

香港土壤研究

④ 土壤中多环芳烃的含量及其来源初探*

章海波^{1,3} 骆永明^{1,3} 黄铭洪² 张甘霖^{1,3} 赵其国^{1,3}

(1 中国科学院南京土壤研究所与香港浸会大学土壤与环境联合开放研究实验室, 土壤与环境生物修复研究中心,

土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

(2 香港浸会大学裘槎环境科学研究所, 香港九龙塘)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 通过对香港地区 53 个土壤样品多环芳烃(PAHs)含量的分析, 并利用 GIS 空间数据管理功能, 揭示了香港土壤中 PAHs 的含量和空间分布特征, 同时, 运用比值法定性地判断了土壤中 PAHs 的来源。研究表明: 香港土壤中可以检测到 16 种美国环保署规定的优控 PAHs 中的 15 种(二苯并(a, h)蒽未被检测到), 郊野土壤中 PAHs 的平均含量为 $34.2 \pm 16.0 \mu\text{g kg}^{-1}$, 而城区土壤中 PAHs 的平均含量为 $169 \pm 123 \mu\text{g kg}^{-1}$, 港岛动植物公园土壤中的苯并(a)芘的含量最高达到了 $47.2 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。在 PAHs 的来源上, 前者的 PAHs 可能主要来自山火焚烧, 而后者可能主要与城区的汽车尾气排放有密切的联系。

关键词 土壤; 多环芳烃(PAHs); 来源; 比值法

中图分类号 X825

文献标识码 A

多环芳烃(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)是指具有两个以上苯环以稠环形式相连的化合物, 其中 16 种被美国环保署确定为优先控制的有机污染物^[1]。环境中的多环芳烃主要由有机物质的不完全燃烧, 包括生物和石化燃料的燃烧, 火山爆发和地质成岩过程产生; 石油泄漏和废水排放也会增加环境中 PAHs 的含量^[2]。有些植物也会自然合成 PAHs, 比如亚马逊热带雨林中的植物就可以大量的合成萘和二萘嵌苯^[3, 4]; 或者在厌氧条件下以有机质为前体形成 PAHs^[5]。PAHs 在环境中广泛分布, Wild 等^[6]对英国环境中的 PAHs 的分布作出估计认为, 土壤承载了环境中至少 90% 的 PAHs。土壤中典型的由植物合成和自然焚烧产生的 PAHs 的含量是 $1 \sim 10 \mu\text{g kg}^{-1}$ ^[7]。但是由于热带和温带地区的气候差异, 由此而导致的微生物降解速度和光解强度的不同, 会使不同气候带土壤中 PAHs 的含量和组成都产生较大的差异。例如处于热带地区的土壤中的 PAHs 含量要明显低于温带土壤, 并且一些易挥发和降解的 PAH 物质(如萘和菲)在热带土壤中的检测率通常也很低^[8-10], 但也不能排除在一些特

殊地带, 如热带雨林区, 出现一些异常^[3, 11]。从现有的文献资料来看, 对香港地区环境中 PAHs 的研究过去主要体现在大气和港湾沉积物以及海洋鱼类上^[12-17], 对土壤中 PAHs 的调查也仅在米浦湿地^[2]。既然土壤可以承载大量的 PAHs, 并且过去许多对土壤 PAHs 的研究相对集中于温带土壤, 而像香港这样处于典型的热带亚热带过渡区域的土壤 PAHs 研究报道甚少。因此, 本研究的目的就是调查香港地区的 16 种优控 PAHs 的含量、组成以及它们在空间上的分布规律。同时在一定程度上解析香港土壤中的 PAHs 来源。

1 材料与方法

研究区的概况以及样品的采集详见参考文献[18], 简单地说: 采集郊野土壤样品 271 个, 包括 51 个剖面样品和 44 个表层样品以及 8 个城区的表层土壤样品。最后选取 53 个典型土壤的表层样品进行多环芳烃的分析。

土壤中的多环芳烃采用超声提取法进行提取,

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810/09)和中国科学院知识创新工程重点项目(KZCX3-SW-429-2)资助

