

文章编号: 1674 - 2184(2020) 02 - 0063 - 07

# 贵州省 2015 ~ 2019 年空气质量及大气污染物时空分布特征研究

曹蔚<sup>1</sup>, 郑小波<sup>2</sup>, 赵天良<sup>3</sup>, 汪卫平<sup>1</sup>, 王玥彤<sup>1</sup>

(1. 贵州省气候中心, 贵阳 550002; 2. 贵州省山地环境气候研究所, 贵阳 550002; 3. 南京信息工程大学  
气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心/  
中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 南京 210044)

摘要: 利用 2015 ~ 2019 年贵州省 9 个城市的空气质量指数(AQI)和 6 种大气污染物逐日监测资料及同期气象要素观测资料, 分析了贵州省各市年、季大气污染的分布特征, 以及各市首要污染物出现频率的季节特征, 探讨了 6 种大气污染物与气象要素之间的相关关系。结果表明: (1) 贵州省总体空气质量较好, 2015 ~ 2019 年全省空气质量优良天数占全年 90% 以上, 2018 年空气质量为 5 年中最优; (2) AQI 的空间分布呈现“北高南低”的分布特征, 高值区在遵义、水城和铜仁, 兴义空气质量最好; (3) 6 种大气污染物与平均气温、相对湿度、日平均气温、日降水量、相对湿度、平均风速呈高度显著相关; (4) 贵州省的污染日主要集中在冬季, 首要污染物主要是颗粒物(PM<sub>2.5</sub>和 PM<sub>10</sub>), 夏季出现污染日的情况最少, 首要污染物主要是 O<sub>3</sub>。

关键词: AQI; 时空分布; 气象要素; 相关分析; 首要污染物; 贵州省

中图分类号: P427.2

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2184.2020.02.011

## 引言

大气是人类赖以生存和发展的基本环境要素<sup>[1]</sup>, 大气污染的发展已对人类生产活动<sup>[2-4]</sup>、人体健康<sup>[5-6]</sup>产生严重影响, 研究城市大气污染的时空分布特征及其与气象要素的相关性对进一步有效防治大气污染具有重要意义。

21 世纪初以前, 我国城市大气污染主要为煤烟型污染, 主要污染因子是可吸入颗粒物, 空气质量季节变化特征明显, 冬季空气污染最重, 夏季最轻<sup>[7]</sup>。随着社会经济全面发展, 大气污染类型逐渐向多种污染物同时存在的复合型污染转变, 区域性大气污染问题逐渐显现<sup>[8]</sup>。在我国, 京津冀地区、长江三角洲、珠江三角洲和四川盆地是我国大气污染形势最为严峻的四大区域, 多年来, 已有许多学者对其展开研究<sup>[9-17]</sup>。贵州省省会城市贵阳市也出现了大气复合型污染的变化趋势。2008 年, 刘娜等<sup>[18]</sup>对贵阳市城区大气颗粒物进行了连续 3 个月的采样分析, 初步判断污染源来自燃料燃烧、生物质燃烧和汽车尾气等人为源。2013 ~ 2016 年的监测数据分析表明贵阳市表现出了 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 相互作用的城市大气复合污染特征<sup>[19]</sup>。

贵州省位于云贵高原东部、四川盆地南部, 相较于京

津冀、长三角、珠三角等经济和工业发达地区的严重空气污染来说, 贵州省整体空气质量较好, 大气环境较为清洁, 再加上相对落后的发展条件和观测资料的欠缺, 导致贵州省大气环境污染方面研究较少。随着近年来我国大力推进实施西部大开发战略, 贵州省的工业、农业等水平得到进一步发展, 城市空气环境质量也逐步凸显。因此, 本文基于 2015 ~ 2019 年贵州省空气质量逐日监测资料对 9 个地级市的 AQI 和 6 种大气污染物的时空分布进行分析, 对贵州省的空气质量概况进行综合评价, 以期对贵州省的大气污染防治治理提供科学参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区域概况

贵州省位于中国西南部, 北靠四川盆地, 西邻云贵高原, 省内分为贵阳市、遵义市、毕节市、六盘水市、黔西南州、安顺市、黔南州、黔东南州、铜仁地区 9 个地级市, 其政府所在地分别为: 贵阳、遵义、毕节、水城、兴义、安顺、都匀、凯里、铜仁。

### 1.2 数据来源

2015 年 1 月 1 日 ~ 2019 年 12 月 31 日贵州省 9 个城市环境监测站的逐日空气质量指数(AQI)数据和细颗粒物(PM<sub>10</sub>)、可吸入颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)、二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、二氧化

收稿日期: 2020 - 5 - 22

资助项目: 国家重点研发计划试点专项(2016YFC0203304); 国家自然科学基金(91644223, 91744209)

作者简介: 曹蔚, 助理工程师, 主要从事大气环境和气候变化相关研究工作。E-mail: caowei9836@163.com

通讯作者: 郑小波, 正研级高工, 主要从事遥感应用、大气环境及农业气象相关研究工作。E-mail: zxb-816@126.com

化氮( $\text{NO}_2$ )、臭氧( $\text{O}_3$ )和一氧化碳( $\text{CO}$ )的质量浓度数据来源于中国环境监测总站(<http://www.cnemc.cn/>)。同期气象要素监测数据来自贵州省气象局。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 空气质量分级

空气质量指数(Air Quality Index,以下简称AQI)是定量描述空气质量状况的无量纲指数,数值越大说明空气污染状况越严重,危害也就越大。根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633-2012)规定: AQI划分为0~50、51~100、101~150、151~200、201~300和>300六个档,对应于空气质量的优、良、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染6个级别。

