

文章编号: 2096-1618(2024)03-0353-08

双流臭氧污染的气象条件特征分析

高楷祥¹, 吕婷婷², 张洋², 刘志红², 王璐³

(1. 成都市新都区气象局, 四川 成都 610599; 2. 成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225; 3. 崇州市气象局, 四川 崇州 611230)

摘要:双流是成都臭氧污染较为严重的区域,分析该区域臭氧污染气象特征对双流及周边区域大气污染机理研究具有重要意义。研究基于地面监测和遥感观测数据,利用数理统计、GIS空间分析等方法对2019–2021年双流大气污染特征及其气象条件进行分析,结果表明:双流地区北风为主导风向,风速年际变化整体呈现逐年略微下降的趋势;影响双流地区臭氧浓度的首要气象要素为温度($r=0.461$),与空气相对湿度存在一定的负相关性($r=-0.307$),在北风和弱风($<1.4\text{ m/s}$)的条件下易出现高浓度臭氧污染;8月为双流区太阳辐射夏季最高月,辐射度集中在 $700\sim720\text{ W/m}^2$;云覆盖率在夏季的时间变化特征为7月 >6 月 >8 月;对流层甲醛、二氧化氮柱浓度总体呈现由西北地区向东南地区递减的特点。

关键词:双流;臭氧污染;气象条件;遥感;臭氧前体物

中图分类号:X515

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.03.013

0 引言

对流层臭氧作为一种强氧化大气污染物,过高浓度的臭氧会对动植物造成严重影响,人类长期暴露于臭氧超标环境中,也会使心脏系统和器官遭受损害,造成急性呼吸道感染^[1-3]。对流层臭氧污染已成为中国城市环境治理中的重要问题,引起各领域学者的广泛关注。近年来,国内外学者在臭氧的时空变化与空间分布特征、臭氧生成机理和区域传输等方面做了大量研究工作^[4-9],表明区域臭氧污染和气象条件关系紧密。而中国幅员辽阔,东西部地形差异较大,不同地区的臭氧污染特征和气象条件具有较大定量差异,定量分析风速、温度、相对湿度等重要气象要素和区域臭氧浓度的关系,对于从气象角度对臭氧污染进行防治和提出措施具有实际意义。另外,随着气象卫星遥感技术的发展,已经能够获取空间连续分布、长时间序列的太阳辐射、云覆盖率、臭氧前体物柱浓度等重要数据^[10-11],这对理解区域尺度的臭氧污染问题也具有重要意义。

双流区位于成都中南部,受四川盆地特殊地形、气象条件以及周边城市高污染排放等因素共同影响^[12-14],该区域极易发生大气污染事件。据成都市生态环境局(<http://sthj.chengdu.gov.cn/>)发布空气质量排名显示,2022年8月双流区环境空气质量综合指数排名成都市倒数第一,臭氧污染防治工作异常严峻,给当地人民身心健康和城市经济发展带来严重影响。结合地面气象和卫星遥感监测结果,开展双流地

区的臭氧污染气象条件分析,对当地臭氧污染防治工作的开展具有实际作用。因此,综合利用长时间序列的双流区地面气象观测资料和卫星遥感资料,结合地面环保站点监测结果,对双流区夏季臭氧污染的气象条件进行详细分析,以期对双流区臭氧污染公众服务和周边区域臭氧污染机理研究提供一定参考。

1 研究数据与方法

1.1 研究区概况

双流区位于成都市西南部,东临龙泉山脉,境内以丘陵地貌为主,区域高程主要集中在 $400\sim1000\text{ m}$ (图1)。据成都市双流区人民政府发布的数据(<http://www.shuangliu.gov.cn/>),双流区管辖面积 446 km^2 ,建成区面积 123 km^2 ,2021年末常住人口达149.01万。主要以航空、电信、生物医药为支柱产业,2021年区域生产总值1130亿元,是中国综合实力百强区。双流区为亚热带湿润季风气候,春秋季短,夏冬季长,常年保持较低风速,静稳天气条件下极易发生臭氧污染事件。

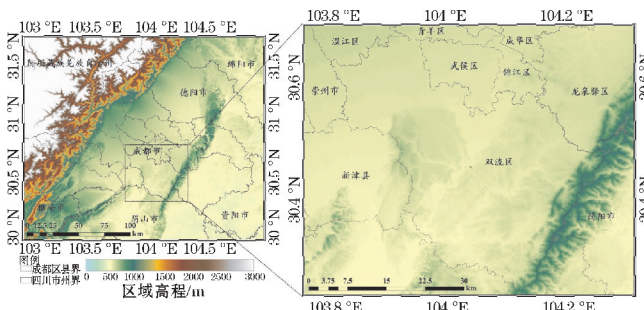


图1 双流区域高程

收稿日期:2023-05-06

通信作者:张洋. E-mail: zhangyang@cuit.edu.cn

1.2 研究数据

研究使用的数据信息如表 1 所示,其中气象站点数据和环保站点数据分别由成都双流区气象局和生态环境局采集,主要包含站点的每日监测结果。同时也使用来自 Sentinel-5P/TROPOMI、FY4A/AGRI 等主流

表 1 数据信息

数据类型	要素	空间分辨率	卫星/传感器	起止时间
气象站点数据	风速、风向	/	/	2019–2021 年夏季、冬季
环保站点数据	臭氧质量浓度	/	/	2019–2021 年夏季
遥感数据	二氧化氮	5.5 km×3.5 km	哨兵 5P/TROPOMI	2019–2021 年夏季
	甲醛	5.5 km×3.5 km	哨兵 5P/TROPOMI	2019–2021 年夏季
	太阳辐射	4 km	FY4A/AGRI	2019–2021 年夏季
	云覆盖率	4 km	FY4A/AGRI	2019–2021 年夏季

表 2 地面站点信息

类型	名称	经度	纬度
气象站点	双流国家气象观测站	103°54′08″E	30°33′19″N
环保站点	白河闸门管理房站点	103°54′1.81″E	30°33′15.66″N

