

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2017122503

董小艳, 王琼, 杨一兵, 等. 2017 年春节期间北京市城区和郊区大气 PM<sub>2.5</sub> 及其中多环芳烃的污染特征[J]. 环境化学, 2018, 37(10): 2191-2198.

DONG Xiaoyan, WANG Qiong, YANG Yibing, et al. Characterization of ambient PM<sub>2.5</sub> and PAHs during 2017 Spring Festival in urban and suburb areas of Beijing[J]. Environmental Chemistry, 2018, 37(10): 2191-2198.

## 2017 年春节期间北京市城区和郊区大气 PM<sub>2.5</sub> 及其中多环芳烃的污染特征\*

董小艳<sup>1</sup> 王 琼<sup>1</sup> 杨一兵<sup>1</sup> 刘 彤<sup>2</sup> 王 秦<sup>1</sup> 吴亚西<sup>1\*\*</sup> 方建龙<sup>1\*\*</sup>

(1. 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所, 北京, 100021; 2. 哈尔滨市疾病预防控制中心, 哈尔滨, 150000)

**摘 要** 为研究 2017 年春节期间北京市城区和郊区大气 PM<sub>2.5</sub> 及负载多环芳烃(PAHs) 的污染水平和污染特征, 分别在北京城区和郊区各选一个监测点, 采集大气中的 PM<sub>2.5</sub>, 采用重量法和超声提取-GC/MS 对滤膜上的 PM<sub>2.5</sub> 及多环芳烃的浓度进行测定. 结果表明, 春节期间城郊两地的大气 PM<sub>2.5</sub> 和 PAHs 均呈多峰分布, PM<sub>2.5</sub> 均值分别为 104.5 μg·m<sup>-3</sup> 和 104.6 μg·m<sup>-3</sup>, 无显著性差异; 两地 PAHs 均值差异具有统计学意义(P=0.001). 除夕日(CSFE) 烟花集中燃放时段 PM<sub>2.5</sub> 在城郊两地的日均浓度较前一日非集中燃放日均有明显升高. 春节期间 PAHs 组成以 4 环和 5 环为主, 二者之和占 PAHs 总量的 80% 以上, 特征比值法显示城区污染主要来自燃煤和交通尾气的混合源, 郊区燃煤占主导.

**关键词** 春节, 烟花爆竹, PM<sub>2.5</sub>, PAHs, 污染特征, 北京.

## Characterization of ambient PM<sub>2.5</sub> and PAHs during 2017 Spring Festival in urban and suburb areas of Beijing

DONG Xiaoyan<sup>1</sup> WANG Qiong<sup>1</sup> YANG Yibing<sup>1</sup> LIU Tong<sup>2</sup> WANG Qin<sup>1</sup>  
WU Yaxi<sup>1\*\*</sup> FANG Jianlong<sup>1\*\*</sup>

(1. National Institute of Environmental Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing, 100021, China;  
2. Harbin Center for Disease Control and Prevention, Harbin, 150000, China)

**Abstract:** To investigate the impact of playing fireworks on PM<sub>2.5</sub> and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), daily PM<sub>2.5</sub> samples were collected around 2017 Chinese Spring Festival (CSF) holidays both in urban and suburb areas of Beijing. Gravimetric method and ultrasonic-chromatography/mass spectrometry (U-GC/MS) were conducted to analyze the concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PAHs respectively. The results showed that PM<sub>2.5</sub> and PAHs presented multi-peak distribution across the whole sampling period at both sampling sites. The average daily concentrations of PM<sub>2.5</sub> were 104.5 μg·m<sup>-3</sup> and 104.6 μg·m<sup>-3</sup> in urban and suburb, respectively, which showed no significant difference. The total concentration of PAHs in suburb area was much higher than that in urban area. The daily concentrations of PM<sub>2.5</sub> and total PAHs on Chinese Spring Festival Eve (CSFE) increased significantly compared with those before CSFE in both areas. The

2017 年 12 月 25 日收稿 (Received: December 25, 2017).

\* 公益性行业科研专项 (201402022) 资助.

Supported by Special Fund for Research in the Public Interest (201402022).

\*\* 通讯联系人, E-mail: wuyaxi88@sina.com; E-mail: fj119800411@163.com

Corresponding author, E-mail: wuyaxi88@sina.com; E-mail: fj119800411@163.com

4-ring and 5-ring PAHs were the most abundant species, contributing more than 80% of the total PAHs. Diagnostic ratios indicated that coal combustion and traffic emission were the main sources of  $PM_{2.5}$  associated PAHs in urban area, and coal combustion played a more important role in suburb area.

**Keywords:** the Spring Festival, fireworks,  $PM_{2.5}$ , PAHs, characterization, Beijing.

春节(The Chinese Spring Festival, CSF)是我国最重要的传统节日,节日期间燃放烟花爆竹是其重要的民俗庆祝活动.但在燃放烟花表达喜庆和吉祥的同时,带来的负面影响越来越突出,尤其在2013年以来我国秋冬季节大范围长时间爆发的区域性雾霾事件的背景下,烟花爆竹对空气质量的影响更是引起公众的广泛关注.有研究表明<sup>[1-3]</sup>,春节期间短时间大规模的烟花集中燃放造成大气中的颗粒物和气态污染物浓度快速上升,使空气质量急剧转差,严重危害人体健康.尤其以  $PM_{2.5}$  为代表的细颗粒物,因其具有较大的比表面积,更易吸附多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)和重金属等有害组分,加之粒径小,可深入呼吸系统沉积在支气管和肺泡内,造成心脑血管和呼吸系统疾病<sup>[4-6]</sup>.