#### 1.3.2 相关性分析

采用皮尔森相关系数法分析6种污染物与气象要素(平均气温、日降水量、相对湿度、日照时数、平均风速)之间的相关关系。

#### 1.3.3 首要污染物和超标污染物

AQI是各项污染物的空气质量分指数(Individual Air Quality Index,简称IAQI)中的最大值,即:  $AQI = \max\{IAQI_1, IAQI_2, IAQI_3, \dots, IAQI_n\}$ ,当  $AQI > 50$  时对应的IAQI最大污染物即为首要污染物,而  $IAQI > 100$  的污染物即为超标污染物。IAQI及对应的污染物项目浓度限值和IAQI计算方法均参照《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633-2012)中的标准,并采用普通克里金插值法计算分析贵州省各污染物的空间分布特征。

## 2 结果与分析

### 2.1 AQI及大气污染物时空分布

#### 2.1.1 贵州省9个城市2015~2019年空气质量概况

依照1.3.1中的分级方法,将各个城市2015~2019年每一年不同级别的空气质量天数绘制成图,如图1所示。

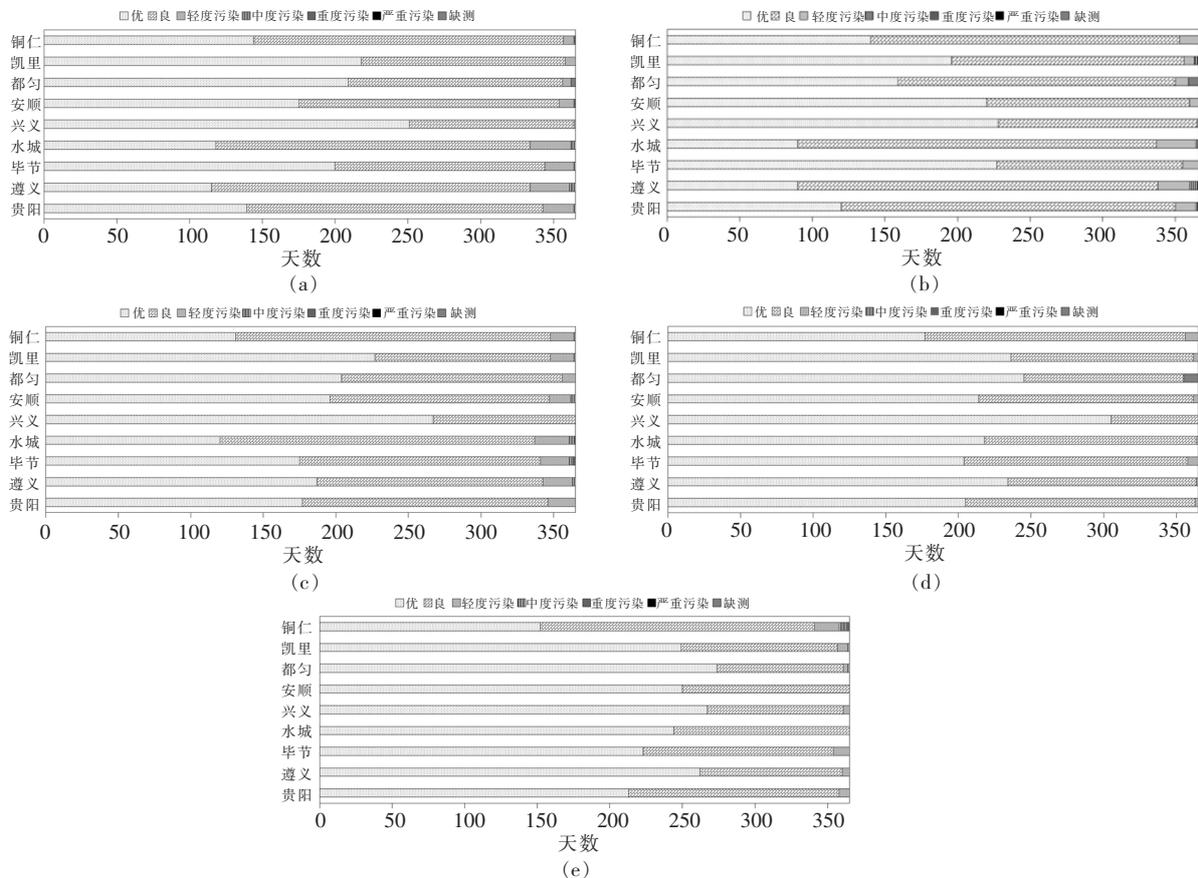


图1 2015~2019年贵州省9个城市不同等级空气质量天数分布:(a)2015年;(b)2016年;(c)2017年;(d)2018年;(e)2019年

2015~2019年贵州省9个城市空气质量优良天数最多,占全年的90%以上,其次是轻度污染,中度污染和重度污染较少,无严重污染日。2015年,遵义和水城污染日数最多,有31天污染日,其中,遵义有27天轻度污染日和4天中度污染日,水城有28天轻度污染日和3天中度污染日,这两个城市空气质量为优的日数均少于120

天;毕节有轻度污染日20天,中度污染日1天,污染日数超过安顺(11天)和铜仁(8天),但安顺和铜仁均出现了1天重度污染日。2016年,遵义和水城的空气质量仍为9个城市中最差,空气质量为优天数均仅有90天,污染日分别为28天和29天,其中遵义出现1天重度污染日;毕节和兴义空气质量为优天数最多,分别为227天和228