- 通讯作者, E-mail: ymluo@mail.issas.ac.cn

作者简介: 章海波(1977-), 男, 浙江临安人, 博士生, 主要从事区域土壤污染与环境质量评价研究

收稿日期: 2005-03-01; 收到修改稿日期: 2005-06-14

取 7.5 克过 2mm 筛土壤样品于离心管中超声震荡离心提取。提取液采用柱层析法进行纯化, 纯化分离后的样品经旋转蒸发后用正己烷定容至 0.1 ml 后用 GC/FID(Agilent 6890) 分析, 用标准物质对照法进行定性, 内标法定量。具体的分析方法参见文献 [19]。分析方法的检测线在 0.01~0.085 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 之间, 回收率在 85%~117% 之间, 为了控制提取和分离过程中可能带来的污染, 进行了全程空白实验。本研究 PAHs 为美国国家环保署规定的 16 种优控化合物: 萘 (Nap)、蒽 (Any)、芘 (Ace)、芴 (Flu)、菲 (Phe)、蒎 (Ant)、荧蒎 (Fla)、芘 (Pyr)、苯并(a)蒎 (BaAnt)、(Chry)、苯并(b)荧蒎 (BbFla)、苯并(k)荧蒎 (BkFla)、苯并(a)芘 (BaP)、二苯并(a,h)蒎 (DaAnt)、茚并(1,2,3-cd)芘 (Ipyr)、苯并(g,h,i)芘 (BghiP), 由于苯并(b)荧蒎和苯并(k)荧蒎在图谱中的检测峰非常接近, 难以分离, 所以在计算中将它们作为单个化合物——苯并(b+k)荧蒎 (BbkFla), PAHs 的总含量为 16 种多环芳烃的含量之和。数据分析和作图采用 SPSS、SigmaPlot 和 Arcview 等软件。

2 结果与讨论

2.1 香港土壤中 PAHs 的含量和组成

PAHs 在所有香港土壤的样品都有检出 (表 1), 说明 PAHs 在环境中的普遍性。但二苯并(a,h)蒎的含量低于检测限, 其次在郊野土壤中芘的浓度也较低。不难发现: 除萘外, 城区土壤中的 PAHs 含量都要显著高于郊野土壤的 PAHs 含量 ($p < 0.05$); 以平均含量比较, 城区土壤中 16 种 PAHs 的总量大致是郊野土壤的 5 倍, 个别样品的最高含量达 410 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 超过了 Maliszewska-Kordybach^[20] 建议 PAHs 污染与非污染土壤的临界值 200 $\mu\text{g kg}^{-1}$, 表明香港城区的个别土壤存在一定程度的 PAHs 污染。而郊野土壤之间, 除个别 PAHs 物质 (如蒽和芴) 出现一些显著性的差异外, 多数单一 PAH 和 PAHs 总量都没有呈现出显著的差异, 不同的土地利用方式下的土壤 PAHs 总量都在 30 $\mu\text{g kg}^{-1}$ 左右。

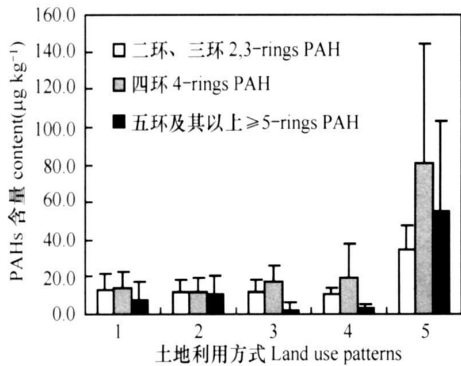
表 1 香港土壤中 PAHs 的含量和组成¹⁾

Table 1 Concentrations of PAHs in soils of Hong Kong ($\mu\text{g kg}^{-1}$ dry weight)

