

内蒙古自治区 2016 年 PM_{2.5} 时空分布*

张丽华¹ 冉祥玉¹ 包玉海¹ 李志珍¹ 姜超²

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2. 内蒙古工业大学 理学院, 呼和浩特 010051)

摘要: 研究了内蒙古自治区 2016 年 PM_{2.5} 浓度时空分布规律及 PM_{2.5} 与其前体物之间的关系。结果表明, 内蒙古自治区 PM_{2.5} 浓度具有一定的时空分布特征, 并与气象条件、污染物排放及前体物二次转化均有关联。时间上, PM_{2.5} 日浓度变化曲线呈双峰型分布, 两个峰值时段分别为 10:00—12:00、23:00—翌日 01:00, PM_{2.5} 月均浓度曲线呈“U”形分布, 在 8 月最低; 空间上, 内蒙古自治区 PM_{2.5} 浓度由高到低的区域依次为中部、西部、东部; PM_{2.5} 小时浓度与其前体物 NO₂、SO₂ 小时浓度均为显著正相关, 说明前体物对 PM_{2.5} 浓度变化影响显著。研究结论可为内蒙古自治区大气污染环境治理提供参考。

关键词: PM_{2.5} 浓度; 时空分布; PM_{2.5} 前体物; 相关性分析; 内蒙古自治区

DOI: 10.13205/j.hjgc.201812028

THE TEMPORAL AND SPATIAL DISTRIBUTION OF PM_{2.5} IN INNER MONGOLIA AUTONOMOUS REGION IN 2016

ZHANG Li-hua¹, RAN Xiang-yu¹, BAO Yu-hai¹, LI Zhi-zhen¹, JIANG Chao²

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

2. College of Science, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

Abstract: In this paper, the temporal and spatial distribution of PM_{2.5} concentration in Inner Mongolia Autonomous Region and the relationship between PM_{2.5} and its precursors are studied. The results show that PM_{2.5} concentration has certain temporal and spatial distribution characteristics, and is associated with meteorological conditions, emission of pollutants and secondary transformation of precursors. In temporal, the daily concentration curve of PM_{2.5} is double-peak type with two peak periods of 10:00 am to 12:00 am and 23:00 pm to 1:00 am of the next day; and the monthly average concentration curve of PM_{2.5} is “U” type with the minimum value in August. In spatial, the PM_{2.5} concentrations in different regions of Inner Mongolia decrease in the order of central region, western region and eastern region. Hourly concentration of PM_{2.5} has remarkable positive relation with hourly concentrations of its precursors, i. e. NO₂, SO₂, which indicates that precursors have significant impact on PM_{2.5} concentration. The conclusions of this paper can provide important scientific basis for atmospheric pollution control in the Inner Mongolia Autonomous Region.

Keywords: PM_{2.5} concentration; temporal and spatial distribution; precursors of PM_{2.5}; correlation analysis; inner mongolia autonomous region

0 引言

近年来, 随着我国社会经济的快速发展, 空气污染尤其是 PM_{2.5} 的污染形势严峻。PM_{2.5} 是空气动力学当量直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的细颗粒物, 由直接排入空气

中的一次粒子和空气中的 NO₂、SO₂ 等气态前体物通过化学反应生成的二次粒子组成, 已成为评价我国城市空气污染程度的重要指标。其粒径小、相对表面积大、活性强, 被人体吸入后易引发呼吸道系统疾病, 因而引起社会的广泛关注^[1]。已有大量学者对北京、石家庄、武汉、西安等城市不同时期的 PM_{2.5} 的化学成分组成、时空变化特征、污染源等方面进行研究, 并进一步分析了 PM_{2.5} 与气象因素、气态前体物、气溶胶等

* 国家自然科学基金重点项目(61631011); 内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目重点项目(NJZZ16041); 内蒙古自然科学基金(2016MS0408); 中国国家留学基金资助。

收稿日期: 2018-02-25

之间的关系^[2-6]。内蒙古自治区是北京乃至全国的北方生态安全屏障,近几年内蒙古自治区 $PM_{2.5}$ 污染呈逐年上升的趋势,但缺乏对其大气污染尤其是全区 $PM_{2.5}$ 时空分布的研究。

