

王蕾,蒙瑞丽,曹磊,等.2016—2020年沙尘天气对陕西省空气质量的影响特征[J].中国沙漠,2022,42(4):130–138.

# 2016—2020年沙尘天气对陕西省空气质量的影响特征

王蕾<sup>1</sup>,蒙瑞丽<sup>1</sup>,曹磊<sup>1</sup>,高飞<sup>1</sup>,陈浩<sup>1,2</sup>,李毅辉<sup>1</sup>,张佳音<sup>1</sup>,  
闫东杰<sup>3</sup>,刘笑<sup>3</sup>,牛天田<sup>1</sup>,任静<sup>1,2</sup>

(1.陕西省环境监测中心站,陕西 西安 710054; 2.渭南市环境保护监测站,陕西 渭南 714000; 3.西安建筑科技大学 环境与市政工程学院,陕西 西安 710055)

**摘要:** 基于2016—2020年陕西省环境空气质量监测数据,分析沙尘天气对陕西省空气质量的影响特征。结果表明:(1)陕西省域沙尘天气过程每年发生9—19次,沙尘影响日每年20—46 d;春季为沙尘天气高发季,5月和3月为高发月;沙尘天气过程发生频数空间分布整体表现为自北向南、自东向西递减。(2)各城市沙尘天气过程持续时间2—120 h,关中城市持续时长总体高于陕北和陕南城市;不同沙尘天气过程PM<sub>10</sub>峰值浓度变化范围大,最高值出现在榆林(3 219 μg·m<sup>-3</sup>)。(3)2018年沙尘天气对陕西省PM<sub>10</sub>年均浓度影响最大,2020年影响最小,年均浓度绝对贡献分别为9.3 μg·m<sup>-3</sup>和2.9 μg·m<sup>-3</sup>;各城市沙尘影响日超标占比66.7%—89.7%,污染等级以轻度 and 中度污染为主,严重和重度污染较少;榆林、延安和商洛的严重污染100%来源于沙尘天气,关中5市的严重污染20.5%—66.7%来源于沙尘天气。

**关键词:** 沙尘天气; 陕西省; 空气质量; PM<sub>10</sub>

**文章编号:** 1000-694X(2022)04-130-09  
**中图分类号:** X51

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.000064  
**文献标志码:** A

## 0 引言

沙尘天气指大风将沙粒、尘土悬浮空中,使空气混浊、大气能见度降低的现象<sup>[1]</sup>。沙尘天气的发生是地球物质循环的重要方式,可对当地的生产生活、自然环境和人体健康造成不利影响<sup>[2]</sup>。随着人们对沙尘天气带来的环境问题关注度的提高,国内外学者开展了大量沙尘天气对空气质量影响方面的工作。Barnaba等<sup>[3]</sup>发现意大利2006—2012年发生的沙尘天气对年平均PM<sub>10</sub>的影响具有明显的纬度梯度特征。陈杰等<sup>[4]</sup>研究指出沙尘天气过程对中国北方不同城市颗粒物和气体污染物浓度有不同程度的影响,总体表现为PM<sub>10</sub>浓度骤升,PM<sub>2.5</sub>浓度显著增加,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>和CO浓度降低,O<sub>3</sub>浓度变化小。韩兰英等<sup>[5]</sup>和陶健红<sup>[6]</sup>研究指出,由于干旱、少雨以及沙漠化形势严峻等原因,中国西北地区风大沙多,不仅是沙尘天气和沙尘暴的易发地区,也是

中国城市空气质量受沙尘天气影响最大的地区。大量研究表明,由于沙尘的移动和远距离传输性,上游沙尘的输送作用使非沙尘源区城市颗粒物浓度也会受较大影响,且其影响具有地域差异性<sup>[7-10]</sup>。

陕西省处于沙尘天气的传输路径上,当上游沙尘源区出现较强沙尘天气时,陕西各个城市的颗粒物浓度受到不同程度的影响,空气质量明显下降<sup>[11]</sup>。目前,关于陕西省空气质量受沙尘天气影响的研究十分有限。薛四社等<sup>[12]</sup>研究表明2011年陕西省沙尘天气是春季城市颗粒物高污染的主因;王建鹏等<sup>[13]</sup>研究指出西安市沙尘天气频发造成了全年颗粒物浓度的次高峰;宁海文等<sup>[14]</sup>研究指出西安市春季沙尘明显提高了PM<sub>10</sub>的月均浓度;崔娟等<sup>[15]</sup>研究表明榆林市沙尘天气对颗粒物的贡献具有季节和地区差异。这些研究多限于2013年中国实施《环境空气质量标准(GB3095—2012)》之前的时期,在研

收稿日期:2022-04-28; 改回日期:2022-05-27

资助项目:陕西省自然科学基金项目(2020JQ-982,2021JQ-963)

作者简介:王蕾(1983—),女,陕西商洛人,博士,高级工程师,研究方向为环境质量综合分析与评价。E-mail: 19416253@qq.com

通信作者:曹磊(E-mail: 30377511@qq.com)

究对象上仅涉及个别城市,缺少同时涉及全省城市的沙尘天气影响空气质量量化研究。

本文基于陕西省城市环境空气质量逐时逐日监测数据,识别统计2016—2020年陕西省沙尘天气影响过程发生情况,定量分析省域尺度和城市尺度的空气质量影响特征,以期对陕西省大气污染防治和空气质量预警工作提供技术参考。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 研究区域和数据来源

陕西省地处西北地区东部,北部毗邻毛乌素沙地和库布齐沙漠,西北方向分布着巴丹吉林、腾格里等众多沙漠。陕西省地形狭长、地理位置特殊,按照气候和地形地貌,自北向南可分为陕北黄土高原、关中平原和陕南秦巴山地三大自然区。陕西省10个城市中榆林、延安位于陕北,铜川、宝鸡、咸阳、

