

谢汶静,王盛繁,何林宴,等. 2015—2019 年贵港市臭氧污染特征及其与气象要素的关系[J]. 气象研究与应用,2021,42(1):58–62.
Xie Wenjing,Wang Shengfan,He Linyan,et al. Characteristics of ozone pollution and its relationship with meteorological factors in Guigang City from 2015 to 2019[J]. Journal of Meteorological Research and Application,2021,42(1):58–62.

2015—2019 年贵港市臭氧污染特征及其与气象要素的关系

谢汶静,王盛繁,何林宴,黄巾旗,李婷,蒙金凤

(贵港市气象局,广西 贵港市 537100)

摘要:为研究贵港市 O_3 (臭氧)污染特征及其与气象要素的关系,对 2015—2019 年贵港市国家空气自动监测站和同期贵港国家气象观测站逐日、逐时气象资料进行了研究和分析。结果表明:近 5a 来贵港市 O_3 污染日趋严重; O_3 污染存在明显的季节变化,秋>夏>春>冬; O_3 浓度日变化特征呈单峰型,8:00 出现谷值,15:00—16:00 出现峰值; O_3 浓度变化与气温、日照时数呈正相关,与相对湿度负相关,当日照时数大于 8h、相对湿度 40%~70%时易出现高浓度 O_3 ;不同季节出现 O_3 浓度高值时的风向不尽相同。

关键词:臭氧污染;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.2021.1.10

OSID:



引言

近年来,随着城市化进程的加快以及经济和工业的快速发展, O_3 引起的污染问题日益突出^[1]。近地面形成的 O_3 污染不仅影响植物的生长,导致农作物的减产,而且还会对人体健康造成威胁和伤害^[2-3]。 O_3 的主要影响因素也可以归类为排放、化学过程、气象条件三类。然而同一排放源在不同的气象条件下也可能产生不同的污染状况^[4-7]。程念亮等^[8]、陆克定等^[9]、王闯等^[10]、易睿^[11]等分别对北京、珠三角、沈阳和长三角等地 O_3 污染与气象条件之间的关系进行了研究,认为 O_3 浓度与温度、风速成正比,与湿度、气压及以能见度成反比。有学者认为 O_3 污染变化的重要因子是综合气象条件,干燥、无雨、弱风以及充足的日照是形成 O_3 污染的重要气象条件^[12]。总而言之, O_3 污染的发生是多种因素共同作用的结果,而气象条件等又因地而异,且近年来,广西 O_3 污染问题日益突出,但对本区域 O_3 污染的演变趋势及其与气象要素的相关性研究较少^[13-14],因此,有必要开展贵港市 O_3 污染特征及气象要素对其影响的研究,为贵港市 O_3 污染防治提供依据。

1 资料来源与方法

使用 2015 年 1 月 1 日—2019 年 12 月 31 日的贵港市空气自动监测站数据、贵港国家气象观测站的风、气温、相对湿度等地面资料。采用统计分析方法研究 2015—2019 年贵港 O_3 污染变化趋势,并对气温、相对湿度(RH)、日照时数(SSH)等气象要素与 O_3 浓度关系进行相关性分析。参照《环境空气质量标准》^[15](GB3095—2012),按照二类功能区所对应的二级标准进行评价和分析,当 O_3 日最大 8h 平均浓度超过 $160\mu g \cdot m^{-3}$ 时空气质量就不达标,其中浓度在 $160 \sim 215\mu g \cdot m^{-3}$ 区间为轻度污染,在 $215 \sim 265\mu g \cdot m^{-3}$ 为中度污染,而在 $265 \sim 800\mu g \cdot m^{-3}$ 时为重度污染。

2 结果与讨论

2.1 2015—2019 年贵港市臭氧质量浓度基本特征

2.1.1 年变化特征

对贵港市 2015—2019 年 O_3 浓度进行统计可知,2015—2019 年贵港市 8h 的 O_3 浓度为 $6 \sim 272\mu g \cdot m^{-3}$,平均值为 $94\mu g \cdot m^{-3}$,8h 的 O_3 浓度大于 $160\mu g \cdot m^{-3}$