天。2017 年, 遵义空气质量为优天数明显增加, 为 187 天, 较 2016 年增加 107.8%, 但仍有 20 天轻度污染日和 2 天中度污染日; 水城空气质量仍为 9 个城市中最差, 污染日为 28 天, 其中轻度污染日为 24 天, 中度污染日 3 天, 重度污染日 1 天, 空气质量为优天数仅有 120 天; 毕节污染日共有 24 天, 其中出现 2 天重度污染日; 凯里空气质量为优天数排全省第二, 有 227 天, 但污染日数为五年间本地最高, 有 16 天轻度污染日和 1 天中度污染日。2018 年, 可以明显看出, 9 个城市的污染日数明显减少, 其中都匀和兴义均无污染日, 全省各市空气质量为优日数明显增加, 增幅分别为: 贵阳 15.8%, 遵义 25.1%, 毕节 16.6%, 水城 81.7%, 兴义 12.5%, 安顺 9.2%, 都匀 20.1%, 凯里 4.0% 和铜仁 35.1%。2019 年, 全省各市空气质量为优日数保持较好, 但除安顺和水城外( 均无污染日), 其它城市污染日数较 2018 年均有所增加, 尤其是铜仁, 共有 24 天污染日, 较 2018 年增加了 166.7%, 分别为 17 天轻度污染日, 5 天中度污染日和 2 天重度污染日; 已经连续两年没有污染日的兴义也出现了 4 天轻度污染, 为五年内污染日数最多的年份。

兴义是贵州省内空气质量最好的城市, 近 5 年内中度污染程度以上的天数为 0 天, 轻度污染天数为 6 天 (2015 和 2016 年各有 1 天, 2019 年有 4 天), 其中 2017、

2018 年没有出现污染日。贵阳市作为贵州省的省会城市, 近 5 年间空气质量为优的天数逐年增加, 由 2015 年的 139 天增加到 2019 年的 213 天, 增加了 53%, 污染日数也明显减少, 其中 2018 年污染日只有 2 天。

### 2.1.2 AQI 及大气污染物月际分布特征

如图 2 所示, 贵州省各市的 AQI 月均值变化规律基本一致, AQI 最高值出现在冬季 (1 月、2 月和 12 月), 其中 12 月和 1 月铜仁最高, 2 月水城最高, 而冬季兴义 AQI 全省最低, AQI 月均值的最低值出现在在 6 ~ 7 月, 均低于 50。各市的  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、CO 浓度的月均值均表现为“夏低冬高”的变化特征。颗粒物 ( $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$ ) 浓度最低值出现在 6 月, 其中兴义和都匀最低, 最高值出现在 12 月和 1 月, 其中水城和铜仁最高。  $SO_2$  浓度全省除都匀外变化特征较为一致, 安顺市最低值出现在 2 月, 3 ~ 5 月和 9 ~ 12 月  $SO_2$  浓度明显高于其他市。  $NO_2$  浓度全省最高值在遵义, 最低值在安顺。CO 浓度最高值出现在 12 月和 1 月, 其中铜仁最高, 最低值出现在 6 月和 7 月, 其中都匀最低。  $O_3$  浓度的月变化表现为双峰型, 最高值分别出现在 4 ~ 5 月和 8 ~ 9 月, 其中 4 ~ 5 月最高值出现在安顺、毕节和贵阳, 8 ~ 9 月最高值出现在铜仁和都匀。

