

涟水县臭氧和PM_{2.5}复合污染特征

葛佳艳 王怡 朱晓晓 陈磊 吴心逸 邹汶倩 徐子航
涟水县气象局

DOI:10.32629/eep.v8i9.2891

[摘要] 选择涟水县环境监测站2022—2024年PM_{2.5}、臭氧观测数据和气象观测资料,统计PM_{2.5}和臭氧浓度的时间变化特征,分析出现“双高”污染气象条件。结果表明:(1)近三年O₃-8h年均浓度逐年下降,PM_{2.5}年均浓度先降后升。(2)PM_{2.5}季均值冬季最高,月均值呈“U”形;O₃-8h季均值春夏季最高,月变化呈单峰型。(3)近三年共10d“双高”污染,春季占比60%。(4)PM_{2.5}与气温、相对湿度等4个要素显著负相关,与气压显著正相关;O₃-8h仅与气温显著正相关,与气压等要素都显著负相关。(5)“双高”污染易发生在10~25℃、相对湿度60%~80%、无降水、气压1015—1020hpa、风速1~2m/s条件下,涟水县出现“双高”污染的天气形势主要为高压均压场型。

[关键词] 臭氧; PM_{2.5}; 复合污染; 气象因素

中图分类号: X171.5 **文献标识码:** A

Characteristics of Ozone and PM_{2.5} Composite Pollution in Lianshui County

Jiayan Ge Yi Wang Xiaoxiao Zhu Lei Chen Xinyi Wu Wenqian Zou Zihang Xu
Lianshui Meteorological Bureau

[Abstract] meteorological observations from the Lianshui County Environmental Monitoring Station for 2022–2024, this study statistically analyzes the temporal variations of PM_{2.5} and ozone concentrations and examines the meteorological conditions of "dual high" pollution. The findings are as follows: (1) Over the past three years, the annual average concentration of O₃-8h has decreased year by year, while the annual average concentration of PM_{2.5} first declined and then increased. (2) The seasonal average of PM_{2.5} peaked in winter, with a "U-shaped" monthly variation pattern; the seasonal average of O₃-8h was highest in spring and summer, exhibiting a single-peak monthly variation. (3) There were 10 days of "dual high" pollution over the three years, with spring accounting for 60%. (4) PM_{2.5} showed a significant negative correlation with temperature, relative humidity, and three other factors, while it exhibited a significant positive correlation with atmospheric pressure. In contrast, O₃-8h was only significantly positively correlated with temperature but showed significant negative correlations with atmospheric pressure and other factors. (5) "Dual high" pollution is more likely to occur under conditions of 10–25°C, 60%–80% relative humidity, no precipitation, atmospheric pressure between 1015–1020 hPa, and wind speeds of 1–2 m/s. The primary weather pattern for "dual high" pollution in Lianshui County is the high-pressure ridge type.

[Key words] O₃; PM_{2.5}; Composite Pollution; Meteorological Factors

引言

当前,PM_{2.5}与臭氧已成为影响我国环境空气质量的主要污染物^[1]。2023年11月,国务院印发的《空气质量持续改善行动计划》明确提出,以降低PM_{2.5}浓度为主线,同时推进PM_{2.5}与臭氧协同控制。由此,PM_{2.5}和臭氧的协同控制,成为我国“十四五”时期大气污染防治的重要任务^[2]。高浓度PM_{2.5}与臭氧会威胁人体健康,诱发心血管疾病等,还破坏生态,已受广泛关注^[3]。淮安是长三角地区大气污染防治重点城市,空气质量排名在全省长

期靠后。本项目研究涟水县臭氧和PM_{2.5}复合污染特征,以期为本地区复合污染特征、污染机制及制定有效的综合减排措施和环境调控政策提供一定的科学依据。

1 站点分布与资料方法

1.1 资料

本文利用涟水县环境监测站2022—2024年PM_{2.5}和臭氧观测数据和涟水国家基本气象站的地面常规观测数据等气象资料处理生成。根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)等文件要

