

张佳音,郭云飞,肖舜,等.陕西区域环境空气质量时空特征[J].中国沙漠,2023,43(3):36-46.

陕西区域环境空气质量时空特征

张佳音¹,郭云飞³,肖舜²,杜涛¹,郑湔¹,
刘焕武⁴,王蕾¹,何延新⁴

(1.陕西省环境监测中心站 陕西省环境介质痕量污染物监测预警重点实验室,陕西 西安 710054; 2.陕西师范大学 地理科学与旅游学院,陕西 西安 710119; 3.西安热工研究院有限公司,陕西 西安 710054; 4.西安市环境监测站,陕西 西安 710018)

摘要: 利用陕西省的环境空气质量自动监测站2017—2021年的监测数据,分析了陕西区域空气质量的逐月变化特征、季节变化特征、年变化特征以及不同污染物的空间分布情况,对不同区域发生重度污染时段的环境空气质量污染特征和成因进行了探讨。结果表明:(1)2017—2021年陕西省空气质量逐步改善,空气质量改善幅度关中>陕南>陕北,SO₂浓度年均下降12.5%,CO浓度年均下降9.9%,PM_{2.5}年均下降7.2%。(2)关中区域和陕北北部污染较重,陕北南部和陕南区域污染较轻,城市污染程度重于郊县。(3)陕西省空气质量具有明显的季节变化特征,重污染天多在采暖季和春季(1月、2月、3月、11月、12月)。不同区域发生重度污染时的首要污染物具有明显差异。陕北区域重度及以上污染天的首要污染物为PM₁₀(100%),关中区域为PM_{2.5}(82%)、PM₁₀(17%)、O₃(1%),陕南区域为PM_{2.5}(81%)、PM₁₀(19%)。(4)近年来陕西省臭氧(O₃)污染形势较为严峻,应采取对策来有效遏制臭氧浓度上升的态势。

关键词: 环境空气质量; 臭氧; 颗粒物; 汾渭平原

文章编号: 1000-694X(2023)03-036-11

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00128

中图分类号: X51

文献标志码: A

0 引言

气候暖化和人类活动对地球表层大气环境质量变化影响显著,其中与人居环境密切相关的环境空气质量对人类生存环境改善和联合国可持续发展目标达成具有重要影响^[1]。IPCC第六次评估报告(AR6)表明,随着全球气候极端化过程的进一步加剧,由气候变化和人类活动所导致的大气污染和环境空气质量恶化的不确定性将进一步显现^[2]。2022年世界气象组织(WMO)最新发布的《空气质量和气候公报》揭示出,随着气候变化加剧,预计热浪的频率、强度和持续时间以及本世纪野火的相应增加可能会使空气质量进一步恶化并损害人类健康和生态系统^[3]。尽管当前受到全球疫情影响,人类活动减弱,碳排放降低,一定程度上缓解了局部空气污染问题,但从长期来看,优化环境空气质量依然是中国在大气环境科技领域面临的主要

挑战。

世界卫生组织(WHO)2021年报告显示,全球每年由于受到大气污染过早死亡约424万人^[4]。对24个国家和地区652个城市的环境健康资料Meta分析结果表明^[5],PM_{2.5}浓度每增加10 μg·m⁻³,全因死亡率、心血管死亡率、呼吸死亡率分别增加0.68%、0.55%、0.74%。中国目前执行的《环境空气质量标准》(GB3095—2012)除监测基本项目二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、一氧化碳(CO)、臭氧(O₃)、可吸入颗粒物(PM₁₀)和细颗粒物(PM_{2.5})等6项常规污染物之外,还包括总悬浮颗粒物(TSP)、氮氧化物(NO_x)、铅(Pb)、苯并[a]芘(BaP)等,与美国空气质量指数(AQI)对比总体指标能更全面客观反映中国大气污染特征^[6],其主要化学组分和暴露浓度水平不仅与脑卒中、心肌梗死等心脑血管疾病和哮喘、肺阻塞、肺癌等呼吸系统疾病具有一定相关

收稿日期:2022-08-28; 改回日期:2022-10-03

资助项目:国家自然科学基金项目(41771220,42171158);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2021JQ-963,2020JQ-982,2022JM-091)

作者简介:张佳音(1984—),女,陕西西安人,高级工程师,主要研究方向为环境监测与大气环境质量评价。E-mail: 173780083@qq.com

通信作者:肖舜(E-mail: sxiao@snnu.edu.cn)

位置造成的(表2)。根据环境空气质量现状评价结果和自然区域特征,为了便于研究,将陕西省划分为陕北、关中、陕南3个区域对空气质量演变特征及影响因素进行分析。

表 2 2021 年陕西区域 AQI Pearson 相关系数
Table 2 Correlation coefficient of AQI in different regions of Shaanxi in 2021

区域	安康市	宝鸡市	汉中市	商洛市	铜川市	渭南市	西安市	咸阳市	延安市	榆林市
安康市	1									
宝鸡市	0.684	1								
汉中市	0.964	0.527	1							
商洛市	0.670	0.821	0.515	1						
铜川市	0.513	0.936	0.333	0.881	1					
渭南市	0.670	0.974	0.527	0.779	0.924	1				
西安市	0.768	0.979	0.636	0.846	0.916	0.979	1			
咸阳市	0.815	0.939	0.706	0.747	0.833	0.958	0.976	1		
延安市	0.328	0.882	0.133	0.791	0.944	0.825	0.803	0.684	1	
榆林市	0.552	0.842	0.415	0.876	0.875	0.773	0.810	0.682	0.892	1

2 结果与分析

2.1 陕西区域空气质量现状

2021 年陕西省主要城市 PM₁₀ 年均值为 44~100 μg·m⁻³, PM_{2.5} 年均值为 25~49 μg·m⁻³, SO₂ 年均值为 5~14 μg·m⁻³, NO₂ 年均值为 17~40 μg·m⁻³, CO 第 95 百分位数年均值为 1.0~1.5 mg·m⁻³, O_{3-8h} 第 90 百分位数年均值为 110~161 μg·m⁻³。