西安、渭南位于关中,汉中、安康、商洛位于陕南。陕西省地理位置及城市位置如图1所示。环境空气质量数据来源于陕西省空气质量联网监测管理平台(<http://221.11.17.250:9000/Home>),均采用国家审核后的数据。

### 1.2 沙尘天气强度分级和沙尘天气过程识别方法

沙尘天气强度分级采用生态环境部门《沙尘天气分级技术规定》(总站生字[2004]31号)<sup>[16]</sup>,按颗粒物小时浓度分级方法分为受沙尘天气影响、浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴,其中 $600 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq \text{PM}_{10} < 1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 且持续时间 $\geq 2 \text{ h}$ ,为浮尘; $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq \text{PM}_{10} < 2000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 且持续时间 $\geq 2 \text{ h}$ ,为扬沙; $2000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \leq \text{PM}_{10} < 4000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 且持续时间 $\geq 1 \text{ h}$ ,为沙尘暴; $\text{PM}_{10} \geq 4000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 且持续时间 $\geq 1 \text{ h}$ ,为强沙尘暴;沙尘天气持续时间达不到规定时间时分级下降一级,未达到分级标准的统称为受沙尘天气影响。

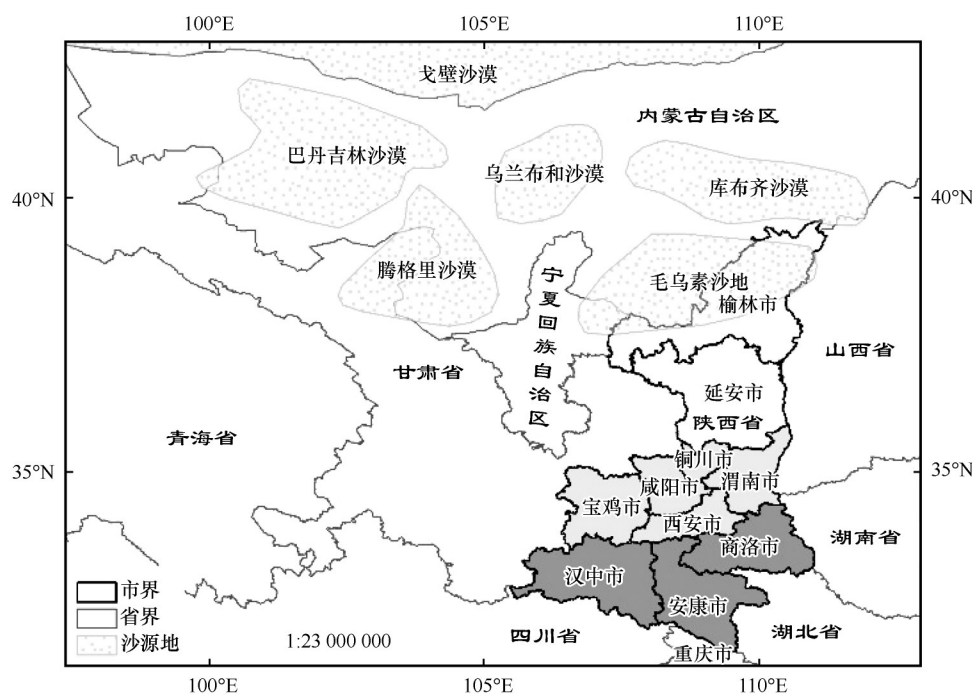


图1 陕西省地理位置及城市位置示意图

Fig.1 The geographical location of cities in Shaanxi province

沙尘天气过程识别及沙尘天气起止时间、沙尘影响日,参考生态环境部门发布的《受沙尘天气过程影响城市空气质量评价补充规定》(环办监测[2016]120号)<sup>[17]</sup>和《关于沙尘天气过程影响扣除有关问题的通知》(总站气字[2020]76号)<sup>[18]</sup>,结合气象部门沙尘纪要、卫星遥感监测结果等实况观测资

料综合判定。沙尘天气影响持续时间(Duration Time, DT)以沙尘天气结束时间点距开始时间点经历的时长计算。

### 1.3 沙尘天气对空气质量影响评价方法

沙尘天气对陕西省及城市 $\text{PM}_{10}$ 浓度的贡献评

价方法:分别计算城市剔除沙尘影响日前的 $PM_{10}$ 年均浓度 $C_o$ 和剔除沙尘影响日后的 $PM_{10}$ 年均浓度 $C_e$ ,将剔除沙尘影响日前后 $PM_{10}$ 年均浓度的差值定义为沙尘天气影响对城市 $PM_{10}$ 的绝对贡献 $\Delta C$ ,进而以此浓度差值占剔除沙尘影响日前 $PM_{10}$ 年均浓度的占比计算该城市 $PM_{10}$ 浓度的沙尘源贡献率 $CR$ ,即:

$$\Delta C = C_o - C_e \quad (1)$$

$$CR = (\Delta C / C_o) \times 100\% \quad (2)$$

沙尘影响日空气质量等级依据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)<sup>[19]</sup>判定。当城市 $PM_{10}$  24 h平均值大于 $150 \mu g \cdot m^{-3}$ 时,当日 $PM_{10}$ 超标。其中 $150 \mu g \cdot m^{-3} < PM_{10} \leq 250 \mu g \cdot m^{-3}$ ,当日 $PM_{10}$ 为轻度污染; $250 \mu g \cdot m^{-3} < PM_{10} \leq 350 \mu g \cdot m^{-3}$ ,当日 $PM_{10}$ 为中度污染; $350 \mu g \cdot m^{-3} < PM_{10} \leq 420 \mu g \cdot m^{-3}$ ,当日 $PM_{10}$ 为重度污染; $PM_{10} > 420 \mu g \cdot m^{-3}$ ,当日 $PM_{10}$ 严重污染。统计沙尘影响日各空气质量级别发生频数及各级别在沙尘影响日中的占比,计算分析沙尘影响日超标情况。不同等级污染天的沙尘源贡献率以实际发生的各级别污染天中的沙尘影响日的占比计算。四季划分采用气象季节定义,即3、4、5月为春季,6、7、8月为夏季,9、10、11月为秋季,12、1、2月为冬季。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙尘天气发生概况

