

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2022.01.010

重庆中心城区空气污染特征及 气象影响因素分析^①

江文华, 周国兵, 陈道劲, 韩余, 吴政谦, 邹倩

重庆市气象台, 重庆 401147

摘要: 根据环境空气质量监测数据和气象观测数据, 对重庆中心城区 2013—2020 年空气污染特征及气象影响因素进行了分析. 结果表明: 2013—2020 年影响重庆中心城区空气质量的大气污染物主要为 $PM_{2.5}$ 和 O_3 , 重度污染日首要污染物基本为 $PM_{2.5}$; $PM_{2.5}$ 污染和 O_3 污染均呈现出明显的季节差异, $PM_{2.5}$ 超标主要出现在初春、秋末和冬季, 其中冬季最为严重, 尤其是 1 月, 其次为 12 月, O_3 超标主要出现在春末、夏季和初秋, 其中夏季最为严重, 尤其是 8 月, 其次为 7 月; $PM_{2.5}$ 污染总体呈减弱趋势, 而 O_3 污染问题近年来日益凸显; $PM_{2.5}$ 浓度与气温、相对湿度、风速、降水量、气压以及 24 h 变压等气象要素密切相关, 不同季节气象因子对 $PM_{2.5}$ 浓度的影响不尽相同; O_3 浓度与太阳紫外辐射、日照时长、气温和相对湿度等气象要素密切相关, 风速、风向、白天有无降水以及降水出现在不同时段对 O_3 的浓度亦有影响.

关键词: 重庆; 空气污染; $PM_{2.5}$; O_3 ; 气象影响因素

中图分类号: X51

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2022)01-0074-08

Analysis on Characteristics and Influencing Meteorological Factors of Air Pollution in Central Urban Area of Chongqing

JIANG Wenhua, ZHOU Guobing, CHEN Daojin,
HAN Yu, WU Zhengqian, ZOU Qian

Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China

Abstract: Based on the ambient air quality monitoring data and meteorological observation data from 2013 to 2020, the characteristics of air pollution and the influencing meteorological factors in Chongqing central urban area were analyzed. The results indicate that $PM_{2.5}$ and O_3 were the major air pollutants which affected air quality of Chongqing central urban area from 2013 to 2020, and the primary pollutant of heavily polluted days was mainly $PM_{2.5}$. $PM_{2.5}$ pollution and O_3 pollution both showed obvious seasonal differences.

① 收稿日期: 2020-12-01

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目(91644226); 重庆市气象部门业务技术攻关项目(YWJSGG-202122).

作者简介: 江文华, 硕士, 高级工程师, 主要从事环境气象预报和研究工作.

The over-standard of $PM_{2.5}$ mainly occurred in early spring, late autumn and winter and it was most serious in winter especially in January then in December. The over-standard of O_3 mainly occurred in late spring, summer and early autumn and it was most serious in summer especially in August then in July. $PM_{2.5}$ pollution had a weakening trend in general, whereas the problem of O_3 pollution had become increasingly prominent in recent years. The concentration of $PM_{2.5}$ was closely related with temperature, relative humidity, wind speed, precipitation, air pressure and 24-hour variation of pressure. In different seasons meteorological factors had different effects on the concentration of $PM_{2.5}$. The concentration of O_3 was closely related with solar ultraviolet radiation, sunshine duration, temperature and relative humidity. Meanwhile wind speed, wind direction, as well as the presence and the time of precipitation in daytime had impacts on the concentration of O_3 .

Key words: Chongqing; air pollution; $PM_{2.5}$; O_3 ; influencing meteorological factors

空气质量的优劣程度与一个城市的综合竞争力密切相关,直接影响到投资环境和居民健康,因此越来越受到政府和公众的关注.城市化过程是发展中国家实现现代化的必经之路,但是该过程往往会导致环境污染加剧,大城市工业集中、人口密集、大量消费化石燃料,而高密度的建筑群又不利于大气污染物的扩散,因此容易发生严重的空气污染.