目前我国在上海<sup>[7]</sup>、天津<sup>[8]</sup>、南京<sup>[9]</sup>、成都<sup>[10]</sup>、苏州<sup>[11]</sup>、河南<sup>[12]</sup>、山东<sup>[13-14]</sup>和北京<sup>[15-18]</sup>等地区都开展了春节期间  $PM_{2.5}$  及其成分研究,成分分析包括重金属、可溶性离子、OC/EC等.但北京地区的研究主要集中在元素<sup>[16,18]</sup>和水溶性离子<sup>[17-18]</sup>上,对PAHs的研究较少,且地点多选择城区<sup>[15]</sup>,缺乏春节期间郊区大气  $PM_{2.5}$  及组分的污染状况以及不同功能区的对比研究.

为了解不同地区燃放烟花爆竹对  $PM_{2.5}$  和 PAHs 的影响,笔者于2017年春节期间,在北京市城区和郊区分别测定大气  $PM_{2.5}$  及负载 PAHs 的浓度,分析春节期间  $PM_{2.5}$  和 PAHs 的浓度水平和污染特征,为春节期间北京市城郊两地的大气污染防控工作提供基础数据.

## 1 材料与方法(Materials and methods)

### 1.1 仪器和设备

TH-150C型中流量颗粒物采样器(武汉天虹仪表有限责任公司);6890-5973N气相色谱/质谱联用仪(美国Agilent公司);恒温恒湿箱(德国Binder公司);SXZ-4-10型马弗炉(天津市科学器材设备厂);XS105DU型天平(瑞士Mettler公司);EDAA-2700T型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);BY-400C型低速离心机(北京白洋医疗器械有限公司).

### 1.2 试剂

16种多环芳烃(PAHs)混标(美国o2si公司),分别为萘(NaP)、蒽(Ace)、芘(Acy)、芴(Fl)、菲(Phe)、蒽(Ant)、荧蒽(Flu)、芘(Pyr)、苯并a蒽(BaA)、屈(Chr)、苯并b荧蒽(BbF)、苯并k荧蒽(BkF)、苯并a芘(BaP)、茚并123芘(IcdP)、二苯并ah蒽(DBA)、苯并ghi芘(BghiP);5种氘代多环芳烃内标(美国o2si公司),分别为萘-d8(NaP-d8)、芘-d10(Acy-d10)、菲-d10(Phe-d10)、屈-d12(Chr-d12)、芘-d12(Pyr-d12);90 mm石英滤膜(美国Pall公司);色谱纯正己烷(美国Fisher公司).

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 样品采集

2017年1月20日至2017年2月9日在北京城区和郊区各1个采样点同时采样,其中1月27日至2月9日为规定的烟花允许燃放时间段,城区点位在此时间段内每天限时7:00—24:00燃放,郊区点位不做限制,1月27日、28日、2月1日即除夕、初一和初五均为城区和郊区的烟花燃放密集日.市区采样点位于城区东南角,二环和三环之间,距离地面高度15 m(116°5' E, 39°9' N),周围是居民区,距交通主干道500 m;郊区采样点位于远郊平谷区,距离市中心82 km,采样点距离地面18 m(117°1' E, 40°2' N),周围是居民平房区.使用TH-150C型中流量颗粒物采样器和石英滤膜采集大气中的  $PM_{2.5}$ , 采样流量为  $100.0 L \cdot min^{-1}$ , 两个采样点均从每天早上8:00—9:00开始至次日8:00—9:00结束,每次采样24 h,共采集42张滤膜.采样前后分别记录温度、相对湿度和大气压力.

#### 1.3.2 重量法测定 $PM_{2.5}$ 浓度

石英滤膜在使用前先在马弗炉中450℃烘烤4 h,去除其中的挥发性组分,然后放置在25℃、相对

湿度 50% 的恒温恒湿箱中恒重, 24 h 后第一次称量空白滤膜净重, 将滤膜再次置于恒温恒湿箱中平衡至少 1 h, 进行第二次称量, 两次平行称量的相对标准偏差不超过 0.04 mg, 取平均值作为空白滤膜的质量。采完的样品也要在恒温恒湿箱中平衡 24 h, 称量操作同空白滤膜, 不能及时分析的滤膜密封于 -20 °C 冷冻保存。

### 1.3.3 样品前处理

取 1/4 滤膜, 剪碎, 放入 15 mL 离心管中, 加入 3.5 mL 正己烷, 超声 60 min 后, 离心取上清液进行 PAHs 的分析。

### 1.3.4 样品分析

采用 GC/MS 测定 PM<sub>2.5</sub> 中的 PAHs 浓度, 根据保留时间和特征离子定性, 内标法定量, 各组分的定量离子和仪器条件分别参见表 1 和表 2。

表 1 PAHs 各组分和内标的定量离子

Table 1 Quantitative ions of PAHs and the internal standards (IS)

