

Changing Characteristics of PM_{2.5} in Beijing Wild Duck Lake Wetland Station and Its Relationship with Meteorological Factors

Jingchao Yang¹, Jingyi Sui¹, Lu Wang², Nan Song¹, Jie Zhang¹, Yanna Wang^{1*}

¹Yanqing District Meteorological Service, Beijing

²Daxing District Meteorological Service, Beijing

Email: jingchaoyang2011@163.com, *wynicy@163.com

Received: May 8th, 2020; accepted: May 22nd, 2020; published: May 29th, 2020

Abstract

Date collected from 2014-2016 was analyzed to study the PM_{2.5} concentration and correlated factors in Wild Duck Lake wetland ecological meteorological station. The results showed that the average concentration of PM_{2.5} was 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, the exceeding rate of Grade II air quality standards decreased 61.6% over the three years. The seasonal comparison indicated that PM_{2.5} pollution was the lowest in summer and heavy in winter. The concentration of PM_{2.5} was the highest in January, the lowest in September. The average diurnal variations of PM_{2.5} show two peaks, while the characteristic of two peaks was more significant in spring and winter. The daily concentration of PM_{2.5} had a positive correlation with relative humidity and air pressure, negative correlation with temperature and wind speed. The humidity was significant factor for PM_{2.5}. The PM_{2.5} concentration was different correlation with meteorological factors in every season. In summer, PM_{2.5} had a positive correlation with temperature, meanwhile, the air pressure was the dominant factor. The air pressure had a negative correlation with PM_{2.5} in autumn. The remaining characteristics in the seasons were consistent with daily concentrations of PM_{2.5}. The PM_{2.5} in Wild Duck Lake combined impact by local pollution and external pollution. When the station controlled by northeaster and east-northeast can cause more PM_{2.5} accumulation, however, the west-southwest has exactly the opposite.

Keywords

Wild Duck Lake Wetland Station, PM_{2.5}, Meteorological Factors, Correlation

北京野鸭湖湿地观测站PM_{2.5}变化特征及其与气象因素的关系

杨静超¹, 隋婧怡¹, 王璐², 宋楠¹, 张杰¹, 王燕娜^{1*}

*通讯作者。

文章引用: 杨静超, 隋婧怡, 王璐, 宋楠, 张杰, 王燕娜. 北京野鸭湖湿地观测站 PM_{2.5} 变化特征及其与气象因素的关系[J]. 气候变化研究快报, 2020, 9(3): 208-215. DOI: 10.12677/ccrl.2020.93025

¹北京市延庆区气象局, 北京

²北京市大兴区气象局, 北京

Email: jingchaoyang2011@163.com, *wynicy@163.com

收稿日期: 2020年5月8日; 录用日期: 2020年5月22日; 发布日期: 2020年5月29日

摘要

利用北京野鸭湖湿地观测站2014~2016年PM_{2.5}和同期气象观测资料, 分析野鸭湖地区PM_{2.5}的变化特征及气象影响因素。研究表明: 野鸭湖观测站PM_{2.5}年平均浓度为40 μg·m⁻³, 3年来超标比例下降61.6%。PM_{2.5}污染夏季最轻, 春秋次之, 冬季最重, 各月中PM_{2.5}浓度2月份达到峰值, 9月最低。各季PM_{2.5}日变化大致为双峰型, 春冬季更为明显。PM_{2.5}日均浓度与相对湿度和气压呈正相关, 与气温和风速呈负相关, 其中与相对湿度相关性最高; 各季略有差别, PM_{2.5}在夏季与气温呈正相关且气压为主导因素, 秋季PM_{2.5}与气压呈负相关, 其余与日浓度表现一致。野鸭湖地区PM_{2.5}浓度受本地源和外来源的共同影响, 东北风和东北偏东风易造成PM_{2.5}积累, 西南偏西风控制下PM_{2.5}浓度在各季节中达到最低。

关键词

野鸭湖湿地观测站, PM_{2.5}, 气象因素, 相关性

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}成分复杂, 粒径较小, 对人体健康, 能见度以及气候变化均具有重要影响, 随着城市发展 PM_{2.5}已成为北京最主要的污染物之一[1]。PM_{2.5}浓度除与污染源排放有关外, 还与气象因素如风向、风速、温度、辐射、降水、能见度、大气层结稳定性和混合层高度等密切相关[2]。气象因素对 PM_{2.5}的扩散、稀释和蓄积有重要作用, 监测并分析气象因素与 PM_{2.5}浓度的关系, 对研究当地大气污染形成的气象条件与空气污染预报有重要的意义。