共出现 127d, 占城市监测总天数(1826d)的 7.0%, 其中, 轻度污染 116d, 占 O₃ 超标总天数的 91.3%, 中度污染 10d, 占 7.9%, 重度污染 1d, 占 0.8%, 无严重污染天气。

由表 1 可知, 贵港市近 5a O₃ 持续性污染呈加重的趋势。2015 年 O₃ 持续性污染最长时间为 4d, 之后呈波动增加, 至 2019 年, 贵港市 O₃ 持续性污染最长

时间增长为 13d, 持续性污染(连续 O₃ 超标 ≥2d)次数增至 8 次。从表 2 可知, 贵港市由 8h 的 O₃ 浓度造成的污染天数基本呈逐年增加的趋势, 由 2016 年 16d 逐步增长到 2019 年的 43d。另一方面, 由 PM_{2.5} 造成的污染呈减弱的趋势, 这可能说明贵港环境污染由细颗粒物污染正逐步转换为 O₃ 污染。

表 1 2015—2019 年贵港市 O₃ 持续性污染情况

年份	持续性污染次数	持续性污染最长天数
2015	4	4
2016	3	4
2017	7	5
2018	5	8
2019	8	13

表 2 臭氧及 PM_{2.5} 引起的污染天数

年份	污染物	
	PM _{2.5}	O ₃ -8h
2015	47	17
2016	34	16
2017	55	24
2018	37	27
2019	33	43
总计	206	127

2.1.2 月及季节变化特征

贵港市 2015—2019 年 8h 的 O₃ 月均值情况和污染情况如图 1a 所示, 1—12 月均有出现日超标现象, O₃ 超标天数分布不均, 主要出现在 8—11 月。同时, 8—10 月 8h 的 O₃ 浓度均处于较高水平, 其中 9 月 8h 的 O₃ 平均浓度最高, 为 124μg·m⁻³, 其 O₃ 超标天数也最高, 为 28d, 1 月、3 月 8h 的 O₃ 平均浓度最低, 为 72μg·m⁻³, O₃ 超标天数 1 月、3 月、6 月和 12 月最少, 为 1d。将 O₃ 污染数据按春季(3—5 月)、夏

季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 月至次年 2 月)分类后, 从 8h 的 O₃ 浓度季节平均值(图 1b)分布来看, O₃ 季节变化明显, 呈单峰型, 其中秋季 O₃ 浓度最高, 为 111μg·m⁻³, 其次是夏季, 冬季最低, 为 78μg·m⁻³。O₃ 超标天数的季节变化趋势与其浓度季节变化一致, 秋季累计污染天数最多, 为 67d, 占 O₃ 超标总天数的 52.8%; 夏季次之, 为 26d, 冬季最少, 为 11d。从分布上看, 春季 O₃ 污染主要出现在 4 月, 夏季为 8 月, 而秋季为 9—10 月。

