

重庆涪陵大气污染物特征及其与气象要素的关系^①

倪超¹, 李新江¹, 向涛¹,
栾松¹, 郭志¹, 戴小东¹, 李强²

1. 重庆市涪陵区气象局, 重庆 涪陵 408000; 2. 重庆市北碚区气象局, 重庆 400700

摘要: 利用重庆涪陵 2010—2014 年空气质量监测数据和同期的气象资料, 分析了涪陵地区大气污染物的变化情况与气象要素的相关关系。结果表明: 涪陵从 2010 到 2014 年空气质量有变好趋势, 迎宾大道和兴华中路的空气质量总体较好, AQI 指数优良天数分别占 87% 和 85.6%, PM₁₀ 为涪陵首要污染物。PM₁₀, SO₂ 质量浓度具有周期性变化特征, 从 1 月至 12 月为先降低后升高的趋势, 每年较冷的 12 月、1 月、2 月 PM₁₀ 质量浓度值较高, 较热的月份质量浓度值较低。NO₂ 质量浓度年际间变化幅度较小。PM₁₀ 与气温、降水量、相对湿度、平均风速具有负相关性, 与气压具有正相关, 即气温越高、降雨量越大、气压越低、风速越大, PM₁₀ 质量浓度越低。SO₂, NO₂ 与气温、气压、降水量均为负相关, 与相对湿度正相关。不同月份大气污染物与气象要素的相关性存在较大差异。

关键词: 大气污染物; 变化特征; 气象要素; 相关性

中图分类号: X51; P49

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)09-0123-08

随着经济社会的发展, 环境污染问题已成为时下一个非常严峻的问题。秋冬季节是雾霾天气的高发期, 近几年在中国部分地区爆发了多次重度雾霾污染天气, 这引起学者的广泛关注^[1-3], 其中冀翠华等^[4]、唐宜西等^[5]、马珊珊等^[6]研究表明, 大气污染物质量浓度与气象条件存在着紧密联系, 高污染时期往往具有不利污染物扩散的气象条件。重庆地区同样也受到雾霾天气困扰, 一些学者围绕重庆市主城区开展了研究^[7-15]。梁城城等^[7]研究认为重庆市经济增长会使得工业粉尘、工业二氧化硫、固体废弃物、废水的人均排放量在不同程度上下降, 但是工业废气的人均排放量增加。韩余等^[8]对重庆市春节期间的污染过程进行了研究, 春节期间解禁燃放鞭炮后空气质量较之前发生明显变化。周国兵等^[9]分析了重庆主城区在雾天、晴天和阴天 3 种不同天气背景下边界层气象条件对 PM₁₀ 的影响, 得出 PM₁₀ 日变化具有“双峰双谷”特征。王中等^[10]研究表明, 高温逆湿频率、低风速、多中性层结和较薄的混合层是造成重庆主城冬季空气质量较差的主要气象因素。刘德琴等^[11]针对渝中区的污染现状进行了研究并提出了防治措施。陈小敏等^[12-13]研究了重庆主城区冬季降水强度对大气污染物的影响, 不同级别的降水对污染物具有不同的清除效率, 认为人工增雨有助于减轻大气污染。王祥炳等^[14]对重庆市黔江区春季大气污染与气象要素进行了分析, 表明了两者之间具有相关性。李强等^[15]对重庆北碚区进行了研究, 指出大气污染物的积累和消散是一个渐变的过程, 大气污染物在不同的月份受气象要素的影响程度不同, 主要影响因素也不同。本文拟对涪陵的污染物变化特征及其与气象要素的相关性进行分析, 为大气污染防治提供基础。

① 收稿日期: 2018-01-29

基金项目: 重庆市气象局业务攻关团队项目(YWGGTD-201619)。

作者简介: 倪超(1981-), 男, 学士, 工程师, 主要从事农业气象决策及应用气象研究。

1 资料来源和方法

1.1 资料来源

本文采用的资料为重庆市涪陵区兴华中路和迎宾大道两个监测点 2010—2014 年空气质量监测数据和同期涪陵国家基本气象站的气象资料. 迎宾大道地处涪陵长江二桥附近, 靠近涪陵李渡新区, 附近有一座化工厂. 兴华中路地处重庆涪陵三环路, 位于高笋塘商圈附近, 人流密集, 车流量较大. 空气质量监测数据来源于重庆市涪陵区环境保护局, 主要监测项目为 PM_{10} , SO_2 , NO_2 . 气象资料来自重庆市涪陵区气象局, 气象要素主要有气温、降水量、气压、风速、相对湿度、平均风速等.

