

苏静,孙娴,胡琳,等.陕西省环境气象条件评估指数时空变化特征研究[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(2):146-154.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



陕西省环境气象条件评估指数 时空变化特征研究

苏静^{1,2},孙娴^{2*},胡琳²,林杨³,王琦²

(1.陕西省大气探测技术保障中心,陕西 西安 710014;2.陕西省气候中心,陕西 西安 710014;

3.陕西省气象科学研究所,陕西 西安 710016)

摘要: 基于陕西省10地市2015—2020年PM_{2.5}浓度实况监测数据和气象条件评估指数EMI,统计分析EMI和PM_{2.5}相关性及近年EMI的时空分布特征,定量评估气象条件变化及综合治理措施对陕西环境空气质量的影响。结果表明:陕西省2015—2020年EMI可较好地表征和评估气象条件变化导致的PM_{2.5}浓度变化。2015—2020年EMI呈线性降低趋势,气象条件持续向好。月EMI均呈明显的单谷分布特征,EMI冬半年大,夏半年小。各区域EMI总体上呈关中高、陕南次之、陕北最低的分布特点,关中中部、东部EMI最大。EMI正距平百分比高值区主要分布在关中地区,各年关中均有60%以上面积正距平,其中2016年冬季关中83.0%面积正距平,37.5%面积正距平超过100%。2020年陕西省各区域环境空气质量较2015—2019年均有明显改善,全省PM_{2.5}浓度较前5a平均降低24.8%,全省气象条件改善使PM_{2.5}浓度较近5a降低16.4%,排放变化使得PM_{2.5}浓度较前5a平均下降9.4%,可见,近年陕西省大气污染综合治理措施成果显著,环境质量明显改善。

关键词: 陕西省;细颗粒物PM_{2.5};环境空气质量评价;气象条件评估指数(EMI);贡献率

中图分类号:X513

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2024)02-0146-09

随着经济的高速发展和工业化、城镇化加快,雾霾天气频发,大气环境污染等环境气象问题凸显。2013年以来,我国相继出现多次大范围持续性雾霾天气^[1-4],PM_{2.5}大范围严重超标,对城市交通和人民的健康生活造成严重影响,大气环境问题已成为政府和相关学者关注的焦点^[5-7],迫切需要对颗粒物污染的复杂形成机制和气象影响进行深入探究^[8-11]。

国内外学者针对不利气象条件对空气污染影响

展开了广泛深入的研究。Seinfeld等^[12]研究了大气气溶胶和空气污染及其之间的关系,Flocas等^[13]、Pope等^[14]研究表明天气环流在污染事件的形成中起着至关重要的作用。Wang等^[15]认为气候因子也会影响雾—霾的形成。张小曳等^[16]指出我国现今雾—霾问题的主因是严重的气溶胶污染,但气象条件对其形成、分布、维持与变化的作用显著,通过对比排放和气象条件对区域霾形成的贡献,发现一次排放的气溶胶与排放强度关系密切,而二次气溶胶的形成与变化受气象条件影响大。陈镭等^[17]研究发现槽后西北气流、垂直层结稳定及地面气压场较弱的条件有利于上海地区污染物积聚和维持。马学款等^[18]发现一定的大气扩散能力和强有力的减排措施,是形成“APEC蓝”的主要原因。也有学者^[19-21]从不同角度研究了京津冀、长江三角洲气象条件对大气污染

收稿日期:2023-04-07;修回日期:2023-06-04

基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF201938);陕西省重点研发计划(2021SF-476)

作者简介:苏静(1977—),女,工程师,主要从事大气综合观测研究。

E-mail:250437380@qq.com

通信作者:孙娴(1969—),女,正高级工程师,主要从事环境气象和

气候变化及应用研究。E-mail:sunxiany@163.com

的影响。江琪等^[22]、吕梦瑶等^[23]研究了PM_{2.5}浓度与不同气象因子的关系。张敏等^[24-26]基于气象要素综合建立静稳指数可以较好反映大气综合扩散能力,指标可以用于空气质量预报和大气环境气象条件评估。《打赢蓝天保卫战三年行动计划》,将以西安为中心的汾渭平原列为重点区域性空气污染区域之一。胡琳等^[27-29]从时间和空间定性分析了陕西省霾天气气候特征及气象影响因素。

大气环境治理措施和气象条件变化是影响大气污染物变化的两大决定因素,而两者是相互交织相互作用,难以定量分离的。2019年中国气象局发布了气象条件评估指数行业标准^[30],可采用环境气象条件评估指数EMI定量分析气象条件对污染物浓度变化的影响程度以及减排调控的实际效果。焦亚音等^[31-32]基于环境气象条件评估指数开展了污染气象贡献相关研究工作,但关于气象条件对陕西省环境影响的定量研究成果不多见,本研究依据QX/T 479—2019规定的构建方法,建立适用于陕西省的PM_{2.5}气象条件评估指数,反映气象条件变化对空气质量的影响,以期将EMI指标应用于陕西省及相关地区环境气象评估、重污染天气过程评估、大气污染治理成效量化评估等工作,为政府决策提供科学参考。

1 资料与方法

1.1 资料说明

陕西省10地市(榆林、延安、铜川、宝鸡、咸阳、西安、渭南、汉中、安康、商洛)2015—2020年PM_{2.5}浓度实况监测数据,来自中国环境监测总站的站点PM_{2.5}浓度观测日均值数据。3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—次年2月为冬季。

