

乌苏市PM_{2.5}浓度分布特征 及与气象要素相关分析

张 玉¹, 吴 娟², 许 铭³, 杨 丹¹, 靳 晶¹

¹乌苏市气象局, 新疆 乌苏

²乌苏市环境监测站, 新疆 乌苏

³塔城地区气象局, 新疆 塔城

Email: 1207479627@qq.com

收稿日期: 2020年10月14日; 录用日期: 2020年10月27日; 发布日期: 2020年11月3日

摘 要

利用乌苏市2016~2018年PM_{2.5}质量浓度和气象资料, 运用常规统计、Pearson相关分析、T检验分析方法对乌苏市PM_{2.5}浓度分布特征及与气象要素相关性进行分析: 结果表明乌苏市PM_{2.5}质量浓度日变化曲线呈单峰型特征, PM_{2.5}质量浓度的高值区出现在13:00~23:00, 峰值出现在15:00; 1月空气污染最严重; PM_{2.5}质量浓度表现出一定的季节性特征, 冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季, 冬季污染日数占全年的75%, 冬季空气污染达到中度污染水平; 乌苏市PM_{2.5}质量浓度与温度、降水、平均风速、最大风速、日照呈负相关关系; 与相对湿度、气压呈正相关关系。

关键词

乌苏, PM_{2.5}, 气象要素, 相关分析

Correlation Analysis of PM_{2.5} Concentration Distribution Characteristics and Meteorological Factors in Wusu City

Yu Zhang¹, Juan Wu², Ming Xu³, Dan Yang¹, Jing Ji¹

¹Usu Meteorological Bureau, Wusu Xinjiang

²Usu Environmental Monitoring Station, Wusu Xinjiang

³Tacheng Regional Weather Bureau, Tacheng Xinjiang

Email: 1207479627@qq.com

Received: Oct. 14th, 2020; accepted: Oct. 27th, 2020; published: Nov. 3rd, 2020

Abstract

Based on the $PM_{2.5}$ mass concentration and meteorological data of Wusu city from 2016 to 2018, the distribution characteristics of $PM_{2.5}$ concentration and its correlation with meteorological elements were analyzed by using conventional statistics, Pearson correlation analysis and t-test analysis. The results showed that the daily variation curve of $PM_{2.5}$ mass concentration in Wusu city was unimodal, and the high value area of $PM_{2.5}$ mass concentration appeared at 13:00 - 23:00, and the peak appeared at 15:00. The air pollution was the most serious in January; $PM_{2.5}$ concentration showed a certain seasonal characteristics; winter > autumn > spring > summer; winter pollution days accounted for 75% of the whole year; winter air pollution reached moderate pollution level; $PM_{2.5}$ mass concentration in Wusu city was negatively correlated with temperature, precipitation, average wind speed, maximum wind speed and sunshine, and positively correlated with relative humidity and air pressure.

Keywords

Wusu, $PM_{2.5}$, Meteorological Elements, Correlation Analysis

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

$PM_{2.5}$ 指环境空气中空气动力学当量直径 ≤ 2.5 微米的颗粒物,是霾的重要组成成分,其在空气中含量浓度越高,就代表空气污染越严重。 $PM_{2.5}$ 粒径小,活性强,易附带有毒有害物质,且在大气中的停留时间长、输送距离远,因而对人体健康和大气环境质量的影响较大[1]。

近年来随着经济的高速发展,霾现象日趋严重,已成为一种新的灾害性天气[2],霾的形成主要是大气中的气溶胶。主要来源于工业活动、交通运输、化石燃料燃烧等人为源和沙尘等自然源[3][4]。大气环流形势、局地的气象条件不仅影响大气污染物的生成、迁移、扩散和清除,同时也是区域输送的主要外部条件[5][6]。研究指出大气颗粒物浓度水平不仅与污染物的空间分布情况和污染源强度大小有直接关系,还与气象因素密切相关(如风速、降水、温度等)[7];北京地区大气颗粒物浓度水平具有明显的季节特征,冬季大气颗粒物污染最严重,夏季最轻,不同季节影响颗粒物浓度的气象因素各不相同,其中风速和日照时数为主要影响因素[8]。京津冀地区 $PM_{2.5}$ 质量浓度呈现出“U”形起伏的变化规律,1月、3月和10~12月 $PM_{2.5}$ 日均值超标率高于40% [9]。武汉市 $PM_{2.5}$ 污染表现出显著的时间分布规律,季节尺度上冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季[10];南京市冬春季颗粒物浓度日变化曲线呈双峰双谷型, $PM_{2.5}$ 浓度在10:00~12:00达到第一个峰值,23:00达到第二个峰值, $PM_{2.5}$ 与风速呈负相关关系,与降雨清除量呈正相关关系,相对湿度达到75%左右时污染最严重[11]。

