

# 黄河流域空气质量时空分布及影响因素分析

## Spatial-temporal Distribution of Air Quality and Its Influencing Factors in the Yellow River Basin

**摘要** 本文基于2015—2018年空气质量监测数据,研究了黄河流域空气质量的时空变化特征,量化分析了影响黄河流域空气质量空间分布的主要因素。结果表明:(1)2015—2018年,黄河流域空气质量总体趋于改善,除 $O_3-8h$ 外, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 等污染物浓度均不同程度下降;(2)空气质量不达标天数未有明显减少,以 $O_3-8h$ 为首要污染物的持续时间明显延长,并且污染天数与 $PM_{2.5}$ 的差距逐渐缩小;(3) $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 浓度呈现东高西低的分布格局, $O_3-8h$ 污染区域逐渐扩大并呈持续连片分布,热点城市主要分布在流域下游,冷点城市主要分布在流域上游;(4)平均气温、平均风速、人口密度和城镇居民人均可支配收入是影响 $PM_{2.5}$ 空间分布的主要因素;地形起伏度、降水量、平均气压和人口密度是影响 $PM_{10}$ 空间分布的主要因素,累积解释率为65.9%;平均气压、地形起伏度、日照时间和平均风速是影响 $O_3-8h$ 空间分布的主要因素。

**关键词** 黄河流域;空气质量;时空分布;影响因素

■文/王敏 冯相昭 杜晓林 赵梦雪 梁启迪

DOI:10.14026/j.cnki.0253-9705.2019.24.012

黄河流域生态保护和高质量发展已上升为重大国家战略。习近平总书记明确要求黄河流域各省(区)要共同抓好大保护、协同推进大治理,着力促进全流域高质量发展。黄河流域是我国北方重要的人口密集区和产业承载区,高密度人口的布局和高强度的开发建设使流域内大气污染问题日益突出。加快大气污染治理,切实改善环境空气质量,对于推动黄河流域实现高质量发展至关重要。

目前,国内外学者从不同角度对黄河流域范围内空气质量时空变化做过广泛研究。有学者针对甘肃省<sup>[1]</sup>、陕西省<sup>[2]</sup>、固原市<sup>[3]</sup>、郑州市<sup>[4]</sup>、新乡市<sup>[5]</sup>等省(市),以及京津冀及周边区域<sup>[6]</sup>、京津冀城市群<sup>[7-8]</sup>、华北地区<sup>[9]</sup>、陕甘宁地区<sup>[10]</sup>、中原城市群<sup>[11]</sup>等区域,研究 $PM_{2.5}$ 等主要污染物和AQI的时空差异,其中部分研究还分析了空气质量分布的影响因素。此外,还有学者针对春节期间<sup>[12]</sup>、秸秆焚烧关键期<sup>[13]</sup>、重污染过程<sup>[14]</sup>等特定时段,对空气质量分布特征进行了

分析。

但是,以上研究对象大多停留在局地,主要是针对某一特定污染物或AQI,影响因素也多局限于气象条件,且研究方法较为单一。本文从整个流域的角度出发,基于2015—2018年的空气质量监测数据,借助空间自相关、冷热点分析、空间计量、冗余分析等方法,研究黄河流域AQI及 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $O_3-8h$ 等污染物的时空变化特征,并从地形、气象、社会、经济4个方面选取影响因素指标,量化分析影响黄河流域空气质量空间分布的主要因素及其解释率,为同步推进、整改治理、全局改善黄河流域环境空气质量提供科学支撑和决策参考。

### 数据来源与方法

本文采用的空气质量数据全部来源于生态环境部综合业务门户网站(<http://10.100.249.24/>),研究时段为2015年1月1日至2018年12月31日。该门户网站上发布的监测城市

中,属于黄河流域周边城市范围的共有69个,不含青海省及内蒙古自治区阿拉善盟。因此,本文实际评价城市为69个,AQI评价标准参考《环境空气质量评价技术规范(试行)》(HJ 663—2013)。