基于中国气象局空气质量预报模式CUACE开发的环境气象条件评估指数,采用清华大学开发的中国多尺度排放清单数据MEIC,选用同期T639分析场为背景气象场,并用地面、探空观测资料同化,计算水平分辨率为15 km的EMI,采用双线性插值方法将EMI格点数据转换成站点。环境气象条件评估指数(EMI)是表征气象条件影响下气溶胶排放、沉降、传输和扩散等过程的综合指数。

陕西省位于中国中部黄河中游地区,地处105°29′~111°15′E、31°42′~39°35′N,地势呈南北高、中间低,由高原、山地、平原和盆地等多种地貌构成,北山和秦岭把陕西分为三大自然区。陕西省下辖10个地市,其中榆林、延安为陕北黄土高原区,宝鸡、咸

阳、铜川、西安、渭南为关中平原区,汉中、安康、商洛为陕南秦巴山区(图1)。

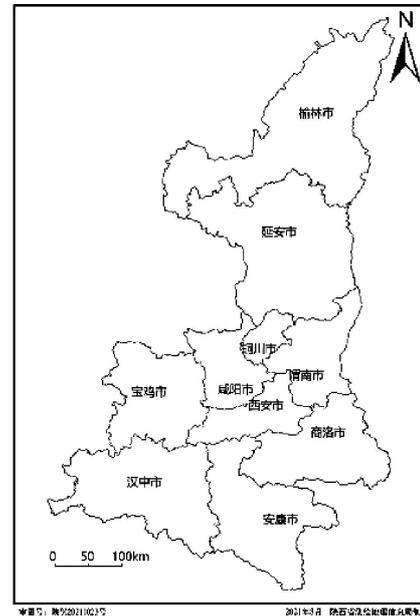


图1 陕西10地市分布

1.2 方法说明

1.2.1 气象条件评估指数(EMI)

EMI是表征PM_{2.5}浓度变化中气象条件贡献的无量纲指标,用地面~1 500 m高度气柱内PM_{2.5}平均浓度与参考浓度的比值表示($E_m = C/C_0$, C_0 根据环境空气质量指数技术规定(HJ633-2012)^[33]得到),EMI越大表征气象条件越不利于近地面大气中PM_{2.5}的稀释与扩散。

以中国气象局雾—霾数值预报业务模式CUACE V2.0为基础,通过数值模式系得到数值解,计算见式(1)~式(4)。

$$I = I(t_0) + \int_{t_0}^{t_1} (E + T + D) \cdot dt, \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{C_0 \cdot H} + \int_0^H (s - d) \cdot dh, \quad (2)$$

$$T = \frac{1}{C_0 \cdot H} + \int_0^H -\left(\mu \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + \omega \frac{\partial c}{\partial z}\right) \cdot dh, \quad (3)$$

$$D = \frac{1}{C_0 \cdot H} + \int_0^H \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) \right\} \cdot dh. \quad (4)$$

式中: I 为EMI,无量纲; t_0 为积分起始时间(s); t_1 为积分终止时间(s); t 为时间(s); E 为排放沉降项(s^{-1}); T 为传输项(s^{-1}); D 为扩散项(s^{-1}); $C_0 = 35 \mu g \cdot m^{-3}$; $H = 1 500 m$; s 为PM_{2.5}排放率($\mu g \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$); d 为PM_{2.5}沉降率($\mu g \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$); h 为高度(m); μ 为东西方向水平

风速 ($m \cdot s^{-1}$), 西风风速为正, 东风风速为负; C 为 $PM_{2.5}$ 浓度 ($\mu g \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$); x 为东西方向距离 (m); v 为南北方向水平风速 ($m \cdot s^{-1}$), 南风风速为正, 北风风速为负; y 为南北方向距离 (m); ω 为垂直方向风速 ($m \cdot s^{-1}$); z 为垂直方向距离 (m); K_x 为东西方向水平扩散系数 ($m^2 \cdot s^{-1}$); K_y 为南北方向水平扩散系数 ($m^2 \cdot s^{-1}$); K_z 为垂直方向水平扩散系数 ($m^2 \cdot s^{-1}$)。

1.2.2 气象条件和排放条件对 $PM_{2.5}$ 浓度贡献的定量方法

根据 QXT 479—2019, 定量分离气象条件和排放贡献, 定义排放变化率 R_E (表征排放变化对 $PM_{2.5}$ 浓度变化的贡献率) 和气象条件变率 R_W (表征气象因素对 $PM_{2.5}$ 浓度变化的贡献率), 正值代表气象条件同比不利, 负值代表气象条件同比有利, 见式(5)~(6):

$$R_E = \frac{O_1/O_0}{E_1/E_0} - 1 \quad (5)$$

$$R_W = \frac{(I_1 - I_0)}{I_0} \quad (6)$$

式中: O_0 为“时段 0”实测 $PM_{2.5}$ 浓度 ($\mu g/m^3$); O_1 为“时段 1”实测 $PM_{2.5}$ 浓度 ($\mu g/m^3$); I_0 为“时段 0”EMI, 无量纲; I_1 为“时段 1”EMI, 无量纲; R_E 为“时段 1”相对于“时段 0”排放变化率, 无量纲; R_W 为“时段 1”相对于“时段 0”气象条件变化率, 无量纲。

2 结果与分析

2.1 EMI 可靠性检验

在污染源相对稳定的情况下, EMI 和 $PM_{2.5}$ 的变化主要由气象条件决定, 因此两者会有较好的相关性。一年内污染源变化相对较小, 因此通过计算分析 2015—2020 年全省 10 个地市 EMI 和 $PM_{2.5}$ 浓度的相关性, 检验 EMI 的可靠性(表 1)。全省 10 个主要城市 2015—2020 年 EMI 和 $PM_{2.5}$ 平均相关系数为

