

河北省大气污染时空变化特征及其影响因素

何振芳^{1,2}, 郭庆春^{1,3}, 刘加珍¹, 张莹莹¹, 刘杰¹, 丁航¹

(1. 聊城大学环境与规划学院, 聊城 252000; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 3. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710061)

摘要: 河北省是中国污染最严重的省份, 研究该省大气污染的时空变化与影响因素具有十分重要的意义。利用逐日空气质量指数(AQI)、气象要素观测资料以及社会经济数据, 统计分析与空间分析法结合分析了河北省AQI时空变化特征及其与影响因素的定量关系。结果表明: 河北省大气污染主要发生在中西部和南部, 尤以邯郸、邢台与石家庄等地最为严重, 北部地区相对较少。河北省AQI总体呈现逐年减少的趋势, 2014—2018年河北省平均AQI线性趋势为-8.845/年, 而且与风速、气温、降水、GDP、人口、电力消耗量和第二产业呈现显著负相关关系, 而和NO_x与SO₂的排放量呈正相关。气候条件是河北省大气污染的诱导因素, 而人为排放是河北省大气重污染的主要因素。随着河北经济的飞速发展, 大气污染综合防治经费的投入增加, 河北省经济增长与环境污染处于反向阶段, 大气污染与经济关系的非线性关系早已过了环境库兹涅兹曲线(EKC)“拐点”。研究结果可为河北省空气污染治理提供理论依据。

关键词: 大气污染; 河北省; 空气质量指数; 气温; 降水; 社会经济

大气污染是影响经济发展的重要因素, 而且大气污染会增加大气消光, 影响局地气候, 甚至严重危害身体健康, 如暴露人群致癌风险等^[1]。2011年中国中东部首次连续出现了雾霾, 2013年中国遭遇了严重的大气污染^[2,3]。然而空气质量除了受自然的影响, 更为重要的是与社会经济条件有着密切的关系, 受到多要素共同作用^[4]。因此, 亟需识别大气污染的关键影响因素, 有针对性地预防和控制城市大气污染。

20世纪80年代以来河北省大气重污染天气较多, 这受到了大气滞留条件和冷空气强度变化等自然要素的明显影响, 同时也受到了城市化的影响^[5]。2000—2014年京津冀地区PM_{2.5}浓度呈上升趋势, 空间上呈西北低、东南高, 时间上呈春夏低的趋势^[6]; 京津冀的空气质量与气象条件有非常密切的关系^[7]。河北省霾出现频数与年平均风速为负相关^[8]。中国的极端天气灾害不断增多, 易导致大气重污染事件^[9]。

本文在全面分析河北省AQI时空分布特征基础上, 结合统计分析、空间插值等方法, 揭示河北省大气污染的时空变化趋势, 同时研究气象和社会经济关键因子对这种变化的作用, 对深入了解河北省大气污染变化与成因有重要的意义。

收稿日期: 2019-09-12; 修订日期: 2020-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(41472162); 山东省社科规划研究项目(18CKPJ34); 山东省高等学校人文社会科学计划项目(J18RA196); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金资助项目(SKLLQG1907)

作者简介: 何振芳(1983-), 女, 山东泰安人, 博士, 讲师, 研究方向为GIS与RS应用。

E-mail: hezhenfang@lzu.edu.cn

通讯作者: 郭庆春(1979-), 男, 山东聊城人, 博士, 讲师, 研究方向为大气污染模拟。

E-mail: guoqingchun@lzu.edu.cn

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

河北省是京津冀十分重要的一部分,在华北平原的北部,包括十一个城市(图1)。

1.2 数据来源

1.2.1 AQI 指标

2012年环境保护部公布了《环境空气质量标准》(GB3095-2012),用 AQI 表达空气质量。 AQI 越大、等级越高,表明空气污染越严重(表1)。

1.2.2 空气质量监测点布局依据

空气质量监测点的功能是对大气污染物进行不断地测量。每个城市布局若干个监测点。监测点在建成区,并且分布均匀。

1.2.3 空气质量监测点数据的置信度和误差

在2014—2018年间,河北省空气质量监测点数据的置信度为95%,相对误差都小于5%(表2),其中,廊坊 SO_2 相对误差为4.9266%,唐山 NO_2 相对误差为1.6204%。

