

乌鲁木齐市周边地区土壤中多环芳烃的含量及来源^①

麦麦提·斯马义, 帕丽达·牙合甫*, 努尔比亚·霍加吾买尔

(新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 在乌鲁木齐市周边, 从乌拉泊到水西沟按不同距离与深度进行土壤样品采集, 采用索氏提取法与层析净化法进行预处理, 高效液相色谱法测定土壤中 16 种多环芳烃(PAHs)的含量, 并对 PAHs 进行对比分析、污染评价和来源分析的相关研究。结果表明: 总 PAHs 平均浓度为 998.23(306.94 ~ 3 652.16)ng/g, 污染程度差异不大, 处中度污染水平但更接近严重污染水平; 16 种 PAHs 的最低检测限为 0.20 ~ 0.80 ng/g; 一些采样点的表层土壤中苯并[a]芘的含量高于土壤质量控制标准。不同层次土壤 PAHs 的污染程度有所不同, 其顺序为表层>中层>下层, 高分子量(4 ~ 6 环) PAHs 占据了总含量的 84.1%, 低分子量(2 ~ 3 环)PAHs 占据 15.9%, 得出在乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 的重要来源是汽车排放, 同时煤燃烧排放的贡献也很大。

关键词: PAHs; 土壤; 乌鲁木齐市周边; 高效液相色谱法

中图分类号: X53

多环芳烃化合物(Polycyclic aromatic hydrocarbons, 简称 PAHs)是指由两个或两个以上苯环以线状、角状或簇状排列的半挥发性污染物^[1]。16 种 PAHs 的化学性质相近, 其具有持久性、长距离迁移性、亲脂性和“三致”(致癌、致畸和致突变)毒性作用^[2-5], 在奥尔胡斯协议中被认定为持久性有机污染物^[6]。已有研究表明, 土壤中 PAHs 会对人体健康产生直接或间接的影响^[7], 人类及动物 70% ~ 90% 的癌症病变是由环境中化学物质引起的, 而 PAHs 则是环境致癌化学物质中最大的一类^[8]。随着石油、化工等行业的发展, 化石燃料的广泛应用, 燃料燃烧以及废弃物处理不当, 导致越来越多的 PAHs 通过废弃物处理和大气沉降等方式输入到环境中^[9-10]。土壤、大气、河流、饮用水甚至食品中均被检出不同种类和浓度的 PAHs, 由于土壤是 PAHs 积累、迁移和转化的重要介质, 其中土壤中 PAHs 的绝对含量较高^[11], 因此, 土壤中 PAHs 含量与生态风险评价一直是环境科学领域关注的一项重要研究内容。近年来, 国内外相关专家针对 PAHs 在土壤中的污染特征、空间分布及来源解析等, 开展了大量的研究工作。如 Belinskaya 等^[12]研究了莫斯科土壤中 16 种 PAHs 污染特征及其分布, 师荣光等^[13]研究了津城郊土壤中 PAHs 含量特征与来源。

虽然国内外对 PAHs 研究时间较长, 但对新疆维吾尔自治区而言, 土壤中 PAHs 的污染现状还鲜见报道。本实验通过采集乌鲁木齐市周边部分地区土壤, 采用索氏提取法与层析净化法预处理, 用高效液相色谱(HPLC)法检测乌鲁木齐市周边土壤中 16 种 PAHs 的含量, 并进行对比、来源和组成分析。在乌鲁木齐市周边土壤的相关研究基础上进一步总结土壤 PAHs 污染程度, 为准确评价乌鲁木齐市周边土壤污染状况奠定基础, 为进一步检测乌鲁木齐市土壤 PAHs 的污染提供有利的科学数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与保存