近年来,我国多地多次出现空气污染事件,国内学者在空气污染特征及其影响因素方面进行了大量研究,研究表明,大气污染物的时空分布及其浓度不仅与污染源的分佈、类型和排放量有关,还与地形、气象条件等密切相关^[1-2].重庆地处四川盆地边缘的丘陵低山地带,中心城区位于“两江”(长江和嘉陵江)和“四山”(缙云山、中梁山、铜锣山和明月山)之间的槽谷地带,平均风速小,相对湿度较高,地理气象条件不利于大气污染物的扩散,加之传统的重工业城市和资源禀赋较差,其空气质量一直受到广泛关注.根据环境保护部统一部署和要求,重庆中心城区作为全国首批 74 个城市(京津冀、长三角、珠三角等重点区域以及直辖市、省会城市和计划单列市)之一,自 2013 年开始实施《环境空气质量标准》(GB3095—2012)、《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 663—2012),并向社会发布 $PM_{2.5}$ 等大气污染物的实时浓度、空气质量指数(AQI)等信息.2013 年至 2017 年重庆市以中心城区为重点实施新一轮“蓝天行动”,控制燃煤及工业废气污染、城市扬尘污染、机动车排气污染及餐饮油烟挥发性有机物污染,增强大气污染监管能力,2018—2020 年重庆实施贯彻国务院打赢蓝天保卫战三年行动计划方案,以中心城区和渝西片区为重点控制区,着力优化调整“四个结构”,强化“四控两增”措施,大幅减少主要大气污染物排放量,协同减少温室气体排放.2020 年重庆市空气质量优良天数达到 333 天,全市空气质量普遍有所改善,中心城区空气质量持续改善,但是距离重庆市的新要求和社会的新期待还有差距,国家生态文明建设、长江经济带和“一带一路”发展战略,均对空气质量提出了较高的要求.目前对重庆地区大气污染研究大多集中于特定大气污染物、较短时段或较小区域空气污染的相关分析^[3-6],对于中心城区空气污染较长时段的综合分析较少,本研究利用重庆中心城区环境空气质量监测数据以及气象站观测数据,运用统计方法,对中心城区 2013—2020 年空气污染特征进行了分析,并就常规气象要素对中心城区主要大气污染物浓度的影响进行了探讨,以期对空气质量预报和空气污染预警提供参考,为有关部门制定防治大气污染与保护城市生态环境的决策提供科学依据.

1 资料说明

本研究所用空气质量监测数据来源于中国环境监测总站官网(<http://www.cnemc.cn/>)及重庆市生态环境局官网(<http://sthjj.cq.gov.cn/>),监测污染指标 6 项: PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO 和 O_3 . 所用的气

象数据为重庆中心城区沙坪坝气象站(国家基本气象站)观测数据,日值数据时段为 2013 年 1 月 1 日—2020 年 12 月 31 日,气象观测日值数据与空气质量监测日值数据统计时段相同。

本研究对季节的划分:春季 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9—11 月,冬季 1—2 月、12 月。

2 结果分析

2.1 空气质量总体概况

根据环境保护部发布的《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)行业标准,按照 AQI 大小,将空气质量分为一级优($0 \leq \text{AQI} \leq 50$)、二级良($51 \leq \text{AQI} \leq 100$)、三级轻度污染($101 \leq \text{AQI} \leq 150$)、四级中度污染($151 \leq \text{AQI} \leq 200$)、五级重度污染($201 \leq \text{AQI} \leq 300$)、六级严重污染($\text{AQI} > 300$)。

图 1 为 2013—2020 年重庆中心城区首要污染物分布。由图 1 可见,重庆中心城区 2013—2020 年空气质量以良为主,未出现严重污染;首要污染物主要为 $\text{PM}_{2.5}$,其次为 O_3 , SO_2 和 CO 未成为首要污染物;污染日($\text{AQI} > 100$)首要污染物主要为 $\text{PM}_{2.5}$,其次为 O_3 ;重度污染日首要污染物基本为 $\text{PM}_{2.5}$ 。由此可见,2013—2020 年影响重庆中心城区空气质量的大气污染物主要为 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 。

2.2 空气污染的季节变化特征

按照《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)行业标准, $\text{PM}_{2.5}$ 日均质量浓度超过 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$,其空气质量分指数 IAQI 超过 100,统计中视为当日 $\text{PM}_{2.5}$ 超标, O_3 8 小时滑动平均($\text{O}_3_{8\text{h}}$)日最大质量浓度超过 $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 或 1 小时平均($\text{O}_3_{1\text{h}}$)日最大质量浓度超过 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$,其空气质量分指数 IAQI 超过 100,统计中视为当日 O_3 超标。