近年来, 研究多集中于北京城区、近郊、京津冀区域等[3] [4] [5] [6], 而对野鸭湖地区的相关研究报道较少。因此, 本文选取了野鸭湖站 2014~2016 年 PM_{2.5}浓度和同期地面气象资料, 分析 PM_{2.5}变化特征及其与气温、相对湿度、气压和风速之间的相关性, 同时讨论风向对 PM_{2.5}浓度的影响, 探讨影响野鸭湖地区大气 PM_{2.5}浓度的主要气象控制因素, 同时为该地大气 PM_{2.5}的监测、污染预警和防治提供参考。

2. 材料与方法

延庆野鸭湖湿地生态气象观测站(115°53'E, 40°43'N, 海拔高度 480 m)是北京唯一的湿地生态观测站, 位于北京市延庆区西南部(见图 1), 距延庆城区 17.4 km, 距北京市区 74 km, 三面环山, 西南临官厅水库, 地势显东北高西南低的特点。

PM_{2.5}的浓度利用美国 R & P 公司生产的 TEOM1405D (Tapered Element Oscillating Microbalance)仪器进行观测。最终采集数据为 5 分钟平均浓度值, 并在此基础上计算小时平均值。本文选取野鸭湖湿地生

态气象站 2014~2016 年 PM_{2.5} 浓度和同期地面气象资料, 通过 Pearson 相关分析, 研究 PM_{2.5} 浓度与气象因素之间的关系。



Figure 1. Location of monitoring station
图 1. 观测站位置地图

3. 结果与分析

3.1. PM_{2.5} 污染水平

表 1 显示, 野鸭湖站 2014~2016 年 PM_{2.5} 年均浓度为 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 从 24 小时平均值可以看出超标率为 13.2%。3 年来野鸭湖站 PM_{2.5} 浓度显逐年降低趋势, 超标比例下降了 61.6%。

Table 1. Annual variation characteristics of PM_{2.5}

表 1. PM_{2.5} 年变化特征

年份	年平均浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	达到一级标准天数所占比例/%	达到二级标准天数所占比例/%	超标比例/%
2014	49.7	46.6	34.4	19.0
2015	38.1	61.0	25.7	13.3
2016	32.1	64.1	28.6	7.3
平均	40.0	57.2	29.6	13.2

注: 1、根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级浓度限值统计超标百分率; 2、达标统计中 PM_{2.5} 平均浓度是指 24 小时平均浓度。

3.2. 季节变化特征

按照气象学上季节的划分, 将 1 年分为春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)和冬季(12、1 和 2 月)。表 2 为野鸭湖站气象要素季节变化情况, 图 2 为 PM_{2.5} 逐月均值对比。PM_{2.5} 浓度高值月份集中在冬季, 其中 2 月份 PM_{2.5} 达到峰值为 55.30 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。夏季 PM_{2.5} 平均浓度最低为 32.75 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 这是因为夏季气温高, 边界层发展较好, 同时湿沉降和降水的清除, 再加之地面植被覆盖, 均利于 PM_{2.5} 浓度的降低 [2]。但 7 月 PM_{2.5} 月均浓度达到了 39.78 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 这是因为当气温和湿度逐渐增加时, 能促使大气中的气体前体物转换成水溶性离子, 加速了二次颗粒物的形成 [7], 野鸭湖站夏季风速在一年中最低, 气温高、湿度大利于 PM_{2.5} 浓度的增加。根据气候统计, 京津冀雾 - 霾特点为由于供暖期影响每年 10 月~次年 3 月为雾 - 霾集中发生的季节; 第二个高峰值便是夏季 7~8 月 [8]。春季 PM_{2.5} 浓度略高于秋季, 高浓度值与春季沙尘天气频发、气候干旱有关 [9], 影响北京地区的沙尘路径主要以西北路和偏北路为主 [10]。延庆区位于北京西北部, 当有沙尘天气影响时会首先产生响应, 且春季平均风速最大。秋季 PM_{2.5} 整体水平略高于夏季, 但在 9 月 PM_{2.5} 浓度值最低为 25.32 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