样品的采集在 2015 年 5 月进行, 为确保选择的样品具有代表性和典型性, 选择从乌拉泊到乌鲁木齐县水西沟村 50 多 km 的范围作为本实验的研究区域, 采样地使用 GPS 定位, 每 10 km 选定一个采样点, 根据土壤条件选择蛇形法分设布点, 采样区域确定为 500 m × 500 m。在每个点按土层 0 ~ 10(表层)、10 ~ 20(中层)和 20 ~ 30 cm(下层)用不锈钢铲分层采集土壤样本, 并储存于聚乙烯袋中。采样时, 首先清除土壤表层的植物残体和其他杂物, 有植物生长的点位则

①基金项目: 国家自然科学基金项目(21167017; 20567028)资助。

* 通讯作者(paridayakup@163.com)

作者简介: 麦麦提·斯马义(1990—), 男, 维吾尔族, 新疆人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染与防治。E-mail: muhammadxakur@126.com

先松动土壤, 除去植物及根系, 采样后及时清理采样工具, 避免交叉污染。将样品运回实验室后, 在分析前暗处干燥, 进行研磨处理, 去掉其中含有的小石子、植物根系、生物残余物及其他杂质, 混匀研磨后过 80 目筛, 置于冰箱中低温($0 \sim 4^{\circ}\text{C}$)密封保存。对于研磨处理后的样品在 7 天内完成前处理, 并在前处理后 40 天内完成分析。采样点位置见图 1。

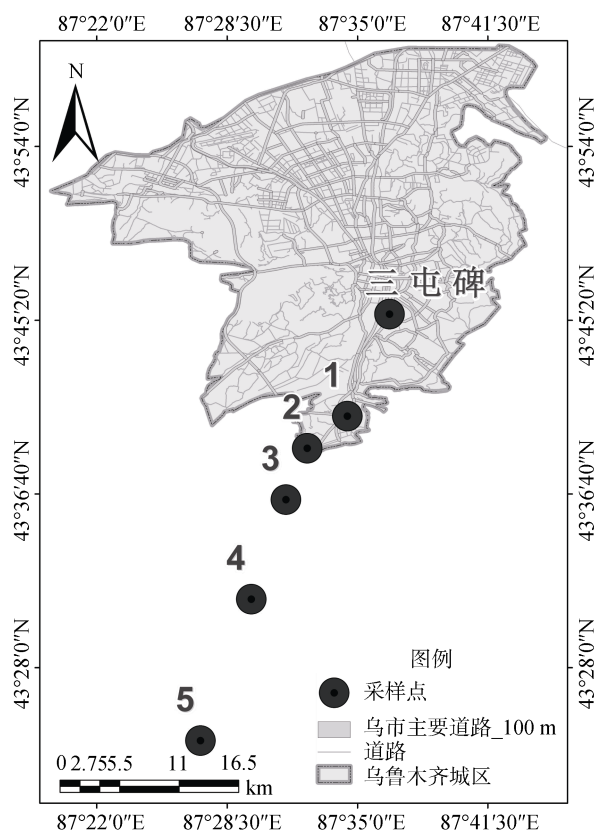


图 1 研究区采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling points in study area

1.2 仪器和试剂

仪器：岛津 LC-20A 高效液相色谱仪, 色谱柱 (PAHs 专用柱子 $4.6\text{ mm} \times 150\text{ mm}$, ODS 填料, 粒径 $5\text{ }\mu\text{m}$), 层析柱 (长 500 mm , 内径 25 mm , 玻璃活塞不涂润滑油的玻璃柱); 索氏提取器; 旋转蒸馏仪; 氮吹仪。

试剂：甲醇、正己烷、环己烷、乙腈、丙酮、二氯甲烷 (以上均为色谱纯), 无水硫酸钠 (分析纯), 分析纯硅胶 (干燥器或马弗炉内 130°C 烘 16 h), 用甲醇配成的 16 种 PAHs 混合标准溶液 (4°C 保存)。

1.3 样品处理

提取土壤中 PAHs 时, 选择适当的提取法和提取剂是样品处理关键的步骤, 目前土壤中提取 PAHs 的方法有: 索氏提取法、超声萃取法、微波萃取法等。

大量研究表明, 二氯甲烷是目前最常用且经济效益较高的提取剂, 可被应用于污染土壤中 PAHs 的提取^[14]。本研究将二氯甲烷及丙酮 ($v_{\text{二氯甲烷}}/v_{\text{丙酮}}=1:1$) 作为提取试剂, 采用索氏提取法提取土壤中 PAHs。采用硅胶柱层析净化法净化提取液。

