

兰州市近地面臭氧污染分布特征

马秉吉¹, 马玉霞¹, 虞志昂¹, 张艺凡¹, 焦浩然¹, 辛金元², 刘梅³

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100081;
3. 江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘要:为探究兰州市近地面臭氧(O_3)浓度的分布特征,对2013~2016年兰州市5个国家空气质量监测点逐时的 O_3 浓度资料进行了统计分析,结合同期的 NO_2 和颗粒物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)浓度资料得到兰州市的 O_3 污染变化趋势及其分布特征。结果表明:兰州市区 O_3 与 NO_2 浓度的日变化呈现相反的变化趋势,二者之间存在明显的负相关关系,相关系数为-0.45;兰州市区颗粒物与 O_3 之间相互影响,颗粒物浓度春、冬季较高,而 O_3 夏季较高, O_3 与 $PM_{2.5}$ 浓度月变化之间的相关系数为-0.78, O_3 逐渐成为继颗粒物之后首要污染物天数最多的污染物;兰州市区和榆中县 O_3 浓度均呈现明显的日变化、月际变化、季节变化;不同站点分布特征显示,兰州市区4个监测站点中兰炼宾馆 O_3 浓度最高,职工医院与生物制品厂相差不大,铁路设计院最低,表明西固区 O_3 污染形势最为严峻,七里河区次之,城关区 O_3 污染较轻,而且榆中县 O_3 浓度除夏季外其它时段均比市区高。

关键词:兰州; O_3 浓度;首要污染物;时间变化;站点分布特征

中图分类号: X513

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2019.03.010

Characteristics of Near-surface Ozone Pollution in Lanzhou

MA Bingji¹, MA Yuxia¹, YU Zhiang¹, ZHANG Yifan¹, JIAO Haoran¹, XIN Jinyuan², LIU Mei³

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Atmospheric Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China; 3. Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China)

Abstract: In order to explore the distribution characteristics of near-surface ozone (O_3) concentration in Lanzhou city, the hourly O_3 concentration data of five national air quality monitoring sites in Lanzhou from 2013 to 2016 were statistically analyzed. Combined with the data of NO_2 and particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) concentration in the same period, the variation trend and distribution characteristics of O_3 pollution in Lanzhou were obtained. The results indicated that the daily variation of O_3 and NO_2 concentrations in Lanzhou City showed an opposite trend, and there was a significant negative correlation between them with correlation coefficient of -0.45. Particulate matter and O_3 interacted with each other in Lanzhou city. The concentration of particulate matter were higher in spring and winter, while O_3 was higher in summer. The correlation coefficient between O_3 and $PM_{2.5}$ concentration was -0.78. O_3 gradually became the most important pollutant after the particulate matter. The O_3 concentrations in Lanzhou city and Yuzhong county showed obvious diurnal, monthly and seasonal variations. The distribution characteristics of different sites showed that Lanlian Hotel had the highest concentration of O_3 in four monitoring sites in Lanzhou city. There was little difference between the staff hospital and biological products factory, and the railway design institute was the lowest. This result indicated that the O_3 pollution situation in Xigu District was the most serious, followed by the Qilihe District and Chengguan District. The O_3 concentration in Yuzhong county was higher than that in the urban area except for summer.

Keywords: Lanzhou; O_3 Concentration; Primary Pollutants; Change of Time; Site Distribution Characteristics

CLC number: X513

近年来国内外许多城市均已出现臭氧(O_3) 超标现象, O_3 污染逐步凸显,已逐渐成为继 $PM_{2.5}$

收稿日期: 2018-12-04

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项(lzujbky-2017-69)资助

作者简介: 马秉吉(1993-),男,硕士研究生。研究方向:大气环境。E-mail: mabj17@lzu.edu.cn

通信作者: 马玉霞(1974-),女,博士、副教授。研究方向:气候变化及其影响。E-mail: mayuxia07@lzu.edu.cn;

刘梅(1973-),女,硕士,正研级高级工程师。研究方向:气修变化及其影响。E-mail: lmkerky@163.com

引用格式: 马秉吉,马玉霞,虞志昂,等.兰州市近地面臭氧污染分布特征[J].环境保护科学,2019,45(3):60-65.

