

蒋镇,赵美艳.重庆城区大气细颗粒物浓度特征及其与气象因子的关系[J].气象研究与应用,2020,41(3):38–42.

Jiang Zhen, Zhao Meiyen. Characteristics of atmospheric fine particulate matter concentration in Chongqing urban area and its relationship with meteorological factors[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(3): 38–42.

重庆城区大气细颗粒物浓度特征及其与气象因子的关系

蒋 镇¹, 赵美艳²

(1.重庆市气象服务中心, 重庆 401147; 2.重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147)

摘要: 利用重庆城区 2018 年日均 $PM_{2.5}$ 浓度数据, 分析其分布特征及与降水、能见度、温度、相对湿度等气象因子之间的相关关系。结果表明, $PM_{2.5}$ 浓度与降水呈显著负相关, 较大的日降水量和连续性降水可以明显洗刷空气中的细小颗粒, 使得次日的 $PM_{2.5}$ 浓度值骤降; 和秋冬季能见度呈显著负相关; 温度对 $PM_{2.5}$ 浓度有一定影响, 但季节因素起主要作用; 与相对湿度呈显著负相关, 高湿环境下的 $PM_{2.5}$ 吸湿增大效应小于降雨的洗刷作用。

关键词: $PM_{2.5}$; 气象因子; 相关性

中图分类号: P41

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.3.07

OSID:



引言

近年来, 随着社会公众环境保护意识的不断加强, 科学家越来越关注空气污染的问题。研究表明, 影响环境空气质量的主要污染物是可吸入颗粒物(PM_{10})和细颗粒物($PM_{2.5}$)^[1-4]。与其他较粗的颗粒物相比, $PM_{2.5}$ 具有粒径小、重量轻、活性强且易附带有毒、有害物质, 在大气中停留时间长、输送距离远、能够被人体吸入肺部等特征, 因此它对人体健康的危害更大, 影响范围更广^[5-7]。

欧美国家对 $PM_{2.5}$ 的研究工作起步较早, 在上世纪 80 年代, 美国、加拿大、西班牙等国就开展了 $PM_{2.5}$ 的观测和化学组成的分析研究^[8]。随着我国环保部门在全国主要城市建立了对环境空气污染的全国性监测, 国内对 $PM_{2.5}$ 的研究工作越来越重视。刘辉^[9]、吴志萍^[10]等分析了不同类型绿地以及不同天气下的 $PM_{2.5}$ 浓度, 认为气象条件是影响 $PM_{2.5}$ 浓度的重要因素。张连科等^[11]发现包头市的 $PM_{2.5}$ 浓度变化随天气变化波动明显。赵晨曦等^[12]认为风速是影响北京污染物质量浓度分布的主要因素。刘雯等^[13]发现武汉市 $PM_{2.5}$ 浓度与气象因子的关系呈现季节

性差异。

重庆主城区位于中梁山和铜锣山之间的槽谷地带, 长江、嘉陵江在此交汇, 常年多雾少风且高温频现, 特殊地形和特殊气候条件对 $PM_{2.5}$ 浓度变化有着重要的影响。目前对重庆主城区 $PM_{2.5}$ 浓度的研究更多的是侧重于 $PM_{2.5}$ 的来源以及化学成分的分析^[14-16], 对重庆主城区的 $PM_{2.5}$ 浓度与气象因子的关系的研究较少, 本文将在分析主城区 $PM_{2.5}$ 质量浓度特征的基础上, 简要分析其与气象因子的关系, 以为环境气象预报提供基础理论依据。

1 资料

$PM_{2.5}$ 资料取自中国环境监测总站发布的重庆城区 2018 年全年的日平均数据, 气象资料来自重庆市主城区沙坪坝站 2018 年的常规观测数据。

2 重庆城区 $PM_{2.5}$ 浓度特征

从图 1 可以看出, 重庆城区 $PM_{2.5}$ 质量浓度存在明显的季节变化。冬季最高, 1 月平均值达到 $131 \mu g \cdot m^{-3}$, 秋季次之, 春夏季节则相对低些。相对于 WHO 空气质量标准(或推荐值)而言, 重庆城区细颗