图 2 为 2013—2020 年重庆中心城区 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 累计超标天数月分布。由图 2 可见, $\text{PM}_{2.5}$ 污染、 O_3 污染均呈现出明显的季节差异, $\text{PM}_{2.5}$ 超标天数呈“冬高夏低”特征,超标日主要出现在初春、秋末和冬季,其中冬季最为严重,尤其是 1 月,其次为 12 月,夏季很少出现 $\text{PM}_{2.5}$ 超标现象; O_3 污染以轻度污染为主,超标天数呈“夏高冬低”特征,超标日主要出现在春末、夏季和初秋,其中夏季最为严重,尤其是 8 月,其次为 7 月,中度及以上污染日主要出现在 6—8 月。

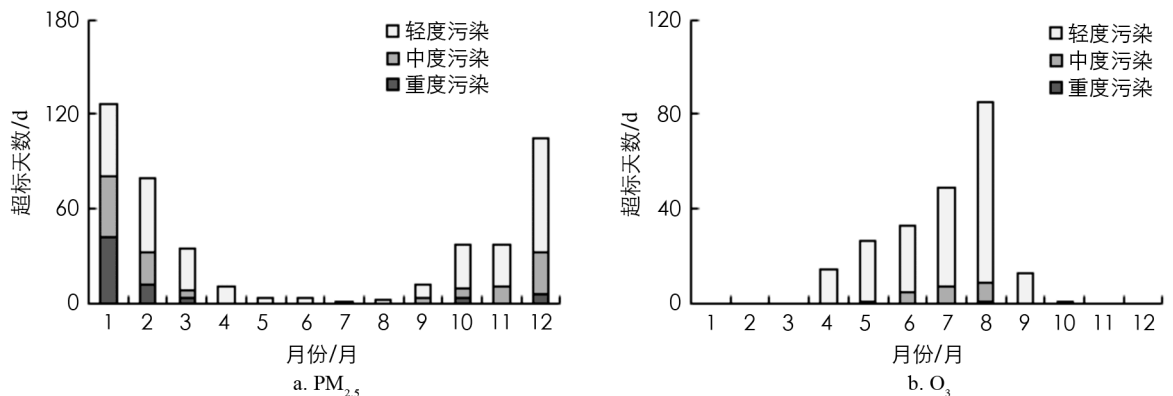


图 2 2013—2020 年重庆中心城区 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 累计超标天数月分布

据统计,2013—2020 年重庆中心城区 4—10 月有出现同一天 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 均超标(双超标)的情况,其中 9 月出现双超标的天数最多。

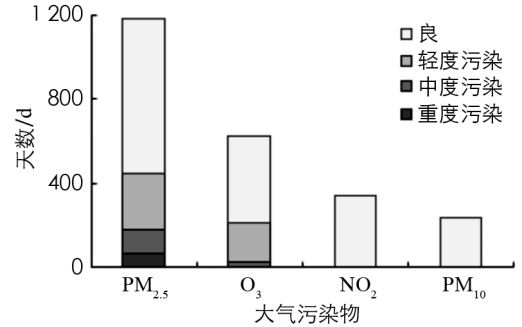


图 1 2013—2020 年重庆中心城区首要污染物分布

2.3 空气污染的年变化特征

图3为2013—2020年重庆中心城区PM_{2.5}和O₃超标天数逐年变化。由图3可见,重庆中心城区PM_{2.5}超标天数2013—2020年总体呈下降趋势;O₃超标天数2013—2015年呈逐年减少的趋势,2016年略高于2015年,2016—2018年呈逐年增加趋势,2019年和2020年较2018年略有减少。从各年超标天数来看,重庆中心城区2013—2016年PM_{2.5}超标天数各年均明显高于O₃超标天数,2017年PM_{2.5}超标天数略高于O₃超标天数,2018—2020年O₃超标天数均较明显高于PM_{2.5}超标天数。由此可见,2013—2020年重庆中心城区PM_{2.5}污染总体呈减弱趋势,而O₃污染问题近年来日益凸显。

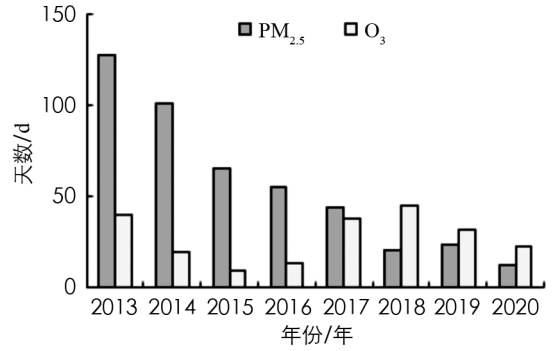


图3 2013—2020年重庆中心城区各年PM_{2.5}超标天数及O₃超标天数年变化

3 气象因子对主要大气污染物浓度的影响

城市空气质量的好坏与气象条件关系密切,在不同的气象条件下,同一污染源排放所造成的地面污染物浓度可相差几十倍甚至几百倍,这是由于大气对污染物的稀释扩散能力随着气象条件的不同而发生巨大变化的缘故,空气污染往往发生在不利的气象条件下。