本文从气象、地形、社会、经济4个方面选取影响因子。气象因子包括平均气温、降水量、平均风速、日照时数、平均相对湿度、平均气压、平均水汽压。数据来源于中国气象数据网(<http://www.nmic.cn>)发布的中国地面气候资料月值数据集,站点范围包括黄河流域及周边的230个气象站点,采用ANUSPLINE软件进行空间插值,先生成栅格数据,再用ArcGIS 10.5提取得到气象因子。地形因子选用地形起伏度,基于寒旱区科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)提供的数字高程模型(DEM)计算得到。社会和经济因子包括人均GDP、人口密度、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入,数据来源于WIND数据库和

各城市2018年国民经济和社会发展统计公报。

基于以上数据,对2015—2018年黄河流域空气质量变化进行时间序列分析,并基于ArcGIS 10.0采用空间自相关分析和冷热点分析方法,测度流域2018年主要污染物浓度的空间自相关性及冷热点分布情况。同时,考虑到空间计量模型可以有效解决线性回归分析无法处理的空间依赖性问题,冗余分析(Redundancy Analysis, RDA)能够将多变量直接进行梯度分析,分别基于GeoDa软件和CANOCO 5.0软件,通过空间计量分析和冗余分析,对影响流域2018年主要污染物浓度空间分布的主要因素及其解释率进行量化分析。

## 结果分析

### 时间变化特征

**污染物浓度年际变化。**2015—2018年,黄河流域空气质量总体趋于改善。如图1所示,年均AQI由97下降至95,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、CO浓度均保持逐年下降水平。其中,SO<sub>2</sub>下降幅度最大,年均浓度由43 μg/m<sup>3</sup>下降至21 μg/m<sup>3</sup>,降幅达51%;其次是CO和PM<sub>2.5</sub>,年均浓度分别由1.4mg/m<sup>3</sup>和60 μg/m<sup>3</sup>下降至1.0mg/m<sup>3</sup>和48 μg/m<sup>3</sup>;PM<sub>10</sub>由112 μg/m<sup>3</sup>下降至102 μg/m<sup>3</sup>,降幅相对较小。另外,O<sub>3</sub>-8h浓度整体上升趋势明显,由88 μg/m<sup>3</sup>增至104 μg/m<sup>3</sup>,增幅达19%;NO<sub>2</sub>在2015—2017年保持上升趋势,但在2018年降至近4年以来的最低水平(34 μg/m<sup>3</sup>)。

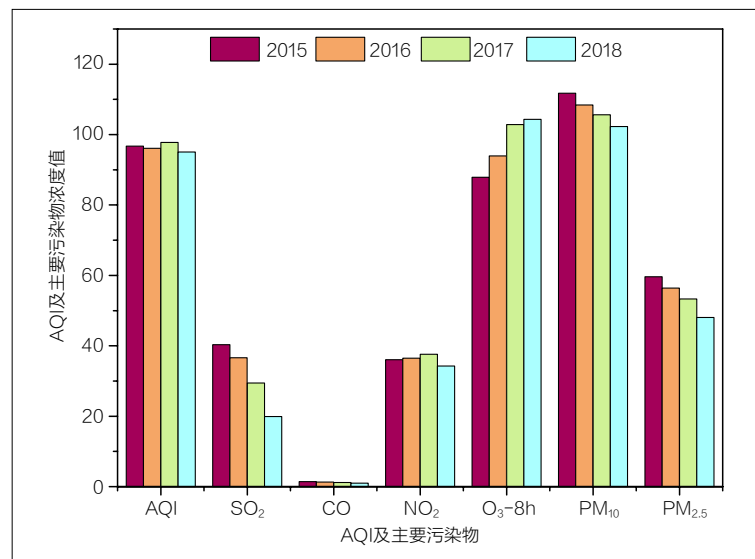
**不达标天数月度变化。**影响黄河流域周边城市空气质量达标的主要污染物是PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h。如图2所示,2015—2018年,空气质量不达标天数没有明显减少,但首要污染物

