

# 天津市土壤多环芳烃含量与 国外若干城市的比较

刘瑞民<sup>1</sup>, 王学军<sup>1</sup>, 郑一<sup>1</sup>, 陶澍<sup>1</sup>, 沈伟然<sup>2</sup>, 秦宝平<sup>2</sup>, 孙韧<sup>2</sup>,  
张文具<sup>2</sup>

(1. 北京大学环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871; 2. 天津市环保局, 天津 300191)

**摘要:** 通过现场采样及室内测试方法, 分析了天津市土壤中多环芳烃 (PAHs) 的含量, 并与国外的曼谷、塔林以及新奥尔良市区土壤中 PAHs 的含量进行了对比和分析。结果发现, 工业化、城市化水平高的地区, 土壤 PAHs 含量的总体水平较高, 城市地区土壤 PAHs 污染一般以燃烧为主要来源, 某些情况下, 油矿类污染也是主要的污染源之一。从大尺度上看, 气候是影响土壤中 PAHs 含量的重要环境因素。土壤中 PAHs 的挥发、光解等自然降解过程的强度存在着一定的纬度地带性变化规律, 该过程强度由低纬向高纬逐渐降低。

**关键词:** 天津; 表层土壤; 多环芳烃

**中图分类号:** X830    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-2043(2004)04-0827-04

## Comparisons on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contents in the Topsoil of Tianjin City with Those of Some Foreign Cities

LIU Rui-min<sup>1</sup>, WANG Xue-jun<sup>1</sup>, ZHENG Yi<sup>1</sup>, TAO Shu<sup>1</sup>, SHEN Wei-ran<sup>2</sup>, QIN Bao-ping<sup>2</sup>, SUN Ren<sup>2</sup>, ZHANG Wen-ju<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Sciences, MOE Lab. of Earth Surface Process, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Tianjin Environment. Protection Bureau, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Sixteen prior PAHs compounds were measured for totally 188 topsoil samples collected from Tianjin city of China and compared with those of some foreign cities, including Bangkok, Tarlin and New Oreland that located in different areas, different latitude regions, and all were heavily populated. Industrial activities existed in all of these cities, but the time of industrialization was different among them. The studies showed that the contents of most PAH compounds in Tianjin were much higher than Bangkok, while the contents of low ring PAH compounds in Tarlin were higher than Tianjin, and the high ring PAH compounds in New Oreland were higher than Tianjin. It was found that the contents of PAHs in topsoil of urban areas were in proportion to their levels of industrialization and urbanization and contents of PAHs in topsoil in those highly industrialized cities were usually higher than others. The contents of high ring compounds were relatively higher in long industrialized cities than newly emerged cities. Combustion of coal and fuel oil formed main sources of PAHs in topsoil of urban area, and in some cases, petroleum and ore might be the major contributors of PAHs. In global scale, the contents of PAHs in soils were controlled by a number of reasons, such as the type of pollution source, climate and human activities, etc. Climate was one of the primary environmental factors affecting the contents of PAHs in topsoil at large spatial scale. Natural degradation ability of PAHs in topsoil reduced with the increase of latitude, which had some effects on the transport and fate of PAHs in soils. The volatility of PAH compounds also differed with latitude and PAH compounds might stay longer in soil in higher latitude areas. In addition, long range transport of PAHs, especially low ring PAHs might contribute the accumulation of PAHs in soils in different areas.

**Keywords:** Tianjin; topsoil; PAHs

收稿日期: 2004-02-22

基金项目: 国家自然科学基金(40371105, 40332015, 40021101)

作者简介: 刘瑞民(1975—), 男, 博士研究生。

联系人: 王学军, E-mail: xjwang@urban.pku.edu.cn

土壤是环境中多环芳烃(PAHs)的储库和中转站,土壤中的PAHs对人体健康具有潜在的危害<sup>[1]</sup>。在工业发达国家,近100~150年来,土壤(尤其是城市地区土壤)中的PAHs浓度在不断增加<sup>[2]</sup>。国外已对土壤污染进行了大量研究<sup>[1,2]</sup>。与国外相比,国内研究则主要集中于苯并[a]芘等少数组分<sup>[3,4]</sup>。本文根据实际采样数据,对天津市表层土壤中16种优控PAHs<sup>[5]</sup>含量和泰国的曼谷、美国的新奥尔良以及爱沙尼亚的塔林等城市进行了比较分析。文章主要探讨各城市间表层土壤PAHs污染的共性和差异,并试图分析造成这种共性和差异的原因。