多环芳烃 PAHs	郊野土壤 Rural soils				城区土壤 Urban soil
	林地土壤	草地土壤	农用地土壤	湿地土壤	
	Woodland soil	Grassland soil	Agricultural soil	Wetland soil	
萘 Nap	6.56 ± 6.45 a ²⁾	4.62 ± 4.32 a	4.97 ± 3.82 a	5.60 ± 1.56 a	6.24 ± 1.81 a
蒽 Any	1.13 ± 1.38 a	1.50 ± 1.82 ab	2.73 ± 1.84 ab	1.90 ± 2.69 ab	2.73 ± 2.20 b
芘 Ace	nd ³⁾	痕迹 Trace	nd	nd	0.53 ± 0.57
芴 Flu	2.43 ± 1.88 ab	2.93 ± 4.40 ab	1.24 ± 2.04 a	1.30 ± 0.14 ab	4.56 ± 0.42 b
菲 Phe	2.05 ± 1.77 a	2.11 ± 2.46 a	1.61 ± 1.01 a	2.45 ± 3.46 a	16.7 ± 9.48 b
蒎 Ant	1.06 ± 1.46 a	0.90 ± 1.40 a	0.94 ± 1.73 a	nd	3.57 ± 1.76 b
荧蒎 Fla	8.76 ± 5.76 a	8.09 ± 4.25 a	10.29 ± 4.34 a	3.40 ± 0.57 a	28.0 ± 17.5 b
芘 Pyr	3.31 ± 2.92 a	1.81 ± 2.28 a	5.33 ± 4.05 a	11.3 ± 11.9 a	27.1 ± 19.9 b
苯并(a)蒎 BaAnt	1.51 ± 2.38 a	1.16 ± 2.40 a	1.24 ± 1.96 a	2.15 ± 3.04 a	8.97 ± 9.69 b
Chry	0.35 ± 1.26 a	1.02 ± 3.32 a	0.07 ± 0.20 a	2.15 ± 3.04 a	16.2 ± 17.2 b
苯并(b+k)荧蒎 BbkFla	1.45 ± 4.22 a	0.99 ± 2.50 a	nd	0.45 ± 0.63 a	26.7 ± 24.0 b
苯并(a)芘 BaP	3.39 ± 3.92 a	4.66 ± 4.88 a	0.13 ± 0.34 a	0.85 ± 1.20 a	9.90 ± 10.3 b
茚并(1,2,3-cd)芘 Ipyr	0.04 ± 0.15 a	0.89 ± 3.23 a	nd	2.05 ± 2.90 a	8.26 ± 6.62 b
苯并(g,h,i)芘 BghiP	2.24 ± 4.26 a	4.67 ± 7.20 a	2.54 ± 3.28 a	nd	9.82 ± 7.79 b
PAHs 总含量 Total PAHs	34.3 ± 18.0 a	35.4 ± 15.0 a	31.1 ± 15.2 a	33.6 ± 23.0 a	169 ± 123 b
样品数 Number of samples	17	19	7	2	8

1) 平均值 ± 标准差 Mean ± SD; 2) a, b: LSD 法多重比较 ($p < 0.05$) Multiple comparisons with LSD method at significant level of 0.05; 3) nd: 低于检测限 Below the detectable limitation

在郊野和城区土壤中 PAHs 的组成也表现出了一些明显的差别。前者以荧蒽(四环)、萘(二环)和芘(四环)这3种化合物为主,平均含量分别占PAHs总量的25.1%、15.7%和10.6%;而后者,以五环的苯并(b+k)荧蒽、芘和荧蒽为主,平均含量分别占PAHs总量的16.6%、16.0%和15.8%。图1进一步说明了郊野和城区土壤在PAHs组成上的差别。在郊野土壤中,高分子量PAHs(五环以上的PAHs)的总含量要略低于低分子量PAHs(二环、三环的PAHs);但在城区土壤中,前者显然要高于后者,尤其是五环的苯并(b+k)荧蒽的平均含量大致是郊野土壤中的36倍;四环PAHs是郊野土壤的18倍。Zheng等^[21]对香港大气气溶胶中的PAHs检测发现,在车流量最大的旺角



1. 林地土壤 Woodland soil; 2. 草地土壤 Grassland soil; 3. 农用地土壤 Agricultural soil; 4. 湿地土壤 Wetland soil; 5. 城区土壤 Urban soil

