



# Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soil along Main Roadside in Changchun

Yanan Chen, Jiquan Zhang\*, Feng Zhang, Mo Zhou

School of Environment, Northeast Normal University, Institute of Natural Disaster Research, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

## 长春市公路沿线农田土壤多环芳烃分析及生态风险评价

陈亚南, 张继权\*, 张峰, 周沫

自然灾害研究所, 东北师范大学环境学院, 长春 130024, 中国

### Abstract

Based on the analysis of agricultural soil sampled along main roadside in Changchun. Get the pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil, distribution feature of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural along main roadside in Changchun was investigated; Results showed that the total content of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil along Highway in Changchun range 1572.4-4390.2  $\mu\text{g}$ , at a high level, and 3~4 rings were the main pollutions. Evaluation of the soils with the N.L.Nemerow composite index and the standard for PAHs management of agricultural soils in Canada showed 57% of the samples reached the level of heavy pollution; 29% of the samples reached the level of moderate pollution and the level of light pollution. Evaluation of the agricultural soil along main road in Changchun had been polluted more serious.

**Keywords:** roadside; agricultural soils;

polycyclic aromatic hydrocarbons; risk assessment

### 摘要

通过对长春市 7 条主要公路沿线农田土壤采样分析, 得出了这些公路沿线农田土壤中多环芳烃的污染情况, 分析了多环芳烃在土壤中的含量与分布。结果表明, 长春市公路沿线农田土壤多环芳烃总含量范围在 1572.4-4390.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 处于较高水平, 以 3~4 环芳烃为主。以加拿大农业区域土壤的 PAHs 的治理标准值为指标, 用内梅罗指数法对土壤中多环芳烃的污染进行了风险评价。结果表明, 研究区农田土壤中, 重度污染地区占到 57%, 中度污染占 29%, 轻度污染占 14%, 说明长春市公路沿线农田土壤中多环芳烃污染较为严重。

**关键词:** 公路; 农田土壤; 多环芳烃; 风险评价

### 1. 引言

多环芳烃(Polycyclic aromatic hydrocarbons, 简

\*通讯作者: 张继权, Zhangjq022@nenu.edu.cn



## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

称PAHs),从广义上讲是指由两个或两个以上苯环构成的化合物,根据苯环的连接方式可以分为联苯类、多苯代脂肪烃和稠环芳香烃。狭义上讲是指由多个苯环或是苯环和环戊二烯稠合在一起组成的稠环芳香烃类。多环芳烃是环境中广泛存在的一类具有致畸、致癌、致突变的有机污染物[1-5],是最早发现且数量最多的致癌物,目前已经发现的致癌性多环芳烃及其衍生物已超过400种,每年排放到大气中的多环芳烃约几十万吨,除了一些天然来源之外,它们主要来自于化石燃料如煤、石油和木材的不完全燃烧[6-10]。1976年美国环保局(USEPA)提出的129种“优先污染物”中,多环芳烃类化合物占了16种[11],其中7种被列入“中国环境优先控制污染物”黑名单。

随着社会经济的发展,大量公路被不断开发,导致现如今很多农田被公路包围,土壤是多环芳烃的储库和中转站。未使用清洁燃料和净化器的机动车尾气中的致癌多环芳烃含量

很高。这类污染物以气体或飘尘形式排放到大气中,经过沉降作用或雨水冲刷,最终进入土壤[12]。近年来,已有对生物工厂引起的污染进行的风险评价[13],但是有关长春市公路沿线农田土壤多环芳烃分析及生态风险评价还没有相关的研究,本研究以长春市公路沿线农田土壤为研究对象,探究其多环芳烃的含量特征并进行初步的生态风险评价。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 样品的采集

依据《土壤环境监测技术规范》(HJ/T166-2004)的布点和采样的原则,选择长春市7条主要公路沿线农田采用随机采样法选择5点采集耕层(0~15cm)土壤,将所采土样混匀并装入聚乙烯塑料袋,并表明采样编号及地点,土样避光风干,去除植物残根,过2mm筛,避光保存。采样位置如图1。

