

崔娟,王浩,刘杰,等.沙尘天气对榆林市环境空气质量的影响[J].中国沙漠,2021,41(2):59-66.

沙尘天气对榆林市环境空气质量的影响

崔娟¹,王浩¹,刘杰¹,王越²,卢立栋¹,陈洁¹

(1.陕西省环境科学研究院,陕西 西安 710061; 2.陕西省气象局 气候中心,陕西 西安 710014)

摘要: 基于2013—2018年榆林市沙尘天气和环境空气质量逐日数据,定量分析了沙尘天气对榆林市空气质量指数(AQI)、可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})的绝对贡献和相对贡献率。结果表明:沙尘天气对榆林市AQI的贡献率为0.7%—11.1%(平均值±标准差 6.4%±3.8%);对PM₁₀的绝对贡献为1.0—13.1 μg·m⁻³(平均8.2±5.4 μg·m⁻³),相对贡献率5.4%±3.5%;对PM_{2.5}的绝对贡献为-0.4—3.5 μg·m⁻³,沙尘天气对PM_{2.5}的影响小于对PM₁₀。沙尘天气对榆林市空气质量的影响季节差异很大,春季贡献最大,秋冬季贡献较小。沙尘天气对榆林市区和郊区的影响程度不同,这可能与局部气象条件和地形条件等因素有关。

关键词: 沙尘天气; 空气质量指数; 可吸入颗粒物; 细颗粒物

文章编号: 1000-694X(2021)02-059-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00128

中图分类号: X513

文献标志码: A

0 引言

沙尘暴是本地或附近尘沙被强风吹起、空气非常混浊、水平能见度小于1 km的天气现象,是干旱和半干旱地区常出现的灾害性天气^[1]。沙尘天气在中国北方频发,对区域气候、人体健康、工农业活动和空气质量等有显著影响^[2-6]。位于陕西省最北部的榆林市,地处黄土高原和毛乌素沙地交界处,是黄土高原与内蒙古高原的过渡区^[7]。榆林市地势西北高、东南低,春季和冬季多西北路和北路冷空气活动。北部风沙滩区的定边、横山、榆阳和神木是榆林市范围最大的沙尘天气多发区^[8]。2010年以后,榆林市沙尘天气较20世纪有所减少,但仍是陕西省受沙尘影响最为明显的城市^[9-10]。

截止目前,关于沙尘天气对榆林市环境空气质量影响的定量化研究还很少,且之前的研究多选择一次沙尘天气过程的空气质量影响。本文结合陕西省气象局气候中心和榆林市环境监测站提供的榆林市城区(榆阳区)和两郊区(定边和清涧)2013—2018年的沙尘天气和环境空气质量逐日数据,定量分析了沙尘天气对榆林市环境空气质量的影响,以期对榆林市大气污染控制和环境质量改善提供科

学依据。

1 材料与方法

选取榆林市2013—2018年逐日沙尘暴、扬沙和浮尘天气数据以及气象数据进行分析。沙尘暴日数、扬沙日数和浮尘日数之和作为沙尘日数。气象数据包括日均温、日降雨量、日最大风速和日均风速等。

利用榆林市城区(榆阳区)2013—2018年环境空气质量日数据,分析了沙尘天气与各环境要素之间的关系。利用定边县和清涧县的自动监测站日数据,分析比较了沙尘天气对榆林市城区和郊区环境空气质量的贡献。定边县地处榆林市最西边,受沙尘天气影响明显^[8],而清涧县位于榆林市东南部,人口数量和工业总产值在榆林市各区县中排名较靠后^[11]。研究涉及的环境要素包括空气质量指数(AQI)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、可吸入颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})、臭氧(O₃)和一氧化碳(CO)等。

为了量化沙尘天气对榆林市环境空气质量的影响,本研究参考了陈跃浩等^[12]的研究方法,计算了沙尘天气对AQI的绝对贡献(ΔAQI)和贡献率

收稿日期:2020-10-09; 改回日期:2020-12-13

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0212206);陕西省重点研发计划项目(2018ZDCXL-SF-02-05)

作者简介:崔娟(1986—),女,陕西商洛人,博士,工程师,研究方向为大气污染控制。E-mail: cuijuan1016@163.com

(DC_{AQI}), 对 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的绝对贡献和相对贡献率 (绝对贡献占环境空气质量二级标准的百分比)。为了反映沙尘天气对月大气环境质量的影响程度, 将受沙尘天气影响引起的 AQI 变化占当月 AQI 月平均值的比例定义为沙尘天气对 AQI 的贡献率, 即:

$$DC_{AQI} = (\Delta AQI / AQI_{ID}) \times 100\% \quad (1)$$

$$\Delta AQI = AQI_{ID} - AQI_{ED} \quad (2)$$

式中: ΔAQI 为受沙尘天气影响的 AQI 变化; AQI_{ID} 为包括沙尘影响在内的 AQI 月平均值; AQI_{ED} 为未受沙尘影响时段的 AQI 平均值 (计算时, 在剔除当月沙尘天气发生的天数后, 计算剩余时间的 AQI 平均值)。 DC_{AQI} 为正值, 表示当月受沙尘影响空气质量变坏, DC_{AQI} 越大表示沙尘天气的贡献越大; DC_{AQI} 为负值时, 表示沙尘天气不仅未影响到大气环境质量, 反而有可能因沙尘天气发生时大风过境的影响, 使环境质量有所改善。