图1 不同利用方式土壤的PAHs组成和含量

Fig 1 PAHs concentrations in soils under different land use patterns

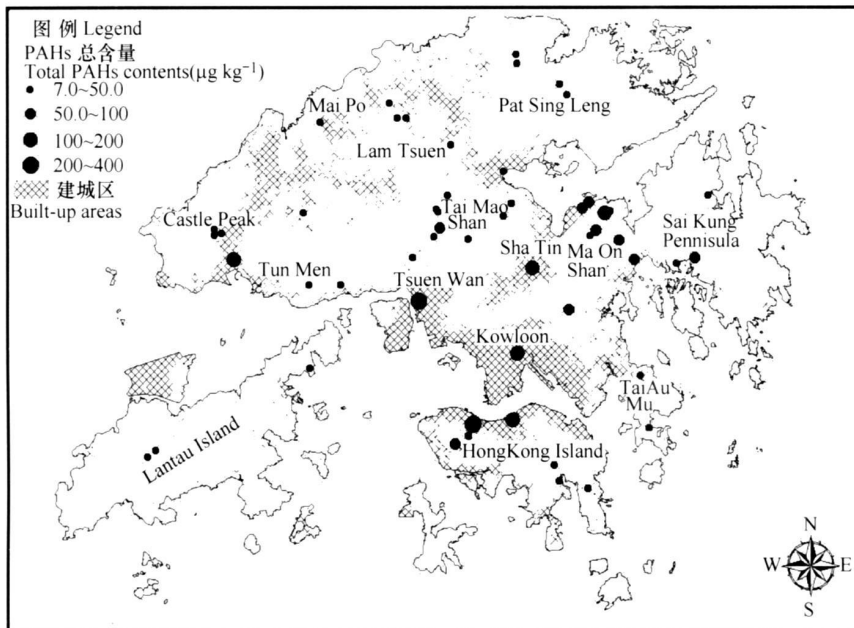


图2 香港土壤中PAHs总含量的空间分布图

Fig 2 Spatial distribution of total PAHs concentrations in soils of Hong Kong

(Mong Kok) 街道上空采集的气溶胶样品中,高环PAHs以苯并(b+k)荧蒽为主。过去也有研究认为苯并(b+k)荧蒽和芘是来自汽油燃烧产生的典型的多环芳烃化合物^[4]。基于上述这两点,可以初步认为城区土壤中的苯并(b+k)荧蒽主要来自汽车尾气的排放。

2.2 香港土壤中PAHs总量和重要组分含量的空间分布

图2展示了土壤中PAHs总量在整个香港地区的空间分布。从图中可以看出,大部分采样点土壤的PAHs总量小于 $50 \mu\text{g kg}^{-1}$,郊野地区的采样点基本如此。空间分布上,新界北部和大屿山岛地区的PAHs总量大都小于 $50 \mu\text{g kg}^{-1}$,而越靠近港九城区,土壤中的PAHs含量也有上升的趋势。土壤中PAHs含量最高的采样点出现在港岛的动植物公园,PAHs总量为 $410 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。除港九地区外,土壤中PAHs含量普遍较高的另一个地区为沙田(Sha Tin)和马鞍山(Ma an Shan),从图2中可以看出,8个采样点中有5个的PAHs总量在 $50 \sim 100 \mu\text{g kg}^{-1}$ 之间,还有2个采样点的PAHs总量在 $100 \sim 200 \mu\text{g kg}^{-1}$ 之间,并且有相当一部分的采样点是位于马鞍山郊野地区。因此,尽管大部分香港郊野地区土壤中的PAHs总量在 $50 \mu\text{g kg}^{-1}$ 以下,但个别地区仍然可能超过该值。如果以 $200 \mu\text{g kg}^{-1}$ 作为判断土壤PAHs污染的临界值,则作为人口最为密集的港九地区和过去作为工业市镇的荃湾(Tsuen Wan)地区土壤存在一定程度的PAHs污染,其生态及环境危害有必要作进一步的研究。

根据国际癌症研究机构(IARC)对 PAHs 化合物致癌程度的分类,五环及其以上的 PAHs 如苯并(a)芘、苯并(b)荧蒹、苯并(k)荧蒹、茚并(1,2,3-cd)芘等具有强烈致癌作用或可能致癌。另外也有研究表明,苯并(a)芘与生物体 DNA 形成加合物,从而明显影响 DNA 复制过程,造成复制阻断或损伤合成^[22]。因此,这些物质已经成为 PAHs 中的重要目标物,荷兰的土壤保护条例对土壤中的苯并(a)芘的含量有一定的要求,将它的修复目标值设定为 $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ ^[20]。香港地区郊野土壤的苯并(a)芘的平均含量为 $3.3 \mu\text{g kg}^{-1}$,所有采样点的检测值都低于荷兰的目标值;城区土壤的苯并(a)芘的平均含量为 $9.9 \mu\text{g kg}^{-1}$,但个别采样点如港岛的动植物公园、维多利亚公园,以及荃湾(Tsuen Wan)公园土壤的苯并(a)芘都检测到 $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ 以上的含量,尤其以动植物公园土壤的苯并(a)芘含量最高,平均为 $30.2 \mu\text{g kg}^{-1}$,最高含量为 $47.2 \mu\text{g kg}^{-1}$,其对生态环境的影响值得进一步探讨。五环以上 PAHs 的总量,郊野土壤平均为 $6.09 \mu\text{g kg}^{-1}$,远远低于城区土壤的 $54.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ 。因此,就致癌性和致突变角度而言,城区土壤的 PAHs 情况更需要引起关注。