称取 10 g 冷冻干燥土样 (80 目) 装入索氏提取器中, 用 70 ml 萃取液 ($v_{\text{二氯甲烷}}/v_{\text{丙酮}}=1:1$) 回流 24 h 。用旋转蒸馏仪, 在氮吹条件下进行浓缩至干。分别用 30 ml 正己烷, 30 ml 正己烷和二氯甲烷混合液 ($v_{\text{正己烷}}/v_{\text{二氯甲烷}}=2:1$) 和正己烷和二氯甲烷混合液 ($v_{\text{正己烷}}/v_{\text{二氯甲烷}}=4:1$) 依次进行洗脱, 然后转入硅胶/无水硫酸钠层析柱分离净化。净化液转入旋转蒸馏仪, 氮气吹浓缩至干, 用乙腈定容至 1 ml , 放入冰箱待 HPLC 分析。

2 结果与分析

2.1 乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 的含量

本文对乌鲁木齐市周边土壤中 16 种 PAHs 含量进行统计分析, 分析结果见表 1。由表 1 可知, 样品中 16 种 PAHs 的含量范围为 $0 \sim 594.96\text{ ng/g}$, 平均值为 59.33 ng/g 。不同层次土壤中 PAHs 含量的垂直分布差异较大, 表层 ($0 \sim 10\text{ cm}$) 土壤中含量最高的是苯并[a]蒽, 含量次高的依次是苯并[chi]花、苯并[k]荧蒽等高分子量 PAHs; 中层 ($10 \sim 20\text{ cm}$) 土壤中苯并[a]蒽、蒽和荧蒽等 4 环 PAHs 的含量较多; 下层 ($20 \sim 30\text{ cm}$) 土壤中芴、蒽和菲等低分子量 PAHs 含量较多。 10 cm 以下土层中, PAHs 含量开始降低, 这可能是与 PAHs 的物化性质有关。已有研究表明高环 PAHs 主要是以与土壤有机质胶体结合的形式发生迁移, 不易迁移至深部, 而低环 PAHs 则主要是以溶解态形式发生迁移, 相对较易发生迁移, 所以表层土壤中高环 PAHs 含量较高, 表层以下土壤中高环 PAHs 含量较低, 低环 PAHs 含量较高^[15]。这与孙玉川等^[16]的研究结果相似。

2.2 乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 的分布规律

从图 2 可以看出, 在 15 个样品中 16 种 PAHs 的总浓度范围为 $306.94 \sim 3\,652.16\text{ ng/g}$, 平均值为 998.23 ng/g , 与其他城市郊区土壤中 PAHs 浓度相比变化差异不大, 平均值较高。随着从乌鲁木齐市城区到水西沟距离的变化, 土壤中 PAHs 含量发生变化, 最低值出现在自然风景区 (离城市最远) 的采样点 (样点 5) 中, 其平均值为 343.60 ng/g , 最高值出现在离城市最近采样点 (样点 1), 其平均值为 $1\,707.25\text{ ng/g}$ 。样点 1 ~ 4 表层土壤中 PAHs 含量依次是样点 5 的 8 倍、4 倍、3.5 倍、3 倍。这说明城市边缘的土壤易

表 1 乌鲁木齐市周边土壤 16 种 PAHs 的测定结果(ng/g)
Table 1 Contents of 16 kinds of PAHs in soils around Urumqi City