#### 2.1.1 沙尘天气过程发生频次、范围和沙尘影响日年际变化

2016—2020年陕西省域尺度沙尘天气过程年发生频数9—19次,平均每年14.8次,5年累计74次;沙尘影响日每年20—46 d,平均每年31.4 d,5年累计157 d(表1)。其中,2018年陕西省域沙尘天气过程频次和沙尘影响日均最多,沙尘影响日占全年比例达12.6%;2017年沙尘天气过程频次和沙尘天气影响日均最少,沙尘影响日占全年比例为5.5%。从2016—2020年陕西省沙尘天气影响城市看,除安康市2017年外,各城市每年均受到沙尘天气影响;从沙尘天气过程影响涉及的城市数量看,单次沙尘天气过程影响范围1—10个城市,2016—2020年陕西省域平均的沙尘天气影响范围5—7个城市,影响范围有缩小的趋势(表1);全范围(涉及10个城市)和较大范围(涉及8—9个城市)的沙尘天气影响过

程5年累计29次,占总沙尘过程的39.2%。

表1 2016—2020年陕西省域尺度沙尘天气过程和沙尘影响日统计结果

Table 1 Statistical results of dust events and dust impact days in Shaanxi province from 2016 to 2020

年份	沙尘天气过程		沙尘影响日	
	年发生频数/次	影响范围(平均涉及城市数量)/个	年发生天数/d	占全年比例/%
2016	13	7	29	7.9
2017	9	6	20	5.5
2018	19	6	46	12.6
2019	14	6	27	7.4
2020	19	5	35	9.6
5年累计	74	10	157	—
5年平均	14.8	6	31.4	8.6

当陕西省域内有1个或以上城市被判定为沙尘天气影响时计为1次或1 d,统计不包含本地扬尘和局地沙尘。

#### 2.1.2 沙尘天气过程发生的季节和月份变化

2016—2020年陕西省域沙尘天气过程年内发生频数具有明显的月、季分布特征(图2)。春季是沙尘天气过程高发季节(共47次),占63.5%,其次是冬季(共13次)和秋季(共10次),合计占31.1%,夏季频次最低(共4次);2016—2020年每年2—5月均发生沙尘天气过程,其中5月、3月为沙尘天气影响高发月,4月、2月为次活跃月份,7—8月为沙尘天气零发生月。这是因为大气环流形势、风速风向和植被覆盖、降水等影响下垫面状况的因素均存在季节变化<sup>[20]</sup>。春季受沙尘天气影响频数高,主要与春

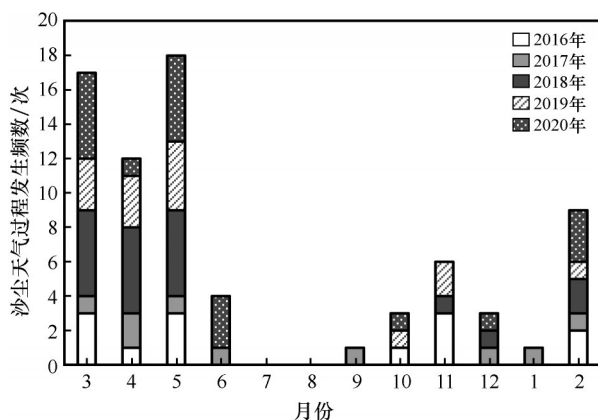


图2 2016—2020年陕西省域尺度沙尘天气过程发生频数季节和月份分布

Fig.2 Seasonal and monthly distribution of frequency of dust events in Shaanxi province from 2016 to 2020



季冷暖空气活动频繁,温带气旋及大风天气增多,降水偏少,气温升高引起冰雪融化后裸露土地面积增大等因素有关;夏季雨水增多,植被覆盖率升高,沙尘发生频次明显减少。

## 2.2 沙尘天气过程和沙尘影响日的空间分布特征

2016—2020年陕西省10个城市5年累计发生沙尘天气过程合计427次(图3),5年累计发生次数榆林(69次)>延安(56次)>渭南(51次)>西安(48次)>咸阳(46次)>宝鸡(43次)>铜川(42次)>商洛(37次)>汉中(22次)>安康(14次)。2016—2020年陕西省各城市沙尘天气过程发生次数具有明显的区域差异,整体表现为自北向南、自东向西递减的趋势。陕北榆林和延安(年均13.6次和11.2次)为沙尘天气影响高发城市,关中5市(年均8.4—10.2次)为沙尘天气影响次高发城市,其中关中中东部渭南、西安、咸阳发生次数多于关中西部宝鸡和北部铜川;陕南城市沙尘天气相对少(年均2.8—7.4次),其中陕南东部商洛高于陕南中西部的汉中、安康。2016—2020年陕西省10个城市的5年累计沙尘影响日合计723 d,5年累计沙尘影响日数榆林(105 d)>渭南(93 d)>延安(90 d)>西安(87 d)=咸阳(87 d)>铜川(78 d)>宝鸡(74 d)>商洛(61 d)>汉中(27 d)>安康(21 d)。2016—2020年陕西省各城市沙

尘影响日数的GIS空间表征结果显示,陕西省城市沙尘天气影响日数也具有明显的区域差异,整体表现为中北部多南部少,东部比西部多的趋势。对照发现,沙尘天气影响日数的排序和沙尘天气过程发生次数的排序不完全一致(渭南、铜川沙尘影响日排序较沙尘过程发生次数排序提前),这是因为同一次沙尘过程,不同城市到达的时间先后、持续时间不同<sup>[11]</sup>。

