

南京市典型地区大气多环芳烃污染特征及健康风险评估

吉贵祥, 顾杰, 郭敏, 吴冠群, 石利利*

(生态环境部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要:采用气相色谱-质谱法,于2016年9月和12月对南京市2个典型地区大气中16种多环芳烃(PAHs)的质量浓度进行分析,并开展了PAHs组成特征、来源解析及人体健康风险评估研究。结果表明,工业区(六合区)和生活区(江宁区)大气(气态和可吸入颗粒态)中16种PAHs的质量浓度分别为914.82和712.27 ng/m³,苯并[a]芘毒性等效浓度分别为274.1和309.84 ng/m³,且呈现冬季高、秋季低的特征。比值法源解析结果表明,燃煤污染是六合区PAHs污染主要来源,而江宁区主要表现为交通污染。人体健康风险评估结果表明,六合区和江宁区人群通过大气吸入PAHs的超额致癌风险分别为 5.17×10^{-5} 和 5.85×10^{-5} ,均略高于可接受水平 10^{-6} 。

关键词:多环芳烃;污染特征;大气;健康风险评估;南京

中图分类号:X820.4;X511

文献标志码:A

文章编号:1674-6732(2021)05-0087-06

Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric PAHs in Typical Areas in Nanjing City

Ji Gui-xiang, Gu Jie, Guo Min, Wu Guan-qun, Shi Li-li*

(Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing, Jiangsu 210042, China)

Abstract: The concentrations of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the atmosphere of typical areas in Nanjing were analyzed by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) in September and December 2016. The component characteristics, source apportionment and human health risk assessment of PAHs were explored. The results showed that the mass concentrations of 16 PAHs in the atmosphere (gas phase and inhalable particulate matter) of industrial area (Luhe district) and living area (Jiangning district) were 914.82 ng/m³ and 712.27 ng/m³, respectively. The toxic equivalent concentrations of benzo[a] pyrene were 274.1 ng/m³ and 309.84 ng/m³, respectively. In addition, the concentrations of PAHs in winter was higher than those in autumn. The results of source apportionment by ratio method showed that coal combustion was the main source of ambient air PAHs in Luhe District, while traffic exhaust was the main source in Jiangning District. The results of human health risk assessment showed that the excess carcinogenic risk of inhaling PAHs were 5.17×10^{-5} and 5.58×10^{-5} in Luhe district and Jiangning district respectively, slightly higher than the acceptable level of 10^{-6} .

Key words: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs); Pollution characteristics; Ambient air; Health risk assessment; Nanjing

多环芳烃(PAHs)是一类分子中含有2个或2个以上苯环的碳氢化合物,主要来源于化石燃料和生物质燃料的不完全燃烧^[1]。PAHs在环境中的含量虽然是微量的,但由于其稳定性和生物累积

性,能够对人体产生潜在危害。在美国环保署(EPA)公布的16种优先控制PAHs中(萘、蒽、芘、菲、葱、荧蒽、芘、苯并[a]葱、蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-cd]

收稿日期:2021-06-11;修订日期:2021-07-28

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项(GYZX2000102);江苏省环保科研课题基金资助项目(2018001)

作者简介:吉贵祥(1982—)男,副研究员,博士,主要从事环境健康研究工作。

* 通讯作者:石利利 E-mail:sll@nies.org

芘、二苯并[a, n]蒽、苯并[g, h, i]芘), 苯并[a]芘(B[a]P)、苯并[a]蒽、二苯并[a, n]蒽等对人体和生物体具有致癌、致畸和致突变作用。流行病学研究已证实, PAHs 可通过皮肤、呼吸道和消化道进入人体, 有诱发皮肤癌、肺癌、直肠癌、胃癌、膀胱癌、乳腺癌等作用。国际癌症研究机构(IARC)将 B[a]P 归为 I 类致癌物^[2-5], 二苯并[a, n]蒽为 2A 类致癌物, 萘、苯并[a]蒽、屈、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽和茚芘[1, 2, 3-cd]芘为 2B 类致癌物。焦化厂、炼铁厂、炼铝厂工人肺癌患病率的显著增高, 与接触高浓度的 PAHs 密切相关^[6]。我国云南省宣威县由于室内燃烧烟煤, 室内空气中 PAHs 污染严重, 成为肺癌高发区^[7-8]。