PAHs 种类	最小值	最大值	平均值	标准偏差
萘(Nap)	ND	36.94	7.76	11.45
蒽(Ace)	1.53	22.27	9.01	6.51
芴(Flu)	ND	114.20	33.75	32.99
二氢蒽(Acy)	ND	143.18	30.07	39.75
菲(Phe)	6.60	107.42	34.71	25.77
蒎(Ant)	0.84	163.35	31.32	45.48
荧蒽(Fla)	12.81	330.59	82.96	85.71
芘(Pyr)	6.61	234.20	51.20	60.06
蒎(Chr)	16.21	408.05	81.25	100.00
苯并[a]蒎(Baa)	26.15	594.96	157.73	149.16
苯并[b]荧蒽(Bbf)	13.59	259.96	80.52	67.14
苯并[k]荧蒽(Bkf)	18.46	447.98	126.68	110.19
苯并[a]芘(Bap)	6.75	125.67	48.45	30.90
二苯并[a,h]蒎(Daa)	3.82	126.33	20.35	34.45
苯并[ghi]芘(Bpe)	ND	544.48	131.21	141.02
茚并[1,2,3]芘(I1p)	ND	191.80	22.24	48.71

注：ND 表示低于检出限。

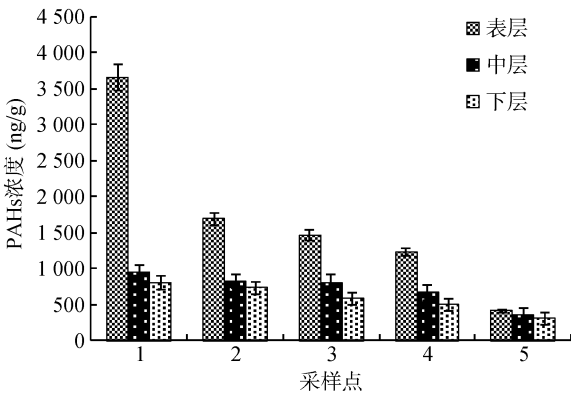


图 2 乌鲁木齐周边不同距离与深度土壤中 PAHs 含量
Fig. 2 PAHs concentrations in different distance and depth soils around Urumqi City

受到高度发达的工业和繁忙交通的影响。在采样点 1 中，出现表层土壤 PAHs 含量比其他采样点高几倍的现象，原因可能是这一点离城市最近，附近有交通车管所，其东部和南部都是通往吐鲁番、南疆的必经之路，车流量较大，尤其是大中型车量居多。

土壤理化性质和剖面结构对其吸附 PAHs 有较大的影响。在同一个采样点在不同深度采取土壤的理化性质参数不同，其中 PAHs 的含量有显著的差异，且有一定的分布规律。由图 2 可知，一般在表层土壤中 PAHs 的含量最高，下层土壤中最低，依次为：表层>中层>下层。表层土壤中 PAHs 含量与中层、下层土壤中 PAHs 含量之间有显著差异($P<0.05$)，中层与下层土壤中 PAHs 的含量之间差异不显著

($P>0.05$)。表明随着采样深度的变化土壤所包含的 PAHs 含量也随之发生变化，不同地区或同一地区不同层次土壤中 PAHs 含量变化范围很大，这可能与 PAHs 的来源以及采样点与污染源的距离远近有关。采集深度越深，污染程度越小，这可能跟土壤层自身过滤净化特征有关。

1996 年 Maliszewska-Kordybach 根据欧洲农业土壤中 PAHs 的含量与分布情况，将土壤 PAHs 的污染程度分成未污染土壤(<200 ng/g)、轻微污染土壤($200 \sim 600$ ng/g)、中等污染土壤($600 \sim 1\,000$ ng/g)和严重污染土壤($>1\,000$ ng/g)4 个水平^[17]。按此分类方法，除第 5 个采样点之外，其他采样点表层土壤确定为严重污染土壤，中层土壤确定为中度污染土壤及下层土壤确定为轻微污染土壤。表明各种污染物通过不同的方式进入土壤并积累到一定的程度，则会导致土壤污染，而且在表层土壤中的积累程度较高。