1.2 研究方法

1.2.1 空气质量指数(AQI)^[16]

空气质量指数, 是指定量描述空气质量状况的无量纲指数. 根据环境空气质量指数(AQI)技术规定(HJ633-2012), 每项空气污染物对应一个空气质量分指数(IAQI), IAQI 与各项空气污染物的质量浓度有关, AQI 取各项分指数的最大值. AQI 大于 50 时, IAQI 最大的污染物为首要污染物. AQI 共分为 6 级, 如表 1 所示.

表 1 空气质量指数分级标准

空气质量指数(AQI)	空气质量指数级别	空气质量指数类别
0~50	一级	优
51~100	二级	良
101~150	三级	轻度污染
151~200	四级	中度污染
201~300	五级	重度污染
>300	六级	严重污染

1.2.2 皮尔逊相关系数^[17]

皮尔逊相关系数, 可用于描述 2 个变量间的紧密程度, 通常用以表征 2 个变量之间的相关性, 其值介于 -1 至 1 之间, 一般用 r 表示, 计算公式如式(1) 所示.

$$r_{xy} = \frac{n \sum (xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)} \sqrt{(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

式中: n 为样本量; x, y 为 2 个变量的观测值; 当 $r > 0$, 表明 2 个变量为正相关性, $r < 0$, 表明 2 个变量为负相关性, r 绝对值越大, 相关性越强. 使用 SPSS 软件可以进行皮尔逊相关系数分析.

2 涪陵大气污染物特征分析

利用重庆涪陵迎宾大道和兴华中路空气质量日监测数据, 结合 IAQI 分指数分级方案统计得出表 2, 迎宾大道和兴华中路日均 PM_{10} 质量浓度小于 0.15 mg/m^3 分别占 88.3% 和 95.9%, 迎宾大道在 0.15 mg/m^3 以上占 11%. 迎宾大道和兴华中路日均 SO_2 质量浓度小于 0.15 mg/m^3 分别占 97.2% 和 93.9%, 日均 NO_2 质量浓度小于 0.15 mg/m^3 均在 99% 以上, 但迎宾大道的 SO_2, NO_2 质量浓度小于 0.05 mg/m^3 所占比例分别比兴华中路高 22.5% 和 19.8%. 根据环境空气质量指数(AQI)技术规定(HJ633-2012)计算逐日 AQI 指数, 并按 AQI 指数等级统计得表 3, 迎宾大道空气质量优良占比 87%, 轻度污染 10.9%, 中度污染以上共计 2.1%, 兴华中路优良共计 85.6%, 轻度污染 13.7%, 中度污染以上共计 0.7%. 迎宾大道和兴华中路空气质量总体情况较好, 3 种污染物中 PM_{10} 为首要污染物.

表 2 重庆涪陵 2010—2014 年迎宾大道和兴华中路污染物日均值分级统计

mg/m³

	质量浓度≤0.05	0.05<质量浓度≤0.15	质量浓度>0.15
迎宾大道 PM ₁₀	0.274	0.609	0.116
兴华中路 PM ₁₀	0.320	0.639	0.042
迎宾大道 SO ₂	0.573	0.399	0.028
兴华中路 SO ₂	0.348	0.591	0.061
迎宾大道 NO ₂	0.843	0.154	0.002
兴华中路 NO ₂	0.645	0.347	0.008

表 3 重庆涪陵 2010—2014 年迎宾大道和兴华中路 AQI 指数统计

AQI 等级		≤50	51~100	101~150	151~200	201~300	>300
迎宾大道	日数	358	1226	199	30	6	2
	比率	0.197	0.673	0.109	0.016	0.003	0.001
兴华中路	日数	221	1342	251	9	3	0
	比率	0.121	0.735	0.137	0.005	0.002	0.000

图 1 为涪陵迎宾大道和兴华中路 PM₁₀,SO₂,NO₂ 各月平均质量浓度。3 种大气污染物质量浓度总体上先降低后升高,PM₁₀,SO₂ 逐月变化比较明显,PM₁₀,SO₂ 高值出现在较冷的 1 月,低值分别出现在 7 月和 5 月;而 NO₂ 质量浓度波动幅度较小,最低值出现在 2 月份。

图 2 为迎宾大道和兴华中路 2 个监测点的 PM₁₀ 质量浓度逐月均值变化情况。图中显示各监测点 PM₁₀ 质量浓度具有周期性变化,每年 12 月、1 月、2 月 PM₁₀ 质量浓度较高,为峰值区;而低值出现月份则不完全相同,但通常出现在较热的月份。对比来看,前 2 年迎宾大道 PM₁₀ 质量浓度较高,后 3 年兴华中路 PM₁₀ 质量浓度较高。图 3 为迎宾大道、兴华中路 2 个监测点 SO₂ 质量浓度逐月均值变化情况。SO₂ 峰值一般出现在 1 月或 2 月份,和 PM₁₀ 的峰值出现时间相一致。2 个监测点对比,迎宾大道 SO₂ 质量浓度低于兴华中路。NO₂ 质量浓度年际间变化幅度较小,周期性变化不明显(图 4),2010 年 9 月后兴华中路质量浓度高于迎宾大道。