Table 2. The comparison table of mean values of meteorological factors in different seasons
表 2. 不同季节各气象要素平均值对比表

季节	气温(°C)	相对湿度(%)	气压(hpa)	风速(m/s)	PM _{2.5} (g·m ⁻³)
春	11.18	45.15	958.51	1.80	36.90
夏	22.14	72.27	952.38	1.27	32.75
秋	9.31	70.73	963.46	1.35	36.15
冬	-4.88	51.15	968.28	1.77	50.55

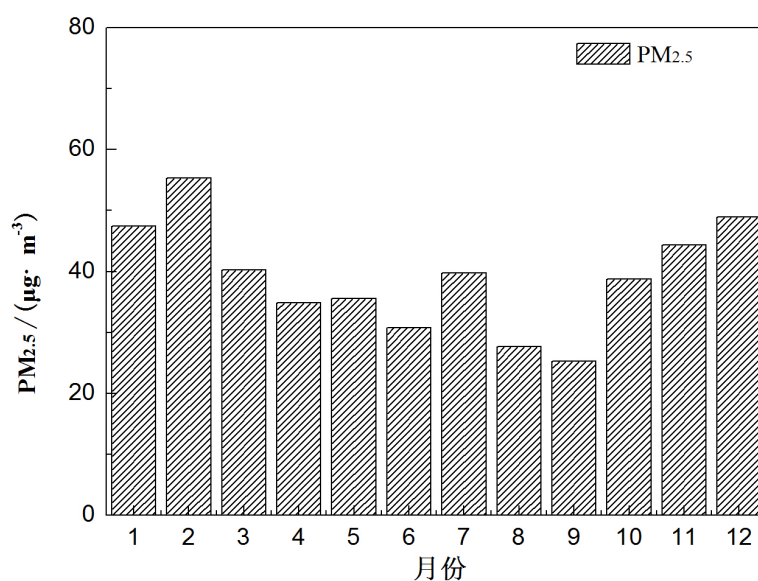


Figure 2. Monthly variation of PM_{2.5} concentrations

图 2. PM_{2.5} 浓度的月变化

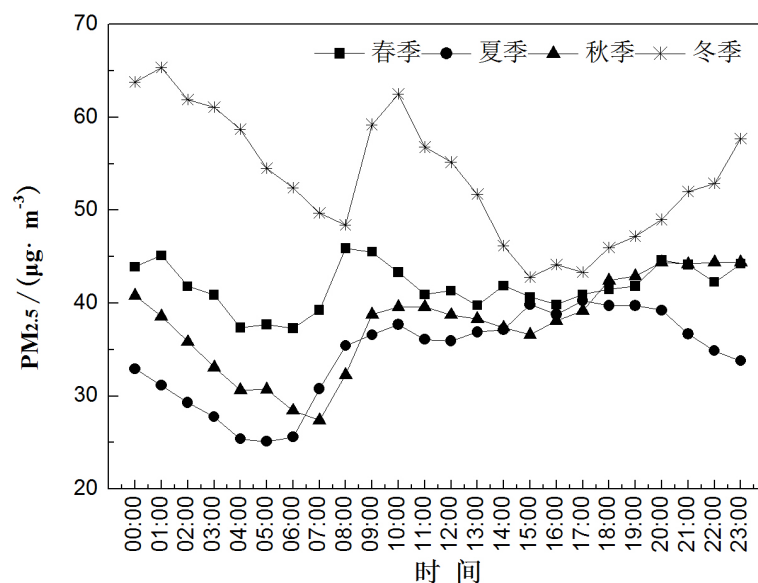


Figure 3. Daily variation of PM_{2.5} concentrations in different seasons

图 3. 不同季节 PM_{2.5} 浓度的日变化对比

3.3. 日变化特征

图 3 中各季 $PM_{2.5}$ 浓度日变化大致显双峰型分布, 出峰时间及强度随着季节有所变化。冬春季为双峰型, 春季上午峰值强出现在 08:00 时, 冬季则略晚出现在 10:00 时。早高峰过后, 随着太阳辐射的增强, 大气对流层内垂直对流运动增强, 利于污染物的扩散[11]。春季 $PM_{2.5}$ 浓度在 11:00~17:00 时之间都处于低值水平, 冬季 15:00 时达到一天中的最低值。下午随着太阳辐射的减弱, 边界层高度逐渐降低, 风速变小, 致使污染物不断累积; 此外, 傍晚集中供暖和交通量增加, 也在一定程度上加剧了 $PM_{2.5}$ 的累积, 使得在 01:00 时又出现一个峰值, 且冬季时夜间峰值高于上午峰值。夜间湿度增大使得重力沉降作用增强, 加之人类活动的减少, 使得 $PM_{2.5}$ 平均浓度逐渐下降, 春季 06:00 时达到一天中的最低值, 冬季则后移 2 小时。夏秋季上午峰值均出现在 10:00 时, 最强峰值夏季在 17:00 时, 秋季在 20:00 时出现, 夏季谷值分别出现在 06:00 时和 12:00 时, 秋季则略晚在 07:00 时和 15:00 时, 且上午小时谷值最低。 $PM_{2.5}$ 浓度日较差春季最小、冬季最大。

3.4. 日变化相关性分析

野鸭湖站 $PM_{2.5}$ 日均浓度与相对湿度和气压呈正相关, 与气温和风速呈负相关。气象参数对 $PM_{2.5}$ 的重要程度依次为: 相对湿度>气温>风速>气压, 见表 3。研究结果显示, 相对湿度对 $PM_{2.5}$ 日均浓度的影响最显著且显正相关性。相对湿度大, 大气颗粒物能吸收更多的水分子, 凝聚增重粒径变大, 致使污染物不易扩散。 $PM_{2.5}$ 日均浓度随着温度的升高而降低, 这是因为气温升高利于混合层高度的提升, 使得大气在竖直方向上更易扩散, 从而污染物浓度降低[12]。

