

交通干道沿线土壤中多环芳烃污染特征及源分析

孙小静

(上海市宝山区环境监测站, 上海 201901)

摘要:以上海市北部宝山区境内的沪太路为典型交通干道, 采样分析了沪太路北段沿线表层农田土壤中多环芳烃含量, 以及交通干道沿线土壤的污染特征。结果表明, 沪太路沿线农田表层土壤中 16 种优控多环芳烃总质量比 (PAH₁₆) 为 0.260 mg/kg ~ 7.607 mg/kg, PAH₁₆ 总量均值达 2.750 mg/kg, 显著高于宝山区农田表层土壤中多环芳烃的平均值 (1.173 mg/kg)。对多环芳烃污染物的源分析表明, 沪太路沿线土壤 PAHs 的来源主要为机动车发动机燃料的高温燃烧, 说明交通干道的车辆运行会给沿线农田表层土壤带来显著的多环芳烃污染。

关键词:交通干道; 沿线表层土壤; 多环芳烃; 上海沪太路北段

中图分类号: X825 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2011)S₀-0014-04

Pollution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil Along the Hutai Road

SUN Xiao-jing

(Environmental Monitoring Station of Baoshan District, Shanghai 201901, China)

Abstract: In order to study the influence of traffic on the surface soil alongside, concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soil along the Hutai Road, north Shanghai, were analyzed. It was showed that the total concentrations of 16 PAHs (PAH₁₆) varied from 0.260mg/kg to 7.607mg/kg, with average of 2.750mg/kg, which is evidently higher than the average concentration(1.173 mg/kg) in general field soil in the same district, Baoshan District. Based on the relative abundances of PAHs different in ring number and the ratios of Phe /Ant and Fla /Pyr, it was found that the PAHs in surface soil along the Hutai Road were mainly sourced from combustion of fuel in auto engines. The result indicated that the traffic could bring PAHs contamination on the surface soil, and it was necessary adopting some efficient measures to prevent and control the contamination.

Key words: The main road; Surface soils along the road; Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); North of Hutai Road in Shanghai

随着工农业生产的迅速发展, 土壤污染对农产品质量和居民健康构成了潜在威胁, 引起研究者广泛关注。土壤污染的原因有多个方面, 如污水灌溉、污泥施用、农药化肥施用等^[1-2]。除此之外, 道路交通排放产生的多环芳烃 (PAHs) 和重金属等污染物也会随降尘进入周边土壤^[3-4], 造成表层土壤污染, 进而通过作物吸收和食物链影响农产品质量及居民身体健康。

研究表明, 城区土壤 PAHs 可能与城区的汽车尾气排放有密切联系^[5]。城市交通繁忙区大气颗

粒物中多环芳烃浓度最高, 远高于其他功能区, 说明道路交通排放是大气多环芳烃污染的重要来源^[6]。而空气中 PAHs 的干、湿沉降是土壤和水体中 PAHs 的重要来源^[7-8]。交通干线空气中 PAHs 向周边土壤的沉降导致车流量较多的路边土壤 PAHs 含量很高^[9-10]。因此, 研究交通干道周边土壤的污染问题对于保护土壤环境、维护农产品安全

收稿日期: 2011-11-09

作者简介: 孙小静 (1977—), 女, 河南濮阳人, 高级工程师, 博士研究生, 现从事环境监测与分析工作。

具有重要意义。

沪太路是连接上海和江苏太仓的一条跨省公路,位于上海市宝山区境内重工业集中的沪太路北段,车流量大,且重型卡车较多,是上海北部的一条重要交通干道。现选择上海市沪太路北段作为典型交通干道,以沪太路两侧的农田土壤为研究对象,采样分析表层土壤的多环芳烃污染状况。并通过与同地区远离交通干道的普通农田土壤污染物含量作对比,探讨道路交通排放对周边土壤环境质量的影 响,为农田土壤污染防治和土地利用合理规划提供参考依据。