## 1 样品的采集和处理

这次采样时间为2001年5月份。在天津地区共采集188个0~10 cm表层土壤样品,采用纬向宽度相等的网格布点,从市区向南、向北,网格的径向宽度逐渐加大。在市区内根据实际需要,对采样点进行加密设计,在天津市区内共有11个采样点,见图1。实际采样位置根据当地交通的可通达性进行适当调整,其中多数是生活小区里的人工绿地,另外还包括2处郊区果园和1处学校操场绿地。在每一采样点,划定一矩形地块,在地块四角及中心处各采1个土样,以5个土样的混合样作为该采样点待测样品。采土时,先去除土表的砾石和动植物残体,然后铲取0~10 cm深度的土样适量运回实验室进行处理。

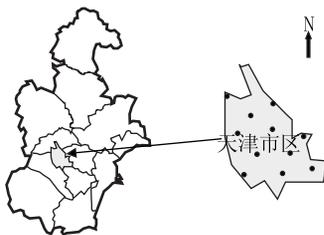


图1 天津市采样点示意图

Figure 1 Locations of the sampled sites in Tianjin city

采回的土样在实验室中经适当处理后测定了16种优控PAHs的含量,见表1。具体的处理和测定方法参见文献[6]。

天津市区的采样深度为0~10 cm,塔林的采样深度也为0~10 cm,但是曼谷和新奥尔良的采样深度却分别为0~5 cm和0~2.5 cm。单纯用原始数据进行比较,会产生一定的误差。但有关研究表明,在非自然土壤中,尤其是有长期积累的非自然土壤中,表层土壤中PAHs含量随深度差别并不十分明显<sup>[7]</sup>。因此,本文仍选取各地的实测数据进行分析。

## 2 天津市区和国外若干城市土壤中PAHs含量的比较

### 2.1 与曼谷的对比

Wilcke等以曼谷为例研究了热带城市土壤中PAHs的污染状况<sup>[8]</sup>,共有30个采样点,等间距地分布在曼谷的市区、郊区和工业区。将天津市区的数据与曼谷数据进行对比,其结果如图2所示。

与天津市区类似,曼谷也是交通和工业密集型地区,其中交通尾气造成的大气污染尤为严重。但比较的结果却显示天津市区土壤的PAHs含量要远高于曼谷。

### 2.2 与塔林的对比

Trapido研究了爱沙尼亚表土中PAHs的含量<sup>[9]</sup>,采样时间为1996年的9月份。在塔林共有34个采样

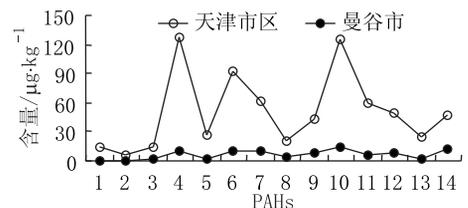


图2 天津市区与曼谷土壤多环芳烃含量的对比

Figure 2 Comparisons of PAHs contents in topsoil of Tianjin and Bangkok

表1 16种优控多环芳烃组分

Table 1 Sixteen prior PAHs

| 中文名 | 英文名            | 简写  | 环数 | 中文名           | 英文名                    | 简写  | 环数 |
|-----|----------------|-----|----|---------------|------------------------|-----|----|
| 萘   | Naphthalene    | Nap | 2  | 苯并(a)蒽        | Benzo[a]anthracene     | Baa | 4  |
| 苊烯  | Acenaphthylene | Any | 3  |               | Chrysene               | Chr | 4  |
| 苊   | Acenaphthene   | Ane | 3  | 苯并(b)荧蒹       | Benzo[b]fluoranthene   | Bbf | 5  |
| 芴   | Fluorene       | Fle | 3  | 苯并(k)荧蒹       | Benzo[k]fluoranthene   | Bkf | 5  |
| 菲   | Phenanthrene   | Phe | 3  | 苯并(a)芘        | Benzo[a]pyrene         | Bap | 5  |
| 蒽   | Anthracene     | Ant | 3  | 茚并(1,2,3-cd)芘 | Indeno[1,2,3-cd]pyrene | Iip | 6  |
| 荧蒹  | Fluoranthene   | Fla | 4  | 二苯并(a,h)蒽     | Dibenz[a,h]anthracene  | Daa | 5  |
| 芘   | Pyrene         | Pyr | 4  | 苯并(g,h,i)苊    | Benzo[g,h,i]perylene   | Bgp | 6  |

