

# 合肥市 $PM_{2.5}$ 的分布特征及其要素分析

陈钰彬<sup>1a</sup>,倪敬能<sup>1b</sup>,李菁<sup>2</sup>,董强<sup>1a</sup>

(1. 合肥学院 a. 生物与环境工程系, b. 数学与物理系, 合肥 230601; 2. 合肥市环境监测中心站, 合肥 230031)

**摘要:**对2013年合肥市的 $PM_{2.5}$ 质量浓度、各类空气中污染物、气象要素等数据进行统计处理,通过定性、定量分析,得出 $PM_{2.5}$ 质量浓度与其他各量间的相关性。结果表明,合肥地区雾霾情况较为严重,除7月份外, $PM_{2.5}$ 质量浓度超标率均在87%以上,且冬季更为明显。工业较为发达的庐阳区 $PM_{2.5}$ 质量浓度略高于其他地区。由Pearson相关性分析可知, $PM_{2.5}$ 质量浓度与 $PM_{10}$ 浓度、 $NO_2$ 浓度、 $SO_2$ 浓度等有较强相关性;与能见度、温度、风速、平均低云量、降水量等呈负相关性;与逐日平均总云量、平均相对湿度、平均气压无相关性。

**关键词:**气象因素; $PM_{2.5}$ ;分布特征;空气污染物

中图分类号:X823

文献标识码:A

文章编号:1673-162X(2015)04-0081-06

## Analysis of Characteristics and Factors of Distribution of $PM_{2.5}$ in Hefei

CHEN Yu-bin<sup>1a</sup>, NI Jing-neng<sup>1b</sup>, LI Jing<sup>2</sup>, DONG Qiang<sup>1a</sup>

(a. Department of Biological and Engineering; b. Department of Mathematics and Physics 1. Hefei University, Hefei 230601; 2. Environmental Monitoring Center in Hefei, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Through data statistics processing, qualitative and quantitative analysis of the statistics in Hefei in 2013 such as  $PM_{2.5}$  mass concentration, air pollutants and meteorological elements, we conclude the correlation between  $PM_{2.5}$  mass concentrations and other elements. The results show that the fog in Hefei area is relatively serious, besides in July,  $PM_{2.5}$  mass concentration is all over 87%, which is more obvious in winter. The  $PM_{2.5}$  mass concentration in Luyang, where industry is more developed, is slightly higher than other areas. By Pearson correlation analysis, there is strong correlation between  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  concentration, concentration of  $NO_2$ ,  $SO_2$  concentration, etc. While it shows negative correlation between  $PM_{2.5}$  mass concentration and visibility, temperature, wind speed, average low cloud cover, precipitation, etc, and no correlation with the daily average total cloud cover, the average relative humidity, average pressure.

**Key words:** meteorological factors;  $PM_{2.5}$ ; distribution characteristics; air pollutant

## 0 引言

雾霾天气是近几年来频繁发生的一种天气现象,当雾霾天气时,空气中的细颗粒物增多,一般都以其空气动力学直径来分类,直径越小,对人体的伤害越大<sup>[1]</sup>,它们会沉积在人的肺部,不易排出,甚至通过血液循环,到达身体的每一个部位。<sup>[2-3]</sup> $PM_{2.5}$ 即为这种对人体伤害极大的细颗粒物。王润清在气象学方面对雾和霾进行了详细定义,并提出了相应预防措施<sup>[4]</sup>;王勇等人依据北京2013年GPS水汽、无线电探空风速和 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的资料,讨论了水汽和风速对 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的影响<sup>[5]</sup>;朱倩茹等对广州市 $PM_{2.5}$ 的污染特征和影响因素进行了分析<sup>[6]</sup>。众多研究资料表明,研究雾霾现象意义重大。合肥是一个新兴的快速发展中

收稿日期:2015-09-02 修回日期:2015-09-12

作者简介:陈钰彬(1989-),女,江苏如皋人,合肥学院生物与环境工程系2013级硕士研究生;研究方向:空气中细颗粒物的数值模拟。

的城市,工业能力逐渐增强,废气排污量随之增多,因此,详细的数据研究有助于我们了解实际情况,并采取有效的预防措施。

本文通过对形成雾霾主要因素之一的  $PM_{2.5}$  进行分析说明. 主要收集了合肥市 2013 年的逐日各气象要素数据、空气中各大污染物逐日排放量及各监测点  $PM_{2.5}$  的数值,以定性定量的方式,分析得出影响较大因素以提高我们对合肥市  $PM_{2.5}$  影响因素、污染特点的认识. 同时也可为做好城市空气质量预报,以及城市大气污染治理防治等工作提供一些的基础理论支持。