2.3 乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 含量与其他城市的比较

本研究中乌鲁木齐市郊土壤中 PAHs 含量的平均值为 998 ng/g，与其他城市、市郊及其他国家土壤中 PAHs 的含量对比来看(表 2)，稍高于天津^[18](839 ng/g)、上海^[20](961 ng/g)和美国^[22](731 ng/g)；远高于印度喜马拉雅地区^[21](458 ng/g)；比北京市郊^[19]土壤中 PAHs 含量(1 980 ng/g)明显要低得多。这可能与各地区的工农业分布、交通情况有关。北京市区交通繁杂、农业用地较多(林地、果园、农田等)、工矿企业分布

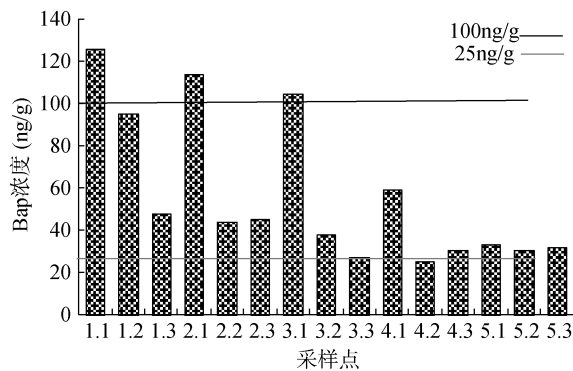
表 2 不同地区土壤中 PAHs 含量比较
Table 2 Comparison of PAHs contents in soils of different regions

区域	检测年份	PAHs(ng/g)	平均值(ng/g)	文献来源
天津市	2005	199 ~ 5190	839	[18]
北京市郊	2011	1 200 ~ 3 350	1 980	[19]
上海市郊	2013	25.1 ~ 7 280	961	[20]
印度喜马拉雅地区	2015	15.3 ~ 4 762	458	[21]
美国郊区	2004	527 ~ 3 753	731	[22]
乌鲁木齐市郊	2015	333 ~ 3 652	998	本研究

较多。喜马拉雅地区比较偏僻，很少会因人类活动而产生污染。乌鲁木齐市郊土壤样品中 PAHs 浓度偏高，应引起相关环保部门的足够重视。

2.4 乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 的污染情况评价

苯并[a]芘(Bap)是最好的 PAHs 毒性指数，Bap 的空间分布趋势和总 PAHs 的空间分布趋势基本相同^[23]。因此，Bap 含量可以反映一个地区土壤中 PAHs 污染状况。图 3 显示了本研究 Bap 浓度范围及加拿大土壤质量控制标准线(100 ng/g)和荷兰污染土壤处理标准线(25 ng/g)。本研究 5 个采样点 15 个样品的 Bap 含量均超过荷兰污染土壤处理标准，第一、第二和第三个采样点表层样品中(分别为 1.1、2.1、3.1)Bap 含量超过加拿大土壤质量控制标准。这表明前 3 个采样点被 PAHs 的污染程度较高，尤其是表层土壤的污染程度更大。



(横坐标 1.1, 1.2, 1.3 分别表示第 1 采样点表层、中层、下层，以此类推；下同)

图 3 乌鲁木齐市周边土壤 Bap 浓度
Fig. 3 Bap concentrations of soils around Urumqi City

2.5 乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 组成特征

通过不同环数 PAHs 的相对含量可以判断其来源，通常 4 环及 4 环以上高分子量的 PAHs 主要来源于化石燃料高温燃烧，而低分子量(2 ~ 3 环)的 PAHs 则来源于天然成岩过程或石油类污染^[24]。Soclo 等^[25]指出，当低环与高环比值<1 时，表明 PAHs 主

要源于燃烧源，而当低环与高环比值>1 时，则表明 PAHs 主要源于油类污染。

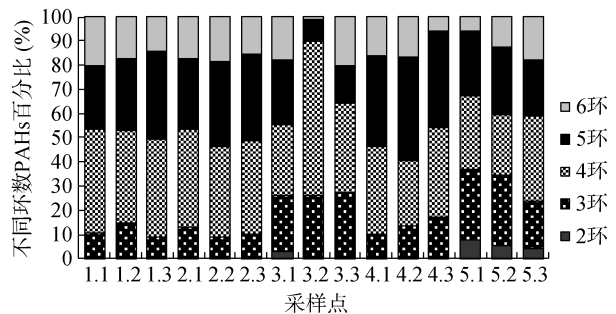


图 4 乌鲁木齐市周边土壤不同环数 PAHs 的分布
Fig. 4 Distribution of PAHs with different rings in soils around Urumqi City