沙尘天气影响的空间分布与地理位置和地形特征有很大关系,邻近沙漠地区沙尘天气多强度大,远离沙漠地区沙尘天气少强度小<sup>[10]</sup>。陕西省北向和西北方向沙漠沙地众多,陕西省处于冷空气入侵中国的西北路、北路、西路传输通道的下风向(图1),易受沙尘传输的影响<sup>[11]</sup>。陕北是中国黄土高原的主要组成部分,陕北长城沿线以北为毛乌素沙地和库布齐沙漠,长城沿线以南地表被黄土覆盖,为沙尘天气的频繁发生提供了丰富的沙源、尘源,西北风或偏北风强劲时这里直接起沙或上游沙尘传输到这里得到补充和加强,使得陕北成为沙尘向下游进一步传输的潜在沙尘源区;关中盆地地处黄土高原南部地区,是一个西部缩窄闭合,向东开阔的盆地平原,关中东部由于同时位于北路沙尘和西北路沙尘的传输路径上,所以受沙尘天气影响频次仅次于陕北;陕南地区由于秦岭山脉的阻挡发生

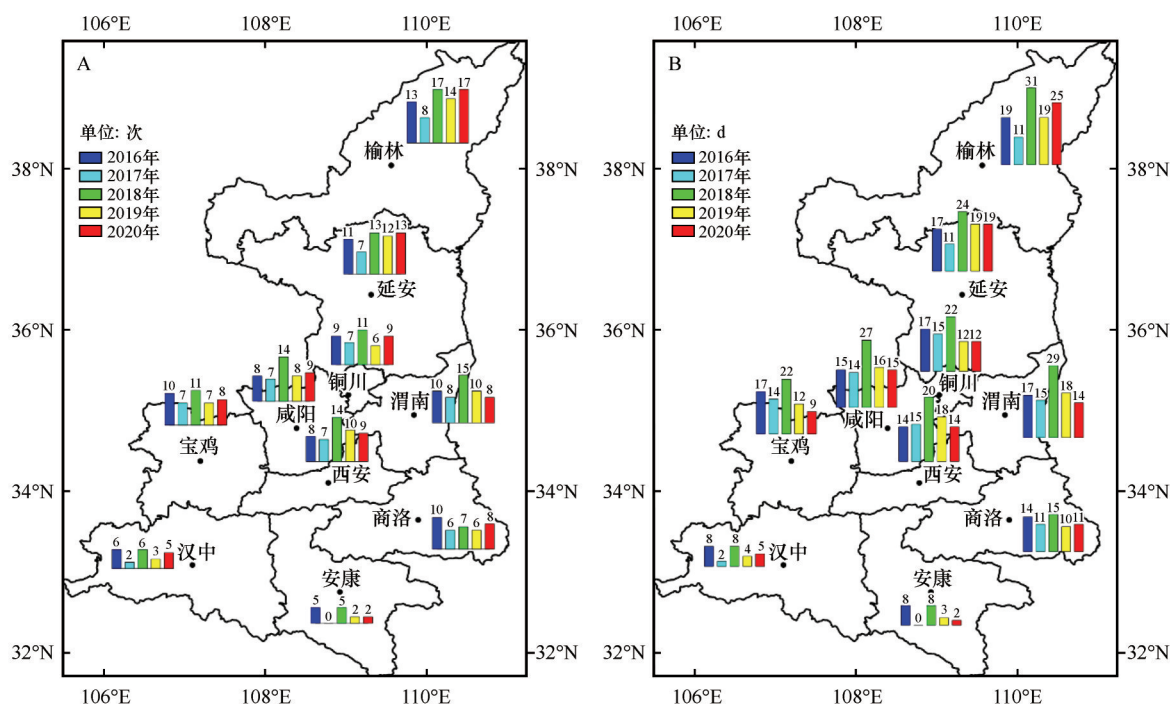


图3 2016—2020年陕西省城市沙尘天气过程发生频数(A)和沙尘影响日数(B)

Fig.3 Incidence times of dust events (A) and dust impact days (B) in cities of Shaanxi province from 2016 to 2020

沙尘天气的频次相对少,其中安康由于位于陕南中部,是陕西省受沙尘天气影响最少的城市。

### 2.3 沙尘天气过程持续时间、沙尘强度和 $PM_{10}$ 峰值特征

2016—2020年陕西省城市沙尘天气过程持续时长为2—120 h(图4),持续2—12 h的占比为23.5%—42.9%,持续时间在24 h内的占比为51.0%—81.8%,持续时间在48 h内的过程占比为78.6%—95.5%,表现出陕西省城市大部分沙尘天气过程影响时间在1—2 d的特征。对照每次沙尘天气过程各城市的持续时间发现,关中城市沙尘天气过程影响时长总体上高于陕北和陕南城市。超过3 d的沙尘天气影响过程较少,涉及除汉中、安康外的8个城市,主要发生在5个典型过程:2016年3月4日

至9日、2017年5月3日至7日、2018年11月26日至29日、2018年12月2日至5日、2019年5月12日至16日。这些持续时间较长的过程可以分为三类:一是大范围沙尘暴过程,二是扬沙过程过境后回流,三是扬沙过程动力减小后滞留。城市沙尘天气影响持续时长与沙源地距离、沙尘天气强度、传输路径、地形条件、大气扩散条件等有关<sup>[21-22]</sup>。对于陕西省来说,关中和陕南中部由于地形原因,扩散条件相对差。以关中为例,上游沙尘传输到关中地区受到由西向东倾斜的黄土高原高山地形的阻挡,使地面风力减弱,同时由于秦岭的阻挡,沙尘滞留难以扩散,只能凭借干湿沉降缓慢消散;另外关中地区还经常出现西北冷空气过境后风向转为偏东风造成  $PM_{10}$  浓度再次出现次高峰的沙尘回流现象。