序号 No.	PAHs	定量离子 Quantitative ions	内标物 IS
1	NaP-d8	136	NaP-d8
2	NaP	128	
3	Ace	152	Acy-d10
4	Acy-d10	164	
5	Acy	154	
6	Fl	166	
7	Phe-d10	188	Phe-d10
8	Phe	178	
9	Ant	178	
10	Flu	202	
11	Pyr	202	
12	BaA	228	
13	Chr-d12	240	
14	Chr	228	
15	BbF	252	
16	BkF	252	
17	BaP	252	Pyr-d12
18	Pyr-d12	264	
19	IcdP	276	
20	DBA	278	
21	BghiP	276	

表 2 GC/MS 测定 PM<sub>2.5</sub> 中 16 种 PAHs 的仪器条件

Table 2 The instrumental parameters of GC/MS for 16 PAHs on PM<sub>2.5</sub>

参数 Parameters	设置 Setting
色谱	
色谱柱	HP-5 MS(30 m×0.25 mm×0.25 μm)
载气	氦气, 1.5 mL·min <sup>-1</sup>
进样口	恒流不分流, 无填充玻璃棉衬管
进样体积	1.0 μL
进样口温度	200 °C
程序升温	初始温度 80 °C, 保持 1min, 20 °C·min <sup>-1</sup> 升到 160 °C, 保持 1min, 10 °C·min <sup>-1</sup> 升到 320 °C, 保持 10 min, 共计 32 min
质谱	
接口温度	300 °C
离子源温度	240 °C
四级杆温度	180 °C
溶剂延迟	3 min
采集模式	SIM

### 1.3.5 数据处理

为了解烟花集中燃放对 PAHs 的影响,分别对除夕(CSFE)和除夕前一天(pre-CSFE)、初五(LFD)和初五前一天(pre-LFD) PAHs 各组分和总量的浓度进行数据处理<sup>[9,12,19]</sup>,通过  $PM_{2.5}$  浓度校正消除气象因素变化的影响,并根据下式计算得到  $R_{cp}$  值:

$$R_{cp} = \frac{C_{PAH_i}^c / C_{PM_{2.5}}^c}{C_{PAH_i}^p / C_{PM_{2.5}}^p}$$

其中,  $C_{PAH_i}^c$  和  $C_{PM_{2.5}}^c$  分别代表烟花集中燃放当日 PAHs 各组分和  $PM_{2.5}$  的浓度,  $C_{PAH_i}^p$  和  $C_{PM_{2.5}}^p$  分别代表烟花集中燃放前日 PAHs 各组分和  $PM_{2.5}$  的浓度,  $R_{cp}$  为 PAHs 各组分相对浓度在燃放当日和前一日的比值,该比值越大,说明烟花燃放对 PAHs 组分的影响越大。

### 1.3.6 统计分析

采用 Excel 2010 对数据进行整理,采用 SPSS 19.0 统计软件包进行数据统计与分析,采用配对 t 检验对北京城区和郊区的  $PM_{2.5}$  和 PAHs 的浓度进行差异性检验.采用相关分析分析  $PM_{2.5}$  和 PAHs 的浓度与气象因素的相关性.以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果与讨论(Results and discussion)

### 2.1 春节期间北京城区和郊区 $PM_{2.5}$ 及 PAHs 的浓度变化

北京城区和郊区的  $PM_{2.5}$  和 PAHs 在采样期间均呈多峰分布,两地变化趋势一致,峰值分别出现在 1 月 25 日、1 月 27 日和 2 月 3 日,如图 1 所示.另外,  $PM_{2.5}$  和 PAHs 总量受气象条件影响显著,经相关性检验,二者与风速呈现负相关(相关系数均大于 0.54),与空气湿度呈现正相关(相关系数均大于 0.52),这与 HE 的研究结果一致<sup>[20]</sup>.  $PM_{2.5}$  和 PAHs 出现多峰分布的原因主要是 1 月 25 日、2 月 3 日、4 日北京地区出现了几次重污染天气,空气湿度大( $>40\%$ ),风速低( $<1.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),不利于  $PM_{2.5}$  扩散和污染物稀释,造成峰值浓度,1 月 27 日是除夕日,大量烟花集中燃放,颗粒物短时间内急剧上升<sup>[15,21]</sup>,形成了另一个峰值.农历 2 月 1 日为农历初五,虽然是另一个传统的烟花集中燃放日,但因当天风速为  $3.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,能见度较高,气象因素有利于污染物的扩散,加之初五烟花燃放在数量和持续时间上都不及除夕<sup>[9]</sup>,  $PM_{2.5}$  和 PAHs 未形成峰值。