后影响人体健康及生态环境的又一种重要的大气污染物^[1-3]。高浓度的 O_3 具有强氧化性和刺激性,对眼睛和呼吸道有很大损伤,会破坏人体的免疫机能,引发呼吸道疾病,影响心肺功能,同时它也会对其他动植物造成伤害^[4-5]。因此,我国2012年颁布的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)在原常规监测项目 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 的基础上,增加了 $PM_{2.5}$ 、 O_3 和 CO 这3项污染物,并且在2013年逐步开始展开全国范围内的监测^[6],为 O_3 的研究创造了有利条件,亦可看出 O_3 污染问题日益突出,成为国内外关注的焦点^[7-9]。

关于 O_3 污染的分布特征已经有很多的研究,程麟钧等^[10]通过对京津冀地区13个城市80个监测点的 O_3 数据进行统计分析,得出北京和衡水两地 O_3 污染严重,连续3年超标,且在春末和夏季时期的 O_3 污染最为严重;刘芷君等^[5]分析了长江三角洲地区16个城市监测点逐时的 O_3 数据,研究发现长三角地区 O_3 浓度呈现夏季高、冬季低的季节变化特征,近海城市 O_3 年均浓度较高,内陆城市浓度较低,长三角地区四季 O_3 日变化皆为典型的单峰型;侯乐等^[11]对沈阳市 O_3 进行了研究,结果发现沈阳市 O_3 浓度呈现出明显的日变化规律, O_3 浓度分别与 NO_x 浓度和 CO 浓度的日变化呈现负相关, O_3 浓度和温度日变化呈现正相关;黄俊等^[12]研究了广州市近地面 O_3 浓度特征及气象影响分析,结果表明广州地区城郊的 O_3 浓度高于中心城区,广州地区近地面的 O_3 浓度超标时间主要出现在4~9月,8月 O_3 浓度最高,3月 O_3 浓度最低, O_3 浓度日变化呈现“单峰型”分布,早上7:00~8:00出现最低值,15:00达到峰值。近几年大家对 O_3 的时空分布特征研究较多,而 O_3 与 NO_2 、颗粒物(PM_{10} 、 $PM_{2.5}$)浓度之间关系的研究较少,文章在统计分析 O_3 浓度分布特征的基础上,进一步探究了 O_3 与 NO_2 、颗粒物之间的关系,旨在揭示兰州市大气污染物之间的相互影响。

兰州市是甘肃省的省会,位于中国大陆地理版图的几何中心,黄河穿城而过,是典型的河谷城市,同时也是我国的工业重镇,人口众多,汽车保

有量大,截至2016年9月,兰州市机动车保有量已超过87万辆,且每个工作日新增机动车数量以400辆左右速度递增^[13],使得兰州市污染严重而备受国内外关注,也是我国最早发现光化学烟雾的地方, O_3 污染不容小视,因此文章对2013~2016年兰州市5个国家环境监测点逐时的 O_3 浓度数据进行了统计分析,揭示了兰州市近地面 O_3 浓度的分布特征及 O_3 与其它污染物之间的关系,以为兰州市 O_3 污染的治理提供科学依据,为整个兰州市大气污染的监测与治理提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

文章所用到的 O_3 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 监测资料均来自兰州市环保局监测中心,兰州市共有5个国家空气质量监测点,它们分别是铁路设计院(城关区)、生物制品所(城关区)、兰炼宾馆(西固区)、职工医院(七里河区)、榆中兰大校区(榆中县),其中前4个监测点均在市区,榆中兰大校区为清洁对照点设在榆中县。监测点位置见图1。