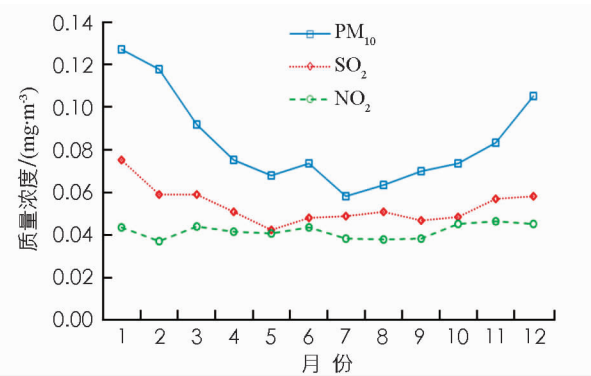


图 1 涪陵迎宾大道和兴华中路 PM₁₀,SO₂,NO₂ 质量浓度 1—12 月均值(2010—2014 年)

图 3 为迎宾大道、兴华中路 2 个监测点 SO₂ 质量浓度逐月均值变化情况。SO₂ 峰值一般出现在 1 月或 2 月份,和 PM₁₀ 的峰值出现时间相一致。2 个监测点对比,迎宾大道 SO₂ 质量浓度低于兴华中路。NO₂ 质量浓度年际间变化幅度较小,周期性变化不明显(图 4),2010 年 9 月后兴华中路质量浓度高于迎宾大道。

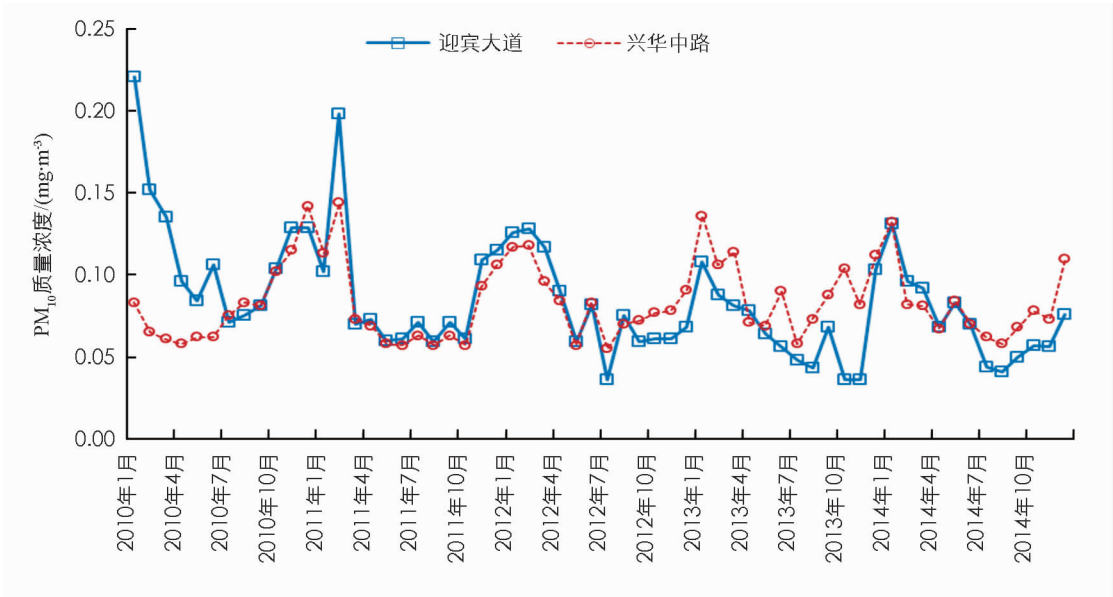


图 2 涪陵迎宾大道和兴华中路 PM₁₀ 质量浓度逐月均值变化(2010—2014 年)

