

渭南市区冬春季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时间分布特征及与气象因素的关系

孟媛媛¹, 符超峰^{1,2}, 席建建¹, 王祎¹

1. 长安大学 地球科学与资源学院, 西安 710054

2. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061

摘要: 为研究渭南市区 2014—2016 年的冬春季雾霾天气的特点, 选取覆盖渭南市区的 4 个监测站点, 分析渭南市区 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 污染时间分布特征; 同时选取日平均气温、相对湿度、风等气象因素, 用线性回归分析法分析各个气象因素同大气中 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的相互关系。研究发现: 三年来冬季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的日变化的峰值主要出现在 12 月—次年 1 月; 春季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的逐日变化的峰值主要出现在 3 月; 日内的周期变化趋势呈多次波动。渭南市区冬春 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度与风速、气温呈负相关, 与相对湿度呈正相关, 为雾霾的形成创造了条件, 在冬季温度较高的情况下以及相对湿度较大的情况下应加强防范。在冬季 12 月—次年 1 月和春季 3 月应注意雾霾的防范和治理, 燃煤企业要安装脱硫脱硝装置, 居民日常生活中尽量减少生物燃料的燃烧, 同时政府应根据污染物排放量征税, 用制度保护环境。

关键词: $PM_{2.5}$; PM_{10} ; 污染水平; 时间分布; 气象因素; 税收

Temporal distribution of PM_{10} and $PM_{2.5}$ and its relationship with meteorological factors during winter and spring in Weinan

MENG Yuanyuan¹, FU Chaofeng^{1,2}, XI Jianjian¹, WANG Yi¹

1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

Abstract: Background, aim, and scope In recent years, with the rapid development of Chinese economy, air pollution has become increasingly serious and brought very serious harm to human health, the development of the industry, a large number of vehicle exhaust emissions and a great deal of fossil fuel combustion make the air quality getting worse. The air quality of a region is determined by the content of gases or particulates such as SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, which common features are toxic substances and can float in the air for a long time, endangering the health of the human body. The main sources of pollutants are vehicle pollution, diesel generators, building dust, biomass, coal combustion and industry pollution, as well as seasonal sources of

收稿日期: 2017-12-21; 录用日期: 2018-02-05

Received Date: 2017-12-21; **Accepted Date:** 2018-02-05

基金项目: 国家自然科学基金(41772167); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金(SKLLOG1601)

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (41772167); State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology (SKLLOG1601)

通信作者: 孟媛媛, E-mail: 2016127064@chd.edu.cn

Corresponding Author: MENG Yuanyuan, E-mail: 2016127064@chd.edu.cn

引用格式: 孟媛媛, 符超峰, 席建建, 等. 2018. 渭南市区冬春季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 时间分布特征及与气象因素的关系 [J]. 地球环境学报, 9(2): 182—192.

Citation: Meng Y Y, Fu C F, Xi J J, et al. 2018. Temporal distribution of PM_{10} and $PM_{2.5}$ and its relationship with meteorological factors during winter and spring in Weinan [J]. Journal of Earth Environment, 9(2): 182—192.

pollution such as summer dry dust from nearby deserts, autumn crop burning and festive fireworks. Weinan City ($108^{\circ}50' - 110^{\circ}38'E$, $34^{\circ}13' - 35^{\circ}52'N$) is an inland city in western China, this city has faced serious air quality problems due to the rapid growth of cars and the increase in energy consumption in recent decades, however, the pollution problem has not been paid enough attention to in such the medium-sized cities. The number of monitoring sites is extremely limited, the serious pollution in Weinan should cause enough attention to the government, and increase the number of monitoring sites. In the present study, we collected air quality data for PM_{2.5} and PM₁₀ in Weinan City and investigated the temporal changes and possible sources of these pollutants. This study can provide useful information for timely prevention of haze and how to prevent haze.

Materials and methods According to the daily average concentration values and the real-time concentration data per hour of PM₁₀ and PM_{2.5} in the four stations (Gaoxinyixiao, Ribaoshe, Tiyuguan, Nongkesuo) from January 2014 to August 2016, which data was provided by Weinan City monitoring station. And we get the relevant weather data from the Weinan Meteorological Bureau, such as the corresponding temperature, wind direction, wind speed, relative humidity and other meteorological factors. The real-time concentration monitoring data in Tiyuguan are taken as an example, we plan to reflect the correlation between the mass concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ and the meteorological factors by the influence of the meteorological factors such as temperature, wind speed and relative humidity on the concentration of these particles. In order to study the relationship between mass concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} and meteorological factors, this paper mainly uses linear regression analysis to express the correlation between them and the figure is mainly completed with Origin software.

Results (1) The daily trends of PM₁₀ and PM_{2.5} in winter and spring can be seen from the chart that the concentration of pollutants in winter during three years is higher in December and January and early February, and the main reason may be due to the impact of cold waves, resulting in an increase in central heating, and because of the restrictions of economic conditions and other aspects, the quality of residential coal is relatively poor, there is higher content of sulfide and increasing emissions to the air pollutants, so that the mass concentration value of pollutants is higher in this time period, at the same time China's Spring Festival is also in winter, setting off a large number of firecrackers can not only increase the concentration of pollutants in the air, but also cause noise pollution. The changes of PM₁₀ and PM_{2.5} in spring are generally high mainly in March, this is due to natural factors mostly, while the dry weather would make the roadside dust more diffuse in the air. In the early spring, because of severe weather changes in the middle and late March, sandstorms and such dust weather would often occur, the sand dust weather is an integrated product of atmospheric motion and natural geographical environment.

(2) The diurnal variation characteristics of PM₁₀ and PM_{2.5} have large trend fluctuations in one day, mainly at 08:00, 12:00, 18:00, 21:00, the peak appears in these time periods. This is mainly related to the peak hours of people's on and off duty in the day, traffic flow increases in these time periods, and the main pollutants are mostly automobile exhaust. There is a great relationship between the high concentration in the evening and the inversion layer, and the inversion layer near the lower surface of the night makes the pollutant concentration in a certain range and is not easy to spread, the concentration of pollutants would increase during this time, moreover it maybe because of the Earth vehicles and so on are driving at night and are prohibited during the day, it also cause a higher concentration of pollutants in this period of time. In general, the diurnal variation of pollutant concentration is closely related to human activity and is also affected by meteorological factors.