城市已经成为人类生产生活的主要场所, 人类通过工业和民用燃煤、机动车排放、垃圾焚烧等人为活动向城市环境中排放了大量的 PAHs。PAHs 是半挥发性污染物, 大气则是人体暴露于 PAHs 污染的重要媒介。Menichini^[9]评价了全球约 60 个城市空气中 PAHs 浓度, 其代表物 B[a]P 的质量浓度如下: 欧洲 1~20 ng/m³, 美国约 1 ng/m³, 北美及南美洲、澳大利亚 0.1~1.0 ng/m³, 日本 1~10 ng/m³。而我国的调查显示: 南京、武汉、太原、石家庄、唐山等城市均有不同程度超标^[10-11]。南京作为长江三角洲地区重要核心经济区之一, 近年来城市迅速扩展, 工业经济高速发展。随着机动车总量和道路车流量持续快速增长, 能源与化石燃料消耗不断增加, 且城市垃圾焚烧站不断增加, 使得南京市大气中细颗粒物(PM_{2.5})和可吸入颗粒物(PM₁₀)的污染越来越严重, 尤其是颗粒物中的有机污染物对人体健康危害极大。李秋歌等^[12]研究结果显示, 2001—2005 年南京市大气气溶胶 PAHs 污染呈加重的趋势, 最高值达 291.67 ng/m³。

现监测分析了南京市 2 个典型区域大气 PAHs 的浓度, 利用比值判断法对 PAHs 的来源进行初步解析, 并运用健康风险评价模型对 2 个区域的人群进行了健康风险评价。研究结果对于加强南京市的大气污染评价, 制定环境空气质量标准, 保障生态安全和人体健康具有重要的现实意义。

1 研究方法

1.1 研究区域和采样点位

选择南京市六合区大厂街道和江宁区东山街道作为代表性地区。六合区是江苏省会南京市北

大门, 南靠长江, 也是南京市化工企业集中区。六合区大厂街道集中了南京钢铁联合有限公司、中国石化集团南京化学工业有限公司、中国石化扬子石油化工有限公司、南京化学工业园热电有限公司、华能国际电力股份有限公司等一批冶金、能源、化工大型企业, 大气污染物排放量较大。江宁区东山街道位于六合区大厂街道东南方 28 km 处(为主导风向的下风向), 辖区内无重污染企业。分别在六合区大厂街道和江宁区东山街道人群聚集居住区设置 4 个和 2 个采样点。

1.2 样品采集和保存

选取一年中 2 个典型季节(秋季: 2016 年 9 月; 冬季: 2016 年 12 月)采集大气样品。采用中流量采样器(国技仪器 AMEM, ADS-2062)放在无障碍物的区间, 用石英纤维滤膜捕集大气中 PM₁₀, 用聚氨酯泡沫(PUF)吸附芯吸附气态物质。以 0.1 m³/min 采样流量, 每天采集 20 h 以上, 每个季节连续采集 5 d。记录采样点的准确地理位置, 采样条件(采样日期、样品名称), 气象条件(如温度、风向、风速、压力)和采样体积等。样品采集后于 -20 °C 低温保存, 并在一周内完成处理和分析。

采样前将石英纤维滤膜在马福炉中于 400 °C 加热 5 h 以上, 冷却后用铝箔包好放置于 -18 °C 的冰箱冷藏。PUF 使用前用蒸馏水清洗, 沥干水分后用丙酮清洗 3 次, 放入索氏提取器, 依次用丙酮回流提取 16 h, 乙醚/正己烷(V: V=1: 9)提取液回流提取 16 h, 更换 2~3 次乙醚/正己烷提取液回流, 每次回流提取 16 h。然后取出, 将溶剂挥干用铝箔包好于 -18 °C 的冰箱冷藏备用。