求,当PM_{2.5}>75μg/m³即为超标(中度污染);O₃以日最大8小时滑动平均浓度(O₃-8h)为评价指标,超过160 μg/m³即为超标(中度污染)。

1.2研究方法

本文利用SPSS软件中Pearson相关系数分析法对PM_{2.5}日平均浓度数据、O₃日最大8小时滑动平均浓度与地面气压、气温、相对湿度以及降水等气象因子的相关性进行分析。

2 污染特征

2.1涟水县整体污染水平分析

从涟水县2022—2024年监测浓度和评价结果(表1)可知,O₃-8h年均浓度逐年下降,PM_{2.5}年均浓度先降后升。PM_{2.5}最大日均浓度持续上升,2024年达236μg/m³;PM_{2.5}最小日均浓度不稳定;PM_{2.5}平均浓度呈先降后升,整体污染浓度把控有波动。

O₃-8h最大日均浓度先升后降,2023年有所升高,2024年则降至224μg/m³;O₃-8h最小日均浓度先降后升;但平均浓度逐年小幅下降,整体浓度趋势向好。超标天数方面,O₃-8h近三年分别为38d、43d、23d,PM_{2.5}分别为26d、39d、33d。PM_{2.5}超标天数最大的是2023年,超标天数达到39天,占全年的10.7%;O₃-8h超标天数最大的是2023年,超标天数为43天,占全年的11.8%。目前涟水县PM_{2.5}污染浓度波动大,峰值风险上升,超标情况需持续关注;O₃-8h2024年改善显著。建议针对性管控,PM_{2.5}聚焦峰值治理与稳平均浓度,O₃-8h巩固成果,推动空气质量提升。

表1 涟水县2022—2024年监测浓度和评价结果

污染物	年份	最大日均浓度 / (μg/m ³)	最小日均浓度 / (μg/m ³)	平均浓度 / (μg/m ³)	超标天数	超标比例
PM _{2.5}	2022年	146	6	32.9	26	7.10%
	2023年	176	2	26.4	39	10.70%
	2024年	236	5	35.5	33	9.00%
O ₃ -8h	2022年	234	36	112	38	10.40%
	2023年	240	16	109	43	11.80%
	2024年	224	26	104	23	6.30%

2.2涟水县2022—2024年O₃-8h浓度和PM_{2.5}浓度时间变化特征

从图1涟水县2022—2024年月、季PM_{2.5}和O₃-8h浓度均值变化图可知,涟水县PM_{2.5}浓度整体上升,冬季(12、1、2月)浓度值最高,春季(3、4、5月)和秋季(9、10、11月)次之,夏季(6、7、8月)值最低。月均值呈“U”形分布,3年中PM_{2.5}月平均浓度在2024年1月达到最高,浓度为85.5μg/m³。O₃-8h浓度季节变化特征则相反,与其他大部分城市相同,春季和夏季是涟水县臭氧污染最严重的季节,冬季污染最轻,2022年春季污染最高,2024年冬季污染最低。通过分析臭氧季节性变化特征得出春夏季值最高原因可能是因为涟水夏季温度高,太阳辐射强,前体物排放较活跃导致臭氧排放量多。涟水县O₃-8h浓度月变化呈单峰型特征,