天数格局发生了变化,2015年主要污染物是PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>,2017年起发展为PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>-8h并重。其中,以PM<sub>2.5</sub>为首要污染物的污染天气主要发生在每年的11月至次年3月,且污染天数下降趋势明显,所占比例已由2015年的69%下降至2018年的39%,且各月以PM<sub>2.5</sub>为首要污染物的污染天数呈总体下滑态势。以PM<sub>10</sub>为首要污染物的污染天气不具备季节特性,污染天数在

2015—2017年稳步下降,但2018年出现了反弹,较同期增长1倍之多。另外,随着PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度下降以及O<sub>3</sub>-8h浓度上升,以O<sub>3</sub>-8h为首要污染物的污染天气持续时间明显延长,并且污染天数与PM<sub>2.5</sub>的差距逐渐缩小。

### 空间分布特征

**空间格局变化。**2015—2018年,黄河流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h浓度整体呈现东高西低的空间分布格局(见



注: AQI为无量纲指数, CO浓度单位为mg/m<sup>3</sup>, 其余污染物浓度为μg/m<sup>3</sup>。

图1 2015—2018年AQI及主要污染物浓度变化

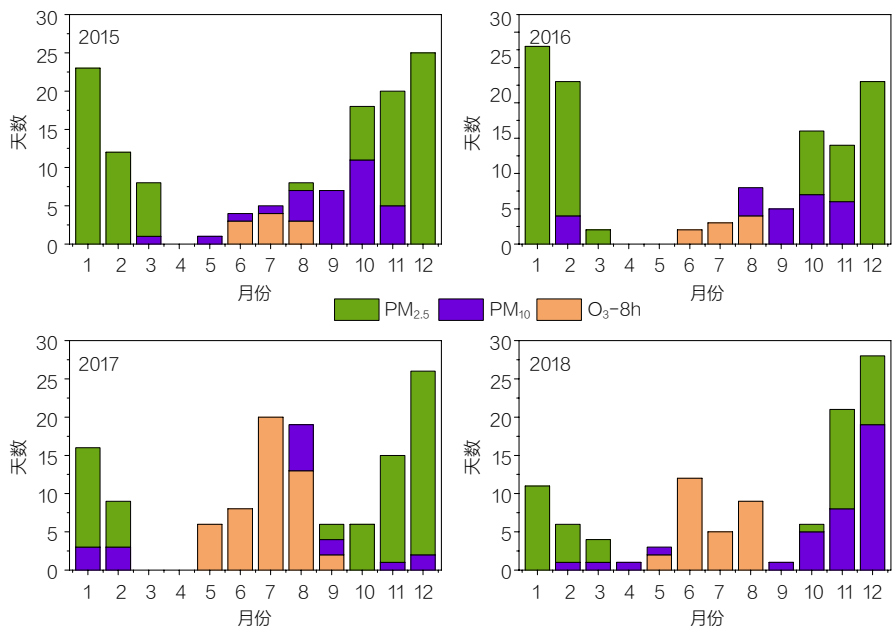


图2 2015—2018年主要污染物对应的天数月度变化

图3)。其中, PM<sub>2.5</sub>污染明显改善, 流域上游年均浓度小于35 μg/m<sup>3</sup>即达到国家二级标准的城市数量增多, 污染严重区域主要位于流域中下游的山西、河南、山东及陕西南部, 但这些区域的PM<sub>2.5</sub>浓度下降明显, 2018年基本控制在70 μg/m<sup>3</sup>以内; PM<sub>10</sub>污染情况总体有所改善, 流域中下游高污染城市的PM<sub>10</sub>浓度下降到134 μg/m<sup>3</sup>以内, 但个别城市如兰州、武威、呼和浩特等出现了反弹现象; O<sub>3</sub>-8h污染整体趋重, 且污染区域逐渐呈持续连片分布, 其中, 流域东部特别是河南和山东省内城市污染最重, 鄂尔多斯、乌兰察布、榆林等北部城市次之, 西部城市O<sub>3</sub>-8h污染虽有加重趋势, 但整体污染程度低于东部和北部。