本研究中检测出的 16 种 PAHs 为 2 ~ 6 环。根据 15 个样品的 PAHs 平均浓度计算 2 ~ 6 环 PAHs 组分的比例，分别为 0.9%、15%、39%、29.1% 和 16%，显示出含量 4 环>5 环>6 环>3 环>2 环的组分特征，4 ~ 6 环的高分子量 PAHs 占据了总含量的 84.1%，2 ~ 3 环低环 PAHs 所占比例甚小，仅 15.9%，这与马光军等^[26]的研究结果相一致。(2+3) 环/(4+5+6)环<1，高环 PAHs 比例较大，可初步推测这些 PAHs 的主要来源是燃烧源。

不同组分 PAHs 含量随土壤深度变化而变化的这种特点与 PAHs 的物理化学性质与周围环境的影响有关^[25]。PAHs 的物理化学性质会影响其迁移能力，与低环 PAHs 相比，高环 PAHs 的迁移能力较弱。分子量小的 2 ~ 3 环 PAHs 主要以气态形式存在，容易迁移。随着环数的增加，其辛醇-水分分配系数和有机碳分配系数越大，溶解度越小，从而越容易分配到土壤中，越难随水发生淋溶作用，越难迁移，不易发生转移从而在土壤中积累。土壤与高环 PAHs 的相互作用力更强，土壤对其富集能力更强，吸附容量更大^[16]，由于其以颗粒态存在。大量研究已表明，高分子量 PAHs 是汽车尾气排放的典型特征^[27]。可进一步说明交通排放是该区域土壤中 PAHs 的主要来源。

2.6 乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 来源分析

对城市土壤中 PAHs 的主要来源进行解析和对其分布进行描述都是相关研究中的重点。目前,解析环境中 PAHs 污染源的定性和定量的方法主要有比值法、轮廓图法和特征化合物法等,而比值法相对应用较多^[28-29]。比值法有低分子量(环 ≤ 3)PAHs 与高分子量(4 $\leq$ 环)PAHs 的比值和同分异构体的比值^[30]等。本研究选用 $Fl/(Fl+Pyr)$ 与 $Baa/(Baa+Chr)$ 质量比值参数对目标样品进行进一步分析和判断乌鲁木齐市周边土壤中 PAHs 的可能性来源。在环境中 PAHs 的主要来源为交通源、煤和石油等燃料的燃烧,本研究中煤和石油的燃烧是最主要的 PAHs 来源。

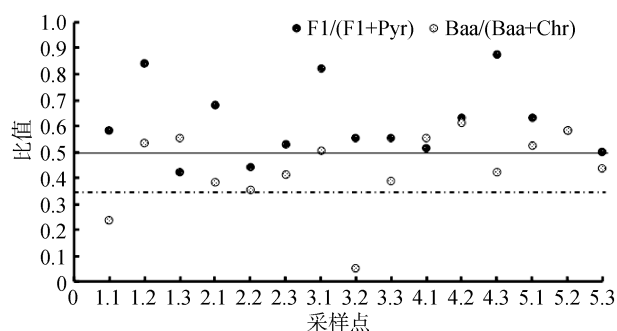


图 5 乌鲁木齐市周边土壤中指示性 PAHs 比例
Fig. 5 Indicative PAH ratios in soils around Urumqi City