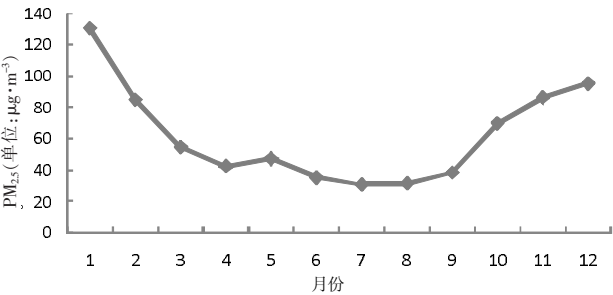


图 1 重庆城区月平均 PM_{2.5} 浓度分布图(单位:μg·m⁻³)

颗粒物污染在秋冬季节还是比较严重的。

3 PM_{2.5} 质量浓度与气象因子的关系

重污染天气与当地的天气形势、气候环流特征等气象条件密切相关^[17-19]。郑晓霞^[20]、王京丽^[21]、翟广宇^[22]等的研究表明降雨、风速等气象要素与PM_{2.5}的沉降和消散关系密切。本文选取降水、能见度、温度、相对湿度 4 种气象因子,分别与 PM_{2.5} 质量浓度进行相关分析,寻找它们之间的联系,以便更好地了解影响重庆城区 PM_{2.5} 浓度的气象因子。

利用重庆城区 2018 年逐日降水、能见度、平均温度、平均相对湿度等观测资料及相对应的 PM_{2.5} 资料,计算 PM_{2.5} 浓度值与不同气象因子的相关关系,并进行如下相关显著性检验^[23]:

- (1)|R|<R_{0.05}(n-2)时,相关不显著;
- (2)|R|≥R_{0.05}(n-2)时,相关显著。

n 为用来进行检验的数据个数,R 为相关系数,R_{0.05}(n-2)为显著性水平 α=0.05 时相关系数的临界值。例如,当 n=28 时(即 2 月份),R_{0.05}(n-2)=0.361;n=30 时,R_{0.05}(n-2)=0.349;n=31 时,R_{0.05}(n-2)=0.344。

表 1 为各气象因子与 PM_{2.5} 浓度值的相关系数分布。通过上述相关显著性检验可知,PM_{2.5} 与降水、能见度、相对湿度呈负相关,而与温度基本呈正相关。其中,降水与 PM_{2.5} 在春季和夏季(即在降水较为集中的月份)相关性较为显著;能见度与 PM_{2.5} 在大部分月份都是显著性负相关(6 月除外),尤其是在秋冬季均通过了显著性检验;温度与 PM_{2.5} 在大部分月份均为显著性正相关,仅在 10—12 月份呈较小的负相关;PM_{2.5} 与相对湿度的显著相关只有 6、8、9、12 月份。

3.1 PM_{2.5} 质量浓度与降水

重庆的雨季一般始于春季,夏季最强,秋季减弱,冬季降水较少。图 2 给出了 PM_{2.5} 月平均浓度与月降水总量随时间的变化,可以看出,降水量较大的

表 1 各气象因子与 PM_{2.5} 浓度值相关系数

	降水	能见度	温度	相对湿度
1 月	-0.244	-0.256	0.543*	0.008
2 月	-0.406*	-0.731*	0.461*	-0.142
3 月	-0.435*	-0.296	0.493*	-0.278
4 月	-0.297	-0.655*	0.079	-0.076
5 月	-0.387*	-0.561*	0.347*	-0.069
6 月	-0.458*	0.027	0.600*	-0.597*
7 月	-0.217	-0.506*	0.195	-0.073
8 月	-0.433*	-0.188	0.465*	-0.573*
9 月	-0.448*	-0.587*	0.378*	-0.471*
10 月	-0.314	-0.608*	-0.035	0.007
11 月	-0.162	-0.497*	-0.182	-0.011
12 月	-0.537*	-0.404*	-0.208	-0.618*

注:* 表示相关显著

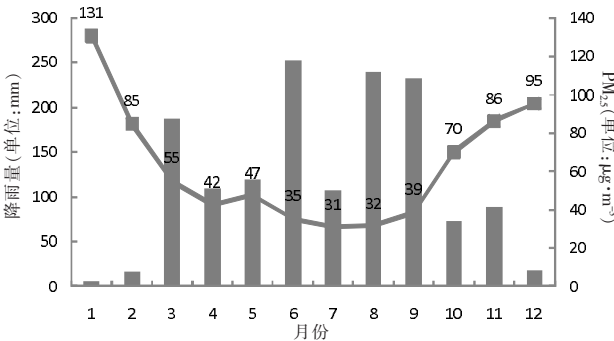


图 2 PM_{2.5} 月平均浓度与月降水量时间分布图
折线为 PM_{2.5}(μg·m⁻³),柱状为降水量(mm)