1.2.4 数据处理方法

一个城市里全部监测点的污染物浓度的算术平均值代表该城市污染物浓度的总体平均值。每日 AQI 数据是当天每小时数据的平均值。

1.2.5 数据来源

空气质量数据来自我国空气质量平台。气象数据来自我国气象网。社会经济数据来自《河北省统计年鉴》,主要包括GDP、人口、林业、农业、人均GDP、电力消耗量、第一、二、三产业、森林面积、 NO_x 与 SO_2 的排放量、耕地面积等数据。

1.3 研究方法

利用SPSS统计分析软件计算了空气质量指数和气象要素、社会经济要素的相关系数。为分析2014—2018年河北省 AQI 的变化趋势(变化率),采用了一元线性回归分析,并采用 t 检验法对变化率做了显著性检验。空间插值法利用克里金法进行 AQI 空间分析。

2 结果分析

2.1 大气污染年际变化和空间分布特征

利用线性趋势法计算2014—2018年河北省 AQI 变化趋势表明(图2、表3),张家口

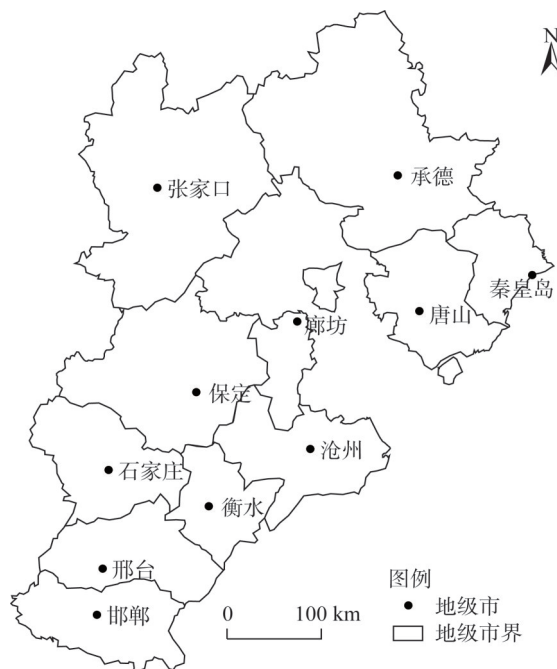


图1 河北省城市分布

Fig. 1 Location of Hebei province

表1 AQI 范围及相应的空气质量类别

Table 1 Air quality index scope and air quality classifications

AQI	等级	状况
0~50	I	优
51~100	II	良
101~150	III	轻度污染
151~200	IV	中度污染
201~300	V	重度污染
>300	VI	严重污染

表2 河北省空气质量监测数据的相对误差
Table 2 Relative error of air quality monitoring data in Hebei province (%)

城市	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃
保定	3.5982	2.9698	4.3388	3.9598	2.3788	2.8441
沧州	3.153	2.6298	3.3088	3.1208	2.0205	2.483
承德	3.6425	2.8918	3.3894	2.7278	1.983	2.4802
邯郸	3.3848	2.644	3.8454	3.0217	2.0908	2.7091
衡水	3.2628	2.8221	3.8933	2.9621	2.2107	2.4266
廊坊	4.082	3.1345	4.9266	3.3862	2.1872	2.8967
秦皇岛	3.7035	2.906	3.6954	3.2137	1.8202	2.5462
石家庄	3.8578	3.0932	4.1925	3.649	2.2642	2.9504
唐山	3.3202	2.6416	3.2847	2.7789	1.6204	2.844
邢台	3.5518	2.7978	3.9367	3.0046	1.8408	2.8689
张家口	3.8823	3.2757	4.542	2.6313	2.395	2.0458

市AQI变化率最小，线性趋势约为0.375/年；保定市AQI变化率最大，线性趋势约为-11.683/年；河北省AQI变化趋势的空间分布呈中部、南部和东部减速大而西北部变化不大。2014—2018年河北省平均AQI变化率（线性趋势）为-8.845/年，自2014—2018年河北省AQI逐步降低，空气质量逐渐改善。2014—2018年河北省AQI空间分布特征是从北部到南部逐渐增大，北部污染较轻，南部污染较重，且近5年没有明显变化；分区域来看，保定市AQI居河北省各市之首，而张家口AQI为河北省最低。也就是说，由南向北空气质量状况逐步转好。

2018年河北省秦皇岛市、张家口市和承德市空气质量优良等级所占比例依次为80.27%、79.18%、77.53%，且严重污染天数均为0；而石家庄、邯郸、保定三市优良天气所占比例较少（表4）。2018年空气质量最好的城市为秦皇岛市，最差的城市是石家庄市。