1.3 样品分析

样品分析方法参照《环境空气和废气 气相和颗粒物种 PAHs 的测定 气相色谱-质谱法》(HJ 646—2013)。膜和 PUF 样品全部剪碎, 置于三角瓶中, 加入 4 mg/L 混合净化内标物(5 种氘代 PAHs 标准品: 萘-D₈、苊-D₁₀、菲-D₁₀、蒽-D₁₂、芘-D₁₂, 百灵威公司)静置 1 h, 加入正己烷/二氯甲烷(V: V=1: 1)的混合溶剂, 超声提取 30 min。提取 2 次, 合并提取液, 旋转浓缩至近干(温度控制在 45 °C 以下), 氮气吹干后, 加入 20 μL 进样内标物(对三联苯-D₁₄, 百灵威公司), 用正己烷定容至 1 mL 后转移至气相进样小瓶待测。

选用气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司, 7890A-5975C)对样品进行定量分析, 色谱柱为

DB-5MS 毛细柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 载气为高纯氦气 (99.999%)。(1) 气相色谱条件。进样口温度: 280°C; 程序升温: 70°C 保持 2 min, 10°C/min 到 320°C 保持 5.5 min; 载气: 氦气, 流量: 1.0 mL/min; 进样量: 1.0 μL。(2) 质谱条件。离子源: EI 源; 离子源温度: 230°C; 离子化能量: 70 eV; 扫描方式: 选择离子扫描; 溶剂延迟 3 min; 传输线温度: 280°C。采用内标标准曲线法进行定量分析。

1.4 质量控制与质量保证

采样和分析过程中, 每批样品均进行 1 个试剂空白, 1 次实验空白和 1 次空白加标分析。实验室分析结果表明, 16 种 PAHs 的标准曲线线性良好, 相关系数 ≥ 0.995; 空白加标回收率控制在 80.7% ~ 117.2%, 相对标准偏差 (RSD) 为 6.09% ~ 20.7%; 样品定量限为 0.6 ~ 1.3 ng/m³。

2 结果与讨论

2.1 大气 PAHs 污染特征

2016 年南京市典型地区大气 PAHs 质量浓度监测结果见表 1。秋季, 六合区和江宁区大气气态 16 种 PAHs 平均质量浓度分别为 440 和 421 ng/m³; 冬季, 六合区和江宁区大气气态 16 种 PAHs 平均质量浓度分别为 1 322 和 827 ng/m³, 六合区大气 PAHs 浓度明显高于江宁区, 为江宁区的 1.6 倍。在秋季, 六合区和江宁区大气颗粒态 (PM₁₀) 中 16 种 PAHs 平均质量浓度分别 18.8 和 17.7 ng/m³; 冬季, 六合区和江宁区 PM₁₀ 中 16 种 PAHs 平均质

量浓度分别为 47.8 和 44.2 ng/m³, 2 个地区大气 PM₁₀ 中 PAHs 的浓度无显著差别。

冬季大气气态和 PM₁₀ 中 PAHs 质量浓度显著高于秋季, 呈典型的季节变化特征。南京市四季分明且温差较大, 秋季气象条件良好, 污染物可以得到有效扩散和沉降, 所以秋季 PAHs 的污染水平较低; 冬季温度低、气压高, 频繁出现逆温等不利于污染物扩散的气象条件, 大气稳定度较高, 阻碍了大气污染物的扩散, 造成污染物的局地积累形成重污染, 导致冬季 PAHs 的质量浓度较高。

目前, 已有大量关于中国城市大气中 PAHs 污染情况的报道, 例如长春市夏季 PM_{2.5} 中 PAHs 质量浓度为 19.28 ~ 79.42 ng/m³[13], 大连市气态和颗粒态中 PAHs 质量浓度为 29.4 ~ 413 ng/m³[14], 徐州市 PM_{2.5} 中 PAHs 质量浓度为 0.85 ~ 94.82 ng/m³[15], 广州市 PM_{2.5} 中 16 种 PAHs 年均值为 5.363 ng/m³[16], 南京市 PM₁₀ 中 PAHs 范围为 11.03 ~ 53.56 ng/m³, 唐山市冬季 PM_{2.5} 中 PAHs 月均值为 229.50 ng/m³[17], 东北 3 省 (辽宁、吉林、黑龙江) 大气颗粒物中 14 种 PAHs 质量浓度为 16.3 ~ 712.1 ng/m³[18]。北京冬季雾霾期大气气态和颗粒态中 PAHs 质量浓度分别为 585 和 705 ng/m³[19], 杭州冬季灰霾日气态和 PM_{2.5} 中的 PAHs 平均质量浓度为 515.9 和 14.98 ng/m³[20]。而这些研究结果由于采样时间、季节、地点以及采样介质 (气态和/或颗粒态) 等方面的差异, 使得即使是同一城市所报道的大气中 PAHs 的浓度也有所不同。