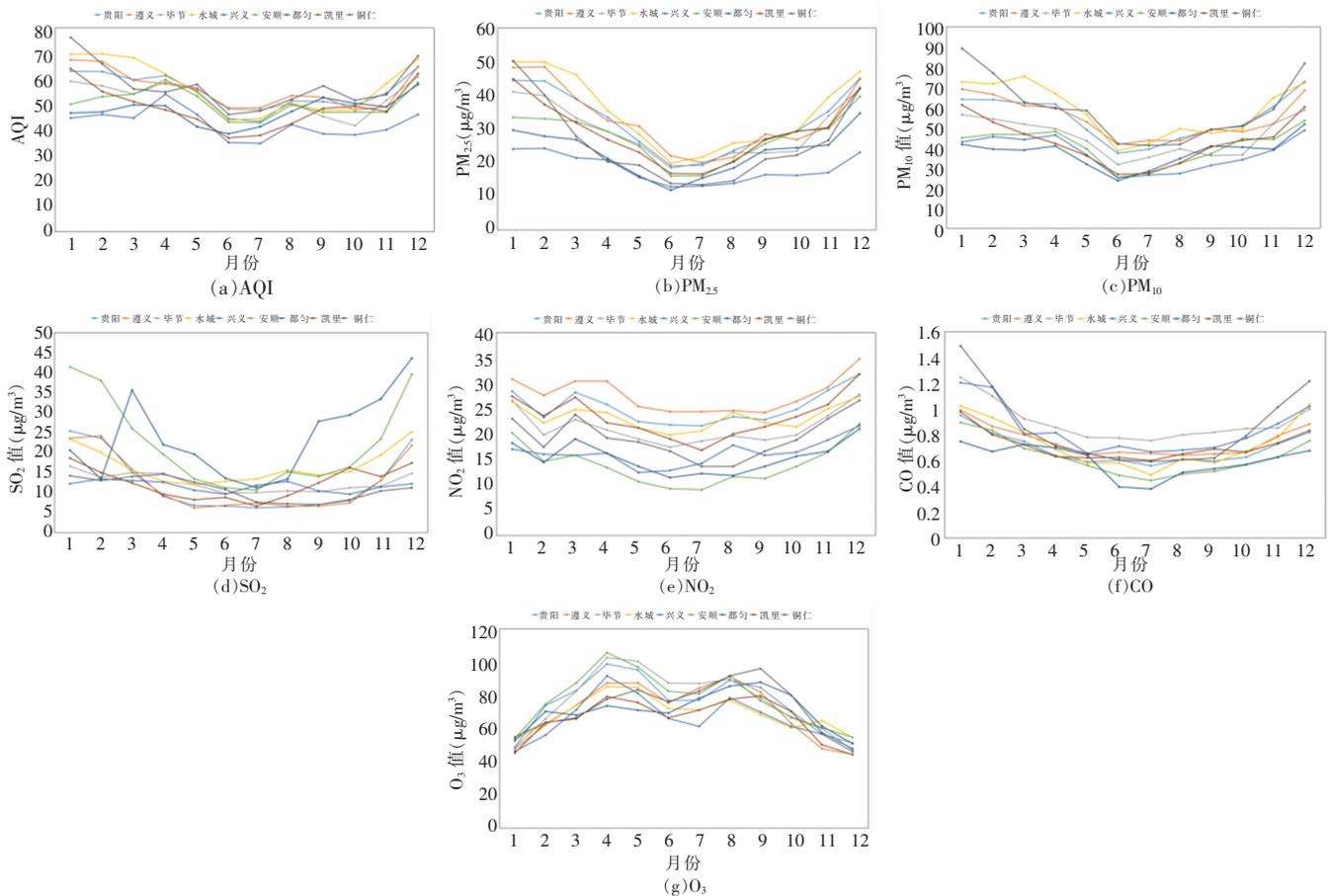


图 2 2015~2019 年贵州省 9 个城市 AQI 及污染物月均值变化: (a)AQI; (b) $PM_{2.5}$ ; (c) $PM_{10}$ ; (d) $SO_2$ ; (e) $NO_2$ ; (f)CO; (g) $O_3$

### 2.1.3 AQI 及大气污染物年均空间分布特征

从 2015 ~ 2019 年 5 年均值的空间分布来看(图 3), 贵州省全省空气质量年均值均在优良之间, 空气质量较好, 省南部地区空气质量优于中北部地区,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  和

$NO_2$  浓度高值区均出现在省北部;  $SO_2$  浓度高值区出现在安顺和都匀, 低值区在铜仁和兴义;  $CO$  浓度高值区出现在毕节和铜仁, 低值区出现在安顺和都匀;  $O_3$  浓度高值区出现在安顺、毕节和贵阳。

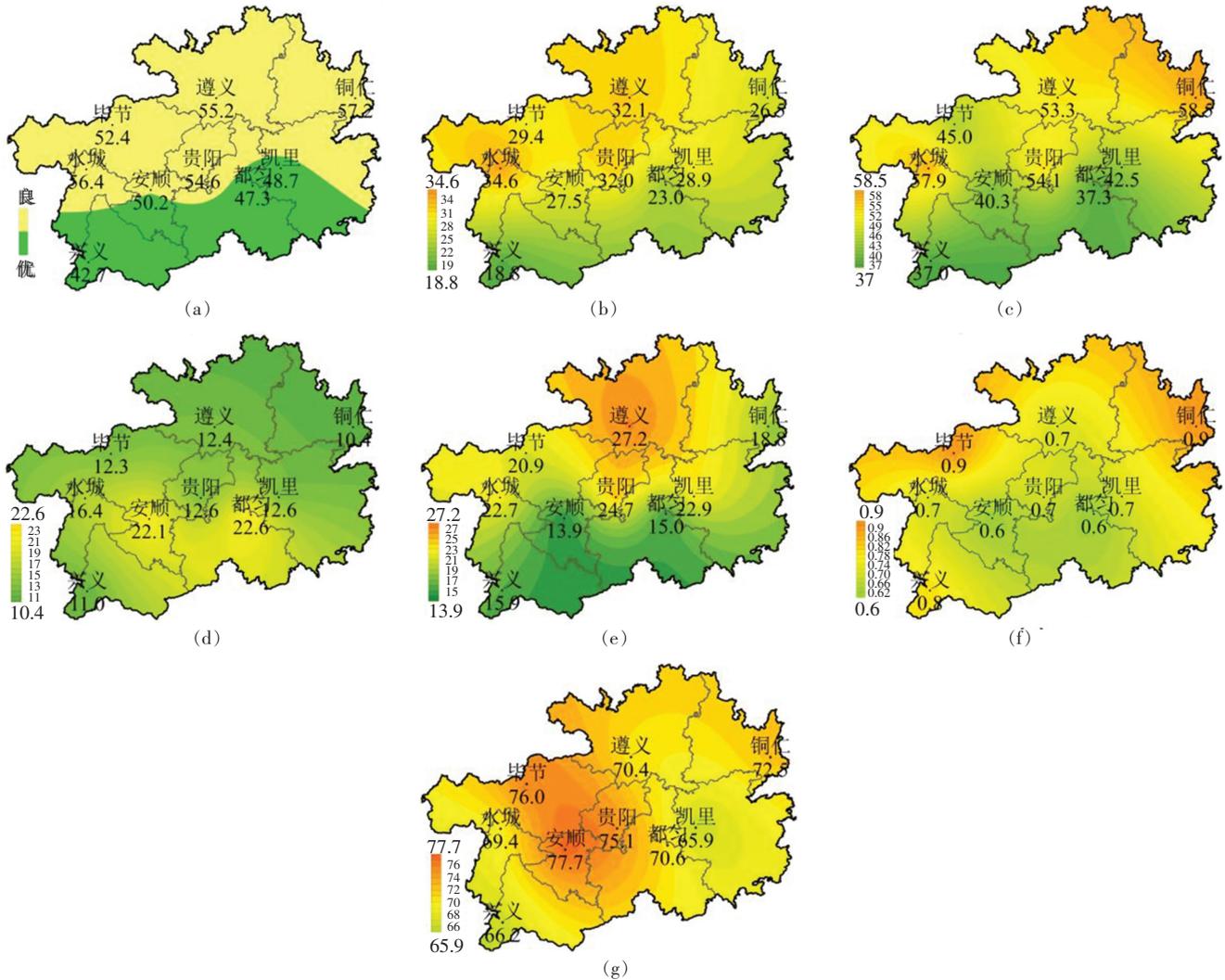


图 3 2015~2019 年贵州省 9 个城市 AQI 及污染物 5 年平均值空间分布:(a)AQI;(b) $PM_{2.5}$ ;(c) $PM_{10}$ ;(d) $SO_2$ ;(e) $NO_2$ ;(f) $CO$ ;(g) $O_3$