2.2 大气污染季节变化特征

2014—2018年河北省AQI平均

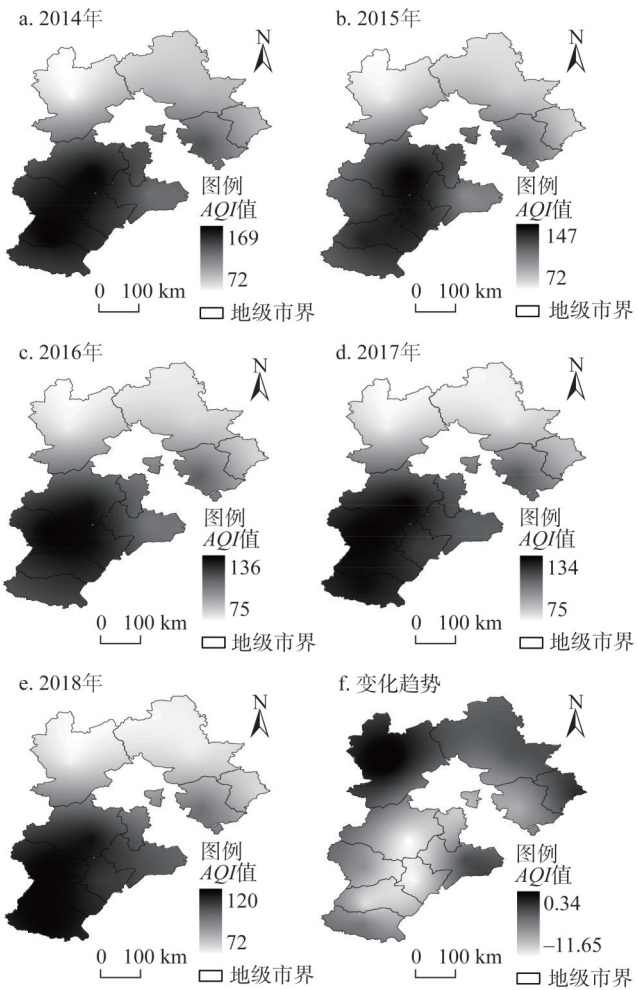


图2 河北省AQI空间变化
Fig. 2 The spatial distribution of AQI in Hebei province

表3 2014—2018年河北省AQI年际变化趋势

Table 3 The interannual trends of AQI in Hebei province from 2014 to 2018

地区	保定	沧州	承德	邯郸	衡水	廊坊	秦皇岛	石家庄	唐山	邢台	张家口	河北省
变化趋势	-11.683	-3.8667	-4.333	-6.0083	-11.508	-9.975	-2.4583	-7.225	-8.4917	-10.775	0.375	-8.845

表4 2018年河北省AQI分级出现频率

Table 4 The occurrence frequency of the grading AQI in Hebei province in 2018 (%)

城市	优	良	轻度污染	中度污染	重度污染	严重污染
保定	6.85	38.36	33.15	13.42	7.67	0.27
沧州	5.21	47.12	30.68	12.05	3.56	0.55
承德	22.19	55.34	14.52	4.66	0.55	0
邯郸	0.55	43.56	34.25	13.15	5.48	1.92
衡水	2.47	54.25	28.49	9.32	4.56	1.1
廊坊	18.36	50.96	24.38	9.32	2.47	0.27
秦皇岛	18.36	61.92	15.89	2.47	0.82	0
石家庄	1.37	40	32.6	13.42	9.32	1.1
唐山	5.48	50.96	27.4	9.04	3.29	0.55
邢台	2.74	46.85	29.86	11.23	6.58	1.37
张家口	27.95	51.23	15.62	1.64	0.55	0

值在夏季最低，冬季最高，河北省AQI四季的变化趋势大致表现为：夏季<秋季<春季<冬季（图3），其AQI平均值分别为102、103、109、140。其中，保定市四个季节AQI平均值都是河北省最大的，而张家口市最低。在季节变化上，不同城市表现不尽相同，沧州市AQI平均值夏季小于秋季；承德市AQI平均值秋季小于夏季；邯郸市AQI平均值四季中夏季最小；而秦皇岛市夏季AQI平均值与秋季差别不大。这些现象的原因为：在夏季地表增温快，进而产生强对流天气；而在冬季大气稳定，容易形成逆温，对空气污染物的分散不利，而且河北省为采暖期，进一步加重了大气污染，使得AQI平均值增加^[10]。