表 1 2016 年南京市典型地区大气 PAHs 质量浓度

								ng/m ³
介质	采样季节	采样地区	样本量/个	算数均值	标准差	最小值	中位数	最大值
气态	秋季	六合区	20	440	231	18.9	231	1 017
		江宁区	10	421	207	13.7	406	729
	冬季	六合区	20	1 322	1 506	304	616	5 979
		江宁区	10	827	1 017	239	505	3 513
颗粒态 (PM ₁₀)	秋季	六合区	20	18.8	4.11	13.6	17.8	28.1
		江宁区	10	17.7	2.80	14.5	17.3	23.9
	冬季	六合区	20	47.8	22.2	21.5	45.2	115
		江宁区	10	44.2	15.1	18.9	39.5	65.4

根据 PAHs 的结构和性质, 16 种 PAHs 可以分为 3 类。其中萘、蒽、二氢萘、芴、菲和蒽为 2 或 3 环 PAHs, 称为低相对分子质量 PAHs, 易挥发; 荧蒽、芘、苯并 (a) 蒽和蒽为 4 环 PAHs, 称为中相对

分子质量 PAHs, 属于半挥发性有机物; 苯并 (b) 荧蒽、苯并 (k) 荧蒽、苯并 (a) 芘、茚并 (1, 2, 3 - cd) 芘、二苯并 (a, h) 蒽和苯并 (g, h, i) 芘为 5 或 6 环 PAHs, 称为高相对分子质量 PAHs, 难挥发, 其对人

体的危害(致癌性和致突变性)较高。不同环数 PAHs 的组成特征见图 1。无论秋季还是冬季, PM_{10} 中的 PAHs 组成均类似,且符合 5+6 环 > 4 环 > 3 环 > 2 环的规律,说明分子量越大的 PAHs,在颗粒物上的吸附比例越高,符合范德华力的作用特征。在秋季,气态中 2 环的 PAHs 占比较高,这可能主要因为萘具有较强的挥发性,在温度较高的秋季,挥发增强,其占比上升;而 5+6 环 PAHs 化合物其分子量较大,即使其分子含量不高,但是其质量浓度占比也会增加。在冬季,随着温度下降,挥发性较强的萘组成比例下降;而与秋季一致的是,4 环 PAHs 的比例相对较低;5+6 环占据了 PAHs 组成的主体。

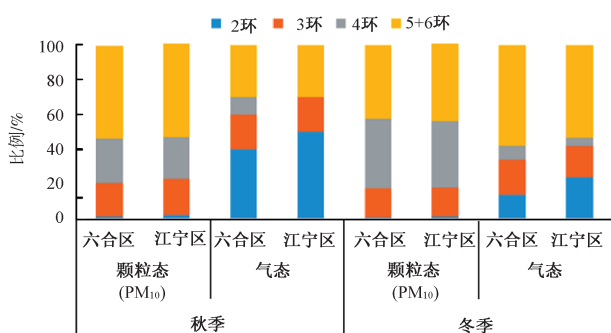


图 1 2016 年南京市典型地区大气中不同环数 PAHs 组成特征

2.2 大气 PAHs 来源解析

大气中 PAHs 的组成受各种因素的影响,比值法认为,燃料种类和燃烧条件的不同,会导致生成的 PAHs 组成和相对含量都不同,因此,可以根据它们的比值高低识别污染源。傅家谟等^[21]提出荧蒽(Flu)和芘(Pys)的含量比值可用作化石燃料燃烧类型的判别指标,比值接近于 1.40 和 1.0 分别代表煤型和油型燃烧。