1.3 数据处理分析方法

1.3.1 站点数据

主要以气象、环保站点的日数据为基础,分别按《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中规定的污染物浓度二级限值,挑选出 2019–2021 年的臭氧污染日(日最大 8 小时均值>160 μg/m³),并统计对应日期下的风速、风向、气温、相对湿度等气象要素,分析其与臭氧质量浓度的统计关系。

1.3.2 遥感数据

所有遥感产品数据的处理分析主要包含下列几个步骤:

(1)对产品进行地理重投影,重投影范围为包含双流区及周边相邻区域的空间范围,投影格式为地理经纬度格网。

(2)利用重投影后结果,计算夏季均值结果,将计算结果输出为 GEOTIFF 格式。

(3)对夏季均值结果进行可视化与统计分析处理,分析各遥感要素在双流地区的时空变化特征。

2 结果与分析

2.1 双流环境气象条件特征分析

2.1.1 2019–2021 年双流臭氧污染现状分析

图 2 为 NO₂、CO、O₃ 共 3 种大气污染物 2019–2021 年

卫星遥感平台的臭氧前体物、太阳辐射、云覆盖率等专题数据产品。

具体的地面站点信息如表 2 所示,从经纬度信息可见两个站点距离极近,基本可代表相同空间范围内的气象条件和空气质量状况。

的月均值浓度,其中 NO₂ 和 CO 一般被认为是臭氧污染的前体物^[15]。O₃ 污染整体上表现为夏半年加重冬半年减轻,而其他 2 种大气污染物浓度整体上呈现出冬半年升高夏半年降低的变化趋势。由图 2(a)可知,2019 年,1 月 NO₂ 浓度值最高,2 月急剧下降,3 月急剧上升,之后逐月下降,8 月开始逐月上升。2020 年,1–3 月 NO₂ 浓度变化趋势与 2019 年类似,于 2 月份出现谷值,4 月开始逐月下降,8 月开始逐月上升,到 11 月达到最高值。2021 年,NO₂ 浓度值变化趋势与 2019 年及其相似,但在 6 月 NO₂ 浓度值突然升高。比较 2020 年与 2019 年的 NO₂ 浓度,2020 年 1–3 月和 12 月的 NO₂ 浓度明显降低,5 月和 11 月的 NO₂ 浓度明显升高,其他月份相差不明显。比较 2021 年与 2020 年的 NO₂ 浓度,2020 年 1–3 月、6 月和 12 月的 NO₂ 浓度升高,其他月份 NO₂ 浓度明显下降。由图 2(b)可知,2019 年,1 月 CO 月均值浓度值最高为 1.06 mg/m³,2 月开始逐月下降,6 月最小为 0.55 mg/m³,之后开始逐月上升,其中 9 月出现一个小高峰。2020 年,CO 月均值浓度从 1 月的 0.88 mg/m³,骤降到 2 月的 0.56 mg/m³,3 月为 0.52 mg/m³,之后小幅度地逐月上升,到 5 月开始小幅度地逐月下降,10 月达到最低浓度 0.44 mg/m³,11 月剧增,到 12 月达到最高浓度 0.90 mg/m³。2021 年,CO 的高月均值浓度出现在 1 月、3 月和 12 月,6 月出现一个小高峰。2020 年 CO 浓度较 2019 年整体下降,2021 年 CO 浓度较 2020 年整体上升。由图 2(c)可知,2019 年和 2020 年 O₃ 的月均值浓度高值区集中分布在 4–8 月,均超过 108 μg/m³,2021 年 O₃ 的月均值浓度较前 2 年显著降低,高值区集中于夏半年。O₃ 的浓度呈现上半年逐月上升,在夏季处于全年最高浓度水平,并在下半年逐月降低的趋势。

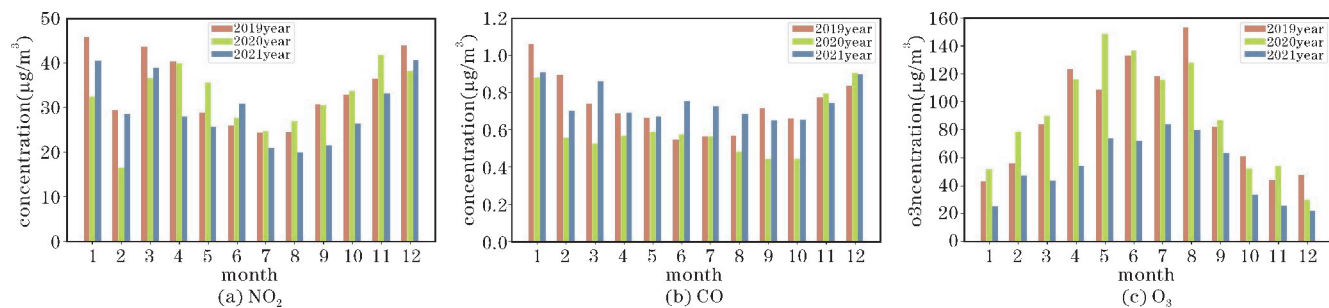


图2 2019–2021年3种大气污染物月均值浓度

2.1.2 2019–2021年双流风速风向变化分析

为避免个别时段异常高或低值对整个区域序列的影响,首先对站点监测的风速数据进行均值化处理,按季节生成风速变化序列,其线性倾斜率代表风速的年际变化率。年际统计结果表明,2019–2021年双流地区年均风速为0.99 m/s,3年年均风速分别为1.019、0.996、0.946 m/s,3年最小风速分别为0.3、0.2、0.3 m/s,3年最大风速分别为2.7、2.6、2.7 m/s。双流地区2019–2021的逐季节平均风速如图3所示,季节变化特征为春夏季高于平均水平,秋冬季低于平

均水平。春、夏、秋、冬4个季节的季节平均风速分别为1.07、1.06、0.91、0.90 m/s,春夏两季平均风速相差不大,秋季风速较夏季风速明显降低,秋冬季平均风速基本相同,冬季到春季明显上升。