1 样品采集和分析方法

1.1 样品采集

选择位于上海市宝山区境内的沪太路沿线 9 块农田,在每块农田距公路边缘 30 m 处,以梅花状布点方式采集 5 个点位 0 cm ~ 20 cm 的表层土壤,充分混匀后制成一个混合土壤样品,得到 9 个土样。现场将采集的土壤样品立即装玻璃瓶密封冷藏保存,并于当日送交实验室测定 PAHs 含量。

1.2 测试方法

土样中 PAHs 含量分析采用美国 EPA 8270D

方法,用 Ailent 的 GC/MS 测定了美国环境保护署 (EPA) 规定的 16 种优控多环芳烃的含量。包括 2 个苯环的萘 (Nap)、苊 (Ace)、二氢苊 (Dih) 和芴 (Flu); 3 个苯环的菲 (Phe)、蒽 (Ant) 和荧蒽 (Fla); 4 个苯环的芘 (Pyr)、苯并 [a] 蒽 (BaA)、屈 (Chr)、苯并 [b] 荧蒽 (BbF) 和苯并 [k] 荧蒽 (BkF); 5 个苯环的苯并 [a] 芘 (Bap)、茚并 [1,2,3-cd] 芘 (IcdP) 和二苯并 [a,h] 蒽 (DahA) 以及 6 个苯环的苯并 [ghi] 芘 (BghiP)。

2 结果与分析

2.1 监测结果

沪太路沿线农田土壤多环芳烃含量见表 1。表 1 中分别列出了土壤中 16 种优控多环芳烃及 PAH₁₆、PAH₁₀ 和 PAH₈ 的含量结果。其中 PAH₁₆ 指土壤中 16 种优控多环芳烃的总含量; PAH₁₀ 指荷兰土壤修复标准限定的 10 种典型多环芳烃 (Ant、BaA、BkF、Bap、Chr、Phe、Fla、Nap、IcdP 和 BghiP) 含量之和; PAH₈ 指部分文献中提出的土壤中 8 种可疑致癌多环芳烃 (BaA、Chr、BbF、BkF、Bap、IcdP 和 DahA, 以及 BghiP) 的总含量^[11-12]。

表 1 沪太路沿线农田土壤多环芳烃含量
Tab 1 Concentration of PAH in the soil of vegetable fields along the Hutai road

样品编号	Nap	Dih	Ace	Flu	Phe	Ant	Fla	Pyr	BaA
1	0.012	0.070	0.032	0.036	0.417	0.129	1.106	0.926	0.795
2	—	0.019	—	—	0.072	—	0.244	0.190	0.131
3	—	0.034	—	—	0.195	—	0.458	0.357	0.253
4	—	0.038	0.020	0.027	0.230	0.075	0.579	0.456	0.349
5	—	—	—	—	0.016	—	0.046	0.035	0.025
6	—	0.035	0.013	0.025	0.286	0.082	0.690	0.563	0.407
7	—	—	—	—	0.030	—	0.074	0.056	0.037
8	—	0.023	0.012	0.015	0.236	0.083	0.634	0.540	0.387
9	—	0.018	0.023	0.018	0.048	0.019	0.096	0.077	0.058
样品编号	Chr	BbF & BkF	Bap	IcdP	DahA	BghiP	PAH ₁₆	PAH ₁₀	PAH ₈
1	0.624	1.349	0.727	0.641	0.216	0.526	7.607	6.326	4.879
2	0.096	0.248	0.158	0.157	0.039	0.110	1.466	1.217	0.939
3	0.188	0.450	0.276	0.256	0.071	0.181	2.719	2.257	1.674
4	0.252	0.601	0.360	0.331	0.095	0.247	3.660	3.025	2.236
5	0.021	0.051	0.031	0.031	—	—	0.256	0.221	0.159
6	0.296	0.701	0.410	0.364	0.105	0.275	4.253	3.511	2.559
7	0.026	0.062	0.041	0.039	ND	0.024	0.389	0.333	0.229
8	0.239	0.568	0.362	0.310	0.074	0.250	3.733	3.068	2.189
9	0.039	0.099	0.065	0.061	0.015	0.041	0.678	0.526	0.378