2.3 香港土壤中 PAHs 的来源探讨

目前解析环境中 PAHs 污染源的定性和半定量的方法主要有比值法、轮廓图法和特征化合物法等^[23],而比值法相对来说应用较多^[13,14,16]。比如,运用 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 的比值来区分燃烧来源和原油污染来源的 PAHs,该比值小于 0.1 表明是原油污染来源的 PAHs,而大于 0.1 则表明是燃烧来源的 PAHs^[24];但也有研究者指出,蒽在空气中的光解速度要比菲快,因此由于它们降解的不一致性导致污染源的 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 比值与沉降到土壤的该比值并不能完全相同^[25]。所以,在使用该比值时,往往还需要结合其他比值一起使用,比如结合 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 比值来解析 PAHs 的来源。一般认为, $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 比值小于 0.4 意味着原油污染的 PAHs 来源,而大于 0.5 表明是由生物燃烧(如植物、木炭等燃烧)产生的 PAHs,处于两者之间表示由汽油燃烧产生的 PAHs^[26]。其他运用较多的还有 $\text{BaAnt}/(\text{BaAnt} + \text{Chry})$ 和 $\text{Ipry}/(\text{Ipry} + \text{BghiP})$ 比值。考虑到本次香港土壤中的 PAHs 检测结果,我们选择了 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 与 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 比值相结合的方法来定性的判断土壤中的 PAHs 来源。

图 3 是上述两个比值的交叉图,由于有一些样品的蒽含量低于检测限,所有 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 的比

值为 0,因此这部分样品主要看 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 比值的大小。从图中可以看出,大部分样品落在生物燃烧的区域,尤其是采自郊野土壤的样品,基本都落在了生物燃烧的区域。这可能与香港郊野每年的 10 月到次年 3 月都会发生 300 多宗的山火焚烧有关^[27],生物燃烧产生的 PAHs 成为了香港郊野土壤中 PAHs 的主要来源。但从比值图中也可以看出,郊野土壤中也有 1 个样品的 PAHs 可能主要来自原油污染,这个样品采自米浦湿地,可能与附近污水排放或者机动船的汽油泄漏有关^[2]。而采自城区土壤的样品,这两个比值主要落在汽油燃烧区域,或者接近汽油燃烧区域,说明城区土壤中的 PAHs 主要来自汽车尾气的排放,这与城区相对高的汽车流量密切相关。

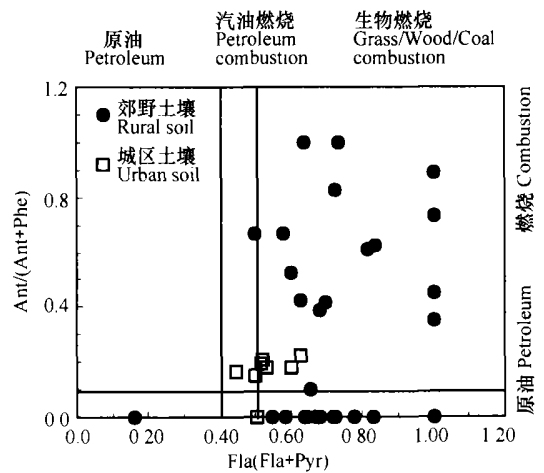


图 3 $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ 与 $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$ 比值交叉图

Fig 3 PAHs cross plot for the ratio of $\text{Ant}/(\text{Ant} + \text{Phe})$ vs. $\text{Fla}/(\text{Fla} + \text{Pyr})$