本文以内蒙古自治区 2016 年的 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3 小时浓度数据为基础,研究了该区 $PM_{2.5}$ 的时空分布特征,将 $PM_{2.5}$ 浓度与气态前体物进行相关性分析,确定气态前体物对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响,为内蒙古自治区 $PM_{2.5}$ 污染监测及防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古自治区(简称内蒙古)地处我国最北端,位于北纬 $37^{\circ}24'$ — $53^{\circ}23'$,东经 $97^{\circ}10'$ — $126^{\circ}29'$ 之间,全区海拔 1 000 m 以上,地势西南高、东北低。多年平均风速为 1.4~5.5 m/s,其中,以春季风速最大,冬季风速次之。春季平均风速为 2.2~6.5 m/s,大部地区风速在 4.0 m/s 以上。内蒙古东西方向狭长,气候、地貌类型多变^[7]。同时结合经济发展将站点所在盟市划分为蒙东、蒙中、蒙西三个地区,如图 1 所示。

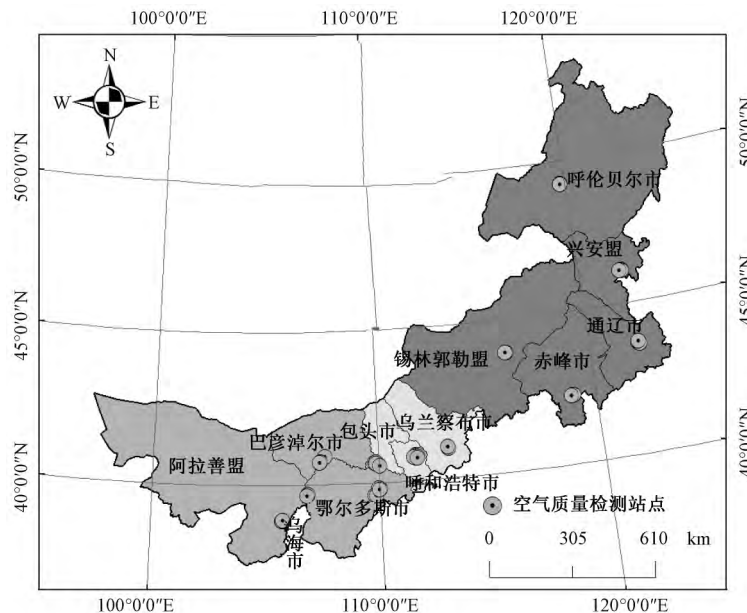


图 1 内蒙古盟市及空气质量监测站点位置

Fig. 1 Location of Inner Mongolia cities and air quality monitoring stations

近几年 $PM_{2.5}$ 对内蒙古多个城市造成严重大气污染,对人类工作活动及身体健康造成重大威胁。例如,包头市 2016 年 1、3、12 月 $PM_{2.5}$ 浓度最大值分别为 163、133、181 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,通辽市、巴彦淖尔市 2016 年 12 月 $PM_{2.5}$ 浓度最大值分别为 176、188 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2016 年 11、12 月全区超过 $PM_{2.5}$ 24 h 平均一级浓度限值的天数分别为 22、21 天。而内蒙古的生态环境与东北、华北甚至全国的生态环境紧密相联,因此,对内蒙古 $PM_{2.5}$ 时空分布特征的研究具有重要意义。

1.2 数据来源及研究方法

1.2.1 数据来源

本文选取的 2016 年 1 月 1 日—12 月 31 日 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3 等小时浓度数据均来自全国城市空气质量实时发布平台^[8],全天候自动监测空气质量。内蒙古共设 44 个空气质量监测站点,站点分布

如图 1 所示。

1.2.2 研究方法

根据 GB 3095—2012《环境空气质量标准》, $PM_{2.5}$ 24 h 平均一、二级浓度限值分别为 35、75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。本文所选 44 个空气质量监测站点大部分位于城市,属于标准规定的二类区,执行二级标准。根据内蒙古的气候条件对 2016 年月份进行划分,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,1、2、12 月为冬季。对统计得到的日均浓度值、月均浓度值、季均浓度值进行污染水平分析。

对内蒙古 $PM_{2.5}$ 浓度的分布采用空间插值中的反距离加权插值法进行可视化展示。反距离加权插值法是一种以相近相似原理为基础、以距离为权重的空间插值方法。插值精度可以满足研究需要,且视图效果较好。