季节的划分采用通用的气象标准, 以3—5月为春季, 6—8月为夏季, 9—11月为秋季, 12月至次年2月为冬季。

榆阳区 PM_{10} 使用了2013—2018年数据, 2014年还增加了 AQI 和 $PM_{2.5}$ 逐日数据。定边县和清涧县 PM_{10} 使用了2013—2014、2017—2018年数据, 定边县 $PM_{2.5}$ 为2017—2018两年数据, 清涧县为2014、2017、2018年数据。

数据处理和分析用到了 Microsoft excel 2019 和 IBM SPSS 19.0 软件, 绘图使用了 Origin 2018。使用 Pearson 相关性分析, 用于研究沙尘天气次数与气象因子和环境空气质量之间的关系。

2 结果与分析

2.1 榆林市沙尘天气的基本特征

2013—2018年, 榆林市主城区共观测到沙尘天气27次, 其中沙尘暴2次, 全部发生在2013年; 扬沙22次, 占总沙尘天数的81.5%; 浮尘3次 (图1A)。随时间推移, 沙尘天气有减少趋势, 2016、2017年和2018年都只观测到1次沙尘天气, 全部发生在春季 (图1B)。榆林市沙尘天气的减少很可能与近年来风速的下降有关^[8]。

榆阳区沙尘天气主要出现在2—5月, 其中春季最为频发, 占2013—2018年总沙尘天数的82.8% (图1B)。空气干燥加之天气回暖, 影响沙尘源地地表疏松程度, 强劲的冷空气具备了气流旋转上升和

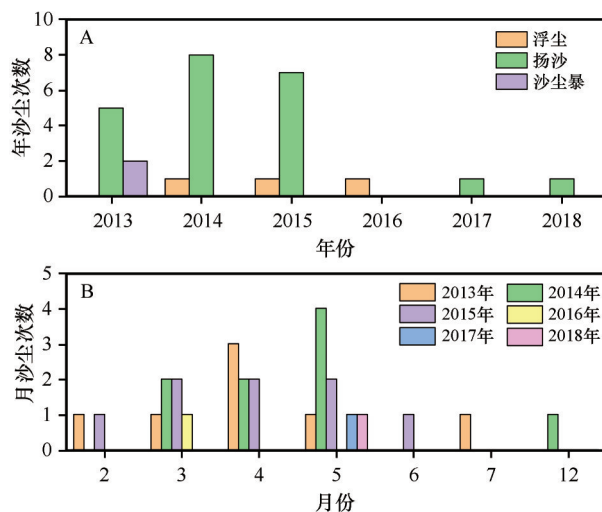


图1 2013—2018年榆林市沙尘天气年际变化(A)和月份分布(B)

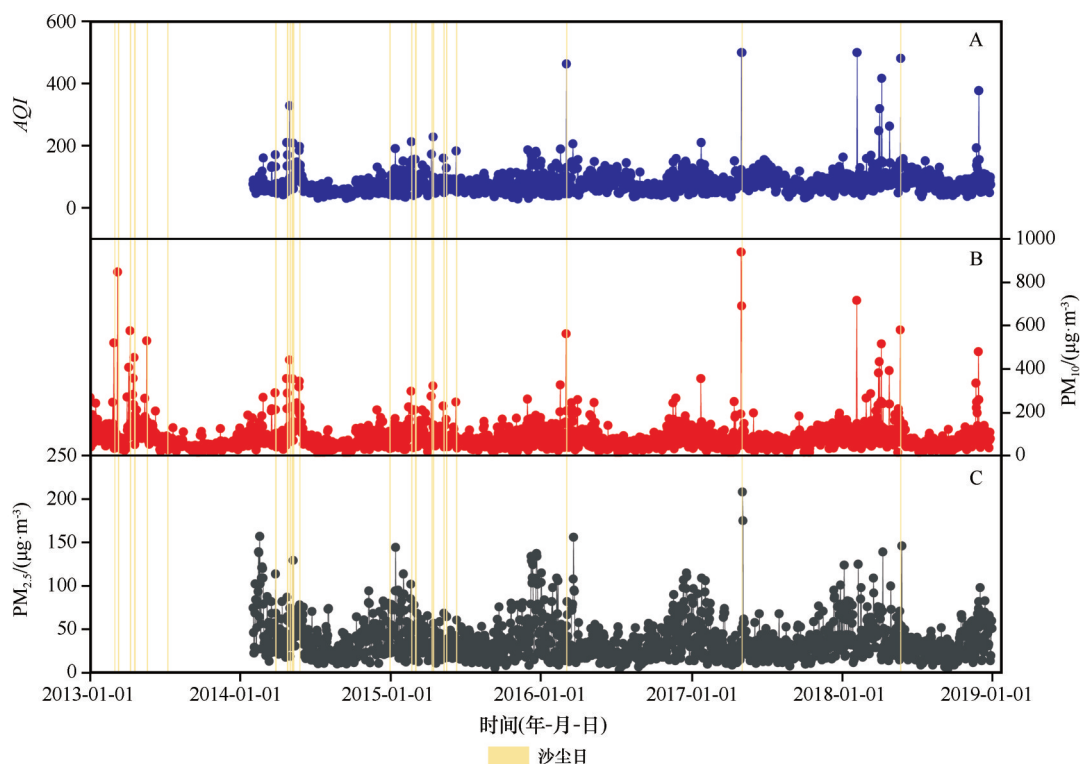
Fig.1 Annual (A) and monthly variations (B) of dust events observed in Yulin from 2013 to 2018