3 结论

在 16 种美国环保署规定的优控 PAHs 中,香港土壤中可以检测出的 15 种(二苯并(a, h)蒽未被检测到),郊野土壤和城区土壤的含量和组成有很大的差别。郊野土壤中主要以四环及其以下的 PAHs 为主,平均含量为 $34.2 \pm 16.0 \mu\text{g kg}^{-1}$;而城区土壤主要以高分子量的五环 PAHs 为主,平均含量为 $169 \pm 123 \mu\text{g kg}^{-1}$,存在一定程度的 PAHs 污染。个别地区如港岛动植物园土壤苯并(a)芘的含量最高达到了 $47.2 \mu\text{g kg}^{-1}$,超过了荷兰污染土壤的修复目标值 1 倍多,对生物 DNA 的损伤及其致突变效应有必要作进一步研究。

在 PAHs 的来源上,郊野土壤与城区土壤也有

较大的差别, 前者的 PAHs 来源主要是山火生物燃烧的产物, 而后者主要与城区的汽车尾气排放有密切的联系。

致 谢 香港浸会大学基金的资助; 中国科学院南京土壤研究所吴胜春助理研究员、南京大学城市与资源学系的周生路副教授和原香港浸会大学生物系的叶志鸿博士、马英博士和 Fung Ka Fai 先生协同采集香港土壤样品, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- [1] Ribes A, Grimalt J O, Garcia C J T, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons in mountain soils of the subtropical Atlantic. *J. Environ. Qual.*, 2003, 32: 977~ 987
- [2] Tam N F Y, Ke L, Wang X H, *et al.* Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of mangrove swamps. *Environmental Pollution*, 2001, 114: 255~ 263
- [3] Wilcke W, Amelung W, Martius C, *et al.* Biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Amazonian rain forest. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2000, 163: 27~ 30
- [4] Wilcke W, Amelung W, Krauss M, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) patterns in climatically different ecological zones of Brazil. *Organic Geochemistry*, 2003, 34: 1 405~ 1 417
- [5] Thiele S, Brunner G W. Bioformation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil under oxygen deficient conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, 34: 733~ 735
- [6] Wild S R, Jones K C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: A preliminary source inventory and budget. *Environmental Pollution*, 1995, 88: 91~ 108
- [7] Edwards N T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the terrestrial environment - A review. *J. Environ. Qual.*, 1983, 12: 427~ 441
- [8] Wilcke W, Muller S, Kanchanakool N, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in hydromorphic soils of the tropical metropolis Bangkok. *Geoderma*, 1999, 91: 297~ 309
- [9] Jones K C, Stratford J A, Waterhouse K S, *et al.* Organic contaminants in Welsh soils: Polynuclear aromatic hydrocarbons. *Environ. Sci. Technol.*, 1989, 23: 540~ 550
- [10] Smith D J T, Edelhauser E C, Harrison R M. Polynuclear aromatic hydrocarbon concentrations in road dust and soil samples collected in the United Kingdom and Pakistan. *Environ. Technol.*, 1995, 16: 35~ 53
- [11] Wilcke W, Lilienfein J, Lima S D C, *et al.* Contamination of highly weathered urban soils in Uberlandia, Brazil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 1999, 162: 539~ 548
- [12] Zheng G J, Richardson B J. Petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Hong Kong marine sediments. *Chemosphere*, 1999, 38: 2 625~ 2 632
- [13] Zheng M, Fang M. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Hong Kong. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2000, 117: 175~ 189
- [14] Zheng G J, Man B K W, Lam J C W, *et al.* Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediment of a subtropical coastal wetland. *Water Research*, 2002, 36: 1 457~ 1 468
- [15] Wong M H, Poon B H T. Sources, fates and effects of persistent organic pollutants in China, with emphasis on the Peal River Delta. *In: Fiedler H. ed. The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 3. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. 356~ 359*
- [16] Lee, S C, Ho K F, Chan L Y, *et al.* Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and carbonyl compounds in urban atmosphere of Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 2001, 35: 5 949~ 5 960
- [17] Richardson B J, Zheng G J, Tse E S C, *et al.* A comparison of polycyclic aromatic hydrocarbon and petroleum hydrocarbon uptake by mussels (*Perna viridis*) and semi-permeable membrane devices (SPMDs) in Hong Kong coastal waters. *Environmental Pollution*, 2003, 122: 223~ 227
- [18] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究 ⑤. 土壤硒的含量、分布及其影响因素. *土壤学报*, 2005, 42(3): 404~ 410. Zhang H B, Luo Y M, Wu L H, *et al.* Hong Kong soil researches ⑤. Distribution and content of selenium in soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 404~ 410
- [19] 马玲玲, 劳文剑, 王学彤, 等. 北京近郊土壤中痕量半挥发性有机污染物的分析方法研究. *分析化学*, 2003, 9: 1 025~ 1 029. Ma L L, Lao W J, Wang X T, *et al.* Analytical method for trace semi-volatile organic compounds in the soil of Beijing suburbs (In Chinese). *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2003, 9: 1 025~ 1 029
- [20] Maliszewska-Kordybach B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: Preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination. *Applied Geochemistry*, 1996, 11: 121~ 127
- [21] Zheng M, Wan T S M, Fang M, *et al.* Characterization of the non-volatile organic compounds in the aerosols of Hong Kong - Identification, abundance and origin. *Atmospheric Environment*, 1996, 31: 227~ 237
- [22] Farmer P B, Singh R, Kaur B, *et al.* Molecular epidemiology studies of carcinogenic environmental pollutants - Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in environmental pollution on exogenous and oxidative DNA damage. *Mutat. Res. - Rev. Mutat.*, 2003, 544(2): 397~ 402
- [23] 王静, 朱利中. 空气中多环芳烃的污染源研究. *浙江大学学报(理学版)*, 2001, 28(3): 302~ 308. Wang J, Zhu L Z. A study of polycyclic aromatic hydrocarbons as pollution sources in air (In Chinese). *Journal of Zhejiang University (Sciences Edition)*, 2001, 28(3): 302~ 308
- [24] Budzinski H, Jones I, Bellocq J, *et al.* Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry*, 1997, 58: 85~ 97
- [25] Fraser M P, Gass G R, Simoneit B R, *et al.* Air quality model evaluation data for organics. 5. C6-C22 nonpolar and semipolar aromatic compounds. *Environ. Sci. Technol.*, 1998, 32: 1 760~ 1 770
- [26] Yunker M B, Macdonald R W, Vingazzan R, *et al.* PAHs in the Fraser River basin: A critical appraisal of PAH ratios as indicators of