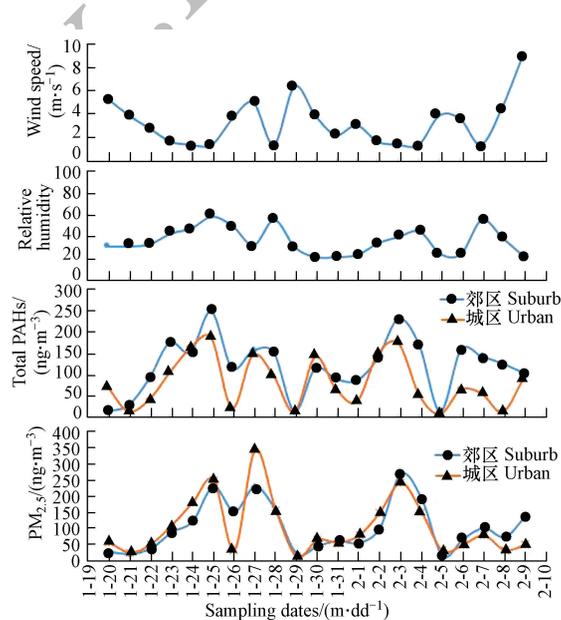


图 1 春节期间北京城区和郊区  $PM_{2.5}$  和 PAHs 总量的日均浓度变化趋势

Fig.1 Variations of daily  $PM_{2.5}$  and total PAHs in urban and suburb areas of Beijing during the Spring Festival

采样期间城区和郊区的  $PM_{2.5}$  日均值分别为  $104.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $104.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,是我国《环境空气质量

标准》(GB 3095—2012) 二级标准限值<sup>[22]</sup> 的 1.4 倍;城区和郊区 PAHs 总量日均值分别为 81.8 和 121.2 ng·m<sup>-3</sup>,其中苯并 a 芘日均值分别为 5.6 和 10.3 ng·m<sup>-3</sup>,超过我国《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) 二级标准限值<sup>[22]</sup> 的 1.24 和 3.12 倍.配对 t 检验结果显示,两地的 PM<sub>2.5</sub> 浓度无显著性差异 ( $P=0.993$ ),但 PAHs 总量差异存在统计学意义 ( $P=0.001$ ),从图 1 中可以看出,大部分时间郊区 PAHs 浓度高于城区.

除夕当天城区和郊区 PM<sub>2.5</sub> 浓度分别为 341 μg·m<sup>-3</sup> 和 229 μg·m<sup>-3</sup>,对比近几年国内同类研究,2011 年黄河三角洲<sup>[14]</sup> 为 183 μg·m<sup>-3</sup>,2015 年河南新乡<sup>[12]</sup> 为 223 μg·m<sup>-3</sup>,2009 年上海<sup>[7]</sup> 为 382 μg·m<sup>-3</sup>,2014 年天津<sup>[8]</sup> 为 450 μg·m<sup>-3</sup>,济南 2008 年<sup>[13]</sup> 为 464 μg·m<sup>-3</sup>,本研究的污染水平处于中等;城区和郊区 PAHs 浓度分别为 147 ng·m<sup>-3</sup> 和 157 ng·m<sup>-3</sup>,高于国内其他地区(天津<sup>[8]</sup> 95 ng·m<sup>-3</sup>,上海<sup>[7]</sup> 75.8 ng·m<sup>-3</sup>).

## 2.2 春节期间北京城区和郊区烟花集中燃放对 PM<sub>2.5</sub> 和其中 PAHs 的影响

为研究烟花燃放对 PM<sub>2.5</sub> 和其负载 PAHs 的影响,选取采样时间内除夕 (CSFE) 和初五 (LFD) 烟花密集燃放日为研究日,各自前一天 (pre-CSFE, pre-LFD) 为背景日. CSFE/pre-CSFE 和 LFD/pre-LFD 分别为各组分在除夕研究日对背景日以及初五研究日对背景日的绝对浓度比值,  $R_{cp}$  (CSFE) 和  $R_{cp}$  (LFD) 分别为各组分在除夕研究日对背景日以及初五研究日对背景日的相对浓度 (即经过 PM<sub>2.5</sub> 浓度校正) 比值,各组分的参数统计结果见表 3.低沸点组分 NaP、Ace、Acy 和 Fl 多以气态存在,在颗粒态中浓度较低,本部分研究不对该 4 种组分进行单独分析.

表 3 PM<sub>2.5</sub> 及其负载 PAHs 各组分在烟花日和背景日的绝对浓度和相对浓度比值

Table 3 Ratios of concentrations of PM<sub>2.5</sub> and related PAHs before and during CSFE and LFD

	CSFE/pre-CSFE		$R_{cp}$ (CSFE)		LFD/pre-LFD		$R_{cp}$ (LFD)	
	城区 Urban	郊区 Suburb	城区 Urban	郊区 Suburb	城区 Urban	郊区 Suburb	城区 Urban	郊区 Suburb
Phe	4.20	1.56	0.41	1.03	0.33	0.47	0.24	0.53
Ant	5.35	1.99	0.52	1.32	0.98	0.64	0.70	0.72
Flu	6.75	1.65	0.65	1.09	0.58	0.77	0.42	0.86
Pyr	8.07	1.60	0.78	1.06	0.65	0.85	0.47	0.95
BaA	8.56	1.27	0.83	0.84	0.68	1.15	0.49	1.29
Chr	6.90	1.24	0.67	0.82	0.47	1.02	0.34	1.14
BbF	6.14	1.16	0.59	0.77	0.48	0.97	0.35	1.08
BkF	5.96	1.17	0.58	0.77	0.54	0.97	0.39	1.08
BaP	9.86	1.28	0.95	0.85	0.73	1.12	0.52	1.25
IcdP	4.41	1.34	0.43	0.89	0.61	1.01	0.44	1.13
DBA	7.10	1.33	0.69	0.88	0.65	1.08	0.47	1.21
BghiP	6.41	1.27	0.62	0.84	0.63	1.02	0.46	1.14
PAHs 总量	6.68	1.35	0.65	0.89	0.55	0.96	0.40	1.07
PM <sub>2.5</sub>	10.33	1.51	—	—	1.39	0.89	—	—