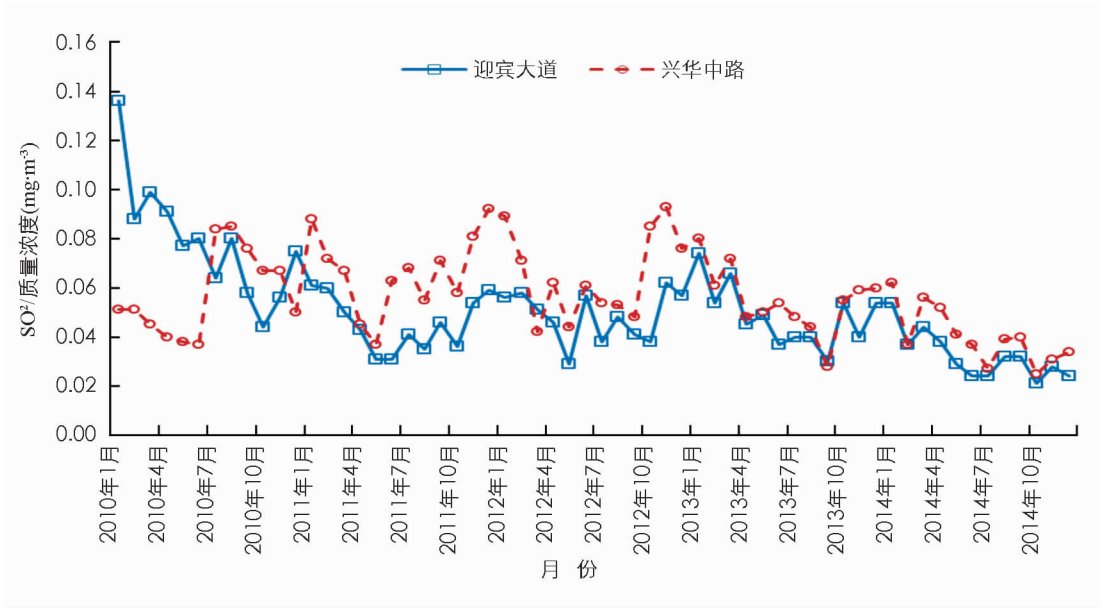


图 3 涪陵迎宾大道和兴华中路 SO_2 质量浓度逐月均值变化(2010—2014 年)

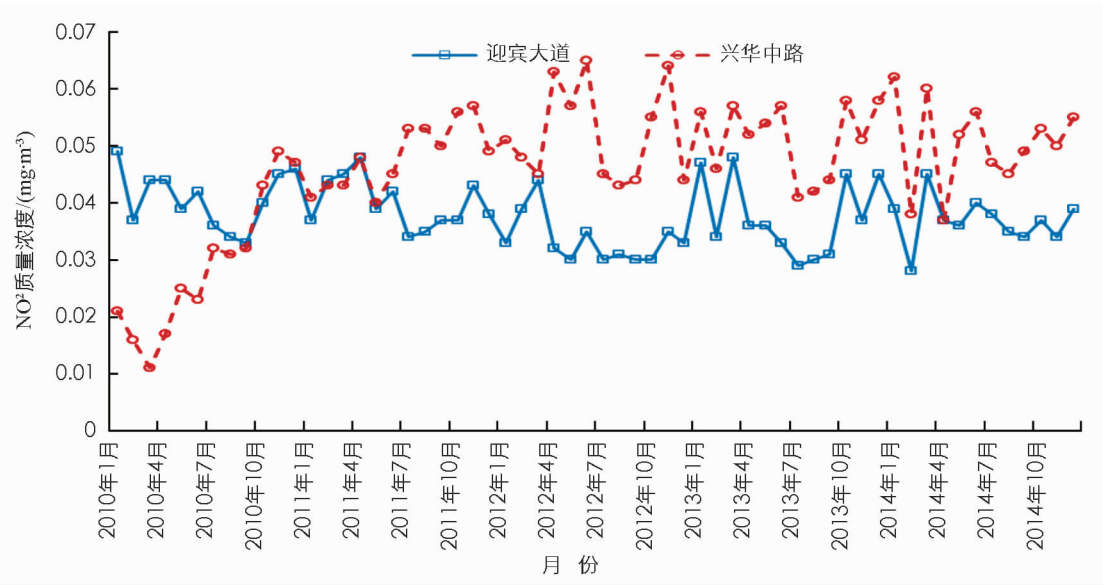


图 4 涪陵迎宾大道和兴华中路 NO_2 质量浓度逐月均值变化(2010—2014 年)