**空间集聚特征。**对2015—2018年黄河流域的PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h浓度进行全局Moran's I分析, 结果如表1所示。2015—2018年, 上述三种污染物浓度的全局Moran's I均大于0, 并且通过了0.001的显著性检验, 表明黄河流域空气质量具有显著的正的空间自相关性, 整个空间分布大体呈现出高一高集聚或低一低集聚模式。另外, PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>-8h的Moran's I分别保持逐年降低和升高水平, 说明流域内PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>-8h年均浓度的空间自相关程度分别呈减弱和增强态势。

以2018年为例, 进一步识别PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h浓度聚集的位置

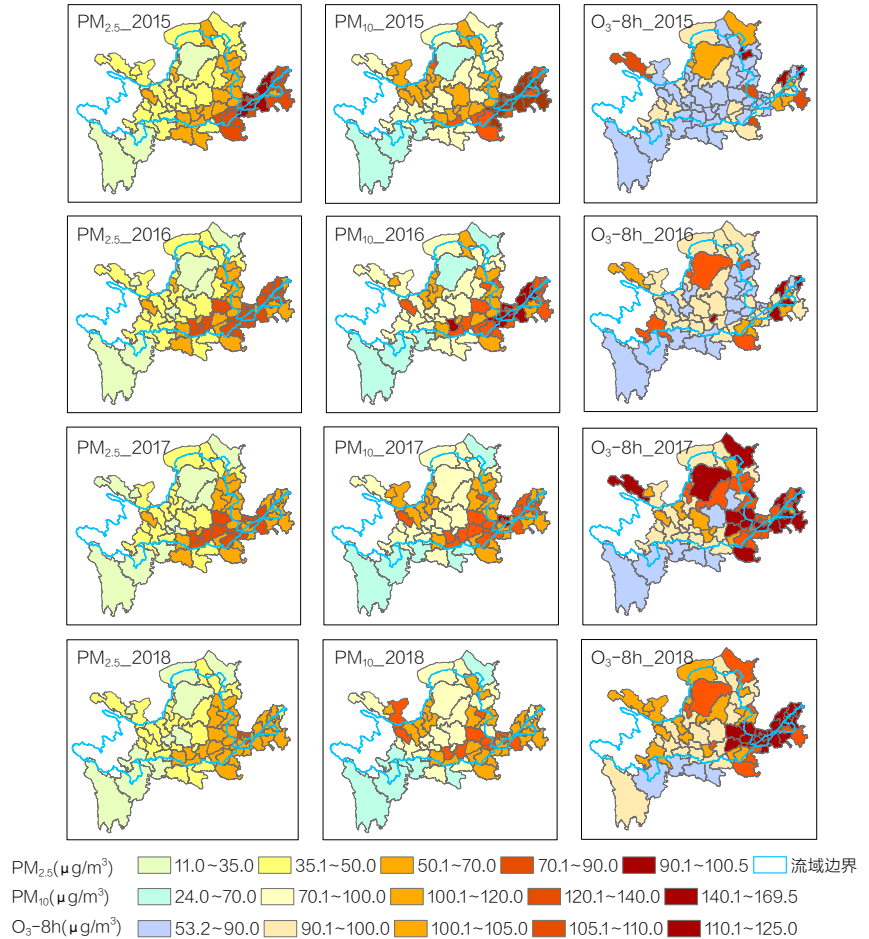


图3 2015—2018年黄河流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>-8h浓度空间变化

(见图4)。结果发现, 2018年, 黄河流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h的冷、热点分布特征大体相同, 均呈东热西冷的格局。其中, PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>-8h的热点城市主要分布在山东、河南、山西, 进一步证实这些区域已形成PM<sub>2.5</sub>和O<sub>3</sub>-8h复合型污染的高发地带; 冷点城市主要分布在四川、甘肃、内蒙古等地。

