

2017~2020年冬季丹江口市城区气象条件对空气污染的影响

杨柳青, 刘志勇, 杨普平

丹江口市气象局, 湖北 丹江口

收稿日期: 2023年9月30日; 录用日期: 2023年10月26日; 发布日期: 2023年11月2日

摘要

利用2017年~2020年冬季丹江口市城区的降水量、气温、风速风向、最小相对湿度、平均气压等气象要素与环境监测站空气质量数据进行对比分析, 结果表明: ① 2017年~2020年冬季, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 为丹江口市城区大气污染的首要污染物, 2018年和2017年污染日数较多。降水量越少, 降水日数越少, 无降水持续日数越长, 日平均风速越小, 东风日多于西风日, 污染物堆积不易清除, 使AQI指数升高。② 风速越大, 越有利于两种污染物质量浓度降低; 最小相对湿度越小, 越有利于 $C(PM_{2.5})$ 的降低; 日平均气温越高或降水量越大, 越有利于 $C(PM_{10})$ 的降低。③ 连续性降水对污染物的清除作用优于单日降水, 小于1 mm的单日降水对两种污染物无明显清除作用。 $C(PM_{2.5})$ 变化和 $C(PM_{10})$ 变化均与日最小相对湿度的变化最为密切, 呈正相关; $C(PM_{2.5})$ 变化与日平均风速变化呈反相关特征明显; $C(PM_{10})$ 变化与日平均气温变化呈反相关特征明显。④ 东风日中, 两种污染物质量浓度均高于西风日, $C(PM_{10})$ 东风日与西风日的差值最大。 $C(PM_{2.5})$ 和 $C(PM_{10})$ 大值区多出现在锋面附近的南风中和东北路冷空气的偏东风中。

关键词

污染物质量浓度, AQI指数, 气象条件, 关系分析

Impact of Meteorological Conditions on Air Pollution in Urban Areas of Danjiangkou City in Winter 2017~2020

Liuqing Yang, Zhiyong Liu, Puping Yang

Danjiangkou Meteorological Service, Danjiangkou Hubei

Received: Sep. 30th, 2023; accepted: Oct. 26th, 2023; published: Nov. 2nd, 2023

文章引用: 杨柳青, 刘志勇, 杨普平. 2017~2020年冬季丹江口市城区气象条件对空气污染的影响[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(6): 1053-1060. DOI: 10.12677/ccr.2023.126109

Abstract

Using the meteorological elements such as precipitation, air temperature, wind speed and direction, minimum relative humidity, average barometric pressure and other meteorological elements in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020 to compare and analyze with the air quality data of the environmental monitoring station, the results show that: ① $PM_{2.5}$ and PM_{10} are the primary pollutants of air pollution in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020, and the pollution in 2018 and 2017 the number of days is higher. The lower the precipitation, the lower the number of precipitation days, the longer the number of days with no precipitation duration, the lower the average daily wind speed, the more easterly days than westerly days, the pollutants are not easy to be removed by the accumulation of pollutants, which makes the AQI index higher. ② The higher the wind speed, the more favorable the reduction of two pollutant mass concentrations; the smaller the minimum relative humidity, the more favorable the reduction of $C(PM_{2.5})$; the higher the daily average temperature or the larger the precipitation, the more favorable the reduction of $C(PM_{10})$. ③ Continuous precipitation is better than single-day precipitation in removing pollutants, and single-day precipitation less than 1 mm has no obvious removing effect on two pollutants. Changes in $C(PM_{2.5})$ and $C(PM_{10})$ are both most closely related to changes in daily minimum relative humidity, which is positively correlated; changes in $C(PM_{2.5})$ are inversely correlated with changes in daily mean wind speed, which is obvious; and changes in $C(PM_{10})$ are inversely correlated with changes in daily average air temperature, which is obvious. (PM_{10}) and daily mean air temperature are inversely correlated. ④ In the east wind day, the mass concentration of both pollutants is higher than that in the west wind day, and the difference between the east wind day and the west wind day is the largest for $C(PM_{10})$. The areas with large values of $C(PM_{2.5})$ and $C(PM_{10})$ are mostly found in the southerly winds near the frontal surface and in the easterly winds from the northeast road cold air.