图1 兰州市5个国家空气质量监测点的示意图

数据内容包括2013~2016年兰州市5个监测点逐时的 O_3 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度数据,以上资料均充分的考虑了其完整性和代表性,对原始数据经过了严格的质量控制和检查。2013年 O_3 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 浓度数据的有效天数均为365 d;2014年 O_3 有效天数363 d, NO_2 有效天数364 d, PM_{10} 有效天数365 d, $PM_{2.5}$ 有效天数364 d;2015年 O_3 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 有效天数均为365 d;2016

年其有效天数为 366 d。

1.2 分析方法

文章利用兰州市 5 个国家空气质量监测点逐时的 O₃ 浓度资料,统计分析了兰州市区和榆中县近地面 O₃ 浓度的分布特征,及利用 O₃、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}浓度资料探讨了 O₃ 与光化学反应前体物 NO₂、O₃ 与颗粒物之间的关系,并且在兰州市区与榆中县之间、不同监测站点之间进行了对比分析。文章按照《环境空气质量标准:GB3095—2012》^[14]中 O₃、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}的浓度标准,对其进行超标判定和首要污染物的选取。

2 结果与分析

2.1 兰州市区 O₃ 与前体物 NO₂ 及颗粒物浓度之间的关系

兰州市区 O₃ 浓度日变化呈现典型的“单峰型”,见图 2。

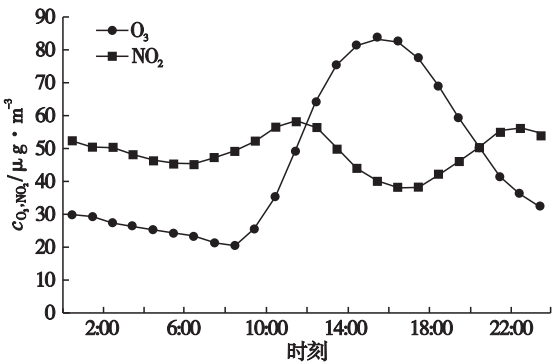


图 2 2013 ~ 2016 年兰州市区 O₃ 与 NO₂ 浓度的日变化特征

图 2 可见,O₃ 浓度在 14:00 ~ 16:00 最高,最高值为 83 μg/m³,出现在 15:00; O₃ 浓度在 06:00 ~ 08:00 最低,最低值为 20 μg/m³。而 O₃ 前体物 NO₂ 的浓度的日变化与 O₃ 呈现相反的变化趋势,在 10:00 ~ 12:00、21:00 ~ 23:00 较高,最高值为 58 μg/m³,出现在 11:00;这两个时段 NO₂ 浓度较高的原因是人为活动较多、汽车尾气排放较重,同时光化学反应不强,对氮氧化物消耗较少,造成 NO₂ 累积,NO₂ 浓度最低出现在 15:00 ~ 17:00,最低值为 38 μg/m³,与 O₃ 浓度最高值时段较为接近,这是因为此时段气温高,紫外线较强导

致光化学反应增强,NO₂ 被消耗 O₃ 逐渐生成累积。进一步计算 O₃ 与 NO₂ 浓度之间的相关系数为 -0.45,通过双侧 0.05 水平的显著性检验,说明二者之间存在显著地负相关性,这与曹庭伟等^[15]研究一致。