峰值都出现在6月。

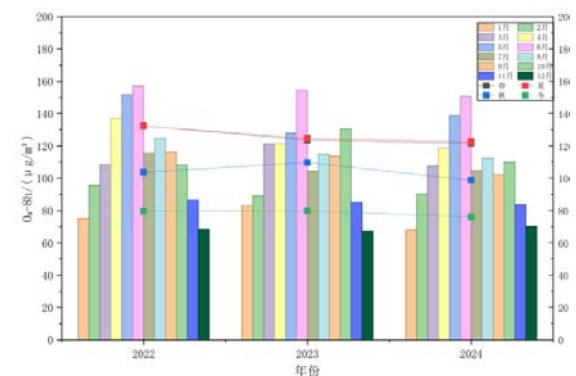
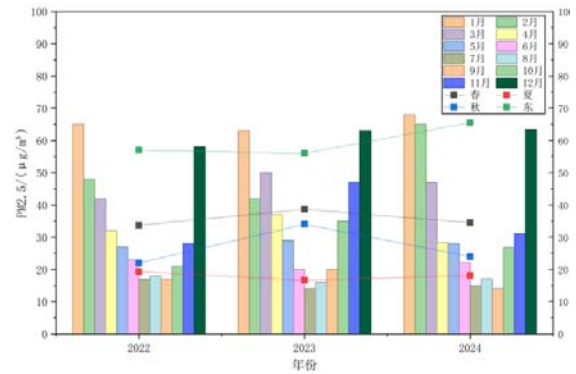


图1 涟水县2022—2024年月、季PM_{2.5}和O₃-8h浓度均值变化图

2.3涟水县出现臭氧和PM_{2.5}“双高”的统计特征

“双高”日指当日PM_{2.5}与臭氧同时超标,即O₃-8h平均浓度>160μg/m³、PM_{2.5}24h平均值>75μg/m³同时出现。按照以上标准筛选“双高”日天数,臭氧超标日减少致样本不足,本研究以每年O₃-8h和PM_{2.5}浓度第85分位数为判定依据。如图2所示,根据第85分位数筛选结果,2022—2024年共有10d出现“双高”污染,集中在春秋两季,春季的“双高”天数占了全年的60%,3月出现“双高”天数最多,10月次之。因此,春秋两季是涟水县复合污染防控的重点时段。

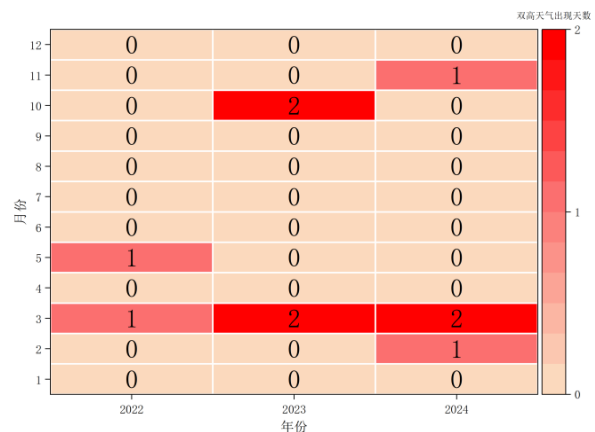


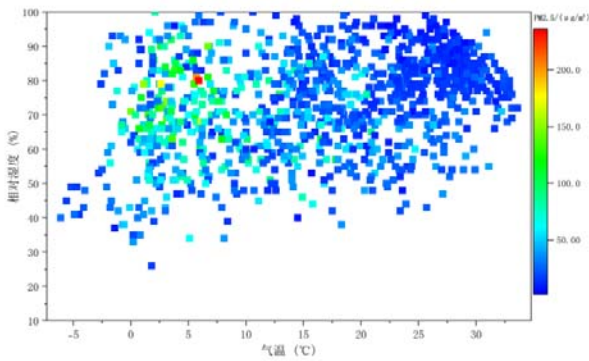
图2 85%标准筛选的“双高”天数分布图

3 PM2.5、臭氧浓度与出现“双高”点与气象因素的关系

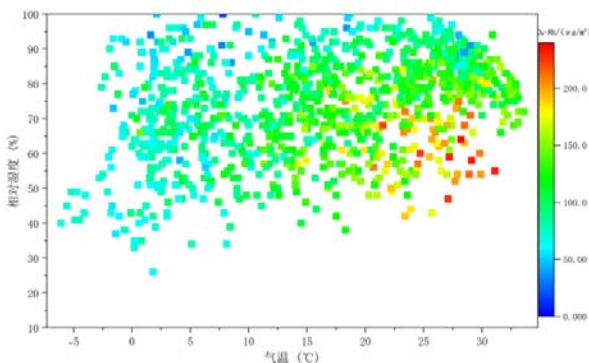
已有研究证明PM2.5、臭氧浓度与气象因素关系密切,相对湿度、降水、气温和气压等气象因素均对PM2.5和臭氧浓度的日变化有显著影响。本文选取气温、气压、相对湿度、降水量和风速这5个气象要素来分析。