从北方沙源区经过并南下的输送条件, 因此春季沙尘天气较易发生^[13]。秋冬季很少出现沙尘天气, 在统计的6年中, 榆林市分别在2013年2月、2014年12月、2015年2月各观测到1次扬沙天气过程。康林等^[14]发现, 夏季也是中国新疆南部和内蒙古中西部地区仅次于春季的沙尘天气多发季节。本研究, 榆林市夏季沙尘日数还略少于冬季。2013—2018年的观测时段内, 榆林市夏季仅出现了2次沙尘天气。榆林的外来沙尘主要来自中国西北沙漠以及蒙古戈壁滩, 对矿物气溶胶的贡献率为16%—100%^[15-16]。

2.2 2013—2018年 AQI 、 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的时间序列

2013—2018年, 榆林市 AQI 、 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的平均值±标准差分别为 80.7 ± 11.3 、 $85.4 \pm 24.4 \mu g \cdot m^{-3}$ 和 $37.2 \pm 10.2 \mu g \cdot m^{-3}$, 且存在明显季节差异 (图2)。4个季节中, 春季 AQI 和 PM_{10} 浓度都最高, 分别比年平均高出12.4%和32.8%。秋季 AQI 最低, 平均仅为 67.3 ± 9.0 。夏季 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 最低, 分别低于年平均30.2%和27.6%。

沙尘天气出现一般都伴随着 AQI 、 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 峰值的到来, 且 PM_{10} 上升最明显。以2017年5月5日的扬沙天气为例, 这一天榆林市 PM_{10} 日均浓度高达 $691 \mu g \cdot m^{-3}$, 比沙尘来袭前的5月3日高出2.54倍, 超出空气质量二级标准3.61倍; $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的比值 ($PM_{2.5}/PM_{10}$) 也相应降低了0.2。Naimabadi等^[3]也发现, 沙尘来袭时, PM_{10} 浓度急剧上升。

图2 2013—2018年榆林市AQI(A)、PM₁₀(B)和PM_{2.5}(C)的时间序列Fig.2 Time series of daily AQI (A), PM₁₀ (B) and PM_{2.5} (C) from 2013 to 2018 in Yulin

2.3 沙尘天气对榆林市AQI的影响

沙尘天气对榆林市AQI的绝对贡献为0.5—8.1,全年平均贡献为5.6,最小值出现在12月,最大值出现在5月,春季(3—5月)贡献占全年总贡献的74.4%(图3A)。春季沙尘天气最为频发(图1B),对空气质量影响也最大。还以2017年5月5日这次典型的扬沙天气为例,从5月3日17:00时开始,观测到榆林市AQI有明显上升,直至5月5日11:00时,

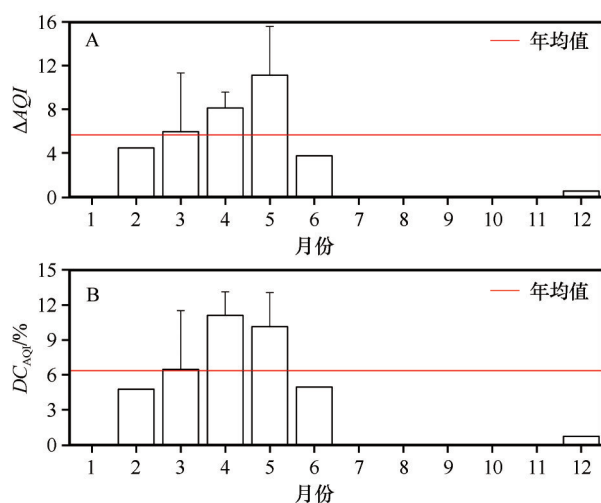


图3 沙尘天气对榆林市AQI的影响

Fig.3 The effect of dust events on AQI of Yulin

AQI基本恢复至沙尘前水平。在此期间,共有20 h观测到AQI爆表。此次沙尘过程属大范围爆发,5月3—6日,在兰州、西宁、银川和西安都不同程度地观测到了沙尘污染^[17]。榆林市AQI爆表时长与银川接近,但短于兰州。

2014—2018年,沙尘天气对榆林市AQI的贡献率平均值±标准差为6.4%±3.8%,不同月份分布与绝对贡献的分布规律大体一致(图3B),最大贡献率出现在4月(10.1%),最小值在12月(0.7%)。2016年以后,榆林市沙尘天气出现频率降低(图1A),沙尘天气对榆林市AQI的影响也有所下降(图4)。