Yunker 等^[31]提出, $Fl/(Fl+Pyr) < 0.4$ 时,表明这类化合物的主要来源为石油燃料,而当比值大于 0.5 时,主要来源与木材或煤等生物质的燃烧产物的排放有关;当比值在 0.4~0.5 时,来源受液体化石燃料,汽车尾气,原油等的影响较大; $Baa/(Baa+Chr) > 0.35$ 时指示主要来源于化石燃料或木材的不完全燃烧产物,而当比值小于 0.2 时,来源于石油燃烧与热解;当比值 0.2~0.35 是其来源是混合来源。图 5 显示,在 15 个样本中,12 个样本的 $Fl/(Fl+Pyr)$ 值大于 0.5,3 个样本的比值在 0.4~0.5;13 个样本的 $Baa/(Baa+Chr)$ 值大于 0.35,1 个 <0.2 ,1 个在 0.2~0.35。表明样本中 PAHs 的主要来源是化石燃料或煤的燃烧。这证实了 PAHs 的来源仍然与煤燃烧和交通排放有密切关系。这与上述的结论相一致,从乌鲁木齐市城区到水西沟村的路边土壤中 PAHs 的主要来源是交通排放。

3 结论

本研究通过对乌鲁木齐市南边乌拉泊到水西沟 50 多 km 土壤中 PAHs 的调查,发现该研究区域土壤中 PAHs 的总量范围为 306.94~3 652.16 ng/g,平均值为 998.230 ng/g,污染程度差异不大,其中

84.1% 为 4~6 环的高环 PAHs,低环 PAHs 所占比例仅 15.9%,含量最高的是苯并[a]蒽(Baa),含量次高的依次是苯并[chi]芘、苯并[k]荧蒹。不同层次土壤中 PAHs 的含量有较大差异,其顺序为表层>中层>下层。此外,通过源解析发现,本区域土壤中 PAHs 主要来源于汽车尾气的排放,也有不同程度的煤燃烧影响。

参考文献:

- [1] Gad S C, Gad S E. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) [J]. Journal of Chromatography A, 2004, 774(774): 111-120
- [2] 张祥志, 赵永刚, 胡冠九, 等. 江苏省典型生态示范区土壤中多环芳烃的含量与风险评价[J]. 土壤, 2006, 38(6): 790-793
- [3] Matthias G, Gerrit S, Rolf A. Modeling photo induced algal toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Environmental Science & Technology, 2005, 39(11): 4 141-4 149
- [4] Baran S, Bielińska J E, Oleszczuk P. Enzymatic activity in an airfield soil polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. Geoderma, 2004, 118(3/4): 221-232
- [5] 李静, 吕永龙, 焦文涛, 等. 天津滨海工业区土壤中多环芳烃的污染特征及来源分析[J]. 环境科学学报, 2008, 28(10): 2 111-2 117
- [6] Chung M K, Hu R, Cheung K C, et al. Pollutants in Hong Kong soils: polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. Chemosphere, 2007, 67(3): 464-473
- [7] Jones K C, Stratford J A, Waterhouse K S, et al. Increases in the polynuclear aromatic hydrocarbon content of an agricultural soil over the last century [J]. Environmental Science & Technology, 1989, 23(1): 95-101
- [8] Menzie C A, Potocki B B, Santodonato J. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment[J]. Environmental Science Technology, 1992, 26(7): 1 278-1 284
- [9] 陈皓, 刘颖, 刘海玲, 等. 超高效液相色谱法检测土壤中的多环芳烃[J]. 色谱, 2008, 26(6): 769-771
- [10] Ma L L, Chu S G, Wang X T, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface soils from outskirts of Beijing, China[J]. Chemosphere, 2005, 58(10): 1 355-1 363
- [11] 张甘霖, 赵玉国, 杨金玲, 等. 城市土壤环境问题及其研究进展[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 925-933
- [12] Belinskaya E A, Zykova G V, Semenov S Y, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the soils of Moscow[J]. Eurasian Soil Science, 2015, 48(6): 578-583
- [13] 师荣光, 吕俊岗, 张霖琳. 天津城郊土壤中 PAHs 含量特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2012, 28(4): 1-5
- [14] Zhang T J, Li X J, Yang H, et al. Extraction of the residual polycyclic aromatic hydrocarbons in the long-term contaminated soil in the field[J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(9): 153-156
- [15] Feng P, Zhang Z H, Wan Y, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Beijing and Tianjin region: vertical distribution, correlation with TOC and transport mechanism [J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21(5): 675-685