近年来,影响重庆中心城区空气质量的大气污染物主要为PM_{2.5}和O₃。PM_{2.5}在大气中含量的增加导致能见度降低^[7],影响生活、交通和城市景观,另外对农作物产量和生态系统也有影响,相对较粗颗粒,PM_{2.5}颗粒粒径更小,比表面积更大,在环境中滞留的时间更长,吸附的有害物质更多,更易进入人体支气管和肺泡区,对人体健康的危害更大^[8]。O₃作为重要的温室气体和大气强氧化剂,在对流层化学物质循环中扮演着重要的角色,它具有很强的反应活性,可直接损伤人体呼吸道、皮肤、眼睛和免疫系统,直接伤害植物叶片,导致森林死亡及农作物减产,对流层臭氧尤其是近地面臭氧浓度的增加严重影响着人类健康、生态环境,同时也威胁着区域气候变化^[9]。

由于PM_{2.5}和O₃的生成机制有较大差异,气象因子对PM_{2.5}和O₃浓度的影响有较大的不同,在此就气温、风、相对湿度、气压和降水等常规气象要素对PM_{2.5}和O₃浓度的影响分别进行分析。2020年受疫情影响污染源排放变化较大,因此本研究仅用2013—2019年的资料就气象因子对PM_{2.5}和O₃浓度的影响进行分析。

3.1 气象要素对PM_{2.5}浓度的影响

空气中的PM_{2.5}主要是由工业及人类生产生活排放产生的,包括化石燃料燃烧、机动车尾气排放、工业污染、道路扬尘和建筑扬尘等。由图2可见,重庆中心城区PM_{2.5}污染呈现出明显的季节差异,主要出现在初春、秋末和冬季,其中冬季最为严重。与北方城市不同,重庆没有采暖期和非采暖期之分,污染源排放没有较为明显的季节变化特征,因此PM_{2.5}污染的季节差异主要与本地地理气候环境有关。

对2013—2019年全年和各季节重庆中心城区PM_{2.5}日均浓度与日平均气温、日最高气温、日最低气温、10 m高度平均风速、日降水量、日平均相对湿度(由于降水对PM_{2.5}有沉降、稀释作用,而降水时空气相对湿度很高,故在此仅选取无降水日的相对湿度进行平均)、日平均气压、24 h变压(当日日平均气压与前一日日平均气压的差值)等气象要素的相关性进行了分析,结果列于表1。由表1可见,从全年来看,PM_{2.5}日均浓度与气温、平均风速、降水量、24 h变压呈负相关关系,与气压呈正相关关系,无降水情况下与相对湿度呈正相关关系,各相关系数均在 $\alpha=0.01$ 水平上有统计学意义;从各季节来看,春季PM_{2.5}日均浓度与平均风速、降水量、24 h变压呈负相关关系,各相关系数均在 $\alpha=0.01$ 水平上有统计学意义;夏季

PM_{2.5}日均浓度与降水量、24 h 变压呈负相关关系,无降水情况下与平均相对湿度呈正相关关系,各相关系数均在 $\alpha=0.01$ 水平上有统计学意义;秋季 PM_{2.5}日均浓度与平均风速、降水量、24 h 变压呈负相关关系,各相关系数均在 $\alpha=0.01$ 水平上有统计学意义,其中与降水量的相关最为显著;冬季 PM_{2.5}日均浓度与平均风速、降水量、24 h 变压呈负相关关系,与最高气温、平均气温呈正相关关系,无降水情况下与平均相对湿度呈正相关关系,各相关系数均在 $\alpha=0.01$ 水平上有统计学意义,其中与平均风速的相关最为显著,冬季 PM_{2.5}平均浓度与冷空气活动频率以及强度密切相关。