2.4 沙尘天气对榆林市PM₁₀的贡献

沙尘对榆林市PM₁₀有明显影响。2013—2018年,榆林市沙尘天气发生前一日,PM₁₀超标比率仅为8.7%,而沙尘当日超标比率高达84.6%。对PM₁₀的绝对贡献为1.0—13.1 µg·m⁻³(平均值±标准差8.2±5.4 µg·m⁻³),相对贡献率为0.6%—8.8%(图5)。整个冬季,仅12月沙尘对榆林市PM₁₀有轻微影响(相对贡献率不足1%),说明沙尘对榆林市冬季空气质量几乎没有影响。而在沙尘天气频发的5月,对PM₁₀的绝对贡献和相对贡献率都最大,春季的贡

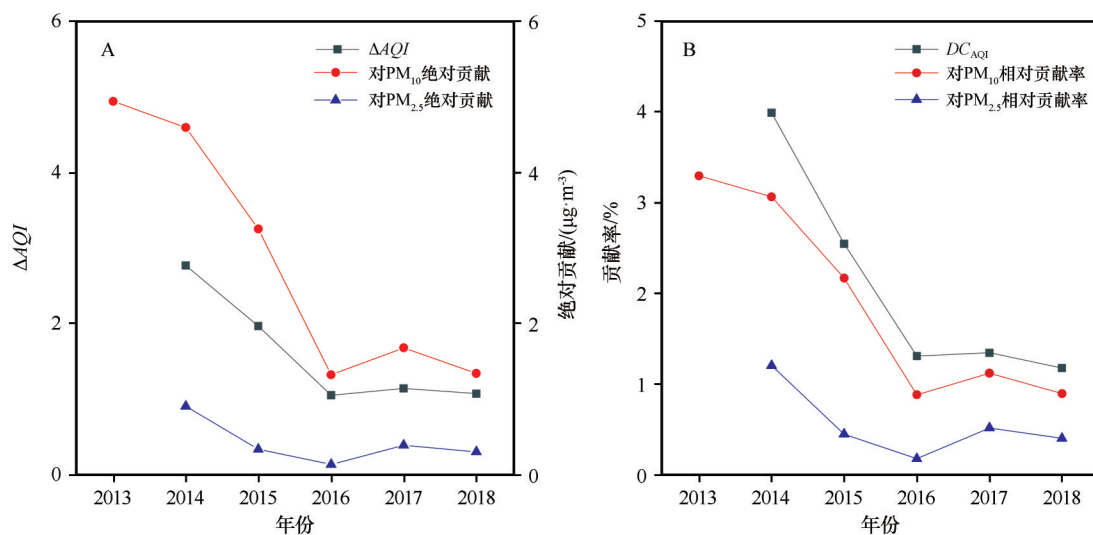


图4 沙尘天气对榆林市 AQI 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 绝对贡献(A)和相对贡献率(B)的年际变化

Fig.4 Annual variations of absolute (A) and relative contributions (B) of dust weather to AQI , PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Yulin