由表 1 可见,在沪太路沿线农田土壤中,16 种优控多环芳烃均有不同程度的检出,但是 2~3 环多环芳烃含量低于检出限的情况较多,且显著低于 4~6 环多环芳烃含量。 PAH_8 占 PAH_{16} 的比例达 56%~64%,说明可疑致癌多环芳烃占的比例

较高。

2.2 与同区域农田表层土壤及高架道路绿地土壤中多环芳烃平均值的比较

将沪太路沿线土壤与所在的宝山区农田土壤多环芳烃平均值^[13]进行了对比,见表 2。

表 2 沪太路沿线与同区域远离交通干道的普通农田土壤多环芳烃平均值对比

mg/kg

Tab 2 Comparison of PAH concentration between soils along the Hutai road and common farmland in the same district

mg/kg

测定项目		Nap	Dih	Ace	Flu	Phe	Ant	Fla	Pyr	BaA
沪太路沿线	平均	0.001	0.034	0.020	0.024	0.170	0.078	0.436	0.356	0.271
	最高	0.012	0.070	0.032	0.036	0.417	0.129	1.106	0.926	0.795
	最低	—	—	—	—	0.016	—	0.046	0.035	0.025
宝山区农田土壤	平均	0.031	0.039	0.038	0.040	0.068	0.039	0.169	0.137	0.088

测定项目		Chr	BbF & BkF	Bap	IcdP	DahA	BghiP	PAH_{16}	PAH_{10}	PAH_8
沪太路沿线	平均	0.198	0.459	0.270	0.243	0.088	0.207	2.750	2.276	1.694
	最高	0.624	1.349	0.727	0.641	0.216	0.526	7.607	6.326	4.879
	最低	0.021	0.051	0.031	0.031	—	—	0.260	0.221	0.159
宝山区农田土壤	平均	0.078	0.164	0.108	0.166	0.048	0.116	1.173	0.978	0.759

由表 2 可见,与宝山区农田土壤多环芳烃平均含量相比,沪太路沿线土壤 2 环多环芳烃平均含量均较低,萘(Nap)、芘(Ace)、二氢芘(Dih)和芴(Flu)平均值为 0.001 mg/kg、0.020 mg/kg、0.034 mg/kg 和 0.024 mg/kg,3~6 环多环芳烃值均较高,为 0.078 mg/kg~0.459 mg/kg。沪太路沿线土壤 16 种优控多环芳烃总量(PAH_{16})平均值为 2.750 mg/kg,较宝山区普通农田土壤 PAH_{16} 平均值(1.173 mg/kg)高 134%。沪太路沿线土壤 PAH_{10} (荷兰土壤标准规定的 10 种多环芳烃总量)平均值为 2.276 mg/kg,较宝山区农田土壤 PAH_{10} 平均值(0.978 mg/kg)高 133%,且显著高于荷兰土壤质量目标值 1 mg/kg。沪太路沿线土壤中 8 种可疑致癌多环芳烃总含量(PAH_8)平均值为 1.694 mg/kg,比普通农田土壤 PAH_8 的平均值(0.759 mg/kg)高 123%,说明交通干道沿线的土壤多环芳烃污染程度显著高于普通农田土壤。

文献[14]表明,延安高架、中环及外环 3 条道路绿地土壤中 16 种优控 PAHs 总量的平均值分别为 3.28 mg/kg、1.26 mg/kg、6.93 mg/kg。与之相比,沪太路沿线土壤中 PAH_{16} 的平均值

(2.750 mg/kg)高于中环沿线绿地,低于延安高架和外环沿线绿地,其原因可能与道路车流量、通车年限以及车辆类型等有关。通常车流量越大、通车年限越长、重型车辆越多,沿线土壤中 PAH_{16} 的含量就越高。