为了进一步研究涪陵大气污染物质量浓度的变化特征,将迎宾大道和兴华中路的 PM_{10} , SO_2 , NO_2 质量浓度值按月平均,然后取 3 个月滑动平均值(图 5)。图中显示, PM_{10} 质量浓度周期性变化明显, SO_2 质量浓度也具有一定的周期性变化规律,比较而言, NO_2 质量浓度变化的周期性则不明显。3 种污染物的质量浓度从大到小依次是 PM_{10} , SO_2 , NO_2 。从 2010 年至 2014 年, PM_{10} , SO_2 为下降趋势; NO_2 质量浓度 2010 年稍低, 2010 年之后质量浓度比较稳定, 年际间变化不大。 PM_{10} , SO_2 质量浓度下降的原因, 可能与政府部门加大环保经费投入有关, 说明大气污染治理取得了实效。 NO_2 总体变化不大, 兴华中路质量浓度高于迎宾大道, 这可能与兴华中路所处的环境有关, 兴华中路位于商圈附近, 人流和车流密集, 交通拥堵, 造成汽车尾气排放量增加, 汽车尾气的主要成份之一便是 NO , NO 容易被氧化为 NO_2 并成为大气污染物。

3 涪陵大气污染物和气象要素的相关性

利用涪陵兴华中路 2010—2014 年逐日气象资料和空气质量监测数据, 采用皮尔逊相关系数分析大气

污染物 PM_{10} , SO_2 和 NO_2 的质量浓度与气象要素的相关性. 表 4 列出了兴华中路大气污染物质量浓度 (SO_2 , NO_2 , PM_{10}) 与气压、气温、降水量、相对湿度、平均风速的皮尔逊相关系数. PM_{10} 与气温、降雨量、相对湿度、风速具有负相关性, 与气压具有正相关性, 即气温越高, 降雨越多, 气压越小, 风速越大, PM_{10} 质量浓度越低, 相对湿度与 PM_{10} 相关性无统计学意义. SO_2 , NO_2 与气温、气压、降雨量均为负相关性, 与相对湿度具有正相关性, 但是 SO_2 , NO_2 与气象要素的相关系数都较小, 说明涪陵地区 SO_2 , NO_2 质量浓度受气象要素的影响较小. 3 种污染物中, PM_{10} 与气象要素的相关系数较大, 说明 PM_{10} 受气象要素的影响最大.

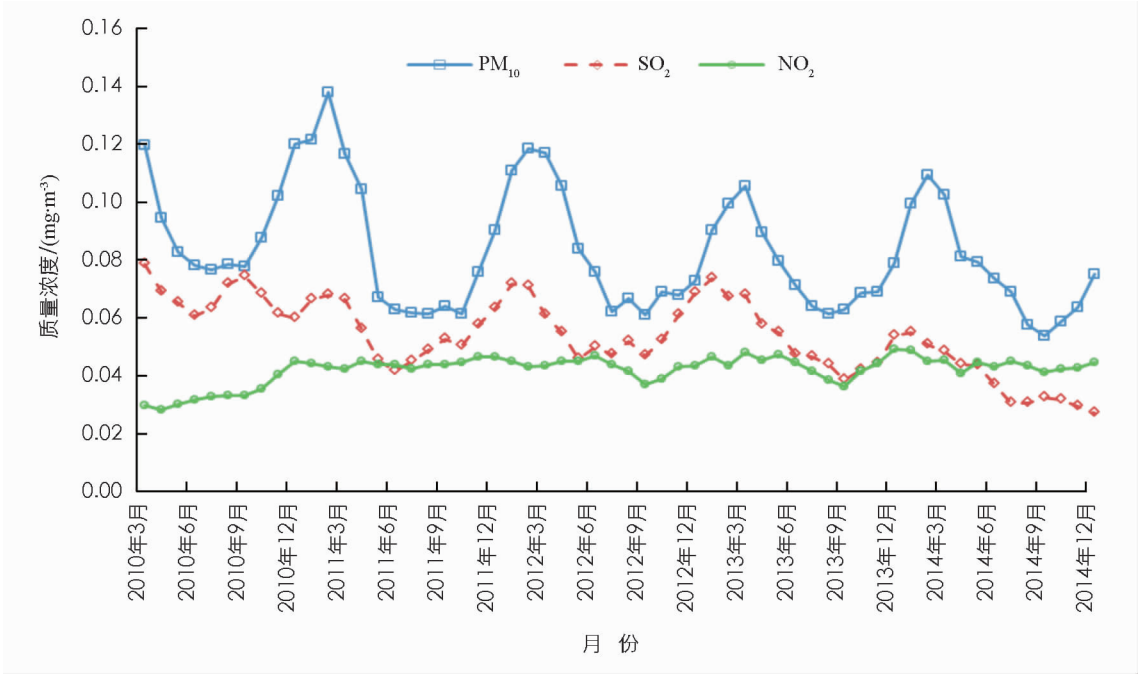


图 5 涪陵迎宾大道和兴华中路 PM_{10} , SO_2 , NO_2 质量浓度滑动平均逐月变化(2010—2014 年)

表 4 涪陵兴华中路大气污染物与气象要素的相关系数(2010—2014 年)

	气压	平均气温	降水量	相对湿度	平均风速
PM_{10}	0.356**	-0.197**	-0.136**	-0.048*	-0.383**
SO_2	-0.047*	-0.160**	-0.101**	0.165**	0.071*
NO_2	-0.095**	-0.021	-0.045*	0.064**	0.033*

注: * 表示差异有统计学意义($P<0.05$), ** 表示差异有统计学意义($P<0.01$), 下同.

