

新冠肺炎疫情期间石家庄市空气质量变化特征

曹琦¹, 宋渐石², 邹凌云¹, 张文迪¹, 刘畅¹, 张魏丽¹

1. 河北医科大学公共卫生学院劳动与环境健康教研室, 河北省环境与人群健康重点实验室, 河北 石家庄 050017
2. 河北医科大学基础医学院, 河北 石家庄 050017

摘要:

[背景] 2019年12月发现首例新冠肺炎病例, 随后全国各地采取了一系列严格的疫情防控措施, 这些措施导致了环境空气质量的变化, 为讨论空气质量与人类活动的关系提供了契机。

[目的] 探讨新冠肺炎疫情期间石家庄市空气质量的变化情况, 分析防疫措施对空气质量的影响, 为进一步改善空气质量、调整防治措施提供参考依据和思路。

[方法] 通过真电网 (<https://www.zq12369.com/>) 和实时空气质量指数监测平台 (<https://aqicn.org/city/shijiazhuang/cn/>) 获取石家庄市环境空气质量数据, 采用 *t* 检验和卡方检验分析疫情期与疫情前石家庄空气质量变化特点, 比较2019年12月—2020年6月与2016—2019年相同时间段的空气质量指数(AQI)和六项污染物(PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂、CO、NO₂、O₃)浓度。

[结果] 与2016—2019年同期相比, 在疫情防控期间石家庄日均AQI下降了25.38% ($t=6.28$, $P<0.05$); 防控期间影响石家庄空气首要污染物中污染天数占比从高到低依次为PM_{2.5} (44.56%)、O₃ (31.09%)、PM₁₀ (23.83%)、NO₂ (2.59%), 与2016—2019年同期相比, 疫情期间PM₁₀污染天数减少 ($\chi^2=3.86$, $P<0.05$), 疫情封锁期PM_{2.5}和防控中期O₃污染天数增加 ($P<0.05$); 6项污染物浓度均明显下降 ($P<0.05$), 其中SO₂降幅最大, 较同期下降了55.36%。

[结论] 尽管新冠肺炎疫情防控措施在一定程度上减少了污染源、污染物的排放量, 对石家庄市空气质量起到一定的保护作用, 但也有加重O₃污染的负面影响。需要进一步探索O₃污染加重的原因, 以制定合理的空气质量防治策略。

关键词: 新冠肺炎; 环境空气质量; 污染特征

Air quality changes in Shijiazhuang during COVID-19 outbreak CAO Qi¹, SONG Jianshi², ZOU Lingyun¹, ZHANG Wendi¹, LIU Chang¹, ZHANG Weili¹ (1. Department of Occupational Health and Environmental Health, School of Public Health, Hebei Key Laboratory of Environmental and Human Health, Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei 050017, China; 2. School of Basic Medicine, Hebei Medical University, Shijiazhuang, Hebei 050017, China)

Abstract:

[Background] The coronavirus disease 2019 (COVID-19) was first detected in December 2019. To combat the disease, a series of strict measures were adopted across the country, which led to improved air quality. This provides an opportunity to discuss the impact of human activities on air quality.

[Objective] This study investigates the air quality changes in Shijiazhuang, and analyzes the impacts of epidemic prevention and control measures on air quality, so as to provide reference and ideas for further improving air quality and prevention and control measures.

[Methods] The air quality data were collected online from <https://www.zq12369.com/> and <https://aqicn.org/city/shijiazhuang/cn/>. Comparisons in air quality index (AQI) and the concentrations of air pollutants (PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO, NO₂, and O₃) were made between the period from December 2019 to June 2020 (reference) and the same period from 2016 to 2019 by *t*-test and chi-square test.

[Results] The daily average AQI dropped by 25.38% in Shijiazhuang during the COVID-19 prevention and control compared with the same period from 2016 to 2019 ($t=6.28$, $P<0.05$). The proportions of pollution days during the COVID-19 outbreak in Shijiazhuang were PM_{2.5} (44.56%), O₃ (31.09%), PM₁₀ (23.83%), and NO₂ (2.59%) successively, the pollution days of PM₁₀ decreased

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20502

基金项目

河北省卫生厅课题 (20100041)

作者简介

曹琦 (1996—), 男, 硕士生;
E-mail: caoqi9610@163.com

通信作者

张魏丽, E-mail: zwl0335@163.com

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-10-31

录用日期 2021-03-21

文章编号 2095-9982(2021)05-0494-06

中图分类号 X51; R126

文献标志码 A

引用

曹琦, 宋渐石, 邹凌云, 等. 新冠肺炎疫情期间石家庄市空气质量变化特征 [J]. 环境与职业医学, 2021, 38(5): 494-499.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20502