0.44~0.63, 均通过 0.001 的显著性检验; 其中重点区域关中 5 市相关系数最高, 高于全省平均, 西安、渭南、咸阳 2015—2020 年平均相关系数超过 0.50; 北部城市的相关系数高于南部地区。全省和各市 2016、2019 和 2020 年 EMI 和 $PM_{2.5}$ 相关系数较高, 2018 年较低, 主要由于 2018 年作为大气“国十条”的收官之年, 污染源整治持续推进, 实际污染源变化更大, 导致 EMI 和 $PM_{2.5}$ 的相关性降低。可见, EMI 可以较好地表征和评估各种气象条件变化导致 $PM_{2.5}$ 浓度的变化。

2.2 陕西省 EMI 时空分布特征

2.2.1 年际变化特征

从图 2 可知, 2015—2016 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度较高, 2020 年的 $PM_{2.5}$ 年均浓度最低, 为 $41.6 \mu g/m^3$, 较 2015—2019 年降低 $11.0 \sim 21.0 \mu g/m^3$ 。2015—2020 年全省主要城市平均 EMI 为 2.26, 2015 年最大, 为 2.42, 2020 年最小, 为 2.02, EMI 呈线性降低趋势, 与 $PM_{2.5}$ 年均浓度变化趋势基本一致。近几年气象条件持续向好, 有利于近地面大气中 $PM_{2.5}$ 的稀释与扩散。

2.2.2 EMI 月季变化特征

从图 3 可知, $PM_{2.5}$ 年平均浓度为 $54.4 \mu g/m^3$ 。1 月最大, 为 $110.9 \mu g/m^3$, 12 月次之; 11 和 2 月 $PM_{2.5}$ 浓度较高; 7 月 $PM_{2.5}$ 月浓度最小, 为 $28.0 \mu g/m^3$ 。冬季 $PM_{2.5}$ 浓度最大, 为 $94.3 \mu g/m^3$, 其次为秋季, 夏季最小, 为 $29.1 \mu g/m^3$ 。EMI 年平均为 2.25, 季节分布与 $PM_{2.5}$ 平均浓度一致, 冬季最大, 为 2.85, 秋季次之, 夏季最小, 为 1.78。1 月达最大, 为 2.95, 4 月 EMI 最小, 仅为 1.45, 4—8 月 EMI 均不超过 2.0。 $PM_{2.5}$ 浓度和 EMI 均呈明显的单谷分布特征。总体来讲, 冬半年 EMI 大, 气象条件不利于近地面大气中 $PM_{2.5}$ 的稀释与扩散, $PM_{2.5}$ 浓度明显高于夏半年。

2.2.3 EMI 空间分布特征

表 1 2015—2020 年陕西省各市 EMI 和 $PM_{2.5}$ 相关系数

年	关中					陕北		陕南		全省	
	西安	咸阳	渭南	宝鸡	铜川	榆林	延安	汉中	安康		商洛
2015	0.55	0.46	0.47	0.35	0.43	0.53	0.42	0.35	0.26	0.38	0.42
2016	0.68	0.60	0.63	0.53	0.51	0.52	0.52	0.35	0.33	0.55	0.52
2017	0.62	0.51	0.59	0.48	0.52	0.39	0.49	0.16	0.33	0.28	0.44
2018	0.59	0.48	0.61	0.42	0.47	0.26	0.28	0.20	0.33	0.42	0.40
2019	0.51	0.49	0.55	0.49	0.51	0.55	0.53	0.42	0.40	0.45	0.49
2020	0.58	0.53	0.69	0.60	0.51	0.53	0.57	0.53	0.38	0.49	0.54
多年	0.59	0.51	0.59	0.48	0.49	0.46	0.47	0.34	0.34	0.43	0.48