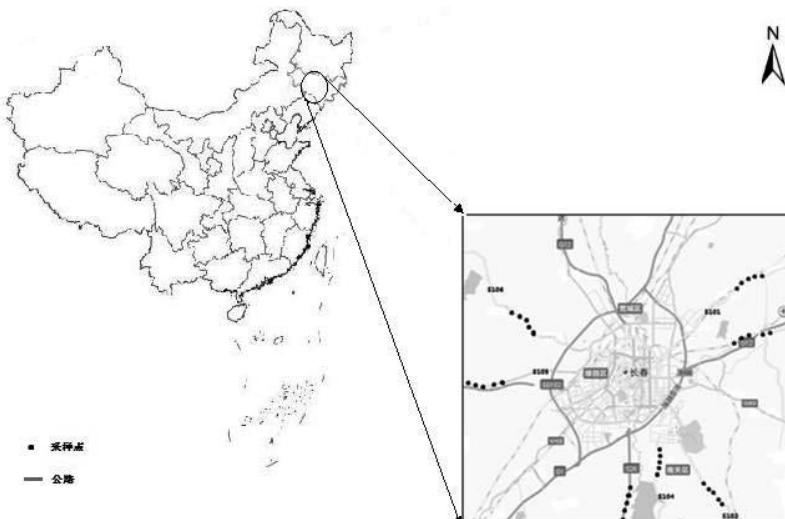


图1 采样点示意图

### 2.2. 分析方法

称取5克土样,加入5克无水硫酸钠和5克铜粉,以40ml二氯甲烷:丙酮=1:1超声萃取15min,萃取3次,提取液加入到弗罗里硅固相萃取柱,并用60ml的正己烷:二氯甲烷=7:3进行洗脱,洗脱液经旋转蒸发仪浓缩至近干,

加入10ml正己烷,继续浓缩至1ml供色谱分析。

Clarus 680 GC,FID 检测器,HP-5 色谱柱,载气为氮气,进样速度为1mL/min。不分流进样。程序升温:50°C(保持2min)以19°C/min的速度升到200°C(保持2min),以4.5°C/min的速度升到240°C(保持2min),以2.5°C/min



的速度升到300℃(保持5min)。标准样品为美国环保局(USEPA)颁布的16种多环芳烃混标,分别为:naphthalene(Nap)萘,acenaphthene(Ace)苊,acenaphthylene(Acy)苊烯,fluorene(Flo)芴,phenanthrene(Phe)菲,anthracene(Ant)蒽,fluoranthene(Fla)荧蒽,pyrene(Pyr)芘,benzo(a)anthracene(BaA)苯并(a)蒽,chrysene(Chr)䓛,benzo(b)fluoranthene(BbF)苯并(b)荧蒽,benzo(k)fluoranthene(BkF)苯并(k)荧蒽,benzo(a)pyrene(BaP)苯并(a)芘,dibenz(a,h)anthracene(DahA)二苯并(a,h)蒽,indeno(1,2,3-cd)pyrene(IcdP)茚苯(1,2,3-cd)芘和benzo(g,h,i)perylene(BghiP)苯并(g,h,i)芘。

### 3. 结果与讨论

表1 长春公路沿线农田土壤多环芳烃含量

PAHs ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	含量范围	Mean	C. V % <sup>a</sup>
萘 Nap	243.1-673.8	449.1	38
苊 Ace	14.1-38.3	25.2	38
苊烯 Acy	135.7-672.2	465	41
芴 Flo	18.9-34	24.3	23
菲 Phe	179.6-372.9	249	30
蒽 Ant	196.7-588.4	362.4	44
荧蒽 Fla	30.1-95.7	66.3	36
芘 Pyr	72.1-498.7	244.5	68
苯并(a)蒽 BaA	48.6-354.4	179.4	75
䓛 Chr	116.7-393.3	205.3	51
苯并(b)荧蒽 BbF	51.2-273.2	137.8	72
苯并(k)荧蒽 BkF	70.9-339.1	175.1	61
苯并(a)芘 BaP	49.2-118.7	83.6	32
二苯并(a,h)蒽 DahA	50.7-293.7	177	51
茚苯(1,2,3-cd)芘 IcdP	ND-247.8	190.6	38
苯并(g,h,i)芘 BghiP	ND-93.7	68.5	44
16 PAHs	1572.4-4390.2	2954.9	33

<sup>a</sup> 变异系数; ND: 未检出。

### 3.2. 不同环数多环芳烃分布情况

研究表明,2环、3环等低环PAHs一般表现出较强的急性毒性,而高环数的PAHs却对许多生物有“三致”作用[14-16]。PAHs环数相对丰度可以反映来自热解或石油类污染,通常4环及4环以上PAHs主要来源于化石燃料高温燃烧,而2环和3环PAHs则来源于石油类污