双流地区2019–2021年四季的风玫瑰图如图4所示。双流地区在春、夏季的风向最分散,冬季最集中。双流地区北风为主导风向,北风在春、夏、秋、冬4个季节的累计频率分别达到52%、51%、62%和73%。春、夏季,次级主导风向为西南风,累计频率分别为15%和17%;风速区间主要集中在0.8~1.6 m/s,累计频率分别为68%和64%。秋、冬季,次级主导风向为南风,累计频率分别为9.5%和10.5%;风速区间主要集中在0.4~1.2 m/s,累计频率分别为64%和59%。风速为0.8~1.0 m/s的累计频率在春季达到21%,在夏季达到17%,在秋季达到22%,在冬季达到21%;风速为1.0~1.2 m/s的累计频率在春季达到18%,在夏季达到21%,在秋季达到20%,在冬季为13%;风速为1.2~1.4 m/s的累计频率在春、夏季都为16%,在秋季为9%,在冬季为7%。

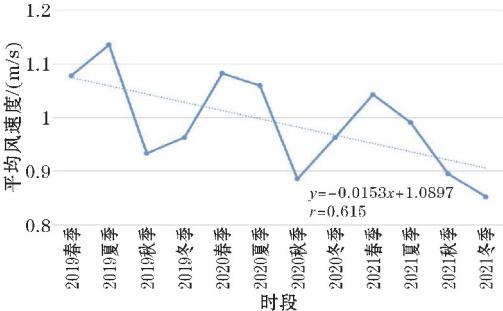


图3 双流地区2019–2021年逐季节平均风速变化

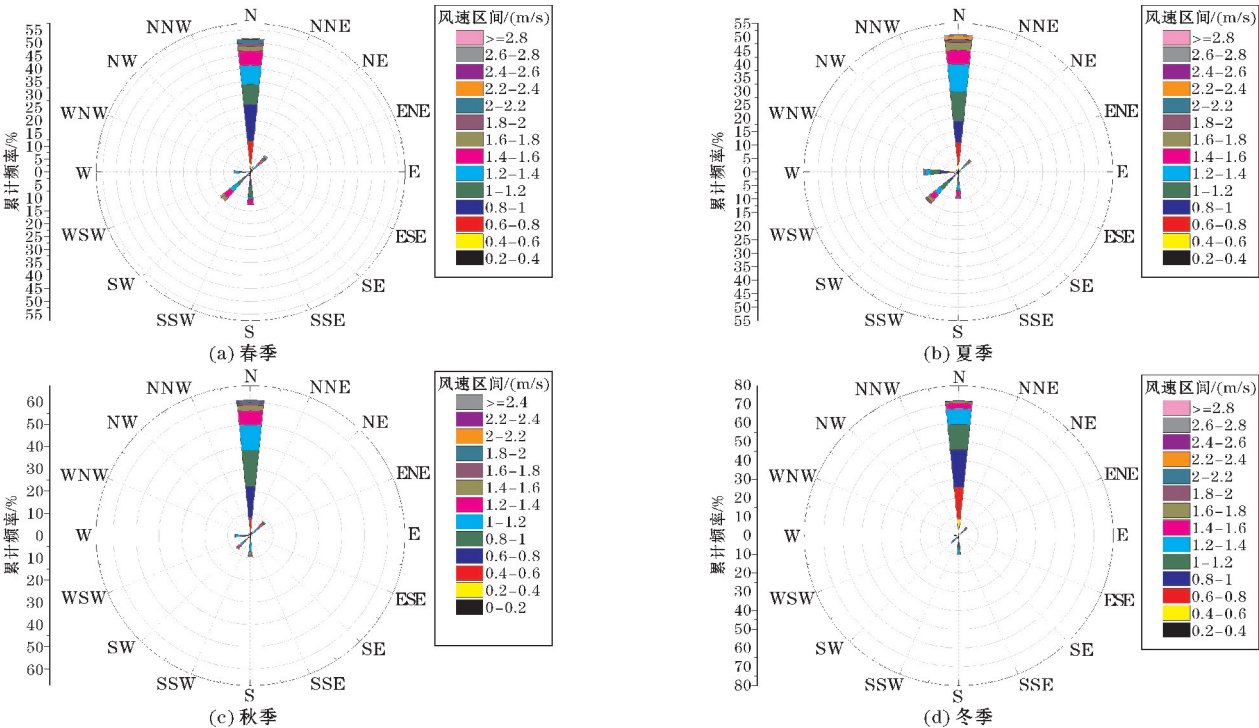


图4 双流地区2019–2021年四季风玫瑰图

风速决定着污染物的扩散速度,速度越大,工厂排出废气传输的距离越长,混入的外界清洁空气越多,从而使污染物的浓度减小;反之,速度越小,污染物的浓度越大,故有废气污染的工业,例如钢铁、建材等大量燃烧化石燃料的行业在规划选址时宜布置在风速大的方位。

2.2 双流臭氧生成期气象条件特征分析

2.2.1 臭氧污染时段气象要素统计分析

风对近地面臭氧的影响过程较为复杂,如图 5 所示, O_3 质量浓度与风速大小有较弱的负相关关系,相关系数为 -0.262 。将风速按 0.2 m/s 为跨度划分多个等级,得到不同风速等级下 O_3 重污染天气的频次统计情况,如图 6 所示。有 65% 的 O_3 重污染案例在风速 $<1\text{ m/s}$ 的情况下发生,风速 $>1.4\text{ m/s}$ 时出现 O_3 重污染天气的概率只有 6%,风速 $>1.8\text{ m/s}$ 时出现 O_3 重污染天气的概率只有 2%。风速 $>0.8\text{ m/s}$ 时,风速越大,出现 O_3 重污染天气的频率越低。风对近地面臭氧及其他大气污染物浓度的影响,不仅表现在风速对大气污染物的转运能力、消除效率等方面的影响,风向亦能表征污染物的传输特征。对 2019–2021 年 O_3 重污染事件发生的风向频次统计来看(表 3),双流地区 O_3 重

