

2016年宁夏回族自治区PM<sub>2.5</sub>浓度时空分布特征孙荣国<sup>1,2</sup>, 范丽<sup>3</sup>, 冯新斌<sup>2</sup>, 臧庆大<sup>1</sup>, 杨国蒙<sup>1</sup>, 陈卓<sup>1,\*</sup>

(1. 贵州师范大学 化学与材料科学学院, 贵阳 550025;

2. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081;

3. 贵州师范大学 图书馆, 贵阳 550025)

**摘要:** 对2016年宁夏回族自治区大气中PM<sub>2.5</sub>浓度的时空分布特征及其与其它空气质量指标和气象参数之间的相关性进行探讨。结果表明,宁夏回族自治区2016年PM<sub>2.5</sub>日平均浓度为2.0~217.5 μg/m<sup>3</sup>;11月、12月、1月、2月PM<sub>2.5</sub>月浓度均值(45.97~87.22 μg/m<sup>3</sup>)相对较高,6~9月的(19.01~38.03 μg/m<sup>3</sup>)相对较低;春、夏、秋、冬PM<sub>2.5</sub>浓度分别为2.00~211.00 μg/m<sup>3</sup>、6.67~106.67 μg/m<sup>3</sup>、10.67~166.00 μg/m<sup>3</sup>和10.50~217.50 μg/m<sup>3</sup>;0:00~23:00,各城市PM<sub>2.5</sub>小时浓度基本上表现出先下降、后上升、再下降、再上升的变化规律,通常上午9:00~10:00浓度值较高,下午15:00~16:00浓度值较低。银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市2016年PM<sub>2.5</sub>日平均浓度≤75 μg/m<sup>3</sup>的天数分别为304 d、307 d、313 d、323 d和340 d,年达标率分别为83%、84%、86%、88%和93%。宁夏北部的石嘴山市、银川市的PM<sub>2.5</sub>月浓度均值超过了南部的中卫市和固原市,表现出“北高南低”的趋势,其中固原市每月PM<sub>2.5</sub>浓度均值均低于其他城市,表现出显著差异。PM<sub>2.5</sub>浓度与CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>浓度、风速、气压、日照和相对湿度均呈显著或极显著正相关关系,与地表温度、气温和降水量呈极显著或显著负相关关系。可见,宁夏回族自治区大气PM<sub>2.5</sub>浓度具有明显的时空变化特征,其浓度受气象因子的影响。

**关键词:** 宁夏; PM<sub>2.5</sub>; 时间分布; 空间分布

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2018)04-0348-07 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2018.46.109

大气中的细颗粒物PM<sub>2.5</sub>(空气动力学粒径≤2.5 μm的颗粒物)会降低大气能见度,影响空气质量;由于其粒径小、比表面积大,表面能够富集大量的有机污染物、重金属、细菌、病毒等有毒害的物质,可通过呼吸作用进入人体<sup>[1]</sup>,对人体健康造成严重威胁<sup>[2-3]</sup>。目前,我国部分地区大气环境面临较为严重的PM<sub>2.5</sub>污染,已引起相关部门和公众的高度关注<sup>[4-5]</sup>。因此,较多学者对我国大气环境PM<sub>2.5</sub>污染时空特征、化学组成、来源等开展了一系列的研究工作<sup>[6-17]</sup>。

宁夏地处我国西北地区东部,地形复杂,年均降水量为277.4 mm,其中夏季的平均降水量为158 mm,占全年降水量的56.9%;而冬季的降水量为5.5 mm,仅占全年降水量的2%<sup>[18-19]</sup>;同时,在全球气候变化背景下,宁夏地区的气温明显上升<sup>[20]</sup>。在