3 讨论

PAHs 的来源主要可划分为 3 种主要类型:石油成因、高温燃烧成因和生物成因。其中石油成因和高温燃烧是主要的 PAHs 人为源,而生物成因主要指高等植物和微生物的合成等天然来源。石油成因的 PAHs 与石油和煤产品的泄漏及散失有关。石油成因的 PAHs 以 2 环和 3 环的为主,而高温燃烧成因的 PAHs 以 4~6 环的为主,是在石油和煤等化石燃料和木材的燃烧过程中产生的。环境中 PAHs 种类多、来源复杂,判断 PAHs 污染来源有多种方法^[15-19]。目前广泛应用的主要有不同环数 PAHs 的相对丰度法和 PAHs 组分的浓度比值法^[18-19]。根据这两种方法对沪太路沿线土壤中的 PAHs 进行了来源判别,结果见表 3。

表 3 根据相对丰度法和浓度比值法判别的 PAHs 主要来源

Table 3 Main sources of PAHs determined by relative abundance ratio method and concentration ratio method

判别方法与评判指标	不同环数 PAHs 的相对丰度法		PAHs 组分的浓度比值法	
	2~3 环 PAHs 百分比	4 环以上 PAHs 百分比	Phe/Ant 浓度比	Fla/Pyr 浓度比
评判标准	>50% 指示石油源 <50% 指示燃烧源	<50% 指示石油源 >50% 指示燃烧源	>10 指示石油源 <10 指示燃烧源	<1 指示石油源 >1 指示燃烧源
所占比例/平均值	26%	74%	3.03	1.26
PAHs 主要来源判别结果	燃烧源	燃烧源	燃烧源	燃烧源

根据不同环数 PAHs 的相对丰度法判别, 研究中 2~3 环的 PAHs 含量平均占 PAHs 总量的 26%, 4 环及其以上的 PAHs 平均占 PAHs 总量的 74%, 判别结果指示为燃烧源。根据 PAHs 组分的浓度比值法判别, 由于 9 个土壤样品中有 4 个土样的蒽 (Ant) 含量低于检出限, 其余 5 个土样 PAHs 组分菲 (Phe) / 蒽 (Ant) 的比值为 2.54~3.50, 平均值为 3.03, <10, 指示为燃烧源。而荧蒽 (Fla) / 芘 (Pyr) 的比值在 1.18~1.32 之间, 平均为 1.26, >1, 也指示为燃烧源。综合两种判别结果, 沪太路沿线土壤 PAHs 的来源应以化石燃料的燃烧为主。结合对沪太路沿线的现场调查, 采样区域距燃煤电厂较远, 也没有其他以煤炭、石油或木材为主要燃料的工厂, 因此, 该区域表层土壤中的 PAHs 来源是来自机动车发动机内石油燃料的高温燃烧。

除了燃烧源之外, 干道沿线土壤中的 PAHs 有一小部分应来自于石油源, 其原因与公路运输相关。比如车辆行驶中的燃油泄漏, 含油原料运输中发生的泄漏, 以及车辆路边维修时丢弃的含油污垃圾等, 均会使 PAHs 释放到干道沿线空气和土壤中。

PAHs 是一种高致癌物质, 对人体健康会产生严重危害, 研究测定的 16 种 PAHs 中就有 8 种为可疑致癌物质^[12-13]。例如苯并[α]芘除诱导胃癌和皮肤癌外, 还可引起食管癌、上呼吸道癌和白血病, 并可通过母体使胎儿致畸。因此, 防治土壤 PAHs 污染意义重大。为避免交通干线的污染排放对农田土壤和农产品造成危害, 应尽量避免在紧靠交通干道两侧种植蔬菜和粮食等食用作物, 应在道路和农田之间设置足够宽度的绿化带, 用以吸收污染物, 阻隔污染物向农田土壤和农作物的迁移。

