关键词: 多环芳烃; 土壤; 来源; 组成特征

中图分类号: X508 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 01-0093-05

多环芳烃 (polycyclic aromatic hydrocarbons, 简称 PAHs) 在环境中广泛存在, 其中多种化合物具有“三致”效应, 被许多国家列为环境优控污染物。土壤是 PAHs 重要的环境载体。在我国, 受 PAHs 污染的土壤分布广泛, 尤其是石化工业区、交通干道等地^[1-3]。随着城市产业结构和布局的调整, 城市中心出现许多工业遗留地块, 其中部分土壤已受到诸如 PAHs 的有机化学物质污染^[1,4]。广州市是我国南方的工业中心, 具有门类比较齐全的大城市工业生产体系; 城市交通发达, 是广东及华南地区海、陆、空交通枢纽。近年来, 随着经济的飞速发展、工农业的大量排污, 已引起城市的大气、水体、土壤不同程度受到有机污染物的污染^[5-7]。对广州市大气、水体、沉积物中 PAHs 污染情况的调查工作较多^[5-7], 但对土壤 PAHs 污染现状的调查和研究工作仍比较缺乏^[7]。本研究选择广州市几类典型工业、交通污染源作为工业生产、能源生产和交通运输三类 PAHs 重要排放源的代表, 对其所在地或周边地区表层土壤 PAHs 的含量水平和组成特征进行调研, 并初步评价和揭示土壤 PAHs 的污染程度和来源, 为进一步了解和评价广州市土壤有机污染现状积累基础数据。

1 材料与方法

1.1 供试土样

根据广州市工业、交通情况, 选择某石化企业 (GS)、某钢铁企业 (GG)、某废弃化肥厂 (GN)、电厂 1 (HP)、电厂 2 (ZD)、某高速公路 (GF) 和某旧机场 (BY) 共 7 个产污行业所在地或周边地区作为调查对象。2006 年 3-4 月在各调查区共采集土样 28 个。在废弃化肥厂区内设 3 个采样点 (GN1, GN3, GN4); 其它工业生产企业和发电厂的采样点都分别设于厂区四周的山地或农田, 其中, 石化企业周边设 6 个采样点 (GS1-GS6), 电厂两周边设 5 个采样点 (ZD1-ZD5), 因交通的不可通达性, 在钢铁厂 (GG) 及电厂 1 (HP) 附近仅各采 1 个土样; 另外, 沿高速公路两边设 8 个采样点 (GF1-1, GF1-2, GF1-3, GF1-4, GF2-1, GF2-2, GF3, GF4); 在机场内跑道边的绿地共布 4 个采样点 (BY1-BY4)。各采样区位置分布情况见图 1。采集 0~20 cm 表层混合土, 个别土层浅薄的样点采样深度为 0~10 cm。土样带回实验室后避光阴干, 研磨过 20 目筛, 于冰箱中冷冻保存。

1.2 土壤中 PAHs 的测定方法

土壤中 16 种美国环保总署 (USEPA) 优控 PAHs 的提取与净化过程参考了宋玉芳等^[8]建立的分析方法, 并进行了一些修改: 取冷冻干燥土样

* 收稿日期: 2007-06-22

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (04009791); 中山大学青年教师科研启动基金资助项目; 广东省环境污染控制与修复技术重点实验室开放研究基金资助项目 (2006K0018)