从各年 AQI 及污染物的年均值来看(图 4) 2016 年全省空气质量年均值为优(AQI < 50)的城市仅有兴义, 2018 年和 2019 年全省空气质量年均值为优的城市较多, 其中 2018 年的 AQI 全省平均值最低; 水城和遵义的 AQI 年均值在 2015 年和 2016 年均超过 60, 在 2018 年和 2019 年均低于 50, 大气污染得到良好治理, 而铜仁连续 5 年的 AQI 年均值均超过 50, 空气质量没有改善。近 5 年,  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$  浓度的年均值总体均呈现下降趋势, 其中  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  浓度最高值出现在 2016 年, 最低值出现在 2018 年,  $CO$  浓度最高值出现在 2017 年, 最低值出现在 2019 年。  $O_3$  浓度总体变化趋势不明显, 各市年际变化差异较大。

### 2.2 大气污染物与气象要素的相关性分析

通过对 2015 ~ 2019 年贵州省逐日大气污染物质量

浓度和日气象要素的相关分析(表 1), 结果发现  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$  的日平均质量浓度与日平均气温、日降水量、相对湿度、平均风速呈显著负相关,  $SO_2$  和  $CO$  与日照时数呈显著负相关,  $PM_{10}$  与日照时数呈显著正相关;  $O_3$  的日平均质量浓度与日平均气温和日照时数呈显著正相关, 与相对湿度呈显著负相关。

### 2.3 污染日及超标污染物的季节分布

按日平均 AQI > 100 统计为污染日, 2015 ~ 2019 年贵州省 9 个地级市的污染日数分别为贵阳 66 天、遵义 87 天、毕节 90 天、水城 89 天、兴义 6 天、安顺 38 天、都匀 28 天、凯里 45 天、铜仁 71 天, 污染日的季节分布如图 5 所示, 贵州省的污染日主要集中在冬季, 夏季出现污染日的情况最少, 水城、兴义和铜仁夏季没有出现过污染日。