Keywords

Pollutant Quality Concentration, AQI Index, Meteorological Conditions, Relationship Analysis

Copyright © 2023 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

随着社会经济发展、人民生活水平提高和城市化进程加快,以颗粒物、氮氧化物和二氧化硫等为主要污染物的城市空气污染问题日益严重[1],是城市可持续发展面临的挑战之一,同时,空气污染对居民的生活环境和身体健康的危害也成为不可避免的话题[2]。因此,有必要客观分析气象条件与空气污染之间的关系,采取针对有效的治理模式,落实减污降碳协同治理的任务要求,打好蓝天保卫战。

近年来,多位学者对气象要素与空气质量之间的关系进行了大量研究。赵秀玲等[3]研究发现,冬季是 $PM_{2.5}$ 污染最严重的季节,且社会经济、城市空间结构和气象条件及其交互作用会显著影响 $PM_{2.5}$ 的浓度。张玉翠等[4]分析了 2015 年至 2020 年襄阳市空气质量指数与气象因子之间的关系,发现降雨量越大,气温越高,风速越大, AQI 指数越小,最小相对湿度区间跨度越大的月份,空气质量整体趋势越好。帅文卫等[5]分析了 2017 年至 2018 年天门市空气质量与气象要素之间的关系,发现天门市首要污染物为 $PM_{2.5}$,其次为 PM_{10} ,冬季空气质量最差,空气污染春季效应较为突出; $PM_{2.5}$ 浓度与降水量和平均气温呈典型负相

关,降水越少、气温越高、平均相对湿度越大、平均气压越低、平均风速越小,更易出现冬季典型污染天气。王小嫚等[6]分析了2017年至2020年南昌市大气污染物与气象因子之间的关系,发现 $PM_{2.5}$ 浓度主要受温度和降雨量影响, PM_{10} 浓度主要受温度、降雨量和相对湿度的影响。赖锡柳等[2]分析了2018年柳州市污染物浓度与气象要素之间的关系,发现柳州首要污染物为 $PM_{2.5}$,冬季污染最重, $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度变化与24小时变压、气温、相对湿度、1小时降雨量和风速均呈负相关。王小红等[7]构建基于正态检验的相关分析模型,分析了2015年至2020年成都主要大气污染物浓度与风速、降雨量、降雨天数3个气象因子的相关性,发现 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 月均浓度受风速和降雨天数的影响较大,受降雨量影响较小。杨群等[8]分析了2019年1月铜仁市两次空气污染过程的气象条件特征,发现地面风速越小,相对湿度越小,污染物浓度增加;铜仁市近地面为偏东风时,受山体阻挡,污染物在山东侧堆积,导致污染物在城区内循环累积。

冬季是丹江口市污染最严重的季节,每年11月底至次年2月中度污染天气以上日数占全年污染天数的85%,综上所述,选取2017年~2020年冬季丹江口市城区的气象要素与污染物质量浓度数据进行统计分析,探究影响冬季各首要污染物质量浓度变化与不同气象要素之间的关系,为丹江口市冬季空气污染预测提供科学依据。

2. 数据来源与研究区概况

丹江口市位于秦岭山系武当山隆起与大横山余脉之间,呈向东开口的“喇叭口”地形,南北山区空气污染小,污染物主要输入路径为低层偏东气流输送(图1)。气象资料主要包括2017年~2020年冬季逐日平均温度、降水量、平均气压、最小相对湿度、平均风速和各风向频率等地面观测资料。本文冬季定义为本年11月至次年2月。