PM<sub>10</sub>的热点和冷点城市相对较少, 热点城市主要分布在河南和山西, 冷点城市主要分布在四川。

**影响因素分析**

**空间计量分析。**考虑到流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>-8h浓度均表现出显著的空间自相关性, 若单纯采用普通

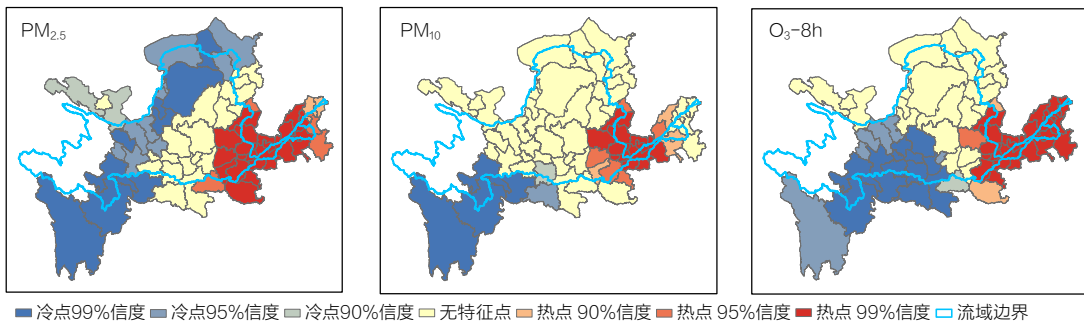


图4 2018年黄河流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>-8h浓度冷热点空间分布

最小二乘法 (OLS) 模型进行估计, 可能会不符合线性回归模型的基本假设, 导致结果产生偏误。谨慎起见, 本文在进行OLS模型估计的基础上, 同时采用空间滞后模型 (SLM) 和空间误差模型 (SEM) 对非独立性样本数据进行回归估计, 结果如表2

所示。

对比Log likelihood和 $R^2$ , 可以发现SLM模型和SEM模型的拟合效果均好于OLS模型, 且赤池信息准则AIC值也有所降低, 有理由认为SLM模型和SEM模型的估计结论更为可靠。同时, 对比LM(lag)和LM(error), 以

及Robust LM(lag)和Robust LM(error), 发现SLM模型拟合结果更显著, 即更适用于本文。

SLM模型拟合结果显示, 人口密度、平均气温对 $PM_{2.5}$ 存在正向的显著影响, 平均风速、日照时数、地形起伏度对 $O_3-8h$ 产生正向显著影响, 人口

表1 2015—2018年黄河流域 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 和 $O_3-8h$ 全局Moran's I

污染物		2015年	2016年	2017年	2018年
$PM_{2.5}$	Moran's I	0.66	0.64	0.58	0.56
	P值	0.00	0.00	0.00	0.00
$PM_{10}$	Moran's I	0.49	0.47	0.40	0.33
	P值	0.00	0.00	0.00	0.00
$O_3-8h$	Moran's I	0.18	0.23	0.30	0.33
	P值	0.00	0.00	0.00	0.00

