

近4年早春宝鸡市区气象条件对空气污染的影响

韩洁¹,徐迎春²,庞翻¹,李恩莉¹

(1. 宝鸡市气象局,陕西宝鸡 721006;2. 武汉市气象局,武汉 430299)

摘要:利用2015—2018年3月宝鸡市区气象监测站地面观测资料与环境监测站空气质量数据进行对比分析,结果表明:①早春宝鸡市区首要污染物为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 O_3 。2016年与2018年3月污染日数多,主要气象因素是降水量偏少,连续无降水日数持续时间长,东风日明显多于西风日。② PM_{10} 质量浓度($C(PM_{10})$)变化与日平均气压、日降水量关系密切,且均为反相关; $PM_{2.5}$ 质量浓度($C(PM_{2.5})$)与日最小相对湿度正相关特征明显;臭氧质量浓度($C_{8h}(O_3)$)与日最小相对湿度呈显著反相关,与日平均气温的正相关特征明显。③气压升高,连续性降水越多,西风日越多,越有利于污染物质量浓度的下降。 $C(PM_{10})$ 大值区多出现在偏南风或偏东风时; $C(PM_{2.5})$ 和 $C_{8h}(O_3)$ 在偏东风时较大。④ $C_{8h}(O_3)$ 主要出现在前期日最高气温突然增加 $5\sim 8\text{ }^\circ\text{C}$ 的当天和日最高气温为近期极值后的 $1\sim 2\text{ d}$ 。⑤沙尘天气使 $C(PM_{10})$ 与 $C(PM_{2.5})$ 明显升高;早春影响宝鸡市区的沙尘天气主要有蒙古气旋东移和冷空气东移南下两种地面形势。

关键词:污染物质量浓度;日降水量;风向风速;沙尘天气

中图分类号:X16

文献标识码:A

随着经济发展和城市化进程的加快,污染物的排放量不断增加,污染范围不断扩大,以颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等为主要污染物的大气环境污染问题日趋严重。环境污染对经济建设和人体健康造成了极大危害,人们也开始更加关注空气质量的相关问题。污染物的排放量和气象条件是影响空气质量的主要因素。周兴江^[1]利用北京市气象要素数据与主要污染物浓度进行了对比分析,发现污染物浓度与气象要素之间有明显的非线性关系。陈渤黎等^[2]分析了2012—2014年常州市空气质量与气象要素之间的关系。张侠等^[3]对2017年陕西气象条件与大气环境质量进行了分析,发现2017年1—3月陕西省首要污染物为颗粒物($PM_{2.5}$ 和 PM_{10}),5—7月为臭氧。杜怡心等^[4]研究表明西安地区臭氧已经成为除颗粒物之外的一大污染源。徐娟娟等^[5]对关中一次重污染天气过程的气象特征进行了分析,发现污染物质

量浓度与低层风关系密切,当低层为弱偏南风时,相对湿度逐渐上升,污染物质量浓度升高。已有的研究对冬季重度污染天气的气象条件分析较多,但是对于春季特别是早春3月的分析仍然较少。3月是季节转换时节,气温起伏大、多沙尘天气,导致首要污染物种类多,污染物质量浓度与气象要素关系复杂,因此,通过对宝鸡市区2015—2018年早春(3月)的气象要素与污染物质量浓度的统计分析,探究影响3月各首要污染物质量浓度变化与不同气象要素之间的关系,为宝鸡市区早春空气污染预测提供科学依据。

1 资料选取

采用的污染物质量浓度和AQI指数资料来自于宝鸡市环保局监测站提供的2015—2018年3月宝鸡市8个环境监测站的平均逐日空气质量日报。 $PM_{2.5}$ 质量浓度($C(PM_{2.5})$)与 PM_{10} 质量浓度($C(PM_{10})$)均指一个自然日24 h平均浓度

收稿日期:2019-02-18

作者简介:韩洁(1986—),女,汉族,陕西宝鸡人,硕士,高级工程师,从事天气预报与服务。

基金项目:陕西省气象局科学技术研究项目(2017M-14)