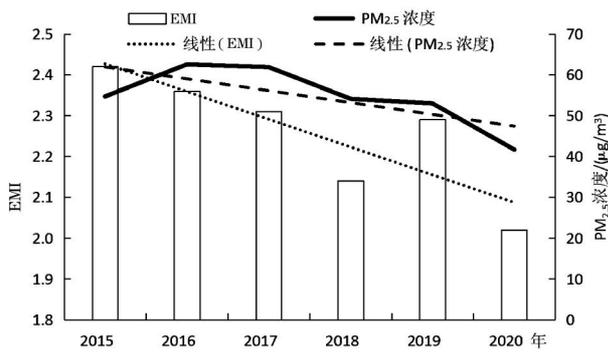


图2 2015—2020年陕西省各市平均 EMI 及 PM_{2.5} 浓度变化曲线

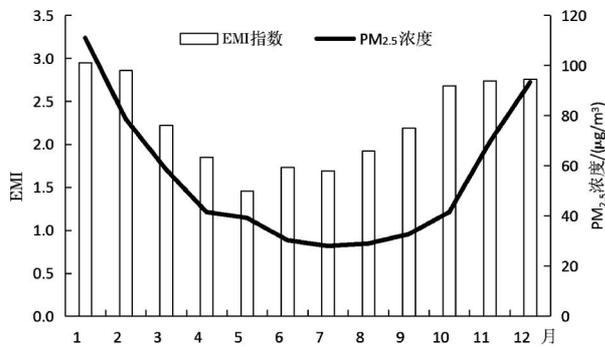


图3 全省月平均 EMI 及 PM_{2.5} 浓度变化曲线

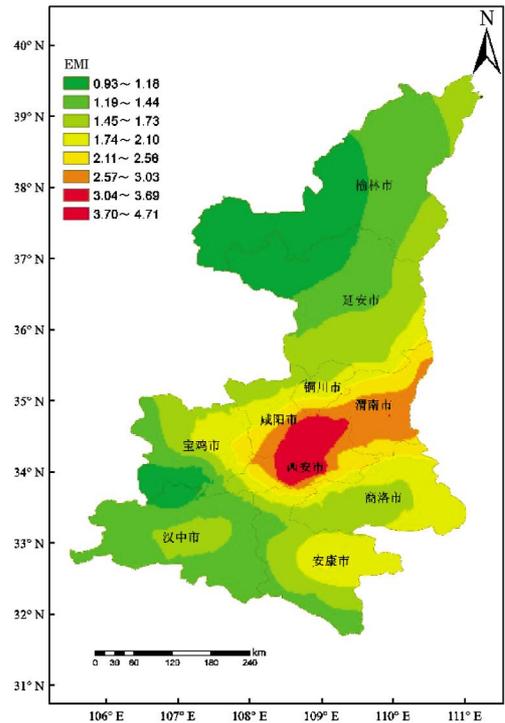


图4 陕西省年平均 EMI 空间分布

图4为2015—2020年全省多年平均 EMI 空间分布。全省各区域 EMI 的分布特征为关中高、陕南次之,陕北最低。关中地区是 EMI 高值区,关中中、东部 EMI 最大,经开区、秦汉新城、草滩等地超过 5.00,西安平均达到 3.60;其次是咸阳,平均为 3.18;渭南 EMI 平均指数位居第三,为 2.78;其余各地市平均小于 2.00。陕南各地安康最大,为 1.83,其次商洛,为 1.66,汉中为 1.40,陕南各市 EMI 略大于陕北明显小于关中。陕北 EMI 最小,榆林仅 1.26,延安为 1.34,定边、横山等地 EMI 平均小于 1.00。气象条件有利于近地面大气中 PM_{2.5} 的稀释与扩散。根据陕西省气象局空气污染卫星遥感统计数据,全省关中地区存在狭长颗粒物污染带,气溶胶光学厚度的大值区位于西安市区(高污染区),并向东扩展至高陵区、临潼区和渭南市,与 EMI 的分布基本一致。

2.2.4 EMI 的距平变化分析

EMI 表征气象条件影响下 PM_{2.5} 排放、传输、扩散以及沉降等整体效应,通过计算冬季 EMI 距平百分比,分析气象条件影响的空间分布特征。采用 2015—2020 年 EMI 的平均值作为参考标准,将每年冬季 EMI 与平均值的差值除以平均值所得的百分率,作为每年冬季距平百分比,其中正值代表气象条

件相对不利,负值表示气象条件相对有利^[28]。

从 2015—2020 年冬季 EMI 距平百分比空间分布和各区域年变化(图 5、图 6)可知,2015—2020 年各年正距平区域主要位于关中地区,其次为陕南部分地区,2015—2020 年关中、陕南、陕北冬季平均面积正距平百分率分别为 76.6%、19.8%和 5.6%,其中各年关中均有 60%以上的面积为正距平。关中地区北部有黄土高原,南部有秦岭,呈东宽西窄“喇叭口”形盆地,特殊的盆地地形环境,造成大气大多处于稳定状态,大气交换较弱、污染累积效应强是关中冬季 EMI 正距平的主要原因。冬季污染气象条件影响与地形密切相关,陕西省污染气象条件最不利的区域为关中盆地的 EMI 正距平百分比高值区,其次为陕南;陕北地区污染气象条件较为有利。西安、咸阳、渭南等地的气象条件最差,榆林、延安的气象条件最好,结论与胡琳等^[29]的研究结论基本一致。说明除人为排放较高外,恶劣的气象条件是关中地区空气污染严重的重要原因。

冬季气象条件存在明显的年际变化特征,全省和各区域距平百分比变化趋势较为一致,均为 2016、2018 年距平百分比大,2020 年距平百分比小的特点。2016 年冬季 EMI 正距平百分比为 38.7%,为 2015—2020 年最高,正距平面积最大,陕北、关中、陕南分别有 6.3%、83.0%和 32.5%的面积为正距