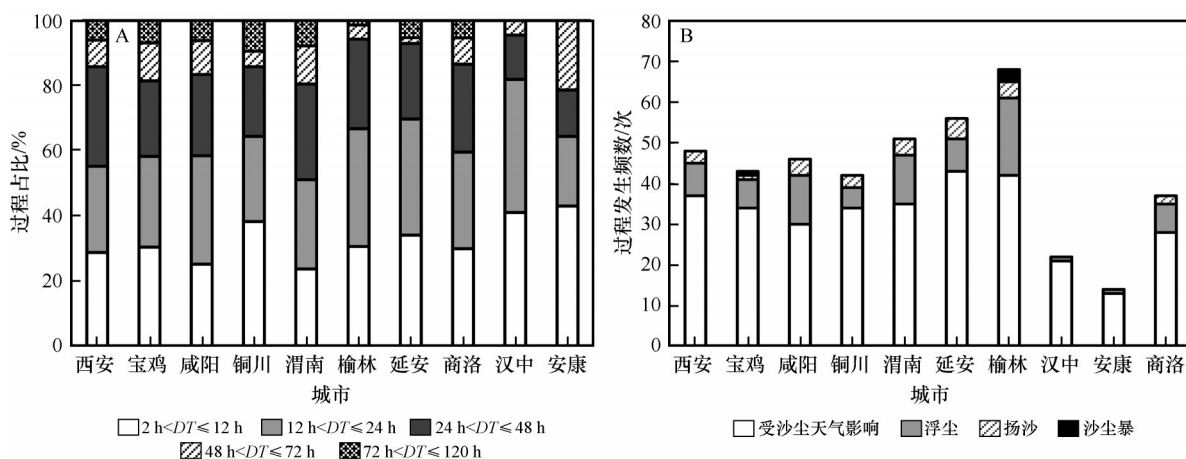


图4 2016—2020年陕西省城市不同持续时间(DT)沙尘天气过程占比(A)和不同强度沙尘天气过程发生频数(B)

Fig.4 Proportion of dust events with different durations (A) and frequency of dust events with different levels (B) in cities of Shaanxi province from 2016 to 2020

2016—2020年陕西省各城市沙尘天气级别以受沙尘天气影响(61.8%—95.5%)和浮尘天气(4.5%—27.9%)为主,扬沙和沙尘暴出现频次较少,扬沙涉及8个城市(1—5次),沙尘暴仅涉及榆林和宝鸡2个城市(1—3次)。榆林分别于2017年5月5日、2018年2月9日和2018年5月26日发生沙尘暴;宝鸡于2019年5月12日发生沙尘暴。据中央气象台《大气环境气象公报(2020年)》,2016—2020年中国沙尘天气过程主要为浮尘和扬沙天气,沙尘暴天气过程发生频次整体呈下降趋势<sup>[23]</sup>。陕西省大部位于中国西北沙尘源区的下游,沙尘向下游传输过程中沙尘不断沉降,峰值不断降低,因此沙尘级别更低,沙尘强度更小。

当城市受沙尘天气过程影响时, $PM_{10}$ 浓度快速

攀升达到峰值后逐渐下降<sup>[11]</sup>,具有明显的峰型变化特征,沙尘天气过程的峰值浓度也反映了沙尘天气过程的最大强度。2016—2020年陕西省各城市的沙尘天气过程最大峰值浓度均出现在春季,各地市5年75百分位峰值浓度366—781  $\mu g \cdot m^{-3}$ ,平均峰值浓度322—702  $\mu g \cdot m^{-3}$ ,变异系数0.46—0.79(表2),显示各城市不同沙尘天气过程的峰值浓度较为离散,峰值浓度变化范围大。陕西省  $PM_{10}$  峰值浓度最高值出现在榆林2017年5月5日03:00,为3 219  $\mu g \cdot m^{-3}$ ,达到沙尘暴级别。延安、关中5市和商洛  $PM_{10}$  最大峰值浓度1 522—2 060  $\mu g \cdot m^{-3}$ ,以扬沙为主;汉中和安康最大峰值浓度778—968  $\mu g \cdot m^{-3}$ ,达到浮尘天气级别。

表 2  2016—2020 年陕西省城市沙尘天气过程 PM<sub>10</sub> 小时峰值浓度 (μg·m<sup>-3</sup>) 统计结果

Table 2  Results of PM<sub>10</sub> hourly peak concentration (μg·m<sup>-3</sup>) of dust events in cities of Shaanxi province from 2016 to 2020

城市	最大峰值	最大峰值出现时间	75 百分位峰值	平均峰值	变异系数
西安	1 563	2019 年 5 月 12 日 12:00	565	481	0.64
宝鸡	2 060	2019 年 5 月 12 日 09:00	597	507	0.71
咸阳	1 910	2019 年 5 月 12 日 11:00	681	574	0.61
铜川	1 522	2019 年 5 月 12 日 11:00	577	512	0.61
渭南	1 618	2018 年 4 月 4 日 15:00	760	577	0.59
延安	1 889	2017 年 5 月 5 日 06:00	636	540	0.74
榆林	3 219	2017 年 5 月 5 日 03:00	781	702	0.79
汉中	778	2020 年 3 月 26 日 13:00	366	322	0.46
安康	968	2016 年 5 月 12 日 13:00	378	347	0.54
商洛	1 543	2019 年 5 月 12 日 17:00	624	501	0.64

2.4  沙尘天气对陕西省及城市 PM<sub>10</sub> 浓度的贡献

2016—2020 年陕西省各城市沙尘天气发生对 PM<sub>10</sub> 年均浓度的绝对贡献 ΔC 榆林 (8.6±3.3 μg·m<sup>-3</sup>)