## 1 数据来源与主要方法

为了分析合肥市的  $PM_{2.5}$  分布特征,从合肥市环境监测中心站提取了 2013 年逐日平均  $PM_{2.5}$  质量浓度数值、10 个监测点逐日  $PM_{2.5}$  数值、逐日  $SO_2$ 、 $CO$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$  等数据;从合肥市气象局提取了 2013 年风速、风向、气压、气温、能见度、降水量、相对湿度等相关气象要素逐日监测数据;从合肥市环保局提取了汽车总量等数据. 并根据  $PM_{2.5}$  检测网的空气质量新标准,得出 24 小时平均值标准值分布如表 1 所示。

表 1 24 小时  $PM_{2.5}$  平均标准值对照表  $\mu g/m^3$

空气质量等级	优	良	轻度污染	中度污染	重度污染	严重污染
24 小时 $PM_{2.5}$ 平均值标准值	0~35	35~75	75~115	115~150	150~250	>250

其中  $PM_{2.5}$  通过 FH62C14 型  $\beta$  射线法颗粒物监测仪进行监测,包括庐阳区子站、琥珀山庄、董铺水库、长江中路、明珠广场、三里街子站、包河区子站、高新区子站、瑶海区子站、滨湖新区子站等 10 个监测点. 气象参数通过气象监测站的湿度计、雨量计、风速风向仪等仪器自动监测。

本文主要运用 SPSS18.0 软件进行相关性分析,计算出 Pearson 相关系数,并运用 excel 软件计算超标率、制作 2013 年全年  $PM_{2.5}$  质量浓度图和区域分布曲线图,运用 origin6.0 软件对相关性分析进行画图辅助分析。

## 2 $PM_{2.5}$ 时空特征分析

### 2.1 总体特征

根据我国空气质量标准规定,以  $35 \mu g/m^3$  的日均值为标准计算各月的超标率,并以不同等级为标准,计算  $PM_{2.5}$  超标率分布如表 2 所示。

表 2  $PM_{2.5}$  超标率

时间/月份	最大超标倍数	超标率/%	75 $\mu g/m^3$ 及以上概率/%	115 $\mu g/m^3$ 及以上概率/%	150 $\mu g/m^3$ 及以上概率/%	250 $\mu g/m^3$ 及以上概率/%
1	7.03	100	90.32	74.19	38.71	0
2	4.40	92.86	60.71	21.43	3.57	0
3	3.14	96.77	38.71	0	0	0
4	2.77	93.33	33.33	0	0	0
5	8.17	87.10	29.03	6.45	3.23	3.23
6	4.11	90.00	43.33	3.33	0	0
7	1.83	58.06	0	0	0	0
8	2.29	87.10	9.68	0	0	0
9	3.17	96.67	36.67	0	0	0
10	5.37	100	67.74	35.48	16.13	0
11	6.49	100	80.00	33.33	16.67	0
12	10.17	100	93.55	74.19	58.06	16.13

由上表可看出,除 7、8 月份外,其余月份的最大超标倍数都比较大. 此外,合肥市空气质量达到优等的天数很少,除冬季外,其他季节基本可达到良标准以上. 但 5 月比较特殊,结合统计的情况可以发现,5 月 25 日当天的  $PM_{2.5}$  浓度较前后两个月的其他统计量都较高. 自 21 日开始各类污染物排放量明显增加,25 日当天  $CO$  的排放量达到  $1.352 \text{ mg}/\text{m}^3$ ,  $NO_2$  为  $38 \mu g/m^3$ ,  $SO_2$  为  $19 \mu g/m^3$ . 25 日当天的气压为  $1004.6 \text{ hPa}$ ,较前两日的  $1006 \text{ hPa}$ 、 $1006.4 \text{ hPa}$  有所降低,与年平均气压  $1013.0 \text{ hPa}$  相比也较低. 平均风速为 2

m/s,较前几日变化不大,基本处于轻风状态.25日平均气温为28.2℃,较前几日气温有所升高,且温差较小.自19日开始至25日多日无降水,但26号出现了一次大型降水,日降水量达到48.5ml.综上所述,污染物排放量增加,长期轻风状态,温度较高天气闷热,气压又较低,空气不易流通<sup>[7]</sup>,有明显大型降水前的气候特征,使得各污染物出现囤积现象,导致PM<sub>2.5</sub>浓度骤增.