4 结论

交通干道沿线农田表层土壤多环芳烃含量显著高于同区域农田表层土壤多环芳烃平均含量, 沪太路沿线土壤中 16 种优控多环芳烃总量 (PAH₁₆)

平均为 2.750 mg/kg, 比同区域农田土壤含量均值 (1.173 mg/kg) 高 134%; 沪太路沿线土壤中 8 种可疑致癌多环芳烃总量 (PAH₈) 平均值为 1.694 mg/kg, 比同区域农田土壤均值 (0.759 mg/kg) 高 123%。根据不同环数 PAHs 的相对丰度法和 PAHs 组分的浓度比值法判断, 沪太路沿线表层土壤中的 PAHs 应主要来源于机动车发动机内燃料的高温燃烧, 说明交通干道车辆运行是引起沿线土壤 PAHs 污染的一项主要原因。

致谢: 华东师范大学的许世远教授对此课题研究给予了重要指导和帮助, 在此表示衷心感谢。

[参考文献]

- [1] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 等. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征[J]. 中国环境科学, 2003, 23(6): 592-596.
- [2] 肖汝, 汪群慧, 杜晓明, 等. 典型污灌区土壤中多环芳烃的垂直分布特征[J]. 环境科学研究, 2006, 19(6): 49-53.
- [3] 陈玉娟, 温琰茂, 柴世伟. 珠江三角洲农业土壤重金属含量特征研究[J]. 环境科学研究, 2005, 18(3): 75-77, 87.
- [4] 甄宏. 交通运输对道路两侧土壤及植物的影响研究进展[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(1): 52-55.
- [5] 章海波, 骆永明, 黄铭洪, 等. 香港土壤研究 III. 土壤中多环芳烃的含量及其来源初探[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 936-940.
- [6] 刘顺亭, 邓顺熙, 潘华. 西安市冬季大气颗粒物中多环芳烃的分布特征[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(1): 67-70.
- [7] 王静, 朱利中. 交通干线空气中多环芳烃的干、湿沉降[J]. 中国环境科学, 2005, 25(4): 471-474.
- [8] 祁士华, 张干, 刘建华, 等. 拉萨市城区大气和拉鲁湿地土壤中的多环芳烃[J]. 中国环境科学, 2003, 23(4): 349-352.
- [9] 汤莉莉, 唐翔宇, 朱永官, 等. 北京地区土壤中多环芳烃的分布特征[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, 5(2): 95-99.
- [10] HARRISON R M, TILLING R, ROMERO M S C, et al. A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(17): 2391-2402.

(下转第 56 页)

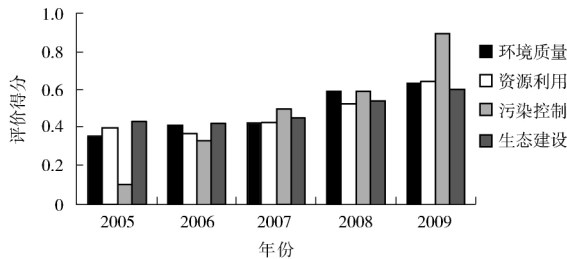


图 2 上海市 2005 年—2009 年城市生态环境质量综合指数 (CEI) 评价结果

Fig.2 The assessment results of urban ecological index in Shanghai

质量评价结果也相应地从“一般”到“较好”。从城市生态环境质量 4 项评价要素分析,各项要素得分均逐年提高,其中“污染控制”要素得分上升尤为显著,其主要原因为近年污染减排工作促使万元 GDP 主要污染物排放强度逐年下降。“生态建设”要素变化相对平缓,一方面受到城市发展影响,“生态服务用地比例”有所下降;另一方面城市环保投资增加,绿化建设使得“环保投资占 GDP 比例”“人均公共绿地面积”等指标得分明显提升。