干旱、少雨、增温的条件下,土层更容易干燥、疏松,植被难以生长,加上近年过度放牧,草场退化,土壤沙化现象十分严重<sup>[21]</sup>,荒漠化土地面积占宁夏土地总面积的43.7%,生态环境十分脆弱<sup>[22-24]</sup>。受西伯利亚-蒙古国冷高压控制,宁夏地区多大风,是我国强沙尘暴的高频区<sup>[25]</sup>。研究发现,宁夏地区沙尘暴样品中粒径为2.1 μm以下的占TSP的比例为31%,2.1~3.3 μm的占9%<sup>[21]</sup>。可见,PM<sub>2.5</sub>是沙尘天气条件下的重要污染物,环境条件对宁夏地区大气中PM<sub>2.5</sub>污染有着重要影响。但是,目前关于宁夏地区大气环境中PM<sub>2.5</sub>浓度的时空特征少见报道,有待进一步探究。本文通过对2016年宁夏回族自治区5个城市19个自动空气质量监测子站的PM<sub>2.5</sub>浓度数据进行分析,以期获得具有代表性的宁夏回族自治区PM<sub>2.5</sub>浓度的时空分布特征,结果可为西北地区进行大气污染防治提供依据。

收稿日期: 2017-07-14; 改回日期: 2017-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(21767007); 贵州省科技厅社会发展攻关项目(黔科合SY字[2015]3014); 中国博士后科学基金项目(2017M613005); 贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY[2016]135); 贵州师范大学博士科研启动基金项目。

第一作者简介: 孙荣国(1984-),男,博士,副教授,主要从事环境污染化学方面研究。E-mail: sunrongguo88@163.com。

\* 通讯作者: 陈卓(1971-),女,教授,研究方向为大气环境污染与控制。E-mail: chenzhuo19@163.com。

## 1 资料来源与方法

### 1.1 研究区概况

宁夏具有典型的干旱少雨、沙漠化面积广、风大、沙尘暴严重的气候特征,能够在一定程度上代表我国西北地区的环境特点,因此,探究宁夏地区大气中的PM<sub>2.5</sub>时空分布特征可为相关部门进行环境管理提供决策基础,同时,对理解我国西北地区空气中PM<sub>2.5</sub>的污染特征具有一定的借鉴意义。以全国城市空气质量实时发布平台(<http://106.37.208.233:20035/>)对社会发布的19个站点作为研究区域(图1)。

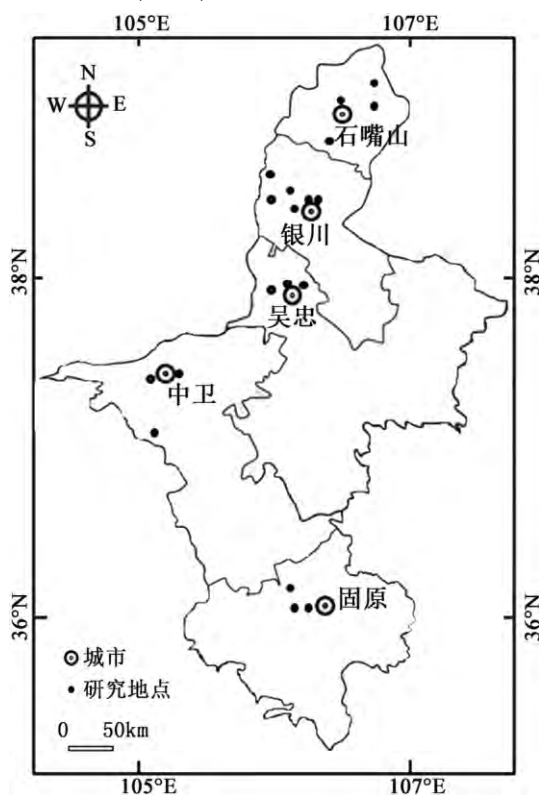


图1 宁夏回族自治区空气质量监测站点位置

Fig.1 The distribution of 19 automatic air monitoring stations in Ningxia

### 1.2 数据来源

数据来源于全国城市空气质量实时发布平台发布的宁夏回族自治区2016年1月1日~2016年12月31日PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>逐小时观测数据。以每个城市所有站点的24h浓度求得相应城市的日均值、以每个城市所有站点的日均值求得相应城市的月均值、以每个城市所有站点的月均值求得相应城市的季度均值,其中3~5月为春季、6~8月为夏季、9~11月为秋季,其余时间为冬季。