前文分析得出, PM_{10} 受气象因素的影响最大, 将 PM_{10} 与气温、气压、降雨量、相对湿度、平均风速按月份进一步做相关分析, 结果如表 5 所示. 在不同的月份, PM_{10} 与气温、气压、降雨量、相对湿度、平均风速的相关系数差异明显. PM_{10} 与气压在 1—2 月、6—12 月具有正相关性, 除 10 月外均在 0.01 水平上有统计学意义. PM_{10} 与平均气温在 3—5 月、9—11 月相关性较好, 在 0.01 水平上有统计学意义, 6 月、7 月 PM_{10} 与气温具有负相关性. PM_{10} 与降雨量除 1 月、5 月外均具有负相关性, 其中 8 月、10 月、11 月在 0.01 水平上有统计学意义. 图 6 为 PM_{10} 污染过程样本序列与同期降雨量变化情况, 高质量浓度对应少雨, 低质量浓度对应多雨, 说明降雨对 PM_{10} 有很好的清除作用. PM_{10} 与平均风速在每个月份均具有显著的负相关性, 即风速越大, 对 PM_{10} 降低有利. PM_{10} 与相对湿度逐月的相关系数与表 4 的结论差异明显, 在 3—5 月、9—11 月两者负相关性在 0.01 水平上有统计学意义, 但在其他月份的相关性并不明显. 表 6 列出了兴华中路 SO_2 与气象要素的相关系数. 对比表 5, 可见 PM_{10} , SO_2 与气象要素的高相关性出现的月份各不相同, 这也表明此 2 种大气污染物形成的影响因素不同.

表 5 涪陵兴华中路 PM₁₀与气象要素的相关系数(2010—2014 年)

PM ₁₀	平均气压	平均气温	降水量	相对湿度	平均风速
1 月	0.447**	0.077	0.048	−0.095	−0.386**
2 月	0.293**	0.086	−0.042	0.010	−0.541**
3 月	0.018	0.310**	−0.150*	−0.273**	−0.355**
4 月	0.128	0.212**	−0.057	−0.215**	−0.332**
5 月	−0.047	0.410**	−0.161*	−0.319**	−0.196**
6 月	0.367**	−0.022	−0.144*	−0.091	−0.362**
7 月	0.490**	−0.172*	0.150*	0.179*	−0.494**
8 月	0.485**	0.025	−0.208**	−0.063	−0.414**
9 月	0.187**	0.262**	−0.157*	−0.238**	−0.282**
10 月	0.180*	0.279**	−0.261**	−0.300**	−0.236**
11 月	0.409**	0.277**	−0.248**	−0.379**	−0.430**
12 月	0.282**	0.171*	−0.128	−0.095	−0.463**