4 结论

城市生态环境质量综合评价,不仅可以明确城市生态环境质量现状,同时也可以了解城市生态环境质量的限制因子,从而为城市生态环境改善和城市环境管理提供科学依据。在生态环境状况指数 (EI) 的基础上,针对城市生态环境特征,提出了由环境质量、资源利用、污染控制和生态建设等 4 个要素组成、包含 16 项评价指标的城市生态质量综合指数 (CEI),以期为城市生态环境质量的评估及

城市管理决策提供参考。对上海市的评价结果显示,CEI 指数能够基本反映上海城市生态环境状况及其限制因子,同时也在一定程度上体现了上海近年污染控制和生态建设等方面取得的成效。但由于研究目标、关注重点差异等,该研究仍存在指标选择上更突出环境质量和污染控制,定量评价上考虑了均权方法,标准化方法仍有待优化等问题,需进一步完善相关研究,以更科学、有效地开展城市生态环境质量评价。

[参考文献]

- [1] 邝奕轩, 杨芳. 对我国城市化进程引入生态环境质量评价的思考[J]. 国土与自然资源研究, 2005(2): 54-55.
- [2] 万本太, 王文杰, 崔书红, 等. 城市生态环境质量评价方法[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1068-1073.
- [3] 宋永昌, 臧仁海, 由文辉, 等. 生态城市的指标体系与评价方法[J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(5): 16-19.
- [4] 王文杰, 潘英姿, 李雪. 区域生态质量评价指标选择基础框架及其实现[J]. 中国环境监测, 2001, 17(5): 17-20.
- [5] 官冬杰, 苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(10): 1716-1722.
- [6] 徐鹏炜, 赵多. 基于 RS 和 GIS 的杭州城市生态环境质量综合评价技术[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 1034-1038.
- [7] 梅卓华, 张军. 南京市城市生态监测的指标体系[J]. 环境监测管理与技术, 2004, 16(4): 45-45.
- [8] 马喜君, 马海亮. 淮安市城市生态足迹分析[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(1): 58-61.
- [9] 肖亚丽, 蒋大和. 长三角城市群生态城市建设定量评价[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 549-549.
- [10] 吴琼, 王如松, 李宏卿, 等. 生态城市指标体系与评价方法[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2090-2095.
- [11] 李锋, 王如松, 胡聃. 城市可持续发展评价方法及其应用[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4793-4802.
- [11] MENZIE C A, POTOKI B B, SANTODOMATO J. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment[J]. Environ Sci Technol, 1992, 26(7): 1278-1284.
- [12] 沈菲, 朱利中. 钢铁工业区附近农田蔬菜 PAHs 的浓度水平及分布[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 669-672.
- [13] 孙小静, 石纯, 许世远, 等. 上海北部郊区土壤多环芳烃含量及来源分析[J]. 环境科学研究, 2008, 21(4): 140-144.
- [14] 马光军, 梁晶, 方海兰, 等. 上海市主要道路绿地土壤中多环芳烃的分布特征[J]. 土壤, 2009, 41(5): 738-743.
- [15] HONDA K, MIZUKAMI M, UEDA Y, et al. Residue level of polycyclic aromatic hydrocarbons in Japanese paddy soils from 1959 to 2002 [J]. Chemosphere, 2007(68): 1763-1771.
- [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] 孙娜, 陆晨刚, 高翔, 等. 青藏高原东部土壤中多环芳烃的污染特征及来源解析[J]. 环境科学, 2007, 28(3): 664-668.
- [18] ADAMI G, BARBIERI P, PISELLI S, et al. Detecting and characterizing sources of persistent organic pollutants (PAHs and PCBs) in surface sediments of an industrialized area [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2000, 12(2): 261-265.
- [19] ROGGE W F, HILDEMAN L M, MAZUREK M A, et al. Sources of fine organic aerosol: 2. Nona-catalyst and catalyst-equipped automobile and heavy-duty Diesel Trucks [J]. Environmental Sciences and Technology, 1993, 27(2): 636-651.