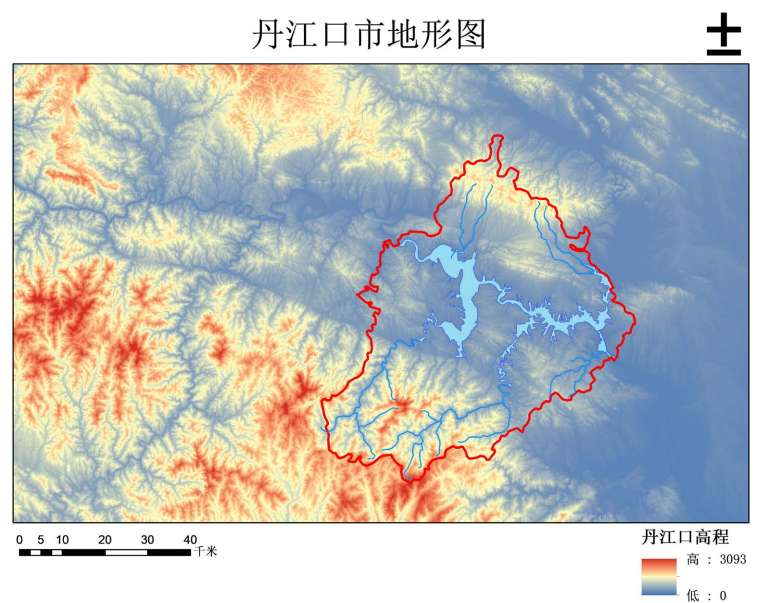


Figure 1. Topographic map of Danjiangkou City

图1. 丹江口市地形图

污染物质量浓度与AQI指数资料来源于丹江口市环境监测站提供的2017年~2020年冬季的逐小时空气质量监测数据。 $PM_{2.5}$ 质量浓度($C(PM_{2.5})$)和 PM_{10} 质量浓度($C(PM_{10})$)指一个自然日24h平均浓度的算术平均值,AQI指数(Air Quality Index)空气污染指数,用以描述空气清洁或污染程度,数值越高,则空气污染程度越严重。

3. 2017 年~2020 年冬季丹江口市城区污染日数与主要污染物

由表 1 所示的 2017 年~2020 年冬季丹江口市城区污染日数可以发现, 冬季轻度污染以上日数最多为 2018 年, 污染日数达 40 天, 其次为 2017 年, 污染日数 37 天, 2019 年和 2020 年污染日数较少, 为 24 天。

表 2 统计污染日中的首要污染物可以发现, 首要污染物为 $PM_{2.5}$ 的日数最多, 其中 2018 年最多为 87 天, 2020 年最少, 为 64 天; 首要污染物为 PM_{10} 的日数最多出现在 2017 年, 为 37 天, 其次是 2020 年, 为 36 天, 2019 年最少, 为 17 天。可以发现近四年中, 丹江口市城区冬季的首要污染物主要为 $PM_{2.5}$, 2017 年和 2018 年污染日数最多。

Table 1. The days of mild pollution or above in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020

表 1. 2017~2020 年冬季丹江口市城区轻度污染以上日数

年份	2017	2018	2019	2020
轻度污染以上日数	37	40	24	24

Table 2. The days of the primary pollutants of air pollution in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020

表 2. 2017~2020 年冬季丹江口市城区首要污染物出现日数

年份	2017	2018	2019	2020
$PM_{2.5}$	74	87	71	64
PM_{10}	37	25	17	36

4. 2017 年~2020 年冬季 AQI 指数与降水和风向风速的关系

4.1. AQI 指数与降水

由表 3 2017~2020 年冬季降水情况可以看出, 丹江口市城区 2018 年累积降水量最大, 为 136.1 毫米, 其次为 2019 年, 累积降水量为 112.7 毫米, 2020 年冬季累积降水量最少; 2018 年降水日数也最多, 为 36 天, 其次为 2019 年, 降水日数为 29 天, 2017 年最少, 为 20 天; 比较连续 5 天以上无降水的次数发现, 2018 年连续无降水次数最少, 为 4 次, 且累积无降水持续日数最小, 为 46 天, 其余各年连续无降水次数均为 6 次, 2019 年累积无降水持续日数较小, 为 56 天, 2017 年和 2020 年累积无降水持续日数最多, 均为 81 天。

结合 AQI 指数和污染日数分析发现, 2019 年平均 AQI 指数最小, 可以看到 2019 年累积降水量和降水日数均较多, 且无降水持续日数较少; 2017 年和 2020 年平均 AQI 指数明显高于 2019 年, 可以看到 2017 年降水日数较少, 2020 年累积降水量较少, 且这两年的累积无降水持续日数均较多。

由此可见, 降水量越少, 降水日数越少, 无降水持续日数越长, 空气中的污染物无法有效清除而不断累积, 使 AQI 指数升高, 污染日数增多。

Table 3. The AQI index and precipitation in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020

表 3. 2017~2020 年冬季丹江口市城区 AQI 指数与降水情况

年份	平均 AQI 指数	累积降水量/mm	降水日数/d	无降水持续日数/d
2017	89.8	108.0	20	81
2018	98.3	136.1	36	46
2019	72.9	112.7	29	56
2020	79.9	95.6	25	81

4.2. AQI 指数与风速风向

受地形影响,丹江口市城区冬季多偏东风和偏西风。为进一步分析不同风向下 AQI 指数的变化情况,按风向划分为东风日和西风日,即统计一天逐小时风向,若东风时次大于西风时次,则定义该日为东风日,反之则为西风日;若东、西风时次相同,选择平均风速大的风向定义该日[9]。