月份也是细粒子浓度较低的时间,尤其是夏季,细粒子浓度基本在 40μg·m⁻³(月均值)以下。

2018 年春季重庆城区降水总体偏多,以 3 月份为例,降水较常年同期偏多 336%。从 PM_{2.5} 浓度日平均值和日降水量分布图(图 3)可以看出,在 20 日 PM_{2.5} 浓度值达到 3 月份的一个峰值 109μg·m⁻³,而始于 20 日夜间的的一场暴雨(日降水量达 90.0mm)使

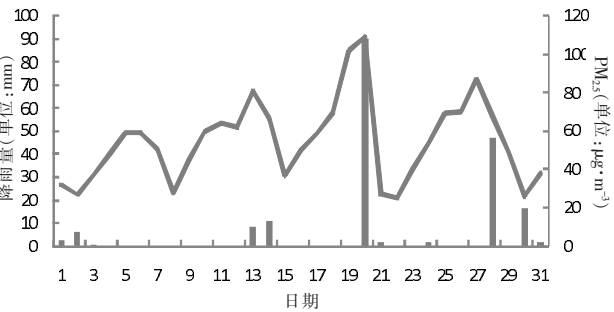


图 3 2018 年 3 月 PM_{2.5} 浓度日平均值和日降水量分布图
折线为 PM_{2.5}(μg·m⁻³),柱状为降水量(mm)

得 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值由 20 日的 $109\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 降到 21 日的 $27\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 日变量达 $82\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。3 月 28 日的大雨过程也使细颗粒物浓度大幅下降。同样, 5 月 10 日重庆城区日降水量 21.0mm 的一场降雨致使次日 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值下降了 $63\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (图略)。通过对秋冬季降雨过程与 $\text{PM}_{2.5}$ 的关系分析可见, 秋、冬季以小雨天气过程为主, 小雨对 $\text{PM}_{2.5}$ 的洗刷作用相对较弱。由此可见较强降水对细颗粒有较好的冲刷作用。

为了能够更清楚地了解降水对细颗粒浓度的影响, 现对每个月 $\text{PM}_{2.5}$ 日变化(当日 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值-次日 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值 ≥ 0) 的天数, 以下简称 $\Delta\geq 0$ 的天数, 即 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值减少的日期做一个统计, 同时

查找 $\Delta\geq 0$ 时所对应的降水日, 结果如表 2。从统计结果可以发现, 春季和夏季(7 月份除外, 从气象月报表天气概况查到 2018 年 7 月重庆城区降水较常年偏少 42%), 由于降水而使细颗粒浓度减少所占的比重较大, 尤其是 4 月份, 虽然月总降水量比 3 月和 5 月少, 但是本月降水日数达到 17d, 而对应的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值减少的天数所占比重达到 77%。

以上分析可以发现, 较大的日降水量可以使次日的细颗粒浓度值骤降, 同时较长天数的连续性降水, 即使是小雨, 也可以洗刷空气中的细小颗粒, 这或许是春夏季节 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值相对较低的一个重要原因。

表 2 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值减少的天数及其与降水天数对应关系表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
① $\Delta\geq 0$ 天数	16	15	13	13	14	13	15	18	17	15	15	14
②降水日对应的 $\Delta\geq 0$ 天数	6	6	7	10	9	8	1	9	8	6	11	5
②/①的百分比(单位: %)	38	40	54	77	64	62	6.7	50	47	40	73	36

注: Δ =当日 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值-次日 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值

3.2 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度与能见度

重庆城区能见度年度分布极不均匀, 冬季最低, 尤其是 1 月份, 能见度月均值只有 2 000m 左右, 而夏季最高, 月均值 7 月份达到 12 000m。为了便于对

2018 年不同季节能见度与 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度间的相关关系进行比较, 将两者的关系用指数关系表示, 如图 4。

统计结果显示: 能见度与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值呈较明显的负相关, 且相关系数值由大到小次序为冬季—秋