陕西区域各城市空气质量现状为 SO₂、NO₂、CO 年均值都达到了《环境空气质量标准》(GB3095—

2012) 二级标准, 陕北和关中区域各城市主要超标因子为 PM₁₀ 和 PM_{2.5}, 关中部分城市的 O₃ 超标或接近限值, 陕南 3 个城市各项污染物均达标(表 3)。

2.2 环境空气质量年际变化特征

2.2.1 污染物浓度

从污染物浓度年际变化情况来看, 陕西区域 2017—2021 年各城市 SO₂、NO₂、CO、PM₁₀、PM_{2.5} 在不同区域内呈现出稳步下降的变化特征, SO₂ 全省降幅最快, 年均下降 12.5%, CO 年均下降 9.9%, PM_{2.5}

表 3 2021 年陕西区域污染物年均浓度与达标情况
Table 3 The annual average concentration of pollutants and assessment results in different regions of Shaanxi in 2021

城市		PM ₁₀ /(μg·m ⁻³)	PM _{2.5} /(μg·m ⁻³)	SO ₂ /(μg·m ⁻³)	NO ₂ /(μg·m ⁻³)	CO 第 95 百分位 数/(mg·m ⁻³)	O _{3-8h} 第 90 百分位 数/(μg·m ⁻³)	达标 情况	超标因子
陕北	榆林市	97	36	14	31	1.4	149	有超标	PM ₁₀ , PM _{2.5}
	延安市	85	32	5	34	1.5	139	有超标	PM ₁₀
关中	西安市	96	43	8	40	1.3	154	有超标	PM ₁₀ , PM _{2.5}
	宝鸡市	69	33	9	22	1.0	137	达标	—
	咸阳市	100	49	10	40	1.3	161	有超标	PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃
	铜川市	79	38	10	28	1.1	153	有超标	PM ₁₀ , PM _{2.5}
	渭南市	86	39	12	27	1.5	159	有超标	PM ₁₀ , PM _{2.5}
	汉中市	44	27	8	18	1.3	110	达标	—
陕南	安康市	51	29	11	17	1.3	115	达标	—
	商洛市	48	25	11	20	1.2	118	达标	—
二级标准限值		70	35	60	40	4	160	—	—

年均下降 7.2%,NO₂年均下降 6.8%,PM₁₀年均下降 5.0%(表 4)。2021 年榆林市和延安市颗粒物上升主要受当年沙尘活动频繁的影响。O₃的年际变化特征和其他污染物有所不同,降幅不明显,在榆林市、延安市、铜川市等部分城市还出现了缓慢上升态势。

2.2.2 环境空气质量指数

“优良天”是指按照表 1 中 AQI 分级,空气质量类别达到一级(优)和二级(良)的总天数。“重度及

以上污染天”指空气质量类别为五级(重度污染)和六级(严重污染)的总天数。由图 2 可以看出,2017—2021 年空气质量优良率陕北区域上升了 1.1%,关中区上升了 23.7%,陕南区域上升了 20.2%,陕西区域空气质量优良率整体逐年上升。关中和陕南区域优良天数逐年增加,重污染天数大幅减少,空气质量改善幅度关中>陕南>陕北。2021 年受自然条件(沙尘)影响,陕北的重污染天数增加(表 5)。

表 4 2017—2021 年陕西区域污染物浓度(%)年均变化率
Table 4 The annual variation rate of pollutant concentration in different regions of Shaanxi during 2017–2021

区域	空气污染物					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃
榆林市	1.3	-1.1	-10.0	-2.8	-7.8	0.3
延安市	1.5	-2.2	-16.6	-5.8	-9.3	0.7
西安市	-4.0	-7.4	-10.6	-5.2	-10.0	-1.9
宝鸡市	-8.4	-11.0	-14.2	-10.8	-14.4	-4.7
咸阳市	-4.0	-6.8	-10.0	-3.7	-8.2	-2.5
铜川市	-1.6	-4.2	-9.5	-2.5	-9.0	0.1
渭南市	-8.3	-10.8	-15.7	-11.8	-11.2	-3.3
汉中市	-10.5	-10.7	-13.6	-9.7	-14.0	-4.3
安康市	-7.4	-7.9	-12.4	-5.8	-7.0	-3.0
商洛市	-8.3	-9.6	-12.9	-9.5	-8.6	-3.1
平均值	-5.0	-7.2	-12.5	-6.8	-9.9	-2.2

榆林市和延安市 2017—2020 年 PM₁₀ 年均变化率分别为-3.7%和-4.1%。2021 年上升主要原因为受当年沙尘活动频繁的影响。

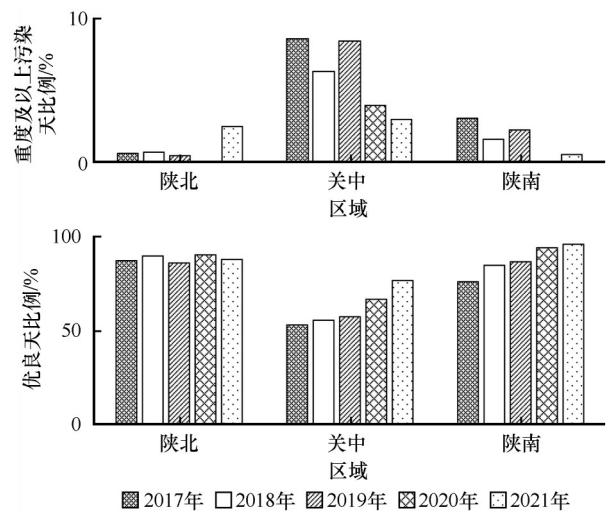


图 2 2017—2021 年陕西区域优良天和重度及以上污染天比例变化

Fig.2 Proportion change of excellent and good days, severe and above pollution days in different regions of Shaanxi during 2017–2021