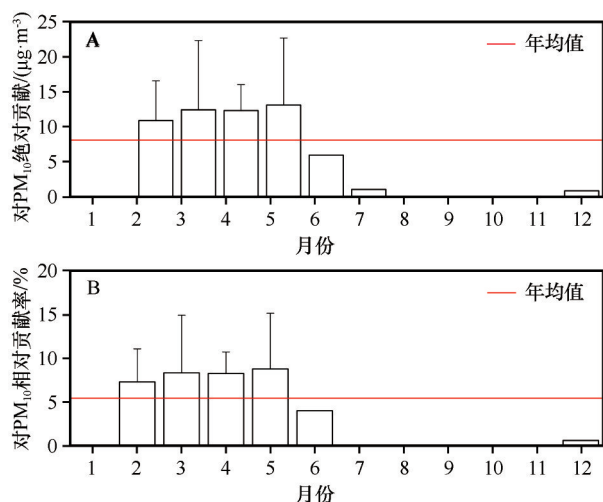


图5 沙尘天气对榆林市大气 PM_{10} 的贡献

Fig.5 The contribution of dust events to PM_{10} in Yulin

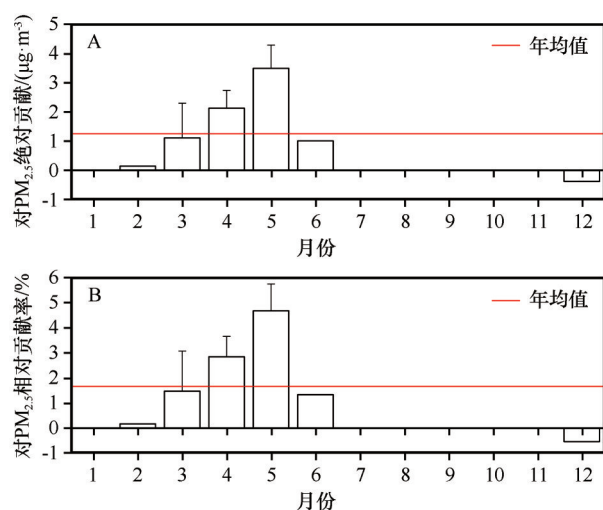
献占全年总贡献的 66.5%。榆林市春季较大、秋季较小的气溶胶光学厚度也侧面反映了沙尘天气对榆林市空气质量贡献的季节性差异^[18]。梁琳等^[19]发现,春季沙尘期间,沙尘对北京市 PM_{10} 质量浓度贡献占主导地位(50.7%)。陈跃浩等^[12]发现,除少数年份 PM_{10} 的绝对贡献为负外,沙尘天气对北京春季 PM_{10} 的绝对贡献平均值为 $20.9 \mu g \cdot m^{-3}$,相对贡献率平均为 13.9%,这一贡献大于榆林市,说明沙尘天气对榆林市空气质量的影响小于北京。2016—2018 年,榆林市一共只观测到 3 次沙尘天气(每年 1 次,浮尘或扬沙,图 1A,图 2),因此,这 3 年中,沙尘天气对榆林市 PM_{10} 的绝对贡献和贡献率也明显低于 2013—2015 年(图 4)。根据 Filonchyk 等^[17]的研究,我们计算了沙尘天气对兰州市 PM_{10} 的绝对贡

献。2017 年沙尘天气对榆林市 PM_{10} 的相对贡献率小于对兰州的贡献(年平均值分别为 1.1% 和 19.3%);与此相对应,榆林市沙尘天气的出现频率也低于兰州,春季榆林和兰州沙尘发生频率分别为 1.1% 和 6.5%。

郭勇涛等^[1]利用沙尘积分的方法计算的 2006—2010 年沙尘天气对春季兰州市 PM_{10} 质量浓度的贡献率为 18.4%—43.1%,平均值 \pm 标准差为 $31.3\% \pm 9.2\%$ 。用相同方法,我们计算了沙尘对榆林市 2013—2018 年 PM_{10} 质量浓度的贡献率,为 4.3%—19.0%,平均值 \pm 标准差为 $12.4\% \pm 5.5\%$,这一结果也说明沙尘天气对榆林市空气质量的影响小于兰州。沙尘对榆林市 PM_{10} 质量浓度影响小于兰州,可能与 21 世纪以后中国北方沙尘天气总体减少有关^[5,9]。陈亿等^[20]发现,沙尘天气日数与归一化植被指数(NDVI)显著负相关。下垫面由沙漠变为落叶阔叶林后,风速的下降可能会显著降低沙尘天气的发生频率和沙尘强度^[21]。NDVI 的增加也可以解释近年来榆林市沙尘天气的减少趋势^[22]。

2.5 沙尘天气对榆林市 $PM_{2.5}$ 的贡献

总体而言,沙尘天气对榆林市 $PM_{2.5}$ 的影响小于对 PM_{10} 的影响(图 6)。这与 Amarloei 等^[23]在伊朗的研究结果一致,即沙尘对颗粒物质量浓度的影响随着颗粒物粒径的减小而减弱。Wang 等^[24]和 Borgie 等^[25]的研究都得到过类似的结论。对榆林市 12 月的 $PM_{2.5}$ 绝对贡献为负(绝对贡献和相对贡献率分别为 $-0.4 \mu g \cdot m^{-3}$ 和 -0.5%),不足 1% 的贡献率说明,沙

图6 沙尘天气对榆林市PM_{2.5}的影响Fig.6 The effect of dust events on PM_{2.5} in Yulin

尘天气对榆林市冬季PM_{2.5}的质量浓度影响微乎其微,少数情况下,沙尘天气发生时,风速增加还有可能对本底大气PM_{2.5}起到清除作用。在沙尘频发的春季,对PM_{2.5}绝对贡献为1.0—3.5 μg·m⁻³(图6A),相对贡献率为1.5%—4.7%(图6B),春季贡献占全年总贡献的89.9%。研究发现,春季沙尘气溶胶贡献大致为10%—20%,其他季节沙尘气溶胶的贡献几乎都可忽略^[26]。人为源中,扬尘源为榆林市气溶胶最大贡献者(对PM₁₀和PM_{2.5}的贡献分别为49.0%和39.4%),其次为燃煤和汽油车排放^[27]。因此,榆林市气溶胶主要受人为源影响,但在沙尘多发的春季,自然来源也有一定贡献。此外,本研究所报道的沙尘天气中,多数为中国北方大范围发生的沙尘天气过程,受沙尘源地起沙条件和沿途气象条件影响更大。

沙尘期间,榆林市PM_{2.5}/PM₁₀平均为0.25±0.08,非沙尘日平均为0.47±0.16,这也证明沙尘对榆林市PM₁₀影响远大于对PM_{2.5}的影响。2015年8月冰岛的一次沙尘天气过程中,PM_{2.5}/PM₁₀平均为0.45±0.06,湖泊沉积物为主的沙尘来源可能是PM_{2.5}占比高的主要原因^[28]。而榆林市的沙尘主要源于西北内陆地区干旱和半干旱沙漠地带,粗颗粒含量高,粒径主要分布在3—4 μm^[18]。