Table 3. Pearson coefficient between $PM_{2.5}$ mass concentration and meteorological factors

表 3. $PM_{2.5}$ 浓度与气象要素之间的 Pearson 相关系数

日均浓度	气温	相对湿度	气压	风速
$PM_{2.5}$	-0.088**	0.176**	0.010**	-0.049**

一般来说[13], 气压与颗粒物浓度显负相关。是由于低气压场天气形势下经常出现静风, 且多有低云阻挡, 间接造成空气中污染物不易垂直扩散, 使得颗粒物不断累积; 而高压天气颗粒物易向外和向上走向高空扩散, 颗粒物浓度会降低。但是本研究发现, 野鸭湖站气压与 $PM_{2.5}$ 日均浓度成正相关, 该站三面环山, 仅西面与官厅水库接壤, 是属于相对清洁的区域, 污染物主要来自于其东北部城区及乡镇[14], 这说明低气压时大气的区域输送能力较差, 因此不利于该站 $PM_{2.5}$ 浓度的输送。

3.5. 季变化相关性分析

野鸭湖站四季分明, 因而不同季节下气象条件对该站颗粒物浓度影响不同。分别研究各季中 $PM_{2.5}$ 浓度与气压、气温、相对湿度和风速 4 个气象因素的相关性。

Table 4. Pearson coefficient between $PM_{2.5}$ mass concentration and meteorological factors in different seasons

表 4. 不同季节 $PM_{2.5}$ 浓度与气象要素之间的 Pearson 相关系数

各季平均浓度	气温	相对湿度	气压	风速
$PM_{2.5}$ -春季	-0.035**	0.249**	0.044	-0.112**
$PM_{2.5}$ -夏季	0.162**	0.077**	0.180**	-0.021
$PM_{2.5}$ -秋季	-0.018	0.155**	-0.039**	-0.092**
$PM_{2.5}$ -冬季	-0.204**	0.396**	0.078**	-0.231**

**：在 0.01 水平上显著相关；*：在 0.05 水平上显著相关。

整体来看, 冬季近地面层大气环境较稳定, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与气象因素的相关性在四季中较高[6]。表 4 显示, 各季中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与相对湿度和风速呈正相关和负相关, 但气温和气压表现不同, 除秋季外各季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与气压显正相关, 除夏季外各季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与气温呈负相关。若以相关系数的大小来表征, 则可以看出, 春季: 相对湿度>风速>气温>气压; 夏季: 气压>气温>相对湿度>风速; 秋季: 相对湿度>风速>气压>气温; 冬季: 相对湿度>风速>气温>气压。