作者简介: 杨秀虹 (1975 年生), 女, 讲师; 通讯联系人: 李适宇; E-mail: eeslsy@mail.sysu.edu.cn

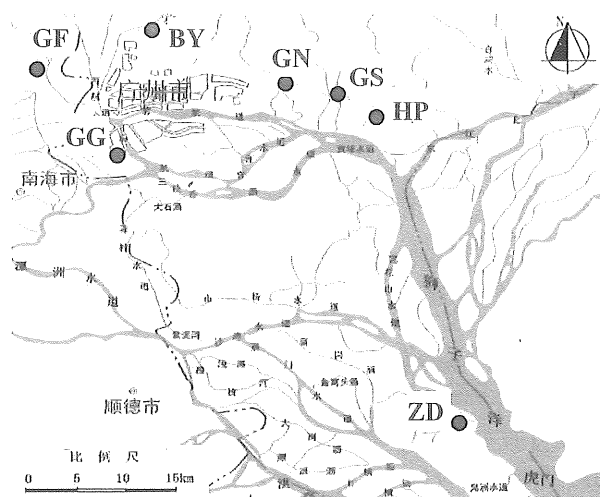


图 1 采样位置分布图

Fig. 1 The distribution of sampling sites

(过 20 目筛) 5 g, 用二氯甲烷超声萃取 3 次, 每次 30 min, 合并离心移出的萃取液并经 K-D 浓缩和高纯氮吹脱; 用环己烷溶解提取物, 然后过硅胶 (1.0 g, 100–200 目) 层析柱, 用二氯甲烷/正己烷混合液 (1: 1, 体积比) 淋洗出芳烃。洗脱液经高纯氮吹脱, GC-MSD 分析前加入一定量的内标化合物 (六甲基苯, 购自 Supelco 公司, 浓度为 4.75 $\mu\text{g}/\text{mL}$), 正己烷定容。样品中 PAHs 通过标准样品 (16 种 PAHs 混合标样购自 Supelco 公司) 的保留时间进行定性, 并通过质谱的分子离子峰进行确认, 用内标法定量。样品分析过程中, 增加全程空白样和平行双样。由于萘 (Nap) 的挥发损失较大, 本文不对 Nap 的研究结果进行分析。除蒽 (Acy) 外 (平均回收率为 36.2%), 其余 14 种 PAHs 的回收率范围介于 50.2% ~ 99.1% 之间, 大部分在 80% 以上; 相对标准偏差介于 0.09% ~ 7% 之间, 大部分集中在 0.2% ~ 3% 范围内。所有空白样均未有 PAHs 检出, 样品中 PAHs 的定量结果不经空白及回收率校正。

仪器分析条件为: Thermo Flnnigan Trace DSQ, 柱温程序: 35 $^{\circ}\text{C}$ (1 min), 30 $^{\circ}\text{C}/\text{min} \rightarrow 150$ $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min} \rightarrow 290$ $^{\circ}\text{C}$ (15 min); 进样口温度: 250 $^{\circ}\text{C}$, 载气: 氦气; 进样方式: 无分流; 进样量: 1 μL 。质谱离子源: 电子轰击源 (EI); 离子源温度: 230 $^{\circ}\text{C}$; 传输线温度: 280 $^{\circ}\text{C}$; 扫描方式: SIM。

2 实验结果与讨论

2.1 土壤中 PAHs 的含量分布及污染程度

28 个表层土样中 15 种 PAHs 含量的统计分析结果见表 1。15 种 PAHs 总含量 (sumPAH) 的分

布范围从未检出至 5 543.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 表明不同样品中 PAHs 含量存在明显差异。其中, 在高速公路边采集的土样 GF1–3 中 15 种 PAH 单组分的含量均在检出限以下; 而位于废弃化肥厂区内采集的土样 GN4 的总 PAHs 含量最高 (5 543.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 其次是位于机场内绿地土样 BY2 和 BY3, 分别为 1 224.8 和 939.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。单种 PAH 含量的最小值均是未检出, 最大值的分布范围是 20.0 ~ 1 886.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。检出率达到 50% 以上的 PAHs 是 3 环的 Flu 和 Phe, 4 环的 Fla, Pyr 和 Chr, 5 环的 Bbf 以及 6 环的 IndP, 其中 Bbf 的检出率最高, 达到 89.3%, Flu、Chr 和 Fla 次之, 检出率均在 70% 以上。无论是算术均值还是中位数, Phe、Chr 和 Bbf 三种 PAHs 组分均较高。Ant 的检出率最低, 仅有 1 个样品能检出。这可能与三环的 Ant 易挥发及易发生光化学反应有关^[9]。