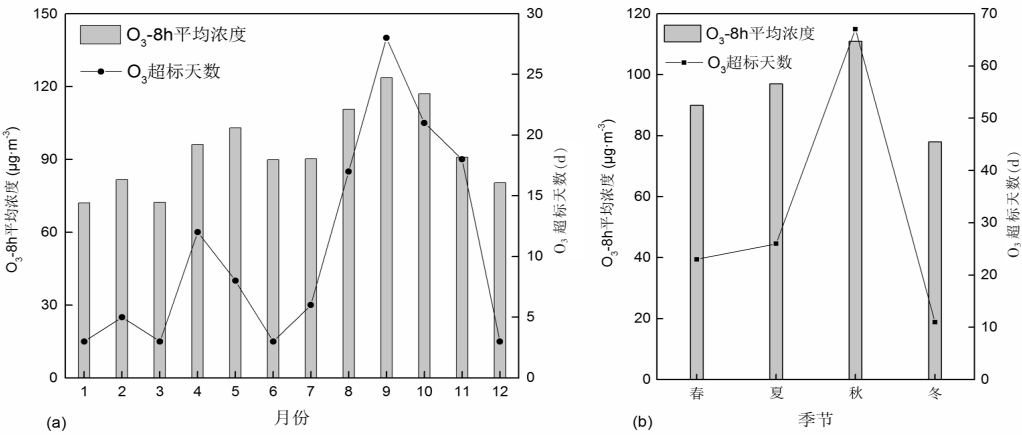


图 1 O₃ 浓度月均值、季节 O₃ 浓度均值和污染天数

2.1.3 日变化特征

O₃ 浓度日变化与近地面大气光化学反应过程密切相关, 由图 2 可以看出, 贵港 O₃ 浓度日变化呈

单峰型, O₃ 浓度一般在日出前后达到谷值, 之后随着太阳辐射增强, O₃ 生成的速率加快, O₃ 质量浓度不断增大, 在 15 时前后达到峰值, 此后随着太阳辐

射减弱, O_3 浓度逐渐下降。已有学者指出 O_3 的日循环主要分为四个阶段^[16-17]: O_3 及其前体物的前夜累积阶段、清晨 NO_x 大量排放的 O_3 抑制阶段、 O_3 光化学生成阶段、 O_3 消耗阶段。由于夜间太阳辐射弱, 夜间生成 O_3 的光化学反应较弱, 而近地层 NO 对 O_3 的不断消耗导致夜间 O_3 浓度逐渐降低, 且一直保持在低浓度区, O_3 浓度谷值一般在清晨 8:00 左右出现。8:00—16:00 左右为 O_3 光化学生成阶段, 10:00 后, 由于太阳辐射逐渐增强, NO_3 的大量光解以及温度的逐渐升高, 生成 O_3 的光化学反应逐渐增强, O_3 浓度在 15:00 左右达到峰值, 之后由于太阳辐射的减弱而逐渐降低。16:00 左右到午夜是 O_3 消耗减少阶段, 主要是由于 16:00 以后太阳辐射减弱、垂直混

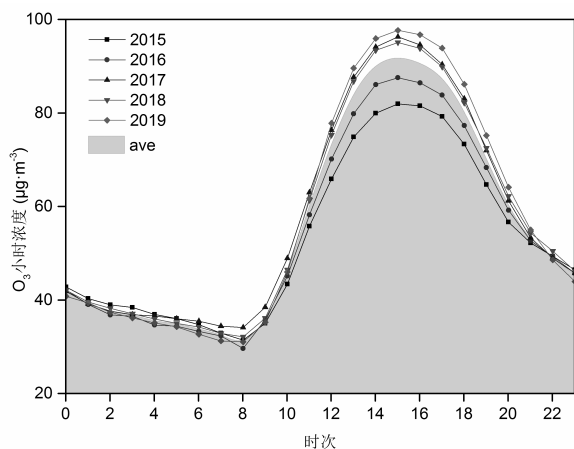


图2 2015—2019年贵港市 O_3 浓度日变化曲线

合、水平辐散加强以及下班高峰期的 NO 排放对 O_3 消耗作用, 使 O_3 在夜间下降到全日浓度低值区。

2.2 臭氧污染与气象要素的关系

2.2.1 气温与日照时数对臭氧污染的影响

选取 2015—2019 年贵港出现连续性 O_3 污染时的 O_3 小时监测结果和同时刻的气温, 按季节分类后进行回归分析可知 (图 2), O_3 小时浓度与气温呈正相关, 不同季节相关系数稍有差异, 但相关系数都达 0.7, 并在 0.01 水平上显著相关。这表明 O_3 的产生与气象条件关系密切, 而气温上升表明太阳辐射增强, 这时 NO_2 开始大量光解, 使得 O_3 浓度累积。

从气温与 O_3 散点图 (略) 可知, 随着气温的升高, O_3 浓度明显增加, 在同一温度条件下, 低湿条件和较小风速条件下更容易引起 O_3 浓度超标现象的产生。