2016 年南京市典型地区环境空气中 $\rho(\text{Flu})$ 和 $\rho(\text{Pys})$ 的比值见表 2。六合区 $\rho(\text{Flu})/\rho(\text{Pys})$ 无论在冬季还是秋季都是接近于 1.40,代表其主要为煤型燃烧;而江宁区 $\rho(\text{Flu})/\rho(\text{Pys})$ 在秋季和冬季均接近 1.0,代表其主要为油型燃烧,即交通污染为主。此外,六合区和江宁区在冬季,该比值均有所提高,提示冬季煤型燃烧的比例有所增加。六合区是南京市的主要工业区,区域内集中了一批冶金、能源、化工等大型企业,煤炭使用量大,煤炭燃烧过程中产生的 PAHs 随着烟尘被排放到大气中,

因此六合区的 PAHs 污染以燃煤污染为主。江宁区东山街道辖区内主要为污染较轻的高新技术企业,区域内 PAHs 污染以汽车尾气排放为主。

表 2 2016 年南京市典型地区环境空气中 Flu 和 Pys 的比值

地区	参数	秋季	冬季
六合区	$\rho(\text{Flu})/\rho(\text{Pys})$	1.30	1.43
江宁区	$\rho(\text{Flu})/\rho(\text{Pys})$	1.03	1.13

2.3 大气 PAHs 暴露的健康风险评估

由于不同种类 PAHs 的毒性各不相同,总 PAHs 浓度并不足以表示总 PAHs 的毒性。毒性等效因子 TEFs (Toxic Equivalency Factors) 的发展和应用于定量评价样品中 PAHs 混合物致癌性风险提供了依据。将 B[a]P 的毒性视为 1,定义其他 PAHs 的毒性相对于 B[a]P 的系数,即毒性等效因子。利用这一因子计算其他 PAHs 相对于 B[a]P 的毒性数值,即可得到“B[a]P 毒性等效浓度”。本研究借鉴了 Nisbeth 和 Lagoy 所提出的毒性等效因子^[22],计算 2016 年南京典型地区大气中 16 种 PAHs 的 B[a]P 毒性等效浓度,结果见表 3。六合区和江宁区大气(气态和 PM_{10}) 中 16 种 PAHs 平均质量浓度(秋季和冬季平均值)分别为 914.82 和 712.27 ng/m^3 ,六合区大气 PAHs 污染水平高于江宁区,但 B[a]P 毒性等效浓度江宁区反而高于六合区,其浓度分别为 309.84 和 274.1 ng/m^3 ,其原因有待进一步分析。

IARC 将 B[a]P 分类为 I 类致癌物,采用无阈化合物健康危险度评价模型来计算其致癌风险,计算公式见式(1):

$$CR_{inh} = LADD_{inh} \times SF_i \quad (1)$$

式中: CR_{inh} ——吸入暴露途径的超额致癌风险,无量纲; $LADD_{inh}$ ——吸入途径污染物的致癌终生日均暴露量, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; SF_i ——呼吸吸入致癌斜率因子, $[\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})]^{-1}$ 。

EPA 综合风险信息系统(IRIS)提供的 B[a]P 的 IUR(呼吸吸入单位致癌因子)为 $6 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, SF_i 和 $LADD_{inh}$ 计算公式见式(2)和式(3):