点,均匀分布在塔林的市区和近郊区。图 3 表示的是天津市与塔林的对比结果。

由图 3 可见,天津和塔林两地土壤 PAHs 的成分谱基本一致,尤其是高环部分,但塔林市区的低环 PAHs(3~4 环)含量明显高于天津市。

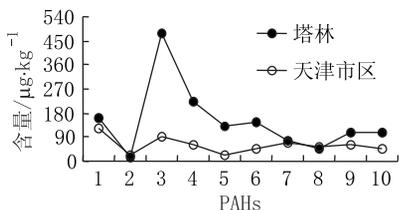


图 3 天津市与塔林市区的土壤多环芳烃含量对比

Figure 3 Comparisons of PAHs contents in topsoil of Tianjin and Tallin

### 2.3 与新奥尔良的对比

Mielke 等研究了新奥尔良城市表层土壤中的 PAHs 含量<sup>[10]</sup>,在市区共采集 27 个样品。与天津市区的对比结果如图 4 所示。

从图 4 可见,新奥尔良土壤中 PAHs 的总体含量水平要高于天津市。从成分谱上看,新奥尔良表土中的低环组分与天津市十分接近,但较高环的组分却远高于天津市,这一点恰好和塔林的情况相反。

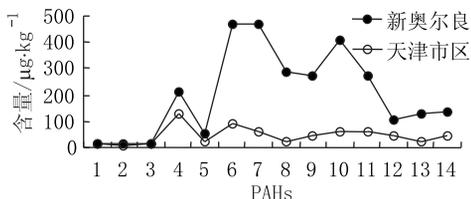


图 4 天津市与新奥尔良的土壤多环芳烃含量对比

Figure 4 Comparisons of PAHs contents in topsoil of Tianjin and New Orleans

## 3 结果与讨论

曼谷有很多地方和天津市比较类似,都是新兴的工业城市,属于交通和工业密集型地区,其中交通尾气造成的大气污染都非常严重,但两个城市表层土壤 PAHs 含量的比较结果却有很大的差别。泰国首都曼谷位于北纬 15°线附近,属于热带季风气候,全年分为热、雨、旱三季,年均气温 24℃~30℃,是典型的热带城市,而我国的天津却是典型的温带城市。地处赤道附近,较高的温度、湿度和较强的紫外辐射,使得曼谷土壤中 PAHs 的挥发、光解、微生物降解等过程的强度比天津地区要大得多,这就可能造成了曼谷表层土壤中 PAHs 比较低的现象。Wilcke 等还指出,挥发、光

解、微生物降解等过程的强烈程度尚不能单独解释上述低值现象。供暖燃烧通常是城市环境中 PAHs 的一个重要来源,由于地处热带,曼谷的供热燃烧量要远远小于地处温带的天津市,这可能也是造成土壤 PAHs 浓度低于天津市的另一重要原因。

另外,曼谷的年降水量也远大于天津,PAHs 随土壤颗粒以及可溶性有机碳下移的可能性也强于天津。这样,可能从另一方造成了曼谷市区表层土壤中 PAHs 含量低于天津市区的含量。

爱沙尼亚首都塔林地处于波罗的海芬兰湾南岸,接近北纬 60°,是较典型的寒温带城市。塔林是前苏联重要的工业中心,交通和工业密度也十分大,城市供暖需求量大,大气污染较严重。天津和塔林两者同为中高纬度的工业化城市,交通和供暖水平是比较接近的。所不同的是,油页岩是爱沙尼亚的主要矿物资源,国内有近 20% 的工业劳动力从事油页岩的开采和生产,并在油页岩加工基础上建立了化学工业部门(生产苯、粘合剂、合成树脂、甲醛和洗涤剂)。因此,相对于天津而言,塔林的油矿类污染的可能性大大增加。有关研究表明<sup>[11]</sup>,与燃烧产生的 PAHs 的成分谱相反,油矿中低环(3~4 环)PAHs 的比重要高于高环。这一点就有可能解释塔林土壤中 3~4 环组分含量远高于天津市,而高环组分含量却与天津市相差无几的现象。

此外,天津所处纬度较低,气温、光照等条件较之塔林更利于 PAHs 自然降解过程的进行,而各种自然降解过程主要作用于 PAHs 中的低环部分。因此,自然环境的差异也可能是导致天津市土壤中的 3~4 环组分含量明显低于塔林的一个原因。