(3) The correlation between the mass concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} and meteorological factors is mainly that the mass concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} in winter and spring in Weinan was negatively correlated with the wind speed and temperature, but was positively correlated with the relative humidity, which created the conditions for the formation of haze, thus, the people should strengthen prevention in the case of high temperature and high relative humidity in winter.

Discussion The formation of haze is very complex, affected by many factors,

according to the actual situation in Weinan, meteorological factors to promote the formation of haze in Weinan to some extent, but controlling haze roots is the primary problem, the root of haze is the “crime culprit” to cause the serious pollution in Weinan, and the meteorological factors and the terrain of Weinan City and other factors are “accomplices”. Therefore, let's adjust the energy structure vigorously to prevent and control PM_{2.5} pollution; let's take science and technology as the core to build a new PM_{2.5} prevention and control system and finally to achieve using science and technology to control pollution; let's reform system, legal and economic management system to protect the comprehensive benefits of using science and technology to control pollution. The coal enterprises ought to install desulfurization and denitrification device in Weinan City to reduce pollutant emissions to a minimum, the government should implement a tax policy and collect taxes on emissions from various companies, the enterprise should pay for the harm caused by the discharge of pollutants to the public; encouraging everyone to use clean fuels to reduce vehicle exhaust pollution, or according to the emissions of pollutants from the car to collect taxes, can not let these emissions of pollutants become a matter of course, strengthening laws and regulations from the system and providing institutional protection for governance haze; the use of biofuels and low-quality coal is strictly prohibited for residents, the government can make appropriate subsidies in this regard. **Conclusions** The forming factors of haze are very complicated and influenced by many factors. According to the actual situation of Weinan urban area, meteorological factors promote the formation of haze in Weinan urban area to a certain extent. **Recommendations and perspectives** The search provide a significant scientific basis for understanding the pollution characteristics of temporal distribution in PM_{2.5} and PM₁₀ in Weinan. To alleviate the PM_{2.5} and PM₁₀ pollution, reducing coal burning, biomass burning and controlling road dust must be performed.

Key words: PM_{2.5}; PM₁₀; pollute level; temporal distribution; meteorological factors; revenue

伴随着工矿业的发展、机动车尾气的大量排放以及大量的化石燃料的燃烧，空气质量不断恶化。衡量一个地区的空气质量是由 SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀、PM_{2.5} 等气体或颗粒物的含量来决定，其共性是都含有有毒物质而且能够在空气中长时间的漂浮，危害人体的健康。污染物的来源主要有建筑粉尘、生物质燃烧等，还有季节性的污染来源，如夏季干燥粉尘来自附近的沙漠，秋作物燃烧和节日烟花，冬季取暖产生的污染物（Subramanian, 2016）。其中 PM_{2.5} 的粒径较小，在空气中的分布比较均匀，悬浮停留的时间更长，被输送的距离也更远。PM_{2.5} 是可入肺颗粒物，对人体危害极大，当大气 PM_{2.5} 浓度增加 100 μg·m⁻³ 时，总死亡率上升 4.08%（赵珂等，2011），空气污染不但会导致氧化应激，而且会对健康产生不良的影响，如哮喘和其他呼吸道疾病（Lakey et al, 2016）。近年来，不同地区的研究表明，PM_{2.5} 质量浓度与人体健康状况呈显著相关（Koch, 2000; Panyacosit, 2000），空气污染极大地影响了环境和人类的健康，根据世界卫生组织发布的数据，每年大约有 800000 人由于空

气污染引发肺癌、心脑血管疾病、呼吸道疾病而过早死亡（Coons, 2009）。在中国，颗粒污染已经成了一个非常严重的问题，对区域性乃至全球性气候以及人的身心健康，都有很大的影响（曹军骥，2012; Wang et al, 2014）。雾霾不但污染空气，而且危害人类身体健康，与其它硫化物、氮氧化物相互作用形成气溶胶，人为的空气污染导致大气气溶胶和氧化剂浓度在本地、区域内乃至全球尺度上大量增加，给公共健康带来了严重的威胁（Monks et al, 2009）。当降水时大的颗粒污染物随降水落下，汇入水源和土壤，乃至污染了整个生物链。治理雾霾刻不容缓。本文以渭南市区的 4 个观测点数据为依据进行综合分析，以期厘清渭南市区雾霾的变化特征，推断它的来源、传播的途径，为有效治理雾霾提供参考依据。

1 研究区概况

渭南市隶属陕西省，位于关中平原的东部，东经 108°50'—110°38' 和北纬 34°13'—35°52'，其以渭河作为轴线，形成了南北两山、两塬和中部平原这五大地形。其气候属于半干旱半湿润气

候, 四季分明并且光照充足, 气候条件比较优越。渭南市两边高中间低的地形, 使气体不易流动, 为雾霾的形成创造了一定条件。本文主要是以渭南市临渭区为研究对象, 来探讨雾霾与气象因素的关系以及雾霾的主要来源和应该采取的防范措施。临渭区所处的地理位置如图 1, 该区被山地

围绕, 不利于雾霾的扩散, 污染物的浓度会增加。西安、广州地区也由于处于山脉之间, 近年来的空气污染越来越严重, 尤其是在冬季 (Zhao et al., 2015)。本研究意在厘清造成渭南市雾霾现象如此严重的原因及其变化特征, 并建议合适的措施加以治理, 以改善空气质量。