## 2.2 时间特征分析

2013年全市总体逐日平均PM<sub>2.5</sub>质量浓度的变化趋势如图1所示.经查询,2013年2月4日立春,5月5日立夏,8月7日立秋,11月7日立冬.因此,可把2月4日至5月4日视为春季,5月5日至8月6日视为夏季,8月7日至11月6日视为秋季,1月1日至2月3日以及11月7日至12月31日视为冬季.由图可以看出,整个冬季的PM<sub>2.5</sub>指数是相对较高的,据数据统计共有约15天的数值高于200 μg/m<sup>3</sup>,因此是雾霾天气较为频发的时段,其形成的原因很多.合肥冬季天气较寒冷,雨雪天气少,晴朗天气多,因此不利于颗粒物疏散流通.此外,由于冬季温度较低,能源消耗需求量增大,如室内、车内使用空调次数增多.此外,秋冬季较夏季而言,更适合工业生产,因此加大了排放量.而春节前后燃放烟花爆竹的次数增多,也促使了PM<sub>2.5</sub>等空气污染物的生成的重要原因之一<sup>[8]</sup>.值得一提的是,每年秋收后,各地仍有秸秆焚烧现象,加剧了雾霾天气的形成.全年其他季节只有5月25日这天的数值超过200 μg/m<sup>3</sup>.整个夏秋两季,除了几天的突发状况,大部分时段的数值相对较低,且处于基本稳定的状态.从全年的情况来看,只有7、8两个月份空气质量等级基本达到良的水平,即PM<sub>2.5</sub>数值低于75 μg/m<sup>3</sup>,全年共计约279天达到良及以上标准.可见,合肥是的空气污染情况还是较为严重的,应提高人们的认识,做好相应保护工作.

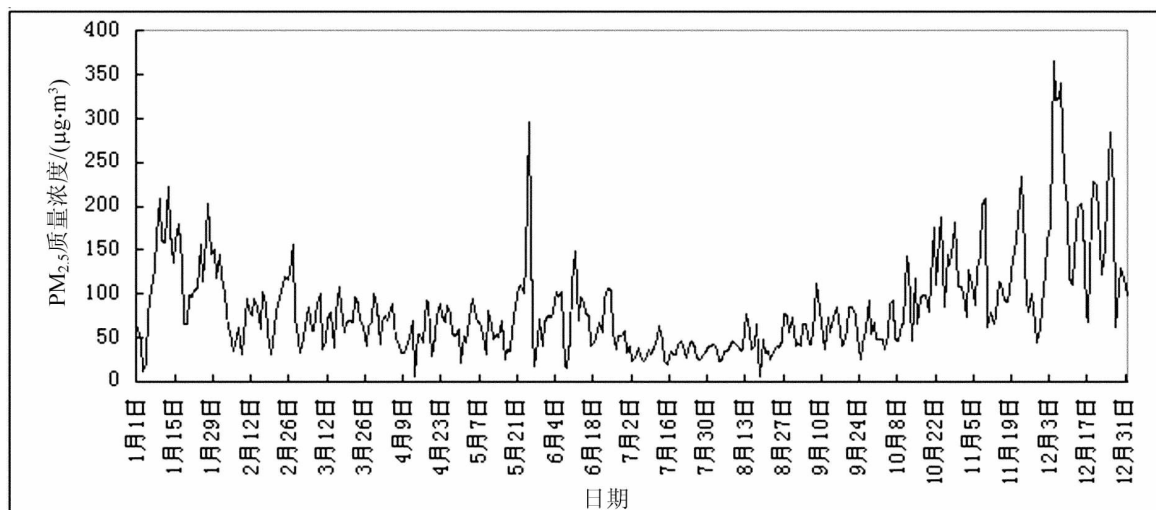


图1 逐日平均PM<sub>2.5</sub>质量浓度

## 2.3 空间特征分析

所测10个点位的逐日平均PM<sub>2.5</sub>质量浓度如图2所示.