美国的新奥尔良城位于北纬 30°、西经 90°左右,是典型的亚热带城市。新奥尔良地处密西西比河沿岸高度发达的“工业走廊”的下游地区,城市化水平高,交通密集。相关研究表明<sup>[12]</sup>,新奥尔良的 PAHs 的成分谱形态反映的是典型的燃烧污染源。

从图 4 的对比中可看出,天津市表层土壤的 PAHs 含量远低于新奥尔良城区的含量。一方面,天津地区的采样深度为 0~10 cm,而新奥尔良的采样深度为 0~2.5 cm。由于 PAHs 一般富集在土壤的表层,采样深度的不同可能是造成差异的原因之一。另外,美国的新奥尔良城市是一个老工业化的城市,工业化时间比较早,PAHs 在土壤中积累的时间长。由于低环组分易于挥发和降解而高环部分的自然降解能力相对要小,因此在土壤中更多地积累 PAHs 的高环组分。

这也可能是新奥尔良城市土壤中高环 PAHs 含量明显比天津市区高的原因之一。此外, 由于新奥尔良所处纬度比天津市区低, 新奥尔良的气温、光照和水分条件较之天津更有利于低环组分的挥发、光解等自然降解过程, 这可能也是新奥尔良表层土壤中高环 PAHs 含量明显比天津市区高的另一个原因。

#### 4 结论

通过对天津市区和曼谷、塔林以及新奥尔良市区的 PAHs 含量的对比和分析, 可以发现工业化、城市化水平高的地区, 土壤 PAHs 的含量一般较高; 工业化时间比较早的城市, PAHs 的高环组分在土壤中所占的比重相对较大。城市地区一般以燃烧污染为主源, 某些情况下, 油矿类污染也可能是主要的污染源。

另外, 某地区土壤中的 PAHs 含量一般由几方面因素共同决定: 污染源的类型、源强和环境以及气候等因素, 污染源的类型和源强是决定土壤 PAHs 含量的内因。从大尺度上看, 气候是影响土壤中 PAHs 含量的重要外在因素, PAHs 的自然降解过程的强度存在着一定的纬度地带性的变化规律: 由低纬向高纬该过程强度逐渐降低。

#### 参考文献:

[1] Menzie C A, Potocki B B, Santodonato J. Exposure to carcinogenic PAHs in the environment[J]. *Environmental Science & Technology*, 1992,

26: 1278 - 1284.

- [2] Jones K C, Stratford J A, Waterhouse K S, et al. Organic contaminants in Welsh soils: polycyclic aromatic hydrocarbons[J]. *Environmental Science & Technology*, 1989, 23: 540 - 550.
- [3] 刘期松, 杨桂芬, 张春桂, 等. 污灌土壤中 PAHs 自净的微生物效应[J]. *环境科学学报*, 1984, 4(2): 185 - 192.
- [4] 宋玉芳, 孙铁珩, 张丽珊. 土壤-植物系统中多环芳烃和重金属的行为研究[J]. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 417 - 422.
- [5] Keith L H and Telliard W A. Priority pollutants I - a perspective view [J]. *Environmental Science & Technology*, 1979, 13: 416 - 423.
- [6] 崔艳红, 朱雪梅, 郭丽青, 等. 天津污灌区土壤中多环芳烃的提取、净化和测定[J]. *环境化学*, 2002, 21(4): 392 - 396.
- [7] Cousins I T, Gevao B, Jones K C. Measuring and Modelling the Vertical Distribution of Semi-volatile Organic Compounds in Soils. I: PCB and PAH Soil[J]. *Chemosphere*, 1999, 39: 2507 - 2518.
- [8] Wilcke W, Muller S, Kanchanakool C N, et al. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Hydromorphic Soils of the Tropical Metropolis Bangkok [J]. *Goedema*, 1999, 91: 297 - 309.
- [9] Trapido M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Estonian Soil: Contamination and Profiles[J]. *Environmental Pollution*, 1999, 105: 67 - 74.
- [10] Mielke H W, Wang G, Gonzales C R, Le B, et al. PAH and Metal Mixtures in New Orleans Soils and Sediments[J]. *The Science of the Total Environment*, 2001, 281: 217 - 227.
- [11] Berner B A Jr, Bryner N P, Wise S A, et al. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions from Combustion of Crude Oil on Water[J]. *Environmental Science & Technology*, 1990, 24: 1418 - 1427.
- [12] McCready S, Slee D J, Birch G F, et al. The Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surficial Sediments of Sydney Harbour, Australia[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, 40: 999 - 1006.