$$SF_i = \frac{IUR \times BW}{IR_a} \quad (2)$$

式中: IR_a ——人体每日空气呼吸量, m^3/d ; BW ——人体体重, kg 。

$$LADD_{inh} = \frac{IR \times EF \times ED \times C}{BW \times AT} \quad (3)$$

表 3 大气中 PAHs 质量浓度和 B[a]P 毒性等效浓度

ng/m³

PAHs 种类	毒性等效因子	六合区		江宁区	
		质量浓度	毒性等效浓度	质量浓度	毒性等效浓度
萘	0.001	182.78	0.18	209.80	0.21
苊烯	0.001	7.97	0.01	7.71	0.01
苊	0.001	7.98	0.01	6.73	0.01
芴	0.001	19.97	0.02	26.56	0.03
菲	0.001	105.27	0.11	49.06	0.05
蒽	0.01	47.09	0.47	35.03	0.35
荧蒽	0.001	35.98	0.04	17.13	0.02
芘	0.001	26.37	0.03	15.39	0.02
蒎	0.01	3.13	0.03	8.48	0.08
苯并[a]蒽	0.1	11.13	1.11	1.12	0.11
苯并[b]荧蒽	0.1	61.23	6.12	12.89	1.29
苯并[k]荧蒽	0.1	42.42	4.24	9.81	0.98
苯并[a]芘	1	193.97	193.97	303.38	303.38
茚并[1,2,3-cd]芘	0.1	57.63	5.76	2.39	0.24
二苯并[a,h]蒽	1	61.50	61.50	3.02	3.02
苯并[g,h,i]芘	0.01	50.40	0.50	3.77	0.04
Σ PAHs ^①		914.82	274.1	712.27	309.84

①为 16 种 PAHs 总和。

式中:EF——暴露频率,d/a,通常为 350 d/a; ED——暴露期,a,通常为 24 a;AT——致癌效应平均时间,通常为 27 740 d;C——大气污染物质量浓度,mg/m³,六合区为 2.74 × 10⁻⁴ mg/m³,江宁区为 3.10 × 10⁻⁴ mg/m³。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019),中国成人 IR_a和 BW 平均值分别为 14.5 m³/d 和 61.8 kg,计算得到 B[a]P 的 SF_i 为 2.56 [mg/(kg·d)]⁻¹,六合区和江宁区人群通过大气吸入 PAHs 的超额致癌风险分别为 5.17 × 10⁻⁵ 和 5.85 × 10⁻⁵。参照致癌风险阈值 10⁻⁶ 的水平,六合区和江宁区人群吸入 PAHs 的致癌风险均超过了可接受水平。

3 结论

(1)南京市工业区(六合区)和生活区(江宁区)大气(气态和可吸入颗粒态)中 16 种 PAHs 的质量浓度分别为 914.82 和 712.27 ng/m³,B[a]P 毒性等效浓度分别为 274.1 和 309.84 ng/m³;大气 PAHs 污染水平具有典型的季节变化特征,冬季污染水平高于秋季。

(2)PM₁₀ 中 PAHs 组成以稠环为主,而秋季气相中低环的 PAHs 占比较大;源解析结果表明,燃煤污染是六合区 PAHs 污染主要来源,而江宁区主要表现为交通污染。

(3)健康风险评估结果表明,六合区和江宁区

人群通过大气吸入 PAHs 的超额致癌风险分别为 5.17 × 10⁻⁵ 和 5.85 × 10⁻⁵,均略高于可接受的水平 10⁻⁶。

[参考文献]

- [1] PATEL A B, SHAIKH S, JAIN K R, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources, toxicity, and remediation approaches [J]. *Front Microbiol*, 2020(11):562813.
- [2] KIM K E, CHO D, PARK H J. Air pollution and skin diseases: Adverse effects of airborne particulate matter on various skin diseases[J]. *Life Sciences*, 2016, 152:126 - 134.
- [3] KORSH J, SHEN A, ALIANO K, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons and breast cancer: A review of the literature [J]. *Breast Care*, 2015, 10(5):316 - 318.
- [4] MOORTHY B, CHU C, CARLIN D J. Polycyclic aromatic hydrocarbons: From metabolism to lung cancer [J]. *Toxicol Sciences*, 2015, 145(1):5 - 15.
- [5] SINGH A, KAMAL R, AHAMED I, et al. PAH exposure - associated lung cancer: An updated meta - analysis [J]. *Occup Med (Lond)*, 2018, 68(4):255 - 261.
- [6] KRIEK E, VAN SCHOOTEN F J, HILLEBRAND M J, et al. DNA adducts as a measure of lung cancer risk in humans exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1993, 99:71 - 75.
- [7] HE X Z, CHEN W, LIU Z Y, et al. An epidemiological study of lung cancer in Xuan Wei County, China: current progress. Case-control study on lung cancer and cooking fuel [J]. *Environmental Health Perspectives*, 1991, 94:9 - 13.
- [8] 刘利群, 万霞, 陈功博, 等. 云南省宣威市肺癌危险因素研