表2 OLS、SLM与SEM的拟合结果比较

变量	$PM_{2.5}$			$PM_{10}$			$O_3-8h$		
	OLS	SLM	SEM	OLS	SLM	SEM	OLS	SLM	SEM
人口密度	0.02***	0.02**	0.02***	0.03***	0.03***	0.03***	—	—	—
平均风速	10.46**	—	9.02*	—	—	—	11.00**	7.95**	7.50*
平均气温	4.02**	3.41**	3.51**	—	—	—	2.84*	—	—
日照时数	—	—	—	—	—	—	0.29***	0.18**	0.21**
平均气压	—	—	—	-1.07*	—	—	—	—	—
地形起伏度	—	—	—	-0.11**	-0.08*	-0.10**	0.05*	0.03*	0.04*
LM(lag)	—	2.85*	—	—	2.85*	—	—	9.71***	—
Robust LM(lag)	—	6.16**	—	—	4.92**	—	—	5.56***	—
LM(error)	—	—	0.50	—	—	0.71	—	—	4.68*
Robust LM(error)	—	—	3.81*	—	—	2.77*	—	—	3.53*
$R^2$	0.75	0.77	0.76	0.68	0.70	0.69	0.64	0.70	0.69
Log likelihood	-228.27	-226.83	-227.89	-268.19	-266.67	-267.65	-220.06	-215.33	-216.33
AIC	482.54	481.67	481.78	562.38	561.33	561.29	466.13	458.93	458.66

注: \*\*、\*和\*分别表示达到0.01、0.05和0.1的显著性水平。

表3 通过Monte Carlo置换检验的影响因子及其解释率

影响因子	$PM_{2.5}$			$PM_{10}$			$O_3-8h$		
	解释率/%	F	P	解释率/%	F	P	解释率/%	F	P
平均气温	60.2	101	0.002	—	—	—	—	—	—
平均风速	4.9	9.3	0.004	—	—	—	—	—	—
平均气压	—	—	—	6.6	12.4	0.004	41.6	47.8	0.002
日照时间	—	—	—	—	—	—	8.7	11.6	0.004
降水量	—	—	—	17.0	25.1	0.002	—	—	—
地形起伏度	—	—	—	41.2	55.7	0.002	7.6	11.8	0.004
人口密度	3.3	6.7	0.014	4.2	12.4	0.004	—	—	—
城镇居民人均可支配收入	2.5	5.5	0.016	—	—	—	—	—	—
累积贡献率/%	70.8			65.9			58.0		



密度和地形起伏度则分别会对PM<sub>10</sub>产生正向和负向显著影响,人均GDP、降水量等其他6个因子对PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h浓度空间差异未表现出显著影响。

RDA排序分析。进一步采用RDA排序分析方法,量化影响因子对流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h浓度空间差异的解释率,并通过Monte Carlo检验得到影响因子的重要性排序,结果如表3所示。平均气温、平均风速、人口密度和城镇居民人均可支配收入是影响PM<sub>2.5</sub>差异的主要因素,解释率分别为60.2%、4.9%、3.3%和2.5%,累积解释率为70.8%;地形起伏度、降水量、平均气压和人口密度是影响PM<sub>10</sub>差异的主要因素,解释率分别为41.2%、17.0%、6.6%和4.2%,累积解释率为65.9%;平均气压、日照时间和地形起伏度是影响O<sub>3</sub>-8h差异的主要因素,解释率分别为41.6%、8.7%、7.6%,累积解释率为58.0%。

## 结论与讨论

### 结论

(1) 2015—2018年,黄河流域空气质量总体趋于改善,年均AQI由97下降至95,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、CO浓度均有不同程度的下降。但O<sub>3</sub>-8h浓度整体上升趋势明显,由88 μg/m<sup>3</sup>增至104 μg/m<sup>3</sup>,增幅达19%。

(2) 空气质量不达标天数未有明显减少,但首要污染物天数格局发生了变化。以O<sub>3</sub>-8h为首要污染物的持续时间明显延长,并且污染天数与PM<sub>2.5</sub>的差距逐渐缩小,O<sub>3</sub>-8h从2017年起成为黄河流域继PM<sub>2.5</sub>后又一重要污染物。

(3) 黄河流域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>污染整体改善明显,呈现东高西低的分布格局。O<sub>3</sub>-8h污染趋重且污染区域逐渐扩