3.1 温度、湿度

由表2可知,相对湿度、温度都与PM2.5呈负相关,说明温度和相对湿度的升高都利于PM2.5浓度的下降,图3a为2022—2024年涟水县逐日PM2.5浓度与温度和相对湿度的散点图,PM2.5的高值主要分布在0~15℃、相对湿度60%~90%的范围内,因该区间(多为冬季)大气稳定、对流弱,不利PM2.5扩散,污染物容易在近地面累积,且湿度高助颗粒物吸湿增长,促进了PM2.5的生成和累积。由表2可知,相对湿度与臭氧负相关,温度与臭氧正相关,图3b可以看出,相对湿度升高,0₃-8h浓度先升后降,气温升高,PM2.5浓度随着升高。环境温度超过20℃上,且相对湿度维持在40%~80%时,容易出现高浓度臭氧污染现象。本文统计“双高”点对应温度、相对湿度区间的天数,可以发现2022—2024涟水县复合污染主要发生在温度为10~25℃,相对湿度为60%~80%的范围内。



a



b

图3 涟水县2022—2024年PM2.5与相对湿度和温度的散点图

(a)PM2.5和0₃-8h与相对湿度和温度的散点图(b)

3.2 降水

由表2相关系数可以看出,降水量和PM2.5、O₃-8h浓度都呈负相关,也就是说降水能有效降低空气中二者的浓度。本文统计,高浓度PM2.5多在无降水时,高浓度臭氧多在0~10毫米降水时。董雪玲等人统计一次降水会使得PM2.5的浓度下降45.6%,因此降水能够有效控制污染^[4]。数据统计显示,日降水量为0,更容易出现双高现象,即无降水时更易发生复合污染。

3.3 气压

由表2相关系数可看出,气压和PM2.5浓度呈正相关,也就是说在高气压下静稳天气利于PM2.5累积和浓度升高。高压系统中心会产生下沉气流,形成“逆温层”阻碍污染物扩散,导致PM2.5浓度飙升。本文统计,高浓度的PM2.5主要分布在气压为1010—1030hpa的范围内。由表2相关系数可看出,气压和臭氧呈负相关,高气压控制下,静稳的天气条件不利于臭氧累积和浓度升高,贺婕等人也统计出高气压会减弱臭氧的扩散导致臭氧积累^[5-6]。本文统计,高浓度的臭氧主要分布在气压1000—1020hpa区间。统计“双高”点落入气压区间的的天数,可以发现2022—2024涟水县复合污染发生在气压为1015—1020hpa的概率为40%。

3.4 平均风速

由表2相关系数可看出,平均风速和PM2.5浓度、O₃-8h浓度都呈负相关,也就是说风速增加可降低二者浓度。因风速越大,空气水平流动越快,能缩短污染物停留时间,减少前体物(如SO₂等)通过化学反应生成二次PM2.5的机会,并快速吹散、稀释污染物,从而显著降低PM2.5和臭氧浓度^[8]。本文统计,高浓度的PM2.5和臭氧主要分布在风速为0—3m/s的范围内。统计“双高”点落入平均风速对应区间的的天数可知,2022—2024涟水县复合污染主要发生在平均风速为1~2m/s的概率为60%。

3.5 相关性分析结果

通过对涟水县PM2.5、臭氧和气象因素相关性进行分析可知(表2),气温、相对湿度、降水量、平均风速这四类气象因子均与PM2.5浓度在0.01水平上呈显著负相关,气压与PM2.5浓度在0.01水平存在显著正相关关系。而与臭氧浓度在0.01水平上有显著负相关的气象因子有气压、相对湿度、降水量和平均风速,有显著正相关的气象因子是气温。上述相反的相关性特征,给涟水县PM2.5与臭氧的协同治理带来挑战,在降低PM2.5浓度的过程中,可能导致臭氧浓度上升。