因本文所使用的数据是随时间连续变化的,所以

选择适用于连续变量或等间距变量的皮尔逊相关性分析方法,完成内蒙古 $PM_{2.5}$ 小时浓度数据和 NO_2 、 SO_2 、 O_3 小时浓度数据的相关性分析,检验前体物对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响。

2 结果分析

2.1 内蒙古 $PM_{2.5}$ 时间分布规律

2.1.1 内蒙古 $PM_{2.5}$ 日浓度变化规律

根据各监测站点的 $PM_{2.5}$ 数据得到内蒙古四季及

全年的 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线,如图2所示。整体上,全区 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线呈双峰型分布,峰值分别出现在 10:00—12:00、23:00—翌日 01:00。2 个波峰的出现与气象条件及污染物排放均有关联,早晚空气温度低,易出现逆温现象,且污染气体排放增多,不利于污染物扩散,导致 $PM_{2.5}$ 浓度升高。随着太阳直射温度升高,大气垂直对流加强,扩散速率加快,下午 $PM_{2.5}$ 浓度值较小,16:00—17:00 达到最低值。

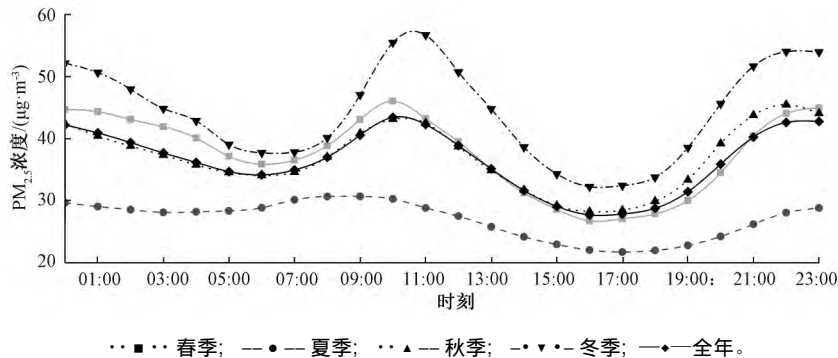


图2 各季节及全年内蒙古 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线

Fig. 2 Daily concentration curve of $PM_{2.5}$ in four seasons and whole year

周末活动、生产强度比工作日小,空气中颗粒物浓度明显降低,产生“周末效应”^[9],节假日也可能具有类似的规律,因此将周末与节假日统称为非工作日,其余日期为工作日。内蒙古四季的工作日与非工作日 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线如图3所示。春、夏、秋季非工作日与工作日的 $PM_{2.5}$ 小时浓度基本持平;冬季非工作日的 $PM_{2.5}$ 小时浓度明显高于工作日,主要因为2016年2月8日为春节,春节前后燃放大量的烟花爆竹,空气中颗粒物浓度升高。因此非工作日的 $PM_{2.5}$ 浓度并未出现与“周末效应”相似的规律。

2.1.2 内蒙古 $PM_{2.5}$ 月变化规律

内蒙古2016年 $PM_{2.5}$ 月均浓度整体呈“U”形起伏特征,如图4所示。1—4月中旬及10月中旬—12月为采暖期,燃煤取暖仍是内蒙古大多数地区的主要供暖方式,煤的燃烧产生大量颗粒物。3月受采暖期燃煤和春季沙尘天气的双重影响,颗粒物浓度上升, $PM_{2.5}$ 月均浓度值增大;10—12月温度骤降,燃煤量增多, $PM_{2.5}$ 月均浓度大幅度升高,最大值出现在12月,浓度值为 $76.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。4月中旬—10月中旬为非采暖期,燃煤排放的颗粒物少,夏季气压降低,垂直对流增强,利于颗粒物的扩散。 $PM_{2.5}$ 月均浓度整体呈下降趋势,8月 $PM_{2.5}$ 月均浓度值达到最低,浓度值为 $24.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。内蒙古 $PM_{2.5}$ 季均浓度值为:冬季最高