气象数据来源于中国气象局气象数据中心。

## 2 结果与分析

### 2.1 各地区全年PM<sub>2.5</sub>浓度水平

宁夏回族自治区每个城市2016年PM<sub>2.5</sub>日平均浓度全年变化趋势(图2)均出现较大的波动,整体上呈现先下降后上升的变化规律和趋势。各城市2016年PM<sub>2.5</sub>日平均浓度最小值为2.0~13.3 μg/m<sup>3</sup>,最大值为164.0~217.5 μg/m<sup>3</sup>,平均值为35.8~49.3 μg/m<sup>3</sup>。通过方差分析(One-way ANOVA)发现,银川市、石嘴山市和吴忠市之间的PM<sub>2.5</sub>日平均浓度全年变化趋势无显著差异,其余城市间均表现出显著差异(表1)。

不同城市PM<sub>2.5</sub>浓度日平均值在不同浓度范围内的持续时间存在一定差异(表2),大部分时间维持在15~75 μg/m<sup>3</sup>浓度范围内。其中,银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市2016年PM<sub>2.5</sub>日平均浓度在15~35 μg/m<sup>3</sup>浓度范围内的持续天数分别占全年总天数的37%、44%、40%、41%和54%,在35~75 μg/m<sup>3</sup>范围内的持续天数分别占全年总天数的44%、38%、46%、41%和33%。根据环境空气质量标准(GB3905-2012),银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市2016年PM<sub>2.5</sub>日平均浓度达标(≤75 μg/m<sup>3</sup>)的天数分别为304 d、307 d、313 d、323 d和340 d,年达标率分别为83%、84%、86%、88%和93%。

表1 不同城市间方差分析Sig值

Table 1 The Sig values of covariance analyses on data from different cities

	银川	石嘴山	吴忠	中卫
石嘴山	0.059			
吴忠	0.772	0.804		
中卫	0.006*	0.027*	0.014*	
固原	0.00*	0.00*	0.00*	0.00*

注: \* 在0.05水平上显著差异。

表2 各城市PM<sub>2.5</sub>日平均浓度在不同范围内的持续天数

Table 2 The days had different average daily concentrations of PM<sub>2.5</sub> in different cities

浓度范围 (μg/m <sup>3</sup> )	天数/d				
	银川	石嘴山	吴忠	中卫	固原
≤15	8	10	1	24	34
>15且≤35	136	159	144	149	196
>35且≤75	160	138	168	150	120
>75	61	58	52	42	15

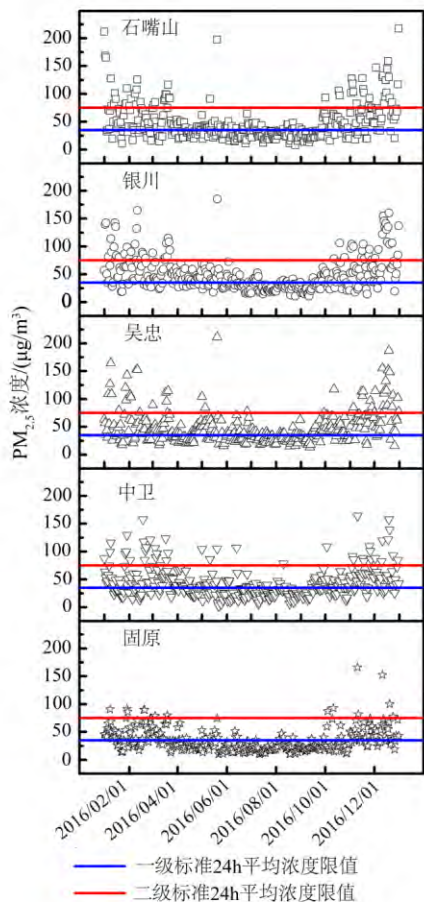


图2 各城市 PM<sub>2.5</sub>浓度全年变化趋势

Fig.2 The variations of PM<sub>2.5</sub> concentrations in different cities

### 2.2 不同城市季节变化特征

不同城市 PM<sub>2.5</sub>浓度季节变化特征如图3所示。各城市 PM<sub>2.5</sub>季节浓度均值均表现出冬季(48.48~73.40 µg/m<sup>3</sup>) > 秋季(34.97~50.19 µg/m<sup>3</sup>) > 春季(33.53~49.32 µg/m<sup>3</sup>) > 夏季(22.21~32.84 µg/m<sup>3</sup>)的规律,其中春、冬季银川市 PM<sub>2.5</sub>季节浓度均值最高,夏、秋季吴忠市 PM<sub>2.5</sub>季节浓度均值最高,固原市各季节的 PM<sub>2.5</sub>浓度值均低于其他城市。