表 1 2013—2019 年重庆中心城区 PM_{2.5}浓度与各气象要素的相关系数

| 气象要素 | 日平均 | 日最高 | 日最低 | 10 m 高度 | 日降 | 日平均 | 日平均 | 24 h |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| | 气温 | 气温 | 气温 | 平均风速 | 水量 | 相对湿度 | 气压 | |
| 全年 | -0.423** | -0.383** | -0.454** | -0.296** | -0.220** | 0.339** | 0.362** | -0.147** |
| 春季 | 0.010 | 0.061 | -0.064 | -0.206** | -0.221** | -0.070 | -0.020 | -0.210** |
| 夏季 | 0.066 | 0.109* | 0.005 | -0.063 | -0.130** | 0.121** | 0.033 | -0.163** |
| 秋季 | -0.009 | 0.055 | -0.079 | -0.160** | -0.245** | 0.049 | 0.078 | -0.146** |
| 冬季 | 0.143** | 0.173** | 0.065 | -0.338** | -0.293** | 0.257** | -0.114* | -0.171** |

注: * 表示在 $\alpha=0.05$ 水平上有统计学意义, ** 表示在 $\alpha=0.01$ 水平上有统计学意义。

3.2 气象要素对 O₃ 浓度的影响

对流层臭氧作为重要的痕量气体成分,除少量来自平流层的输入外,主要是由人类活动产生的氮氧化物(NO_x)和挥发性有机物(VOCs)等前体物在光照下经过光化学反应生成^[10],气象条件对臭氧的光化学反应、扩散和传输有重要影响。

近年来,我国臭氧污染问题日益凸显^[11],对于气象因子对 O₃ 浓度的影响,国内学者进行了大量研究,从研究结果来看,太阳(紫外)辐射、气温、相对湿度等气象要素是影响 O₃ 浓度的重要因素,城市高浓度的 O₃ 往往形成于强太阳辐射、高温、低湿的天气下,但不同地区风等气象要素对 O₃ 浓度的影响不尽相同^[12-15]。

据统计,2013—2019 年重庆中心城区首要污染物为 O₃ 的天数中 O₃_8 h 占 97.7%,O₃_1 h 仅占 2.3%,以下对 O₃_8 h 浓度与各气象要素的相关性进行分析。

从日变化来看,重庆中心城区近地面臭氧浓度呈显著的单峰变化趋势,O₃ 浓度夏季从 08 时左右开始出现升高趋势,其他季节从 09 时左右开始出现升高趋势,16 时左右达到一天中的峰值,之后逐渐下降,夜间保持在较低水平^[16]。根据重庆中心城区臭氧的日变化特征结合过去的研究^[17],利用 2013—2019 年中心城区 O₃ 监测数据及沙坪坝气象站的观测数据,对 O₃_8 h 质量浓度与日最大紫外辐照度、日照时数、日最高气温、白天平均相对湿度(由于白天的降水对 O₃ 浓度有影响,而降水时空气相对湿度高,故在此仅选取白天 08—20 时无降水日的相对湿度进行平均)等气象要素的相关性进行了分析。图 4 为 2013—2019 年重庆中心城区 O₃_8 h 质量浓度日最大值与日最大紫外辐照度、日照时数、日最高气温、白天平均相对湿度的散点图。由图 4 来看,O₃_8 h 质量浓度与紫外辐照度、日照时数、最高气温呈正相关关系,白天无降水时与平均相对湿度呈负相关关系,计算得到各相关系数绝对值均大于 0.70,相关有统计学意义,其中 O₃_8 h 质量浓度与最高气温的相关系数最高,超过 0.80,相关极有统计学意义;太阳紫外辐射越强,日照时间越长,越有利于 O₃ 的光化学生成;总体来看 O₃_8 h 质量浓度随着气温的升高而上升,当气温超过 30 °C 时 O₃_8 h 质量浓度超标现象开始增多,当气温超过 35 °C 时 O₃_8 h 质量浓度超标现象明显增多但离散度明显增大,表明 O₃_8 h 质量浓度并不是完全随气温的升高而上升;O₃_8 h 质量浓度随相对湿度的增加而降低,相对湿度高于 70% 时 O₃_8 h 质量浓度离散度明显减小且未出现超标现象,表明高湿对 O₃ 浓度有明显的减弱作用。