由表 3 可以看出,除夕日城区和郊区的 PM<sub>2.5</sub> 均较前一日有所升高,城区升高了 9.33 倍,郊区升高了 0.51 倍,表明燃放烟花会使 PM<sub>2.5</sub> 升高<sup>[9]</sup>,由于城区人口密度大,除夕夜燃放活动频繁,燃放强度大于郊区,造成除夕日城区 PM<sub>2.5</sub> 显著高于郊区.初五烟花燃放在密集程度和持续时间上都低于除夕,加之当日风速较大,有利于污染物扩散,造成城区 PM<sub>2.5</sub> 较前一日涨幅下降 (0.39 倍),郊区出现了负增长 (-11%),KONG S<sup>[9]</sup> 在对 2014 年春节期间南京的研究中也得到了相同的结论.

除夕日城区 PAHs 总量和组分浓度上升明显,总量较前一天升高 5.68 倍, BaP、BaA、Pyr、DBA 等 4 环以上各组分涨幅最大,分别上涨了 8.86、7.56、7.07、6.10 倍;郊区 PAHs 总量和组分浓度上升幅度较小,涨幅较大的组分有 Ant、Flu、Pyr,分别上涨了 0.32、0.09 和 0.06 倍.初五城区和郊区的 PAHs 总量及组分与前一天相当或者低于前一天,说明 PAHs 浓度随烟花燃放的变化规律与 PM<sub>2.5</sub> 一致,燃放强度越大,时间越长,PAHs 浓度越高.同时也从表 3 中看出,PAHs 各组分的相对浓度比值  $R_{cp}$  (CSFE) 在城区和郊区的范围分别为 0.41—0.95 和 0.77—1.32,  $R_{cp}$  (LFD) 在城区和郊区范围分别为 0.24—0.70 和 0.53—1.29,在经过 PM<sub>2.5</sub> 浓度校正后,燃放烟花未显著增加 PAHs 的相对浓度,PAHs 总量的  $R_{cp}$  均小于 1 说明

燃放烟花对  $PM_{2.5}$  的影响显著高于 PAHs。结合除夕日 PAHs 总量和组分较前一日升高的结果综合分析表明,烟花燃放会导致 PAHs 浓度增加,但影响远低于  $PM_{2.5}$ ,这和张宁<sup>[23]</sup>以及 KONG<sup>[9]</sup>的研究结果相符合。

### 2.3 春节期间北京城区和郊区 $PM_{2.5}$ 上不同环数 PAHs 的占比分析

12 种 PAHs 根据结构中苯环数量的不同分为 3 环(Phe+Ant)、4 环(Flu+Pyr+BaA+Chr)、5 环(BbF+BkF+BaP)、6 环(IcdP+DBA+BghiP)。春节期间,城区和郊区不同环数 PAHs 在总 PAHs 中占比从大到小依次为 4 环>5 环>6 环>3 环,4 环 PAHs 比例最大,分别为 54.0%和 55.1%,其次是 5 环,分别为 28.4%和 32.6%,主要以气态形式存在的 3 环化合物在颗粒物中占比最小,这与南京的眼界结果一致<sup>[24]</sup>。城区和郊区组分浓度最高的前四位依次为 Chr(18.5  $ng \cdot m^{-3}$ )>BbF(13.4  $ng \cdot m^{-3}$ )>Flu(9.7  $ng \cdot m^{-3}$ )>Pyr(9.0  $ng \cdot m^{-3}$ )、Pyr(19.0  $ng \cdot m^{-3}$ )>Chr(17.6  $ng \cdot m^{-3}$ )>Flu(16.5  $ng \cdot m^{-3}$ )>BbF(14.1  $ng \cdot m^{-3}$ )。采样期间,不同环数 PAHs 在城区和郊区的分布见图 2。

本研究得到春节期间不同环数 PAHs 在城郊的分布从高到低依次为 4 环>5 环>6 环>3 环,这和 KONG<sup>[9]</sup>的研究结果一致,4 环和 5 环 PAHs 在城区和郊区的占比分别 54%和 30%,和张迪翰等<sup>[25]</sup>对北京地区 2003—2004 冬季 PAHs 的调查结果相符(4 环占比 54%,5 环占比 30%),表明 PAHs 的构成在春节期间和非春节期间没有显著变化,进一步说明烟花燃放非 PAHs 主要污染源。