- 究[J]. 中国肺癌杂志, 2017, 20(8):528-537.
- [9] MENICHINI E. Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability[J]. Science of the Total Environment, 1992, 116(1-2):109-135.
- [10] 安玉琴, 郝海燕, 金红, 等. 河北省四城市 PM_{2.5} 中多环芳烃污染水平及健康风险评价[J]. 职业与健康, 2018, 34(22):3129-3133.
- [11] 金银龙, 李永红, 常君瑞, 等. 我国五城市大气多环芳烃污染水平及健康风险评价[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(9):758-761.
- [12] 李秋歌, 高士祥, 王榕慧, 等. 南京市大气气溶胶中多环芳烃的污染趋势[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2007, 43(5):556-560.
- [13] 庄弄嫣, 王清然, 胡赛男, 等. 长春市夏季大气中多环芳烃的污染水平及健康风险评价[J]. 长春师范大学学报, 2019, 38(2):179-183.
- [14] 杨萌. 大连城市大气中多环芳烃的污染特征和毒性评价[J]. 环境保护与循环经济, 2020, 40(1):68-72,84.
- [15] 郁倩, 张娟, 安可, 等. 徐州市大气 PM_{2.5} 中多环芳烃的污染特征及来源解析[J]. 环境与健康杂志, 2020, 37(1):51-53.
- [16] 江思力, 李文学, 步犁, 等. 广州市 2018 年大气 PM_{2.5} 中多环芳烃的污染特征分析和健康风险评价[J]. 中国热带医学, 2020, 20(8):710-716.
- [17] 王焱焱, 周君, 王瑞福. 唐山市大气中多环芳烃污染特征及其影响因素研究[J]. 现代预防医学, 2018, 45(16):41-45.
- [18] 李伟芳, 彭跃, 赵丽娟, 等. 东北地区城市大气颗粒物中多环芳烃的污染特征[J]. 中国环境监测, 2013, 29(1):18-22.
- [19] 曹蓉, 张海军, 耿柠波, 等. 雾霾期北京大气中多环芳烃污染特征及暴露风险评估[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(5):114-122.
- [20] 王晟升, 陆豪, C. LITTE J. 杭州冬季灰霾日大气中多环芳烃的污染特征[J]. 广州化工, 2016, 44(13):140-142.
- [21] 傅家谟, 盛国英, 玉成, 等. 粤港澳地区大气环境中有机污染物特征与污染源追踪的初步研究[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(1):17-23.
- [22] NISBET I C T, LAGOY P K. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [J]. Regulatory Toxicology & Pharmacology Rtp, 1992, 16(3):290-300.

· 征订启事 ·

欢迎订阅 2022 年《环境科技》

《环境科技》是由江苏省生态环境厅主管,江苏省徐州环境监测中心、江苏省环境科学研究院联合主办的集学术性与实用性于一体的环境科学技术类期刊,为“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)。国内统一刊号:CN 32-1786/X,国际标准刊号:ISSN 1674-4829。

本刊以直接为环境污染防治实践服务为宗旨,重点报道环境科学最新实用技术、科研成果、治理开发及国内外最新信息与动态,内容涉及水、气、声、固等污染处理技术及清洁生产、生态保护等实用技术的推广应用。常设栏目有:研究报告、污染防治、环境评价与规划、专论与综述、环境管理、环保论坛等。

本刊为双月刊,大 16 开国际标准版,80 页,每逢双月 25 日出版。国内订价(含邮费)15 元/期,全年 90 元。全国各地邮局均可订阅。

订阅方式:1. 当地邮局订阅:邮发代号:28-179

2. 银行转账汇款:账号:10107501040010729

收款单位:江苏省环境监测协会

开户行:中国农业银行股份有限公司南京茶亭东街支行

联系电话:0516-85635681,85635682 电子信箱:jshkj@126.com

《环境科技》编辑部