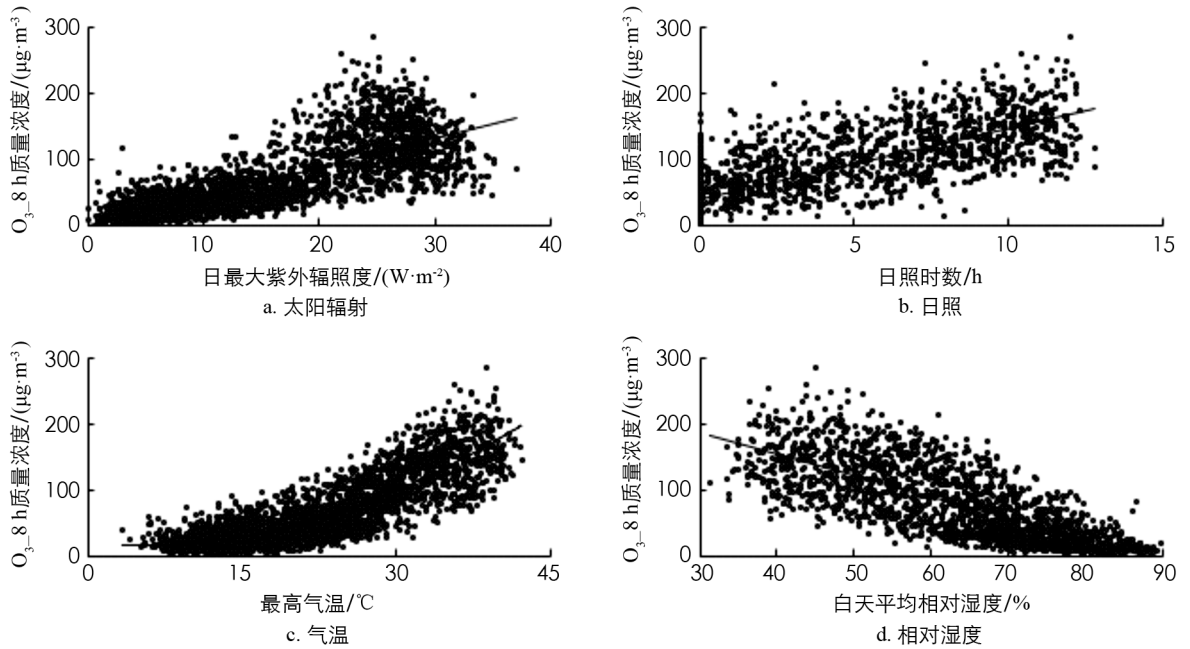


图 4 2013—2019 年重庆中心城区 O_3 8 h 质量浓度日最大值与各气象要素的散点图

风对 O_3 浓度的影响较为复杂, 主要是因为风速较小时风对 O_3 及其前体物的稀释扩散作用较小, 对 O_3 及其前体物的远距离传输作用也较小, 风速较大时风对 O_3 及其前体物的稀释扩散作用较大, 对 O_3 及其前体物的远距离传输作用也较大, 因此风速较大时风向对 O_3 浓度的影响更为显著. 从统计来看, 2013—2019 年重庆中心城区 O_3 超标日白天 10 m 高度平均风速 $V \geq 2 \text{ m/s}$ 的比例仅占 9.6%, O_3 超标现象大部分发生在低风速天气条件下. 对白天 10 m 高度平均风速 $V \geq 2 \text{ m/s}$ O_3 超标的个例进行分析, 结果表明这些个例均出现在 6—8 月. 图 5 为白天 10 m 高度平均风速 $V \geq 2 \text{ m/s}$ O_3 超标日白天的风向玫瑰图. 由图 5 可见, 这些个例白天的主导风向主要在 NW-N-NNE 区间内, 其次在 ENE-E-ESE 区间内.

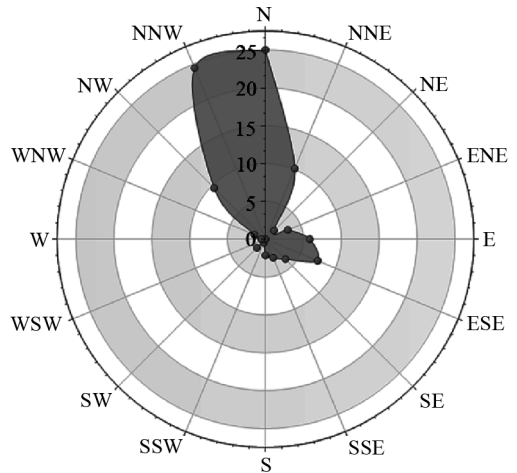


图 5 白天 10 m 高度平均风速 $V \geq 2 \text{ m/s}$ O_3 超标日白天的风向玫瑰图(风向频率: %)