的算数平均值,臭氧质量浓度($C_{8h}(O_3)$)是内最大的连续 8 h 平均浓度的算数平均值。

由于宝鸡市位于关中西部,为向东开口的“喇叭口”地形,南北山区空气污染小,主要污染集中在川道地区,环境监测站的 8 个站点均位于宝鸡市区,宝鸡市区的国家级气象监测站只有渭滨区气象监测站,因此选取宝鸡市渭滨区气象监测站资料代表宝鸡市区的气象要素,并与 8 个环境监测站平均 AQI 指数和主要污染物质量浓度数据进行对比分析。气象资料主要包括 MICAPS 地面实况图和温度、降水量、平均风速、逐时风向风速、相对湿度等气象要素的地面观测资料。

2 2015—2018 年 3 月宝鸡市区污染日数与主要污染物

根据宝鸡市环保局提供的宝鸡市区的空气质量日报,分析 2015—2018 年 3 月宝鸡市区的污染日数发现,3 月轻度污染以上日数最多为 2018 年和 2016 年的 16 d,其次是 2015 年 11 d,2017 年最少为 8 d。统计污染日中的首要污染物发现,首要污染物为 $PM_{2.5}$ 的日数最多,其中 2018 年和 2015 年最多为 9 d,2017 年最少为 6 d;首要污染物为 PM_{10} 的日数 2016 年最多为 8 d,2017 年最少为 2 d;首要污染物为 O_3 的日数较少,2018 年 2 d,2016 年 1 d,2015 年和 2017 年未出现。可见,近 4 a 中,宝鸡市区 3 月大气首要污染物主要为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 相对较少。2016 年和 2018 年污染日数最多,首要污染物 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 出现较多。

首要污染物出现日数

单位:d

年份	2015	2016	2017	2018
$PM_{2.5}$	9	7	6	9
PM_{10}	2	8	2	5
O_3	0	1	0	2

3 2015—2018 年 3 月 AQI 指数与降水、风向风速的关系

3.1 AQI 指数与降水

对比 2015—2018 年 3 月的总降水量(见表 2)可以看出:宝鸡市区 2017 年降水量最大,其次是 2015 年,均较历年同期(1981—2010 年 3 月降水量平均值为 24.8 mm)偏多 1 倍以上;2018 年降水量与历年同期基本持平;2016 年最小。3 月降水日数 2015 年最多为 10 d,2018 年和 2017 年同为 9 d,2016 年最少为 7 d。比较大于 5 d 的连续无降水日数发现,除 2015 年 1 次外,其余各年均均为 2 次,且 2018 年大于 5 d 的连续无降水日数持续时间最长。结合污染日数和 AQI 指数的分析来看,2018 年和 2016 年宝鸡市区降水量较少且无降水日数较多,其 3 月平均 AQI 指数均超过 100;而 2017 年和 2015 年降水量多于历年同期 1 倍以上,其大气污染日数和月平均 AQI 指数明显低于 2016 年和 2018 年。可见,降水量偏少,连续无降水日数持续时间长,空气中的污染物无法有效清除而不断累积,使得 AQI 指数升高,污染日数增多。

表 2 2015—2018 年 3 月宝鸡市区 AQI 指数与降水情况对比

年份	月平均 AQI 指数	降水量/mm	降水距平百分率/%	降水日数/d	大于 5 d 的连续无降水日数/d
2015	94	52.5	111.7	10	11
2016	108	19.5	-21.4	7	8,7
2017	88	57.8	133.1	9	10,6
2018	110	24.1	-2.8	9	10,9

3.2 AQI 指数与风向风速

受地形影响,宝鸡市区 3 月多偏东风和偏西风。为了进一步分析不同风向下,AQI 指数的变化,定义东风日与西风日,即统计一天中逐小时的

风向,若东风时次大于西风时次,则定义该日为东风日,反之为西风日;若东、西风时次相同,选择平均风速大的风向定义该日。计算东风日和西风日的平均风速、平均 AQI 指数,得到表 3。从表 3 可