在主要影响因素方面, 春季、秋季和冬季影响 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的主要是相对湿度且呈正相关, 这说明 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度随着相对湿度的升高而上升, 主要是由于空气中水汽多但是为非降水天气时, 水汽可使 $\text{PM}_{2.5}$ 在空气中停留, 致使污染物浓度升高; 当出现降水天气时, 降水将大气中的污染物夹带、溶解或冲刷下来, 致使污染物浓度降低。夏季则是气压占主导因素呈正相关, 野鸭湖站夏季气压最低, 湿度和气温最高, 风速小, 如上文所述野鸭湖站本地污染物少, 低气压时不利于 $\text{PM}_{2.5}$ 向该地输送。除主要影响因素外, 春季、秋季和冬季均是风速对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈现较显著的负相关。这是因为风速的大小决定了对污染物冲淡稀释作用的大小。根据监测数据显示, 野鸭湖站春季平均风速为 1.8.0 m/s, 冬季为 1.77 m/s, 秋季为 1.35 m/s, 监测站位于野鸭湖湿地公园内, 高大植被较少, 较大的风速有利于污染物的稀释和扩散。

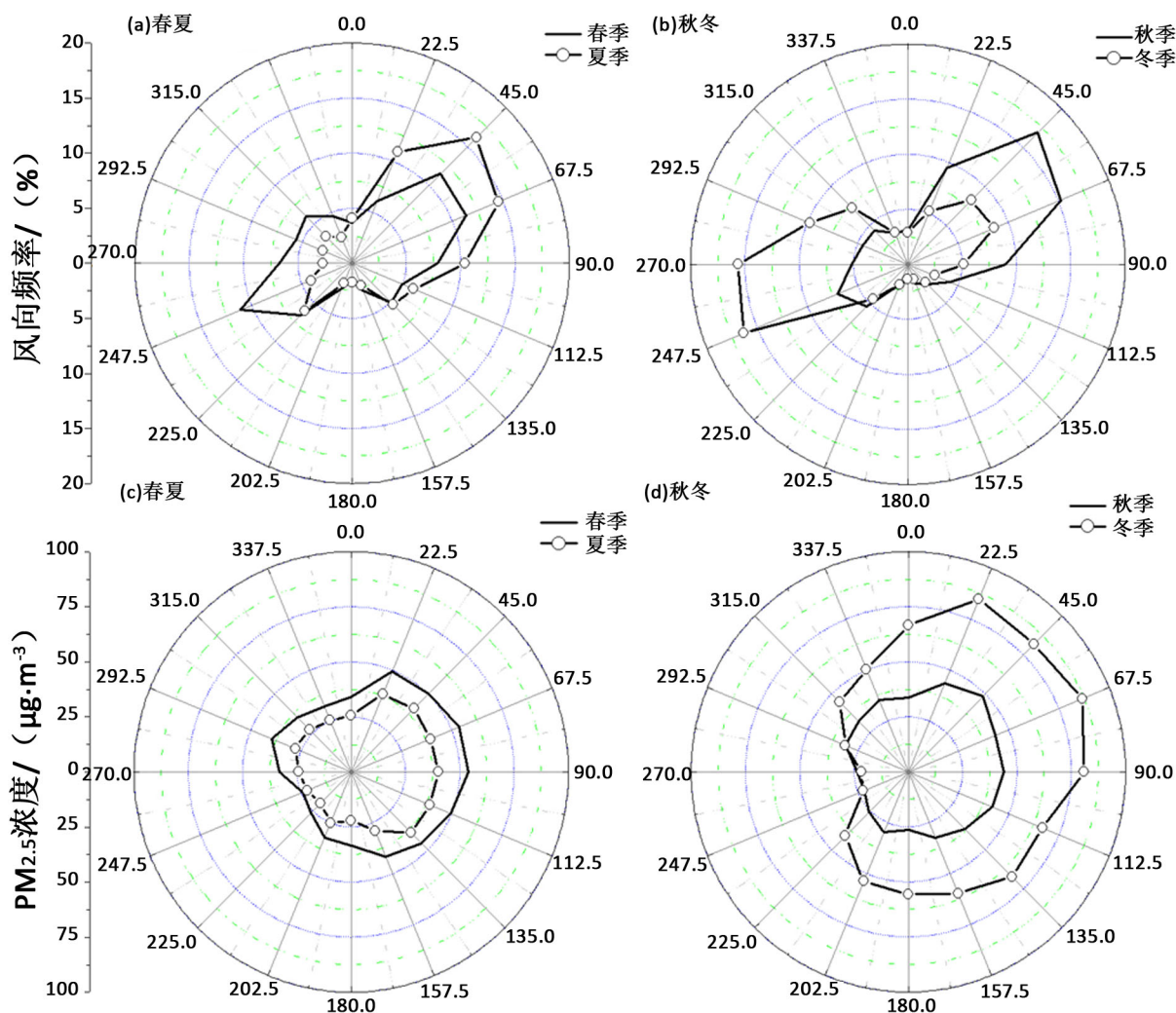


Figure 4. The wind direction frequency and $\text{PM}_{2.5}$ concentrations of each wind direction in different seasons

图 4. 不同季节风向频率及 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在各个风向上的统计对比

3.6. PM_{2.5} 浓度与风向的关系

污染物从污染源排入大气后就沿风向运动, 低层大气中的风向将直接影响污染物的扩散方向, 风在对污染物起到输送作用的同时还对其有扩散稀释作用[15]。由上述分析可以发现, 野鸭湖站 PM_{2.5} 浓度的季节变化和日变化均受到不同程度区域输送的影响。因此, 可以对 PM_{2.5} 浓度与风向之间的关系进行分析, 以便了解局地 and 区域污染物对该站输送的影响。为此, 选取了各季中野鸭湖站风频和 PM_{2.5} 浓度在各个风向上的统计情况进行定性分析, 见图 4。