2.3 气象因素对大气污染的影响

从图4可以看出，河北省AQI

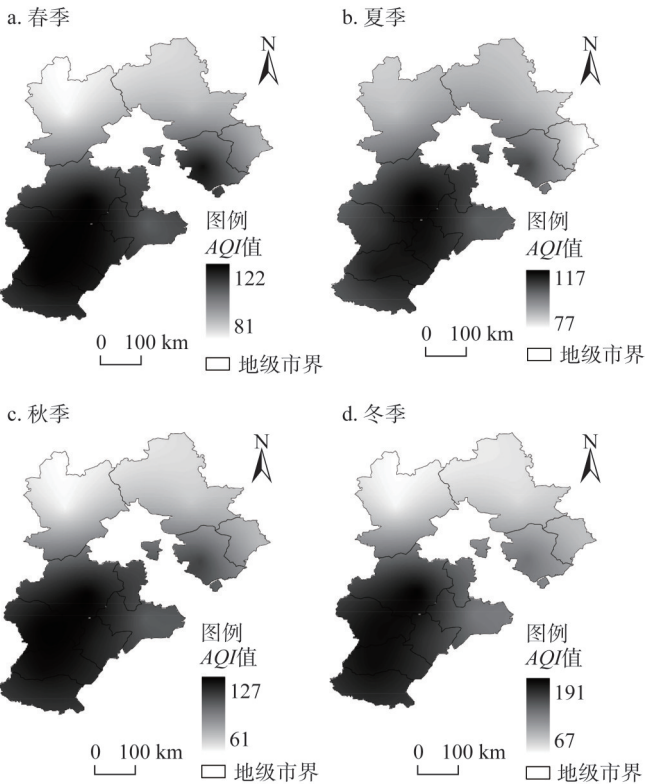


图3 河北省AQI季节分布

Fig. 3 The seasonal distribution of AQI in Hebei province

和气象要素的相关系数。 AQI 与风速为负相关, 风速大, 那么空气污染物就会运的远, AQI 也会越小; 风速小, 那么就运的越近, 污染物浓度也就会越高。除张家口市、承德市之外, 河北省其他各市气温与 AQI 基本呈现负相关。因为气温高, 大气不稳定, AQI 就小。除张家口、承德外, 河北省其他城市 AQI 与气压呈现正相关。高压空气就会下沉, 形成逆温, 污染就不分散^[7]。

石家庄、邢台和秦皇岛三市的降水与 AQI 呈现负相关, 而河北省其他城市呈现正相关。降雨对大气污染物可以有冲刷与清除的效果。雨雪天气, 大气污染物可以溶解在水中, 可对气溶胶颗粒有清除作用, 降低空气中污染物的浓度。因此, 降水对污染物有很好的净化效果^[10]。河北省 AQI 和日照时数呈负相关, 而和相对湿度呈现正相关, 当湿度较大时, 会引起降水, 从而使 AQI 降低, 进而导致空气质量的改善。因此, 如果相对湿度越大, 那么空气质量越好。

2.4 社会经济因素对大气污染的影响

从图5可以看出, 社会经济因素与 AQI 的相关性。除张家口之外, 河北省各城市人口与 AQI 呈现负相关, 即随着人口的增加, AQI 越来越少。林业、农业发展状况与 AQI 的关系在河北省各市表现不同, 如保定市 AQI 与农业发展呈现负相关, 而张家口市 AQI 与农业发展表现为正相关。除张家口市外, 河北省各地区生产总值GDP与 AQI 呈现负相关, 当经济发展增快, 重工业排放污染气体, 加重空气污染, 进而导致空气质量指数增加。但自从进入新世纪, 河北省进行了产业升级, 进而使得 AQI 减少。而且, 国家和河北省都采取了一系列大气污染防治措施, 积极地推动大气污染综合治理工作。为了更好地反映河北省大气污染总体水平与经济增长的关系, 运用最小二乘法拟合 AQI 与GDP关系, 得到拟合结果(图6)。从图6也可以看出, 虽然河北省经济快速发展, 但河北省 AQI 却逐年下降。主要是由于河北省加大环境污染治理投入, 取得了较好的效果。