表 1 土壤中 PAHs 含量的基本统计结果

Tab. 1 Statistical results of the PAH content of the soils

PAH 组分	算术 均值	中位 数	标准 偏差	含量范围
蒽烯 (Acy)	1.6	n. d.	4.3	n. d. ¹⁾ ~ 20.0
蒽 (Ace)	2.1	n. d.	10.0	n. d. ~ 53.1
芴 (Flu)	21.1	1.8	97.8	n. d. ~ 519.8
菲 (Phe)	84.9	11.4	354.3	n. d. ~ 1886.7
蒽 (Ant)	4.4	n. d.	23.4	n. d. ~ 124.0
荧蒽 (Fla)	34.3	9.1	71.2	n. d. ~ 322.8
芘 (Pyr)	32.0	6.9	69.4	n. d. ~ 324.6
苯并[a]蒽 (Baa)	18.5	n. d.	38.0	n. d. ~ 163.3
蒽 (Chr)	50.1	12.1	164.8	n. d. ~ 880.6
苯并[b]荧蒽 (Bbf)	43.6	13.6	97.1	n. d. ~ 494.4
苯并[k]荧蒽 (Bkf)	8.7	n. d.	18.5	n. d. ~ 66.7
苯并[a]芘 (Bap)	17.1	n. d.	40.7	n. d. ~ 179.3
茚并[1,2,3]芘 (IndP)	15.2	5.3	31.2	n. d. ~ 123.2
二苯并[a,h]蒽 (dBahA)	5.2	n. d.	17.0	n. d. ~ 87.0
苯并[ghi]芘 (BghiP)	22.3	5.7	58.5	n. d. ~ 297.8
sumPAH ²⁾	360.9	65.2	1054.3	n. d. ~ 5543.5

注: 样本数 $n=28$, 含量单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 1) n. d. 指未检出;

2) sumPAH 指 15 种 PAHs 的总含量。

从不同采样区域来看, 各区土壤中 PAHs 污染程度相差较大。其中废弃化肥厂区及旧飞机场内采集的土壤中 PAHs 残留量明显高于其他采样区的土壤, PAHs 总含量范围分别是 4 ~ 5 543.4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和 14.9 ~ 1 224.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。在 PAH 单组分方面, GN4 土样中 3 环的 Phe 含量达到 1 886.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 4 环的 Chr 含量也超过 800 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 而 BY2 土样中的 Fla、Pyr 和 Bbf 的含量也都在 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以上。其他采

样区土壤中 PAHs 含量相对较低, PAHs 总含量大多数在 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以内, 电厂 2 周边土壤 PAHs 残留量最低, PAHs 总含量都在 40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以下; 除了废弃化肥厂及旧飞机场内采集的土样之外, 其他采样区土壤中单种 PAH 含量均低于 45 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

近年来, 城市土壤 PAHs 污染越来越受到研究人员的关注, 并陆续有一些调查研究报道。陈来国等^[7]对广州 5 个地区菜地中 16 种 PAHs 污染情况的调查结果为: PAHs 总含量在 42 ~ 3 077 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间, 调查的大多数菜地土样 PAHs 总含量在 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以上。与本文结果相比, 虽然其最大值低于 GN4 的 PAHs 总含量 (5543.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 但测定结果高于本文调查中多数土样的含量。本文中 3 个菜园土 (GF4、GS6 和 GG) 的 PAHs 总含量均在 109 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以上, 分布于陈来国等^[7]报道的白云和天河两区菜园土 PAHs 含量范围内 (68 ~ 457 $\mu\text{g}/\text{kg}$)。总体来说, 本文调查结果与国内一些城市土壤 PAHs 调查结果^[3,9,10]相比, 除极个别样品 (如 GN4) 外, 多数土样中 PAHs 的残留水平相对较低。

土壤中 PAHs 残留状况与采样点位置、周边污染源分布情况以及土样本身的理化特性等因素有关。本文调查中 PAHs 含量较高的几个土样 (如 GN4、BY2、BY3 等) 均直接采自污染厂区内或机场内。工业生产、交通储运过程中可能存在燃料的燃烧释放、原辅材料及产品的“跑、冒、滴、漏”等过程, 使得厂 (机场) 区内土壤受 PAHs 污染较明显。其他采样区的样点主要设在工厂或公路附近山上的林地、果园或周边菜园中。这些采样区土壤中的 PAHs 来源较复杂, 可能是附近工厂生产过程煤、石油等有机燃料的不完全燃烧产生的气体性排放, 或公路上机动车尾气排放 (并经由大气输送和沉降) 所带来的间接污染。另一方面, 这些地区的土壤受人为干扰较大, 如受修路及各种建筑活动的影响, 有些山岗已被部分开挖, 表层土壤浅薄, 有利于部分 PAHs 挥发或发生降解而去除; 而农业土壤可能受到频繁的农业劳作影响, 可加速表层土中一些 PAHs 组分的衰减, 从而使表层土壤中 PAHs 的残留量下降。