从图 4(a)和图 4(b)可以看出, 野鸭湖站盛行东北风和西南风, 春季东北风与西南风势力相当, 夏秋季盛行东北风, 冬季偏西风占主导优势。PM_{2.5} 浓度和风向的相关关系非常明显, 图 3(c)和图 3(d)显示 22.5°~135.0°区域之间对应的 PM_{2.5} 平均浓度为 52.7 μg·m⁻³ 浓度较高, 而 225.0°~270.0°对应的 PM_{2.5} 平均浓度仅为 25.4 μg·m⁻³。不论风向随季节怎样变化, 野鸭湖站东北风(45°)和东北偏东风(67.5°)带来的 PM_{2.5} 浓度一直处于较高水平, 并且在冬季达到最高 PM_{2.5} 浓度为 86.7 μg·m⁻³ 左右, 春季和秋季次之, 夏季 PM_{2.5} 浓度最低但也维持在 40 μg·m⁻³ 上下。西南偏西风(247.5°)控制下 PM_{2.5} 浓度在各季节中达到最低, 春季表现最高也只有 24.1 μg·m⁻³, 春夏冬季则在 22.0 μg·m⁻³ 左右, 其中夏季最低。这说明野鸭湖地区 PM_{2.5} 浓度主要受来自西东北部城区污染输送的影响, 西南偏西风携带的 PM_{2.5} 浓度最少。这与野鸭湖的地理位置有关, 野鸭湖北靠燕山、南临太行, 东南是八达岭长城, 仅西面是地势平缓的官厅水库, 因此当东北风和东北偏东风控制时, 污染物多来源于东部城镇和乡村, 而受城区远程输送翻山气流影响较少。

此外, 各季静风时 PM_{2.5} 平均浓度在 48.0 μg·m⁻³ 左右, 这说明野鸭湖地区存在一定的局地排放源。通过分析得出, 东北风输送是野鸭湖颗粒物污染的重要原因之一, 东北气流易产生污染物累积, 降低空气质量, 而西南气流则为较为洁净的气团, 利于清除污染物, 同时观测点也受本地源影响。

4. 结论

1) 从 3 年(2014~2016 年)统计结果来看, 野鸭湖站 PM_{2.5} 年均浓度为 40 μg·m⁻³, PM_{2.5} 浓度显逐年降低趋势, 超标比例下降了 61.6%。PM_{2.5} 污染夏季最轻, 春秋次之, 冬季最重, 各月中 PM_{2.5} 浓度 2 月达到峰值为 55.30 μg·m⁻³, 9 月为谷值浓度为 25.32 μg·m⁻³。