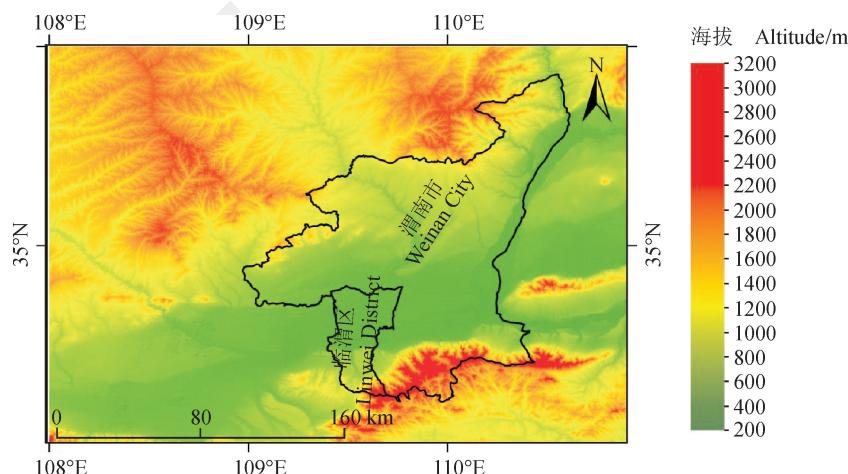


图 1 渭南市临渭区的地理位置
Fig.1 Geographical location of Linwei District, Weinan

2 监测数据的收集及分析方法

根据渭南市监测站提供的四个站点(高新一小、日报社、体育馆、农科所)2014年1月—2016年8月 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度变化日均值以及每小时的实时浓度值数据, 并从渭南市气象局调取相关的气象数据, 获得相对应的气温、风向、风速、相对湿度等气象因素来进行分析。文中选取了近三年(2014—2016)冬春季节的相关数据作为研究时间段, 筛选出渭南市各个监测点的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的质量浓度信息进行研究。

以下所用实时浓度监测数据均以体育馆为例, 并分析气温、风速、相对湿度等气象因素对这些颗粒物浓度的影响, 拟反映 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的质量浓度与气象因素之间的相关性。文中的图件用 Origin 软件完成, 利用线性回归分析的方法研究 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度与气象因素之间的关系。

3 结果与讨论

3.1 近三年内冬春季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的逐日变化趋势

分别选取2014年1月1日—2014年5月31日、

2014年12月1日—2015年5月31日、2015年12月1日—2016年5月31日这三年冬春季节的监测数据来进行分析, 由于渭南市监测站刚刚建立, 监测站的数量少, 并且在空间分布上比较紧密, 空间差异较小, 所以选取其中一个监测站的数据作为代表, 分别得到这三年内冬春季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度变化。从图 2a 中可以看出, 2014年冬季的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 峰值出现在2月的上旬, 而在1月中旬出现小峰值, 谷值出现在1月中上旬; 图 2b 中可以看出 2014—2015 年冬季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度出现两次峰值, 第一个峰值是出现在1月中旬, 第二个峰值是出现在1月的下旬, 谷值出现在12月中旬; 从图 2c 中可以看出 2015—2016 年 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 出现两个高峰值和一个次峰值, 两个高峰值主要出现在12月的中下旬和1月的上旬, 而次峰值是出现在12月的中上旬, 谷值出现在1月下旬和2月中旬, 这是三年内冬季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化趋势。而从图 2d 中可以看出, 2014 年春季峰值出现在5月下旬, 谷值出现在5月中旬, 但整体浓度较高的时间段主要集中在3月份; 从图 2e 可以看出, 2015 年春季

的峰值分别出现在3月中旬和4月中旬，但整体浓度较高的时间段在3月中上旬；从图2f可以看出，2016年春季PM₁₀峰值出现在3月上旬，而PM_{2.5}的峰值出现在3月中下旬。

从图中还可以看出，三年内冬季污染物的质量浓度值在12月、1月以及2月初较高，由于寒潮的影响，集中供暖量增加，同时受到经济条件等各方面的限制，燃煤较低劣，增加了污染

物的浓度，这个时间段正是中国的春节，燃放烟花爆竹也会加重污染（徐辉等，2009），导致大气能见度显著下降（金军等，2007），产生致癌的多氯代二苯并二噁英（PCDDs）和多氯代二苯并呋喃（PCDFs）（Fleischer et al, 1999）。此外，出行的车辆较多，汽车尾气等排放到大气中，导致空气中可吸入颗粒物的含量急剧增加。

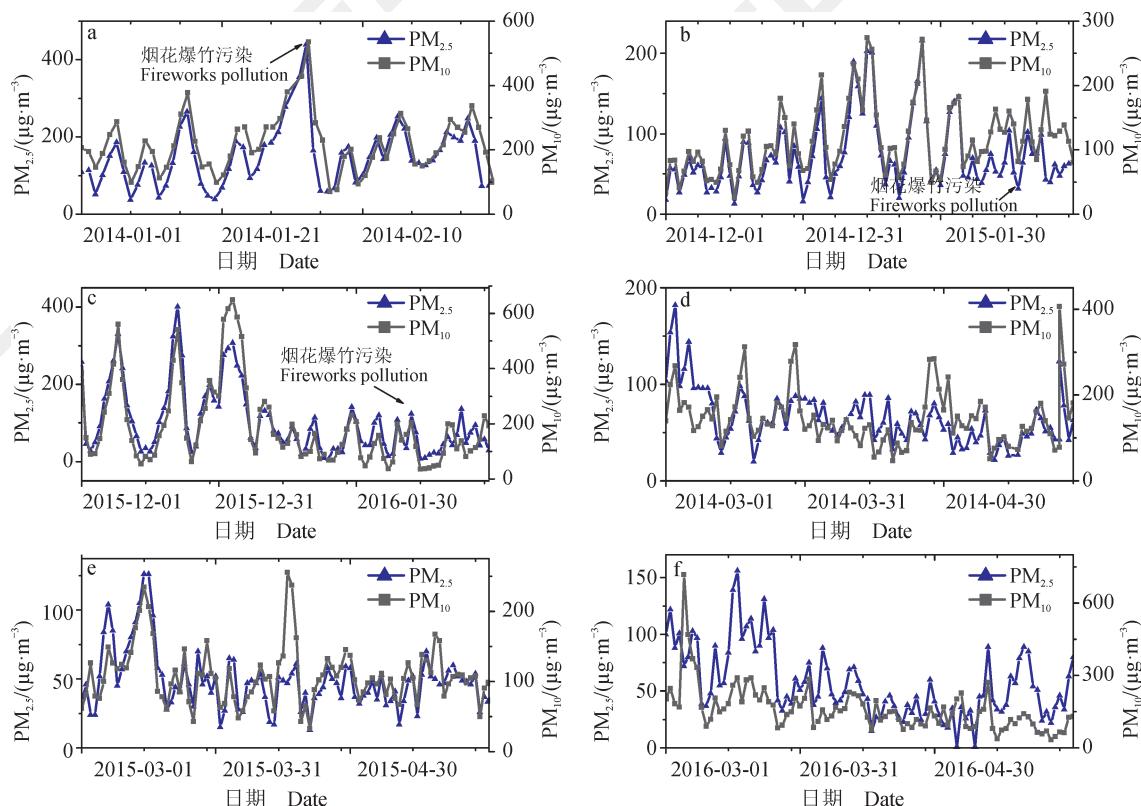


图2 2014—2016年冬春季节PM_{2.5}和PM₁₀浓度
Fig.2 PM_{2.5} and PM₁₀ concentration in winter and spring during 2014—2016