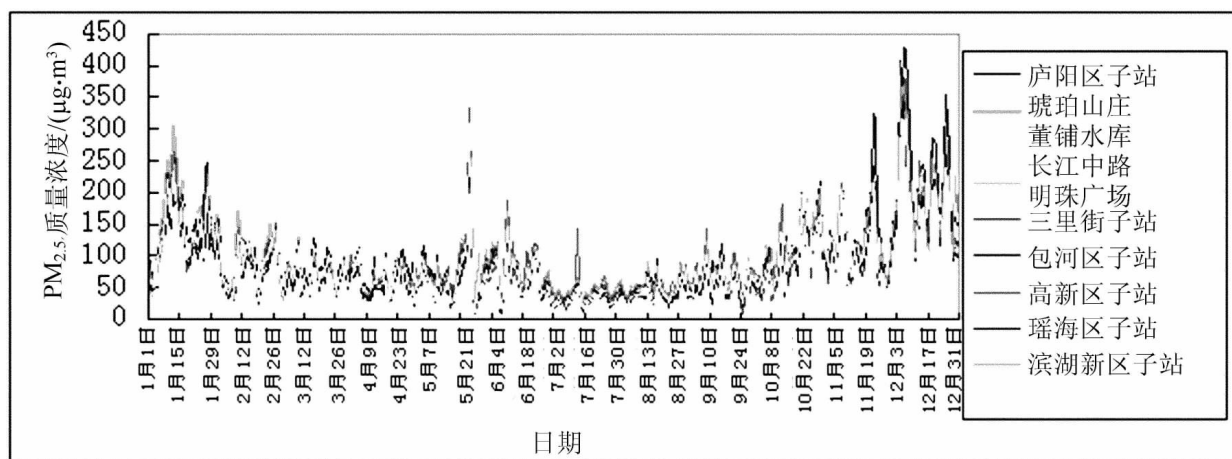


图2 10采样点逐日平均PM<sub>2.5</sub>质量浓度

从图中可以看出,各监测点所测量变化趋势基本相同. 1 月到 2 月琥珀山庄所测的  $PM_{2.5}$  浓度明显较高,11 月到 12 月三里街子站所测  $PM_{2.5}$  浓度明显较高. 其中有以下几日出现极值;琥珀山庄在 1 月 12 日  $PM_{2.5}$  浓度达到  $302\mu g/m^3$ ;包河区子站在 5 月 25 日达到  $332\mu g/m^3$ ;三里街子站在 11 月 22 日达到  $323\mu g/m^3$ ,在 12 月 7 日达到  $427\mu g/m^3$ ,在 12 月 25 日到达  $353\mu g/m^3$ . 由于三里街子站处于工业发达的庐阳区,而冬季平均风速相对于其他月份较小,温度比较低,受强冷高压脊影响,发生逆温天气的频率比较高,降水又相对较为稀少,使得大气污染物不易扩散,因此此地区  $PM_{2.5}$  浓度相对较高.

### 3 合肥市 $PM_{2.5}$ 要素解析

#### 3.1 总体相关性研究

为进一步量化研究  $PM_{2.5}$  质量浓度与各影响因素的关系,采用 SPSS18.0 对所搜集样本进行统计分析,并得出其 Pearson 简单相关系数. Pearson 相关系数是用来衡量两个数据集合是否在一条直线上,即衡量定距变量间的线性关系. 相关系数的绝对值越大,相关性越强,相关系数越接近于 1 或 -1,相关度越强,相关系数越接近于 0,相关度越弱. 由表 3 可以看出, $PM_{2.5}$  浓度与  $CO$ 、 $NO_2$ 、 $SO_2$ 、 $PM_{10}$  等量的浓度呈正相关性;与 8 小时  $O_3$  均值、能见度、气温、风速、逐日平均低云量、降水量呈负相关性;与 1 小时  $O_3$  均值、逐日平均总云量、日平均气压、日平均相对湿度相关性不明显.

表 3  $PM_{2.5}$  与其他相关系数

类别	$PM_{2.5}$ 浓度 Pearson 相关性	类别	$PM_{2.5}$ 浓度 Pearson 相关性
CO 日均值	0.567 **	逐日平均气温	-0.455 **
$NO_2$ 日均值	0.648 **	02 时风速	-0.267 **
$SO_2$ 日均值	0.690 **	08 时风速	-0.378 **
$O_3$ -1 h	-0.087	14 时风速	-0.366 **
$O_3$ -8 h	-0.300 **	20 时风速	-0.280 **
$PM_{10}$ 日均值	0.842 **	逐日平均风速	-0.420 **
02 时能见度	-0.504 **	逐日平均低云量	-0.175 **
08 时能见度	-0.562 **	逐日平均总云量	-0.092
14 时能见度	-0.561 **	平均相对湿度	0.041
20 时能见度	-0.587 **	平均气压	0.035
逐日最高气温	-0.423 **	降水量	-0.170 **
逐日最低气温	-0.468 **		

注:“\*\*”表示相关系数在 0.01 置信度水平下显著.