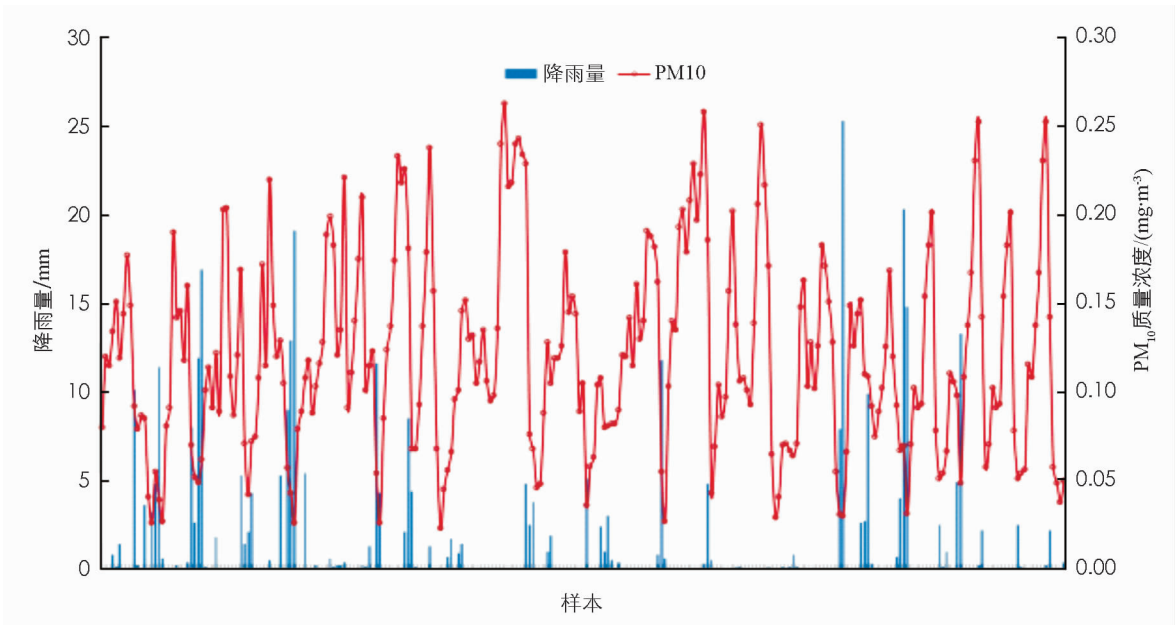


图 6 涪陵兴华中路 PM₁₀污染过程样本序列与同期降雨量变化

表 6 涪陵兴华中路 SO₂与气象要素的相关系数(2010—2014 年)

SO ₂	平均气压	平均气温	降水量	相对湿度	平均风速
1 月	−0.525**	0.084	0.025	0.347**	0.160*
2 月	−0.406**	0.441**	−0.086	0.254**	−0.031
3 月	−0.436**	0.328**	−0.040	−0.089	0.277**
4 月	−0.273**	0.139*	0.048	0.129	0.119**
5 月	−0.468**	−0.023	−0.155*	0.251**	0.189**
6 月	−0.294**	0.122	−0.159*	−0.018	0.237**
7 月	0.266**	−0.284**	0.153**	0.282**	−0.179*
8 月	0.048	−0.140*	−0.065	0.148*	0.021
9 月	−0.181*	0.035	−0.129	0.115	0.090
10 月	−0.317**	0.193**	−0.218**	−0.049	0.348**
11 月	−0.087	0.072	0.008	0.114	0.085
12 月	−0.219**	−0.078	−0.169*	0.321**	0.241**

4 气象要素对大气污染物产生影响的原因

大气污染物与气象要素的相关性已经在前文中进行了分析，结合气象要素的变化特征，可以进一步分

析得出气象要素影响大气污染物的原因.从图1可以看出,春夏季节大气污染物质量浓度相对较低,秋冬季节大气污染物质量浓度相对较高,这与李强等^[15]对重庆北碚的研究结论一致.涪陵和北碚均属亚热带湿润季风气候区,天气特点非常相似,因此气象要素对大气污染物的影响可能具有相似性.1—4月、10—12月,气温相对较低,逆温频率高,大气层结相对稳定,不利于对流形成和发展,风速较小,大气污染物不易扩散,因此污染物质量浓度可能会逐渐升高.5—9月,气温相对较高,空气流动性加强,容易导致对流发展,风速较大,对大气污染物的输送和稀释有积极作用,污染物质量浓度不易升高.降雨量越大,对污染物的清除作用越明显^[12].

大气污染物在稳定的天气条件下是缓慢积聚的过程^[15],当出现明显降雨、较强冷空气、较大的风速等情况时,均有助于大气污染物质量浓度降低^[17].在大气层结较稳定的冬季,如果有冷空气活动,风力加大,配合降雨天气过程,对大气污染物的扩散和清除作用非常有效^[15].

5 结 论

本文利用重庆涪陵地区2010—2014年的环境监测资料和气象资料,研究了涪陵大气污染物的统计特征和变化规律,分析了大气污染物与气象要素的相关性.结论如下:

1) 重庆涪陵地区从2010—2014年空气质量有变好趋势,迎宾大道和兴华中路3种大气污染物质量浓度小于 0.15 mg/m^3 占比在89%~99%,迎宾大道 PM_{10} 质量浓度大于兴华中路, SO_2 、 NO_2 质量浓度小于兴华中路.迎宾大道和兴华中路的空气质量总体较好,AQI指数优良天数分别占87%和85.6%,3种污染物中 PM_{10} 为涪陵首要污染物.

2) PM_{10} 、 SO_2 质量浓度具有周期性变化,从1月至12月为先降低后升高的趋势,每年较冷的12月、1月、2月 PM_{10} 质量浓度较高,较热的月份质量浓度较低; SO_2 峰值一般出现在1月或2月份. NO_2 质量浓度年际间变化幅度较小.

3) PM_{10} 与气温、降雨量、相对湿度、平均风速具有负相关性,与气压具有正相关性,即气温越高,降雨越多,气压越低,风速越大, PM_{10} 质量浓度越低. SO_2 、 NO_2 与气温、气压、降雨量均为负相关性,与相对湿度具有正相关性.不同月份大气污染物与气象要素的相关性存在较大差异.