污染事件易发生在北风和西南风的气象条件下,频率分别达到 60% 和 15.65%,其他来向的风出现的频率均小于 10%。

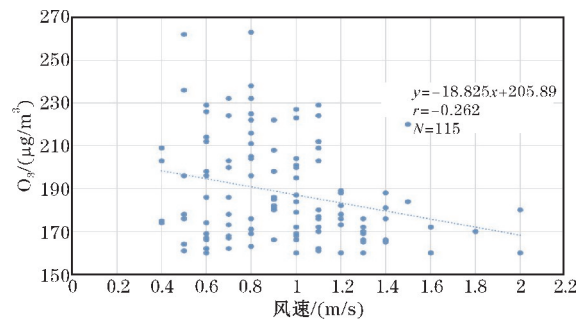


图 5 臭氧污染日风速与臭氧浓度相关分析

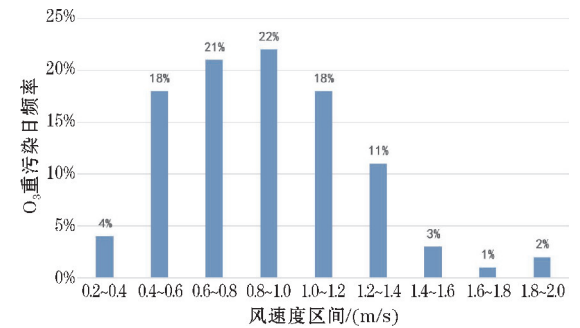


图 6 臭氧污染日在各风速区间的频率统计

表 3 双流地区臭氧重污染日风向频率统计

北风频率	东北风频率	东北偏北风频率	南风频率	西南偏南风频率	西风频率	西南风频率
60.00	0.87	1.74	7.83	0.00	8.70	15.65

图 7 和图 8 分别为臭氧污染日的最高气温和相对湿度与近地面臭氧浓度之间的相关关系。由图 7 可知,在臭氧污染日随着日最高气温的增加其与臭氧浓度呈现正相关性,相关系数为 0.46 。臭氧前体物在太阳辐射的作用下可通过光化学反应生成臭氧,强太阳辐射及地表增温辐射作用,使得大气温度越高,臭氧前体物光化学反应越快,因而促进臭氧的生成及近地面臭氧浓度的增加。当日最高气温 $<28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,不容易发生臭氧污染,即使发生臭氧污染, O_3 浓度也 $<170\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。最高气温在 $26\text{ }^{\circ}\text{C}\sim34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,日最高气温每增加 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,臭氧污染发生的频率就会翻倍,日最高气温 $26\text{ }^{\circ}\text{C}\sim28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,发生了 4 次臭氧污染;日最高气温 $28\text{ }^{\circ}\text{C}\sim30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,发生了 11 次臭氧污染;日最高气温 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,发生了 24 次臭氧污染;日最高气温 $32\text{ }^{\circ}\text{C}\sim34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,发生了 42 次臭氧污染。然而随着日最高温度继续上升臭氧污染出现的次数逐渐降低,但臭氧污染的最高浓度升高。另外,大气臭氧积累的温室效应使得其污染越严重,地表温度上升就越高,从而产生臭氧的气候增温及反馈增温效应。当臭氧浓度增加时日最高温度略微上

升,当臭氧浓度在 $210\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上时其日最高气温主要分布在 $34\text{ }^{\circ}\text{C}\sim38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

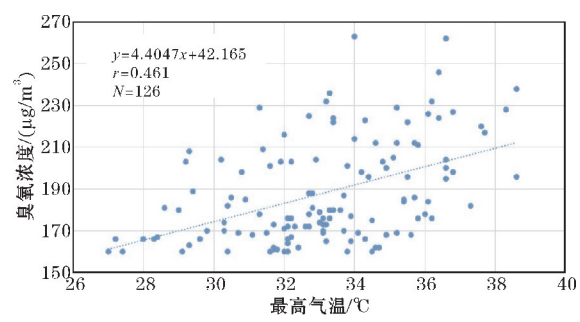


图 7 臭氧污染日最高气温与臭氧浓度相关分析

由图 8 可知,在臭氧污染日随着相对湿度的增加其与臭氧浓度呈现负相关性,相关系数为 -0.307 ,说明在臭氧污染日,相对湿度的升高对臭氧浓度有一定抑制作用。这种相关关系在相对湿度处于 60%~80% 表现较差,该相对湿度区间内臭氧浓度变化范围在 $160\sim270\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,几乎没有规律可循。当相对湿度在 80% 以上时,对臭氧浓度的抑制作用相对明显,没有超过 $180\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的臭氧浓度出现。

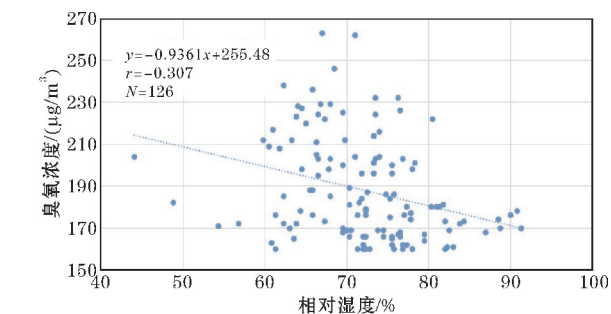


图 8 臭氧污染日相对湿度与臭氧浓度相关分析

2.2.2 气象要素卫星遥感分析

图 9 分别为双流地区 6 月、7 月、8 月、夏季的平均短波太阳辐射。从时空分布角度看,6 月双流区太阳辐射分布较均匀,且辐射量总体集中在 650 ~ 660 W/m²,其中辐射最高值出现在怡心街道,为 675 W/m²左右;西

部地区太阳辐射主要集中在 660 W/m²左右,其余区域的短波太阳辐射主要在 650 W/m²左右。7 月双流全区太阳辐射分布在 600 ~ 680 W/m²,西北地区太阳辐射较东南地区高,且西北地区辐射量集中在 640 ~ 670 W/m²,东南地区辐射量集中在 600 ~ 630 W/m²。8 月短波太阳辐射呈明显上升趋势,平均短波太阳辐射在全区范围内高于 6、7 月,且 8 月辐射量最大值较 6、7 月辐射量最大值高。8 月份高辐射地区主要集中在双流区的中部及西北角,辐射量集中在 700 ~ 720 W/m²。由图 4 ~ 6 可知双流地区夏季的平均短波太阳辐射整体上分布较为均匀,中部及周围大部分地区短波太阳辐射量集中在 660 ~ 680 W/m²;而东部边缘地区短波辐射集中在 650 W/m²左右,东升街道和九江街道夏季平均太阳短波辐射主要集中在 655 W/m²。