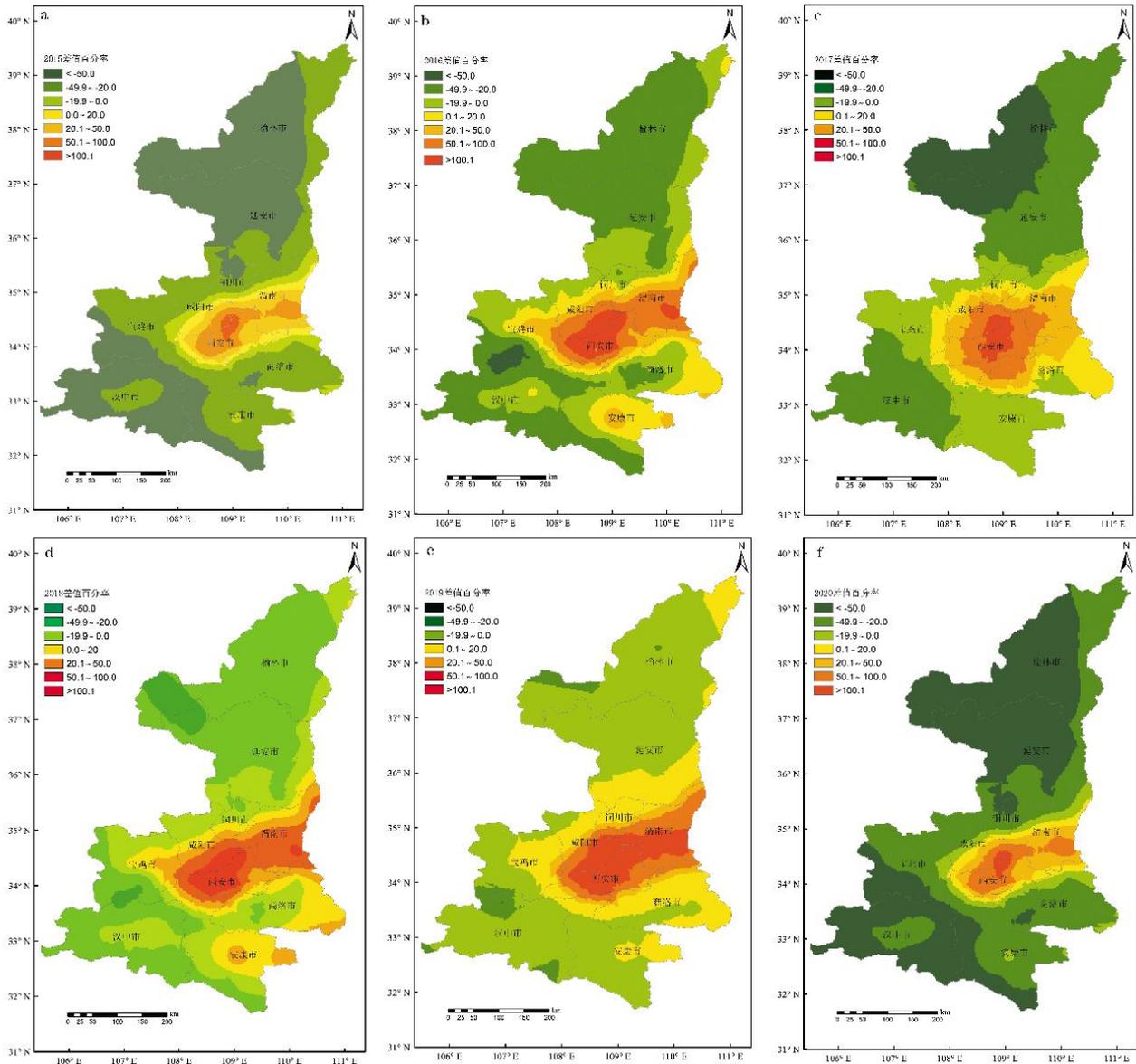


图5 2015—2020年冬季陕西各地EMI距平百分比分布
(a为2015年,b为2016年,c为2017年,d为2018年,e为2019年,f为2020年)

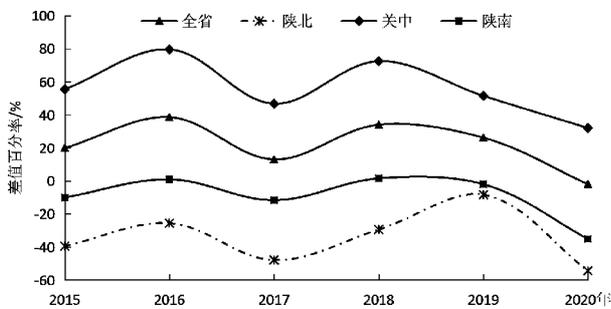


图6 2015—2020年冬季陕西省及三大区域EMI距平百分比年变化

平,关中37.5%的面积正距平超过100%。因此,2016年气象条件最不利,易出现较严重的重污染。2016

年冬季全省PM_{2.5}浓度平均为116.0 μg·m⁻³,是2015—2020年冬季最高,其中1月1—13日关中地区出现持续13 d的区域重污染天气过程,这与图5中EMI距平百分比高值区相对应,表明该持续时间长的重污染过程与气象条件紧密相关。2015、2017、2020年陕北EMI为负距平,2020年冬季EMI负距平百分比为-2.0%,说明2020年冬季气象条件有利于PM_{2.5}扩散,2020年全省和各区域冬季环境气象条件均为近年最好。

2.3 气象条件对PM_{2.5}浓度贡献率分析

PM_{2.5}浓度主要受2个变量的影响,一是污染物的排放量,二是气象条件;其中污染物排放强度大是污染形成的内因,不利气象条件则是重污染天气形

成的外因。将全省按陕北、关中、陕南三大区域划分,分别评估各区域和全省气象条件和污染排放对PM_{2.5}浓度变化所造成的影响,分别从气象和环境的角度评估大气污染综合治理措施的实际成效。

2.3.1 2020年较2015—2019年气象条件和污染排放对PM_{2.5}浓度影响

从表2可知,2020年全省各区域环境空气质量较2015—2019年均有明显改善,其中全省PM_{2.5}浓度较前5a降低24.8%,较2015—2017年下降25%以上,三大区域PM_{2.5}浓度较前5a平均下降明显,下降率均超10%。陕南PM_{2.5}浓度较前5a平均下降最多,达30.2%,陕南2020年PM_{2.5}浓度较2015、2016年均下降近40%;其次是关中,下降22.9%,关中2020年PM_{2.5}浓度较2015、2016和2017年下降超过30%。气象要素通过扩散、传输、干湿沉降和化学转化等方式对PM_{2.5}浓度降低有明显的贡献。气象条件使2020年全省PM_{2.5}浓度较近5a降低16.4%,较2015年降低21.1%,较2016、2017和2019年降低10%以上。同样气象条件使得陕南2020年PM_{2.5}浓度较前5a降低最多,达23.2%,陕北、关中降低13%左右。说明2020年气象扩散条件最好,其次是2018年,2016年气象扩散条件最差;