#### 3.2 空气中其他污染物对 $PM_{2.5}$ 的影响分析

由 Pearson 相关系数 0.842 可以看出,空气中的  $PM_{2.5}$  浓度变化与  $PM_{10}$  的浓度变化有着极强的相关性,因为  $PM_{2.5}$  与  $PM_{10}$  的颗粒物在一定条件下是可以相互转化的<sup>[9]</sup>. 例如上午,空气扬尘、工厂排放等相比夜间突然增加,使得空气中的各物质凝结能力增强,更容易形成颗粒物较大的  $PM_{10}$ <sup>[10]</sup>. 而下午空气扩散条件加强,使得颗粒物较大的物质更容易分解或沉降,因此多数污染物就会呈现较低值<sup>[11]</sup>.

此外,空气中  $NO_2$  浓度、 $SO_2$  浓度均与  $PM_{2.5}$  浓度有强相关性,其相关系数分别为 0.648、0.690. 因为  $PM_{2.5}$  可以由硫和氮的氧化物转化而成,当空气中硫氮化物增多时,就会造成  $PM_{2.5}$  的浓度增加. 合肥市是快速发展的发展中城市,工业能力较强,因此空气中污染物排放量也较大,会对  $PM_{2.5}$  的增长起到一定的促进作用.

从数据 0.567 上看, $PM_{2.5}$  浓度与 CO 浓度有中等程度的相关性. 因为在植物的光合作用下,可以消耗掉一部分碳化物,因而减少了空气中 CO 的含量. 而  $PM_{2.5}$  浓度与  $O_3$  浓度呈较弱的负相关性.

#### 3.3 气象要素对 $PM_{2.5}$ 的影响分析

由上表 3 可以看出  $PM_{2.5}$  浓度与能见度、温度、风速等因素呈中等程度的负相关性,与平均低云量、降

水量等呈较弱的负相关性,与逐日平均总云量、平均相对湿度、平均气压无相关性。

随着时间的推移,PM<sub>2.5</sub>浓度与能见度的负相关性逐渐增强,当PM<sub>2.5</sub>等空气中的颗粒物浓度上升时,会影响光线的折射或者散射作用,甚至还会吸收其中的一部分,从而使能见度降低。

PM<sub>2.5</sub>浓度与逐日最低气温的负相关性高于逐日最高气温。运用origin6.0制作出的曲线图可以看出,一般情况下,随着温度的升高,PM<sub>2.5</sub>浓度降低;温度降低,PM<sub>2.5</sub>浓度上升。但是实际情况并非绝对,因为导致PM<sub>2.5</sub>变化的因素不仅仅是温度,其他突发性天气状况,或某些物质排放量的突然增加,也可能会对PM<sub>2.5</sub>的浓度带来更大的影响。因此,气温高低不能直接反应空气质量的状况。如图3所示。

PM<sub>2.5</sub>浓度与风速呈负相关性,但相关性并不非常强。从图4可以发现,在夏季会有较为明显一点的负相关性,在冬季就显得不太明显。一般情况下,风速越大,空气越容易流通,有利于稀释扩散空气中的污染物。反之,若长期处于无风或微风的状态,会抑制污染物的扩散,并使其不断地聚集增长。同时,风向也会产生一定的影响,如果长期处于一些污染较为严重的工业地区的下风方向,将会给我们的生活带来很大的不便与伤害。

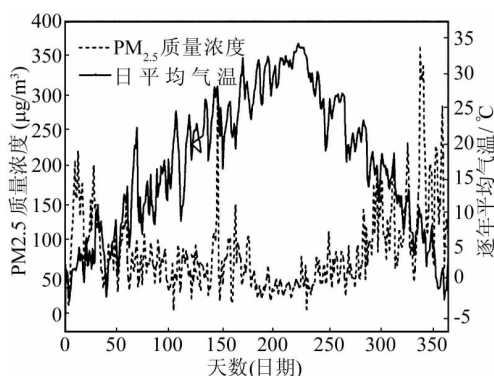


图3 PM<sub>2.5</sub>质量浓度与逐日平均气温关系图

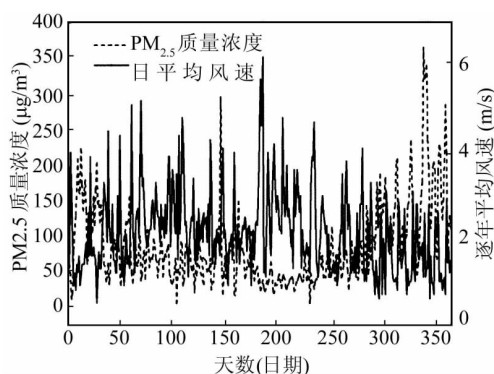


图4 PM<sub>2.5</sub>质量浓度与逐日平均风速关系图

用同样的方法比较PM<sub>2.5</sub>的浓度与逐日平均低云量,以及降水量的关系,均呈较弱的负相关性。众所周知,产生降水的大多会是低云,且降水会对空气起到一个有利的冲刷作用,有效地减少空气中污染物的含量,自然也就降低PM<sub>2.5</sub>的质量浓度。