PAHs 中的许多化合物具有致癌、致畸和致突变作用, 对人体健康和生态环境构成潜在危害。目前, 国际上对场地土壤污染状况通常采用基于风险的方法进行评估^[11]。由于缺乏风险评价中所需的相关数据和资料, 本文仅利用有关评价标准对本次调查区土壤 PAHs 污染状况进行初步评价。我国 1995 年颁布的土壤环境质量标准中没有规定 PAHs 的标准值, 因此本文采用荷兰政府颁布的土壤

PAHs 治理的通用标准^[12]作为评价依据, 对标准中规定的 9 种 PAH 组分的污染状况进行分析 (Nap 除外)。由于采集的多数土样是林地土壤或农业土壤, 故选取荷兰标准中的目标值 (即“A”标准, 是恢复土壤多种用途所允许的土壤 PAHs 含量) 进行评价。另外, 对于直接在污染厂区或机场内采集的土样 (编号以 GN 和 BY 开头的土样) 同时采用荷兰“B”标准 (指治理精度要求较高时的标准) 进行评价。

参加评价的 9 种 PAH 化合物 (即 Phe、Ant、Fla、Baa、Chr、Bkf、Bap、BghiP、IndP) 在部分土样中的浓度超过荷兰标准中的目标值。其中, 超标率较高的是 Fla 和 Chr, 28 个样品中分别有 11 个和 10 个样品的含量超过标准值。其他 PAH 组分的超标率均在 15% 以内。值得注意的是, 出现超标的 Baa、Chr、Bkf、Bap、IndP 及 BghiP 均属致癌污染物^[13], 需要重点关注。超标的样品基本上是直接采自废弃化肥厂区内 (GN3 和 GN4) 或机场内的土壤 (BY1、BY2 和 BY3), 其他采样区仅有少数土样 (如 GF1-1、GF1-2、GS4、GS6、HP 和 GG) 中的 Fla 或 Chr 超标, 超标倍数均在 2 以内。污染最严重的样品是 GN4, 上述 9 种 PAH 组分均超标, Chr 的超标倍数最大, 超过目标值 43 倍; Phe 居其次, 超过目标值 36 倍多。但同是来自废弃化肥厂区内或机场内的 GN1 和 BY4 土样的 PAHs 含量水平与其他区的土样相当, 尤其是 BY4 中所有 PAH 组分均未超过荷兰标准中的目标值。本次调查的所有土样中 PAHs 含量均没有超过荷兰“B”标准中规定的含量限值。

另一方面, 根据以往研究表明^[14], 因植物分解和自然火灾, 自然区土壤中含有一定量的 PAHs, 典型内源性 PAHs 含量范围是 1 ~ 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。此次调查的多数土样中 PAHs 含量水平明显超过该背景值范围, 说明调查区土壤已不同程度受到 PAHs 玷污。除关注总 PAHs 污染状况外, 对具强致癌作用的 Bap 在环境介质中的含量水平也一直是关注的焦点。据 1974 年以来沈阳应用生态研究所学者的调查结果显示^[13], 我国自然区土壤中 Bap 含量范围为 0.2 ~ 35.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 其中, 对广州市郊 40 个土样的测定表明, 其 Bap 含量在 1.9 ~ 36.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 之间。本研究中除少数直接采自污染区的样品外, 其他采样区土壤的 Bap 含量均低于该背景值范围。

从上述评价结果来看, 直接在厂区或机场内采集的土壤受到 PAHs 污染的程度较严重; 其他区土壤受 PAHs 污染程度较轻, 除少数样品中个别 PAH 组分出现超标外, 其他样品均没超过荷兰标准规定

的目标值范围。值得注意的是,大多数土样的 PAHs 含量明显高于土壤 PAHs 的自然背景值范围。

2.2 土壤中 PAHs 的组成特征及污染源

土壤 PAHs 的含量和种类分布是多种污染源共同贡献的结果,同时也与各 PAH 化合物的不同迁移转化行为有关。研究各采样区土壤 PAHs 组成特征及某些 PAHs 特征比值的差异,可在一定程度上反映不同污染源对土壤中 PAHs 的相对贡献情况。图2是各采样点不同环数 PAHs 的丰度分布情况(除没有检出 PAHs 的样品 GF1-3 外)。在众多的 PAHs 特征组分比值中,Fla/Pyr (>1 指示石油源, <1 指示高温燃烧源)^[15] 是较常用于源解析的 PAHs 异构体对之一;另一方面,本次调查中部分 PAH 组分的检出率较低,使得相当一部分土样中其他常用于源解析的 PAHs 特征比值(如 Phe/Ant)缺失,故本文仅采用 Fla/Pyr 比值及不同环数 PAHs 的分布类型对各土样 PAHs 的可能污染源作初步分析。