春季PM₁₀和PM_{2.5}随时间变化波动较大，从三年的变化可以看出，春季PM₁₀和PM_{2.5}的浓度在3月份普遍较高，主要以自然因素为主，在初春季的3月中下旬，天气变化剧烈，经常会出现沙尘暴等风沙天气，带来了较多的污染物（鲁然英等，2005），同时天气干燥，也会使路边尘土较多地弥漫在空气中。沙尘对非发源地的污染以PM₁₀为主（Chen et al, 2004；巩英洲，2005），导致大气中可吸入颗粒物PM₁₀含量增加，沙尘暴天气发生时，由于外来沙尘暴源输送的影响，空气中不同粒径的颗粒物（TSP、PM₁₀、PM_{2.5}

和PM₁₀）浓度会显著增加，其中TSP和PM₁₀的浓度升幅最大（Shen et al, 2009；Zhang et al, 2010）。因此，这段时间由于受沙尘暴影响，空气中PM₁₀浓度较高。

3.2 冬春季节PM₁₀和PM_{2.5}24 h实时浓度变化趋势

为了研究一天内PM₁₀和PM_{2.5}浓度在不同时间段的变化趋势，以体育馆的监测数据为例，选取一个季度每小时的实时浓度，取这个季度每个小时的平均值，得到PM₁₀和PM_{2.5}在一天中不同时间段的变化趋势图（图3）。由图3的变化趋势可以看出，中午和晚上这两个时间段的污染物浓度

较高, 从早上 08:00 浓度值开始上升, 在 13:00 左右 PM_{10} 浓度达到峰值, 在 15:00 左右 $PM_{2.5}$ 浓度达到峰值; 从下午 18:00 开始浓度值增加, 至 21:00 左右又达到一个峰值, 并且在一天当中的变化趋势波动较大。

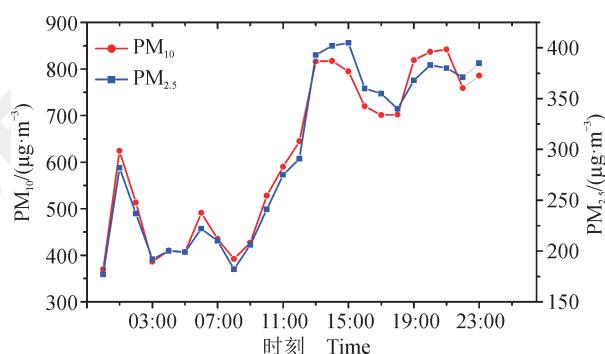


图 3 渭南市 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度日变化

Fig.3 Daily variation of mass concentration of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Weinan

PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 浓度在一天内的波动较大, 主要是在 08:00—15:00、18:00—21:00 的时间段内出现峰值, 这主要与一天当中人们的上下班高峰期有关, 车流量在这几个时间段内增加, 向空气中排放了大量的污染物, 这个时间段的主要污染物是以汽车尾气为主, 在中午 15 时左右出现污染峰值, 午后由于太阳辐射减弱, 局部温度差异性稍大, 空气流动性较强, 污染物浓度稍有扩散。但是雾霾的形成因素较为复杂, 在午后出现峰值, 可能是相对湿度上升、温度稍高、风速较小的暖区辐合天气系统下, 污染物较容易累积, 导致其浓度上升。晚上浓度较高也与逆温层有较大的关系, 夜晚近地面附近逆温层使污染物聚集在一定范围内而不易扩散, 污染物的浓度会在这段时间内增加; 同时也可能是因为白天禁止通行的拉土车辆等晚上通行, 造成这个时间段内污染物浓度较高。总体来看, 污染物浓度的日变化特征与人类活动的关系密切, 同时也受气象因素的影响。

3.3 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度与气象因素的关系

大气污染物浓度除了与污染源的分布、污染物强度有直接关系外, 还与气象因素如风向、风速、降水、温度、大气层结稳定性等密切相关(李宗恺, 1985)。 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量浓度呈现季节性变化, 且供暖期与非供暖期之间也存在着显著的差异(赵文慧等, 2010)。雾霾天气是由气象因素与环境因

素共同作用形成的(潘本锋等, 2013)。利用气象因素(I_{pm})来综合考虑气温、气压、风速和湿度与 PM_{10} (M_{pm})的相关关系, 结果显示 I_{pm} 能够较好地反映 M_{pm} 的分布情况(邱玉珺等, 2009; 周悦等, 2011); 气象因素对颗粒物的扩散、稀释和积累有着重要的作用, 观测并分析气象因素与颗粒物浓度不仅能验证并合理解释试验数据, 还对研究当地大气污染形成的气象条件与空气污染预报具有重要的意义(孟燕军和程丛兰, 2002)。气象因素对污染物有非常重要的影响, 当大气稳定性越高也就意味着污染物在当地积累导致严重的环境问题, 从而影响人们的健康(Li, 2014)。