从全省的角度分析, AQI 与GDP、人均GDP、电力消耗量、第二产业、农业、森林

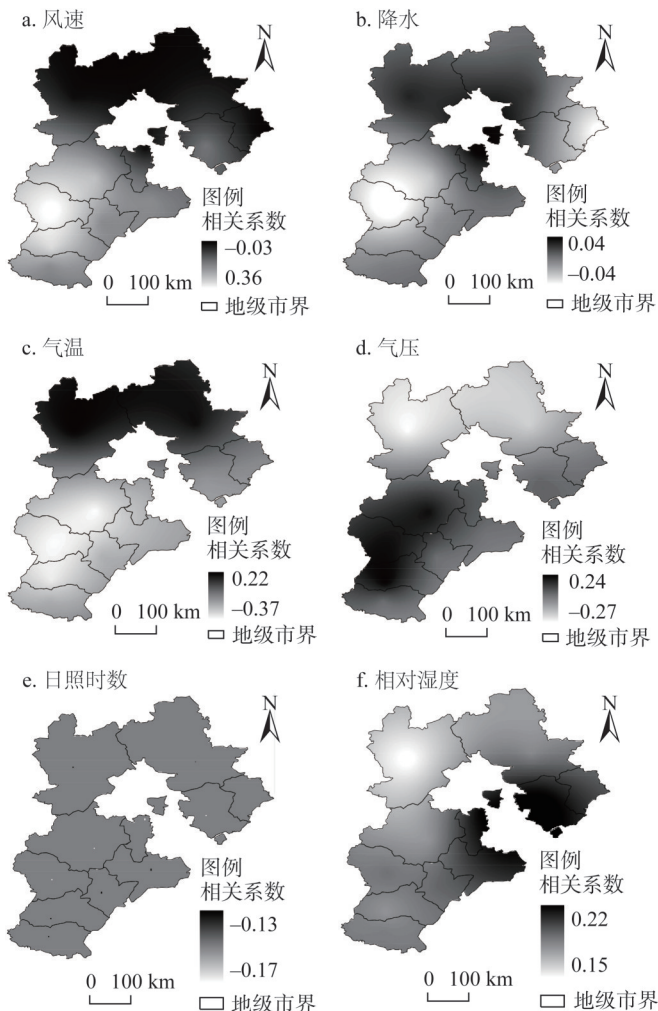


图4 河北省 AQI 和气象因子的相关系数空间分布

Fig. 4 Correlation coefficients between AQI and meteorological factors in Hebei province

面积呈负相关,而和 NO_x 与 SO_2 的排放量、第三产业、第一产业、耕地面积呈正相关(表5)。河北省社会经济因素人均GDP、人口与 AQI 的相关系数分别为 -0.9274 和 -0.9768 ,而二氧化硫排放量、氮氧化物排放量与 AQI 的相关系数分别为 0.9462 、 0.9780 。一般来说,环境质量转折点为人均GDP 6000~8000美元。2014年河北省人均GDP为6300美元,已经在该区间。从图5也可以看出,河北省已经超过EKC最大值,呈现集约型经济增长方式。河北省大气污染物排放量减少,也促使其大气污染与经济增长为异步阶段。

河北省 AQI 与耕地面积、森林面积的相关系数分别为 0.9997 、 -0.9968 。河北省森林面积与 AQI 呈现负相关,森林面积越多,昭示着植物越多,使得 AQI 越小。河北省耕地面积与 AQI 成正相关,在一定土地资源下,耕地面积的增多导致了森林面积的减少,进而导致 AQI 增加。

3 结论与讨论

大气污染是一个由多个自然和社会经济因素引起的环境问题,气象条件的改变对大气污染

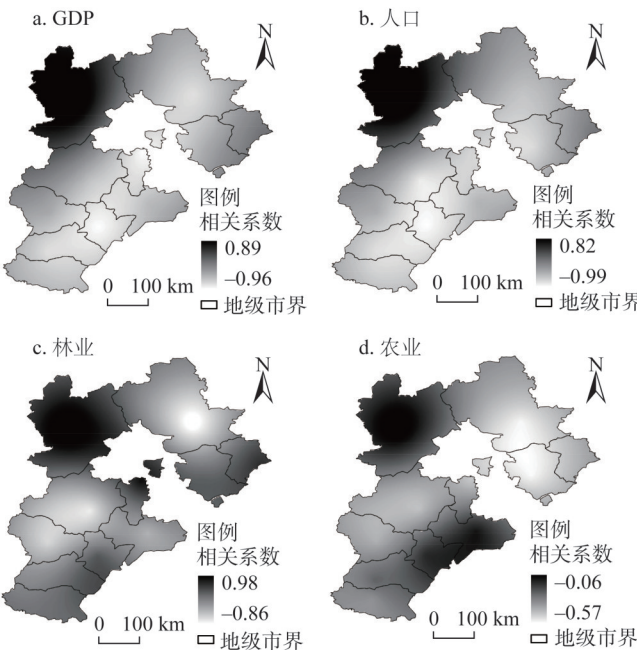


图5 河北省 AQI 与社会经济要素的相关系数空间分布
Fig. 5 Correlation coefficients between AQI and socio-economic factors in Hebei province