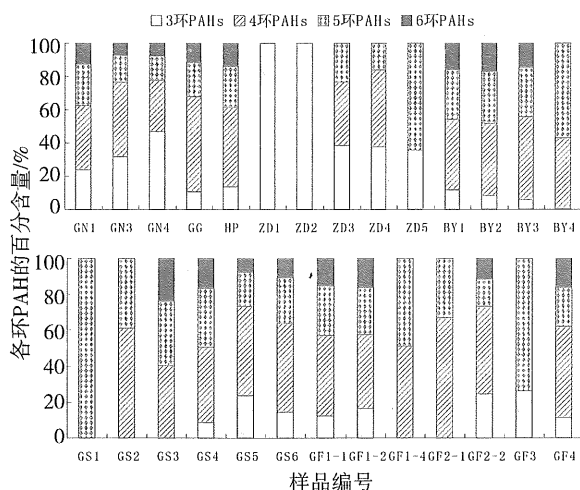


图2 土壤中各环 PAHs 的分布特征

Fig. 2 Composition characteristics of PAHs with different rings in soils

一般认为,低分子量(2、3环)的 PAHs 主要来源于石油类污染,4环及4环以上 PAHs 主要来源于高温不完全燃烧排放污染^[16]。从图2可知,采自废弃化肥厂遗址内的土样 GN1、GN3 和 GN4 中3环与4环 PAHs 组分在各个样品中的丰度较大,分布于23%~47%之间。其中,Phe所占的质量百分比都是最高的,分别达到20.8%、25.7%和34.0%,其次是Chr,在3个样品中所占的比重都超过10%。从整体上看,4环及以上的母体 PAHs 的总丰度均在50%以上,说明燃烧源排放比较明显。另外,从 PAHs 特征比值上看,除 GN1 的

Fla/Pyr 比值稍高于1外,另外两个土样的该比值都小于1,体现了油类污染的特征。3个土样采集于工厂内原仓库区和动力车间附近,距采样点不远处是重油库,因此该地土壤可能受到生产过程中各种油类产品的泄漏污染,同时还受到燃料的高温燃烧排放污染,具有较明显的混合污染源特征。

其他采样区土壤中各环数 PAHs 分布类型较接近,多数土样中 Fla、Pyr、Chr 和 Bbf 的检出率和含量都相对较高;除在两个电厂周边采集的土样外,其他土样中 PAHs 的组成均以4环和5环为主,4环及4环以上 PAHs 的质量百分比均在70%以上。据文献[17],无论是汽油车还是柴油车排放的 PAHs,都以4环组分的含量最高;而5环和6环的 PAHs 被认为是汽油或柴油燃烧不充分的产物^[18]。另外,这些土样的 Fla/Pyr 比值均大于1,体现了燃料高温燃烧污染来源的特征。由此可见,燃料的高温燃烧(包括机动车燃烧排放物)是这些采样区土壤中 PAHs 的重要人为污染源。两个电厂周边所采的土样中,Phe、Fla、Pyr、Chr 和 Bbf 是主要的 PAH 组分,其质量分数均在10%以上,这与 Wild 和 Jones^[19] 的报道相符,他们在研究英国各种 PAH 污染源时发现,燃煤发电厂和燃油发电厂排放的 PAHs 基本以 Phe、Fla、Pyr 和 Baa/Chr 为主。本次调查的电厂1主要以煤和油为燃料,电厂2主要以煤为燃料。但由于交通可达性问题,只在电厂1周边的山岗上采集一个土样(HP);而电厂2附近土样的 PAHs 含量水平低,检出的 PAHs 类型也较少,仅有 Flu、Phe、Fla、Pyr、Chr 和 Bbf 六种。因此,所调查的两个电厂周边土壤或由于样本量小或因 PAHs 检出率低,较难从本次样品的 PAHs 组成特征中准确推断两个电厂附近土壤中 PAHs 的主要污染来源。