白天的降水对 O_3 浓度的影响主要表现在两个方面, 一方面降水发生时云量较多, 云层削弱了到达地面的太阳辐射, 减弱了 O_3 的生成, 使 O_3 浓度降低; 另一方面降水发生时相对湿度大, 水汽含量高, 水汽通过反应消耗 O_3 , 使 O_3 浓度降低. 统计表明, O_3 超标日白天有降水的天数仅占 6.1%. 对这些个例进行分析, 发现这些个例均发生在 7 月、8 月, 降水多为对流性降水, 降水时间较短, 16.7% 的个例降水出现在 13 时之前, 83.3% 的个例降水出现在 16 时之后. 从统计来看重庆中心城区夏季 O_3 平均小时浓度呈明显的“单峰型”变化规律, O_3 浓度 08 时左右开始上升, 16 时左右达到峰值, 在 13—19 时保持较高值^[18]. 为了研究白天不同时段发生的降水对 O_3 浓度影响的差异, 比较 2018 年 8 月 11 日与 2018 年 8 月 3 日这两个观测日 O_3 浓度的变化, 这两个观测日在最大太阳紫外辐照度、日照时数、最高气温、白天的平均相对湿度、白天 10 m 高度平均风速及白天的降水量等方面均较为接近(表 2), 其 O_3 小时质量浓度变化见图 6. 由图 6 来看, 两个观测日在降水开始后 O_3 质量浓度均出现明显降低, 但由于降水发生时段有所不同, 当日的

O₃_8 h 质量浓度值有较大差异, 2018 年 8 月 3 日白天的降水发生在 15 时到 16 时之间, 降水开始后 O₃ 质量浓度降低, 16 时 O₃ 小时质量浓度已经降至 125 μg/m³ 以下, 当日 O₃_8 h 质量浓度最大值为 106 μg/m³, 未超标, 而 2018 年 8 月 11 日白天的降水发生在 17 时到 18 时之间, 16 时 O₃ 小时质量浓度接近 200 μg/m³, 14—17 时各时段 O₃ 小时质量浓度均超过 180 μg/m³, 降水开始后 O₃ 质量浓度降低, 当日 O₃_8 h 质量浓度最大值为 166 μg/m³, 超过国家环境空气质量二级标准(HJ633—2012), 这两个观测日 O₃_8 h 质量浓度值差异较大, 主要是因为白天的降水发生在不同的时段, 使得 O₃ 浓度的变化发生了不同的改变. 由此可见, 白天发生的降水对 O₃ 浓度有降低作用, 但不同时段发生的降水对 O₃ 浓度变化的影响有所不同.

表 2 不同观测日气象要素比较

| 日期 | 最大紫外辐照度 /(W·m ⁻²) | 日照时数 /h | 最高气温 /°C | 白天平均 相对湿度 /% | 白天 10 m 高 度平均风速 /(m·s ⁻¹) | 白天 降水量 /mm | 降水 时段 |
|------------|----------------------------------|------------|-------------|--------------------|---|------------------|-----------|
| 2018-08-03 | 27.07 | 9.5 | 36.2 | 63.1 | 1.4 | 1.0 | 15 时—16 时 |
| 2018-08-11 | 25.96 | 8.3 | 36.5 | 57.3 | 1.5 | 5.0 | 17 时—18 时 |

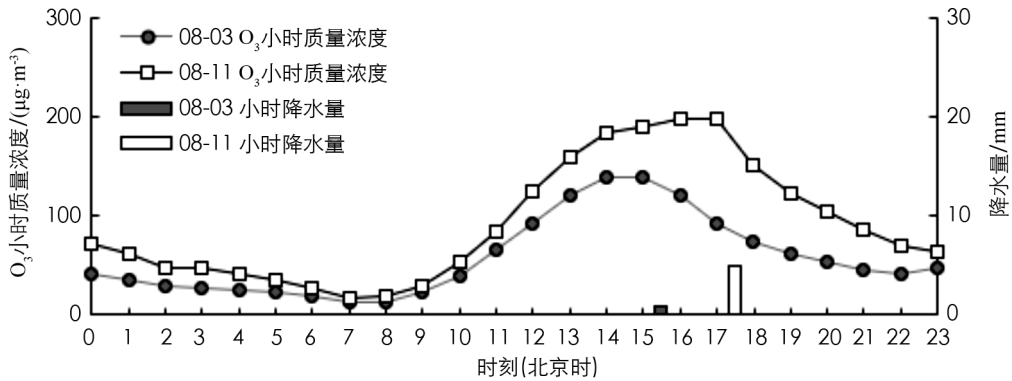


图 6 不同降水时段 O₃ 小时质量浓度随降水变化

4 结论

1) 从首要污染物来看, 2013—2020 年影响重庆中心城区空气质量的大气污染物主要为 PM_{2.5} 和 O₃, 重度污染日首要污染物基本为 PM_{2.5}.