郭勇涛等^[1]发现,沙尘日兰州市PM_{2.5}的平均浓度为90 μg·m⁻³,非沙尘日为35 μg·m⁻³(仅是沙尘日浓度的38.9%)。本研究,沙尘日PM_{2.5}平均浓度为78.3 μg·m⁻³,而非沙尘日为36.8 μg·m⁻³(占沙尘日浓度的47.0%),说明沙尘天气对兰州市PM_{2.5}的影响大于榆林市。同时说明,尽管沙尘天气对榆林

市PM_{2.5}有一定贡献,但人为排放和二次产生依然是其主要来源^[7,27]。梁琳等^[19]在北京的研究也得到类似的结论。

2.6 沙尘天气对城区、郊区PM₁₀、PM_{2.5}的贡献对比

总体而言,定边县沙尘天气多于榆阳区,而榆阳区又多于清涧县(表1)。2013—2018年,定边县、榆阳区和清涧县沙尘天气总天数分别为123、27 d和15 d,月日数占比分别为3.2%—76.7%、3.2%—29.0%和3.2%—12.9%。春季沙尘天气发生频次最高,定边、榆阳和清涧春季天数分别占2013—2018年总天数的81.5%、55.3%和46.7%。

沙尘天气对榆阳区和定边县PM₁₀的贡献为正值,对清涧县冬季PM₁₀的贡献为负值(表1),说明沙尘期间大风等剧烈气象过程,对清涧县空气质量有略微改善(冬季对PM₁₀和PM_{2.5}的相对贡献率平均值分别为-1.3%和-1.1%)。春夏季,沙尘天气对清涧县PM₁₀和PM_{2.5}的影响也小于榆阳区和定边县,相对贡献率在5.0%以下。

定边县沙尘天气多于榆阳区,但沙尘天气对榆阳区PM₁₀的贡献大于定边县。榆阳区PM₁₀绝对贡献平均值±标准差为8.2±5.4 μg·m⁻³,定边县为0.4—11.9 μg·m⁻³(平均值±标准差6.3±3.7 μg·m⁻³)。沙尘天气对定边县PM_{2.5}的影响略大于对榆阳区的影响,但影响程度均小于对各自区域内PM₁₀的影响(表1)。

2.7 沙尘天气对榆林市SO₂、NO_x、CO和O₃的影响

利用榆阳区沙尘日、沙尘前一日和后一日的环境空气质量数据以及气象数据进行相关性分析。沙尘天气对SO₂、NO_x、CO和O₃等环境要素没有显著影响,而只与PM₁₀和PM_{2.5}显著正相关(表2)。艾沙江·艾力等^[29]发现,2016—2018年和田市墨玉县由沙尘天气导致的污染过程中,PM₁₀和PM_{2.5}浓度上升明显,其他气态污染物变化较小,与本研究结果接近。2014年4月,中国北方地区经历的一次大范围强沙尘天气过程有效地降低了SO₂、NO₂和CO浓度,但对O₃影响较小^[30]。杨燕萍等^[31]发现,沙尘前期兰州市PM₁₀浓度与SO₂、NO₂和CO显著正相关,与O₃相关性不明显,而与地面风速和温度正相关;沙尘期间PM₁₀与SO₂、NO₂和CO呈负相关,与O₃正相关;沙尘过后,PM₁₀又与SO₂、NO₂和CO呈现正相关。本研究中,沙尘天气的发生与日最大风速和日平均风速显著正相关。

表 1 沙尘天气对榆林市城区、郊区 PM₁₀和 PM_{2.5}的贡献比较
Table 1 The effect of dust events on Yulin's urban and rural PM₁₀, PM_{2.5}

月份	沙尘天气日数			沙尘天气日数			对 PM ₁₀ 绝对贡献			对 PM ₁₀ 相对			对 PM _{2.5} 绝对贡献			对 PM _{2.5} 相对		
	/d			占比/%			/(μg·m ⁻³)			贡献率/%			/(μg·m ⁻³)			贡献率/%		
	榆阳	定边	清涧	榆阳	定边	清涧	榆阳	定边	清涧	榆阳	定边	清涧	榆阳	定边	清涧	榆阳	定边	清涧
1		7	4		22.6	12.9		4.9	-2.2		3.2	-1.4		1.8	-1.4		2.4	-1.8
2	2	9	3	7.1	32.1	10.7	11.0	5.4	-1.6	7.3	3.6	-1.1	0.1	-0.4	-0.9	0.2	-0.5	-1.2
3	6	23	4	19.4	74.2	12.9	12.5	11.9	2.7	8.3	7.9	1.8	1.1	0.7	0.5	1.5	0.9	0.7
4	7	23		23.3	76.7		12.4	7.9		8.3	5.2		2.1	2.9		2.8	3.8	
5	9	22	3	29.0	71.0	9.7	13.1	6.6	4.8	8.8	4.4	3.2	3.5	1.5	0.6	4.7	2.0	0.8
6	1	11		3.3	36.7		6.0	3.2		4.0	2.1		1.0	0.2		1.3	0.3	
7	1	8	1	3.2	25.8	3.2	1.2	0.4	2.1	0.8	0.2	1.4		0.2	0.2		0.3	0.2
8		4			12.9			2.5			1.7							
9																		
10		1			3.2													
11		6			20.0			10.8			7.2			3.6			4.8	
12	1	9		3.2	29.0		1.0	9.8		0.7	6.5		-0.4	4.7		-0.5	6.3	
全年	27	123	15	12.7	36.7	9.9	8.2	6.3	1.2	5.4	4.2	0.8	1.3	1.7	-0.2	1.7	2.2	-0.3