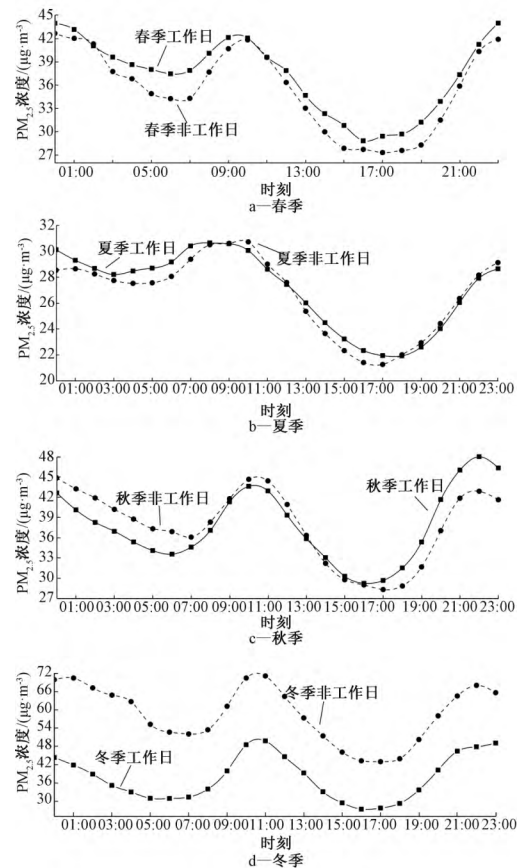


图3 四季工作日与非工作日 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线

Fig. 3 Daily concentration curve of $PM_{2.5}$ in four seasons working days and non-working days

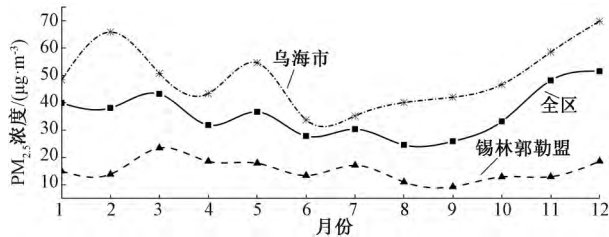


图 4 全区、乌海市、锡林郭勒盟 PM_{2.5} 月均浓度

Fig. 4 PM_{2.5} monthly average concentration in whole region, Wuhai and Xilingol

为 44.3 μg/m³, 春秋次之分别为 37.6, 37.0 μg/m³, 夏季最低为 26.9 μg/m³。

全区 PM_{2.5} 月均浓度值在 7、8 月逐渐走低, 8 月最低, 但乌海市的 PM_{2.5} 月均浓度在 7、8 月呈上升趋势, 8 月 PM_{2.5} 平均浓度值为 40.1 μg/m³, 超过全区

8 月 PM_{2.5} 平均浓度值 15.8 μg/m³, 如图 4 所示, 主要因为乌海市为重工业城市, 大量排放的废气中颗粒物浓度较高。锡林郭勒盟 PM_{2.5} 月均浓度值均偏低, 浓度值为 9.3 ~ 23.5 μg/m³, 浮动较小, 是全区 PM_{2.5} 浓度最小的盟市, 主要是因为锡林郭勒盟以畜牧业为支柱产业, PM_{2.5} 产生源很少。

2.2 内蒙古 PM_{2.5} 空间分布规律

运用反距离加权插值法得到内蒙古各季节 PM_{2.5} 空间浓度分布, 为使插值更加精确, 另选取内蒙古周边齐齐哈尔市、白城市、张掖市等 10 个相邻城市的监测点进行空间插值。内蒙古四季的 PM_{2.5} 空间浓度分布如图 5 所示。整体上, PM_{2.5} 浓度值从大到小排列的区域顺序为蒙中、蒙西、蒙东, 浓度空间梯度变化明显。