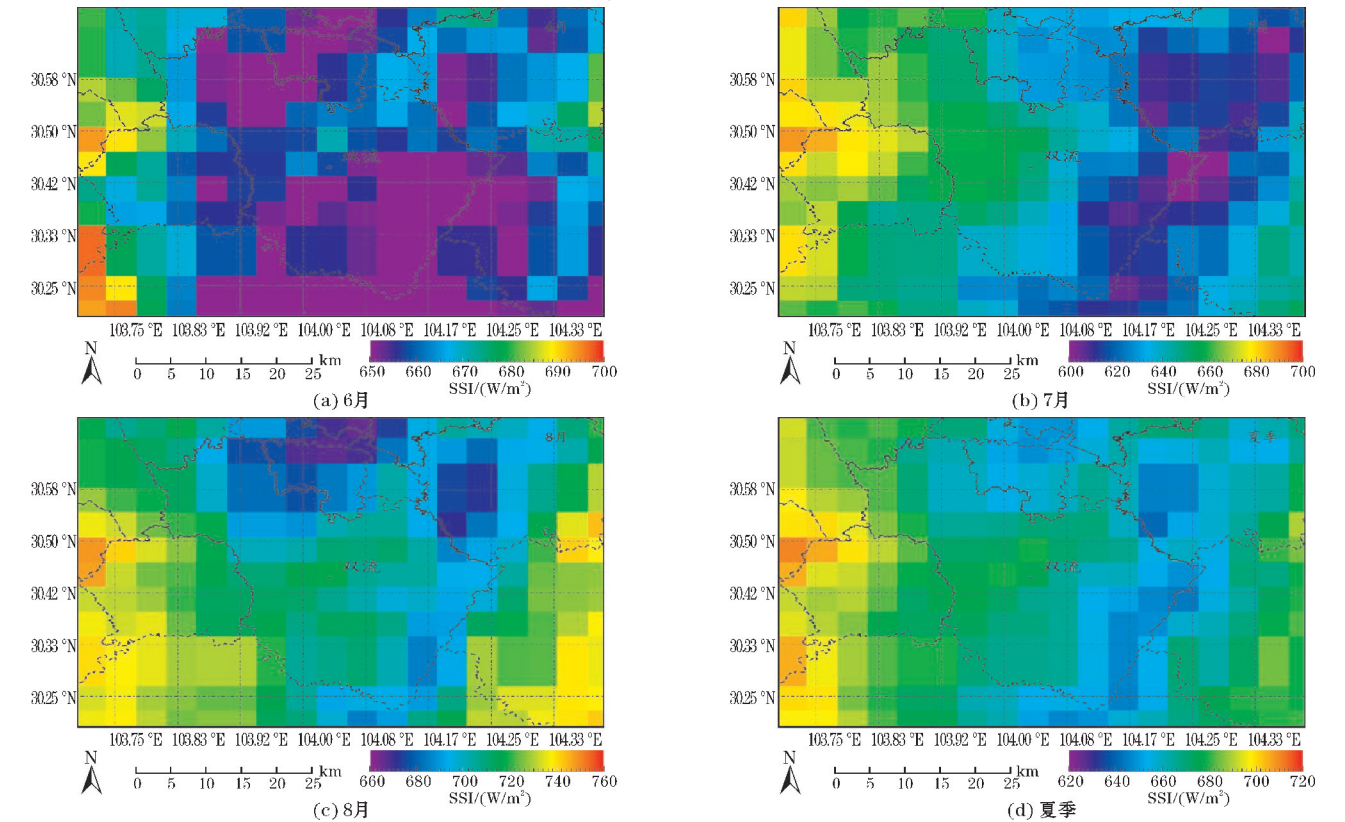


图 9 双流区 6-8 月及夏季平均太阳短波辐射

图 10 分别为双流地区 6 月、7 月、8 月、夏季的平均云覆盖率。由图 10 可知,6 月和 7 月双流区逐月云量在空间分布上较均匀,西边的云覆盖率要略高于东边,6 月平均云覆盖率在 83% 左右,7 月平均云覆盖率较 6 月整体增长 5%,总体分布在 88% 左右。8 月双流平均云覆盖率急速减少,在夏季达到最低,60% 以上的区域其平均云覆盖率在 69% 左右,最高平均云覆盖率在 74% 左右,云覆盖率呈北高南低的趋势。从图 10(d) 可知,双流区夏季平均云覆盖率高值主要分布在西北及东北部地区,云覆盖率在 82% 左右,中部城区平均云覆盖率相对较低,主要分布在 79% 左右。

2.2.3 臭氧前体物卫星遥感分析

图 11 分别为双流地区 6 月、7 月、8 月、夏季的平均对流层甲醛柱浓度。分析图 11 可知,平均对流层甲醛柱浓度总体呈现由西北地区向东南地区递减的特点;平均对流层甲醛柱浓度从 6 月到 8 月,在双流西北部地区呈低—高一低的变化趋势,在双流中部地区呈高一低—高的变化趋势。6 月双流地区平均对流层甲醛高浓度地区主要集中在西北部地区,甲醛浓度基本分布在 250 ~ 280 mol/km²。除中部城区部分地区甲醛浓度多集中在 240 mol/km² 左右外,其他区域甲醛浓度基本都在 200 mol/km² 左右。7 月双流西北部地区平均对流层甲醛柱浓度在 3 个月中最高,其中最高值出现在东升街道与西航港街道的交界处附近,可达

300 mol/km²;其次是彭镇,平均对流层甲醛柱浓度在 290 mol/km²左右。中部地区甲醛浓度较 6 月有明显下降趋势,7 月中部地区甲醛浓度集中在 180 ~ 220 mol/km²。8 月份在双流西北部地区甲醛浓度相较于 7 月有所下降,在这个区域,主要浓度区间在 250 ~ 280 mol/km²,其中东南部地区浓度也有所下降,从