通过方差分析(One-way ANOVA)发现,每个城市 PM<sub>2.5</sub>浓度的春季均值和秋季均值没有差异(Sig > 0.194),其余季节间均表现出显著差异(Sig < 0.003)。固原市每个季节的 PM<sub>2.5</sub>浓度均值和其它城市间表现出了显著差异,而其它城市 PM<sub>2.5</sub>浓度均值之间在每个季节里均未表现出显著差异。可见,就地点而言,PM<sub>2.5</sub>浓度季节均值具有一定差异;就季节而言,除固原市以外,每个城市间均未表现出显著差异。

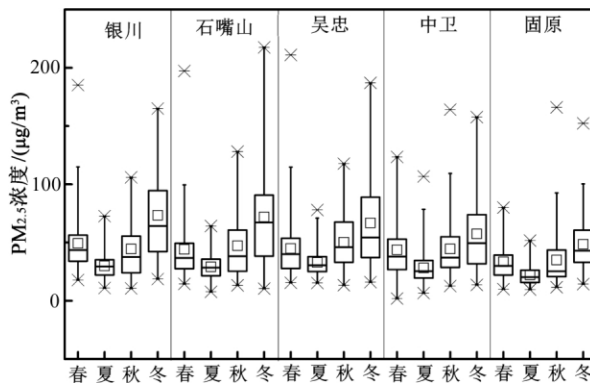


图3 各地区 PM<sub>2.5</sub>浓度季节变化特征

Fig.3 The seasonal variation characteristics of PM<sub>2.5</sub> in different cities

### 2.3 不同城市月变化特征

除银川市、石嘴山市和吴忠市 PM<sub>2.5</sub>月浓度均值在12月超过75 µg/m<sup>3</sup>(分别为85.86 µg/m<sup>3</sup>、87.21 µg/m<sup>3</sup>和82.89 µg/m<sup>3</sup>)外,其余各月均未超过二级标准24h浓度限值(GB3905-2012),其中6~9月各城市 PM<sub>2.5</sub>月浓度均值基本上小于一级标准24h浓度限值(GB3905-2012)(图4)。整体而言,11月、12月、1月和2月各城市 PM<sub>2.5</sub>月浓度均值(45.97~87.22 µg/m<sup>3</sup>)相对较高,6~9月 PM<sub>2.5</sub>月浓度均值(19.01~38.03 µg/m<sup>3</sup>)相对较低,呈现冬季月份浓度高、夏季月份浓度低的趋势;宁夏北部的石嘴山市、银川市的 PM<sub>2.5</sub>月浓度均值超过了南部的中卫市和固原市,表现出“北高南低”的趋势,其中固原市每月 PM<sub>2.5</sub>浓度均值均低于其他城市,表现出显著差异(Sig = 0.000)。