高日照时数意味着太阳辐射强烈, 大气光化学反应愈活跃, 从不同日照时数 (SSH) 下 O_3 超标率图

(略) 可以看出, 随着 SSH 的增大, O_3 超标率明显上升。8h 的 O_3 浓度均值与 SSH 呈正相关, 相关系数 r 为 0.679, 通过 0.01 水平的显著性检验。当 $SSH < 2h$ 时, 无 O_3 超标现象, 且 8h 的 O_3 平均浓度最低, 为 $65 \mu g \cdot m^{-3}$; 当 $SSH \geq 2h$, 8h 的 O_3 平均浓度为 $95 \mu g \cdot m^{-3}$, 并且开始出现超标现象; 当 $SSH \geq 8h$ 时, O_3 超标率明显增大, 为 22.0%。当 $SSH > 10h$, 8h 的 O_3 平均浓度最高, 为 $136 \mu g \cdot m^{-3}$ 。阴雨天气不利于 O_3 的生成, 而日照时间越长, 越有利于 O_3 浓度的累积。

2.2.2 相对湿度

从不同相对湿度 (RH) 下 O_3 超标率 (略) 可以看出, 随着 RH 的上升, O_3 超标率表现为先上升后下降的趋势。其中, 在 RH 小于 40% 时, 基本没有出现 O_3 超标, 而随着相对湿度的上升, O_3 超标率明显上升。RH 在 40%~50% 时, O_3 超标率最高, 超标率达 26.7%, RH 在 50%~60% 时, 超标率为 26.2%, 略有下降, 后随着 RH 的升高, O_3 超标率和 O_3 -8h 平均浓度均明显下降。当 $RH \geq 90\%$ 时, 没有出现 O_3 超标现象, 且 O_3 -8h 浓度均值最低, 为 $43 \mu g \cdot m^{-3}$, 这一结论与长三角、珠三角和京津冀等地区的研究有一致性^[18-19]。将 O_3 和 RH 进行相关性分析可知, O_3 质量浓度与 RH 存在负相关, 相关系数 r 为 -0.655, 在 0.01 水平上显著相关。

结合 RH 与 O_3 散点图 (图 3c) 进一步分析可知, 在相同 RH 情况下, O_3 浓度高值主要集中在高温及较小风速的气象条件下。大气中的水汽能影响太阳紫外辐射的强度, 因此水汽在光化学反应有着重要的作用。有学者也指出, 影响 O_3 污染的前体物 NO_x 在 RH 为 60% 左右时是光化学反应强度最大值的临界值, 在 60% 之后随着 RH 的升高而减小^[15]; 此外, 高相对湿度是形成湿清除的重要指标之一, 此时大气中水汽所含的自由基 OH 、 H 等可以迅速将 O_3 分解为氧分子, 从而降低 O_3 浓度, 因此高的 RH 不利于 O_3 质量浓度的积累。

2.2.3 风向与风速

有学者研究表明, 形成 O_3 污染的重要原因是稳定边界层对大气扩散的不利影响及 O_3 富集层的向下输送作用^[20]。风向反映了污染过程中污染物输送的来向, 风速的大小能反映出污染物输送效率或清除过程的效率, 另一方面也反映了边界层稳定度的强度, 风速增大对 O_3 浓度变化的影响主要体现在两方面: 一方面是使大气边界层高度增大, 垂直动量输送增强, 大气湍流作用加强, 有利于上层 O_3 向地面

传输; 另一方面增强了 O_3 的水平扩散作用, 稀释 O_3 。这两种作用同时发生, 当风速较低时, O_3 的向下输送作用强于 O_3 水平扩散作用, 因此随着风速的增大 O_3 超标率增大。当风速达到一定值时, 水平扩散作用占主导地位, 随着风速的增加 O_3 超标率下降。

对 2015—2019 年风向频率的季节性变化进行分析可知(图 4), 贵港盛行风为 N、NE 和 E 风, 其中春季和夏季主要为 NE 风, 秋季、冬季主要为 N 风。

当风速较小时, 春季—秋季均有些 O_3 浓度高值出现, 这与风速较小, 有利于污染物的聚集反应有联系。其中春季多在 E—SW 风时较易出现较高 O_3 浓度值; 夏季多在 W—NE、E—SE 风; 秋季在 NW—SW 风控制下都较易出现 O_3 高值; 而冬季 O_3 超标日数较少, 但在偏 NE、偏 S、偏 SW 风时有较高值出现, 在 W—NW 风控制下, O_3 浓度值低。