7 月的230 mol/km²左右下降到220 mol/km²左右。由图 11(d)可知,双流地区夏季平均对流层甲醛柱浓度仍符合由西北向东南递减的特点,西北部地区的甲醛浓度主要分布在 250 ~ 280 mol/km²,中部城区甲醛浓度主要在 200 ~ 250 mol/km²,东南部地区甲醛浓度主要在200 mol/km²左右。

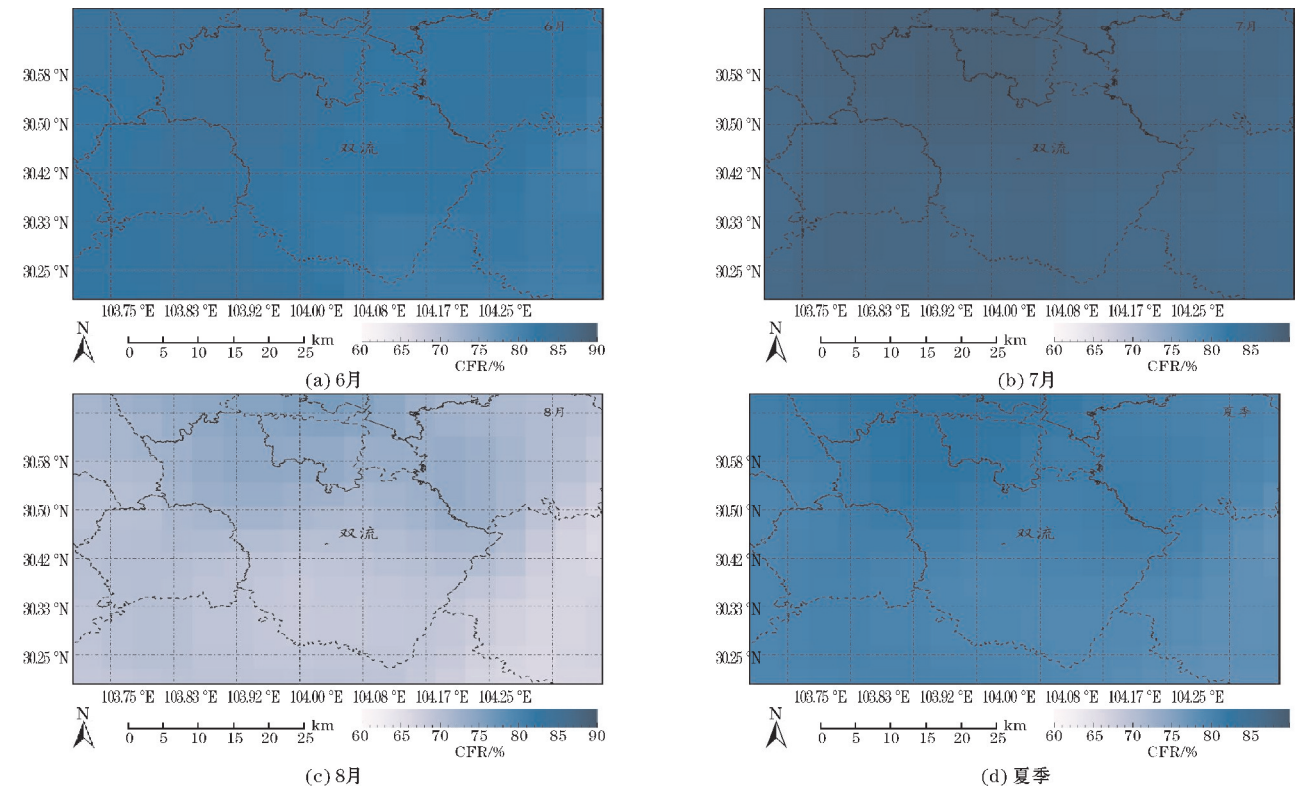


图 10 双流区 6-8 月及夏季平均云覆盖率

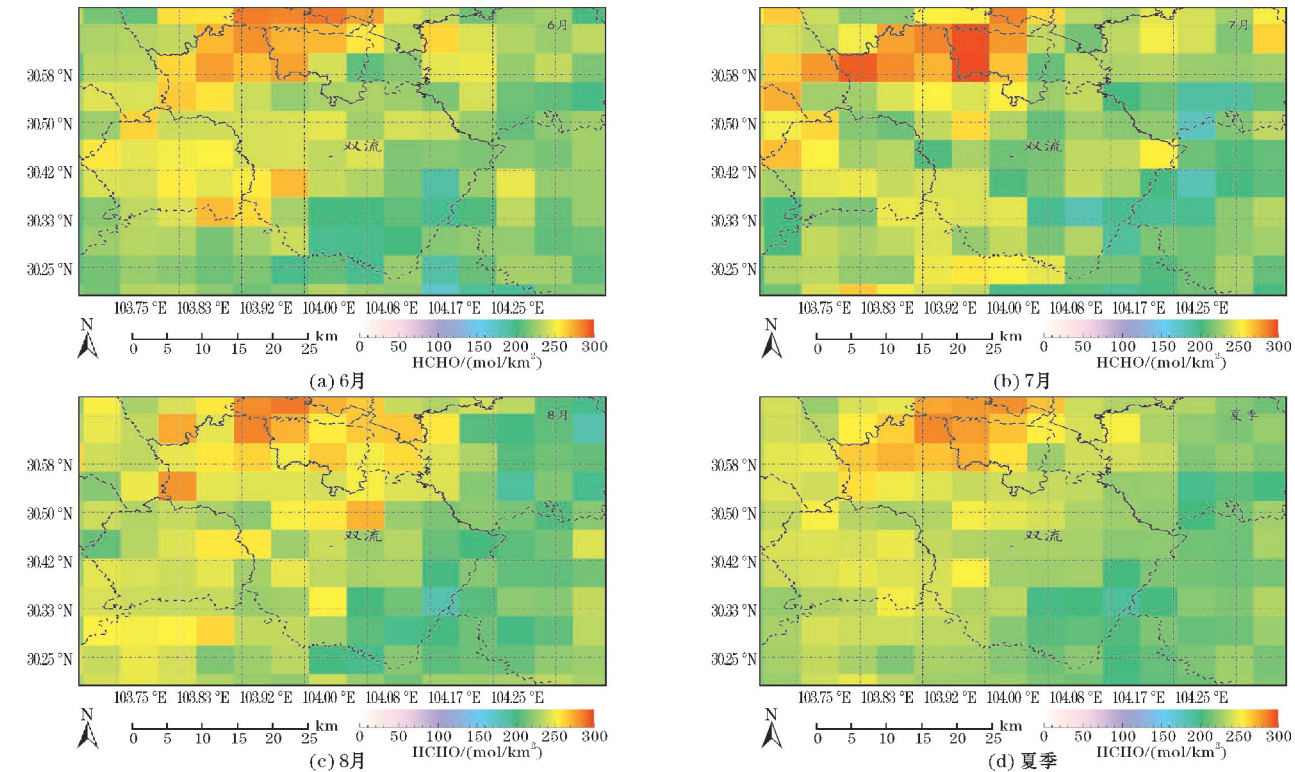


图 11 双流地区 6-8 月及夏季平均对流层甲醛柱浓度

图 12 分别为双流地区 6 月、7 月、8 月、夏季的平均对流层 NO₂ 柱浓度。平均 NO₂ 柱高浓度区域主要集中在双流西北部地区,且从西北到东南地区呈递减趋势。从时间变化趋势来看,从 6~8 月平均 NO₂ 柱浓度呈现逐月递减的趋势。6 月双流区西北区域 NO₂ 柱浓度高,其极高值位于东升街道,为 190 mol/km²,除东南部地区 NO₂ 柱浓度在 100 mol/km² 以下外,其他大部分地区 NO₂ 柱浓度均大于 100 mol/km²。