表2 2020年较2015—2019年PM_{2.5}浓度及气象条件和排放条件对PM_{2.5}浓度影响 %

年	评估类别	陕北	关中	陕南	全省
2015	气象条件变化率	-17.6	-18.7	-27.4	-21.1
	排放变化率	-7.1	-19.2	-16.7	-15.7
	PM _{2.5} 浓度变化率	-23.1	-35.3	-39.5	-34.0
2016	气象条件变化率	-11.8	-16.3	-25.6	-18.2
	排放变化率	1.3	-16.4	-15.3	-12.1
	PM _{2.5} 浓度变化率	-10.1	-31.8	-37.0	-28.7
2017	气象条件变化率	-11.3	-13.9	-22.3	-15.9
	排放变化率	-1.4	-16.2	-11.5	-11.4
	PM _{2.5} 浓度变化率	-12.2	-29.5	-31.1	-26.2
2018	气象条件变化率	-4.6	-6.7	-18.9	-9.9
	排放变化率	-4.3	-12.2	-11.0	-10.0
	PM _{2.5} 浓度变化率	-8.6	-19.4	-27.8	-19.8
2019	气象条件变化率	-19.7	-12.8	-21.6	-16.8
	排放变化率	12.5	-4.8	7.7	2.4
	PM _{2.5} 浓度变化率	-9.7	-17.8	-15.6	-15.5
2015— 2019年 平均	气象条件变化率	-13.0	-13.7	-23.2	-16.4
	排放变化率	0.2	-13.8	-9.4	-9.4
	PM _{2.5} 浓度变化率	-12.7	-26.7	-30.2	-24.8

陕南气象扩散条件改善最多,关中气象扩散条件改善最少。2020年气象条件使全省PM_{2.5}浓度较前5a降低16.4%,而实际PM_{2.5}浓度降低24.8%,排除气象条件影响,排放变化使得PM_{2.5}浓度较前5a平均下降9.4%,并且较2016、2017和2018年下降10%以上。污染排放变化使关中PM_{2.5}浓度下降最显著,2020年较2015、2016、2017、2018年均下降10%以上。

2.3.2 2016—2020年较基准年气象条件和污染排放对PM_{2.5}浓度影响

以2015年的气象条件和PM_{2.5}浓度为基准,逐年评估气象条件和减排措施对PM_{2.5}浓度降低的贡献。从图7可知,2016—2020年全省平均PM_{2.5}浓度较2015年降低9.3%,除2016年全省平均升高2.7%外,2017、2018、2019、2020年分别降低1.2%、9.9%、14.5%、19.1%。三大区域PM_{2.5}浓度降低最多为陕南,达19.5%;陕北次之,为13.3%;关中为0.4%,其中关中2016、2017年分别升高13.8%和10.3%,2019、2020年陕南PM_{2.5}浓度降低最多,超过20%。2016—2020年气象条件转好导致全省平均PM_{2.5}浓度降低7.4%,其中2018、2020年浓度降低较多,均超过10%。除2019年陕北气象条件贡献为负以外,其余各年气象条件均使PM_{2.5}浓度降低,2020年陕南降低最多,为23.8%。2016—2020年,减排措施导致浓度降低2.5%,2019、2020年浓度分别降低10.4%和8.8%,陕南2019年降低最多,为23.1%,其次为陕南2020年,为15.7%。

综上,气象条件对空气质量的影响不容忽视。近年陕西省大气污染治理的重视程度高,治理力度大,蓝天保卫战初见成效。贡献率分析方法从气象贡献的角度定量评估气象条件和减排措施对PM_{2.5}浓度下降的作用,在实现气象条件和减排效果评估发挥重要作用。

3 结论

(1)陕西省10个主要城市2015—2020年EMI和PM_{2.5}平均相关系数均通过0.001的显著性检验,EMI可以较好地表征和评估各种气象条件变化导致PM_{2.5}浓度的变化。

(2)通过气象条件对PM_{2.5}浓度贡献的定量分析方法评价不同年份及不同月份的气象条件影响,2015—2020年EMI呈线性降低趋势,与PM_{2.5}年均浓度变化趋势基本一致,近几年气象条件持续向好,有利于近地面大气中PM_{2.5}的稀释与扩散。年内月均浓度和EMI均呈明显的单谷分布特征,其中1月最