以看出,只有 2017 年西风日数多于东风日

平均 AQI 指数为 4 a 中最小;2018 年平均 AQI 指数 110,为 4 a 中最高,其东风日数超出西风日数 19 d,为 4 a 中最多。2015 年和 2016 年东风日数均超过西风日数 15 d,2015 年东风日的平均风速 1.6 m/s 大于 2016 年的 1.5 m/s;2016 年西风日平均风速超过 2015 年 0.1 m/s。由此可见,

致;风向与 AQI 指数也存在一定联系。当东风日数明显多于西风日数时,AQI 指数较高;反之则 AQI 指数较低。这与宝鸡为向东开口的喇叭口地形有关,东边开阔,越向西越狭窄,当吹东风时,有利于污染物堆积;吹西风时,有利于污染物的扩散。

表 3 2015—2018 年 3 月宝鸡市区的 AQI 指数与风向风速对比

年份	月平均 AQI 指数	西风			东风		
		日数/d	AQI 指数	平均风速/(m/s)	日数/d	AQI 指数	平均风速/(m/s)
2015	94	8	93.5	1.1	23	94.6	1.6
2016	108	8	103.3	1.2	23	109.5	1.5
2017	88	17	87.8	1.1	14	88.3	1.5
2018	110	6	97.5	1.1	25	113.0	1.5

4 污染物质量浓度与气象要素的关系

计算不同气象要素与污染物质量浓度的相关系数(见表 4),选取相关性较大的气象要素。为了避免降水与日平均气温同时对污染物质量浓度的影响,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。结果显示,3 种主要污染物质量浓度与日平均气压的相关性最好,呈负相关,相关系数均超过 0.3,即气压升高,有利于污

染物的扩散。 $C(\text{PM}_{10})$ 与日降水量相关系数为 -0.34 ,相关性较好。 $C(\text{PM}_{2.5})$ 与日最小相对湿度相关系数为 0.35,相关系数在各气象要素中最高。 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 与日平均气温、日最小相对湿度的相关性最好,相关系数均超过 0.5。由此可知,气压越高,越有利于污染物的扩散;降水量越大越有利于 $C(\text{PM}_{10})$ 的降低;日平均气温越低、日相对最小湿度越大则有利于 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 的降低。

表 4 2015—2018 年 3 月宝鸡市区气象要素与污染物质量浓度的相关系数

污染物质量浓度/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	降水量	日最小相对湿度	日平均气温	日平均风速	日平均气压
$C(\text{PM}_{10})$	-0.34	-0.24	0.21	-0.04	-0.44
$C(\text{PM}_{2.5})$	-0.17	0.35	-0.02	-0.20	-0.33
$C_{8h}(\text{O}_3)$	-0.26	-0.50	0.60	0.09	-0.40

4.1 污染物质量浓度与降水、气压、相对湿度和气温

2015—2018 年 3 月,共有 13 次降水过程,其中单日降水 5 次,其余为连续 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 3 种主要污染物的清除作用不明显;其余 3 次单日降水量都大于 3 mm,均使得 $C(\text{PM}_{10})$ 降低,其中两次使 $C(\text{PM}_{2.5})$ 和 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 降低。8 次连续性降水均使

得 $C(\text{PM}_{10})$ 和 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 下降,7 次使 $C(\text{PM}_{2.5})$ 下降。由此可知,不同强度的降水对 $C(\text{PM}_{10})$ 降低效果最明显,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 3 种主要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^[7],使得污染物质量浓度不降反升。

统计气象要素变化趋势与 3 种污染物质量浓度变化之间的关系(表 5)发现,两者相关系数(表

4) 小于 0.3 时, 气象要素的变化与污染物浓度变化的正负相关特征不显著, 这可能与样本数较小有关; 因此在表 5 中主要讨论相关系数超过 0.3 时, 气象要素增大或减小引起污染物质量浓度变化的情况。结果显示: 当日平均气压减小时, $C(\text{PM}_{10})$ 69.5% 呈增加趋势, 且平均增加 $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日最小相对湿度对 $C(\text{PM}_{2.5})$ 的影响