2) 从季节变化来看, 2013—2020 年重庆中心城区 PM_{2.5} 污染、O₃ 污染均呈现出明显的季节差异, PM_{2.5} 超标主要出现在初春、秋末和冬季, 其中冬季最为严重, 尤其是 1 月, 其次为 12 月; O₃ 超标主要出现在春末、夏季和初秋, 其中夏季最为严重, 尤其是 8 月, 其次为 7 月.

3) 从年变化来看, 2013—2020 年重庆中心城区 PM_{2.5} 污染总体呈减弱趋势, 而 O₃ 污染问题近年来日益凸显.

4) 从全年来看, PM_{2.5} 日均浓度与气温、风速、24 h 变压、降水量呈负相关关系, 与气压呈正相关关系, 无降水情况下与相对湿度呈正相关关系; 不同季节气象因子对 PM_{2.5} 浓度的影响不尽相同.

5) O₃ 浓度的变化受多种气象要素作用, 太阳紫外辐射、日照时长、气温、相对湿度、风速、风向及白天有无降水等均对 O₃ 浓度产生影响; 强太阳辐射、高温、低湿、低风速天气条件下容易形成高浓度 O₃, 白天风速较大时主导风向在 NW-N-NNE 区间或 ENE-E-ESE 区间时也可能出现 O₃ 超标现象; 白天的降水对 O₃ 浓度有降低作用, 但不同时段发生的降水对 O₃ 浓度变化的影响有所不同.

参考文献:

- [1] 郭雯雯,陈永金,刘阁,等. 2016—2019年长江中游城市群空气质量时空变化特征及影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2020, 29(10): 2034-2044.
- [2] 李慧,王淑兰,张文杰,等. 京津冀及周边地区“2+26”城市空气质量特征及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2021, 34(1): 172-184.
- [3] 陈攀秋,王建力,杨平恒. 2014年重庆市大气污染物浓度变化特征及其与气象条件的关系[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(10): 147-153.
- [4] 刘永林,孙启民,钟明洋,等. 重庆市主城区PM_{2.5}时空分布特征[J]. 环境科学, 2016, 37(4): 1219-1229.
- [5] 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.
- [6] 陈林,熊万明,李杰,等. 重庆市沙坪坝区环境空气PM_{2.5}和PM₁₀相关性分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(11): 137-143.
- [7] 杨茜,高阳华,李振亮. 重庆市霾天气下大气能见度与颗粒污染物的关系[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(9): 134-140.
- [8] 曹军骥. PM_{2.5}与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 6-306.
- [9] 张小曳. 大气成分与大气环境[M]. 北京: 气象出版社, 2010: 12-18.
- [10] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 102-107.
- [11] 严刚,薛文博,雷宇,等. 我国臭氧污染形势分析及防控对策建议[J]. 环境保护, 2020, 48(15): 15-19.
- [12] 吴锴,康平,王占山,等. 成都市臭氧污染特征及气象成因研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(11): 4241-4252.
- [13] 黄俊,廖碧婷,吴兑,等. 广州近地面臭氧浓度特征及气象影响分析[J]. 环境科学学报, 2018, 38(1): 23-31.
- [14] 严仁嫦,叶辉,林旭,等. 杭州市臭氧污染特征及影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2018, 38(3): 1128-1136.
- [15] 周学思,廖志恒,王萌,等. 2013—2016年珠海地区臭氧浓度特征及其与气象因素的关系[J]. 环境科学学报, 2019, 39(1): 143-153.
- [16] 刘贤,李月臣,朱康文,等. 重庆市臭氧时空分异及其影响因素研究[J]. 环境保护与循环经济, 2017, 37(10): 56-63.
- [17] 张灿,蒋昌潭,罗财红,等. 气象因子对臭氧的影响及其在空气质量预报中的应用[J]. 中国环境监测, 2017, 33(4): 221-228.
- [18] 刘姣姣,蒋昌潭,宋丹,等. 重庆夏季近地面臭氧变化规律及影响因素分析[J]. 重庆大学学报, 2014, 37(8): 91-98.

责任编辑 潘春燕