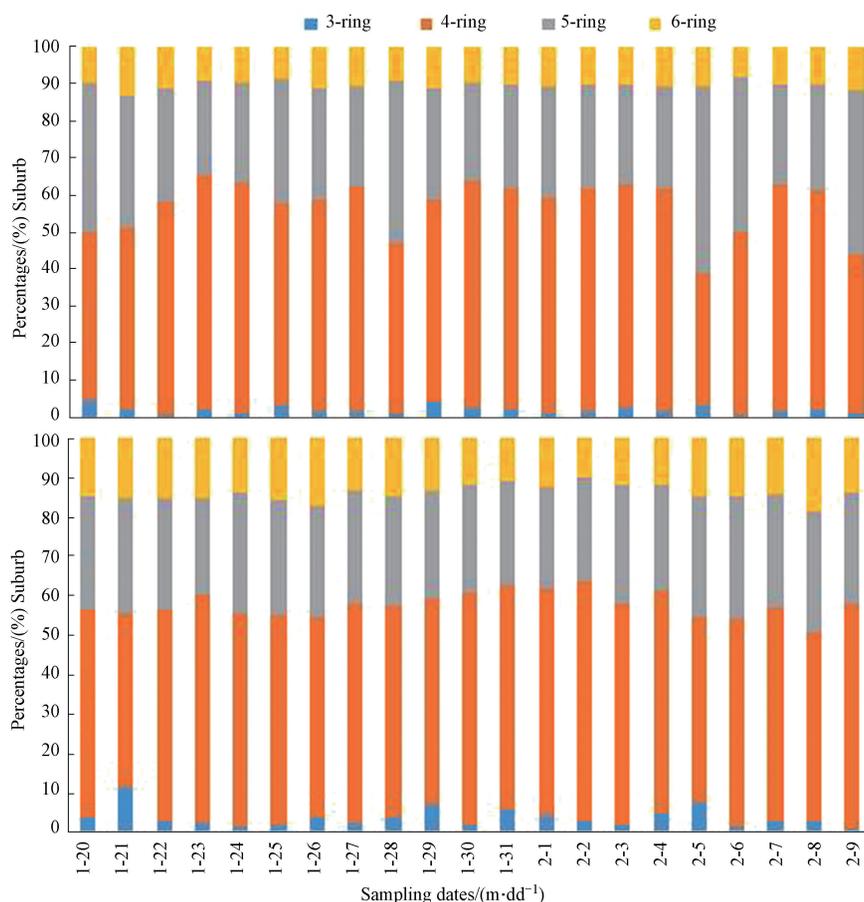


图 2 春节期间城区和郊区  $PM_{2.5}$  上不同环数多环芳烃的占比

Fig.2 The percentages for different rings of PAHs on  $PM_{2.5}$  in urban and suburb areas of Beijing during the Spring Festival

### 2.4 春节期间北京城区和郊区 PAHs 的来源识别

不同污染源产生的多环芳烃组成和含量不同,但某几种组分之间的相对含量往往是比较稳定的<sup>[24]</sup>,可以通过几种组分的特征比值对多环芳烃的来源进行初步判定,本研究选择了几种特征比值,对春节期间城区和郊区的 PAHs 污染源进行识别,参见表 5。

表 5 春节期间北京城区和郊区 PM<sub>2.5</sub> 上 PAHs 的特征比值Table 5 Diagnostic ratios of PAHs on PM<sub>2.5</sub> in urban and suburb areas of Beijing during the Spring Festival

特征比值	参考排放源	城区	郊区	参考文献
Diagnostic ratios	Sources	Urban	Suburb	References
4 环/(5 环+6 环)	比值越高越趋于外来源	1.29 (0.97—1.69)	1.40 (0.65—1.87)	[15,27]
BaP/BghiP	0.3—0.4 机动车尾气 0.4—0.7 机动车/燃煤混合 0.7—6.6 燃煤排放	1.31 (0.76—1.70)	1.83 (1.60—1.99)	[28]
BaA/Chr	0.63 机动车尾气 1.0—2.0 燃煤排放	0.45 (0.27—0.56)	0.90 (0.27—1.04)	[29]

4 环 PAHs 为半挥发有机物,多以气固两种形态存在,易进行远距离传输,5 环以上 PAHs 分子量较大,多以固态形式吸附在颗粒物上,4 环/(4 环+5 环)的比值常用来确定本地源还是外来源,本研究中 4 环/(5 环+6 环)均值城区和郊区分别为 1.29 和 1.40,和李杏茹<sup>[15]</sup>的研究结果相当,远低于 HOU<sup>[27]</sup>在沙尘暴天气下得到的 5.9,表明春节期间北京城区和郊区 PM<sub>2.5</sub> 中的 PAHs 多来自本地源。

BaP/BghiP 比值城区和郊区分别为 1.31 和 1.83,显示城郊 PAHs 污染源主要为燃煤排放,但郊区燃煤比例高于城区,由于近几年采暖政策改革,五环内城区的大多燃煤锅炉已被清洁能源取代,燃煤排放污染比重下降,但 BaP/BghiP 比值显示城区和郊区均以燃煤为主,分析原因可能是五环外地区取暖仍以燃煤为主,城区的燃煤污染主要来自这些地区污染源的短途扩散。BaA/Chr 比值城区为 0.45,说明污染源主要来自机动车尾气,郊区为 0.90,接近于 1.0,可以判断污染主要来自燃煤,这与实际情况相符:城区采样点位于二环边,交通流量大,郊区采样点位于北京六环之外的平谷区,居民多采用燃煤自采暖。综合二种特征比值初步判断,郊区污染主要以燃煤为主,城区主要为机动车尾气和燃煤的混合源。