2013 年以来兰州市区 O₃ 浓度在夏季(6 ~ 8 月)最高,自 9 月以后迅速降低,在 12 月份达到最低值,见图 3。

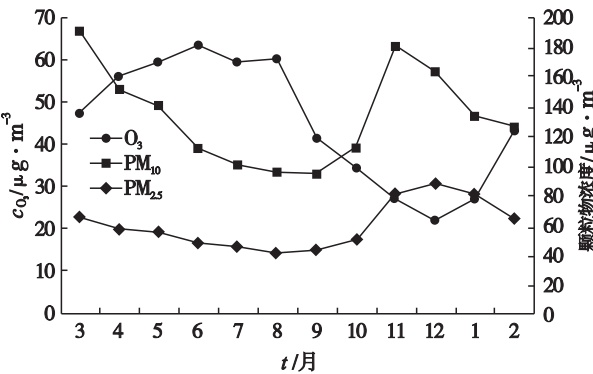


图 3 2013 ~ 2016 年兰州市区 O₃ 与颗粒物浓度之间的月际变化

图 3 可见,颗粒物浓度呈现与 O₃ 浓度明显相反的变化趋势,自进入夏季后,颗粒物浓度逐渐降低,至 9 月后才开始回升,到冬季、春季颗粒物浓度较高,这是因为冬季进入供暖期,大量煤炭的燃烧及废气排放导致颗粒物浓度上升,而春季则主要是受沙尘天气的影响,使得颗粒物浓度增加,同时 O₃ 也是一种二次污染物,二次转化的过程也是 PM_{2.5} 的主要来源之一,而颗粒物是通过影响紫外线辐射通量来影响光化学反应过程、降低光化学反应活性,从而使得 O₃ 的量减少^[16]。二者之间具有明显的相互作用,进一步计算 O₃ 与 PM_{2.5} 浓度之间的相关系数为 -0.78,通过双侧 0.01 水平的显著性检验,说明二者之间存在显著地负相关性。2013 ~ 2016 年兰州市区首要污染物的情况统计,见表 1。

由表 1 可知,2013 ~ 2016 年兰州市区首要污染物天数最多的无疑是颗粒物共计 487 d,除此之外 O₃ 为 22 d,NO₂ 为 16 d,O₃ 成为继颗粒物以后首要污染物天数最多的污染物。除 2014 年外,O₃ 为首要污染物的天数呈逐年上升趋势,尤其是从

2015 年开始增长幅度和速率较大,2016 年 O_3 为首要污染物天数是 2015 年的 2.8 倍,可见兰州市区的 O_3 污染逐年加重, O_3 逐渐成为继颗粒物后困扰城市空气质量改善和达标管理的另一种重要的大气污染物^[17]。

表 1 2013 ~2016 年兰州市区首要污染物的情况统计

t/a	O_3 为首要 污染物 天数/d	NO_2 为首 要污染物 天数/d	$PM_{2.5}$ 为首 要污染物 天数/d	PM_{10} 为首 要污染物 天数/d
2013	3	0	66	103
2014	0	1	64	50
2015	5	9	43	56
2016	14	6	40	65
总计	22	16	213	274

2.2 兰州市 O_3 浓度的分布特征

2.2.1 时间变化特征 2013 ~2016 年兰州市区与榆中县 O_3 浓度四季的日变化特征,兰州市区和榆中县 O_3 浓度均呈现“单峰型”,春季兰州市区 O_3 浓度在 14:00 ~ 16:00 最高,而榆中县则在 15:00 ~ 17:00 达到最高, O_3 浓度最大值出现较兰州市区滞后 1 h,谷值均出现在早上 06:00 ~ 08:00;夏季兰州市区与榆中县的 O_3 浓度峰值、谷值出现时间与春季一致,不同的是,在夏季兰州市区 O_3 浓度明显高于榆中县,说明夏季兰州市区 O_3 污染较榆中县更为严重;秋冬季 O_3 浓度整体较低,榆中县 O_3 浓度高于兰州市区,且峰值、谷值与春夏季一样。兰州市区与榆中县 O_3 浓度均是在午后逐渐升高,入夜后降低,这是因为午后太阳辐射增强,气温逐渐升高,光化学反应加强,不断生成 O_3 ,致使其浓度累计上升,入夜后,太阳辐射弱,光化学反应受到抑制, O_3 浓度不断降低,见图 4。