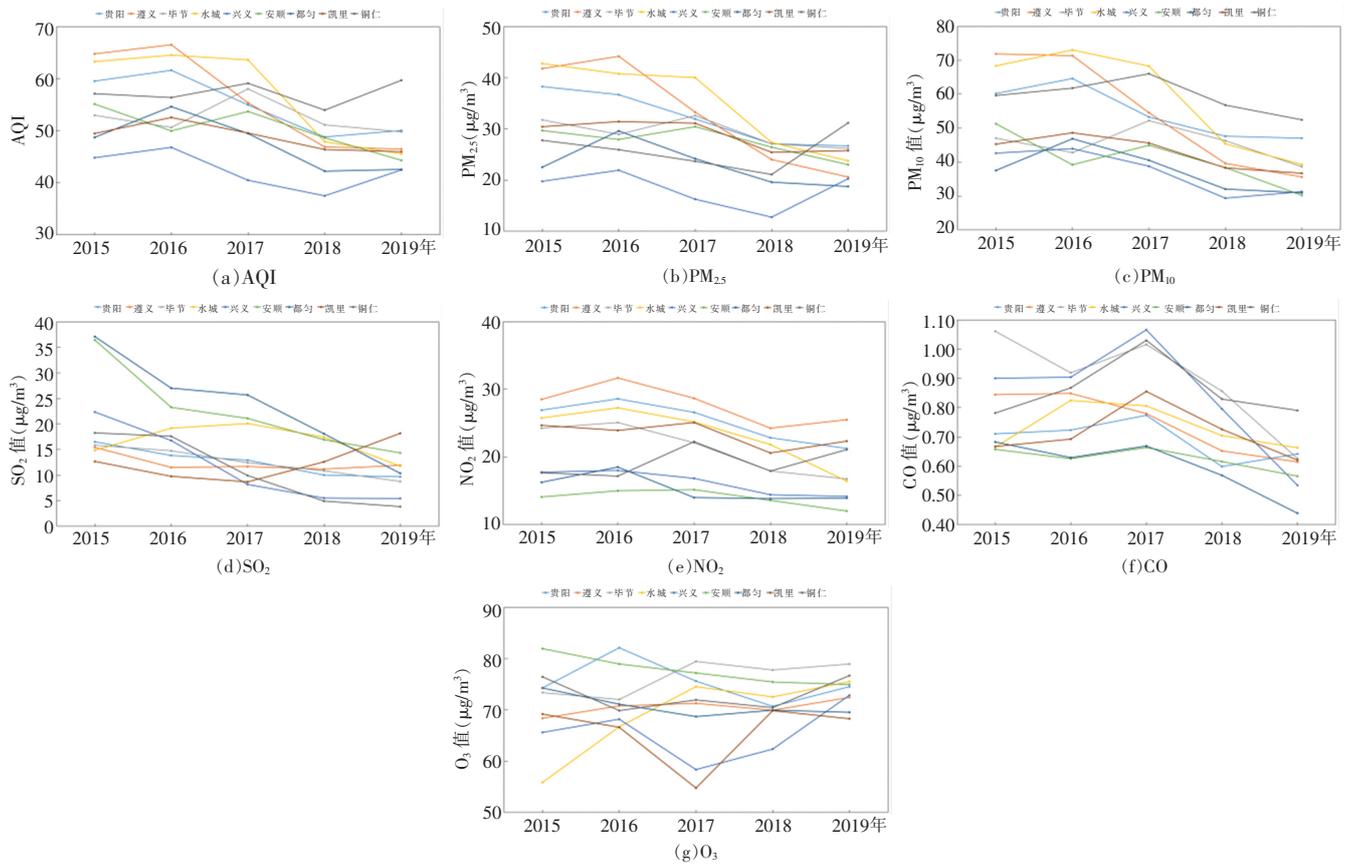


图 4 2015~2019 年贵州省 9 个城市 AQI 及污染物年均值变化: (a)AQI; (b)PM<sub>2.5</sub>; (c)PM<sub>10</sub>; (d)SO<sub>2</sub>; (e)NO<sub>2</sub>; (f)CO; (g)O<sub>3</sub>

表 1 贵州省 2015 ~ 2019 年逐日大气污染物浓度与气象要素的相关系数表

	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
日平均气温	-0.42*	-0.28*	-0.56*	-0.61*	-0.37*	0.50*
日降水量	-0.37*	-0.39*	-0.28*	-0.23*	-0.26*	-0.08
相对湿度	-0.33*	-0.46*	-0.17*	0.07	-0.23*	-0.66*
日照时数	-0.01	0.14*	-0.14*	-0.24*	0.06	0.67*
平均风速	-0.17*	-0.16*	-0.25*	-0.16*	-0.50*	0.04

(注: \* 表示该相关系数通过置信度为 99% 的显著性检验)

2015 ~ 2019 年, 对不同季节污染日的首要污染物进行统计(图 6), 贵州省的首要污染物主要是 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 和 PM<sub>10</sub>。PM<sub>2.5</sub> 是四个季节出现频率最多的首要污染物, 在除兴义以外的其他市 5 年中成为首要污染物的频率在 70% 以上, 出现频率由高到低的季节依次是冬季、秋季、春季、夏季; O<sub>3</sub> 是夏季出现最多的首要污染物, 也是兴义近 5 年中出现最多的首要污染物, 但贵州省各市冬季的首要污染物没有 O<sub>3</sub>; 以 PM<sub>10</sub> 为首要污染物的天数较少, 主要出现在秋冬季, 其中铜仁近 5 年冬季出现 PM<sub>10</sub> 为首要污染物的天数较其他市最多, 达 12 天; SO<sub>2</sub> 作为首要污染物仅在 2016 年冬季在安顺出现了 1 天。

### 3 结论与讨论

2015 ~ 2019 年贵州省总体空气质量较好, 全省空气质量优良天数占全年 90% 以上, 2018 年空气质量为 5 年

中最优, 污染日主要集中在冬季。各市的 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 浓度的月均值均表现为“夏低冬高”的变化特征, O<sub>3</sub> 浓度的月变化表现为双峰型, 最高值分别出现在 4 ~ 5 月和 8 ~ 9 月。

贵州省 AQI 的空间分布呈现“北高南低”的特征, 高值区在遵义、水城和铜仁, 兴义空气质量最好。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 NO<sub>2</sub> 浓度的空间分布也是“北高南低”的特征, SO<sub>2</sub> 的分布与之相反, 呈现“南高北低”的特征, CO 平均浓度的低值区出现在安顺和都匀, 这五种污染物的浓度在 2018 年以后都有明显的降低。O<sub>3</sub> 浓度高值区出现在安顺、毕节和贵阳, 总体年际变化趋势不明显, 各市差异较大。

贵州省的污染日主要集中在冬季, 首要污染物主要是颗粒物 (PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub>), 夏季出现污染日的情况最少, 首要污染物主要是 O<sub>3</sub>。