>渭南 (7.8±4.2 μg·m<sup>-3</sup>)>咸阳 (7.0±3.3 μg·m<sup>-3</sup>)>西安 (6.4±2.7 μg·m<sup>-3</sup>)>延安 (6.0±1.8 μg·m<sup>-3</sup>)>铜川 (5.6±2.2 μg·m<sup>-3</sup>)=宝鸡 (5.6±2.6 μg·m<sup>-3</sup>)>商洛 (5.4±1.4 μg·m<sup>-3</sup>)>安康 (1.6±1.2 μg·m<sup>-3</sup>)>汉中 (1.4±0.5 μg·m<sup>-3</sup>)。沙尘天气对陕西省及大部分城市 PM<sub>10</sub> 年均浓度有明显影响 (图 5)。其中 2018 年对陕西省 PM<sub>10</sub> 年均浓度绝对贡献最大,为 9.3 μg·m<sup>-3</sup> (各城市 ΔC 范围 2—15 μg·m<sup>-3</sup>),2020 年对陕西省 PM<sub>10</sub> 年均浓度绝对贡献最小,为 2.9 μg·m<sup>-3</sup> (各城市 ΔC 范围 1—7 μg·m<sup>-3</sup>)。2018 年、2020 年陕西省域沙尘频次均为 19 次 (5 年中最多),但从沙尘天气级别结果看 2018 年沙尘强度较大的过程较多,2020 年沙尘天气强度整体偏弱使得 2018 年和 2020 年陕西省 PM<sub>10</sub> 平均浓度绝对贡献量不同 (表 1)。《大气环境气象公报 (2020 年)》指出 2020 年春季中国沙源地冷空气较常年偏弱、大风日数减少、前期降水量偏多等气象条件有利于沙尘天气减少和减弱<sup>[23]</sup>。

陕西省各城市 PM<sub>10</sub> 年均浓度沙尘源贡献率 CR 榆林 (11.5%)>商洛 (8.8%)>延安 (7.8%)>渭南 (6.5%)>铜川 (6.3%)>咸阳 (5.9%)=宝鸡 (5.9%)>西

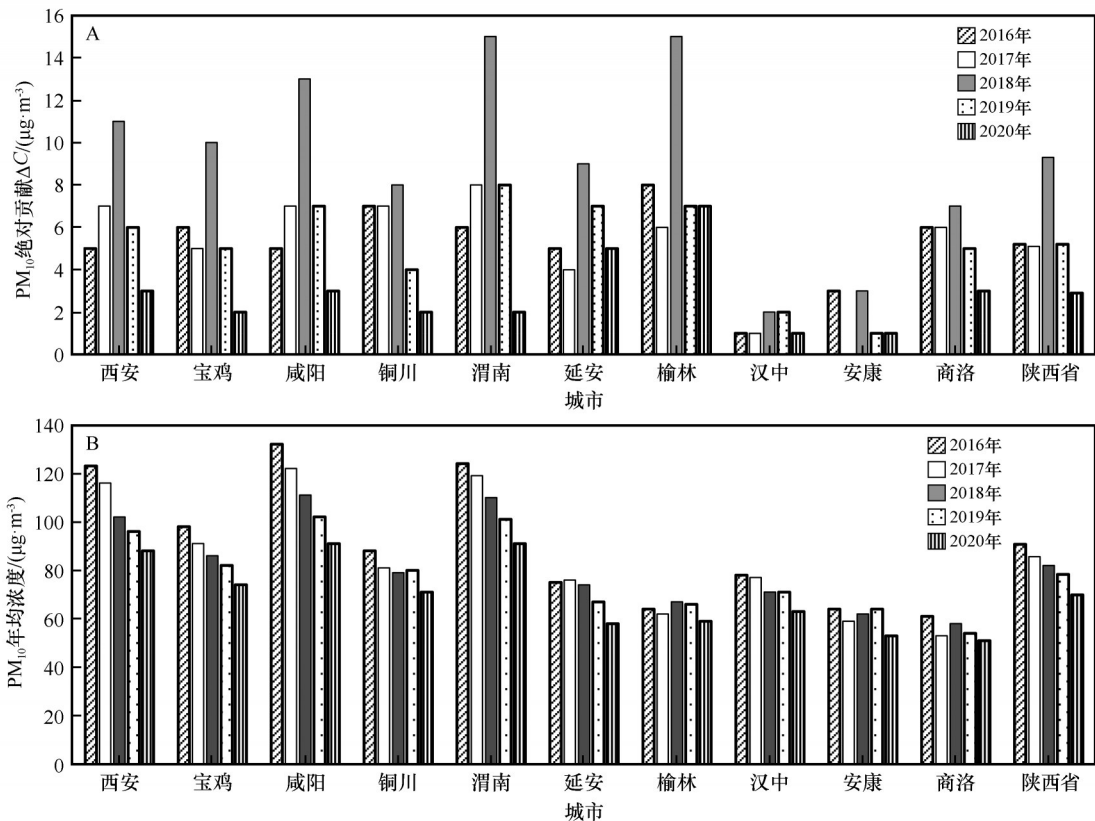


图 5  2016—2020 年陕西省及城市沙尘天气影响对 PM<sub>10</sub> 的绝对贡献 (A) 和 PM<sub>10</sub> 年均浓度 (B)  
Fig.5  Absolute contribution of dust events to PM<sub>10</sub> (A) and annual average concentration of PM<sub>10</sub> (B) in cities and Shaanxi province from 2016 to 2020



安(5.7%)>安康(2.5%)>汉中(1.9%)。商洛沙尘源贡献率排序提前明显,仅次于榆林,排在关中城市之前。这是因为商洛环境空气质量较好,年均 $PM_{10}$ 浓度较低(图5),彰显了沙尘来源;关中城市 $PM_{10}$ 年均浓度整体高于陕北和陕南城市,这是由于关中地区人口密集,经济社会发展带来的道路和施工扬尘、机动车、工业生产等人为来源比重较大,尤其是秋冬季灰霾天气较多, $PM_{2.5}$ 浓度大幅升高也提升了 $PM_{10}$ 的年均浓度<sup>[11,24]</sup>。另外,2016—2020年陕西省及各城市 $PM_{10}$ 年均浓度呈一致的逐年下降趋势,说明陕西省大气污染防治效果显著,随着大气污染防治工作的不断深入开展,陕西省 $PM_{10}$ 年均浓度有望进一步减小,各地市沙尘天气对 $PM_{10}$ 的源贡献占比还会进一步增加。尽管从中国沙尘天气的发生历史看,沙尘天气对西北部及陕西省的影响都不可避免<sup>[2]</sup>,但从库布齐沙漠的生态治理有效降低受影响地区的 $PM_{10}$ 浓度<sup>[25]</sup>、陕西省毛乌素沙地治理减少荒漠化土地<sup>[26]</sup>、“三北”防护林建设减少风沙危害<sup>[27]</sup>等研究成果看,坚持和科学地进行生态治理,仍是需要持续努力的方向。