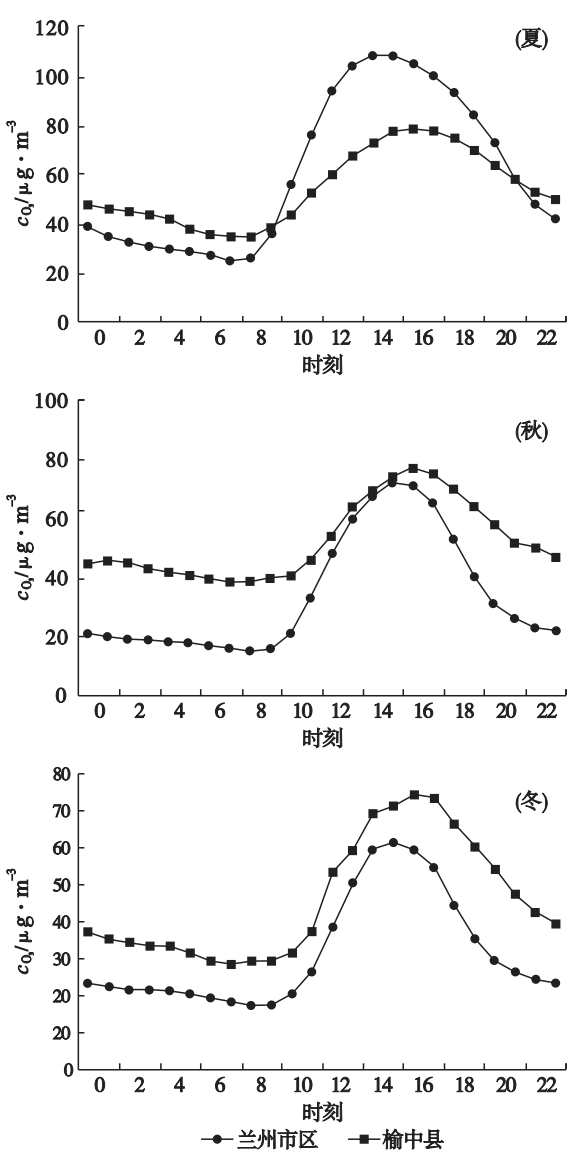
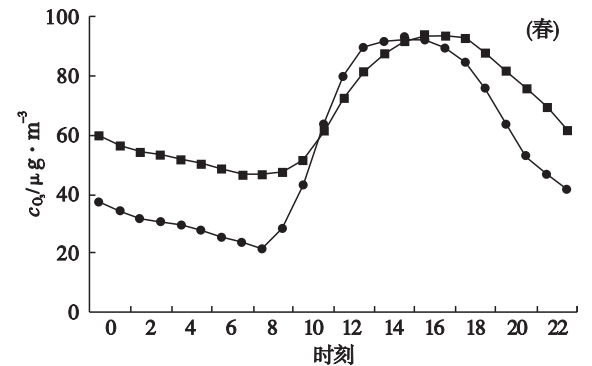