表 5 2017—2021 年陕西区域受沙尘传输影响天数
Table 5 Affected days by dust transport in different regions of Shaanxi from 2017 to 2021

季节	2017 年			2018 年			2019 年			2020 年			2021 年		
	陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南	陕北	关中	陕南
春季	5	7	4	18	15	4	12	13	5	14	12	9	32	31	18
夏季	1	1	0	0	1	0	0	0	0	6	0	1	1	0	0
秋季	1	0	0	4	4	3	4	5	1	3	3	1	4	4	1
冬季	9	12	8	6	5	5	1	2	0	6	4	1	17	10	4
合计	16	20	12	28	25	12	17	20	6	29	19	12	54	45	23
总计	48			65			43			60			122		

2.3 环境空气质量逐月变化特征

2.3.1 环境空气质量综合指数

环境空气质量综合指数可以反映城市环境空气质量的整体水平和变化趋势,环境空气质量综合指数越低,代表空气质量越好。陕北、关中、陕南 3 个区域的空气质量综合指数呈现出较为一致的“波

浪形”变化趋势(图 3),8—10 月环境空气质量最好,12 月至次年 1 月空气质量最差。波峰和波谷的下降说明空气质量逐步改善,关中区域尤为明显。可以看到 2021 年 3 月大强度的沙尘传输使陕北的空气质量受到很大影响,关中也同步受到影响,而陕南受到的影响不大。空气质量的月变化特征主要和

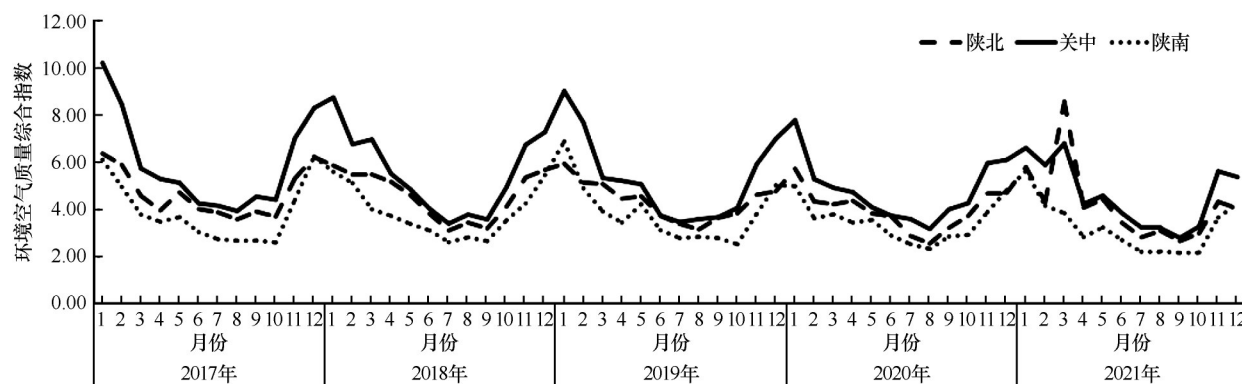


图3 2017—2021年陕西区域环境空气质量综合指数逐月变化

Fig.3 Monthly variation of comprehensive index of environmental air quality in different regions of Shaanxi from 2017 to 2021

陕西区域地处中国的季风区,受到温带季风气候和亚热带季风气候控制相关^[25-27]。

2.3.2 重度及以上污染天

重度以上级别的污染天气会对人体健康产生

较大影响^[28-32]。从图4可以看出:陕西区域的重污染天气多集中在采暖季和春季(1月、2月、3月、11月、12月)。夏末初秋全省空气质量最佳,8月和9月在研究时段均未出现过重污染天气。

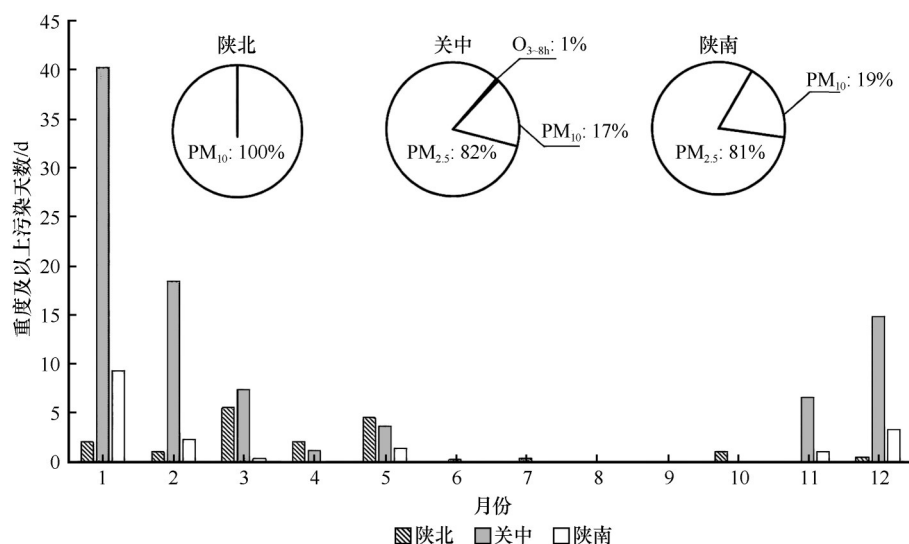


图4 2017—2021年陕西不同区域累计重度及以上污染天数及首要污染物占比

Fig.4 Cumulative days of severe and above pollution and the proportion of primary pollutants in different regions of Shaanxi during 2017-2021

从区域上来看,重度及以上污染天的出现频次关中>陕南>陕北,不同区域发生重度污染时的首要污染物具有明显差异。陕北重度及以上污染天的首要污染物为 PM_{10} (100%),关中为 $PM_{2.5}$ (82%)、 PM_{10} (17%)、 O_3 (1%),陕南为 $PM_{2.5}$ (81%)、 PM_{10} (19%)。