- [16] 孙玉川, 沈立成, 袁道先. 多环芳烃在岩溶区上覆土壤中的垂直迁移及控制因素[J]. 土壤学报, 2014, 51(4): 795–805
- [17] Maliszewska-Kordybach B. Polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in Poland: preliminary proposals for criteria to evaluate the level of soil contamination [J]. Applied Geochemistry, 1996, 11(1): 121–127
- [18] 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
- [19] 邹正禹, 唐海龙, 刘阳生. 北京市郊农业土壤中多环芳烃的污染分布和来源[J]. 环境化学, 2013, 32(5): 874–880
- [20] 杜芳芳. 上海市表层土壤多环芳烃的时空分布特征、溯源及生态风险评价[D]. 上海: 华东师范大学, 2014
- [21] Devi N L, Yadav I C, Shihua Q, et al. Environmental carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in soil from Himalayas, India: Implications for spatial distribution, sources apportionment and risk assessment [J]. Chemosphere, 2015, 144: 493–502
- [22] Mielke H W, Wang G, Gonzales C R, et al. PAHs and metals in the soils of inner-city and suburban New Orleans, Louisiana, USA[J]. Environmental Toxicology & Pharmacology, 2004, 18(3): 243–247
- [23] Shao X, Xu Y, Zhang W, et al. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Pollution in Agricultural Soil in Tianjin, China [J]. Soil & Sediment Contamination, 2015, 24(3): 343–351.
- [24] Mai B X, Fu J M, Sheng G Y, et al. Chlorinated and polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine and estuarine sediments from Pearl River Delta, China [J]. Environmental Pollution, 2002, 117(3): 457–474
- [25] Soclo H H, Garrigues P, Ewald M. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: Case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Areas[J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40(5): 387–396
- [26] 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
- [27] Cheng J, Yuan T, Wu Q, et al. PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and cancer risk estimation in the atmosphere surrounding an industrial area of Shanghai, China[J]. Water Air & Soil Pollution, 2007, 183(1): 437–446
- [28] Carmen P, Burkhard H, Jelena P, et al. Characterization and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in river bank soils[J]. Chemosphere, 2008, 72(10): 1 594–1 601
- [29] Ravindra K, Grieken S R V. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(13): 2 895–2 921
- [30] Liao S L, Lang Y H, Wang Y S. Distribution and sources of PAHs in soil from Liaohe Estuarine Wetland[J]. Environmental Science, 2011, 32(4): 1 094–1 100
- [31] 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

Contents and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils Around Urumqi City

MAIMAITI·Simayi, PALIDA·Yahefu*, NUERBIYA·Huojiawumaier

(College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Representative soil samples were collected from surrounding parts of Urumqi in different distances and different depths from Wulapo to Shuixigou, Soxhlet extraction method and chromatographic purification method were employed for 16 kinds of PAHs preparation prior to analysis with High Performance Liquid Chromatography (HPLC) method, and the comparative analysis, pollution assessment and source analysis were carried on. The results showed that the concentrations of the total PAHs (T-PAHs) range from 306.94 ng/g to 3 652.16 ng/g with the mean value of 998.23 ng/g, although the pollution situation belonged to the moderate pollution level but was very close to the serious pollution. The minimum detection limits for the 16 PAHs range from 0.20 ng/g to 0.80 ng/g. Bap concentrations in some sites exceeded the suggested standards. PAHs contamination degrees of soil were different in different depths, and the order followed as: top layer > middle layer > bottom layer. High molecular weight PAHs accounted for 84.1% and low molecular weight PAHs account for 15.9% of the total contents. These suggested that automobile emission is still the most important source of PAHs in surrounding environment of Urumqi, while coal combustion is negligible.

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs); Soil; Surrounding of Urumqi; High-Performance Liquid Chromatography