图 4 2013 ~2016 年兰州市区和榆中县 O_3 浓度四季的日变化特征

兰州市区与榆中县 O_3 浓度呈现明显的月际变化,见图 5。

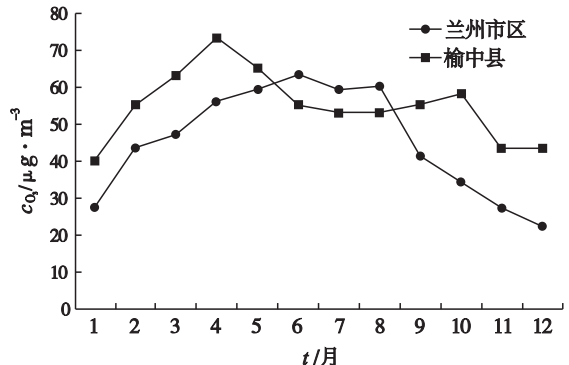


图 5 2013 ~2016 年兰州市区和榆中县 O_3 浓度的月际变化

兰州市区 O_3 浓度呈倒“U”型,从 1 月份开始 O_3 浓度逐渐上升至 6 月份达到峰值,之后又开始逐渐减小,自 8 月份以后 O_3 浓度明显降低,兰州市区 O_3 浓度整体趋势是 6 ~ 8 月份较高,在 6 月份达到峰值为 $63\ \mu\text{g}/\text{m}^3$,11 ~ 1 月份 O_3 浓度较低,最低值出现在 12 月份为 $22\ \mu\text{g}/\text{m}^3$;原因是 6 ~ 8 月份天气逐渐回暖,太阳辐射强,高温天气频发,光化学反应加剧, O_3 浓度升高,自 8 月份以后气温逐渐降低,光化学反应受到抑制, O_3 浓度降低。而榆中县 O_3 浓度呈“M”型,从 1 月份开始 O_3 浓度逐渐上升至 4 月份达到峰值,之后又开始逐渐减小至 8 月份,自 9 月份以后 O_3 浓度稍有回升,至 10 月份达到第二个峰值,之后 O_3 浓度不断降低,榆中县 O_3 浓度除 6 ~ 8 月份均比兰州市区高,原因是 O_3 是二次污染物,二次污染物的高浓度中心与一次污染物的高浓度中心并不一定相重合,便会出现处于其下风方向的榆中县出现 O_3 浓度较高的现象,这与张云霞等^[18]研究较为一致。

兰州市区夏季的 O_3 浓度最高,冬季最低,春季上升,秋季下降,原因是秋季多降水,冬季气温偏低均不利于发生光化学反应,导致 O_3 浓度降低,春季和夏季气温逐渐回暖,尤其是夏季多高温天气,太阳辐射强,利于氮氧化物等 O_3 的前体物发生光化学反应,导致夏季兰州市区 O_3 浓度偏高。而榆中县则是春季 O_3 浓度最高,夏季次之,冬季最低,但夏季兰州市区 O_3 浓度比榆中县高,原因是夏季兰州市区风速较小,氮氧化物等 O_3 的前体物逐渐累积,又加之夏季多高温天气,光化学反应所需的条件充分,一次污染物即 O_3 的前体物还未输送到近郊区就发生光化学反应,并且光化学反应程度较其他季节充分,使得夏季兰州市区 O_3 浓度高于榆中县,见图 6。

2.2.2 不同站点的 O_3 浓度分布特征 兰州市区 4 个站点的 O_3 浓度整体趋势是 5 ~ 8 月较高,这与气温回升、太阳辐射增强、光化学反应充分有关系。其中生物制品厂与职工医院 O_3 浓度相差不大,见图 7。

图 7 可见,兰炼宾馆 O_3 浓度最高,铁路设计

院最低,而且兰炼宾馆出现 O_3 浓度超标的天数较市区其他几个站点多,原因是兰炼宾馆监测点位于西固区,西固区是我国重点开发的工业区,化工、石油、机械、冶金产业发达,但同时也是污染最严重的地方,是我国最早发现光化学烟雾的地方^[19],相比兰州市其它区,西固区的氮氧化物和 VOCs 等 O_3 的前体物排放较多,因此光化学反应进行的越多,产生的 O_3 也就越多。说明西固区的 O_3 污染形势最为严峻,七里河区次之,城关区 O_3 污染最轻。

榆中县 O_3 浓度 3 ~ 5 月份即春季最高,而兰州市区是 6 ~ 8 月份即夏季最高,全年除夏季外均是榆中县 O_3 浓度高于市区 O_3 浓度,见图 8。