陕北区域发生重度污染时的首要污染物均为粗颗粒物,榆林的重污染频次明显大于延安。榆林和延安地处黄土高原,海拔800~1 300 m,扩散条件较好,细颗粒物不容易累积。由于榆林境内毛乌素沙地的影响和西北方向沙尘的过境传输^[33],陕北区域重度及以上污染天的首要污染物均为 PM_{10} 。榆

林发生重度及以上污染天多发生在蒙古冷高压控制时主导风向为西北风的月份,延安发生重度及以上污染天均在2月和3月。

关中区域中咸阳、渭南、西安发生重污染频次居全省前三,污染形势严峻。关中区域是陕西的政治、经济和文化中心,2020年关中区域生产总值占到陕西省的65.0%^[34]。关中区域平均海拔约500 m,南部为秦岭山脉,北部为黄土高原,地形东宽西窄,是一个三面环山喇叭口形的河谷盆地,在不利的天气形势下,城市生产生活排放的污染物在近地面无法扩散或沉降,易发生以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物的重度

污染天气^[35-36]。关中区域以 PM_{10} 为首要污染物的重度及以上污染天一部分与沙尘传输有关,另一部分主要受到盆地地形叠加不利气象条件下本地源排放的累积影响。关中区域污染物排放量大,夏季臭氧前体物在强紫外线照射下生成臭氧^[37],近些年臭氧的污染形势也在明显加剧,在2021年7月关中区域的渭南和咸阳出现了以臭氧为首要污染物的重度污染天。

陕南区域地处秦岭山脉以南,受到秦岭的阻隔,受到冬季风和沙尘传输的影响较小。陕南区域地形地貌以丘陵、盆地、峡谷为主,汉中市位于汉中盆地,安康市位于安康盆地,商洛市的地形为河谷盆地,峡谷众多。从地形上看陕南3市的相互联系远不及关中区域那样密切,属于相对独立的单元。陕南区域作为“南水北调”中线工程核心水源涵养地,工业企业少,以绿色产业和生态旅游为主。2020年陕南区域生产总值占到陕西省的13.2%^[34]。

陕南区域的重污染天多发生在12月和1月,当地没有集中供暖,群众烧烟煤、烧柴取暖的情况相当普遍,冬季天气寒冷,大气混合层高度降低,汉中和安康都处于盆地中,颗粒物不易扩散,在不利气象条件下,易形成重污染天气。陕南区域重度及以上污染天数汉中>安康>商洛。

2.4 环境空气质量季节变化特征

2.4.1 环境空气质量综合指数

环境空气质量综合指数表现出显著的夏低冬高、春降秋升的U型变化规律(图5)。指数范围为陕北3.35~5.32,关中3.65~7.34,陕南2.68~5.16。夏秋季空气质量较好,冬春季空气质量较差,初步认为主要与冬春时段气候干燥、降水量小、采暖供热、不利气象条件多等原因有关^[35]。环境空气质量综合指数各季节关中>陕北>陕南,说明从整体上看,空气质量陕南最好,陕北次之,关中相对较差。

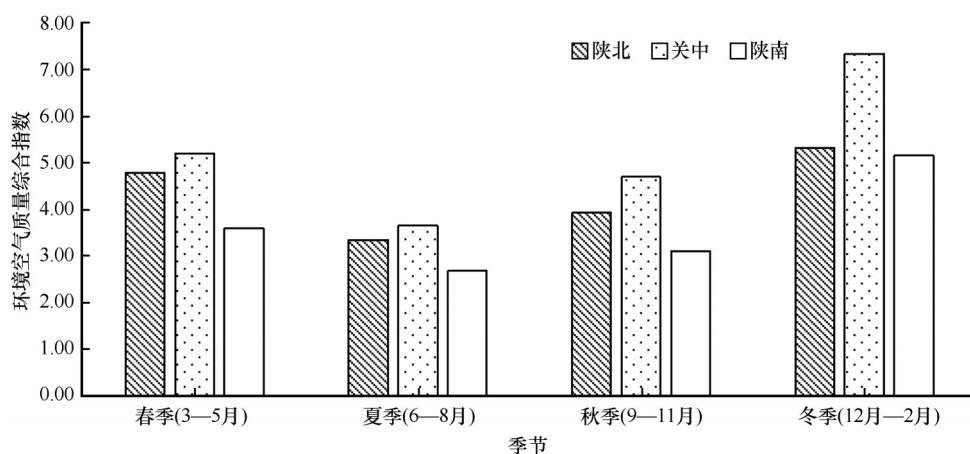


图5 2017—2021年陕西区域环境空气质量综合指数季节变化

Fig.5 Seasonal variation of comprehensive index of ambient air quality in different regions of Shaanxi during 2017–2021

2.4.2 首要污染物

当环境空气质量指数(AQI)大于50时,环境空气质量分指数(IAQI)最大的污染物即为首要污染物。通过对首要污染物进行统计分析,可以了解不同区域的空气质量污染特征。

2017—2021年,春季(3月)陕西10个地级市影响空气质量的主要污染因子为 PM_{10} ;夏季(7月)影响空气质量的主要污染因子为 O_3 ;秋季(10月)陕北北部主要污染因子为 NO_2 ,陕北南部和关中主要污染因子为颗粒物(PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$),陕南区域空气质量以优为主;冬季(12月)陕北首要污染物 NO_2 出现的频次最高,关中和陕南影响空气质量的主要污染因子为 $\text{PM}_{2.5}$ (图6)。

陕北区域,春季首要污染物占比最大的为 PM_{10} (41.2%);夏季首要污染物占比最大的为 O_3 (91.7%);秋季首要污染物占比最大的为 PM_{10} (40.3%),其次为 NO_2 (28.1%);冬季首要污染物占比最大的为 NO_2 (41.1%),其次为 PM_{10} (29.7%) and $\text{PM}_{2.5}$ (27.9%,图7)。陕北区域 NO_2 的占比在各个季节都要比关中和陕南的占比要高,这与陕北是能源化工基地,煤化工企业排放集中的特征相关,另外还由于陕北区域海拔高,相对气温低,风力扩散条件好,不利于污染物二次转化,包括在 NO_2 内的一次污染物无法完全转化为 $\text{PM}_{2.5}$ 或 O_3 等二次污染物。