表 4 为 2017 年~2020 年冬季东风日和西风日的日数、平均风速和平均 AQI 指数,可以发现,近四年东风日数均大于西风日数,2018 年东风日数最多,为 90 天,且东风日数超出西风日数 61 天,为四年中最多,其平均 AQI 指数也最高。同时,2018 年西风日平均风速为四年中最小,为 1.5 m/s,其西风日平均风速与东风日差值也最小,为 0.3 m/s。

由于污染情况和多种气象要素有关,虽然 2018 年累积降水量和降水日数均较多,但 2018 年东风日数远高于西风日,西风日平均风速最小,其平均 AQI 指数仍较高,这是由于丹江口市地形东边开阔,向西逐渐狭窄,呈向东开口的喇叭口形,污染物主要由东北方输入,受山体阻挡,污染物在山东侧堆积,导致污染物在城区内循环累积,使 AQI 指数上升。

由此可见,当东风日数明显多于西风日数时,AQI 指数较高。当东风日时,有利于污染物堆积;西风日时,西风平均风速较大,更有利于污染物的扩散清除。

Table 4. The AQI index compares with the wind speed and direction in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020

表 4. 2017~2020 年冬季丹江口市 AQI 指数与风速风向对比

年份	平均 AQI 指数	东风			西风		
		日数/d	AQI 指数	平均风速 (m/s)	日数/d	AQI 指数	平均风速 (m/s)
2017	89.8	74	94.7	1.3	43	77.1	1.9
2018	98.3	90	102.9	1.2	29	80.9	1.5
2019	72.9	83	75.6	1.2	32	61.1	1.8
2020	79.9	85	86.0	1.3	32	65.3	1.7

5. 2017 年~2020 年冬季污染物质量浓度与气象要素的关系

表 5 为不同气象要素与污染物质量浓度的相关系数。为避免降水与气温同时影响污染物质量浓度,去除降水日后,计算日平均气温与污染物质量浓度的相关系数。结果表明,两种主要污染物质量浓度与日平均风速的相关性最好,呈负相关,即平均风速越大,污染物质量浓度越低;两种污染物质量浓度与日平均气压的相关性均较低。 $C(\text{PM}_{2.5})$ 与日最小相对湿度相关性最好, $C(\text{PM}_{10})$ 与日平均风速相关性最好。

当丹江口市受偏西风或西北风影响时,多为晴好天气,温度升高,风力加大,有利于污染物扩散;当丹江口市受偏东风影响时,水汽由偏东风输送来,日最小相对湿度升高,同时污染物也由东北方向输入,有利于污染物堆积。由此可知,风速越大,越有利于污染物质量浓度降低;最小相对湿度越小,越有利于 $C(\text{PM}_{2.5})$ 的降低;日平均气温越高或降水量越大,越有利于 $C(\text{PM}_{10})$ 的降低。

Table 5. The correlation coefficient of meteorological elements and pollutant mass concentrations in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020

表 5. 2017~2020 年冬季丹江口市气象要素与污染物质量浓度的相关系数

污染物质量浓度	降水量	最小相对湿度	平均气温	平均风速	平均气压
$C(\text{PM}_{2.5})$	-0.11	0.26	-0.23	-0.24	-0.03
$C(\text{PM}_{10})$	-0.16	0.07	-0.18	-0.20	-0.01

5.1. 污染物质量浓度与降水、气压、相对湿度和气温

2017年至2020年冬季共有54次降水过程,其中单日降水22次,其余为持续2日以上的连续性降水。通过统计降水前后污染物质量浓度的变化发现,单日降水量小于1 mm对两种污染物的清除作用不明显;单日降水量大于3 mm时,使 $C(\text{PM}_{10})$ 降低;连续性降水时使两种污染物的质量浓度均下降。由此可知,连续性降水对污染物的清除作用优于单日降水,且小于1 mm的单日降水对两种污染物无明显清除作用。降水量较小时,污染物吸湿作用明显,使得污染物质量浓度不降反升[10]。