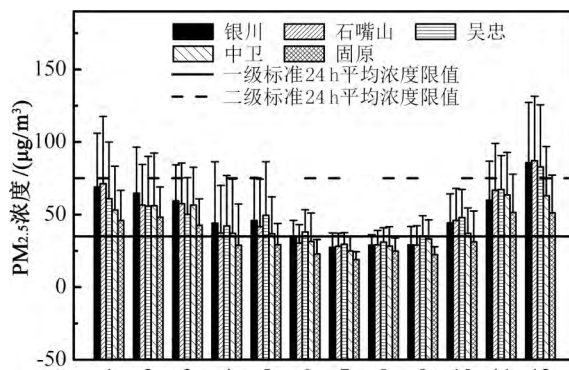
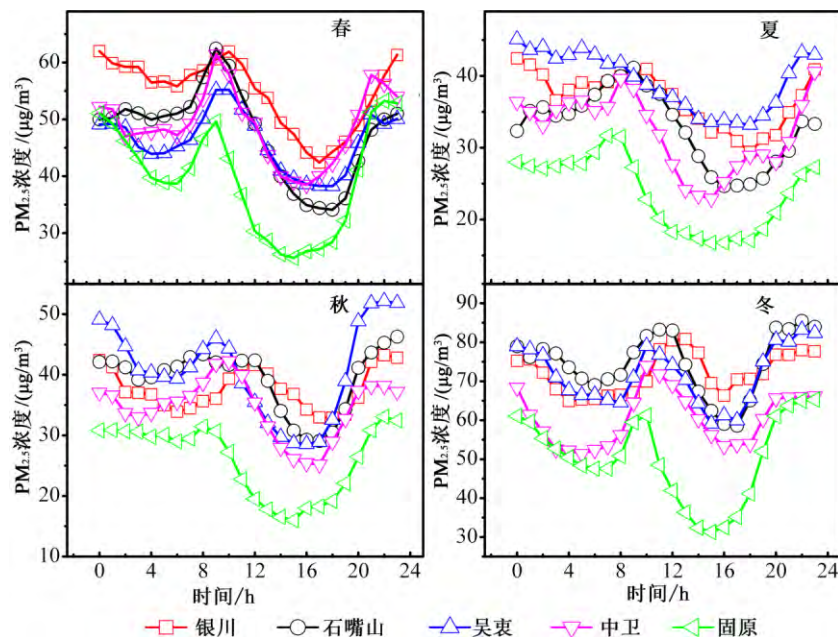


图4 各地区 PM<sub>2.5</sub>浓度月变化特征

Fig.4 The monthly variation characteristics of PM<sub>2.5</sub> in different cities

### 2.4 不同城市日变化特征

在春、夏、秋、冬季,各城市 PM<sub>2.5</sub>浓度小时最大

图5 各地区PM<sub>2.5</sub>浓度日变化特征Fig.5 The daily variation characteristics of PM<sub>2.5</sub> in different cities

值分别为 53.25~62.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、31.66~45.11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、33.08~52.15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、65.26~85.48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；最小值分别为 25.61~42.41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、16.76~33.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、15.98~33.93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、31.29~64.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；其中固原市的PM<sub>2.5</sub>浓度小时值均低于其他城市(图5)。整体上,各城市春、夏、秋3季PM<sub>2.5</sub>基本上都表现出0:00~5:00下降、5:00~9:00上升、9:00~16:00下降、然后又上升的趋势;在冬季,表现出0:00~6:00下降、6:00~12:00上升、12:00~16:00下降、然后又上升的趋势。可见,各城市PM<sub>2.5</sub>浓度具有明显的小时变化特征。

### 2.5 PM<sub>2.5</sub>与其它空气质量指标之间的相关性

对每一城市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>和CO浓度进行Spearman相关分析,发现PM<sub>2.5</sub>浓度与CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和PM<sub>10</sub>浓度均呈显著正相关关系(表3)。除银川市外,其余城市PM<sub>2.5</sub>浓度均与O<sub>3</sub>呈显著负相关关系。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>是PM<sub>2.5</sub>的重要化学成分,主要由SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>通过光化学反应生成,其中O<sub>3</sub>可促进SO<sub>2</sub>向SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的转化,验证了前体污染物的二次转化对大气中PM<sub>2.5</sub>浓度的重要影响<sup>[15]</sup>。此外,PM<sub>2.5</sub>与CO、CO与SO<sub>2</sub>和NO<sub>2</sub>均呈显著正相关关系,表明燃烧排放对大气中PM<sub>2.5</sub>的浓度有重要贡献。所以,PM<sub>2.5</sub>浓度与其它空气质量指标之间存在一定的关联性。