3.3.1 风向与风速

根据渭南气象局提供的相关资料通过 Excel 软件得到渭南市多年的风向玫瑰图, 可以根据所得的玫瑰图看出渭南市区的主要风向趋势。

由风向玫瑰图(图 4)可知东北偏东向的频率比较高, 因此渭南市区春冬季大致的风向是以东北偏东风为主导风向, 而渭南的地形总体上是南北比较高, 中间较低的地形, 渭南市区正好处于低谷中, 使得空气的流动性较差, 这种情况为雾霾的形成提供了一定的条件。同时冬季干冷干燥, 并且静风的次数比较多, 空气在很长一段时间是相对静止的, 这种条件会更有利于颗粒污染物的形成。所以, 该地形是造成颗粒物浓度差异的一个重要原因。

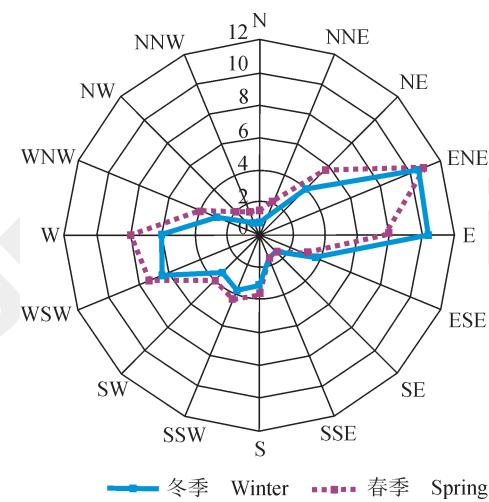


图 4 渭南市冬春季节风向玫瑰图

Fig.4 Wind rose map in winter and spring in Weinan

3.3.2 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度与风速的关系

较大风速对污染物起到一定的吹散作用, 与

地面的风速情况以及污染物自身的扩散能力有很大的关系，近地表如果长期形成较弱的风速，有利于污染物的聚集，从而为污染物的形成创造了条件；风速增强，大气输送能力增强，大气中的污染物容易被驱散从而不利于污染物的形成。风速对于雾霾的形成 / 加强无非有两种情况，一是

风速较大时，沙尘天气导致污染物浓度上升，影响到渭南当地；另一种是风速较小时或者静风时夜间或者清晨有辐射逆温现象，其动力因素不利于污染物的扩散，而渭南市区的风速大多在 0.1—3.4 m·s⁻¹ 波动，静风天气和风速较小是污染物浓度上升的主要因素，如图 5 所示。

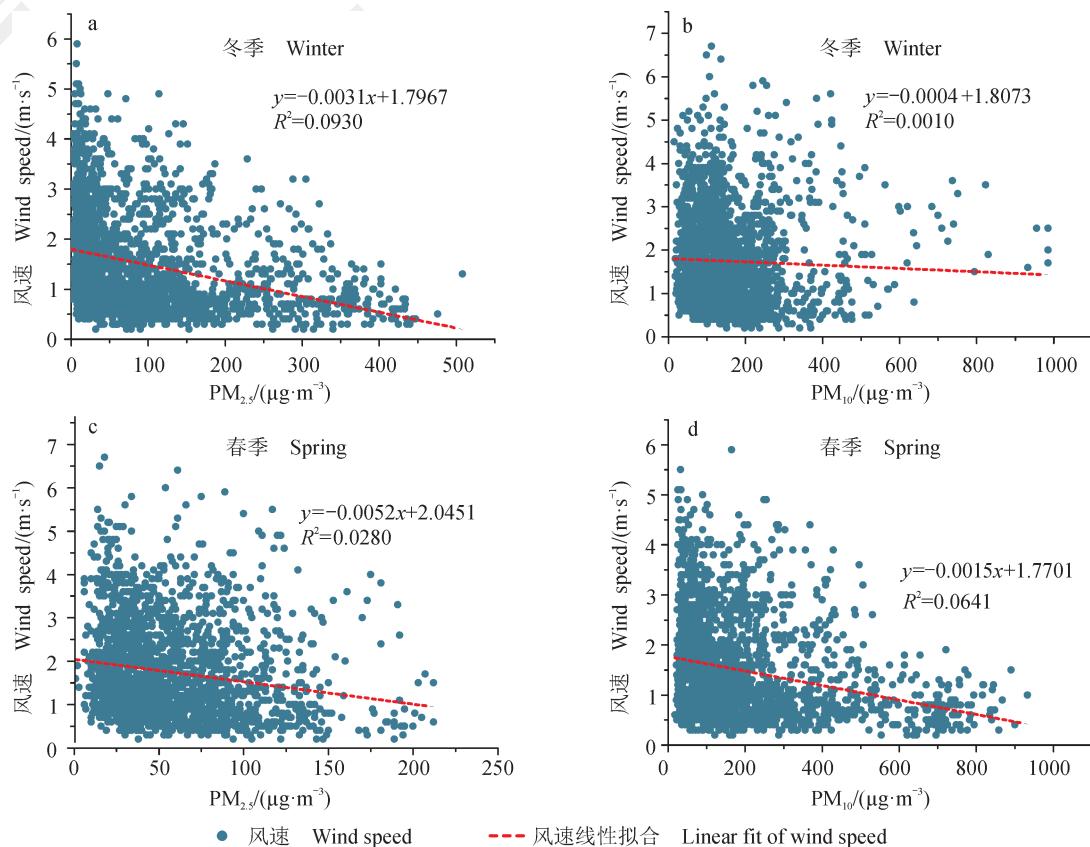


图 5 冬春季 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 与风速的相关性
Fig.5 Correlation of PM_{2.5} and PM₁₀ with wind speed in winter and spring

为了研究 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度与风速之间的关系，利用线性回归的方法得到风速与污染物浓度的关系图。由线性回归图可以看出，PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的质量浓度与风速呈负相关，并且相关性较弱。由图 5 可知，渭南市区风速较弱，常年静风天数较多，有利于污染物的凝聚，因此渭南市区的风速在一定程度上增加了污染物的浓度。

3.3.3 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 实时质量浓度与气温的关系

为了研究 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度与气温之间的关系，利用线性回归的方法得到气温与污染物质量浓度的关系图。如图 6a、图 6b 所示，冬季 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与温度呈正相关。温度升高时污染物