综上所述,研究区表层土壤中 PAHs 的组成主要以4环及4环以上化合物为主。根据 PAHs 的组成特征及 Fla/Pyr 特征比值可以初步推测大部分研究区土壤中 PAHs 的主要污染来源。其中,采自废弃化肥厂遗址内的土壤主要受到油类产品的泄漏及燃料的高温燃烧排放物的共同污染;除在两个电厂周边采集的土壤外,其他采样区的土壤主要受到燃料高温燃烧排放物的污染;但从本次研究结果中较难推断出两个电厂周边采集的土壤中 PAHs 的主要污染来源。

参考文献:

- [1] 李凌波,林大泉,曾向东,等. 某石油化工厂区有机污染物的表征 I. 土壤[J]. 石油学报(石油加工),

- 2001, 17(4): 87-96.
- [2] 俞飞, 林玉锁. 城市典型工业生产区及附近居住区土壤中 PAHs 污染特征[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 6-9.
- [3] 段永红, 陶澍, 王学军, 等. 天津表土中多环芳烃含量的空间分布特征与来源[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 942-947.
- [4] CARLON C, CRITTO A, MARCOMINI A, et al. Risk based characterization of contaminated industrial site using multivariate and geostatistical tools[J]. Environ Pollu, 2001, 111: 417-427.
- [5] 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.
- [6] 麦碧娴, 林峥, 张干, 等. 珠江三角洲河流和珠江口表层沉积物中有机污染物研究——多环芳烃和有机氯农药的分布及特征[J]. 环境科学学报, 2000, 20(2): 192-197.
- [7] 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.
- [8] 宋玉芳, 区自清, 孙铁珩. 土壤、植物样品中多环芳烃(PAHs)分析方法研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(1): 92-96.
- [9] 张天彬, 杨国义, 万洪富, 等. 东莞市土壤中多环芳烃的含量、代表物及其来源[J]. 土壤, 2005, 37(3): 265-271.
- [10] 郝蓉, 彭少麟, 宋艳墩, 等. 汕头经济特区土壤中优控多环芳烃的分布[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 323-326.
- [11] 夏家淇, 骆永明. 关于土壤污染的概念和3类评价指标的探讨[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(1): 87-90.
- [12] WILSON S C, JONES K C. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH): a review[J]. Environ Pollu, 1993, 81: 229-249.
- [13] 张从, 夏立江. 污染土壤生物修复技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 168-173, 160.
- [14] EDWARDS N T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the terrestrial environment—a review[J]. J Environ Qual, 1983, 12: 427-441.
- [15] ZHANG J, CAI L, YUAN D, et al. Distribution and sources of polynuclear aromatic hydrocarbons in Mangrove surficial sediments of Deep Bay, China[J]. Mar Pollut Bull, 2004, 49: 479-486.
- [16] FERNANDES M B, SICRE M A, BOIREAU A, et al. Polyaromatic hydrocarbon (PAHs) distribution in the Seine River and its estuary [J]. Mar Pollut Bull, 1997, 34(11): 857-867.
- [17] 朱利中, 王静, 杜焱, 等. 汽车尾气中多环芳烃(PAHs)成分谱图研究[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 26-29.
- [18] 张枝焕, 陶澍, 沈伟然, 等. 天津地区表层土中芳香烃污染物化学组成及分布特征[J]. 环境科学研究, 2003, 16(6): 29-34.
- [19] WILD S R, JONES K C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget [J]. Environ Pollu, 1995, 88: 91-108.

Preliminary Study on the Composition Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils of Industrial Sites and Traffic Sites in Guangzhou

YANG Xiu-hong, LI Shi-yu, LI Lan, TANG Wan-huan, HUANG Xiong-fei

(Department of Environmental Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The concentrations, composition patterns and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are quantified and explored in twenty-eight surface soil samples collected from typical industrial sites and traffic sites in Guangzhou. The results show that there is a high variability in the total PAHs concentrations in soil samples, ranging from not detected to 5543.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dry weight. The most frequent detected PAH compounds in soil samples are fluorene, fluoranthene, chrysene and benzo [b] fluoranthene with detection ratios of above 70%. The part of soils from an abandoned fertilizer plant production area and an abandoned airfield are contaminated by PAHs with obvious higher levels of PAHs than those in soils from nearby industrial areas or highway. PAHs composition patterns in soils of all sampling areas are characterized mainly by compounds with four-ring and more than four-ring. According to the composition characteristics of PAHs and fluoranthene/pyrene (Fla/Pyr) ratio, one of the dominant PAHs sources in study areas is preliminarily inferred to be pyrolysis.

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); soil; source; composition characteristics