新疆地处我国西北部,但却是我国空气污染最为严重的地区之一,尤其在准噶尔盆地西南缘的乌苏市,其与工业发达地区奎屯市、独山子为邻,近年来随着经济的不断发展和乌苏市产业园区的发展特点,空气质量严重下降。而关于乌苏市空气质量研究甚少,因而从污染防治治理、空气污染预报等角度,开展空气污染的研究具有积极的意义和十分的必要性。

2. 资料与方法

2.1. 研究区概况

乌苏市(83°~85°E, 43°~45°N)位于天山北麓, 地处北温带干旱地区, 属典型大陆性气候, 地势南高北低, 与独山子、奎屯工业较发达城市毗邻, 乌苏市位于独山子的西北方向, 奎屯的偏西方向。直线距离 20~30 km。奎-独-乌是北疆冬季雾霾影响的主要区域, 受乌苏地形和冬季大气环流等共同影响, 乌苏冬季阴雾阴雪天气成为当地气候的主要特点。年平均温度 8.5℃, 年降水量 183.5 mm, 年平均相对湿度 59%。

2.2. 资料

研究所选用的资料是乌苏国家基准气候站和乌苏市环保局站点(2016~2018年)资料, 所用数据经过了严格的质量控制。本文分析的气象要素包括温度、相对湿度、气压、降水(20时至次日20时)、2分钟平均风速、最大风速、日照时数。 $PM_{2.5}$ 质量浓度为逐小时数据, 取日平均值为日均值, 月平均值为月均值, 时间为北京时。

2.3. 研究方法

本文利用气候学的划分方法将3~5月定为春季、6~8月定为夏季、9~11月定为秋季、12月至次年2月定为冬季。根据国家《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ633-2012)中空气质量指数分级标准, 将 $PM_{2.5}$ 质量浓度低于 $75 \mu g \cdot m^{-3}$ 定为无污染, 高于 $75 \mu g \cdot m^{-3}$ 定为有污染, 取 $PM_{2.5}$ 质量浓度 $75 \sim 115 \mu g \cdot m^{-3}$ 为空气质量轻度污染, $115 \sim 150 \mu g \cdot m^{-3}$ 为空气质量中度污染, 大于 $150 \mu g \cdot m^{-3}$ 为重度污染。

3. 结果与分析

3.1. $PM_{2.5}$ 质量浓度时间分布特征

3.1.1. $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化特征

图1为乌苏市 $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化特征, 整体上看, $PM_{2.5}$ 质量浓度的日变化曲线呈现明显的单峰型特征, 冬季极为显著。冬季日变化和全年日变化曲线极为相似, 具体分析来看, 高值区均出现在13:00~23:00, 峰值出现在15:00(全年 $59 \mu g \cdot m^{-3}$; 冬季 $154 \mu g \cdot m^{-3}$), 低值区均出现在00:00~12:00, 最低值出现在06:00(全年 $43 \mu g \cdot m^{-3}$; 冬季 $104 \mu g \cdot m^{-3}$); 春夏秋三季的日变化曲线波动不明显, 且低于全年平均水平, 除冬季外, 其余各季的 $PM_{2.5}$ 时均值均达到空气质量优良标准。13:00至凌晨02:00是空气污染的高发时间, 而深夜至清晨是环境质量较好时段。 $PM_{2.5}$ 质量浓度从季节分布上冬季($126 \mu g \cdot m^{-3}$) > 秋季($36 \mu g \cdot m^{-3}$) > 春季($32 \mu g \cdot m^{-3}$) > 夏季($14 \mu g \cdot m^{-3}$)。其中冬季空气污染达到中度污染水平, 夏季空气质量较好。

3.1.2. $PM_{2.5}$ 质量浓度月分布特征

图2为乌苏市 $PM_{2.5}$ 质量浓度月分布特征, 11月至次年3月是污染日数较多月份, 且从11月开始污染日数逐月增加, 到次年1月达到最多(25天, 所占比例81%), 而后逐月下降; 1月 $PM_{2.5}$ 质量浓度为 $121 \mu g \cdot m^{-3}$, 达到中度污染水平; 4月至10月为无污染日数月份, 空气质量较好。全年污染日数65天, 其中轻度污染29天, 中度污染13天, 重度污染23天, 重度污染日均集中在冬季。因此乌苏冬季是大气污染防治的主要季节。