统计气象要素变化趋势与两种污染物质量浓度变化之间的关系,结果表明:日最小相对湿度的变化与两种污染物质量浓度的变化关系最为密切,呈正相关,当最小相对湿度减小时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 75.4%呈减小趋势,平均减小 $30.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$;当最小相对湿度增加时, $C(\text{PM}_{10})$ 66.4%呈增加趋势,平均增加 $40.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日平均风速的变化对 $C(\text{PM}_{2.5})$ 变化影响较大,呈反相关,当日平均风速减小时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 61.7%呈增加趋势,平均增加 $24.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$;日平均气温的变化对 $C(\text{PM}_{10})$ 变化影响较大,呈反相关,当日平均气温减小时, $C(\text{PM}_{10})$ 61.0%呈减小趋势,平均减小 $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日平均气压的变化对两种污染物质量浓度变化影响均不大,当日平均气压减小时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 56.3%呈增加趋势, $C(\text{PM}_{10})$ 51%呈增加趋势。

Table 6. The changes in meteorological elements and pollutant mass concentrations in the urban area of Danjiangkou City in the winter of 2017~2020

表 6. 2017~2020 年冬季丹江口市城区污染物质量浓度变化与气象要素变化情况

气象要素变化趋势	平均气压		最小相对湿度		平均气温		平均风速		
	减小	增加	减小	增加	减小	增加	减小	增加	
$C(\text{PM}_{2.5})$	变化量/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	30.0	-32.2	-30.3	30.2	26.6	-25.5	24.1	-26.8
	频率/%	56.3	54.3	75.4	70.5	55.9	52.1	61.7	57.7
$C(\text{PM}_{10})$	变化量/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	38.6	-39.1	-42.1	40.9	37.5	-38.5	38.9	-38.7
	频率/%	51.0	55.4	59.0	66.4	61.0	52.1	58.9	57.7

5.2. 污染物质量浓度与风速风向

5.2.1. 污染物质量浓度与日平均风速

由表 5 和表 6 可以看出, $C(\text{PM}_{2.5})$ 与日平均风速的相关性为-0.24,相比于 $C(\text{PM}_{10})$,相关性更好。当日平均风速增加时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 和 $C(\text{PM}_{10})$ 减小频率一致,为 57.7%, PM_{10} 平均减小的质量浓度更大;当日平均风速减小时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 61.7%呈增加趋势,平均增加 $24.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $C(\text{PM}_{10})$ 58.9%呈增加趋势,平均增加 $38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。可以发现, $C(\text{PM}_{10})$ 随日平均风速变化的频率更大,日平均风速变化时, PM_{10} 的质量浓度变化更大。

分别统计东风日和西风日的污染物质量浓度,东风日两种污染物的质量浓度均高于西风日, $C(\text{PM}_{10})$ 东风日与西风日的差值最大,为 $26.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $C(\text{PM}_{2.5})$ 东风日与西风日的差值为 $19.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

5.2.2. 污染物质量浓度与 08 时风向

计算 08 时、14 时、20 时、02 时的风速与两种污染物质量浓度的相关系数,发现 08 时风速与污染物质量浓度的相关性最好。

由图 2 可以看出,近四年冬季 08 时风向出现频次最高为偏东风,包括东风、东北东风和东南东风,东风频次为 78 次,东北东风频次为 60 次,东南东风频次为 51 次;其次为偏西风,包括西风和西北西风,西风和西北西风频次均为 43 次。图 3 可以看出, $C(\text{PM}_{2.5})$ 超过 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时和 $C(\text{PM}_{10})$ 超过 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时主