大并呈持续连片分布。上述污染物均具有显著的空间自相关性,大体呈现出高一低集聚或低一低集聚模式,热点城市主要分布在流域下游的山西、河南及山东省内,冷点城市主要分布在流域上游。

(4) SLM模型适用于本文用于回归估计。拟合结果显示,人口密度、平均气温对PM<sub>2.5</sub>浓度存在正向的显著影响,平均风速、日照时数、地形起伏度对O<sub>3</sub>-8h浓度产生正向显著影响,人口密度和地形起伏度也分别会对PM<sub>10</sub>浓度产生正向和负向的显著影响。

(5) RDA排序结果显示,平均气温、平均风速、人口密度和城镇居民人均可支配收入对PM<sub>2.5</sub>空间分布的累积解释率为70.8%,地形起伏度、降水量、平均气压和人口密度对PM<sub>10</sub>空间分布的累积解释率为65.9%,平均气压、地形起伏度和日照时间对O<sub>3</sub>-8h空间分布的累积解释率为58.0%。

### 讨论

(1) 近年来,黄河流域中下游城市PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、CO等污染物浓度的整体下降主要得益于在京津冀及周边地区、汾渭平原开展的大气污染防治攻坚战。2015年以来,流域中下游城市围绕“减煤、抑尘、治企、控车”,制定出台了一系列环保政策措施和方案,在大气污染防治工作方面取得了重要进展。相比之下,流域上游城市由于空气质量底数情况好,大气污染防治工作力度小,上述污染物浓度下降幅度要小于中下游城市。但是,O<sub>3</sub>-8h浓度持续攀升且污染区域扩大,在一定程度上说明现阶段O<sub>3</sub>污染防治工作的基础支撑还显薄弱。

(2) 黄河流域空气质量受自然外因和人为内因共同影响,高污染物排放是流域空气质量空间差异的根本

内因,平均气温、平均风速、日照时数、地形等自然条件是空气质量集聚与扩散的外在因素。本文的定量分析结果显示,人口密度对PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>浓度的影响具有显著性,但对O<sub>3</sub>-8h无显著影响,说明PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>浓度受人为活动影响的程度较O<sub>3</sub>-8h更大,O<sub>3</sub>-8h浓度更易受日照时数、地形起伏度等自然外因影响。因此,现阶段整个流域的大气污染防治重点还是PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>,但流域下游区域也要同步开展O<sub>3</sub>-8h污染防治工作。

(3) SLM模型拟合结果显示,降水量、平均相对湿度等因素对PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8h浓度未表现出显著影响,与部分学者的研究结论<sup>[15-16]</sup>有所不同。这可能与时间尺度或空间尺度大小有关。在不同时间尺度(日、月、年)和不同空间尺度(城市、区域、流域)下,大气湿度、降水、风速、地形等因素对大气污染的影响机理不同<sup>[17-18]</sup>。在比较和分析影响因素时要区分时空的尺度效应。

(4) 本文筛选出来的12个影响因素间存在较强的相关性,通过冗余分析可有效降低特征维数,减少冗余信息所造成的误差,提高模型模拟精度。但是,对比SLM模型与冗余分析拟合结果,发现通过显著性检验的影响因子不一致。如用冗余分析得出的影响PM<sub>2.5</sub>的显著性因素包括平均气温、平均风速、人口密度和城镇居民人均可支配收入,但是在SLM模型拟合结果中只有平均气温和人口密度通过了显著性检验;又如平均风速对PM<sub>10</sub>的影响在SLM模型拟合结果中是显著的,但是未通过冗余分析里的Monte Carlo检验。究竟哪一种方法的模拟结果更为可靠,目前还难以判别,在后续的研究对比分析中,还需结合多种模型模拟方法进行相互佐证以及