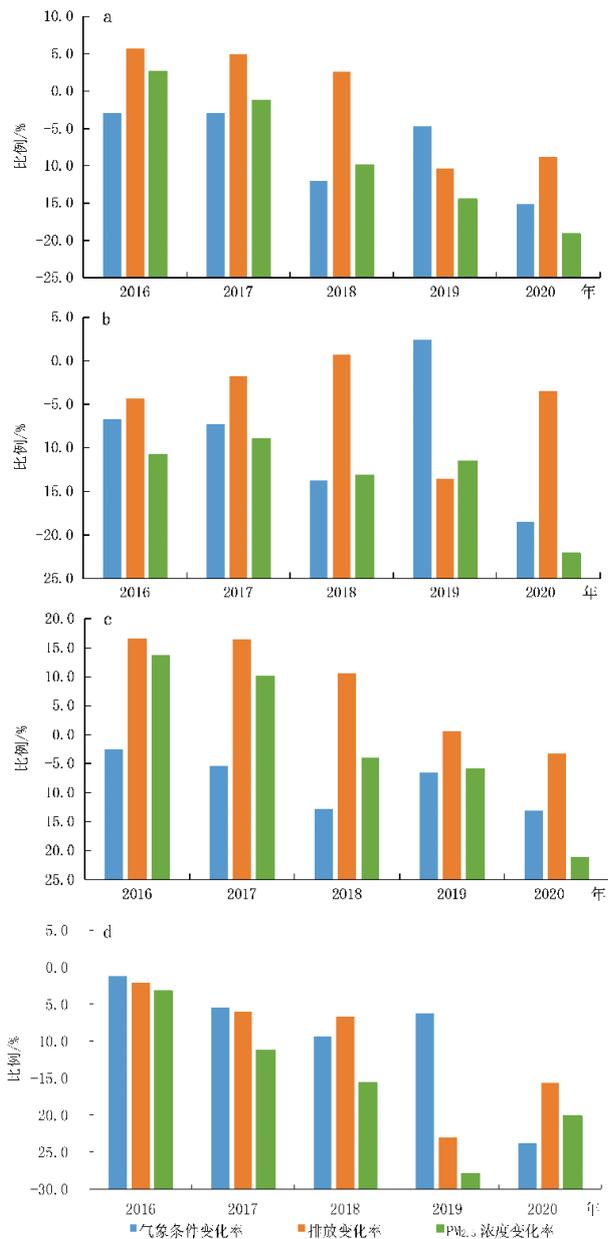


图7 2016—2020年气象条件和减排对PM_{2.5}浓度变化的贡献
(以2015年气象条件和PM_{2.5}浓度为基准,a为全省,b为陕北,c为关中,d为陕南)

大,12月次之;秋、冬季EMI大,气象条件不利于近地面大气中PM_{2.5}的稀释与扩散,PM_{2.5}浓度明显高于春、夏季。

(3)陕西省各区域EMI的分布总体上呈关中高、陕南次之、陕北最低的特点。关中地区是EMI高值区,关中中、东部EMI最大,EMI空间分布与卫星遥感统计的气溶胶光学厚度的分布基本一致。

(4)2015—2020年关中、陕南、陕北冬季平均面积正距平百分率分别为76.6%、19.8%和5.6%,受

不利的气象条件及地形的影响,EMI正距平百分比高值区主要位于关中地区,各年关中地区均有60%以上的面积为正距平,其中2016年冬季关中地区83.0%的面积为正距平,37.5%面积正距平超过100%。受特殊盆地地形影响,陕西省污染气象条件最不利的区域为关中盆地,其次为陕南地区;陕北地区污染气象条件较为有利。西安、咸阳、渭南等地的气象条件最差,榆林、延安的气象条件最好。

(5)2020年全省各区域环境空气质量较2015—2019年均有明显改善,全省PM_{2.5}浓度较前5a平均降低24.8%,气象要素通过扩散、传输、干湿沉降和化学转化等方式对PM_{2.5}浓度降低有明显的贡献,全省气象条件改善使PM_{2.5}浓度较近5a降低16.4%;排除气象条件影响,排放变化使得PM_{2.5}浓度较前5a平均下降9.4%。2016—2020年全省平均PM_{2.5}浓度较2015年降低9.3%,陕南降低最多为19.5%,2016—2020年气象条件转好导致全省平均PM_{2.5}浓度降低7.4%,减排措施导致浓度降低2.5%,2019、2020年分别使浓度降低10.4%和8.8%。近年陕西省大气污染治理的重视程度高,治理力度大,蓝天保卫战初见成效,大气污染综合治理措施成果显著,环境质量明显改善。

EMI作为大气污染治理第三方评估的一个技术工具,可用于评估各种气象条件变化导致PM_{2.5}浓度的变化,可以定量分离出气象条件变化和排放变化对PM_{2.5}浓度影响,比较系统地对大气污染治理效果作出评估分析。目前对污染物输入影响和输出影响的认识不够系统和深入,因此进一步分析研究污染源贡献,针对PM_{2.5}污染的综合性和复杂性,开展PM_{2.5}、SO₂、NO_x综合污染减排的对比评估是下一步研究工作的重点方向。通过研究,以期能够完善大气污染气象条件影响的定量化评估和预评估业务,为政府持续深入地开展PM_{2.5}污染的治理,加强细颗粒物控制提供科学依据。

参考文献:

[1] 关月,何立富.2013年1月大气环流和天气分析[J].气象,2013,39(4):531-536.
 [2] 蔡子颖,韩素芹,汪靖,等.基于天气背景天津地区重污染天气特征分析[J].环境科学学报,2017,37(10):3906-3917.
 [3] 王静,施润和,李龙,等.上海市一次重雾霾过程的天气特征及成因分析[J].环境科学学报,2015,35(5):1537-1546.
 [4] 张慧琳,丁文广,田莘冉,等.2015年监测城市雾霾污染的时空分布特征及社会经济原因分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(1):123-131.