7 月双流区 NO₂ 柱浓度相较于 6 月有所降低,NO₂ 柱浓度高的区域依然分布在西北部地区,但高值范围减小且 NO₂

柱浓度相较于 6 月明显降低,由 6 月的 150~200 mol/km² 降低到小于 150 mol/km²。8 月双流平均对流层 NO₂ 柱浓度与 7 月基本保持一致,浓度都保持在 150 mol/km² 以下,其中中部城区浓度有略微上升的迹象,但基本保持在 100 mol/km² 以下。由图 12(d) 可知夏季平均 NO₂ 柱浓度较高地区仍分布在西北地区,总体而言,双流区夏季浓度低于 170 mol/km²。夏季平均对流层 NO₂ 柱浓度与逐月平均 NO₂ 柱浓度在区域上呈现相同趋势,浓度从西北地区的 100 mol/km² 递减至东南部地区的 75 mol/km²。

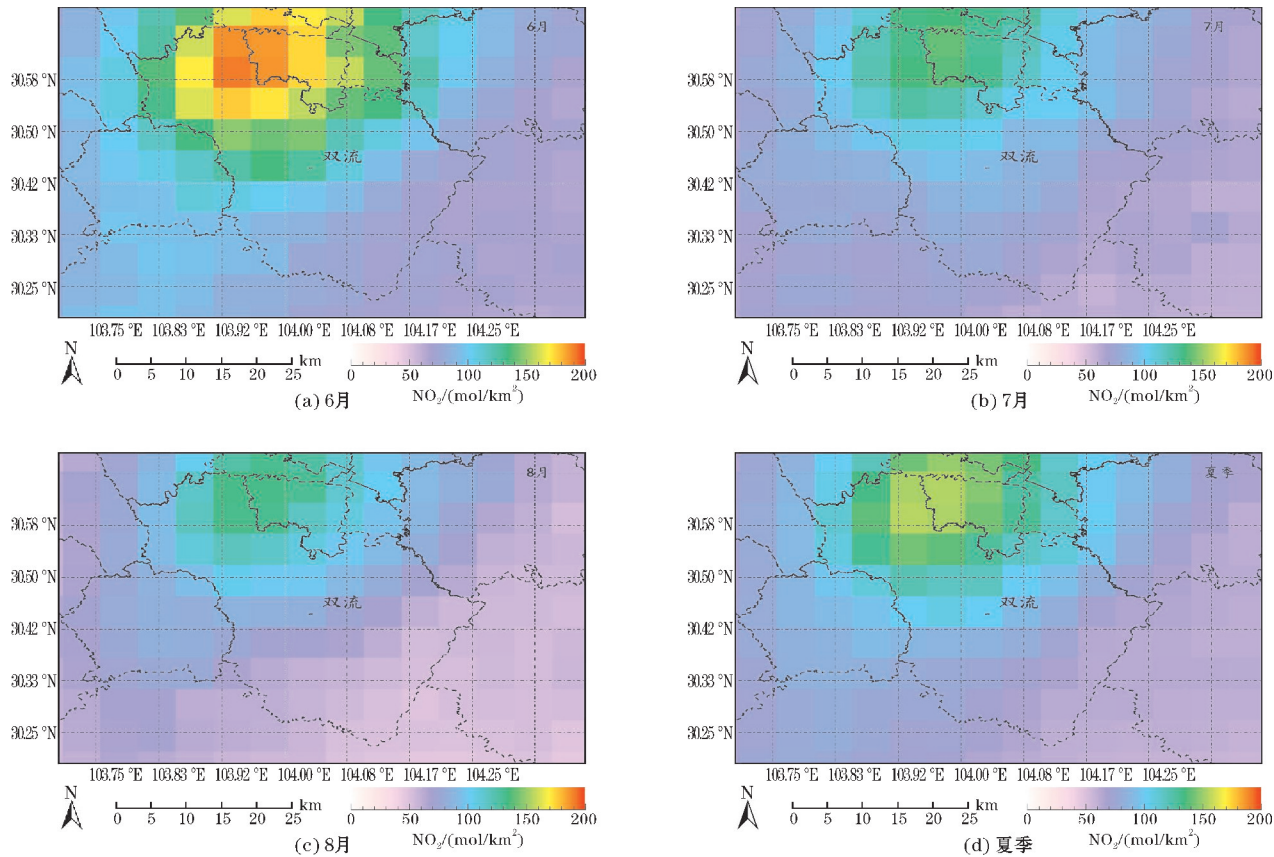


图 12 双流地区 6-8 月及夏季平均对流层 NO₂ 柱浓度

3 结束语

研究利用 2019-2021 年地面监测和卫星遥感资料对双流地区夏季的臭氧污染气象特征进行分析,主要得出以下结论:

- (1) 统计分析 3 种标准大气污染物的月均值浓度可得,O₃ 污染整体上表现为夏半年加重冬半年减轻,而其他 2 种臭氧前体物浓度整体上呈现出冬半年升高夏半年降低的变化趋势。
- (2) 影响双流地区臭氧浓度的首要气象要素为温度,呈较大的正相关性,与空气相对湿度存和气压在一定的负相关性,与风速的关系较为复杂,表现为在北风

- 和弱风(<1.4 m/s)的条件下易出现高浓度臭氧污染。
 - (3) 6 月份太阳辐射分布均匀,最高值出现在怡心街道附近,较周围地区高出 15 W/m²;7 月份太阳辐射量西高东低;8 月为太阳辐射夏季最高月,辐照度集中在 700~720 W/m²。云覆盖率在夏季的时间变化特征为 7 月>6 月>8 月,6-7 月云覆盖率空间分布均匀,8 月云覆盖率呈现北高南低的趋势。
 - (4) 对于臭氧生成前体物而言,双流夏季的对流层甲醛柱浓度总体呈现由西北地区向东南地区递减的特点,浓度数值无明显差异;对流层 NO₂ 柱浓度从双流西北到东南地区呈递减趋势,浓度数值在 6-8 月呈现逐月递减趋势。
- 由于遥感数据空间分辨率的限制,本研究得到结

果的空间格网较粗,未来可基于气象环境站点监测结果、其他高分辨率遥感下垫面资料,结合机器学习算法实现现有遥感结果的降尺度处理,从而获取双流地区精细化的气象、环境遥感结果,加深对双流区域臭氧污染问题的理解。

参考文献:

- [1] Kampa M, Castanas E. Human health effects of air pollution [J]. *Environmental pollution*, 2008, 151(2):362–367.
- [2] 冯兆忠, 彭金龙. 地表臭氧对中国主要粮食作物产量与品质的影响: 现状与展望[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(4):797–804.
- [3] Wang X, Zhang Q, Zheng F, et al. Effects of elevated O₃ concentration on winter wheat and rice yields in the Yangtze River Delta, China [J]. *Environmental Pollution*, 2012, 171:118–25.
- [4] Monks P S, Archibald A, Colette A, et al. Tropospheric ozone and its precursors from the urban to the global scale from air quality to short-lived climate forcer[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, 15(15):8889–973.
- [5] 刘小正, 楼晟荣, 陈勇航, 等. 基于 OMI 数据的中国中东部城市近地面臭氧时空分布特征研究[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(8):2811–2818.
- [6] 张倩倩, 张兴赢. 基于卫星和地面观测的 2013 年以来我国臭氧时空分布及变化特征[J]. *环境科学*, 2019, 40(3):1132–1142.
- [7] 单源源, 李莉, 刘琼, 等. 基于 OMI 数据的中国中东部臭氧及前体物的时空分布[J]. *环境科学研*
- 究, 2016, 29(8):1128–1136.
- [8] Zhu L, Liu M, Song J. Spatiotemporal variations and influent factors of tropospheric ozone concentration over China based on OMI data[J]. *Atmosphere*, 2022, 13(2):253.
- [9] Zhang Y, Zhang Y, Liu Z, et al. Analysis of Vertical Distribution Changes and Influencing Factors of Tropospheric Ozone in China from 2005 to 2020 Based on Multi-Source Data [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(19):12653.
- [10] 李旭文, 张悦, 姜晟, 等. “哨兵-5P” 卫星 TROPOMI 传感器在江苏省域大气污染监测中的初步应用[J]. *环境监控与预警*, 2019, 11(2):10–16.
- [11] 齐瑾, 邱红. 风云三号卫星太阳总辐照度监测[C]. 第 35 届中国气象学会年会 S6 应对气候变化, 低碳发展与生态文明建设, 2018.
- [12] Wang H, Liu Z, Zhang Y, et al. Impact of different urban canopy models on air quality simulation in Chengdu, southwestern China [J]. *Atmospheric Environment*, 2021, 267:118775.
- [13] Wang H, Liu Z, Wu K, et al. Impact of Urbanization on Meteorology and Air Quality in Chengdu, a Basin City of Southwestern China[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, 10:845801.
- [14] 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.
- [15] 殷永泉, 单文坡, 王韬, 等. 泰山顶臭氧及其前体物一氧化碳浓度变化规律[J]. *环境科学*, 2006, 27(1):9–13.

Analysis of Meteorological Conditions of Ozone Pollution in Shuangliu Area

GAO Kaixiang¹, LV Tingting², ZHANG Yang², LIU Zhihong², WANG Lu³

(1. Xindu Meteorological Service, Chengdu 610599, China; 2. College of Resources and Environmental, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Chong Zhou Meteorological Administration, CHongzhou 611230, China)

Abstract: Shuangliu is an area with serious ozone pollution in Chengdu. Analyzing the meteorological characteristics of ozone pollution in this area is of great significance for the study of air pollution mechanisms in Shuangliu and surrounding areas. Based on ground monitoring and remote sensing observation data, this study uses mathematical statistics, GIS spatial analysis, and other methods to analyze the characteristics of air pollution and meteorological conditions in Shuangliu from 2019 to 2021. The results indicate that the dominant wind direction in Shuangliu area is north wind, and the variation of wind speed shows a downward trend. The primary meteorological element affecting the ozone concentration is temperature, the correlation coefficient (r) between the two is 0.461. The r between ozone concentration and relative humidity is -0.307. Ozone pollution is prone to occur under the conditions of north wind and low wind speed (<1.4 m/s). August is the month with the highest solar radiation in summer, and the irradiance is concentrated in the range of 700–720 W/m². The time variation characteristics of cloud coverage in summer are July>June>August. The column concentrations of formaldehyde and nitrogen dioxide in the troposphere showed a decrease from the northwest region to the southeast region.

Keywords: Shuangliu; ozone pollution; meteorological conditions; remote sensing; ozone precursors