### 3.1. 多环芳烃在土壤中的含量与分布

监测结果表明,长春市公路沿线农田土壤中16种优控PAH总残留量检测范围在1572.4-4390.2ng/g之间。检出率较低的是茚苯(1,2,3-cd)芘和苯并(g,h,i)芘,检出率均为42.8%,其余组分检出率皆为100%。PAHs检出率如此之高,说明长春地区公路沿线农田土壤PAHs污染普遍。单一污染物以萘、苊烯、菲、蒽、芘、苯并(a)蒽、䓛、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、二苯并(a,h)蒽和茚苯(1,2,3-cd)芘为主。表1为长春公路沿线农田土壤多环芳烃含量。各单体多环芳烃变异系数较大,表明该地区多环芳烃含量受人为影响较大。

染[17-19]。表2为各采样点各多环芳烃含量百分比,从表中可以看出,公路沿线农田土壤中多环芳烃主要以3环和4环为主,说明该研究区多环芳烃主要来自于石油类污染及化石燃料高温燃烧,该结果正好印证了公路汽车尾气的排放及油沥青等可能为多环芳烃的主要污染来源。



## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

表 2 各采样点各环数多环芳烃含量 (%)

采样点	2 环	3 环	4 环	5 环	6 环
S102	15.46	34.66	31.77	15.87	2.25
S104	12.90	44.44	25.14	17.54	0
S26	15.94	29.91	24.41	24.13	5.61
S105	14.01	52.45	18.41	11.59	3.56
S106	15.35	28.19	25.35	23.35	7.78
G12	13.71	42.75	18.08	21.84	3.63
S101	17.94	44.15	23.31	14.61	0
平均值	15.05	39.51	23.78	18.41	3.26

### 3.3. 土壤中多环芳烃污染评价

由于我国现行的 GB15618-1995《土壤环境质量标准》中没有涉及到有关于农田土壤多环芳烃的标准,故本研究采用加拿大农业土壤多环芳烃的治理标准值。该标准规定,农业土壤中萘、菲、芘、苯并(a)蒽、苯并(a)芘、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、二苯并(a,h)蒽和茚并(1,2,3-cd) 芘的环境健康控制标准为100ng/g[20]。

本研究对7条公路沿线农田土壤中的上述9种多环芳烃含量采用内梅罗综合污染指数( $P_N$ )进行生态风险评价。计算公式如下:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

$$P_N = \sqrt{\frac{\bar{P}_i^2 + P_{max}^2}{2}} \quad (2)$$

式中 $\bar{P}_i$ 为土壤中单项污染指数平均值;  
 $P_{max}$ 为土壤中单向污染指数 $P_i$ 中的最大值; n为单项污染指数个数。按照 $P_N$ 值,可以将土壤分为安全( $P_N \leq 0.7$ )、警戒线( $0.7 < P_N \leq 1.0$ )、轻污染( $1.0 < P_N \leq 2.0$ )、中污染( $2.0 < P_N \leq 3.0$ )和重污染( $P_N \geq 3.0$ )5个安全级别。计算得到的 $P_N$ 值和安全级别列于表3。

表 3 各采样点内梅罗综合污染指数 ( $P_N$ ) 和安全级别

采样点	$P_N$	安全级别
S104	1.84	轻污染
S26	2.42	中污染
S105	4.71	重污染
S106	2.25	中污染
G12	5.27	重污染
S101	3.25	重污染
S104	4.34	重污染

由表3可以看出, $P_N$ 值的范围在1.84-5.27之间,全部采样点中,重度污染地区占到57%,中度污染占29%,轻度污染占14%。表明公路沿线农田土壤受到多环芳烃的污染是值得注意的。

### 4. 结论

土壤样品中PAHs总量为164.16~341.46μg/kg,低于美国EPA的环境标准,但是其含量仍然高于一些环境背景值。研究区土壤中多环芳烃

结构主要以3~4环为主,主要来自于石油类污染及化石燃料的高温燃烧,汽车尾气的排放可能是研究区土壤中PAHs的重要来源。研究区生态风险较大,重度污染地区占到57%,应引起高度重视,并采取有力措施进行防治。土壤中多环芳烃含量高,不仅直接危害人体健康,还能间接污染地下水。土壤中高含量的多环芳烃还会被植物吸收,通过食物链中的物质循环累积在其他生物体内,危害其他动植物的健康。因此,农田土壤中PAHs含量应该引起重视。



### Acknowledgements

This study was supported by the National Major Program of Water Pollution Control and Treatment Technology of China under Grant No. 2014ZX07201-011-002) and the National Non-Profit Research Program of China (No.201401015).