关中区域,春季首要污染物占比最大的为 PM_{10} (50.6%);夏季首要污染物占比最大的为 O_3 (90.7%);

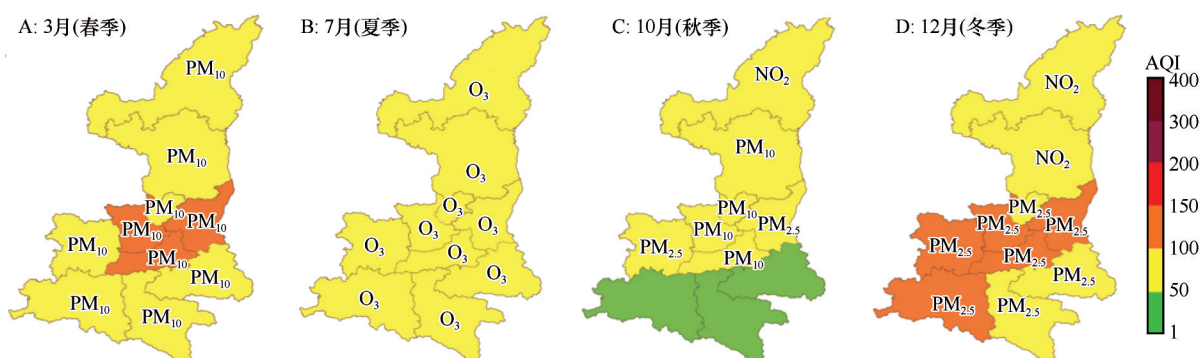


图6 2017—2021年陕西AQI等级和首要污染物占比季节特征

Fig.6 Seasonal characteristics of AQI grade and primary pollutant proportion in different regions of Shaanxi during 2017–2021

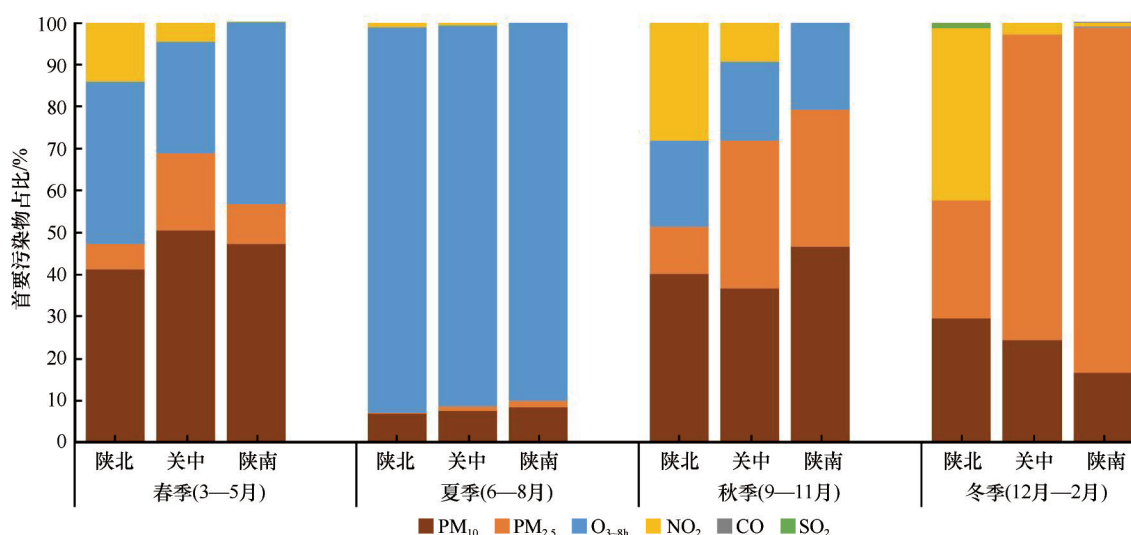


图7 2017—2021年陕西区域首要污染物占比季节变化

Fig.7 Seasonal variations in the proportion of primary pollutants in different regions of Shaanxi during 2017–2021

秋季首要污染物以颗粒物为主, PM_{10} 占比 36.7%, $PM_{2.5}$ 占比 35.1%; 冬季首要污染物占比最大的为 $PM_{2.5}$ (72.7%, 图 7)。可以看出, 影响关中环境空气质量的污染物主要为颗粒物(PM_{10} , $PM_{2.5}$)和 O_3 。据统计^[34], 关中区域 2020 年总人口为 2 564 万人, 汽车保有量 485 万辆, 生产总值 16 901.88 亿元, 人口密集且工业企业众多, 污染物排放量大。关中区域一般从 4 月就开始出现以 O_3 为首要污染物的污染天, 5 月开始 O_3 占比迅速增加, 这主要由于区域排放产生污染物受到地形的约束不易扩散, 季节变化带来的温度升高和太阳辐射增强使得本区域的污染物很容易积累和二次转化^[37–39]。

陕南区域, 春季首要污染物占比最大的为 PM_{10} (47.4%), 夏季首要污染物占比最大的为 O_3 (90.0%), 秋季首要污染物 PM_{10} 占比最大 (46.7%), 冬季首要污染物占比最大的为 $PM_{2.5}$ (82.1%, 图 7)。陕南区域工业企业很少, 2020 年整个区域总人口数为 775 万人^[34],

本地污染物排放量不大, 雨量充沛, 气候湿润, 整体空气质量较好。陕南区域从每年 10 月到次年 2 月 $PM_{2.5}$ 占比达到 80% 以上, 推测是由于陕南 3 市的地形多为盆地和峡谷, 由于没集中供暖, 散烧燃煤取暖产生的颗粒物和一次污染物不易扩散, 空气湿度大又没有降水的情况下有利于 $PM_{2.5}$ 的生成。