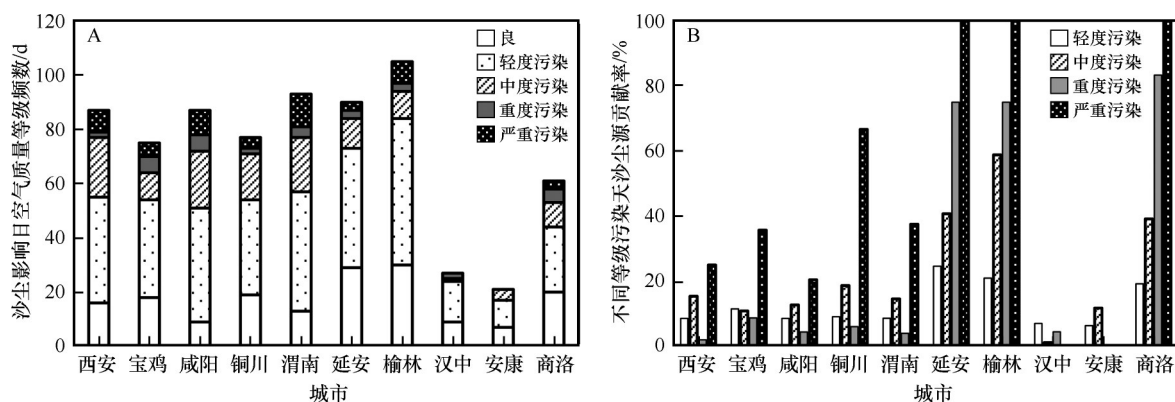


图6 2016—2020年陕西省城市沙尘影响日空气质量等级分布(A)和不同等级污染天沙尘源贡献(B)

Fig.6 Distribution of air quality grades of dust impact days (A) and proportion of dust impact days of different pollution grades of dust source (B) in cities of Shaanxi province from 2016 to 2020

### 3 结论

2016—2020年陕西省域沙尘天气影响范围年平均5—7个城市,影响范围有缩小趋势;沙尘天气过程年发生频数为9—19次,沙尘影响日每年20—46 d,其中2018年沙尘天气过程发生频次最高,沙尘影响日最多;沙尘天气主要发生在春季(63.5%),其次是秋冬季(31.1%);5月、3月为高发月,7月、8月为零发生月。

### 2.5 沙尘影响日空气质量超标特征及不同等级污染天的沙尘源贡献

2016—2020年陕西省除汉中(未出现严重污染)和安康(未出现重度及严重污染)外,其余各城市沙尘影响日空气质量等级从良到严重污染均有分布(图6),沙尘影响日空气质量超标占比66.7%—89.7%,污染等级出现频数由高到低依次是轻度污染、中度污染、严重污染和重度污染,平均占比依次为47.4%、17.3%、7.2%和4.6%。2016—2020年陕西省各城市不同等级污染天的沙尘源贡献差异明显,榆林、延安和商洛污染等级越高,沙尘源贡献越大,其中严重污染天沙尘源贡献为100%,重度污染天中75.0%—83.3%来源于沙尘天气影响,中度和轻度污染分别有39.1%—58.8%和19.2%—24.6%来源于沙尘天气影响。关中5市不同等级污染天中严重污染天的沙尘影响占比最大,铜川、渭南、宝鸡、西安、咸阳分别有66.7%、37.5%、35.7%、25.0%和20.5%来源于沙尘天气影响。从首要污染物分析结果看,关中5市的其余严重污染天主要来源于秋冬季的灰霾天气。

2016—2020年陕西省各城市沙尘天气过程5年累计发生14—68次,位居前三的城市分别为榆林、延安和渭南;各城市5年累计沙尘影响日数为21—105 d,位居前三的城市分别为榆林、渭南和延安;沙尘天气过程发生频数和沙尘影响日空间分布整体表现为自北向南、自东向西递减的区域差异。

2016—2020年陕西省各城市沙尘天气过程持续2—120 h,大部分沙尘天气过程影响时长1—2 d,关中城市持续时长总体高于陕北和陕南城市;城市

沙尘天气强度级别以受沙尘天气影响和浮尘天气为主,扬沙和沙尘暴出现频次较少,不同沙尘天气过程 $\text{PM}_{10}$ 峰值浓度变化范围大,最高值出现在榆林( $3\,219\,\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )。