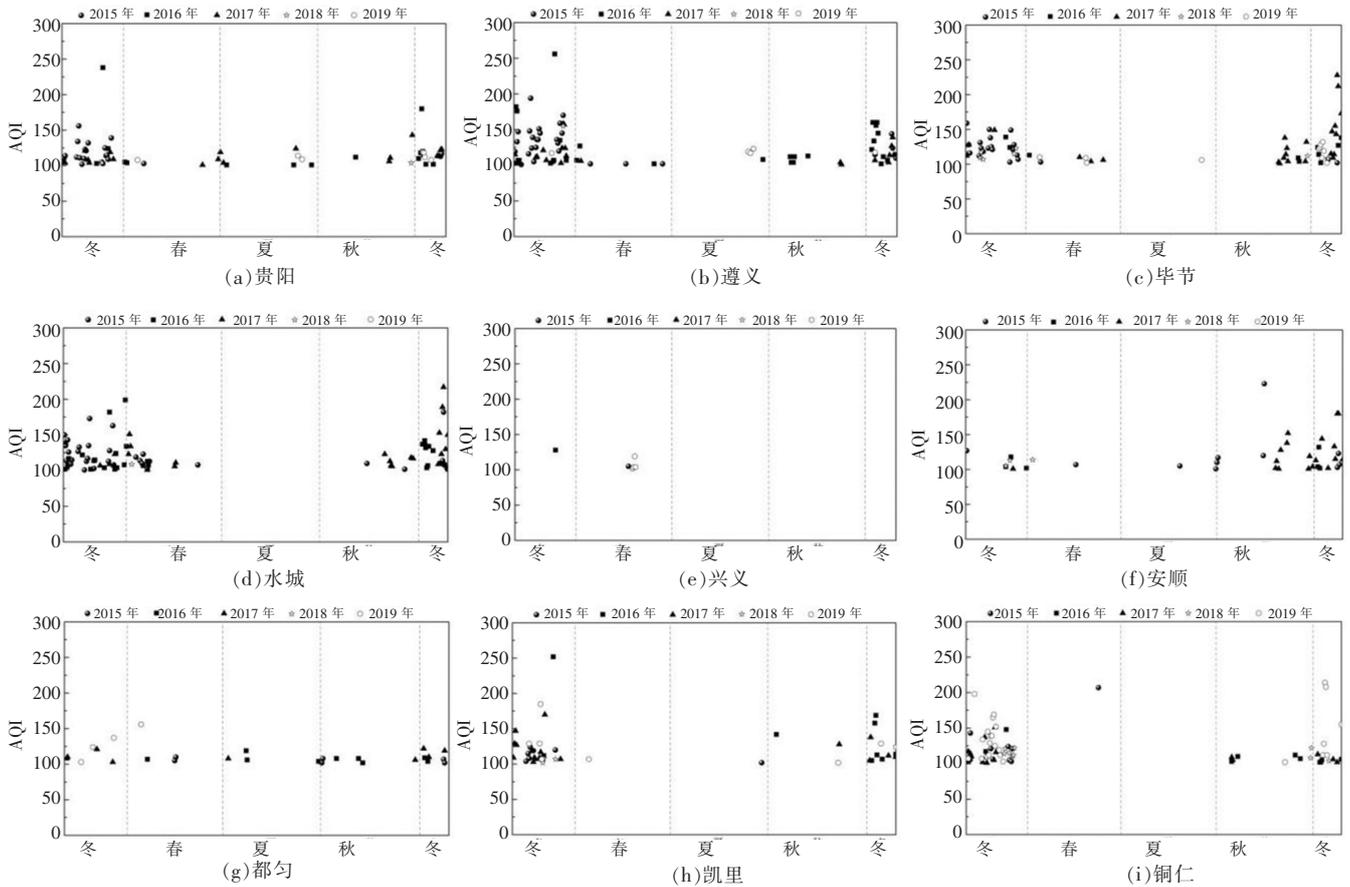


图5 2015~2019年贵州省9个城市污染日季节分布情况

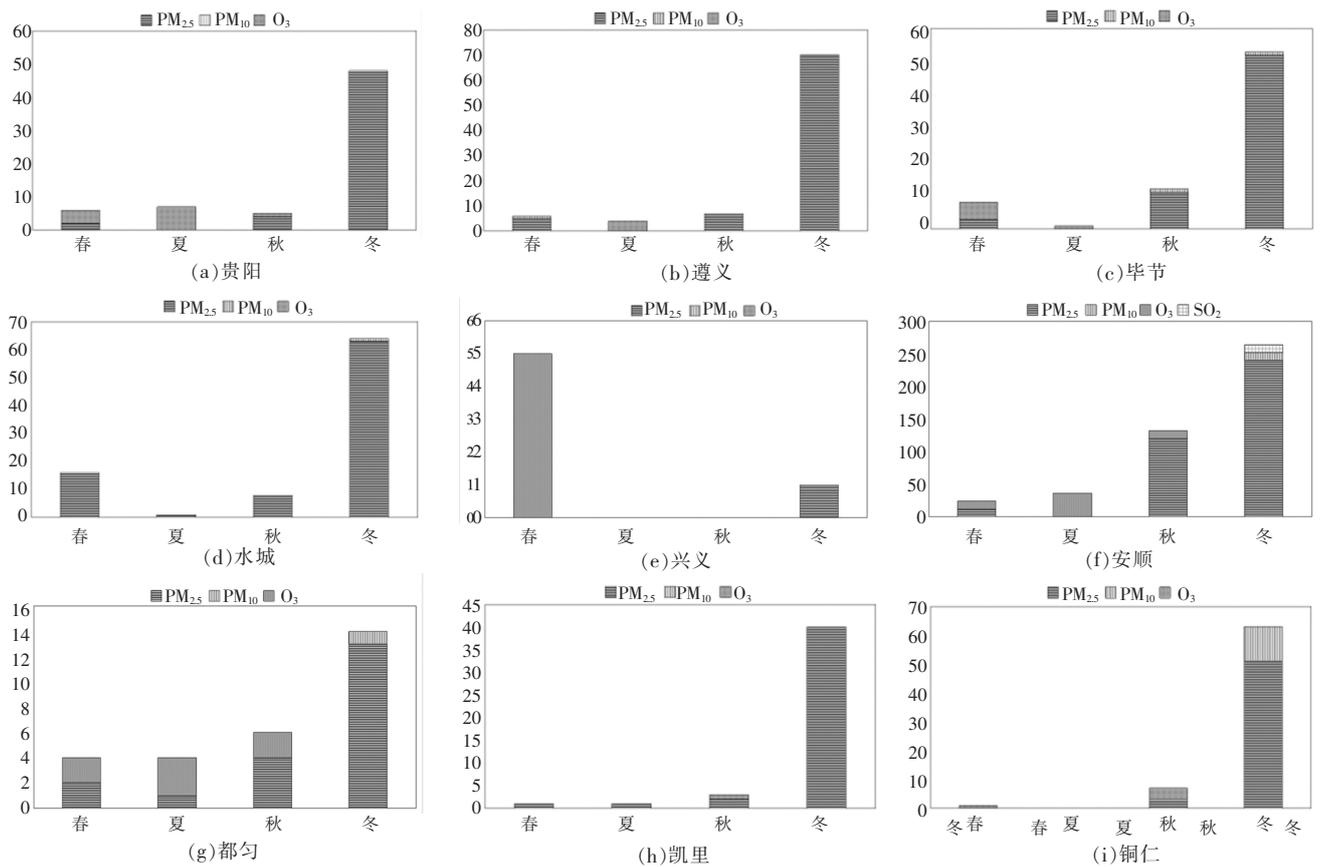


图6 2015~2019年贵州省9个城市污染日首要污染物季节分布情况

## 参考文献

- [1] 唐忠辉. 大气污染与环境维权[J]. 环境教育, 2009, (8): 23-25
- [2] 张慧琳, 丁文广, 田莘冉, 等. 2015 年监测城市雾霾污染的时空分布特征及其社会经济原因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(1): 123-131
- [3] Wang Yuesi, Yao Li, Wang Lili et al. Mechanism for the formation of the January 2013 heavy haze pollution episode over central and eastern China[J]. Science China Earth Sciences 2014, 57(1): 14-25
- [4] Xu L J, Zhou J X, Guo Y, et al. Spatiotemporal pattern of air quality index and its associated factors in 31 Chinese provincial capital cities [J]. Air Quality Atmosphere & Health 2016, 10(5): 1-9
- [5] 秦耀辰, 谢志祥, 李阳. 大气污染对居民健康影响研究进展[J]. 环境科学 2019, 40(3): 1512-1520
- [6] Englert N. Fine Particles and Human Health - A Review of Epidemiological Studies [J]. Toxicology Letters 2004, 149(1-3): 235-242
- [7] 李小飞, 张明军, 王圣杰, 等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学 2012, 33(6): 1936-1943
- [8] 陈煜升, 张宇静, 赵天良, 等. 近 5 年徐州市大气污染变化及相关气象作用[J]. 环境科学与技术 2019, 42(S1): 152-158
- [9] 王冠岚, 薛建军, 张建忠. 2014 年京津冀空气污染时空分布特征及主要成因分析[J]. 气象与环境科学 2016, 39(1): 34-42
- [10] 朱媛媛, 高愈霄, 刘冰, 等. 京津冀秋冬季 PM<sub>2.5</sub> 污染概况和预报结果评估[J]. 环境科学 2019, 40(12): 5191-5201
- [11] 李瑞, 李清, 徐健, 等. 秋冬季区域性大气污染过程对长三角北部典型城市的影响[J]. 环境科学 2020, 41(4): 1520-1534
- [12] Zhu Bin, Wang Honglei, Shen Lijuan, et al. Aerosol spectra and new particle formation observed in various seasons in Nanjing [J]. Advances in Atmospheric Sciences 2013, 30(6): 1632-1644
- [13] 吴序鹏, 刘端阳, 谢真珍, 等. 江苏淮安地区大气污染变化特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境科学 2018, 41(1): 31-38
- [14] Garland R. M., Yang H., Schmid O, et al. Aerosol optical properties in a rural environment near the mega-city Guang Zhou, China: Implications for regional air pollution, radiative forcing and remote sensing[J]. Atmos. Chem. Phys. 2008, 8: 5161-5186
- [15] Tang X L, Bi X H, Sheng G Y, et al. Seasonal Variation of the Particle Size Distribution of n-Alkanes and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Aerosol of Guangzhou, China [J]. Environmental Monitoring & Assessment 2006, 117(1-3): 193-213
- [16] 史海琪, 曾胜兰, 李浩楠. 四川盆地大气污染物时空分布特征及气象影响因素研究[J]. 环境科学学报 2020, 40(3): 763-778