2.5 环境空气质量时空变化特征

2017—2021 年, 陕西区域空气质量从空间上总体表现出关中区域和陕北北部污染较重、陕北南部和陕南区域污染较轻、城市污染程度重于郊县的特征。2017—2021 年空气质量总体逐年好转, SO_2 、 CO 、 $PM_{2.5}$ 污染程度呈现稳步减轻的变化特征, PM_{10} 也在逐年降低, 2021 年由于受到自然原因(沙尘)影响在陕北和关中出现一定程度的反弹, NO_2 和 O_3 污染程度改善不明显, 污染区域有扩大之势(图 8)。

SO_2 与 CO 。一般认为, SO_2 和 CO 主要的人为来

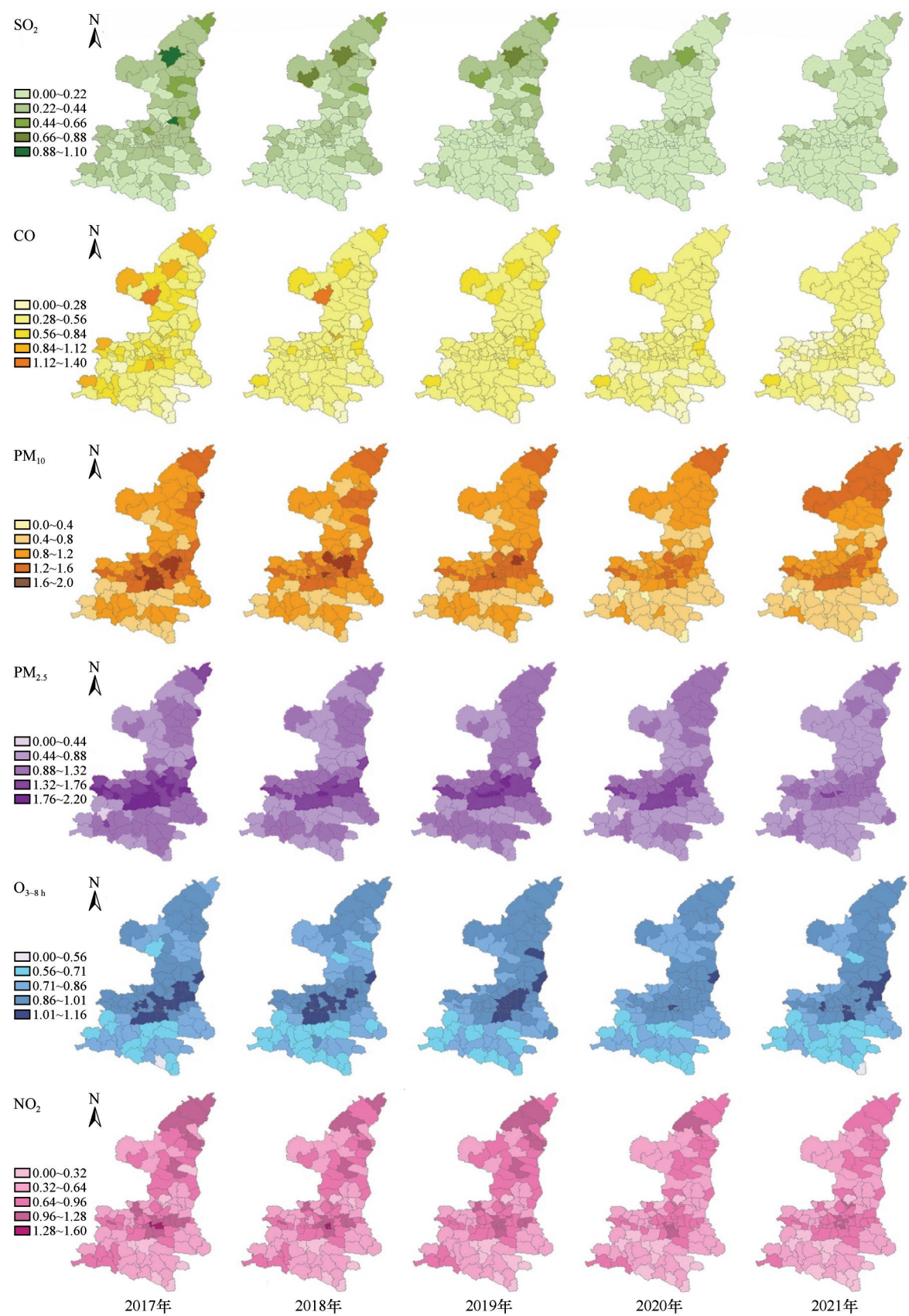


图 8 2017—2021 年陕西环境空气 6 项污染物单项指数空间分布
Fig.8 Spatial distribution of individual index of six pollutants in ambient air
in different regions of Shaanxi during 2017–2021

源为化石燃料的燃烧。前已述及,SO₂和CO是陕西区域2017—2021年环境空气中降幅最大的2项污染物。从单因子污染指数的空间分布图上可以看出(图8),SO₂和CO的区域分布情况和变化情况比较吻合,2017—2019年陕北和关中区域以及部分陕南区均污染较重,2019年之后出现显著下降,高值区域全面且迅速消失,说明在陕西省政府“铁腕治霾打赢蓝天保卫战”等政策的推动下污染治理能力明显提升,污染物总量减排成效显著。陕北的北部、西南部和关中的东北部区域等能源化工基地核心区SO₂仍然明显高于周边区域,还需进一步控制。