2) 各季 PM_{2.5} 浓度日变化大致显双峰型分布, 各季出峰时间及强度有所不同, 冬春季双峰型较为明显。最高值春季出现在 08:00 时, 冬季为 01:00 时, 夏季为 17:00 时, 秋季为 20:00 时; 最低值春夏季出现在 06:00 时, 秋季后延 1 小时, 冬季则出现在 15:00 时。

3) PM_{2.5} 日均浓度与相对湿度和气压呈正相关, 与气温和风速成呈相关。气象参数对 PM_{2.5} 的重要程度依次为: 相对湿度>气温>风速>气压。四季中, PM_{2.5} 在夏季与气温呈正相关, 秋季与气压显负相关, 其余与日浓度表现一致。冬季 PM_{2.5} 浓度与气象因素的相关性最高, 影响程度上春季和冬季一致为: 相对湿度>风速>气温>气压; 夏季为: 气压>气温>相对湿度>风速; 秋季为: 相对湿度>风速>气压>气温。

4) 野鸭湖站 PM_{2.5} 浓度受本地源和外来源的共同影响, 22.5°~135.0°区域对应的 PM_{2.5} 浓度较高, 而 225.0°~270.0°对应的 PM_{2.5} 平均浓度较低。不论风向随季节怎样变化, 野鸭湖站东北风(45°)和东北偏东风(67.5°)带来的 PM_{2.5} 浓度一直处于较高水平, 西南偏西风(247.5°)控制下 PM_{2.5} 浓度在各季节中达到最低。

基金项目

北京市延庆区 2016 年优秀人才培养资助项目“2019 年世园会和 2022 年冬奥会环境气象保障人才培养项目”; 北京市气象局科技项目, 项目编号 BMBKJ201701015。

参考文献

- [1] Zhao, X.J., Zhang, X.L., Xu, X.F., Xu, J., Meng, M. and Pu, W.W. (2009) Seasonal and Diurnal Variations of Ambient PM_{2.5} Concentration in Urban and Rural Environments in Beijing. *Atmospheric Environment*, **43**, 2893-2900. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.03.009>
- [2] 李军, 孙春宝, 刘咸德, 等. 气象因素对北京大气颗粒物浓度影响的非参数分析[J]. 环境科学研究, 2009, 22(6): 663-669.
- [3] 蒲维维, 赵秀娟, 张小玲. 北京地区夏末秋初气象要素对 PM_{2.5} 污染的影响[J]. 应用气象学报, 2011, 22(6): 716-723.
- [4] 赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 等. 北京地区秋季雾霾天气 PM_{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 417-423.
- [5] 杨兴川, 赵文吉, 熊秋林, 等. 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.
- [6] 王嫣然, 张学霞, 赵静瑶, 等. 北京地区不同季节 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度对地面气象因素的响应[J]. 中国环境监测, 2017, 33(2): 34-41.
- [7] 吴虹, 张彩艳, 王静, 等. 青岛环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 污染特征与来源比较[J]. 环境科学研究, 2013, 26(6): 583-589.
- [8] 赵普生, 徐晓峰, 孟伟, 等. 京津冀区域霾天气特征[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 31-36.
- [9] 张小玲, 李青春, 谢璞, 等. 近年来北京沙尘天气特征及成因分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(3): 417-421.
- [10] 张志刚, 高庆先, 矫梅燕, 等. 影响北京地区沙尘天气的源地和传输路径分析[J]. 环境科学研究, 2007, 20(4): 21-27.
- [11] 罗娜娜, 赵文吉, 晏星, 等. 交通与气象因子对不同粒径大气颗粒物的影响机制研究[J]. 环境科学, 2013, 34(10): 3741-3748.
- [12] 石灵芝. 城市大气颗粒物(PM₁₀)源解析与浓度预测及气象因素影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2011.
- [13] 孙语茉, 张建. 上海市 PM_{2.5} 变化特征与气象因素相关性分析[J]. 社科学论, 2015(1): 152-154.
- [14] 杨静超, 赵秀娟, 张凯. 北京北郊清洁区 PM_{2.5} 和 O₃ 变化特征对比分析[J]. 环境科学与技术, 2017, 40(3): 1-9.
- [15] 王开燕, 王雪梅, 张仁健, 等. 北京市冬季气象要素对气溶胶浓度日变化的影响[J]. 环境科学研究, 2008, 21(4): 132-135.