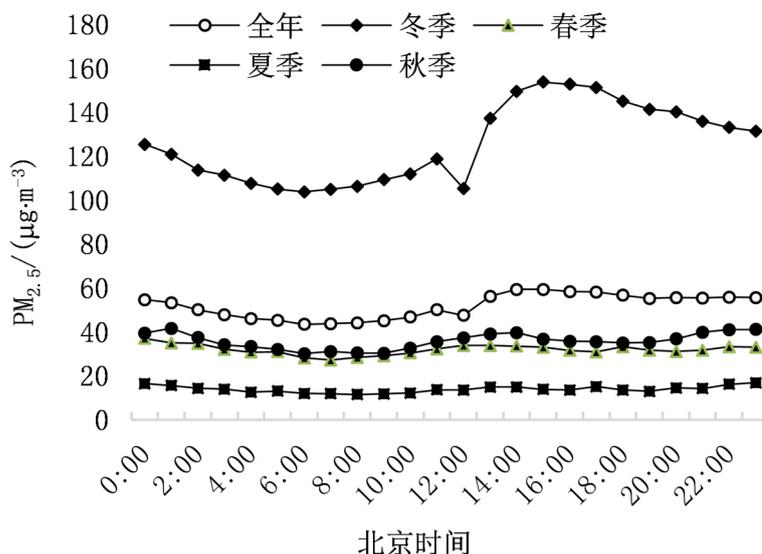


Figure 1. Daily variation of PM_{2.5} concentration in Wusu city

图 1. 乌苏市 PM_{2.5} 质量浓度日变化

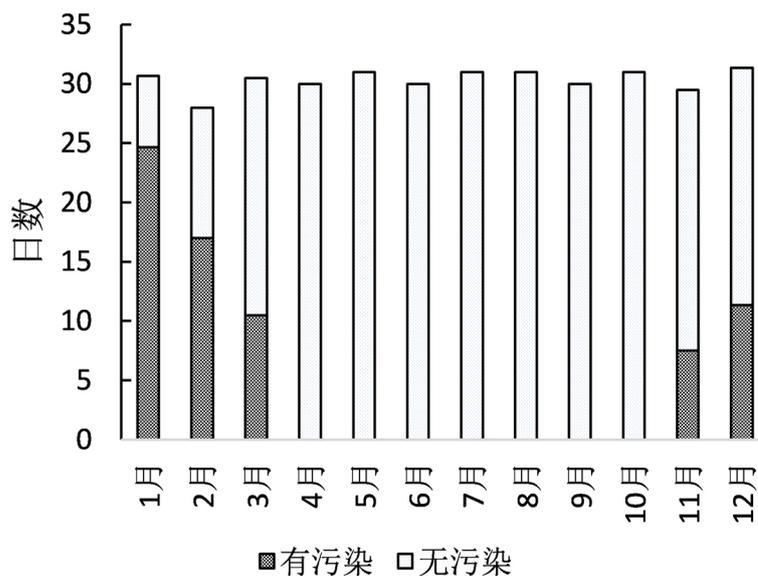


Figure 2. Monthly distribution characteristics of PM_{2.5} concentration in Wusu city

图 2. 乌苏市 PM_{2.5} 质量浓度月分布特征

3.2. PM_{2.5} 质量浓度与各气象要素之间的关系

3.2.1. PM_{2.5} 质量浓度与各气象要素相关分析

选取 PM_{2.5} 质量浓度与气象要素进行相关分析，结果见表 1。

Table 1. Pearson correlation analysis results

表 1. Pearson 相关分析结果

	温度	相对湿度	降水	平均风速	最大风速	气压	日照
PM _{2.5}	-0.870**	0.797**	-0.284*	-0.729**	-0.753**	0.795**	-0.780**

**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

通过分析结果可以看出, $PM_{2.5}$ 质量浓度与温度、平均风速、最大风速、日照呈显著($P < 0.01$)负相关关系; 与相对湿度、气压呈显著($P < 0.01$)正相关关系。与降水呈负相关关系($P < 0.05$)。