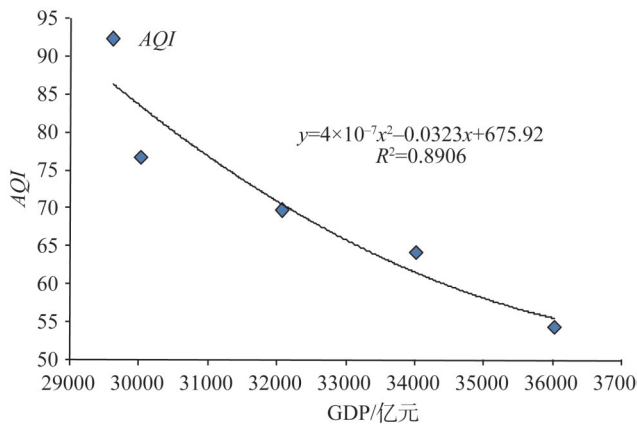


图6 河北省GDP(亿元)与 AQI 的关系
Fig. 6 The relationship between GDP (billion yuan) and AQI in Hebei province

表5 河北省社会经济因素与 AQI 的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between socio-economic factors and AQI in Hebei province						
因素	GDP	人均GDP	人口	电力消费量	SO_2 排放量	NO_x 排放量
相关系数	-0.9344^{**}	-0.9274^{**}	-0.9768^{**}	-0.3259^{**}	0.9462^{**}	0.9780^{**}
因素	第三产业	第一产业	第二产业	农业	耕地面积	森林面积
相关系数	0.7677^{**}	0.4897^{**}	-0.7243^{**}	-0.6167^{**}	0.9997^{**}	-0.9968^{**}

注: **代表通过了0.01显著性水平检验。

增减趋势产生作用。降水可以去掉污染物, 风主要通过运送与冲淡对污染物起作用^[11]。气温影响污染物的分散^[12]。在一定的条件下, 相对湿度的不断减少或许导致雾变成霾, 进而污染加重^[13]。2017年秋冬季河北省大气对空气污染物的清除能力比2013—2016年好得多^[5]。表明河北省AQI呈现出明显的时空差异, 与气象要素关系密切, 和风速、气温、降水以及日照时数呈现负相关, 而和气压、相对湿度呈现正相关。在全年尺度上, 黑龙江AQI都和气温、风速为负相关^[14]。

经济发展对大气污染有明显影响。人口分布、能源结构、交通、油价变动等对空气质量有重要影响^[15]。技术进步、工业化与能源消耗是中国城市大气污染的重要因素, 经济发展能够改善空气质量^[16]。2004—2013年经济增长是影响NO₂的主要因素^[17]。PM_{2.5}的影响因子主要是人口上升、城市大规模扩大与经济增长^[18]。我国PM_{2.5}浓度与人口成正比, 和森林覆盖率的平方成反比^[19]。环境规制执行能力与环境规制执行阻力对规制执行效果有显著影响^[20]。我国中东部入境旅游与空气污染的关系为负相关^[21]。而污染型产业多样性发展会使污染强度下降^[22]。

大气污染的产生是多种要素共同作用的结果, 而且它们的关系非常复杂。本文结果显示河北省空气质量与GDP、人口、森林面积、耕地面积关系密切。河北省经济和污染的非线性关系已经超过了EKC的最大值。随着河北省NO_x与SO₂排放量的减少, AQI也随着减少。

从河北省AQI年际变化率、季节变化和空间分布特征分析结果, 可以得出河北省2014—2018年大气污染整体呈现逐步下降趋势; 河北省各市AQI平均值在时间分布上均在夏季最低, 冬季AQI平均值最高, 在空间分布上北部污染较轻, 南部污染较重且AQI变化趋势呈中部、南部和东部减速大, 而西北部变化不大。

从河北省AQI与气象要素的相关系数分析结果, 可以得出气象条件对河北省大气污染有显著的影响, 其AQI基本和风速、气温、降水、日照时数呈现负相关, AQI和气压、相对湿度呈现正相关, 气象条件不利是河北省大气污染诱导因素。

从河北省社会经济因素与AQI的相关系数分析结果, 可以得出河北省大气污染还受到社会经济因素的显著影响, 其AQI和GDP、人均GDP、电力消耗量、第二产业、农业、森林面积呈负相关, 而和SO₂排放量、NO_x排放量、第三、第一产业、耕地面积呈正相关。然而林业、农业与AQI的关系在河北省各市表现不同。河北省经济发展对大气污染减少有重要的作用, 空气污染与经济的关系已过了EKC的顶点, 排放强度大是河北省大气重污染的主要因素。