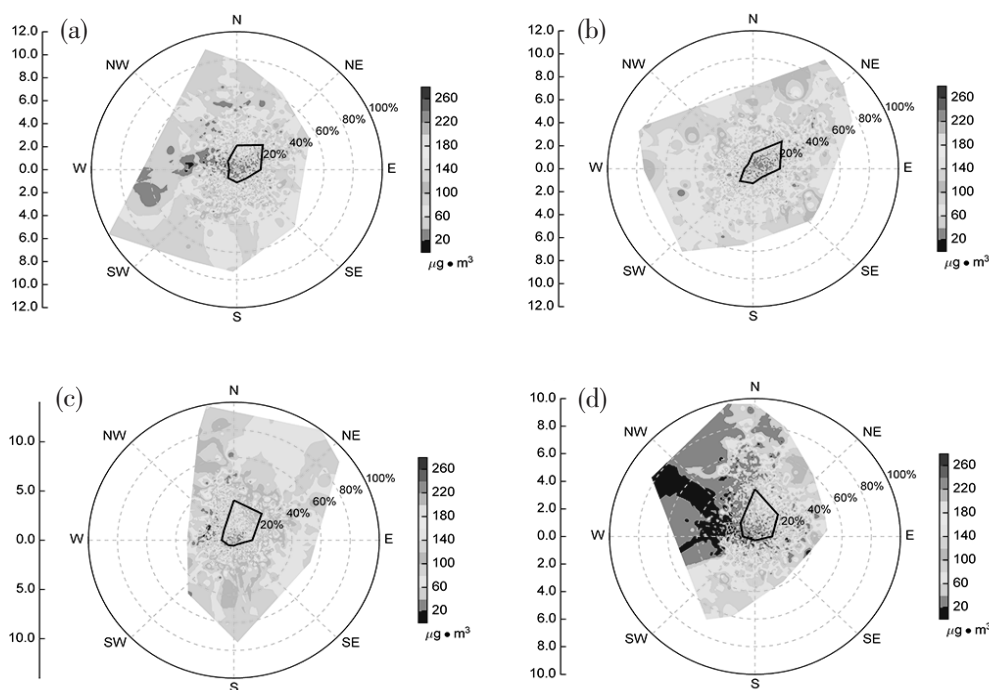


图 4 贵港市不同季节风向风速变化的 O_3 浓度分布图
纵坐标为风速($m \cdot s^{-1}$); (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

3 结论

通过统计分析 2015—2019 年贵港市 O_3 污染特征及其与气象要素的关系, 得到以下结论:

(1) 2015—2019 年贵港市 O_3 污染主要是轻度污染, O_3 污染持续时间不断延长, O_3 超标天数呈逐年增长趋势, O_3 污染日益突出。

(2) 2015—2019 年贵港市 O_3 浓度变化呈显著的季节性变化, 在夏末和秋季(8—11 月) O_3 超标现象最为常见, 且秋季超标占总超标天数的一半以上, O_3 浓度最低出现在冬季。 O_3 浓度日变化呈单峰型特征, 在每天的 15:00—16:00 达到峰值, 谷值出现在 8:00。

(3) 高温低湿条件有利于贵港市 O_3 污染的发生。 O_3 浓度与日照时数、气温呈显著的正相关, 相关系数分别为 0.679 和 0.7 以上; 与相对湿度呈显著负相关, 相关系数为 -0.655。日照时数大于 8h、相对湿度 40%~70%, O_3 超标率较高。

(4) 不同季节出现 O_3 浓度高值时的风向不尽相同, 秋季在 NW—SW 风控制下, O_3 浓度容易出现高值, 夏季为 W—NE、E—SE 风。

参考文献:

- [1] 严文莲, 刘端阳, 康志明, 等. 江苏臭氧污染特征及其与气象因子的关系[J]. 气象科学, 2019, 39(4): 477-487.
- [2] 耿福海, 刘琼, 陈勇航. 近地面臭氧研究进展[J]. 沙漠与绿洲气象, 2012(6): 12-18.