### 3.4 主成分分析

利用前文中计算的Pearson相关系数,选取CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>-8h、PM<sub>10</sub>、逐日平均气温、逐日平均风速、逐日平均低云量、降水量的数值代入下式进行计算,

$$w_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n |\lambda_i|},$$

式中, $\lambda_i$ 表示各量所测相关系数的量。

其中,由于O<sub>3</sub>-8h的数值与PM<sub>2.5</sub>的相关性强于1h量,因而选择8h量进行计算。计算结果按从大到小排列如表4:

表 4 各量权重表

名称	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	逐日平均 气温	逐日平 均风速	O <sub>3</sub> -8h	逐日平均 低云量	降水量
比例	19.73	16.17	15.19	13.29	10.66	9.84	7.03	4.10	3.98

可见,各类化学物质对 PM<sub>2.5</sub> 的影响较大,自然因素中只有气温和风速影响相对较大。

## 4 结 论

本文利用合肥市常规气象资料,以及各类污染物观测资料,进行定性定量分析,得出以下结论。

(1) 合肥市的雾霾状况总体较为严峻,冬季 PM<sub>2.5</sub> 浓度较高,除夏季外,超标率都较大。在地域方面,1 月到 2 月琥珀山庄所测的 PM<sub>2.5</sub> 浓度明显较高,11 月到 12 月处于工业发达的庐阳区的三里街子站所测 PM<sub>2.5</sub> 浓度明显较高。

(2) 对 PM<sub>2.5</sub> 浓度与各类因素的相关性,进行的初步统计分析中发现,在各类空气中的污染物质中,PM<sub>2.5</sub> 浓度变化与 PM<sub>10</sub> 的浓度变化有着极强的相关性,与 NO<sub>2</sub> 浓度、SO<sub>2</sub> 浓度有强相关性。

(3) 在各类气象因素中,PM<sub>2.5</sub> 浓度与能见度、温度、风速等因素呈中等程度的负相关性,与平均低云量、降水量等呈较弱的负相关性,与逐日平均总云量、平均相对湿度、平均气压无相关性。

### 参考文献:

- [1] 刘红刚. 结节病肉芽肿构成细胞内有以硅元素为主的尘粒分析[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 24(6): 356-359.
- [2] 岳常丽, 刘红刚. 空气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)及其致病性的研究现状[J]. 临床与实验病理学杂志, 2009, 25(4): 437-439.
- [3] Schwartz J. Harvesting and Long Teen Exposure Effects in the Relation Between Air Pollution and Mortality[J]. American Journal of Epidemiology, 2000, 141(5): 440-448.
- [4] 王润清. 雾霾天气气象学定义及预防措施[J]. 现代农业科技. 2012(7): 44-45.
- [5] 王勇, 刘严萍, 李江波, 等. 水汽和风速对雾霾中 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 变化的影响[J]. 灾害学, 2015, 30 (1): 5-7.
- [6] 朱倩茹, 刘永红, 徐伟嘉, 等. 广州 PM<sub>2.5</sub> 污染特征及影响因素分析[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 15-21.
- [7] 吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究[J]. 气象学报, 2006, 64(4): 510-517.
- [8] 梁明易, 董林, 陶俊. 广州冬季霾天气大气 PM<sub>2.5</sub> 污染特征分析[J]. 中国环境监测, 2007, 23(5): 52-54.
- [9] 陈慧娟, 刘君峰, 张静玉, 等. 广州市 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 质量浓度变化特征[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(10): 87-91.
- [10] Wang J, Hu Z M, Chen Y, et al. Contamination Characteristics and Possible Sources of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Different Functional Areas of Shanghai, China[J]. Atmospheric Environment, 2013, 68: 221-229.
- [11] 周丽. 北京地区 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的变化特征[J]. 气象学报. 2003, 61(6): 761-767.

[责任编辑:李 军]