### 3 结论 (Conclusion)

本研究同时采集了 2017 年春节期间北京城区和郊区大气中的 PM<sub>2.5</sub>,并对其负载的 16 种多环芳烃进行了分析,得出如下结论:

(1) 烟花集中燃放会使大气 PM<sub>2.5</sub> 和 PAHs 的浓度升高,其对 PM<sub>2.5</sub> 的影响更明显。

(2) 春节期间,北京市城区和郊区的大气 PM<sub>2.5</sub> 水平无显著性差别,由于不同污染源贡献比例不同,郊区 PAHs 总量显著高于城区。

(3) 两地 PAHs 分布均以 4 环和 5 环的高沸点组分为主,浓度最高的前 4 种组分依次为 Chr、BbF、Flu 和 Pyr。

(4) 特征比值法显示,春节期间,PAHs 污染主要来自燃煤和交通混合的局地污染源,但郊区燃煤对 PAHs 的贡献高于城区。

#### 参考文献 (References)

- [1] WANG Y, ZHUANG G, XU C, et al. The air pollution caused by the burning of fireworks during the lantern festival in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(2):417-431.
- [2] 杨志文, 吴琳, 元洁, 等. 2015 年春节期间天津烟花爆竹燃放对空气质量的影响 [J]. 中国环境科学, 2017, 37(1):69-75.  
YANG Z W, WU L, YUAN J, et al. Effect of fireworks on the air quality during the Spring Festival of 2015 in Tianjin City [J]. China Environmental Science, 2017, 37(1):69-75 (in Chinese).
- [3] 潘本锋, 李莉娜. 春节期间燃放烟花爆竹对我国城市空气质量影响分析 [J]. 环境工程, 2016, 34(1):74-77.  
PAN B F, LI L N. The Influence of burning fireworks on the air quality in major cities during the Spring Festival in China [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(1):74-77 (in Chinese).
- [4] 孙兆彬, 安兴琴, 崔蕊蕊, 等. 北京地区颗粒物健康效应研究——沙尘天气、非沙尘天气下颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>) 对心血管疾病入院人次的影响 [J]. 中国环境科学, 2016, 36(8):2536-2544.  
SUN Z B, AN X Q, CUI M M, et al. The effect of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> on cardiovascular and cerebrovascular diseases admission visitors in Beijing areas during dust weather, non-dust weather and haze pollution [J]. China Environmental Science, 2016, 36(8):2536-2544 (in Chinese).
- [5] 青卉, 王向东, 张罗. PM<sub>2.5</sub> 与呼吸系统疾病的关系 [J]. 国际耳鼻咽喉头颈外科杂志, 2016, 40(5):311-314.  
QING H, WANG X D, ZHANG L. Correlation of PM<sub>2.5</sub> and pulmonary diseases [J]. International Journal of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, 2016, 40(5):311-314 (in Chinese).