浓度升高，可能有其他气象因素的参与，如冬季气压下降、温度上升、相对湿度上升，风速较小时，污染物的浓度就会增加；图 6c、图 6d 显示，春季 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度与温度负相关，可能是春季气压在这段时间内升高、温度稍低、相对湿度下降、风速较大时，污染物的浓度就会相对降低。总体来看，气温在一定程度上为污染物的形成创造了条件。

3.3.4 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 实时质量浓度与相对湿度的关系

为了研究 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度与相对湿度之间的关系，利用线性回归的方法得到相对湿度与污染物质质量浓度的关系图，如图 7 所示。冬季 PM_{2.5}

和 PM₁₀ 的实时质量浓度与相对湿度呈正相关(图 7a、图 7b), 春季 PM_{2.5} 浓度与相对湿度呈正相关(图 7c), 而春季 PM₁₀ 的质量浓度与相对湿度呈负相关(图 7d), 大颗粒物遇水汽降落较快。冬季相对湿度与浓度的相关性较强, 冬季时要加强对雾霾的防护措施。春季 PM₁₀ 与相对湿度呈负相关, 当春天降水较多, 相对湿度比较大的时候,

PM₁₀ 由于粒径较粗, 易于沉降。而 PM_{2.5} 粒径较细, 水汽对于 PM_{2.5} 有吸附作用, 当温度较高时出现的降水, 相对湿度也相对较高, PM_{2.5} 附着在水汽中, 弥漫在空气中不易扩散, 出现雾霾污染, 对人体健康危害极大。各个气象因素之间相互影响, 并不是单一存在的, 在分析单一气象因素时也要考虑其他因素, 使分析更准确。

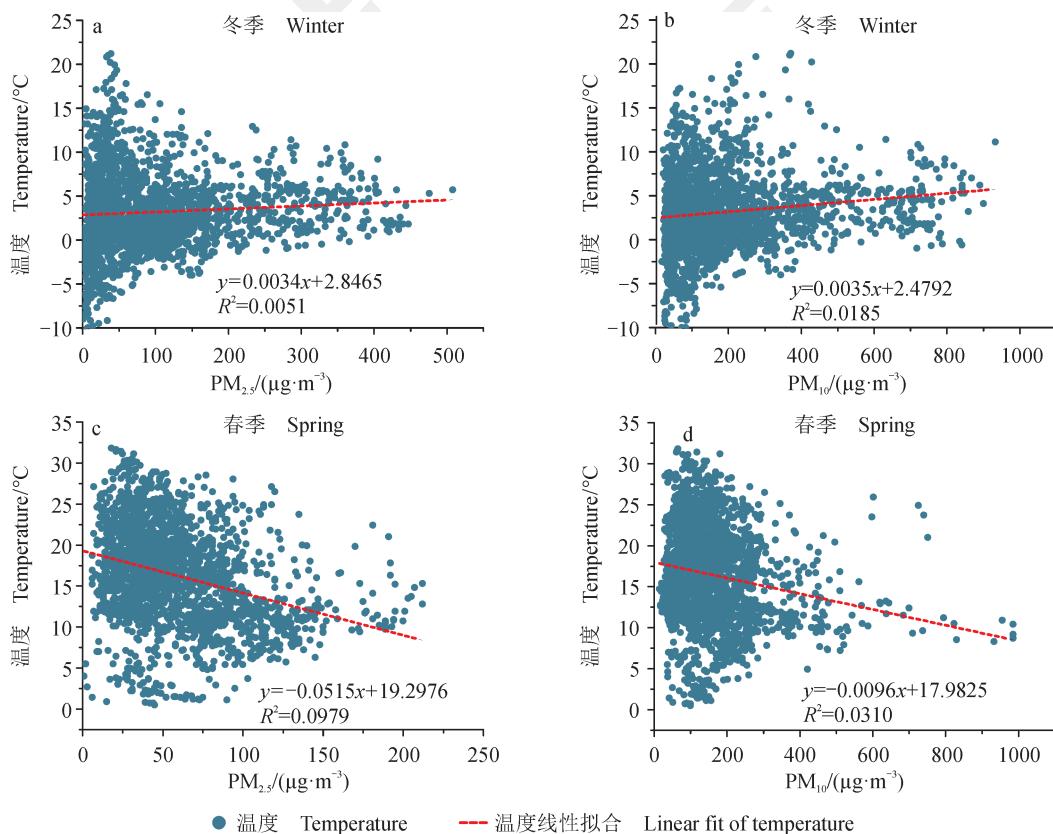


图 6 冬春季 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 与温度的相关性分析图
Fig.6 Correlation of PM_{2.5} and PM₁₀ with temperature in winter and spring

气象因素对污染物的扩散、稀释和积累的作用已经得到了公认(刘大锰等, 2005)。气象要素对大气污染的影响不是单一作用的, 而是通过多种气象要素相互作用、综合反应来产生作用的(吴昊旻等, 2012), 例如风速(Yang et al, 2015)、湿度(Cheng et al, 2015)、降雨(Ouyang et al, 2015)等均影响大气中细颗粒物的浓度。PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的质量浓度与风速、温度、相对湿度的相关性总体来说是较弱的, 在一定程度上为渭南市雾霾的形成创造了条件。

在距地面大约 1.5—2.0 km 容易形成逆温层, 导致高空中的温度高于地面, 因而阻止了底层大

气向高空的垂直运动。与气温呈负相关的主要是逆温层的形成阻碍了空气的流动, 使污染物聚集而不易扩散; 初春季节由于风速较大, 温度降低时对污染物有一定的吹散作用, 大颗粒污染物扩散较为明显。

PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的浓度与相对湿度显著性较强, 与渭南当地的降水情况有很大的关系。空气中的相对湿度较大, 但由于渭南市区地形较封闭, 冬季蒸发较弱, 冬季空气中的相对湿度会增加, 加上渭南常年静风频数增加等不利的气象因素, 空气流动性较差, 从而加重污染物的聚集, 因此 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的质量浓度与相对湿度的相关性较强。