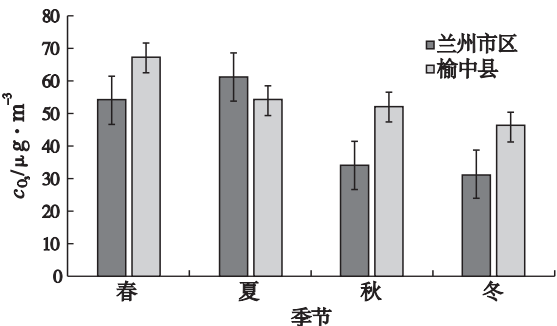


图 6 2013 ~ 2016 年兰州市区和榆中县 O_3 浓度的季节变化

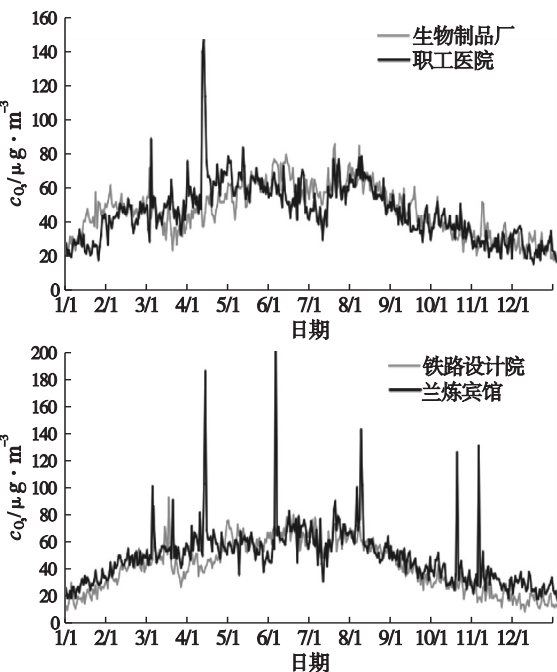


图 7 2013 ~ 2016 年兰州市区 4 个监测站点的 O_3 浓度的逐日变化

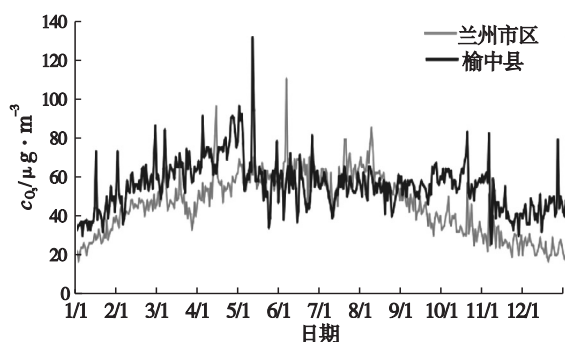


图8 2013~2016年兰州市区与榆中县 O_3 浓度的逐日变化

原因是夏季紫外线强,气温高,湿度小,利于光化学反应的进行,光化学反应所需的条件较其他季节充分,氮氧化物等 O_3 的前体物来不及输送到下游就反应,造成 O_3 浓度积累升高,使得兰州市区 O_3 浓度高于榆中县,而其他季节,光化学反应所需的条件不充分,氮氧化物等 O_3 的前体物被输送到下游榆中县,进行光化学反应生成 O_3 ,使得 O_3 浓度高于市区。

3 结论

(1) O_3 与其前体物 NO_2 浓度的日变化呈现相反的变化趋势,二者之间存在明显的负相关关系,相关系数为 -0.45 。

(2)颗粒物浓度春、冬季较高,而 O_3 夏季较高,有“交叉污染”的趋势;颗粒物与 O_3 之间相互影响,兰州市区 O_3 与 $PM_{2.5}$ 浓度之间的相关系数为 -0.78 ,且 O_3 逐渐成为继颗粒物之后首要污染物天数最多的污染物。

(3)兰州市区和榆中县 O_3 浓度四季的日变化均呈现“单峰型”,市区 O_3 浓度的峰值出现在14:00~16:00,榆中县的峰值比市区滞后1h出现在15:00~17:00,谷值都一样均在早上的06:00~08:00。