表 2 沙尘天气次数与环境因子以及气象要素的相关性
Table 2 Pearson's correlations between the dust weather frequency, air quality parameters and meteorological conditions

环境因子及气象要素	AQI	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	CO	日均温	日相对湿度	日平均风速	日降雨量	日最大风速
相关系数	0.20	-0.12	-0.22	0.39**	0.37**	-0.10	-0.12	0.001	0.13	0.54**	0.16	0.60**

**表示在 0.01 水平上显著相关。

3 结论

2013—2018 年,榆林市沙尘天气主要出现在春季,夏、冬季偶有出现。2016 年以后,沙尘天气有所减少。沙尘天气对榆林市环境空气质量有一定影响,但影响主要在沙尘频发的春季。沙尘天气对榆林市 AQI、PM₁₀的影响大于对 PM_{2.5}的影响。具体而言,对 AQI 的贡献率为 0.7%—10.1%(平均值±标准差为 6.4%±3.8%),春季贡献率占全年总贡献 74.4%;对 PM₁₀的相对贡献率为 1.0%—13.1%(平均值±标准差 8.2%±5.4%),春季贡献率占全年 66.5%;对 PM_{2.5}相对贡献率为 -0.5%—4.7%,唯一负值出现在 2014 年 12 月,不足 1%的相对贡献率说明,沙尘天气对榆林市冬季空气质量影响较小。而在沙尘多发的春季,沙尘天气的出现一定程度上恶化了榆林市空气质量,但随着近年来沙尘天气的减少,其影响程度也随之下降。

参考文献:

[1] 郭勇涛,辛金元,李旭,等.沙尘对兰州市大气环境质量的影响[J].中国沙漠,2015,35(4):977-982.

[2] Li X H, Cheng H B. Influence of dust weather on air quality in Lanzhou city[J]. Meteorological and Environmental Research, 2013, 4(11): 56-58.

[3] Naimabadi A, Ghadiri A, Idani E, et al. Chemical composition of PM₁₀ and its in vitro toxicological impacts on lung cells during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran[J]. Environmental Pollution, 2016, 211(1): 316-324.

[4] Farahani V J, Arhami M. Contribution of Iraqi and Syrian dust storms on particulate matter concentration during a dust storm episode in receptor cities: case study of Tehran[J]. Atmospheric Environment, 2020, 222, 117113.

[5] An L C, Che H Z, Xue M, et al. Temporal and spatial variations in sand and dust storm events in East Asia from 2007 to 2016: relationships with surface conditions and climate change [J]. Science of the Total Environment, 2018, 633(3): 452-462.