- [17] 肖丹华, 王式功, 张莹, 等. 四川盆地城市群 6 种大气污染物的时空分布[J]. 兰州大学学报(自然科学版) 2018, 54(5): 662-669
- [18] 刘娜, 冯新斌, Landis Mathew, 等. 贵阳市大气颗粒物(PM<sub>2.5</sub>) 污染特征及气象参数的影响[J]. 地球与环境 2014, 4(3): 311-315
- [19] 舒卓智, 赵天良, 郑小波, 等. 清洁大气背景下贵阳空气质量变化及气象作用[J]. 中国环境科学 2017, 37(12): 4460-4468

## Temporal and Spatial Temporal Distribution of Air Quality and Air Pollutants in Guizhou Province from 2015 to 2019

CAO Wei<sup>1</sup>, ZHENG Xiaobo<sup>2</sup>, ZHAO Tianliang<sup>3</sup>, WANG Weiping<sup>1</sup>, WANG Yuetong<sup>1</sup>

(1. Guizhou Climate Center, Guiyang 550002, China; 2. Guizhou Institute of Mountainous Climate and Environment, Guiyang 550002, China; 3. Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change/Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on the air quality index and the daily mass concentration monitoring data of six pollutants in 9 cities in the Guizhou province 2015 to 2019, conventional meteorological observation data from the same period, the air pollution distribution characteristics and the municipal primary pollutants of different years and seasons were analyzed. The relationship between the mass concentration of each pollutant and concurrent meteorological conditions was also discussed. The result show that: (1) In general, the air quality in Guizhou province is good, the number of days with excellent and good air quality is more than 90% of the whole year, and the air quality in 2018 was the best in the past five years. (2) The spatial distribution of AQI was characterized by "high in the north and low in the south", the high-value areas were in Zunyi, Shuicheng and Tongren, and Xingyi were relatively low. (3) The mass concentration of the six pollutants were significantly correlated with average air temperature, relative humidity, daily average air temperature, daily precipitation, relative humidity and average wind speed. (4) Pollution days in guizhou province mainly occur in winter, and the primary pollutants were mainly particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>). In summer, the number of pollution days was the least, and the primary pollutant is mainly O<sub>3</sub>.

**Key words:** AQI, temporal and spatial distribution, meteorological elements, correlation analysis, primary pollutant, Guizhou Province