河北省2014—2018年空气质量虽然大幅改善, 但是治理工作仍任重道远。2018年河北省11市空气质量都未达标。因此, 需要继续优化能源结构和产业结构, 通过结构调整推动河北省经济高质量发展。

参考文献(References):

- [1] HAINES A, AMANN M, BORGFORD N, et al. Short-lived climate pollutant mitigation and the sustainable development goals. *Nature Climate Change*, 2017, 7(12): 863-869.
- [2] HUANG R J, ZHANG Y, BOZZETTI C. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature*, 2014, 514(7521): 218-222.
- [3] ZHANG Q, JIANG X, TONG D, et al. Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. *Nature*, 2017, 543(7647): 705-709.

- [4] 尹志聪, 王会军, 袁东敏. 华北黄淮冬季霾年代际增多与东亚冬季风的减弱. 科学通报, 2015, 60(15): 1395-1401. [YIN Z C, WANG H J, YUAN D M. Interdecadal increase of haze in winter over North China and the Huang-huai Area and the weakening of the East Asia Winter Monsoon. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(15): 1395-1401.]
- [5] 梅梅, 朱蓉, 孙朝阳. 京津冀及周边“2+26”城市秋冬季大气重污染气象条件及其气候特征研究. 气候变化研究进展, 2019, 15(3): 270-281. [MEI M, ZHU R, SUN C Y. Study on meteorological conditions for heavy air pollution and its climatic characteristics in “2+26” cities around Beijing-Tianjin-Hebei region in autumn and winter. Climate Change Research, 2019, 15(3): 270-281.]
- [6] 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. 地理学报, 2018, 73(1): 177-191. [LIU H M, FANG C L, HUANG J J, et al. The spatial-temporal characteristics and influencing factors of air pollution in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(1): 177-191.]
- [7] 周兆媛, 张时煌, 高庆先, 等. 京津冀地区气象要素对空气质量的影响及未来变化趋势分析. 资源科学, 2014, 36(1): 191-199. [ZHOU Z Y, ZHANG S H, GAO Q X, et al. The Impact of meteorological factors on air quality in the beijing-tianjin-hebei region and trend analysis. Resources Science, 2014, 36(1): 191-199.]
- [8] 魏文秀, 张欣, 田国强. 河北霾分布与地形和风速关系分析. 自然灾害学报, 2010, 19(1): 49-52. [WEI W X, ZHANG X, TIAN G Q. Analysis of relation between haze distribution and terrain and wind speed in Hebei province. Journal of Natural Disasters, 2010, 19(1): 49-52.]
- [9] 丁一汇, 王会军. 近百年中国气候变化科学问题的新认识. 科学通报, 2016, 61(10): 1029-1041. [DING Y H, WANG H J. Newly acquired knowledge on the scientific issues related to climate change over the recent 100 years in China. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(10): 1029-1041.]
- [10] 王静, 邱粲, 刘焕彬, 等. 山东重点城市空气质量及其与气象要素的关系. 生态环境学报, 2013, 22(4): 644-649. [WANG J, QIU C, LIU H B, et al. Characteristics of air quality and the correlation between API and meteorological elements in major cities of Shandong province. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(4): 644-649.]
- [11] 李婷苑, 邓雪娇, 范绍佳, 等. 2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析. 环境科学, 2012, 33(9): 2932-2938. [LI T Y, DENG X J, FAN S J, et al. Study on air quality and pollution meteorology conditions of guangzhou during the 2010 asian games. Environmental Science, 2012, 33(9): 2932-2938.]
- [12] 景瑞环, 麻金继, 汪超. 基于多源数据的PM_{2.5}反演方法. 大气与环境光学学报, 2015, 1: 51-62. [JING R H, MA J J, WANG C. Methods of PM_{2.5} inversion based on multi-source data. Journal of Atmospheric and Environmental Optics, 2015, 1: 51-62.]
- [13] 丁一汇, 柳艳菊. 近50年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 37-48. [DING Y H, LIU Y J. Analysis of long-term variations of fog and haze in China in recent 50 years and their relations with atmospheric humidity. Science China: Earth Sciences, 2014, 44(1): 37-48.]
- [14] 康恒元, 刘玉莲, 李涛. 黑龙江省重点城市AQI指数特征及其与气象要素之关系. 自然资源学报, 2017, 32(4): 692-703. [KANG H Y, LIU Y L, LI T. Characteristics of air quality index and its relationship with meteorological factors in key cities of Heilongjiang province. Journal of Natural Resources, 2017, 32(4): 692-703.]
- [15] PATTON A P, PERKINS J, ZAMORE W, et al. Spatial and temporal differences in traffic-related air pollution in three urban neighborhoods near an interstate highway. Atmospheric Environment, 2014, 99: 309-321.
- [16] 蔺雪芹, 王岱. 中国城市空气质量时空演化特征及社会经济驱动力. 地理学报, 2016, 71(8): 1357-1371. [LIN X Q, WANG D. Spatio-temporal variations and socio-economic driving forces of air quality in Chinese cities. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(8): 1357-1371.]
- [17] 姚尧, 李江风, 胡涛, 等. 中国城市NO₂浓度的时空分布及社会经济驱动力. 资源科学, 2017, 39(7): 1383-1393. [YAO Y, LI J F, HU T, et al. Spatiotemporal variation in NO₂ concentrations and socioeconomic driving forces in Chinese cities. Resources Science, 2017, 39(7): 1383-1393.]
- [18] GANG L, FU J, DONG J, et al. Spatio-temporal variation of PM_{2.5} concentrations and their relationship with geographic and socioeconomic factors in China. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2014, 11(1): 173-86.
- [19] 杨昆, 杨玉莲, 朱彦辉, 等. 中国PM_{2.5}污染与社会经济的空间关系及成因. 地理研究, 2016, 35(6): 1051-1060. [YANG K, YANG Y L, ZHU Y H, et al. Social and economic drivers of PM_{2.5} and their spatial relationship in China. Geographical Research, 2016, 35(6): 1051-1060.]