PM₁₀与PM_{2.5}。大气中的颗粒物污染是大气污染的重要问题,不同粒径颗粒物的污染分布既有联系也有区别。整体上看陕西区域颗粒物的污染分布特征为关中区域和陕北北部污染较重,陕南区污染较轻,城市主城区污染程度重于郊县(图8)。可以看出,2017—2020年PM₁₀和PM_{2.5}高值区域一直在逐渐消失和缩小,说明政府管控措施有效。2021年因为受到高频次外来沙尘传输影响(表5),陕北和关中区域PM₁₀均有所反弹,陕南区因为受到秦岭山脉的阻隔,受沙尘影响不大。PM₁₀和PM_{2.5}目前仍为关中和陕北区域的主要超标因子,防控的形势依然严峻,尤其应加强多种污染物的协同减排和秋冬季大气污染防治力度。

NO₂与O₃。臭氧是典型的二次污染物,目前的研究普遍认为,形成臭氧污染的前体物主要是氮氧化物和挥发性有机物,这些前体物在高温、强日照、干燥的条件下经光化学反应易生成臭氧^[40]。从空间分布上看,陕北北部、关中中部、陕南的市区O₃污染都相对较重,与NO₂的空间分布较为相似。2017—2021年NO₂的污染程度在全省都有明显的减轻趋势,O₃污染减轻趋势不明显,在关中中部和东北部污染较重(图8)。经调研,2020年关中区域臭氧污染程度大幅减轻主要原因为2020年夏季雨水较往年多,不利于臭氧生成所致。臭氧污染成因复杂,受到气象条件、区域传输和背景浓度等多种因素影响,应进一步加大其生成机理研究,采取有效的政策遏制臭氧污染加剧的态势。

3 结论

2017—2021年陕西区域空气质量空间上总体表现出关中区域和陕北北部污染较重、陕北南部和

陕南区污染较轻、城市污染程度重于郊县的特征。总的来说,空气质量由好到差排序为陕南>陕北>关中。陕北区域中延安空气质量优于榆林,关中区域咸阳、西安、渭南污染问题比较突出,陕南区空气质量安康最好,汉中和商洛次之。

2017—2021年陕西区域空气质量逐步改善,空气质量改善幅度关中>陕南>陕北。SO₂浓度全省降幅最快,年均下降12.5%,CO年均下降9.9%,PM_{2.5}年均下降7.2%,NO₂年均下降6.8%,PM₁₀年均下降5.0%。O₃污染形势严峻,应采取对策来有效遏制臭氧浓度上升的态势。

陕西区域空气质量具有明显的季节变化特征,表现出夏低冬高、春降秋升的变化规律,夏秋季空气质量较好,冬春季空气质量较差。春季主要污染因子为PM₁₀;夏季主要污染因子为O₃;秋季陕北北部主要污染因子为NO₂,陕北南部和关中主要污染因子为颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5});冬季关中和陕南的主要污染因子为PM_{2.5},陕北区域主要污染因子为NO₂。

陕西区域的重污染天气多集中在采暖季和春季(1月、2月、3月、11月、12月)。重度及以上污染天数关中>陕南>陕北,不同区域发生重度污染时的首要污染物具有明显差异。陕北区域重度及以上污染天的首要污染物为PM₁₀(100%),关中区域为PM_{2.5}(82%)、PM₁₀(17%)、O₃(1%),陕南区为PM_{2.5}(81%)、PM₁₀(19%)。

参考文献:

- [1] UN.The Sustainable Development Goals Report 2022[R].2022.
- [2] IPCC.Climate Change 2021: The Physical Science Basis[M]. Cambridge,UK:Cambridge University Press,2021.
- [3] World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines[R].2021.
- [4] World Meteorological Organization. The Air Quality and Climate Bulletin[R].2022.
- [5] Li X, Jin L, Kan H.Air pollution: a global problem needs local fixes[J].Nature,2019,570:437-439.
- [6] 高庆先,刘俊蓉,李文涛,等.中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示[J].环境科学,2015(4):1141-1147.
- [7] Orellano P,Reynoso J,Quaranta N,et al.Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: systematic review and meta-analysis[J]. Environment International,2020,142:105876.
- [8] Zheng X Y, Orellano P, Lin H L, et al.Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: a sys-