交叉使用分析。<sup>HB</sup>

#### 参考文献

- [1] 毋建军. 2018年甘肃省城市空气质量状况研究[J]. 环境研究与监测, 2019, 32(3): 7-11.
- [2] 杨飞, 易文利, 朱婵园, 等. 陕西省空气质量时空差异研究[J]. 四川环境, 2018, 37(2): 78-85.
- [3] 杨文海, 韩世昌, 马兴明. 固原市空气质量特征及其与气象条件的关系[J]. 甘肃农业, 2019(9): 69-73.
- [4] 李治军, 卢松, 陈末, 等. 郑州市大气污染时空分布特征分析及预测模型建立[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2019, 36(4): 450-458.
- [5] 沙涛, 张慧. 新乡市环境质量灰色关联分析[J]. 环境科学导刊, 2019, 38(5): 85-88.
- [6] 陈辉, 厉青, 李营, 等. 京津冀及周边地区PM<sub>2.5</sub>时空变化特征遥感监测分析[J]. 环境科学, 2019, 40(1): 33-43.
- [7] 程雪雁, 朱磊, 周艺萱. 2015—2018年京津冀城市群空气污染时空变化特征[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2019, 55(4): 523-531.
- [8] 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.
- [9] 林美含. 华北地区空气质量时空变化特征及其影响因素探究[C]// 中国地理学会经济地理专业委员会. 2019年中国地理学会经济地理专业委员会学术年会摘要集. 2019: 136.
- [10] 刘昕, 辛存林. 陕甘宁地区城市空气质量特征及影响因素分析[J/OL]. 环境科学研究: 1-16[2019-10-31]. <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929>. 2019. 05. 16.
- [11] 邢莉, 苏喜军. 中原城市群空气质量指数时空分布特征[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2017, 33(6): 38-44.
- [12] 解淑艳, 王胜杰, 刀谓, 等. 2018年春节期间京津冀及周边区域空气质量分析[J/OL]. 中国环境监测: 1-11[2019-10-31]. <https://doi.org/10.19316/j.issn.1002-6002>. 2019. 05. 01.
- [13] 吴文玉, 张浩, 何彬方, 等. 淮河流域秸秆焚烧关键期主要大气污染物浓度时空分布特征[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(4): 33-39.
- [14] 朱媛媛, 高愈霄, 柴文轩, 等. 京津冀及周边区域PM<sub>2.5</sub>叠加沙尘重污染过程特征及预报效果分析[J/OL]. 环境科学: 1-18[2019-10-31]. <https://doi.org/10.13227/j.hjkk.201908123>.
- [15] 张淑平, 韩立建, 周伟奇, 等. 冬季PM<sub>2.5</sub>的气象影响因素解析[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 7897-7907.
- [16] LIU H, MA W, QIAN J, et al. Effect of urbanization on the urban meteorology and air pollution in Hangzhou[J]. Journal of Meteorological Research, 2015, 29(6): 950-965.
- [17] HESTER R E, HARRISON R M. Air quality in urban environments[M]. London: Royal Society of Chemistry, 2009.
- [18] WHITEMAN C D, HOCH S W, HOREL J D, et al. Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley[J]. Atmospheric Environment, 2014(94): 742-753.

(作者单位: 生态环境部环境与经济政策研究中心。冯相昭系本文通讯作者)

## 关于换发新版记者证人员名单的公示

根据《国家新闻出版署关于2019年全国统一换发新闻记者证的通知》(国新出发[2019]39号)、《新闻记者证管理办法》要求, 我社已对换发记者证人员资格进行严格审核, 现将名单予以公示, 接受社会监督。

公示期2019年12月20日—12月30日。

拟换发新闻记者证人员: 罗敏, 旧版新闻记者证K11170055000002已收回, 并作废。

监督举报电话

国家新闻出版署电话: 010-83138953

《环境保护》杂志社电话: 010-67113764

《环境保护》杂志社  
2019年12月20日