75.4% 增加, 平均增加 $11.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 当日最小相对湿度减少时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 平均减小 $14.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。日最小相对湿度的减小与日平均气温的减小与 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 变化最为密切, 日相对湿度减小使得 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 平均增加 $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 日平均气温减小使得 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 平均减小 $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

表 5 2015—2018 年 3 月宝鸡市区污染物质量浓度变化与气象要素变化的对比

气象要素变化趋势		日平均气压		日最小相对湿度		日平均气温	
		减小	增加	减小	增加	减小	增加
$C(\text{PM}_{10})$	变化量/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	7.2	-6.3	-9.6	6.5	9.3	4.1
	频率/%	69.5	50.8	50.0	65.2	80.0	50.0
$C(\text{PM}_{2.5})$	变化量/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	3.5	-2.8	-14.8	11.0	10.0	0.5
	频率/%	66.1	49.2	64.6	75.4	72.0	41.3
$C_{8h}(\text{O}_3)$	变化量/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	6.4	-5.5	13.6	-8.9	-15.4	6.9
	频率/%	64.4	54.1	75.0	58.0	68.0	73.9

总体而言, 3 种主要污染物质量浓度分别与不同气象要素的变化关系密切。 $C(\text{PM}_{10})$ 变化与日平均气压关系密切, 且为反相关; $C(\text{PM}_{2.5})$ 变化与日最小相对湿度正相关特征明显; $C_{8h}(\text{O}_3)$ 与日最小相对湿度变化呈显著反相关, 与日平均气温的正相关特征明显。

4.2 污染物质量浓度与风场

4.2.1 日平均风速、东西风日 从表 4 看出, $C(\text{PM}_{2.5})$ 与日平均风速的相关系数为 -0.2, 相比于 $C(\text{PM}_{10})$ 和 $C_{8h}(\text{O}_3)$, 相关性较好。计算日平均风速与 $C(\text{PM}_{2.5})$ 的变化量发现, 当日平均风速增加时, $C(\text{PM}_{2.5})$ 平均减少 $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 反之, $C(\text{PM}_{2.5})$ 平均增加 $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

分别统计东风日与西风日污染物的质量浓度(表略), 东风日 3 种主要污染物质量浓度均高于西风日。其中 $C(\text{PM}_{2.5})$ 东风日与西风日差距最大, 差值为 $18.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 而 $C(\text{PM}_{10})$ 与 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 东风日与西风日的差值均未超过 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

4.2.2 08 时风场 计算 08 时、14 时、20 时、02 时的风速与 3 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对应关系最好。

从图 1a 可看出, 近 4 年 3 月 08 时风向出现频次最高为偏西北风(包括西北风、西西北风和北西北风), 其次是东东南风。从图 1b 可以看出, $C(\text{PM}_{10})$ 超过 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时主要风向为北东北风、东东北风和南东南风; $C(\text{PM}_{2.5})$ 超过 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时主要为东东北风或西西南风; $C_{8h}(\text{O}_3)$ 超过 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 主要为东北风。分析可见, $C(\text{PM}_{10})$ 大值区多出现在锋面附近的偏南风之中, 或宝鸡地区受东北路冷空气影响时的偏东北风中。 $C(\text{PM}_{2.5})$ 和 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 在偏东北风时较大, 可能与无明显天气系统影响时, 受地形影响, 宝鸡市区多偏东北风有关。

4.3 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 与日平均气温、日最小相对湿度

从图 2 可以看出: $C_{8h}(\text{O}_3)$ 的大值区主要分布在日最小相对湿度 20%~40% 之间; 当日最小相对湿度小于 30% 时, $C_{8h}(\text{O}_3)$ 呈上升趋势, 超过 30% 后, $C_{8h}(\text{O}_3)$ 开始下降。随着日平均气温上升, $C_{8h}(\text{O}_3)$ 呈线性增长趋势。分析 O_3 为首要污染物当日的日最高气温, 发现其主要出现在前期日最高气温突然增加 5~8℃ 的当天, 或出现在日最高气温为近期极值后的 1~2 d。