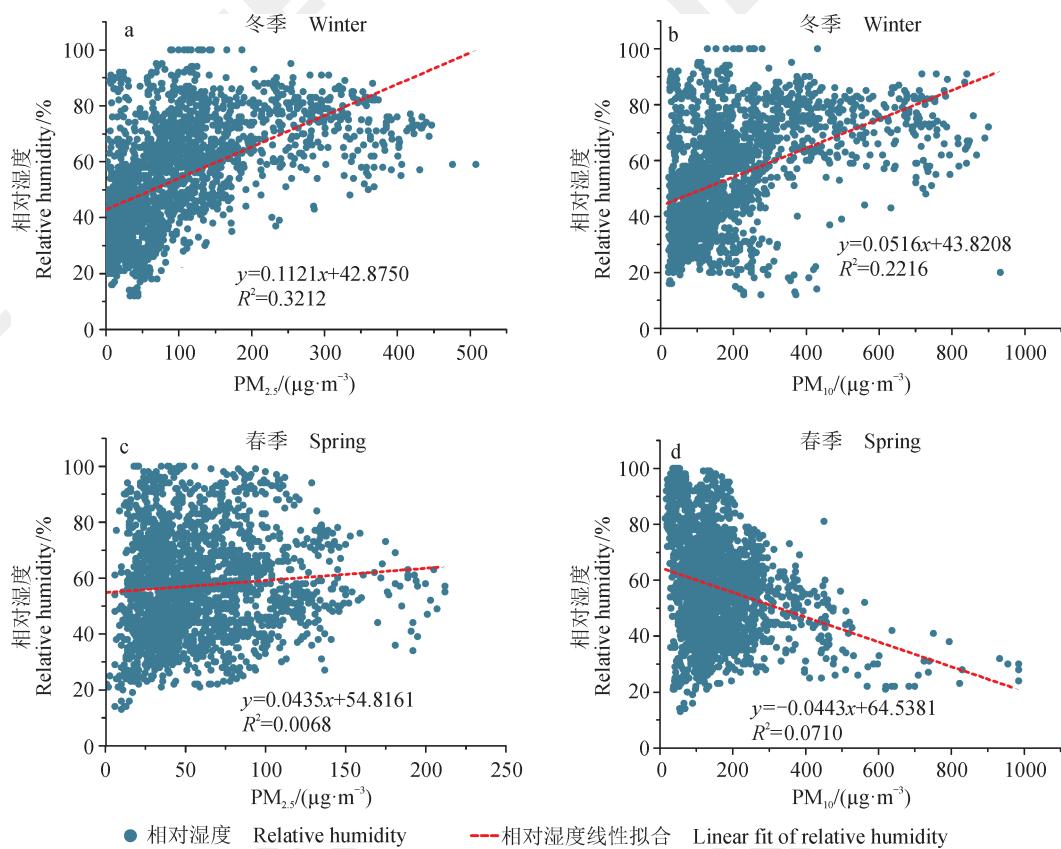


图 7 冬春季节 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 与相对湿度的相关性
Fig. 7 Correlation of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} with relative humidity in winter and spring

4 结论

雾霾的形成因素是非常复杂的，受多方面因素的影响，根据渭南市区的实际情况，气象因素在一定程度上促使了渭南市区雾霾的形成。控制雾霾的物质来源是首要问题。雾霾的根源是造成渭南市区污染严重的“元凶”，而气象因素和渭南市区的地形等因素是“帮凶”。渭南市的各个燃煤企业要安装脱硫脱硝装置，使污染物的排放量降到最低，政府应该实行税收政策，根据各个企业污染物的排放量收取税收，企业要为自己排放的污染物给公众带来的危害买单；对于汽车尾气的排放，鼓励大家使用清洁燃料，或者根据汽车污染物的排放量收税，不能让这些排放污染物成为理所当然，加强法律法规，可以从制度下手，为治理雾霾提供制度保障；对于居民，严禁使用生物燃料以及劣质煤炭，政府可以在这方面作适当的补贴。

渭南市 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的监测资料有限，需要进一步获取数据进行系统分析。

致谢：本研究在收集数据过程中得到了渭南市气象局和渭南市环境保护监测站的支持，在此表示感谢。

参考文献

- 曹军骥 . 2012. 我国 $\text{PM}_{2.5}$ 污染现状与控制对策 [J]. 地球环境学报 , 3(5): 1030–1036. [Cao J J. 2012. Pollution status and control strategies of $\text{PM}_{2.5}$ in China [J]. *Journal of Earth Environment*, 3(5): 1030–1036.]
- 巩英洲 . 2005. 沙尘暴——一种跨区域的大气环境污染 [J]. 中国环境监测 , 21(6): 79–82. [Gong Y Z. 2005. Sandstorm—a cross regional atmospheric environmental pollutants [J]. *China Environmental Monitoring*, 21(6): 79–82.]
- 金军, 王英, 李令军, 等 . 2007. 北京春节期间大气颗粒物污染及影响 [J]. 环境污染与防治 , 29(3): 229–232. [Jin J, Wang Y, Li L J, et al. 2007. Particles pollution and impact caused by fireworks in Beijing during Spring Festival [J]. *Environmental Pollution and Control*, 29(3): 229–232.]