[6] 张芝娟,衣育红,陈斌,等.2018 年春季中国北方大范围沙尘天气对城市空气质量的影响及其天气学分析[J].中国沙漠,

- 2019, 39(6): 13–22.
- [7] Lei Y L, Shen Z X, Wang Q Y, et al. Optical characteristics and source apportionment of brown carbon in winter PM_{2.5} over Yulin in Northern China [J]. *Atmospheric Research*, 2018, 213 (5): 27–33.
- [8] Guan Q Y, Sun X Z, Yang J, et al. Dust storms in Northern China: long-term spatiotemporal characteristics and climate controls [J]. *Journal of Climate*, 2017, 30(17): 6683–6700.
- [9] Song H Q, Zhang K S, Piao S L, et al. Spatial and temporal variations of spring dust emissions in northern China over the last 30 years [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 126: 117–127.
- [10] 王涛, 杨梅焕, 徐澜. 陕西榆林地区植被退化与沙漠化趋势分析 [J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(2): 104–111.
- [11] Zhou X P, Lu X, Lian H P, et al. Construction of a spatial planning system at city-level: case study of “integration of multi-planning” in Yulin City, China [J]. *Habitat International*, 2017, 65(1): 32–48.
- [12] 陈跃浩, 高庆先, 高文康, 等. 沙尘天气对大气环境质量影响的量化研究 [J]. *环境科学研究*, 2013, 26(4): 364–369.
- [13] Guan Q Y, Yang J, Zhao S L, et al. Climatological analysis of dust storms in the area surrounding the Tengger Desert during 1960–2007 [J]. *Climate Dynamics*, 2015, 45(3): 903–913.
- [14] 康林, 季明霞, 黄建平. 欧亚大气环流对中国北方夏季沙尘天气的影响 [J]. *中国沙漠*, 2014, 34(1): 197–205.
- [15] 王琼真. 亚洲沙尘长途传输中与典型大气污染物的混合和相互作用及其对城市空气质量的影响 [D]. 上海: 复旦大学, 2012.
- [16] 衣娜娜, 姜学恭, 董祝雷, 等. 内蒙古一次沙尘过程的数值模拟 [J]. *中国沙漠*, 2020, 40(3): 115–126.
- [17] Filonchik M, Yan H W, Shareef T M E, et al. Aerosol contamination survey during dust storm process in Northwestern China using ground, satellite observations and atmospheric modeling data [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2019, 135(1/2): 119–133.
- [18] 车慧正, 张小曳, 石广玉, 等. 沙尘和灰霾天气下毛乌素沙漠地区大气气溶胶的光学特征 [J]. *中国粉体技术*, 2005(3): 4–7.
- [19] 梁琳, 韩志伟, 李嘉伟, 等. 北京春季沙尘和霾期间气溶胶的对比模拟研究 [J]. *气候与环境研究*, 2020, 25(2): 125–138.
- [20] 陈亿, 尚可政, 王式功, 等. 21 世纪初中国北方沙尘天气特征及其与地面风速和植被的关系研究 [J]. *中国沙漠*, 2012, 32(6): 1702–1709.
- [21] 李丹华, 隆霄, 温晓培, 等. 河西走廊入口区下垫面对沙尘天气影响的模拟研究 [J]. *中国沙漠*, 2017, 37(6): 1210–1218.
- [22] 郭紫晨, 刘树林, 康文平, 等. 2000—2015 年毛乌素沙区植被覆盖度变化趋势 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(5): 1099–1107.
- [23] Amarloei A, Jafari A J, Mazloomi S. Study of particulate matters concentration and radiation rate in the atmosphere of Ilam city during middle east dust storms [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2020: 1–9.
- [24] Wang Z, Pan X L, Uno I, et al. Importance of mineral dust and anthropogenic pollutants mixing during a long-lasting high PM event over East Asia [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 234 (11): 368–378.
- [25] Borgie M, Ledoux F, Dagher Z, et al. Chemical characteristics of PM_{2.5–0.3} and PM_{0.3} and consequence of a dust storm episode at an urban site in Lebanon [J]. *Atmospheric Research*, 2016, 180(6): 274–286.
- [26] 张芝娟, 陈斌, 衣育红, 等. 丝绸之路经济带气溶胶的人为成份比例 [J]. *中国沙漠*, 2019, 39(4): 16–26.
- [27] Lei Y L, Shen Z X, Tang Z Y, et al. Aerosols chemical composition, light extinction, and source apportionment near a desert margin city, Yulin, China [J]. *Peerj*, 2020, 8(D14): e8447.
- [28] Dagsson-Waldhauserova P, Magnusdottir A O, Olafsson H, et al. The spatial variation of dust particulate matter concentrations during two icelandic dust storms in 2015 [J]. *Atmosphere*, 2016, 7(6): 77.
- [29] 艾沙江·艾力, 梁菲菲, 徐海量, 等. 和田绿洲沙尘暴物质输送路径及其对大气环境质量的影响 [J]. *环境科学学报*, 2020, 40(8): 2882–2891.
- [30] 陈杰, 赵素平, 殷代英, 等. 沙尘天气过程对中国北方城市空气质量的影响 [J]. *中国沙漠*, 2015, 35(2): 423–430.
- [31] 杨燕萍, 王莉娜, 杨丽丽, 等. 兰州市沙尘天气污染特征及潜在源区 [J]. *中国沙漠*, 2020, 40(3): 60–66.

Characteristics of dust events and their influence on air quality of Yulin, Shaanxi, China

Cui Juan¹, Wang Hao¹, Liu Jie¹, Wang Yue², Lu Lidong¹, Chen Jie¹

(1. Shaanxi Provincial Academy of Environmental Science, Xi'an 710061, China; 2. Climate Center of Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710014, China)

Abstract: Few studies were concerned in the quantitative influence of dust events on air quality of Yulin, China. Based on daily dust event and air quality data from 2013 to 2018, the relative and the absolute contributions of dust events were analyzed, on the air quality index (*AQI*), inhalable particles (PM_{10}), and fine particles ($PM_{2.5}$) concentrations. The results showed that the contribution rate of dust events on *AQI* were in the range of 0.7%–11.1% (annual average: $6.4\% \pm 3.8\%$). The absolute contribution of dust events on PM_{10} was within the scope of $1.0\text{--}13.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, and the annual average was $8.2 \pm 5.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, corresponding to $5.4\% \pm 3.5\%$ of the relative contribution. The impact of dust events on $PM_{2.5}$ was smaller than that on PM_{10} , with the absolute contribution ranged from -0.4 to $3.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The seasonal variation of dust events on air quality of Yulin was significant, with the bigger contribution in spring, and smaller in autumn and winter. The impacts of dust events in urban and outskirts areas were different, maybe related to local meteorological and topographical conditions.

Key words: dust events; air quality index; inhalable particles; fine particles