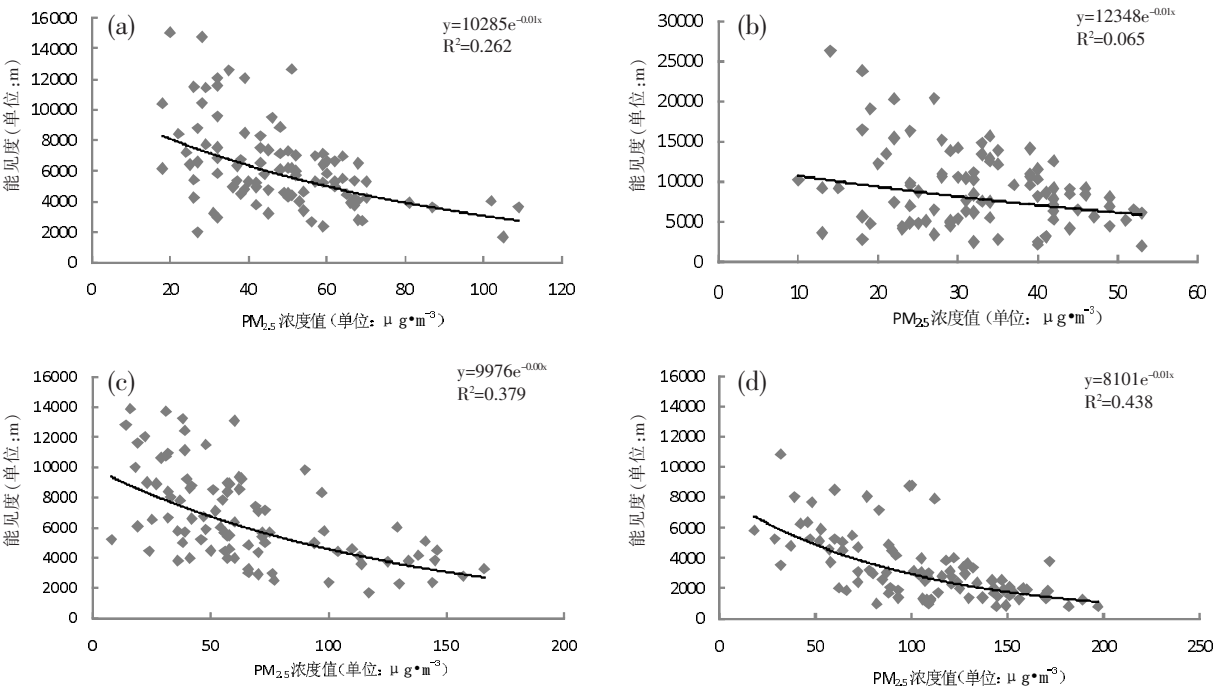


图 4 能见度与 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度散点分布
(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季

季—春季—夏季。重庆城区冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值最高(图 1),素有“雾都”之称的重庆冬季湿度较大,相对湿度日均值达 80%以上, $\text{PM}_{2.5}$ 在相对湿度较大的环境中可能吸湿性增长,而重庆城区冬季大气层结比较稳定, $\text{PM}_{2.5}$ 难以随着风速、降雨进行扩散和沉降,因而导致能见度降低。

3.3 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度与温度

从 2018 年的月平均温度折线图(图 5)可以看出,平均温度从 3 月份开始迅速回升,在 7 月、8 月达到最高,冬季温度最低,月平均温度 1 月低至 8.5°C 。逐日温度与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在大部分月份呈正相关关系,在汛期表现为显著性相关,仅在 10—12 月份为较小的负相关。但在 4 月、7 月、10 月等季节交替时期,转折性天气较多,温度易出现剧烈变化,两者的相关性出现差异,这说明温度对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度有影响,但不能起到决定性作用,气温的高低不能反应空气质量的好坏。

从 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度逐月分布图(图 1)可知,夏季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度低,温度高,冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高,温度低,二者呈

现为负相关关系。这主要是由于夏季对流性天气频繁,大风、降雨较多, $\text{PM}_{2.5}$ 易消散和沉降,而冬季大气长期处于静稳状态,降雨、风速较小, $\text{PM}_{2.5}$ 难以沉降,季节因素在其中起主要作用。

3.4 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度与相对湿度

重庆城区常年湿度较大,2018 年平均相对湿度达 78%,其中 11 月平均值达 86%。从月平均相对湿度及其与 $\text{PM}_{2.5}$ 相关系数合成图(图 6)不难发现, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与相对湿度呈现负相关关系,二者相关较为显著的月份为 6 月、8 月、9 月、12 月。结合前面图 2 的降水分布图可以看到,6 月、8 月、9 月的累积降水量均超过 200mm,是一年中降水最多的月份。由此可见夏季湿度大,而大气层结不稳定,容易形成降水,从而使细粒子浓度减少。12 月 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值较高,且相对湿度也较大,两者应该呈现正相关关系,从 12 月逐日降雨、相对湿度等气象要素和天气过程发现,相对湿度增大时,往往伴随着降雨天气过程,因此可以认为降雨对 $\text{PM}_{2.5}$ 的洗刷作用要大于 $\text{PM}_{2.5}$ 在高湿环境下的吸湿增大作用。