PAH sources and composition. *Organic Geochemistry*, 2002, 33: 489~ 515

SAR Government. Department Annual Report 2001~ 2002. Hong Kong SAR, 2002

[27] Agriculture, Fisheries and Conservation Department of Hong Kong

HONG KONG SOIL RESEARCHES ④ PAHs CONTENTS IN SOILS AND THEIR ORIGINS

Zhang Haibo^{1,3} Luo Yongming^{1,3} Wong Minghung² Zhang Ganlin^{1,3} Zhao Qiguo^{1,3}

(1 *Soil and Environment Joint Open Laboratory between Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences and Hong Kong Baptist University, Soil and Environmental Bioremediation Research Center, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Nanjing 210008, China*)

(2 *Croucher Institute for Environmental Science, Hong Kong Baptist University, Kowloon Tong, Hong Kong*)

(3 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are supposed to be ubiquitous in the environment. However, researches on PAHs of Hong Kong area used to be focused mainly on sediments, atmosphere and marine organisms in the past, and little was reported on the soils. A total of 53 surface (0~ 10cm) soil samples consisting of 45 ones from rural areas and 8 from urban areas were collected and analyzed for PAHs with a gas chromatograph in combination with a flame ionization detector (GC/FID). Distributions of PAHs contents in Hong Kong soils were presented with the aid of the geographic information system (GIS), and the origins of PAHs were identified with the method of isomer ratio. The results indicate that all the 16 U.S. EPA priority controlled PAHs except Dibenz(a, h) Anthracene were detected in the soils of Hong Kong. PAHs contents were averaged $34.2 \pm 16.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ in the rural soils and $169 \pm 123 \mu\text{g kg}^{-1}$ in the urban soils. PAHs patterns varied to some extent as well between the urban and rural soils. Higher molecular PAHs, such as Benzo(b+k) fluoranthene, were found much higher in the former than in the latter. Benzo(a) pyrene, that has been recognized as one of the carcinogenic chemicals by the International Agency for Research on Cancer (IARC), was detected up to $47.2 \mu\text{g kg}^{-1}$ in the soil in the Zoology and Botanic Garden of Hong Kong, which was twice the relevant target value of the Soil Protection Guidelines in the Netherlands. As for the PAHs origins, it seemed that the former mainly stemmed from biomass burning, such as hill fires whereas the latter was closely associated with vehicular exhaust.

Key words Soils; Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); Origin; PAHs isomer ratio