### 2.6 PM<sub>2.5</sub>浓度与气象参数之间的相关性

相关性分析发现,宁夏地区大气中PM<sub>2.5</sub>浓度

与地表温度、气温和降水量呈极显著或显著负相关关系,与风速、气压、日照和相对湿度呈极显著正相关关系(表4)。这主要是由于随地表温度和气温的上升,气体分子的热运动速度加快,污染物由近地表向高空扩散的速率提高,使得PM<sub>2.5</sub>浓度下降。降水过程中,雨雪会捕捉空气中的颗粒物,降低空气中PM<sub>2.5</sub>的浓度。通常,在风速提升的时候,气团运动速度增加,污染物扩散的速率相应提升,但宁夏地区土壤沙化严重、荒漠化面积广,风沙会引起PM<sub>2.5</sub>浓度上升<sup>[14,21]</sup>;当大气压增加时,污染物由近地表向高空扩散的速率降低,提高近地表污染物的浓度;当光照强度增加时,可促硫氧化物、氮氧化物发生光化学反应,进而提升前体污染物对PM<sub>2.5</sub>的二次转化效应<sup>[15]</sup>;大气的湿度增加时,水蒸气冷凝形成二次凝胶粒子,粒子中含有硫酸盐、硝酸盐等组分,易相互碰撞进一步凝结,进而促进PM<sub>2.5</sub>的形成速率。所以,PM<sub>2.5</sub>浓度与风速、日照、气压和相对湿度呈正相关关系。可见,气象因子对大气中PM<sub>2.5</sub>浓度有一定影响。

## 3 结论

1) 0:00~23:00,各城市PM<sub>2.5</sub>小时浓度基本上表现出先下降、后上升、再下降、再上升的变化规律,通常上午9:00~10:00浓度值较高,下午15:00~16:00浓度值较低;PM<sub>2.5</sub>日平均浓度 $\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的天数为317 d,年达标率为87%;各城市PM<sub>2.5</sub>月

表3 2016年宁夏回族自治区空气污染指标间的相关系数  
Table 3 Correlations of different air quality indexes in Ningxia

地点	污染物	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
银川	PM <sub>2.5</sub>	1					
	CO	0.802	1				
	NO <sub>2</sub>	0.804	0.848	1			
	O <sub>3</sub>	0.343	0.317	0.375	1		
	PM <sub>10</sub>	0.858	0.642	0.663	0.388	1	
	SO <sub>2</sub>	0.705	0.748	0.752	0.149	0.543	1
石嘴山	PM <sub>2.5</sub>	1					
	CO	0.730	1				
	NO <sub>2</sub>	0.653	0.753	1			
	O <sub>3</sub>	-0.261	-0.351	-0.159	1		
	PM <sub>10</sub>	0.694	0.390	0.343	-0.209	1	
	SO <sub>2</sub>	0.613	0.616	0.506	-0.400	0.379	1
吴忠	PM <sub>2.5</sub>	1					
	CO	0.466	1				
	NO <sub>2</sub>	0.530	0.539	1			
	O <sub>3</sub>	-0.309	-0.213	-0.243	1		
	PM <sub>10</sub>	0.657	-0.213	0.271	-0.284	1	
	SO <sub>2</sub>	0.452	0.340	0.585	-0.442	0.351	1
中卫	PM <sub>2.5</sub>	1					
	CO	0.459	1				
	NO <sub>2</sub>	0.499	0.716	1			
	O <sub>3</sub>	-0.358	-0.244	-0.320	1		
	PM <sub>10</sub>	0.617	0.025	0.042	-0.272	1	
	SO <sub>2</sub>	0.444	0.468	0.600	-0.410	0.078	1
固原	PM <sub>2.5</sub>	1					
	CO	0.437	1				
	NO <sub>2</sub>	0.244	0.450	1			
	O <sub>3</sub>	-0.361	-0.363	0.032	1		
	PM <sub>10</sub>	0.643	0.210	0.089	-0.318	1	
	SO <sub>2</sub>	0.422	0.588	0.512	-0.439	0.230	1

注: 置信水平均为  $\alpha = 0.01$  (2-tailed)

表4 PM<sub>2.5</sub>浓度与气象参数之间的相关性统计分析结果

Table 4 The correlation analyses between the PM<sub>2.5</sub> concentration and meteorological parameters

气象参数	分析结果		
	Pearson Correlation	Sig. (2-tailed)	Std. Error
地表温度	-0.511 **	0.00	0.041
气温	-0.470 **	0.000	0.041
降水量	-0.123 *	0.019	0.033
风速	0.265 **	0.000	0.046
气压	0.163 **	0.002	0.047
日照	0.376 **	0.000	0.048
相对湿度	0.169 **	0.001	0.045