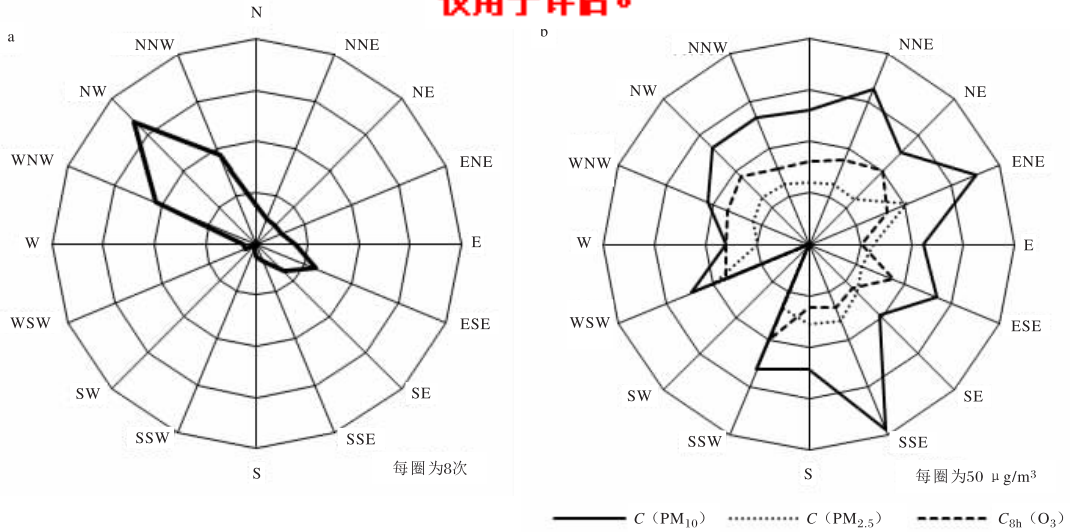


图 1 2015—2018 年 3 月宝鸡市区 08 时风向的出现频次(单位为次)
(a)、08 时不同风向与 3 种污染物质量浓度(单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (b) 的玫瑰图

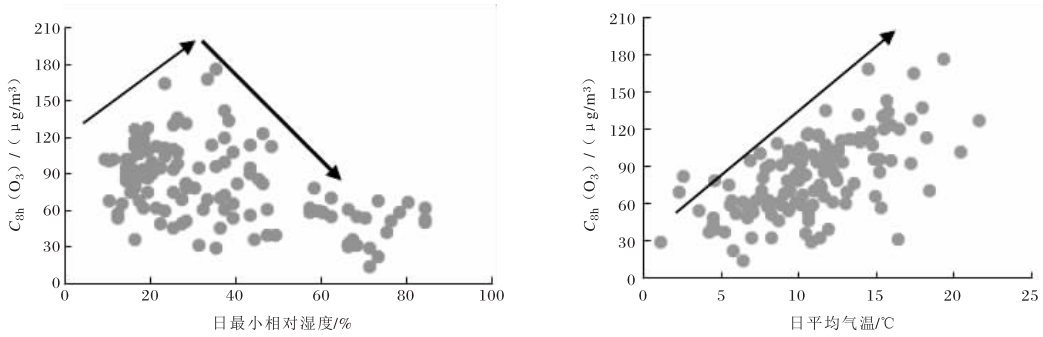


图 2 2015—2018 年 3 月宝鸡市区 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 与日最小相对湿度、日平均气温的散点图