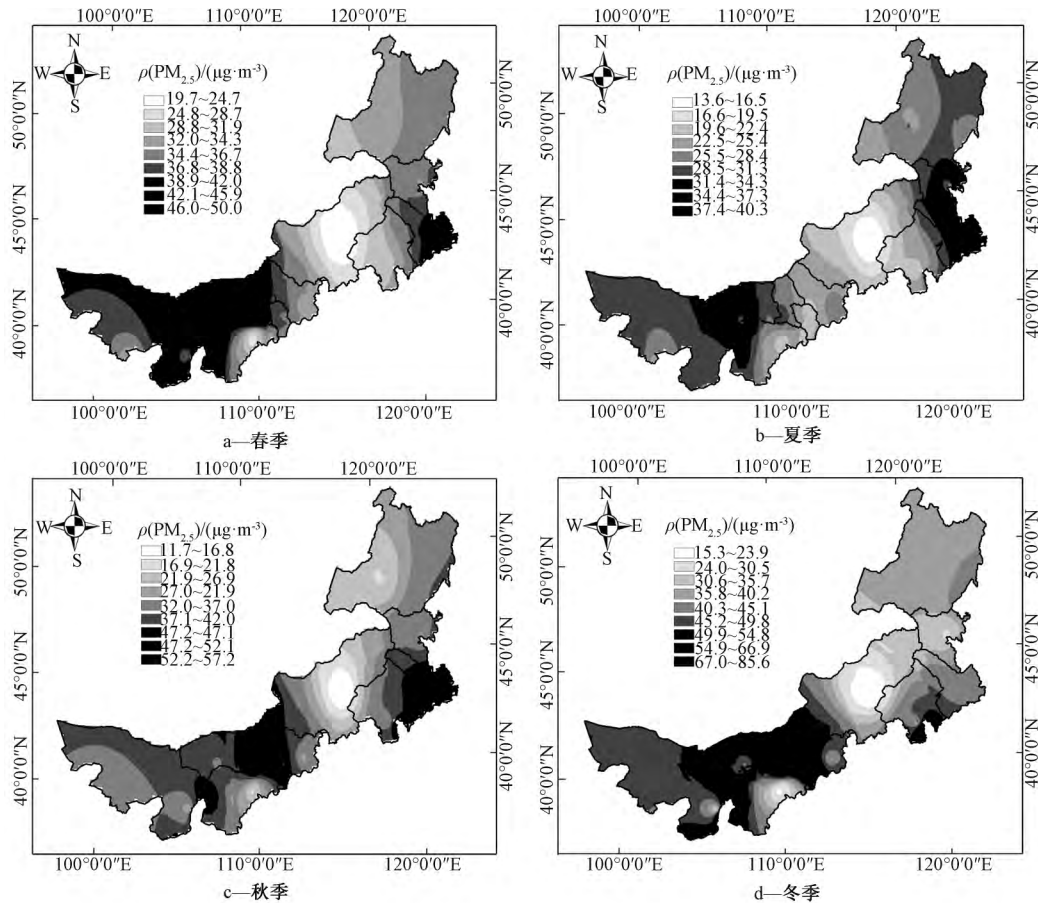


图 5 各季节内蒙古 PM_{2.5} 浓度空间插值分布

Fig. 5 Distribution of spatial interpolation of PM_{2.5} concentration in four seasons in Inner Mongolia

2.2.1 PM_{2.5} 季节性空间分布特征

蒙东地区的通辽、兴安盟位于辽宁、吉林等重工业发达省份的西北方向, 夏季、秋季盛行的东南风将颗粒物吹向通辽等地, 导致 PM_{2.5} 浓度偏高。蒙西地

区春季 PM_{2.5} 浓度明显高于蒙东地区, 主要是因为蒙西地区春季扬尘多, 而蒙东地区草原面积大, 空气中的颗粒物少。如蒙东地区的锡林郭勒盟春季污染天数仅 10 d, 而蒙中地区的包头市、蒙西地区的巴彦淖

尔市春季污染天数分别为 35、22 d。冬季蒙中地区的呼和浩特市、包头市 $PM_{2.5}$ 平均浓度值偏高,分别为 57.3、59.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,比全区冬季 $PM_{2.5}$ 平均浓度值分别高出 29.3%、33.9%。

2.2.2 $PM_{2.5}$ 日变化空间分布特征

蒙西、蒙中、蒙东地区 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线趋势相近,均呈双峰型分布,如图 6 所示。蒙中的 $PM_{2.5}$ 小时浓度峰值均高于蒙西、蒙东,且第 1 个高峰时间持续较长,比蒙西、蒙东多约 2 h;蒙东的 $PM_{2.5}$ 小时浓度变化幅度比蒙西大,该变化趋势与区域地貌类型、气候条件、区域发展有关。

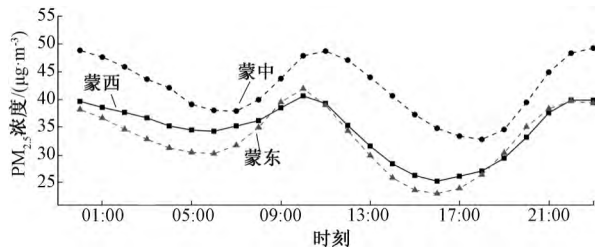


图 6 蒙西、蒙中、蒙东地区 $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线

Fig. 6 Daily concentration curve of $PM_{2.5}$ in the western, central, eastern of Inner Mongolia