2016—2020年陕西省各城市沙尘天气对 $\text{PM}_{10}$ 年均浓度绝对贡献 $1.4\text{—}8.6\,\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,各城市 $\text{PM}_{10}$ 年均浓度沙尘源贡献率 $1.9\%\text{—}11.5\%$ 。2018年陕西省沙尘天气对 $\text{PM}_{10}$ 浓度影响最大,2020年最小,年均浓度绝对贡献分别为 $9.3\,\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $2.9\,\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2016—2020年陕西省城市沙尘影响日超标占比 $66.7\%\text{—}89.7\%$ ,其中污染等级以轻度和中度污染为主,严重和重度污染较少。榆林、延安和商洛严重污染全部来源于沙尘天气影响,重度污染中 $75.0\%\text{—}83.3\%$ 来源于沙尘天气影响;关中5市不同等级的污染天中严重污染的沙尘影响占比最大, $20.5\%\text{—}66.7\%$ 来源于沙尘天气影响。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.沙尘天气等级:GB-T 20480-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [2] 柳本立,彭婉月,刘树林,等.2021年3月中旬东亚中部沙尘天气地面起尘量及源区贡献率估算[J].中国沙漠,2022,42(1):79-86.
- [3] Barnaba F, Romero N A, Bolignano A, et al. Multiannual assessment of the desert dust impact on air quality in Italy combining  $\text{PM}_{10}$  data with physics-based and geostatistical models[J]. Environment International, 2022, 163: 107204.
- [4] 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.
- [5] 韩兰英,张强,郭锐,等.中国西北地区沙尘天气的时空位移特征[J].中国沙漠,2012,32(2):454-457.
- [6] 陶健红.西北地区沙尘天气的气候特征及其影响研究[D].南京:南京信息工程大学,2007.
- [7] 李亮,李健军,王瑞斌,等.2005—2010年沙尘天气影响我国城市环境空气质量分析[J].中国环境监测,2013,29(3):15-19.
- [8] 杜吴鹏,高庆先,王跃思,等.沙尘天气对我国北方城市大气环境质量的影响[J].环境科学研究,2009,22(9):1021-1026.
- [9] 冯鑫媛,王式功,杨德保,等.近几年沙尘天气对中国北方环保重点城市可吸入颗粒物污染的影响[J].中国沙漠,2011,31(3):735-740.
- [10] Tong P F, Chen S X, Tang C Y. Detecting and evaluating dust-events in North China with ground air quality data[J]. Earth and Space Science, 2022, 9(1): 1-19.
- [11] 胡元洁,蒋楠.沙尘天气对西安市环境空气质量的影响[J].中国沙漠,2020,40(6):53-60.
- [12] 薛四社,高雪玲,杨玉珍,等.沙尘天气对陕西城市环境空气中可吸入颗粒物浓度的影响[J].农业与技术,2012,32(7):117-119.
- [13] 王建鹏,王式功,孟小绒,等.沙尘天气等对西安市空气污染影响的研究[J].中国沙漠,2004,24(5):558-564.
- [14] 宁海文,王式功,杜继稳.西安沙尘天气特征及其对空气质量的影响[J].中国沙漠,2005,25(6):886-890.
- [15] 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.
- [16] 中国环境监测总站.沙尘天气分级技术规定[Z].北京,2004.
- [17] 中华人民共和国环境保护部.受沙尘天气过程影响城市空气质量评价补充规定[Z].北京,2017.
- [18] 中国环境监测总站.关于沙尘天气过程影响扣除有关问题的通知[Z].北京,2020.
- [19] 环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行):HJ 633-2012[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [20] 侯威,孙树鹏,张世轩,等.东亚地区大气环流的季节划分及其时空变化特征[J].物理学报,2011,60(10):781-789.
- [21] Wang F, Zhao X Q, Gerlein-Safdi C, et al. Global sources, emissions, transport and deposition of dust and sand and their effects on the climate and environment: a review[J]. Frontiers of Environmental Science and Engineering, 2017, 11(1): 13.
- [22] Wang S G, Wang J Y, Zhou Z J, et al. Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39(3): 509-520.
- [23] 编写组.大气环境气象公报(2020年)[R].北京:中国气象局,2020:44-46.
- [24] 田鹏山.关中地区 $\text{PM}_{2.5}$ 的时空分布特征及来源解析[D].北京:中国科学院研究生院,2015.
- [25] 魏巍,张稳定,陈焕盛,等.库布齐沙漠治理对京津冀地区空气质量影响:2017年5月3-6日沙尘天气模拟[J].中国沙漠,2020,40(1):77-87.
- [26] 朱刚.陕北毛乌素沙地生态修复效果分析[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(6):90-97.
- [27] 晏健钧,付小龙,郝芷仪,等.陕西省三北防护林建设成就与问题及建议[J].陕西林业科技,2021,49(1):97-99.



## Influence of dust events on air quality of Shaanxi province from 2016 to 2020

Wang Lei<sup>1</sup>, Meng Ruili<sup>1</sup>, Cao Lei<sup>1</sup>, Gao Fei<sup>1</sup>, Chen Hao<sup>1,2</sup>, Li Yihui<sup>1</sup>, Zhang Jiayin<sup>1</sup>,  
Yan Dongjie<sup>3</sup>, Liu Xiao<sup>3</sup>, Niu Tiantian<sup>1</sup>, Ren Jing<sup>1,2</sup>

(1. Shaanxi Environmental Monitoring Center, Xi'an 710054, China; 2. Weinan Environmental Monitoring Station, Weinan 714000 Shaanxi, China; 3. School of Environment and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Based on the monitoring data of ambient air quality in Shaanxi province from 2016 to 2020, the characteristics of dust events and their influence on air quality in Shaanxi province were analyzed. The results show that: (1) The dust events in Shaanxi province occurs 9–19 times a year, and the dust impact days are 20–46 days a year; Dust events mainly occurs in spring, with high incidence in May and March; The spatial distribution of dust events frequency decreases from north to south and from east to west. (2) The duration of the dust influence process in the cities ranges from 2 to 120 hours, and the duration in cities in Guanzhong is generally longer than that in northern Shaanxi and southern Shaanxi; The peak concentration of  $PM_{10}$  varies widely in different dust influence processes, and the highest value appears in Yulin ( $3\ 219\ \mu g \cdot m^{-3}$ ). (3) Dust events has the greatest impact on the annual average concentration of  $PM_{10}$  in Shaanxi province in 2018 and the smallest in 2020, with the absolute contribution of annual average concentration of  $9.3\ \mu g \cdot m^{-3}$  and  $2.9\ \mu g \cdot m^{-3}$ , respectively. The proportion of exceeding ambient air quality standards of dust impact days in the cities is between 66.7% and 89.7%, and the pollution level is mainly light pollution and moderate pollution, with less serious pollution and severe pollution. All of the severe pollution in Yulin, Yan'an and Shangluo comes from the influence of dust events, and 20.5%–66.7% of the serious pollution in 5 cities in Guanzhong comes from the influence of dust events.

**Key words:** dust events; Shaanxi province; air quality;  $PM_{10}$