- [6] 张昭勇, 欧莉莉, 罗嘉莹. 空气中多环芳烃在人体中的代谢反应及其对吸入性过敏性疾病的影响机制[J]. 环境卫生学杂志, 2017(1):69-74.  
ZHANG S Y, OU L L, LUO J Y. Metabolic response in human body to air polycyclic aromatic hydrocarbons and their effects on inhalant allergic diseases[J]. Journal of Environmental Hygiene, 2017(1):69-74(in Chinese).
- [7] FENG J, SUN P, HU X, et al. The chemical composition and sources of PM<sub>2.5</sub>, during the 2009 Chinese New Year's holiday in Shanghai [J]. Atmospheric Research, 2012, 118(Complete):435-444.
- [8] SHI G L, LIU G R, TIAN Y Z, et al. Chemical characteristic and toxicity assessment of particle associated PAHs for the short-term anthropogenic activity event: During the Chinese New Year's Festival in 2013[J]. Science of the Total Environment, 2014, 482-483(1): 8-14.
- [9] KONG S, LI X, LI L, et al. Variation of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM<sub>2.5</sub> during winter haze period around 2014 Chinese Spring Festival at Nanjing: Insights of source changes, air mass direction and firework particle injection [J]. Science of the Total Environment, 2015, 520:59-72.
- [10] 贾凤菊, 刘静, 冯程, 等. 成都市春节期间 PM<sub>2.5</sub> 中水溶性离子的污染特征分析[J]. 四川环境, 2016, 35(6):17-21.  
JIA F J, LIU J, FENG C, et al. Characteristics of water-soluble ions in PM<sub>2.5</sub> during Spring Festival in Chengdu [J]. Sichuan Environment, 2016, 35(6):17-21(in Chinese).
- [11] 邹强, 姚玉刚. 春节烟花爆竹燃放期间苏州市区 PM<sub>2.5</sub> 组分特征分析[J]. 中国环境监测, 2014, 30(4):100-106.  
ZOU Q, YAO Y G. The Analysis of characteristics of PM<sub>2.5</sub> components during set-off fireworks period of Spring Festival in Suzhou City [J]. Environmental Monitoring in China, 2014, 30(4):100-106(in Chinese).
- [12] FENG J, YU H, SU X, et al. Chemical composition and source apportionment of PM<sub>2.5</sub>, during Chinese Spring Festival at Xinxiang, a heavily polluted city in North China: Fireworks and health risks[J]. Atmospheric Research, 2016, 182:176-188.
- [13] YANG L, GAO X, WANG X, et al. Impacts of firecracker burning on aerosol chemical characteristics and human health risk levels during the Chinese New Year Celebration in Jinan, China [J]. Science of the Total Environment, 2014, 476-477:57-64.
- [14] LI W, SHI Z, CHAO Y, et al. Individual metal-bearing particles in a regional haze caused by firecracker and firework emissions [J]. Science of the Total Environment, 2013, 443(3):464-469.
- [15] 李杏茹, 郭雪清, 刘欣然, 等. 2007 年春节期间北京大气颗粒物中多环芳烃的污染特征[J]. 环境科学, 2008, 29(8):2099-2104.  
LI X R, GUO X Q, LIU X R, et al. Pollution characteristic of PAHs in atmospheric particles during the Spring Festival of 2007 in Beijing [J]. Environmental Monitoring in China, 2008, 29(8):2099-2104(in Chinese).
- [16] JING H, LI Y F, ZHAO J, et al. Wide-range particle characterization and elemental concentration in Beijing aerosol during the 2013 Spring Festival[J]. Environmental Pollution, 2014, 192:204-211.
- [17] 刘慧萍, 张凯, 柴发合, 等. 烟花爆竹燃放对北京大气污染物和水溶性无机离子的影响[J]. 环境科学研究, 2017, 30(6): 844-853.  
LIU H P, ZHANG K, CHAI F H, et al. The Effect of fireworks on gaseous pollutants and water-soluble inorganic ions in the atmosphere [J]. Research of Environmental Sciences, 2017, 30(6):844-853(in Chinese).
- [18] 李悦, 程水源, 黄青, 等. 烟花爆竹燃放期间大气颗粒物的化学成分特征[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2013, 23(3): 328-332.  
LI Y, CHENG S Y, HUANG Q, et al. Chemical composition of the atmospheric particles caused by the burning of fireworks during the Spring Festival[J]. Journal of Jinan University(Natural Science), 2013, 23(3):328-332(in Chinese).
- [19] WU Y, YANG L, ZHENG X, et al. Characterization and source apportionment of particulate PAHs in the roadside environment in Beijing [J]. Science of the Total Environment, 2014, 470-471(2):76-83.
- [20] HE J, FAN S, MENG Q, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) associated with fine particulate matters in Nanjing, China: Distributions, Sources and Meteorological Influences [J]. Atmospheric Environment, 2014, 89(2):207-215.
- [21] ZHAO S, YE Y, YIN D, et al. Ambient particulate pollution during Chinese Spring Festival in urban Lanzhou, Northwestern China[J]. Atmospheric Pollution Research, 2014, 5(2):335-343.
- [22] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. GB3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.  
Chinese EPA. GB3095-2012 Ambient air quality standards[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2012(in Chinese).
- [23] 张宁, 张翔, 袁悦, 等. 燃放烟花爆竹对大气颗粒物水溶性离子和多环芳烃污染特征研究[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(6): 105-109.  
ZHANG N, ZHANG X, YUAN Y, et al. Research on pollution characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons and the water-soluble inorganic ions in atmospheric aerosols during the firecrackers periods [J]. Journal of Safety and Environment, 2010, 10(6):105-109(in Chinese).
- [24] MENG Q, FAN S, HE J, et al. Particle size distribution and characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons during a heavy haze episode in Nanjing, China [J]. Particology. 2015, 18(1):127-134.
- [25] 张迪瀚, 马永亮, 贺克斌, 等. 北京市大气颗粒物中多环芳烃(PAHs)污染特征[J]. 环境科学, 2006, 27(7):1269-1275.  
ZHANG D H, MA Y L, HE K B, et al. Characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) on airborne particulates in Beijing [J]. Environmental Science, 2006, 27(7):1269-1275(in Chinese).
- [26] 赵雪艳, 任丽红, 姬亚芹, 等. 重庆主城区春季大气 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 中多环芳烃来源解析[J]. 环境科学研究, 2014, 27(12): 1395-1402.  
ZHAO X Y, REN L H, JI Y Q, et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in spring in Chongqing [J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(12):1395-1402(in Chinese).
- [27] HOU X, ZHUANG G, SUN Y, et al. Characteristics and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and fatty acids in PM<sub>2.5</sub> aerosols in dust season in China [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(18):3251-3262.
- [28] 王英锋, 张姗姗, 李杏茹, 等. 北京大气颗粒物中多环芳烃浓度季节变化及来源分析[J]. 环境化学, 2010, 29(3):369-375.  
WANG Y F, ZHANG S S, LI X R, et al. Seasonal variation and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in airborne particulate of Beijing [J]. Environmental Chemistry, 2010, 29(3):369-375(in Chinese).
- [29] 张树才, 张巍, 王开颜, 等. 北京东南郊大气 TSP 中多环芳烃的源解析[J]. 环境科学学报, 2007, 27(3):452-458.  
ZHANG S C, ZHANG W, WANG K Y, et al. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in TSP in the southeastern suburb of Beijing China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(3):452-458(in Chinese).