3.2.2. $PM_{2.5}$ 与温度、相对湿度

图 3 显示的是 $PM_{2.5}$ 与温度、相对湿度之间的关系。从图中可以看出随着温度的逐渐下降, $PM_{2.5}$ 质量浓度增加趋势显著, 说明低温条件下对 $PM_{2.5}$ 的形成有一定的促进作用。而随着相对湿度增大, $PM_{2.5}$ 质量浓度增加。当相对湿度 $\geq 70\%$ 时, $PM_{2.5}$ 浓度上升明显, 当有大雾天气时, 由于大气层结稳定, 空气中湿度接近饱和, 为颗粒物提供更多的凝结核, 对污染物的形成和积聚提供有利气象条件, 加剧大气污染。因而人工消雾是减少大气污染的途径之一。

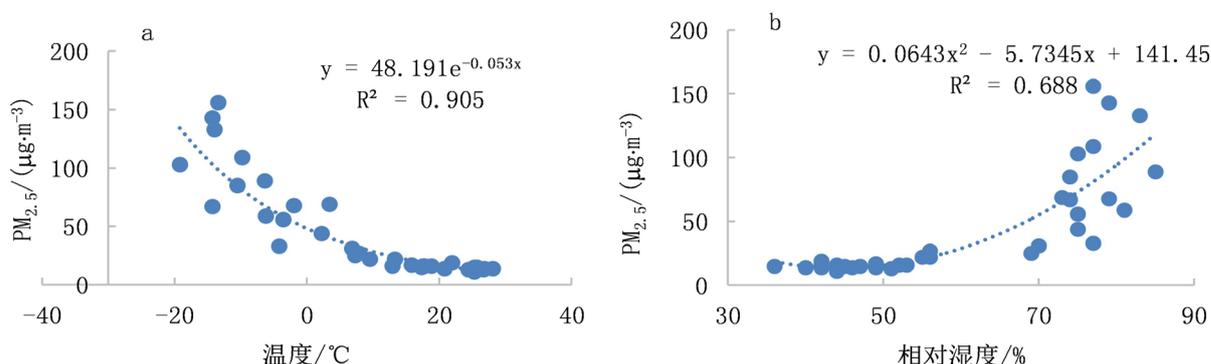


Figure 3. Relationship between $PM_{2.5}$ mass concentration and temperature (a) and relative humidity (b)

图 3. $PM_{2.5}$ 质量浓度与温度(a)、相对湿度(b)之间的关系

3.2.3. $PM_{2.5}$ 与风速

图 4 显示的是 $PM_{2.5}$ 质量浓度与平均风速和最大风速之间的关系, 随着风速的逐渐增强, $PM_{2.5}$ 下降明显, 最大风速对 $PM_{2.5}$ 的影响较为显著。风速较小时, 为静风或微风时, 对污染物的驱散不利; 当最大风速大于 $4 m/s$ 时, 才能有效减少大气污染, 风速越大, 越有利于污染物扩散到高空或更远的地区, 从而减轻主城区的污染状况。

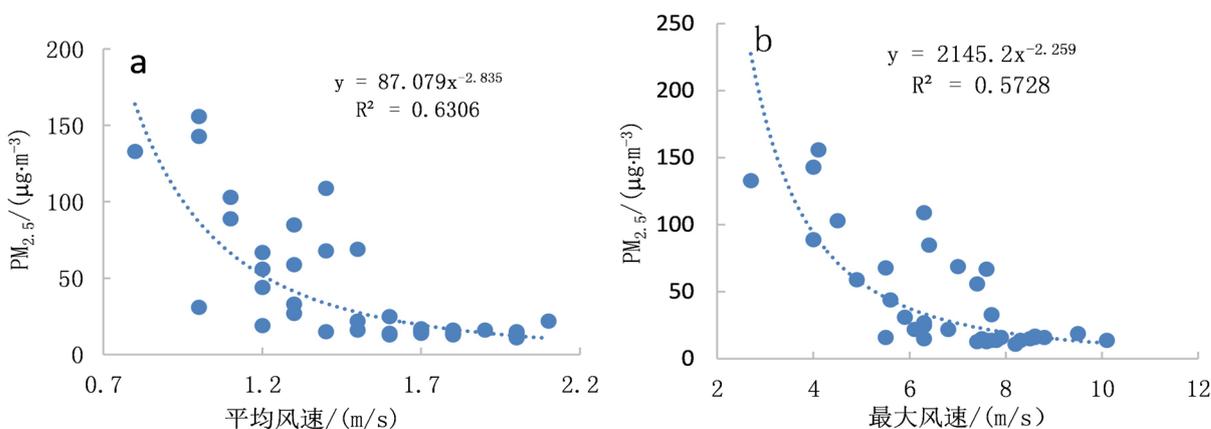


Figure 4. Relationship between $PM_{2.5}$ mass concentration and average wind speed (a) and maximum wind speed (b)