(4)兰州市区 O_3 浓度呈现倒“U”型,6~8月份 O_3 浓度较高;榆中县 O_3 浓度呈现“M”型,在4月和10月 O_3 浓度较高,6~8月份较低; O_3 浓度呈现明显的季节变化,市区 O_3 浓度夏季最高,冬季最低,春季上升,秋季下降,榆中县春季最高,夏季次之,冬季最低。

(5)不同站点的 O_3 浓度分布特征显示,兰州市区4个站点中兰炼宾馆 O_3 浓度最高,职工医院与生物制品厂相差不大,铁路设计院最低,表明西固区 O_3 污染形势最为严峻,七里河区次之,城关区 O_3 污染较轻,而榆中县 O_3 浓度除夏季外其它时间均比市区高。

参考文献

- [1]段玉森,张懿华,王东方,等.我国部分城市臭氧污染时空分布特征分析[J].环境监测管理与技术,2011,23(S1):34-39.
- [2]刘松,程燕,李博伟,等.2013—2016年西安市臭氧时空变化特性与影响因素[J].地球环境学报,2017,8(6):541-551.
- [3]陈漾,张金谱,黄祖照.广州市近地面臭氧时空变化及其与气象因子的关系[J].中国环境监测,2017,33(4):99-109.
- [4]王伟,白娟,杨丽蓉,等.银川市臭氧质量浓度时空分布特征及相关因子分析[J].宁夏工程技术,2016,15(4):304-307+312.
- [5]刘芷君,谢小训,谢旻,等.长江三角洲地区臭氧污染时空分布特征[J].生态与农村环境学报,2016,32(3):445-450.
- [6]王铎,刘枢.辽宁中部地区臭氧污染趋势及时空分布特征[J].环境保护与循环经济,2018,38(4):58-62.
- [7]WANG Y Y, DU H Y, XU Y Q, et al. Temporal and spatial variation relationship and influence factors on surface urban heat island and ozone pollution in the Yangtze River Delta, China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 631-632:921-933.
- [8]KUMAR A, SINGH D, SINGH B P, et al. Spatial and temporal variability of surface ozone and nitrogen oxides in urban and rural ambient air of Delhi - NCR, India[J]. Air Quality, Atmosphere & Health, 2015, 8(4):391-399.
- [9]COOPER S M, PETERSON D L. Spatial distribution of tropospheric ozone in western Washington, USA[J]. Environmental Pollution, 2000, 107(3):339-347.
- [10]程麟豹,王帅,宫正宇,等.京津冀区域臭氧污染趋势及时空分布特征[J].中国环境监测,2017,33(1):14-21.
- [11]侯乐,王帅,刘阔,等.沈阳市臭氧浓度时空分布与变化特征分析[J].环境保护与循环经济,2017,37(10):48-51.
- [12]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.
- [13]李全喜,王金艳,刘筱冉,等.兰州市区臭氧时空分布特征及气象和环境因子对臭氧的影响[J].环境保护科学,2018,44(2):78-84+97.
- [14]温玲,徐建平.中欧环境空气质量标准比较分析研究[J].环境科学与管理,2017,42(9):76-80.
- [15]曹庭伟,吴锴,康平,等.成渝城市群臭氧污染特征及影响因素分析[J].环境科学学报,2018,38(4):1275-1284.
- [16]柴敏平,罗勇,商娟,等.江西省城市空气臭氧污染状况及时空分布特征[J].江西科学,2018,36(1):95-100.
- [17]张祥志,陈文泰,黄樱,等.江苏省2013—2016年臭氧时空分布特征[J].中国环境监测,2017,33(4):50-59.
- [18]张云霞,吴婷婷,白志娜,等.城市地表臭氧的时空分布特征研究[J].农业灾害研究,2017,7(Z4):28-29.
- [19]陈长和,黄建国,任阵海,等.兰州西固工业区夏季臭氧浓度变化的气象条件[J].环境研究,1986(4):8-9.