注: \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著。

浓度均值表现出“北高南低”的趋势,其中固原市

PM<sub>2.5</sub>月浓度均值均低于其他城市;就地点而言,PM<sub>2.5</sub>浓度季节均值具有一定差异;就季节而言,除固原市外,每个城市间均表现出明显差异。可见,宁夏回族自治区2016年大气中PM<sub>2.5</sub>浓度时空差异显著。

2) PM<sub>2.5</sub>浓度与CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>浓度、风速、气压、日照和相对湿度均呈显著或极显著正相关关系,与地表温度、气温和降水量呈极显著或显著负相关关系,表明大气中PM<sub>2.5</sub>浓度与其它空气质量指标(PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>和CO)有一定关联性,气象因子会影响PM<sub>2.5</sub>浓度。

3) 研究结果对理解我国西北地区PM<sub>2.5</sub>的污染特征提供了参考依据,对宁夏地区进行大气环境管理提供了决策基础。

## 参 考 文 献

- [1] Xing Y F, Xu Y H, Shi M H, *et al.* The impact of PM<sub>2.5</sub> on the human respiratory system[J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2016, 8(1): 69-74.
- [2] Aunan K, Skeie R B. Health benefits from reducing PM<sub>2.5</sub> pollution in Hebei, China[R]. CICERO Report, 2016.
- [3] 王旭英, 李国星, 金晓滨, 等. 2012~2013年北京市大气PM<sub>2.5</sub>浓度与某三级甲等医院急诊人次相关性研究[J]. *中华预防医学杂志*, 2016, 50(1): 73-78.
- [4] Ma Z, Hu X, Sayer AM, *et al.* Satellite-based spatiotemporal trends in PM<sub>2.5</sub> concentrations: China, 2004~2013[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2016, 124(2): 184-192.
- [5] You W, Zang Z, Zhang L, *et al.* National-scale estimates of ground-level PM<sub>2.5</sub> concentration in China using geographically weighted regression based on 3 km resolution MODIS AOD[J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(3): 184-196.
- [6] Tan J, Zhang L, Zhou X, *et al.* Chemical characteristics and source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Lanzhou, China[J]. *The Science of the Total Environment*, 2017, 601-602(6): 1743-1752.
- [7] Xu L, Batterman S, Chen F, *et al.* Spatiotemporal characteristics of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at urban and corresponding background sites in 23 cities in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 599-600(5): 2074-2084.
- [8] Lu H, Wang S, Li Y, *et al.* Seasonal variations and source apportionment of atmospheric PM<sub>2.5</sub>-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in a mixed multi-function area of Hangzhou, China[J]. *Environmental Science & Pollution Research*, 2017, 24(19): 16195-16205.
- [9] Cheng F, Zha Y, Zhang J, *et al.* A study on distance transport of PM<sub>2.5</sub> to Xianlin in Nanjing, China and its source areas[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2017, 17(7): 1672-1683.
- [10] Liang F, Gao M, Xiao Q, *et al.* Evaluation of a data fusion approach to estimate daily PM<sub>2.5</sub> levels in North China[J]. *Environmental Research*, 2017, 158(6): 54-60.
- [11] Jin Q, Fang X, Wen B, *et al.* Spatio-temporal variations of PM<sub>2.5</sub> emission in China from 2005 to 2014[J]. *Chemosphere*, 2017, 183(5): 429-436.
- [12] Fang G C, Zhuang Y J, Cho M H, *et al.* Review of total suspended particles (TSP) and PM<sub>2.5</sub> concentration variations in Asia during the years of 1998~2015[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2017, 53(3): 1-18.
- [13] 王浩, 高健, 李慧, 等. 2007~2014年北京地区PM<sub>2.5</sub>质量浓度变化特征[J]. *环境科学研究*, 2016, 29(6): 783-790.
- [14] 李令军, 王占山, 张大伟, 等. 2013~2014年北京大气重污染特征研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(1): 27-35.
- [15] 王占山, 李云婷, 陈添, 等. 2013年北京市PM<sub>2.5</sub>的时空分布[J]. *地理学报*, 2015, 70(1): 110-120.
- [16] 王振波, 方创琳, 许光, 等. 2014年中国城市PM<sub>2.5</sub>浓度的时空变化规律[J]. *地理学报*, 2015, 70(11): 1720-1734.
- [17] 杨冕, 王银. 长江经济带PM<sub>2.5</sub>时空特征及影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(1): 91-100.
- [18] 陈晓光, 陈晓娟, 郑广芬. 1961~2005年宁夏极端降水事件变化趋势分析[J]. *气候变化研究进展*, 2008, 4(3): 156-160.
- [19] 李菲, 张明军, 李小飞, 等. 1962~2011年来宁夏不同等级降水的变化特征[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(8): 2154-2162.
- [20] 郑广芬, 陈晓光, 孙银川, 等. 宁夏气温、降水、蒸发的变化及其对气候变暖的响应[J]. *气象科学*, 2006, 26(4): 412-421.
- [21] 李燕, 云飞, 陈大兴. 宁夏沙尘暴的成因及特性[J]. *宁夏工程技术*, 2005, 4(1): 5-8.
- [22] 王占军, 邱新华, 唐志海, 等. 宁夏1999~2009年土地荒漠化演变影响因素分析[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(2): 325-333.
- [23] 林年丰, 汤洁. 中国干旱半干旱区的环境演变与荒漠化的成因[J]. *地理科学*, 2001, 21(1): 24-29.
- [24] 信忠保, 谢志仁, 王文. 宁夏降水变化及其与ENSO事件的关系[J]. *地理科学*, 2005, 25(1): 49-55.
- [25] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(2): 106-111.