- tematic review and meta-analysis[J]. *Environment International*, 2021, 150: 106435.
- [9] Bhuiyan M A, Rashid Khan H U, Zaman K, et al. Measuring the impact of global tropospheric ozone, carbon dioxide and sulfur dioxide concentrations on biodiversity loss[J]. *Environmental Research*, 2018, 160: 398–411.
- [10] Hu T F, Cao J J, Lee S C, et al. Microanalysis of dust deposition inside Emperor Qin's Terra-cotta Warriors and Horses Museum[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2010, 10: 59–66.
- [11] Xiao S, Wang Q Y, Cao J J, et al. Long-term trends in visibility and impacts of aerosol composition on visibility impairment in Baoji, China[J]. *Atmospheric Research*, 2014, 149: 88–95.
- [12] Zhu C S, Cao J J, Ho K F, et al. The optical properties of urban aerosol in northern China: a case study at Xi'an[J]. *Atmospheric Research*, 2015, 160: 59–67.
- [13] Zhang Q, Zheng Y X, Tong D, et al. Drivers of improved PM_{2.5} air quality in China from 2013 to 2017[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 2019, 116: 24463–24469.
- [14] 丁新航, 梁越, 肖化云, 等. 太原市采暖季清洁天与灰霾天 PM_{2.5} 中水溶性无机离子组成及来源分析[J]. *环境化学*, 2019, 38(6): 1356–1366.
- [15] 蒋琦清, 陈文聪, 徐冰焱, 等. 杭州城区大气颗粒物污染特征及 PM_{2.5} 潜在源区研究[J]. *中国环境监测*, 2020(5): 88–94.
- [16] 史旭荣, 途世泽, 易爱华, 等. 全国 2018–2019 年秋冬季气象条件变化对 PM_{2.5} 影响研究[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(7): 2785–2793.
- [17] Zhang L C, An J, Liu M Y, et al. Spatiotemporal variations and influencing factors of PM_{2.5} concentrations in Beijing, China[J]. *Environmental Pollution*, 2020, 262: 114276.
- [18] Xu J M, Chang L Y, Qu Y H, et al. The meteorological modulation on PM_{2.5} interannual oscillation during 2013 to 2015 in Shanghai, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 572: 1138–1149.
- [19] 蔡瑞婷, 肖舜, 董治宝, 等. 汾渭平原典型城乡 PM_{2.5} 中多环芳烃特征与健康风险[J]. *地理学报*, 2021, 76(3): 740–752.
- [20] 王鑫, 肖舜, 董治宝, 等. 西安重度以上污染天气 PM_{2.5} 重金属污染特征与健康风险[J]. *中国沙漠*, 2020, 40(5): 10–19.
- [21] 张佳音, 郭云飞, 李养养, 等. 关中地区城市空气质量特征及影响因素分析[J]. *地球与环境*, 2017, 45(4): 441–446.
- [22] 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.
- [23] 黄小刚, 邵天杰, 赵景波, 等. 汾渭平原 PM_{2.5} 浓度的影响因素及空间溢出效应[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(8): 3539–3548.
- [24] 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.
- [25] 张佳音, 李扬扬, 蒙瑞丽, 等. 空气自动监测质量控制研究与探讨[J]. *地下水*, 2015, 37(2): 179.
- [26] 姬艺珍. 汾渭平原大气污染特征的研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2021.
- [27] 张加云, 刘晓东. 一次强沙尘暴活动对中国城市空气质量的影响[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(1): 161–168.
- [28] 周静博, 段著春, 王建国, 等. 2019 年元旦前后石家庄市重污染过程 PM_{2.5} 污染特征及来源解析[J]. *环境科学*, 2020, 41(1): 39–49.
- [29] 李雁宇, 李杰, 曾胜兰, 等. 2017 年汾渭平原东部大气颗粒物污染特征分析[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(1): 63–72.
- [30] Wang N, Lyu X P, Deng X J, et al. Assessment of regional air quality resulting from emission control in the Pearl River Delta region, southern China[J]. *Science of The Total Environment*, 2015, 519: 21–34.
- [31] Wu W N, Zha Y, Zhang J H, et al. A temperature inversion-induced air pollution process as analyzed from Mie LiDAR data[J]. *Science of The Total Environment*, 2014, 479/480: 102–108.
- [32] Yuan G H, Yang W X. Evaluating China's air pollution control policy with extended AQI indicator system: example of the Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. *Sustainability*, 2019, 11(3): 939.
- [33] 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.
- [34] 陕西省统计局. 陕西区域统计年鉴 2021[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [35] 徐丹妮, 王瑾婷, 袁自冰, 等. 汾渭平原复杂地形影响下冬季 PM_{2.5} 污染分布特征、来源及成因分析[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(4): 1184–1198.
- [36] 蒋辉, 段克勤. 基于 HYSPLIT 模型的 2017 年西安市首要大气污染物变化特征及潜在源区分析[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2020, 56(2): 243–252.
- [37] 中国环境科学学会臭氧污染控制专业委员会. 中国大气臭氧污染防治蓝皮书(2020 年)[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [38] Coleman L, Martin D, Varghese S, et al. Assessment of changing meteorology and emissions on air quality using a regional climate model: impact on ozone[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 69: 198–210.
- [39] Zeng P, Lyu X P, Guo H, et al. Causes of ozone pollution in summer in Wuhan, Central China[J]. *Environmental Pollution*, 2018, 241: 852–861.
- [40] Su R, Lu K D, Yu J Y, et al. Exploration of the formation mechanism and source attribution of ambient ozone in Chongqing with an observation-based model[J]. *Science China Earth Sciences*, 2018, 61(1): 23–32.

The temporal and spatial characteristics of ambient air quality in Shaanxi

Zhang Jiayin¹, Guo Yunfei³, Xiao Shun², Du Tao¹, Zheng Hao¹,
Liu Huanwu⁴, Wang Lei¹, He Yanxin⁴

(1. Shaanxi Key Lab for Environmental Monitoring and Forewarning of Trace Pollutants, Shaanxi Environmental Monitoring Center, Xi'an 710054, China; 2. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China; 3. Xi'an Thermal Power Research Institute CO., LTD, Xi'an 710054, China; 4. Xi'an Environmental Monitoring Station, Xi'an 710018, China)

Abstract: This paper analyzed the monitoring data of Shaanxi Province's automatic ambient air quality monitoring stations during 2017–2021, discussed the characteristics of month-to-month, seasonal and annual changes in air quality, and the spatial distribution of different pollutants in the Shaanxi Province. This paper also analyzed the characteristics and causes of ambient air quality pollution during periods of heavy pollution in different regions. The results show that: (1) Air quality in Shaanxi Province gradually improved during 2017–2021, with air quality improvement in Guanzhong > Southern Shaanxi > Northern Shaanxi, with an average annual decrease of 12.5% for SO₂, 9.9% for CO, and 7.2% for PM_{2.5}. (2) Air quality in Shaanxi Province is characterized by heavier pollution in Guanzhong and north of northern Shaanxi, lighter pollution in southern Shaanxi and south of northern Shaanxi, and more pollution in cities than in suburban counties. (3) There are obvious seasonal change characteristics for air quality in Shaanxi Province, with heavy pollution weather mostly concentrated in the heating season and spring (January, February, March, November, December). There are obvious differences in the primary pollutants when heavy pollution occurs in different regions. The primary pollutants on heavily polluted days in northern Shaanxi is PM₁₀ (100%), in Guanzhong is PM_{2.5} (82%), PM₁₀ (17%) and O₃ (1%), and in southern Shaanxi is PM_{2.5} (81%) and PM₁₀ (19%). (4) The ozone (O₃) pollution situation in Shaanxi Province in recent years is more serious, and countermeasures should be taken to effectively curb the rising trend of ozone concentration.

Key words: ambient air quality; ozone; particulate; Fenwei Plain