表2 2024年PM2.5和臭氧浓度值与5项气象因素之间的相关系数

	气压	气温	相对湿度	降水量	平均风速
PM2.5	.477**	-.562**	-.340**	-.322**	-.270**
O ₃	-.474**	.538**	-.170**	-.259**	-.140**

**在0.01级别(双尾),相关性显著; *在0.05级别(双尾),相关性显著。

4 “双高”天气形势统计

通过对2022—2024年共10d的“双高”天气海平面气压场统计分析,涟水县出现PM_{2.5}和臭氧“双高”污染的天气形势主要为高压均压场型,高压均压场型,地面风速较低,水平扩散条件不佳,相对湿度较高,有利于PM_{2.5}的积聚与生成,而天气晴朗时充足光照也利于光化学反应发生,进而造成臭氧浓度升高,形成PM_{2.5}与臭氧的“双高”态势^[7]。还有小部分为弱冷锋前部型、低压均压场型。

5 结论

2022—2024年涟水县O₃-8h年均浓度逐年下降,最大日均浓度先升后降,超标天数占比9.4%,最大日均浓度出现在2023年,为240μg/m³,整体浓度趋势向好。PM_{2.5}年均浓度先降后升,最大日均浓度不断上升,PM_{2.5}超标天数占比8.9%。目前涟水县PM_{2.5}污染浓度波动大,峰值风险上升,超标情况需持续关注。2022—2024年涟水县PM_{2.5}浓度季均值整体呈上升趋势,冬季浓度最高,春秋次之,夏季最小,月均值呈“U”形分布,峰值都出现在1月。O₃-8h浓度季节变化特征与PM_{2.5}相反,春夏季浓度最高,秋次之,冬季最小,月变化呈单峰型特征,峰值都出现在6月。2022—2024年涟水县共有10d出现“双高”污染,集中在春秋季节,春季的“双高”天数占比60%,3月出现“双高”天数最多,其次是10月。因此春秋为防控重点时段。通过相关系数分析,气温、相对湿度、降水量、风速这4类气象因素均与PM_{2.5}浓度显著负相关,气压显著正相关。气压、相对湿度、降水量和平均风速与臭氧浓度显著负相关,气温显著正相关。通过统计“双高”点落入气象要素

对应区间的天数,可以分析出当温度为10~25℃,相对湿度为60%~80%,无降水,气压为1015—1020hpa,平均风速为1~2m/s,复合污染易发生。对2022—2024年“双高”天气海平面气压场统计分析,涟水县出现PM_{2.5}和臭氧“双高”污染的天气形势主要为高压均压场型,弱冷锋前部型、低压均压场型。

[参考文献]

- [1]陈芳,胡军,饶清华,等.福建省县域PM_{2.5}-O₃-经济-人口耦合关系分析[J].福建技术师范学院学报,2025,43(2):114-125.
- [2]赵玉.2000—2022年渭南市近地面O₃时空分布特征及气象因子影响分析[J].中国环境监测,2025,41(04):94-105.
- [3]林春滢.长期暴露于环境PM_{2.5}及臭氧与心血管疾病死亡风险的关联分析及中介因素研究[D].北京协和医学院,2025.
- [4]董雪玲,刘大猛,袁杨森,等.北京市2005年夏季大气颗粒物污染特征及影响因素[J].环境工程学报,2007,(09):100-104.
- [5]贺婕.南京地区臭氧污染特征、生成机制及来源分析[D].南京信息工程大学,2024.
- [6]王唯.常州市一次城市尺度污染过程分析[J].科技创新与应用,2024,14(01):111-114.
- [7]杨镇川.基于GTWR模型的中国城市臭氧污染评估及时空分布研究[D].重庆大学,2022.

作者简介:

葛佳艳(1998--),女,江苏南通人,工程师,从事综合观测的工作,研究方向:气象预报测报。