- [20] 贺灿飞, 张腾, 杨晟朗. 环境规制效果与中国城市空气污染. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1651-1663. [HE C F, ZHANG T, YANG S L. Air pollution in chinese cities: does enforcement of environmental regulations matter?. Journal of Natural Resources, 2013, 28(10): 1651-1663.]
- [21] 徐冬, 黄震方, 黄睿, 等. 中国中东部雾霾污染与入境旅游的时空动态关联分析. 自然资源学报, 2019, 34(5): 1108-1120. [XU D, HUANG Z F, HUANG R, et al. The spatiotemporal dynamic correlation analysis of haze pollution and inbound tourism in central and eastern China. Journal of Natural Resources, 2019, 34(5): 1108-1120.]
- [22] 王艳华, 苗长虹, 胡志强, 等. 专业化、多样性与中国省域工业污染排放的关系. 自然资源学报, 2019, 34(3): 586-599. [WANG Y H, MIAO C H, HU Z Q, et al. Specialization, diversity and their impacts on China's provincial industrial pollution emissions. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 586-599.]

Spatio-temporal variation characteristics of air pollution and influencing factors in Hebei province

HE Zhen-fang^{1,2}, GUO Qing-chun^{1,3}, LIU Jia-zhen¹, ZHANG Ying-ying¹,
LIU Jie¹, DING Hang¹

(1. School of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252000, Shandong, China;
2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences,
CAS, Beijing 100085, China; 3. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth
Environment, CAS, Xi'an 710061, China)

Abstract: Hebei is the most polluted province in China. It is significant to study the spatio-temporal variation of air pollution and its influencing factors. Based on the daily air quality index (AQI), meteorological data and socio-economic data, the spatial and temporal variation characteristics of air quality index and its relationship with influencing factors in Hebei province were examined by statistical analysis and spatial interpolation. The results show that air pollution mainly occurs in the central and southern parts of the province, especially in Handan, Xingtai and Shijiazhuang, but rarely in the north. The air quality index of the province shows a decreasing trend year by year, with a linear trend of $-8.845/\text{year}$, and it has a good negative correlation with wind speed, temperature, precipitation, gross domestic product (GDP), population, electricity consumption and secondary industry, while it has a positive correlation with sulfur dioxide emissions and nitrogen oxide emissions. Adverse climatic conditions are the inducement of atmospheric pollution, and high emission intensity is the main cause of heavy atmospheric pollution. With the rapid economic development and the increase of money invested in full control of air pollution in Hebei, its economy and pollution are on the right side of the EKC curve of environmental Kuznets. The relationship between air quality and economic development in Hebei has passed the "inflection point" of the environmental Kuznets curve. These results can provide theoretical basis for air pollution control in this province.

Keywords: air pollution; Hebei province; air quality index; temperature; precipitation; socio-economy