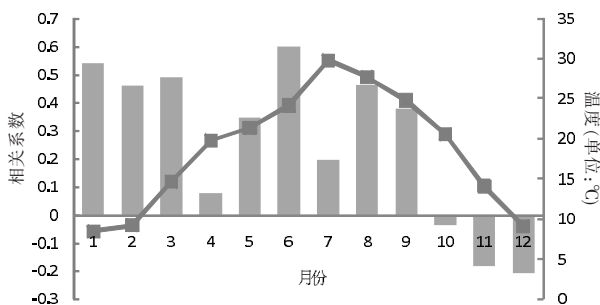


图 5 2018 年月平均温度及其与 $\text{PM}_{2.5}$ 相关系数分布图
折线为温度($^{\circ}\text{C}$),柱状为相关系数

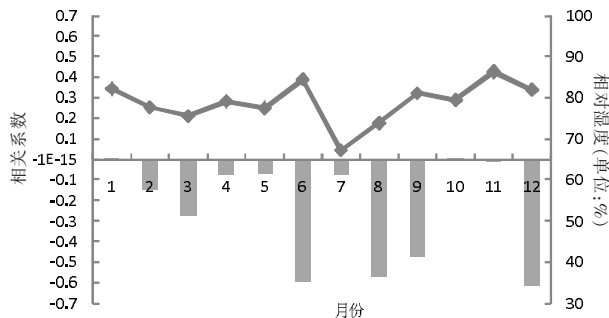


图 6 2018 年月平均相对湿度及其与 $\text{PM}_{2.5}$ 相关系数分布图
折线为相对湿度(%),柱状为相关系数

4 结论和讨论

通过分析 2018 年重庆城区 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度值及其与降水、能见度、温度、相对湿度 4 个气象因子的关系,得出以下结论:

(1)重庆城区冬季污染严重, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值最高,春季开始减少,夏季最低,秋季逐渐上升。

(2)在春夏季节 $\text{PM}_{2.5}$ 与降水呈显著负相关关系。较大的日降水量可以使次日的细粒子浓度值骤降。较长时间的连续性降水(即使雨量很小),可以洗刷空气中的细小粒子,使得空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值减小。

(3) $\text{PM}_{2.5}$ 与能见度呈显著负相关关系,空气中细粒子越多,能见度越低,尤其是秋冬季节,重庆城

区大气层结稳定,细粒子难以扩散,相对湿度较大,为 $\text{PM}_{2.5}$ 的吸湿增大提供了有利条件,导致能见度较低。需要说明的是,在 6 月份,二者的相关性不明显,这或许是因为重庆的暴雨天气过程主要集中在 6 月,降水对能见度的影响远大于能见度对 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响有关,因此二者的相关关系不密切,后期还需要通过更多更长时间序列的数据来进行分析。

(4)在日变化上, $\text{PM}_{2.5}$ 与温度呈显著的正相关关系。在月变化上, $\text{PM}_{2.5}$ 与温度呈显著的负相关关系。温度对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度有影响,但不能起到决定性作用。

(5) $\text{PM}_{2.5}$ 与相对湿度呈显著的负相关关系,且降雨对 $\text{PM}_{2.5}$ 的洗刷作用要大于 $\text{PM}_{2.5}$ 在高湿环境下的吸湿增大作用。

参考文献:

- [1] 黄鹂,王格慧,王芸,等.南京市空气中颗粒物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 污染水平[J].中国环境科学,2002,22(4):334-337.
- [2] 李令军,王占山,张大伟,等.2013~2014年北京大气重污染特征研究[J].中国环境科学,2016,36(1):27-35.
- [3] 邓霞君,蔡振群,项晓美,等.浙江省空气质量及主要气象因子的影响分析[J].环境科学与技术,2014,37(S2):372-377,395.
- [4] 叶建刚,靳宁.2013-2016年浙北城市群空气质量变化特征及与气象条件的关系分析[J].科技通报,2019,35(9):207-212.
- [5] 安俊岭,张仁健,韩志伟.北方15个大型城市总悬浮颗粒物的季节变化[J].气候与环境研究,2000,5(1):25-29.
- [6] 李继忠,边毓尧,郭文有,等. $PM_{2.5}$ 与呼吸系统疾病发病率关系流行病学调查研究[J].陕西医学杂志,2018,47(6):805-808.
- [7] 孙兆彬,安兴琴,崔薷薷,等.北京地区颗粒物健康效应研究——沙尘天气、非沙尘天气下颗粒物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 对心血管疾病入院人次的影响[J].中国环境科学,2016,36(8):2536-2544.
- [8] 徐敬.北京城区单点气溶胶细粒子 $PM_{2.5}$ 观测分析与研究[D].北京:中国气象科学研究院硕士学位论文,2003.
- [9] 刘辉,贺克斌,马永亮,等.2008年奥运前后北京城、郊 $PM_{2.5}$ 及其水溶性离子变化特征[J].环境科学学报,2011,31(1):177-185.
- [10] 吴志萍,王成,侯晓静,等.6种城市绿地空气 $PM_{2.5}$ 浓度变化规律的研究[J].安徽农业大学学报,2008,35(4):494-498.
- [11] 张连科,鲁尚发,焦坤灵,等.包头城区冬春大气颗粒物污染特征及其与气象条件关系[J].大气与环境光学学报,2017,12(6):401-410.
- [12] 赵晨曦,王云琦,王玉杰,等.北京地区冬春 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染水平时空分布及其与气象条件的关系[J].环境科学,2014,35(2):418-427.
- [13] 刘雯,张晓春,李俊,等.武汉市观象台2013—2016年 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化及其与气象因子的相关分析[J].气象与环境科学,2018,41(2):23-29.
- [14] 余家燕,王军,许丽萍,等.重庆城区 $PM_{2.5}$ 化学组分特征及季节变化[J].环境工程学报,2017,11(12):6372-6378.
- [15] 任丽红,周志恩,赵雪艳,等.重庆主城区大气 PM_{10} 及 $PM_{2.5}$ 来源解析[J].环境科学研究,2014,27(12):1387-1394.
- [16] 黄翠,翟崇治,李礼,等.重庆主城区 $PM_{2.5}$ 中金属元素组分特征分析[J].重庆工商大学学报,2014,31(11):93-97.
- [17] 张云海,马雁军,王扬锋.辽宁中部地区灰霾天气气候环境特征[J].生态环境学报,2010,19(5):1114-1118.
- [18] 杨洪斌,李元宜,邹旭东,等.辽宁空气中中度污染和重污染天气类型分析[J].气象与环境学报,2009,25(6):15-17.
- [19] 马雁军,刘宁微,王扬锋.辽宁中部城市群大气污染分布及典型重污染的成因[J].城市环境与城市生态,2006,19(6):32-35.
- [20] 郑晓霞,赵文吉,晏星,等.降雨过程后北京城区 $PM_{2.5}$ 日时空变化研究[J].生态环境学报,2014,23(5):797-805.
- [21] 王京丽,刘旭林.北京市大气细颗粒物质量浓度与能见度定量关系初探[J].气象学报,2006,64(2):221-228.
- [22] 翟广宇,王式功,董继元,等.兰州市不同粒径大气颗粒物污染特征及气象因子的影响分析[J].生态环境学报,2015,24(1):70-75.
- [23] 贾梦唯,赵天良,张祥志,等.南京主要大气污染物季节变化及相关气象分析[J].中国环境科学,2016,36(9):2567-2577.

Characteristics of atmospheric fine particulate matter concentration in Chongqing urban area and its relationship with meteorological factors

Jiang Zhen¹, Zhao Meiyan²

(1. Chongqing Meteorological Service Center, Chongqing 401147;

2. Chongqing Meteorological Information and Technical Support Center, Chongqing 401147)

Abstract: Based on the daily average $PM_{2.5}$ concentration data in Chongqing urban area in 2018, its distribution characteristics and the correlation with precipitation, visibility, temperature, relative humidity and other meteorological factors were analyzed. The results show that there is a significant negative correlation between $PM_{2.5}$ concentration and precipitation. Stronger daily precipitation and continuous precipitation could wash away the fine particles in the air and make the $PM_{2.5}$ concentration drop sharply the next day. $PM_{2.5}$ concentration is significantly negatively correlated with visibility in autumn and winter. Temperature has a certain influence on $PM_{2.5}$ concentration, but seasonal factors play a major role. $PM_{2.5}$ concentration is significantly negatively correlated with relative humidity, and the effect of increasing moisture absorption of $PM_{2.5}$ in a high-humidity environment is less than the scrubbing effect of rainfall.

Key words: $PM_{2.5}$; meteorological factors; correlation