### 致谢

本文以国家重大水专项（2014ZX07201-011）和水利部公益性行业科研专项经费项目（201401015）为项目支撑。

### 参考文献

- [1] Zhang D, Liu J, Jiang X, Cao K, Yin P, Zhang X. Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in surface sediments from the Luan River Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*. 102(1): 223-229, 2016.
- [2] Liu F, Liu J, Chen Q, Wang B, Cao Z. Pollution characteristics and ecological risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the southern part of the Haihe River system in China. *Chinese Science Bulletin*. 58(27): 3348-3356, 2013.
- [3] Suman S, Sinha A, Tarafdar A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) concentration levels, pattern, source identification and soil toxicity assessment in urban traffic soil of Dhanbad, India. *Science of The Total Environment*. 545-546: 353-360, 2016.
- [4] Thea A E, Ferreira D, Brumovsky L A, Schmalko M E. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in yerba maté (*Ilex paraguariensis* St. Hil) traditional infusions (mate and tereré). *Food Control*. 60: 215-220, 2016.
- [5] 冯焕银, 傅晓钦, 赵倩, 高占国. 宁波土壤中多环芳烃的健康风险评价. *农业环境科学学报*. 30(10): 1998-2004, 2011.
- [6] Zhu Y, Yang L, Yuan Q, Yan C, Dong C, Meng C, Sui X, Yao L, Yang F, Lu Y, Wang W. Airborne particulate polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution in a background site in the North China Plain: Concentration, size distribution, toxicity and sources. *Science of The Total Environment*. 466-467: 357-368, 2014.
- [7] Xu J, Guo J, Liu G, Shi G, Guo C, Zhang Yuan, Feng Y. Historical trends of concentrations, source contributions and toxicities for PAHs in dated sediment cores from five lakes in western China. *Science of The Total Environment*. 470-471: 519-526, 2014.
- [8] Qiao M, Wang C, Huang S, Wang D, Wang Z. Composition, sources, and potential toxicological significance of PAHs in the surface sediments of the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Environment International*. 32(1): 28-33, 2006.
- [9] Liu Y, Wang S, Lohmann R, Yu N, Zhang C, Gao Y, Zhao J, Ma L. Source apportionment of gaseous and particulate PAHs from traffic emission using tunnel measurements in Shanghai, China. *Atmospheric Environment*. 107: 129-136, 2015.
- [10] Chen F, Hu W, Zhong Q. Emissions of particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Fu Gui-shan Tunnel of Nanjing, China. *Atmospheric Research*. 124: 53-60, 2013.
- [11] 曹云者, 柳晓娟, 谢云峰, 张大定, 李发生. 我国主要地区表层土壤中多环芳烃组成及含量特征分析. *环境科学学报*. 32(01): 197-203, 2012.
- [12] 吕金刚, 毕春娟, 陈振楼, 周婕成, 韩景超. 上海市崇明岛农田土壤中多环芳烃分布和生态风险评价. *环境科学*. 33(12): 4270-4275, 2012.
- [13] Kadri F. The Assessment of Risk Caused by Fire and Explosion in Chemical Process Industry: A Domino Effect-Based Study. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*. 3(2): 66-76, 2013.



## Risk Analysis and Crisis Response in Big Data Era (RAC-16)

- [14] 朱媛媛, 田靖, 魏恩琪, 魏复盛. 天津市土壤多环芳烃污染特征、源解析和生态风险评价. 环境化学. 33(02): 248-255, 2014.
- [15] 郑太辉, 冉勇, 陈来国. 东江流域农村土壤中多环芳烃的分布特征及其健康风险评估. 生态环境学报. 23(04): 657-661, 2014.
- [16] 吴维兴. 土壤中多环芳烃污染及其环境行为研究进展. 安徽农业科学. 42(25): 8563-8565, 2014.
- [17] 于波, 孙晓怡, 唐伟, 金永民. 抚顺地区土壤中多环芳烃分布及污染风险评价. 环境保护与循环经济. (02): 43-45, 2008.
- [18] 聂麦茜, 张志杰. 环境中多环芳烃污染规律及其生物净化技术. 环境导报. (01): 18-21, 2001.
- [19] 朱先磊, 王玉秋, 刘维立, 朱坦. 焦化厂多环芳烃成分谱特征的研究. 中国环境科学. 21(03): 75-78, 2001.
- [20] 潘峰, 耿秋娟, 楚红杰, 王利利. 石油污染土壤中多环芳烃分析及生态风险评价. 生态与农村环境学报. 27(05): 42-47, 2011.