- 李宗恺. 1985. 空气污染气象学原理及应用 [M]. 北京: 气象出版社. [Li Z K. 1985. Principle and application of air pollution meteorology [M]. Beijing: China Meteorological Press.]
- 刘大锰, 马永胜, 高少鹏, 等. 2005. 北京市区春季燃烧源大气颗粒物的污染水平和影响因素 [J]. 现代地质, 19(4): 627–633. [Liu D M, Ma Y S, Gao S P, et al. 2005. The pollution level and affecting factors of atmospheric particulates from combustion during spring in Beijing City [J]. *Geoscience*, 19(4): 627–633.]
- 鲁然英, 田良, 刘铁军, 等. 2005. 沙尘天气对我国城市环境空气质量的影响 [J]. 甘肃科技, 21(2): 1–4. [Lu R Y, Tian L, Liu T J, et al. 2005. Effects of dust weather on air quality of urban environment in China [J]. *Gansu Science and Technology*, 21(2): 1–4.]
- 孟燕军, 程丛兰. 2002. 影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析 [J]. 气象, 28(4): 42–47. [Meng Y J, Cheng C L. 2002. Impact of surface synoptic situations on air pollution in Beijing area [J]. *Meteorology*, 28(4): 42–47.]
- 潘本锋, 汪巍, 李亮, 等. 2013. 我国大中型城市秋冬季节雾霾天气污染特征与成因分析 [J]. 环境与可持续发展, 38(1): 33–36. [Pan B F, Wang W, Li L, et al. 2013. Analysis of the reason of formation and the characteristic of pollution about fog or haze at key cities in autumn and winter in China [J]. *Environment and Sustainable Development*, 38(1): 33–36.]
- 邱玉珺, 牛生杰, 沈建国. 2009. 内蒙古沙地和草地环境下近地面 PM₁₀ 分布特征及其与相关气象要素的关系 [J]. 气候与环境研究, 14(1): 97–104. [Qiu Y J, Niu S J, Shen J G. 2009. Characteristics of PM₁₀ mass concentration and the influence from meteorological factors in different underlying surface conditions in Inner Mongolia [J]. *Climatic and Environmental Research*, 14(1): 97–104.]
- 吴昊旻, 王伟征, 麻碧华, 等. 2012. 丽水市大气污染的时空分布特征及与气象要素的相关分析 [J]. 环境污染与防治, (10): 51–55. [Wu H M, Wang W Z, Ma B H, et al. 2012. Temporal and spatial distributions of air pollutions in Lishui and their correlation with meteorological elements [J]. *Environmental Pollution and Control*, 34(10): 51–55.]
- 徐辉, 石爱军, 王毅. 2009. 北京市区居民区 2007 年至 2009 年春节期间燃放鞭炮噪声数据对比分析 [J]. 中国环境监测, 25(6): 99–103. [Xu H, Shi A J, Wang Y. 2009. Analysis of the firecrackers noise effect on urban residential community of Beijing during the Spring Festival from 2007 to 2009 [J]. *Chinese Environmental Monitoring*, 25(6): 99–103.]
- 赵珂, 曹军骥, 文湘闽. 2011. 西安市大气 PM_{2.5} 污染与城区居民死亡率的关系 [J]. 预防医学情报杂志, 27(4): 257–262. [Zhao K, Cao J J, Wen X M. 2011. Correlation between PM_{2.5} pollution in air and mortality of residents in urban area, Xi'an [J]. *Journal of Preventive Medicine Information*, 27(4): 257–262.]
- 赵文慧, 宫辉力, 赵文吉, 等. 2010. 基于地统计学的北京市可吸入颗粒物时空变异性及气象因素分析 [J]. 环境科学学报, 30(11): 2154–2163. [Zhao W H, Gong H L, Zhao W J, et al. 2010. Spatial and temporal variation of Beijing inhalable particulate matter and its meteorological factors based on geostatistical analysis [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 30(11): 2154–2163.]
- 周悦, 牛生杰, 王存忠, 等. 2011. 半干旱区 PM₁₀ 质量浓度时空分布特征研究 [J]. 中国沙漠, 31(3): 741–749. [Zhou Y, Niu S J, Wang C Z, et al. 2011. Spatiotemporal distribution of mass concentration of PM₁₀ in semiarid area of China [J]. *Chinese Desert*, 31(3): 741–749.]
- Chen S J, Hsieh L T, Kao M J, et al. 2004. Characteristics of particles sampled in southern Taiwan during the Asian dust storm periods in 2000 and 2001 [J]. *Atmospheric Environment*, 38(35): 5925–5934.
- Cheng Y, He K B, Du Z Y, et al. 2015. Humidity plays an important role in the PM_{2.5} pollution in Beijing [J]. *Environmental Pollution*, 197: 68–75.
- Coons T L. 2009. Urban air pollution: Personal exposure and spatial variability of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Denver, Colorado and Xi'an, China [D]. Boulder: University of Colorado: 43–45.
- Fleischer O, Wichmann H, Lorenz W. 1999. Release of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans by setting off fireworks [J]. *Chemosphere*, 39(6): 925–932.
- Koch M. 2000. Airborne fine particulates in the environment: A review of health effect studies, monitoring data and emission inventories [R]. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Lakey P S J, Berkemeier T, Tong H, et al. 2016. Chemical exposure-response relationship between air pollutants and

- reactive oxygen species in the human respiratory tract [J]. *Scientific Reports*, 6. DOI: 10.1038/srep32916.
- Li L. 2014. PM_{2.5} air pollution in china: a technical and administrative analysis of standards [D]. New Orleans, USA: Tulane University: 101–104.
- Monks P S, Granier C, Fuzzi S, et al. 2009. Atmospheric composition change—global and regional air quality [J]. *Atmospheric Environment*, 43(33): 5268–5350.
- Ouyang W, Guo B, Cai G, et al. 2015. The washing effect of precipitation on particulate matter and the pollution dynamics of rainwater in downtown Beijing [J]. *Science of the Total Environment*, 505: 306–314.
- Panyacosit L. 2000. A review of particulate matter and health: focus on developing countries [R]. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Shen Z X, Cao J J, Arimoto R, et al. 2009. Ionic composition of TSP and PM_{2.5} during dust storms and air pollution episodes at Xi'an, China [J]. *Atmospheric Environment*, 43(18): 2911–2918.
- Subramanian M. 2016. Can Delhi save itself from its toxic air? [J]. *Nature International Weekly Journal of Science*, 534(7606): 166–169.
- Wang Y, Zhang R, Saravanan R. 2014. Asian pollution climatically modulates mid-latitude cyclones following hierarchical modelling and observational analysis [J]. *Nature Communications*, 5: 3098. DOI: 10.1038/ncomms4098.
- Yang J, Fu Q, Guo X, et al. 2015. Concentrations and seasonal variation of ambient PM_{2.5} and associated metals at a typical residential area in Beijing, China [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(2): 232–239.
- Zhao S, Tie X, Cao J J, et al. 2015. Impacts of mountains on black carbon aerosol under different synoptic meteorology conditions in the Guanzhong region, China [J]. *Atmospheric Research*, 164/165: 286–296.
- Zhang W J, Zhuang G S, Kan H, et al. 2010. Mixing and transformation of Asian dust with pollution in the two dust storms over the northern China in 2006 [J]. *Atmospheric Environment*, 44(28): 3394–3403.