2.3 $PM_{2.5}$ 与前体物相关性分析

前体物 NO_2 、 SO_2 通过光化学反应二次转化生成的 NO_3^- 与 SO_4^{2-} 两种无机盐是 $PM_{2.5}$ 的重要组成部分,对蒙西、蒙中、蒙东地区及内蒙古全区的 $PM_{2.5}$ 小时浓度分别与 NO_2 、 SO_2 、 O_3 小时浓度进行皮尔逊相关性分析,如表 1 所示。

表 1 内蒙古 2016 年不同地区 $PM_{2.5}$ 小时浓度与 NO_2 、 SO_2 、 O_3 相关系数

Table 1 Correlation coefficients of $PM_{2.5}$ hourly concentration and SO_2 , NO_2 , O_3 in different regions of Inner Mongolia in 2016

项目	NO_2	SO_2	O_3
$PM_{2.5}$ (蒙西)	0.772**	0.706**	-0.765**
$PM_{2.5}$ (蒙中)	0.449*	0.420*	-0.397
$PM_{2.5}$ (蒙东)	0.465*	0.721**	-0.515**
$PM_{2.5}$ (全区)	0.627**	0.647**	-0.579**

注: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。

由表 1 可知:各地区 $PM_{2.5}$ 小时浓度与 NO_2 、 SO_2 小时浓度均呈正相关关系,并通过 0.05 水平显著性检验;全区 $PM_{2.5}$ 小时浓度与 NO_2 、 SO_2 小时浓度相关

系数分别为 0.627、0.647,且通过 0.01 水平显著性检验。经验证,前体物浓度对 $PM_{2.5}$ 浓度影响显著。

3 结论

本文对 2016 年内蒙古的 $PM_{2.5}$ 浓度时空分布进行分析,探讨了 $PM_{2.5}$ 与气态前体物的关系,结论如下:

1) 2016 年内蒙古 $PM_{2.5}$ 浓度在时间上分布特征明显: $PM_{2.5}$ 日浓度变化曲线呈双峰型分布,两个峰值时段分别为 10:00—12:00、23:00—翌日 01:00,“周末效应”不明显; $PM_{2.5}$ 月均浓度呈“U”形分布,8 月最低; $PM_{2.5}$ 季均浓度冬季最高,春秋次之,夏季最低。

2) 内蒙古 $PM_{2.5}$ 浓度受区域气候与工业发展的影响,整体上呈现蒙中及蒙西中部地区高、蒙东地区较低分布特征, $PM_{2.5}$ 区域浓度值排序为蒙中 > 蒙西 > 蒙东,最大值为 42.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

3) 内蒙古 $PM_{2.5}$ 的前体物 NO_2 、 SO_2 等气态污染物对 $PM_{2.5}$ 有显著的影响。

参考文献

- [1] 游燕,白志鹏. 大气颗粒物暴露与健康效应研究进展[J]. 生态毒理学报,2012,7(2): 123-132.
- [2] 王占山,李云婷,陈添,等. 2013 年北京市 $PM_{2.5}$ 的时空分布[J]. 地理学报,2015,70(1): 110-120.
- [3] He K B, Yang F M, Ma Y L, et al. The characteristics of $PM_{2.5}$ in Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 4959-4970.
- [4] 张丽华,武捷春,包玉海,等. 武汉市与西安市颗粒物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 的污染水平分析[J]. 环境工程,2015,33(3): 73-76.
- [5] 张丽华,武捷春,包玉海,等. 西安市 $PM_{2.5}$ 的时空分布特征研究[J]. 环境工程,2016,34(2): 87-90,107.
- [6] 杜吴鹏,王跃思,宋涛,等. 夏秋季石家庄大气污染变化特征观测研究[J]. 环境科学,2010,31(7): 1409-1416.
- [7] 那音太. 基于 SPI 指数的近 50a 内蒙古地区干旱特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(5): 161-166.
- [8] 中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台[DB/OL]. <http://106.37.208.233:20035/>.
- [9] 雷瑜,张小玲,唐宜西,等. 北京城区 $PM_{2.5}$ 及主要污染气体“周末效应”和“假日效应”研究[J]. 环境科学学报,2015,35(5): 1520-1528.

第一作者:张丽华(1979-),女,副教授. dapperzhanglh@163.com

通信作者:包玉海(1965-),男,教授. baoyuhai@imnu.edu.cn