## Temporal and Spatial Distribution Characteristics of PM<sub>2.5</sub> Concentrations in Ningxia , 2016

SUN Rongguo<sup>1,2</sup> , FAN Li<sup>3</sup> , FENG Xinbin<sup>2</sup> , ZANG Qingda<sup>1</sup> ,  
YANG Guomeng<sup>1</sup> , CHEN Zhuo<sup>1</sup>

( 1. School of Chemistry and Material , Guizhou Normal University , Guiyang 550025; 2. State Key Laboratory  
of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550081;

3. Guizhou Normal University Library , Guiyang 550025)

**Abstract:** The temporal and spatial distributions of PM<sub>2.5</sub> in Ningxia were analyzed and relationships of PM<sub>2.5</sub> with other indices of air quality and meteorological parameter were discussed. The results showed that the daily average concentration of PM<sub>2.5</sub> in Ningxia ranged from 2.0 to 217.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in year 2016. The monthly concentrations of PM<sub>2.5</sub> in January , February , November , and December were in the range of 45.97–87.22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  , higher than those in the period of June to September ( 19.01–38.03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ) . The concentrations of PM<sub>2.5</sub> in spring , summer , autumn , and winter were 2.00–211.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  , 6.67–106.67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  , 10.67–166.00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  , and 10.50–217.50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  , respectively. The hourly concentrations of PM<sub>2.5</sub> fluctuated all day and all sites , usually peaked between 9:00 to 10:00 , and dropped to nadir between 15:00 to 16:00. The accounted days of the daily PM<sub>2.5</sub> concentration being less than 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  for Yinchuan , Shizuishan , Wuzhong , Zhongwei , and Guyuan were 304 , 307 , 313 , 323 , and 340 d , respectively , in other words , their standard-meeting rates were 83% , 84% , 86% , 88% , and 93% , respectively. The monthly concentrations of PM<sub>2.5</sub> in northern cities , like Yinchuan and Shizuishan , were higher than those in southern cities , such as Zhongwei and Guyuan , indicating that the decreasing tend of from the south to the north , the concentrations of PM<sub>2.5</sub> in Guyuan were generally lower than those in others. It was found that concentrations of PM<sub>2.5</sub> showed significant positive correlations with concentrations of CO , NO<sub>2</sub> , SO<sub>2</sub> , and PM<sub>10</sub> as well as with wind speed , atmospheric pressure , sunlight intensity , and relative humidity , and that showed negative correlations with surface temperature , air temperature , and amount of precipitation. In summary , the spatial-temporal distribution of PM<sub>2.5</sub> concentrations in Ningxia was remarkable and was affected significantly by meteorological parameters.

**Key words:** Ningxia; PM<sub>2.5</sub>; temporal distribution characteristics; spatial distribution characteristics