- [3] 王春乙, 关福来. O_3 浓度变化对我国主要农作物产量的可能影响[J]. 应用气象学报, 1995, 6(1): 69–74.
- [4] 黄艳玲, 陈慧娴. 佛山市臭氧浓度时间变化特征及主要影响因子[J]. 环境监控与预警, 2017, 9(1): 54–58.
- [5] 蒋维楣, 蔡晨霞, 杨涛, 等. 城市交通废气与低层大气臭氧形成和分布的数值模拟[J]. 气象科学, 2001, 21(4): 409–416.
- [6] 廉丽姝, 高军靖, 束炯. 城市大气污染特征及其与气象因子的关系——以济南、青岛市为例[J]. 环境污染与防治, 2011(5): 35–39.
- [7] 贾海鹰, 李矛, 程兵芬, 等. 长沙市城区臭氧浓度特征研究[J]. 环境科学与技术, 2017(2): 174–179, 205.
- [8] 程念亮, 李云婷, 张大伟, 等. 2014 年北京市城区臭氧超标日浓度特征及与气象条件的关系[J]. 环境科学, 2016(6): 2041–2051.
- [9] 陆克定, 张远航, 苏杭, 等. 珠江三角洲夏季臭氧区域污染及其控制因素分析[J]. 中国科学, 2010(4): 407–420.
- [10] 王闯, 王帅, 杨碧波, 等. 气象条件对沈阳市环境空气臭氧浓度影响研究[J]. 中国环境监测, 2015, 31(3): 32–37.
- [11] 易睿, 王亚林, 张殷俊, 等. 长江三角洲地区城市臭氧污染特征与影响因素分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(8): 2370–2377.
- [12] 梁碧玲, 张丽, 赖鑫, 等. 深圳市臭氧污染特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(1): 66–71.
- [13] 庞业, 潘润西, 何宇, 等. 广西臭氧时空分布特征及污染天气类型研究[J]. 环境监控与预警, 2019, 11(3): 44–48.
- [14] 张容菁, 廖国莲, 陈明璐, 等. 玉林市 2019 年秋季一次臭氧污染过程特征分析[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(1): 86–90.
- [15] GB3095–2012. 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [16] 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.
- [17] 唐文苑, 赵春生, 耿福海, 等. 上海地区臭氧周末效应研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2009, 39(1): 99–105.
- [18] 李礼, 王帅, 宫正宇, 等. 我国城市空气臭氧监测与污染特征分析[J]. 环境科学导刊, 2017, 36(2): 121–126.
- [19] 关玉春, 肖致美, 陈魁, 等. 天津市臭氧污染特征与影响因素分析[J]. 中国环境监测, 2017, 33(4): 40–49.
- [20] 严茹莎, 陈敏东, 高庆先, 等. 北京夏季典型臭氧污染分布特征及影响因子[J]. 环境科学研究, 2013(1): 47–53.

Characteristics of ozone pollution and its relationship with meteorological factors in Guigang City from 2015 to 2019

Xie Wenjing, Wang Shengfan, He Linyan, Huang Jinqi, Li Ting, Meng Jinfeng
(Guigang Meteorological Bureau, Guigang Guangxi 537100)

Abstract: In order to study the characteristics of O_3 pollution in Guigang City and its relationship with meteorological elements, the daily and hourly meteorological observation data of Guigang national air automatic monitoring station and Guigang national meteorological observation station during 2015–2019 were analyzed. The results showed that O_3 pollution in Guigang City had become more and more serious in the past 5 years; O_3 pollution had obvious seasonal changes, pollution was the most serious in autumn, followed by summer, spring and winter. The daily variation of O_3 concentration was a single peak, with a valley at 8am and a peak at 3pm–4pm. The change of O_3 concentration was positively correlated with temperature and sunshine hours, and negatively correlated with relative humidity. When sunshine hours were greater than 8 hours and relative humidity was 40%–70%, high concentration of O_3 was likely to occur. The wind direction was different in different seasons when O_3 concentration was high.

Key words: ozone pollution; meteorological factors; correlation