要为北风、偏东风和南风，由此可见，两种污染物质量浓度大值区多出现在锋面附近的南风中和东北路冷空气的偏东风中。

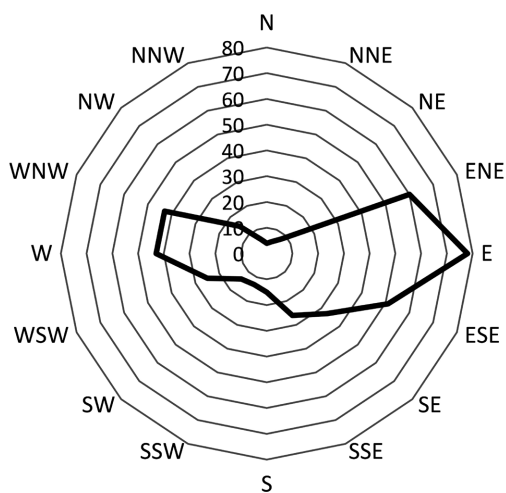


Figure 2. Frequency of wind direction at 8 AM
图 2. 08 时风向出现频次

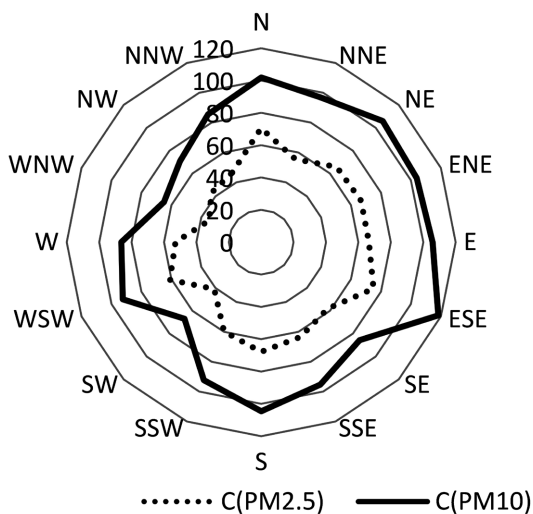


Figure 3. Mass concentrations of two pollutants in different wind directions at 8 AM
图 3. 08 时不同风向的两种污染物质量浓度

6. 结语

利用 2017 年~2020 年冬季丹江口市城区的降水量、气温、风速风向、最小相对湿度、平均气压等气象要素与环境监测站空气质量数据进行对比分析，得出如下主要结论：

(1) 2017 年至 2020 年冬季， $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 为丹江口市城区大气污染的首要污染物，2018 年和 2017 年污染日数较多。降水量越少，降水日数越少，无降水持续日数越长，日平均风速越小，东风日多于西风日，污染物堆积不易清除，使 AQI 指数升高。

(2) 风速越大，越有利于两种污染物质量浓度降低；最小相对湿度越小，越有利于 $C(PM_{2.5})$ 的降低；日平均气温越高或降水量越大，越有利于 $C(PM_{10})$ 的降低。

(3) 连续性降水对污染物的清除作用优于单日降水, 小于 1 mm 的单日降水对两种污染物无明显清除作用。 $C(\text{PM}_{2.5})$ 变化和 $C(\text{PM}_{10})$ 变化均与日最小相对湿度的变化最为密切, 呈正相关; $C(\text{PM}_{2.5})$ 变化与日平均风速变化呈反相关特征明显; $C(\text{PM}_{10})$ 变化与日平均气温变化呈反相关特征明显。

(4) 东风日中, 两种主要污染物质量浓度均高于西风日。且 $C(\text{PM}_{10})$ 东风日与西风日的差值最大。 $C(\text{PM}_{2.5})$ 和 $C(\text{PM}_{10})$ 大值区多出现在锋面附近的南风中和东北路冷空气的偏东风中。

参考文献

- [1] 孙玫玲, 韩素芹, 姚青, 等. 天津市城区静风与污染物浓度变化规律的分析[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(2): 21-24.
- [2] 赖锡柳, 邹颖俊, 张凌云, 苏小玲, 蓝求, 李宜爽, 王艺. 柳州市空气污染特征及气象条件影响分析[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(3): 78-83.
- [3] 赵秀玲. 中国城市典型空气污染物时空分布特征与影响因素研究[D]: [博士学位论文]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.
- [4] 张玉翠. 气象条件对空气质量的影响因素分析——以襄阳为例[J]. 科技资讯, 2021, 19(33): 86-88.
- [5] 帅文卫, 刘望平, 刘伟, 黄忠, 曾静. 天门市城区空气污染特征及与气象条件关系分析[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(S1): 347-351.
- [6] 王小嫚. 南昌市 2017-2020 年大气污染物时空特征分析[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 东华理工大学, 2022.
- [7] 王小红, 李佳伟, 胡周莹, 普吉春, 宋燕梅. 空气污染, 气象影响有多大?——减污降碳背景下的成都市气象条件与大气污染相关性分析[J]. 中国生态文明, 2021(5): 86-89.
- [8] 杨群, 张李娟, 胡萍, 徐大红. 铜仁市 2019 年 1 月两次空气污染过程及其气象条件特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(3): 56-64.
- [9] 韩洁, 徐迎春, 庞翻, 李恩莉. 近 4 年早春宝鸡市区气象条件对空气污染的影响[J]. 陕西气象, 2020(1): 20-25.
- [10] 吴奕霄, 银燕, 顾雪松, 等. 南京北郊大气气溶胶的吸湿性观测研究[J]. 中国环境学, 2014, 34(8): 1938-1949.