图 4. $PM_{2.5}$ 质量浓度与平均风速(a)、最大风速(b)之间的关系

3.2.4. $PM_{2.5}$ 与降水

图 5 显示 $PM_{2.5}$ 与降水的关系, 从图中可以看出当有降水发生时, $PM_{2.5}$ 质量浓度并不是随之减少。

当日降水量为微量降水(≤ 0.3 mm)时,几乎不能对颗粒物产生清除作用,反而对颗粒物的形成有促进作用;当日降水量 < 1 mm 时,对 $PM_{2.5}$ 清除效果不明显;当日降水量大于 3 mm 时,对 $PM_{2.5}$ 有明显的清除作用,降水量越大,对颗粒物的清除效果越显著,从而降低大气中 $PM_{2.5}$ 的浓度,说明一定量的降水对大气颗粒物有明显的沉降作用。

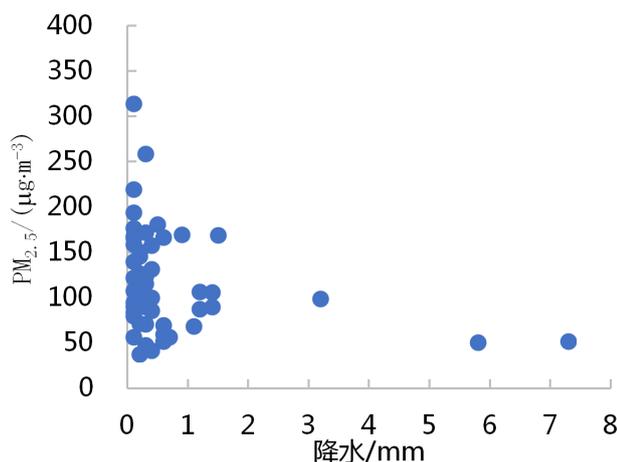


Figure 5. Relationship between $PM_{2.5}$ mass concentration and precipitation

图 5. $PM_{2.5}$ 质量浓度与降水之间的关系

3.2.5. $PM_{2.5}$ 与气压、日照

图 6 显示的是 $PM_{2.5}$ 质量浓度与气压、日照的关系,从图中可以看出 $PM_{2.5}$ 随着气压的升高,浓度逐渐增大,当气压升至 970 hpa 时,更有利于 $PM_{2.5}$ 的积聚,这是因为当大气处于高压控制时,由于太阳辐射的作用,近地面水汽充沛,易形成逆温层,为 $PM_{2.5}$ 的积聚提供有利气象条件; $PM_{2.5}$ 随着日照时数的增加,下降趋势明显,说明晴朗的天气,大气的垂直扩散度较好, $PM_{2.5}$ 易扩散不易积聚。

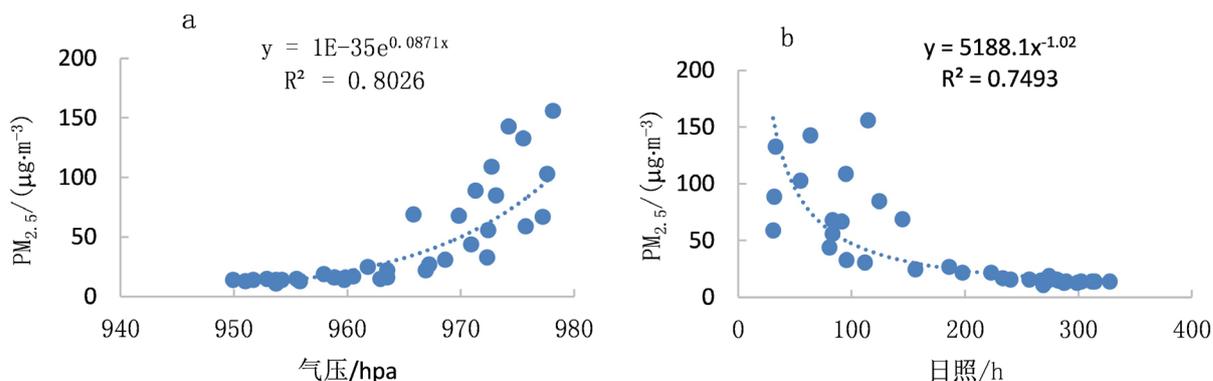


Figure 6. Relationship between $PM_{2.5}$ mass concentration and air pressure (a) and sunshine (b)