5 沙尘天气对 3 月污染物质量浓度的影响

已有的研究表明,沙尘天气对于本地及其下游地区的空气质量会产生重大影响^[8]。春季,特别是 3 月沙尘天气对空气污染的影响在一年中最重。马敏劲等^[9]利用近 15 年兰州逐日空气质量与地面观测资料发现沙尘天气的 $C(\text{PM}_{10})$ 、 $C(\text{PM}_{2.5})$ 比非沙尘天气高 1.2~5.4 倍。以宝鸡上游地区及本地在日观测天气现象和地面 3 h 实况图中出现沙尘天气(包括浮尘、扬沙、沙尘暴)为依据,定义沙尘影响日数,4 a 共 28 d。统计沙尘当天的污染物质量浓度与前一天的差值发现,沙尘天气使 $C(\text{PM}_{10})$ 、 $C(\text{PM}_{2.5})$ 平均升高 $37.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $15.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $C_{8h}(\text{O}_3)$ 平均升高 $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。因此,沙尘天气使得 $C(\text{PM}_{10})$ 与 $C(\text{PM}_{2.5})$ 升高明显,而对 $C_{8h}(\text{O}_3)$ 影响不大。

3 月气温回暖后,当有锋面南下时,造成宝鸡

地区浮尘、扬沙天气。统计 4 a 中 28 d 沙尘影响下的地面形势场(图略),发现主要有两种典型的地面形势,一种是蒙古气旋东移,另一种是冷空气东移南下,均有利于锋面携带沙尘过境,使 $C(\text{PM}_{10})$ 和 $C(\text{PM}_{2.5})$ 明显升高。

6 结论

(1) 2015—2018 年 3 月,宝鸡市区大气污染的首要污染物为 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 和 O_3 。2016 年和 2018 年 3 月污染日数多,主要的气象因素是降水量偏少,连续无降水日数持续时间长,日平均风速小,西风日多于东风日,易使得宝鸡市区早春平均 AQI 指数升高。

(2) 气压越高,越有利于三种主要污染物质量浓度的下降。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 3 种主要污染物无明显清除作用。 $C(\text{PM}_{10})$ 变化与日平

均气压、日降水量关系密切,且为反相关; C 变化与日最小相对湿度正相关特征明显; $C_{8h}(O_3)$ 与日最小相对湿度变化呈显著反相关,与日平均气温的正相关特征明显。

(3)东风日中 3 种主要污染物的质量浓度均高于西风日,且 $C(PM_{2.5})$ 在东风日与西风日中差距最大。 $C(PM_{10})$ 大值区多出现在锋面附近的偏南风之中,或宝鸡地区受东路冷空气影响时的偏东风中。 $C(PM_{2.5})$ 和 $C_{8h}(O_3)$ 在偏东风时较大,这与无明显天气系统影响时,宝鸡地区多偏东风有关。

(4) $C_{8h}(O_3)$ 随着日最小相对湿度的增加呈现先增加后减少的趋势;日平均气温越高, $C_{8h}(O_3)$ 越高。 O_3 为首要污染物主要出现在前期日最高气温突然增加 $5\sim 8\text{ }^\circ\text{C}$ 的当天,其次出现在日最高气温为近期极值后的 $1\sim 2\text{ d}$ 。

(5)沙尘天气使得 $C(PM_{10})$ 与 $C(PM_{2.5})$ 升高明显。早春影响宝鸡市区的沙尘天气主要有两种地面形势,分别为蒙古气旋东移和冷空气东移南下。

参考文献:

[1] 周江兴. 北京市几种主要污染物浓度与气象要素

123-127.

- [2] 陈渤黎,吴建秋,吴晶露,等. 2012—2014 年常州市空气质量与气象要素关系分析[J]. 气象与减灾研究,2015,38(3):68-74.
- [3] 张侠,胡琳,王琦,等. 2017 年陕西气象条件对大气环境质量影响分析[J]. 陕西气象,2018(1):25-29.
- [4] 杜怡心,胡琳,王琦,等. 2016 年西安市气象条件对大气污染影响评价[J]. 陕西气象,2018(1):30-33.
- [5] 徐娟娟,郝丽,王百灵,等. 关中一次重污染天气过程气象特征分析[J]. 陕西气象,2018(4):1-6.
- [6] 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(2):21-24.
- [7] 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.
- [8] 张宁,张武平,张萌. 沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究[J]. 环境科学研究,2005,18(5):6-10.
- [9] 马敏劲,谭子渊,陈玥,等. 近 15 a 兰州市空气质量变化特征及沙尘天气影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2019,55(1):33-41.