参考文献:

- [1] 张志恒,陈权亮,赵梓淇,等.辽阳市大气污染物质量浓度变化特征及 PM_{10} 与气象因子的关系[J].成都信息工程大学学报,2016,31(5):537—543.
- [2] 王清川,周贺玲,许敏,等.河北省廊坊市大气污染扩散气象条件影响分析[J].防灾科技学院学报,2014,16(3):1—8.
- [3] 鲍孟盈,曹芳,刘寿东,等.苏州郊区主要大气污染物的演变特征及其影响因素研究[J].生态环境学报,2017,26(1):119—128.
- [4] 冀翠华,王式功,王敏珍,等.2001—2012年北京市空气污染指数节气分布及其与气象要素的关系[J].气象与环境学报,2014,30(6):108—114.
- [5] 唐宜西,张小玲,熊亚军,等.北京一次持续霾天气过程气象特征分析[J].气象与环境学报,2013,29(5):12—19.
- [6] 马姗姗,严敏,冯贵宾,等.北京市海淀区 NO_2 污染特征及气象要素关系分析研究[J].环境科学与管理,2014,39(6):15—17.
- [7] 梁城城,赵阳灿,关浩浩.重庆市环境污染与经济增长关系的实证研究[J].绵阳师范学院学报,2014,33(12):66—70.
- [8] 韩余,刘德,白莹莹,等.重庆市春节期间典型空气污染过程分析[J].中国环境监测,2014,30(1):43—48.
- [9] 周国兵,王式功.重庆主城区边界层气象条件对 PM_{10} 质量浓度影响分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2013,38(11):101—108.

[10] 王 中,林 娜. 重庆主城区大气层结特征及与空气质量关系分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(9): 128—133.

[11] 刘德琴,何 军. 重庆市渝中区 PM_{2.5} 污染现状、变化规律及防治措施探讨 [J]. 环境研究与监测, 2014, 27(2): 18—19, 39.

[12] 陈小敏,邹 倩,周国兵. 重庆主城区冬春季降水强度对大气污染物影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(7): 113—121.

[13] 陈小敏,李 轲. 重庆主城区人工增雨对空气质量的影响分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2010, 35(6): 152—156.

[14] 王祥炳,黄晓容,邓 茂,等. 重庆市黔江区春季大气污染物浓度变化与气象因素关系研究 [J]. 环境科学与管理, 2016, 41(6): 77—81.

[15] 李 强,吉 莉,马 君,等. 重庆北碚地区大气污染物与气象要素的相关性分析 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(8): 64—72.

[16] 中华人民共和国环境保护部. 环境空气质量指数(AQI)技术规定: HJ633—2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.

[17] 吉 莉,李 强,司云燕,等. 重庆北碚大气污染物的变化特征及其与气象要素的相关性 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(18): 88—93.

Correlation Analysis of Atmospheric Pollutants and Meteorological Factors in Fuling Area of Chongqing

NI Chao¹, LI Xin-jiang¹, XIANG Tao¹,
LUAN Song¹, GUO Zhi¹, DAI Xiao-dong¹, LI Qiang²

1. Bureau of Meteorology in Fuling District of Chongqing City, Fuling Chongqing 408000, China;
2. Bureau of Meteorology in Beibei District of Chongqing City, Chongqing 400700, China

Abstract: With the air quality monitoring data of Fuling District of Chongqing from 2010 to 2014 and the meteorological data in the same period, the change of air pollutants in Fuling area of Chongqing and the correlation between air pollutants and meteorological elements are analyzed. The results show that from 2010 to 2014, the air quality in Fuling area of Chongqing was better, the air quality of Yingbin and Xing-hua was better, the good days of AQI index accounted for 87% and 85.6% respectively, and PM₁₀ was the primary pollutant in Fuling area. The concentration of PM₁₀ and SO₂ has periodic changes. From January to December, the trend is to decrease first and then increase. The concentration of PM₁₀ in December, January and February is higher, and the concentration in the warmer month is lower. The interannual variation of NO₂ concentration was small. PM₁₀ is negatively correlated with temperature, rainfall, relative humidity and mean wind speed, and has a positive correlation with the station's air pressure. That is, the higher the temperature, the more rainfall, the lower the station's pressure and the greater the wind speed, the lower the PM₁₀ concentration. SO₂ and NO₂ are negatively correlated with temperature, air pressure and rainfall at the station, and are positively correlated with relative humidity. The correlation between air pollutants and meteorological factors is quite different in different months.

Key words: air pollutants; change characteristics; meteorological elements; correlation