- [5] 刘海猛,方创琳,黄解军,等.京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析[J].地理学报,2018,73(1):177-191
- [6] 余倩楠,徐茜,周陶冶,等.长三角地区2015年大气重污染特征及其影响因素[J].环境科学学报,2018,38(8):3185-3196.
- [7] 廖志恒,孙家仁,范绍佳,等.2006—2012年珠三角地区空气污染变化特征及影响因素[J].中国环境科学,2015,35(2):329-336.
- [8] CHEN S,JIANG N,HUANG J,et al.Estimations of indirect and direct anthropogenic dust emission at the global scale[J].Atmospheric Environment,2019,200:50-60.
- [9] 陈颢元,王晓琦,程水源,等.京津冀和长三角地区一次重霾过程气象成因及传输特征[J].中国环境科学,2021,41(6):2481-2492.
- [10] 尹晓梅,李梓铭,乔林,等.北京冬季疫情期间空气质量及气象影响分析[J].中国环境科学,2021,41(5):1985-1994.
- [11] 卿清涛,刘佳,李小兰,等.四川盆地一次持续性雾霾天气演变特征及其成因[J].干旱气象,2021,39(4):610-619.
- [12] SEINFELD J H,PANDIS S N.Atmospheric Chemistry and Physics:From Air Pollution to Climate Change [M].New York:John Wiley & Sons,2012.
- [13] FLOCAS H,KELESSIS A,HELMIS C,et al.Synoptic and local scale atmospheric circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area [J].Theoretical and Applied Climatology,2009,95(3/4):265-277.
- [14] POPE R J,SAVAGE N H,CHIPPERFIELD M P,et al.The influence of synoptic weather regimes on UK air quality:Regional model studies of tropospheric column NO₂[J].ACP,2015,15(13):18577-18607.
- [15] WANG Lili,ZHANG Nan,LIU Zirui,et al.The influence of climate factors,meteorological conditions,and boundary-layer structure on severe haze pollution in the Beijing-Tianjin-Hebei region during January 2013[J].Adv Meteor,2014:685971.
- [16] 张小曳,孙俊英,王亚强,等.我国雾·霾成因及其治理的思考[J].科学通报,2013,58(13):1178-1187.
- [17] 陈镭,马井会,耿福海,等.上海地区一次典型连续颗粒物污染过程分析[J].气象,2016,42(2):203-212.
- [18] 马学款,张碧辉,桂海林,等.APEC前后北京几次静稳天气边界层特征对比分析[J].气象,2017,43(11):1364-1373.
- [19] 张恒德,吕梦瑶,张碧辉,等.2014年2月下旬京津冀持续重污染过程的静稳天气及传输条件分析[J].环境科学学报,2016,36(12):4340-4351.
- [20] 毛卓成,马井会,瞿元昊,等.2015年上海地区空气质量状况及其与气象条件的关系[J].气象与环境学报,2018,34(2):52-60.
- [21] 雷正翠,郑媛媛,刘银峰,等.2018年常州一次罕见持续性雾霾天气分析[J].气象,2019,45(8):1123-1134.
- [22] 江琪,王飞,张恒德,等.北京市PM_{2.5}和反应性气体浓度的变化特征及其与气象条件的关系[J].中国环境科学,2017,37(3):829-837.
- [23] 吕梦瑶,张恒德,王继康,等.2015年冬季京津冀两次重污染天气过程气象成因[J].中国环境科学,2019,39(7):2748-2757.
- [24] 张敏,蔡子颖,韩素芹.天津静稳指数建立及在环境气象预报和评估中的应用[J].环境科学学报,2020,40(12):4453-4460.
- [25] 陈懿妮,罗玲,马昊,等.杭州市静稳天气指数构建及应用研究[J].环境科学学报,2020,40(12):4461-4469.
- [26] 栗培真,向卫国,张小玲.成都静稳天气综合指数的构建及其应用[J].成都信息工程大学学报,2020,35(1):87-95.
- [27] 胡琳,程路,林扬,等.关中区域大气重污染年份气象条件分析[J].干旱区研究,2020,37(6):1496-1503.
- [28] 胡琳,张侠,苏静,等.陕西省霾天气变化特征及气候成因分析[J].干旱区地理,2019,42(4):707-714.
- [29] 王珊,廖婷婷,王莉莉,等.西安一次霾重污染过程大气环境特征及气象条件影响分析[J].环境科学学报,2015,35(11):3452-3462.
- [30] 全国气象防灾减灾标准化技术委员会(SAC/TC 345).PM_{2.5}气象条件评估指数(EMI):QX/T 479-2019[S].北京:中国气象出版社,2019.
- [31] 焦亚音,孟凯,杜惠云,等.京津冀中南部污染气象贡献的时空变化特征[J].中国环境科学,2021,41(11):4982-4989.
- [32] 刘洪利,龚山陵,何建军,等.环境气象评估指数EMI原理及应用[C]//第35届中国气象学会年会S12大气成分与天气、气候变化与环境影响暨环境气象预报及影响评估.合肥:中国气象学会,2018.
- [33] 环境保护部.环境空气质量评价技术规范(试行):HJ 663-2013[S].北京:中国环境科学出版社,2013.

Spatiotemporal Variation Characteristics of Evaluation on Meteorological Condition Index in Shaanxi

SU Jing¹, SUN Xian², HU Lin², LIN Yang³, WANG Qi²

(1. Shaanxi Atmospheric Detection Technical Support Center, Xi'an 710014, China;

2. Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014, China;

3. Shaanxi Institute of Meteorological Sciences, Xi'an 710016, China)

Abstract This paper used the actual monitoring data of PM_{2.5} concentration and evaluation on meteorological condition index (EMI) in Shaanxi province from 2015 to 2020, analyzed the spatial and temporal distribution characteristics of EMI in recent years, evaluated the impact of meteorological conditions change and control measures on Shaanxi ambient air quality. The results show that: From 2015 to 2020, EMI can characterize and evaluate the changes quite good in PM_{2.5} concentration caused by meteorological conditions. Since 2015, EMI showed a linear decreasing trend with the pickup of meteorological conditions. EMI was higher in winter than that in summer and it was high in Guanzhong region, followed by southern Shaanxi and northern Shaanxi, with the highest occurring in the central and western regions of Guanzhong region. According to the spatial distribution of meteorological conditions in winter, it was found that the regions with high positive EMI anomaly percentage concentration were in Guanzhong region. In the winter of 2016, the area of positively off level were 83.0% and positively offset by more than 100% were 37.5% in Guanzhong. Compared to the past five years, the PM_{2.5} concentration decreased by 24.8%, among them, the contribution rates of emission reduction and meteorological conditions respectively were 16.4% and 9.4%. It can be seen that the comprehensive control measures of air pollution in the province have achieved remarkable results in recent years, and the environmental quality has improved significantly.

Key words Shaanxi province; fine particle PM_{2.5}; ambient air quality assessment; evaluation on meteorological condition index; contribution rate