图 6. $PM_{2.5}$ 质量浓度与气压(a)、日照(b)之间的关系

4. 结论与讨论

本文利用乌苏市 2016~2018 年 $PM_{2.5}$ 质量浓度和气象资料,运用统计学方法,对乌苏市 $PM_{2.5}$ 浓度分布特征及与气象要素相关性进行分析,主要结论如下:

- 1) 乌苏市 $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化曲线呈单峰型,冬季 $PM_{2.5}$ 的日变化曲线波动性更明显,且浓度明显

高于其它季节。 $PM_{2.5}$ 质量浓度的高值区出现在13:00~23:00,峰值出现在15:00,低值区出现在00:00~12:00,最低值出现在06:00。

2) 乌苏市空气污染主要集中在11月至次年3月,1月最为严重($121 \mu g \cdot m^{-3}$),达到中度污染水平;4月至10月空气质量较好。全年污染日数65天,其中重度污染23天且均集中在冬季,冬季污染日数占全年的75%。

3) 乌苏市 $PM_{2.5}$ 质量浓度表现出一定的季节性特征,冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季,由于乌苏冬季漫长,车辆是出行的主要交通工具,汽车尾气排放量明显增加;冬季主要依靠燃煤供热,因此向大气中排放的污染物增加;受大气环流影响,乌苏冬季处在蒙古高压底部,下垫面易形成逆温层,大气层结相对稳定,污染物不易扩散,然而经过辐射冷却后,会形成一个高湿环境,对污染物的积累有促进作用。

4) 乌苏市 $PM_{2.5}$ 质量浓度与温度、降水、平均风速、最大风速、日照呈负相关关系;与相对湿度、气压呈正相关关系;当日降水量为微量降水时有利于 $PM_{2.5}$ 的积累,对 $PM_{2.5}$ 清除效果不明显;当日降水量大于3 mm 时对 $PM_{2.5}$ 有明显的清除作用,降水量越大,对 $PM_{2.5}$ 的清除效果显著,因此湿沉降可有效防控大气污染;相对湿度增大,空气中的颗粒物易形成更多的凝结核,从而加大了气溶胶颗粒的吸湿体积,进而加重空气污染;最大风速对 $PM_{2.5}$ 有明显的驱散作用。从大气污染防治的角度来看,合理建设城市风道可有效改善大气环境[1]。

参考文献

- [1] 王海畅, 吴泽邦, 周景博, 等. 北京上甸子站 $PM_{2.5}$ 浓度与气象要素关系分析[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(5): 99-104.
- [2] 吴兑. 再论都市霾与雾的区别[J]. 气象, 2006, 32(4): 9-15.
- [3] 周一敏, 赵昕奕. 北京地区 $PM_{2.5}$ 浓度与气象要素的相关分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2017, 47(1): 607-612.
- [4] 卓鸿, 张伟, 袁铭芳, 等. 华北霾日的时空分布特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 72-79.
- [5] 李璇, 聂滕, 齐珺, 等. 2013年1月北京市 $PM_{2.5}$ 区域来源解析[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1148-1153.
- [6] 廖晓农, 孙兆彬, 唐宜西, 等. 高空偏北风背景下北京地区高污染形成的环境气象机制研究[J]. 环境科学, 2015, 36(3): 801-808.
- [7] 李宗恺, 潘云仙, 孙澜桥. 空气污染气象学原理及应用[M]. 北京: 气象出版社, 1985: 557-569.
- [8] 王嫣然, 张学霞, 赵静瑶, 等. 北京地区不同季节 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度对地面气象因素的响应[J]. 中国环境监测, 2017, 33(2): 35-41.
- [9] 杨兴川, 赵文吉, 熊秋林, 王丽丽, 赵文慧. 2016年京津冀地区 $PM_{2.5}$ 时空分布特征及其与气象因素的关系[J]. 生态环境学报, 2017, 26(10): 1747-1754.
- [10] 黄亚林, 刘超, 曾克峰, 丁镭, 程胜高. 2013-2014年武汉市 $PM_{2.5}$ 的时空分布特征及其与气象条件的关系[J]. 生态环境学报, 2015, 24(8): 1330-1335.
- [11] 张玮, 郭胜利, 等. 南京地区 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度分布特征与相关气象条件分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(4): 1671-1815.