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHANG Weili, E-mail: zwl0335@163.com

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2020-10-31

Accepted 2021-03-21

To cite

CAO Qi, SONG Jianshi, ZOU Lingyun, et al. Air quality changes in Shijiazhuang during COVID-19 outbreak [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(5): 494-499.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20502

significantly ($\chi^2=3.86$, $P<0.05$) compared with 2016–2019, but during traffic lockdown the numbers of pollution days of $PM_{2.5}$ and in the mid stage of prevention the number of pollution days of O_3 increased ($P<0.05$). Compared with the control period, the concentrations of the six air pollutants decreased to varying degrees ($P<0.05$), especially SO_2 dropped by 55.36%.

[Conclusion] The measures taken for COVID-19 control and prevention have reduced the pollution sources and emissions, which resulted in better general air quality of Shijiazhuang City, but have aggravated the pollution of O_3 and other pollutants. It is necessary to further explore the causes for the aggravation of O_3 pollution in order to formulate reasonable air quality control strategies.

Keywords: coronavirus disease 2019; ambient air quality; pollution characteristic

2019年12月发现首例新型冠状病毒肺炎(coronavirus disease 2019, COVID-19)患者,我国各级政府高度重视,各地陆续实施机动车禁行管理、封闭社区、鼓励居民居家隔离等严格的疫情防控措施^[1-2],极大地限制了人们的生产生活活动,这可能对环境空气质量也有一定的影响^[3-4]。因此,这次疫情防控提供了一个观察人类活动与环境质量之间的关系、检验既往环境保护举措有效性的良机。

石家庄作为河北省典型的重工业城市,是全国大气污染最严重的城市之一,当地环境问题引起了社会各界的广泛关注^[5-6]。石家庄处于京广、石太、石德三条铁路干线的交汇点,交通便利,受新冠肺炎疫情冲击较大,为防止疫情在该城市进一步蔓延,石家庄市政府采取了严格的防控措施。空气质量也产生一定程度的变化^[7-8]。本研究根据疫情防控措施的实施次序及石家庄空气质量的变化特点将这次疫情防控分为4个阶段,阐述了各个阶段空气质量指数(air quality index, AQI)及相关大气污染物质量浓度(简称浓度)变化特点;比较该城市疫情期(2019年12月—2020年6月)与疫情前(2016—2019年相同时期)空气质量的差别,分析疫情防控措施对石家庄空气质量的影响,为揭示石家庄市的空气质量与人类活动的关系,改善大气污染的防治措施提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

石家庄市51个监测点的日平均AQI值和细颗粒物($PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)六项大气污染物浓度数据来自真气网(<https://www.zq12369.com/>)和实时空气质量指数监测平台(<https://aqicn.org/city/shijiazhuang/cn/>)。 O_3 则以当日最大8h浓度作为日均浓度,其他污染物以当日24h平均浓度作为日均浓度^[9]。

1.2 研究方法

为避免区域污染传输、气象等因素的影响,本研究采用自身前后对照的实验设计,以石家庄环境质量为研究对象,收集并记录疫情期与疫情前的空气污染情况,将2019年12月—2020年6月每日AQI及各项污染物浓度与疫情前的数据逐一配对,以探讨疫情期与疫情前空气质量的差异。为减小随机误差的产生,本研究选取2016—2019年相同时间段空气质量的平均水平作为疫情前的数据参与配对。

1.3 评价指标

采用浓度改善率(change of rate, COR)作为参数评价疫情防控对空气质量的影响, $V_{COR} = (\rho_0 - \rho_1) / \rho_0 \times 100\%$, 其中 ρ_0 为疫情前污染物浓度, ρ_1 为疫情防控期间污染物浓度。COR可以更加直观地反映出疫情防控对石家庄空气质量的影响。

通过 NO_2 与 SO_2 浓度比值(ρ_{NO_2}/ρ_{SO_2})评价污染物移动排放和固定排放之间的关系。环境卫生学中,常常用 ρ_{NO_2}/ρ_{SO_2} 表示移动排放源和固定排放源贡献率的变化。研究发现,当固定源排放源贡献率较高时,空气中 SO_2 含量增加, ρ_{NO_2}/ρ_{SO_2} 降低(范围为0.2~0.8);当移动排放源贡献率较高时, ρ_{NO_2}/ρ_{SO_2} 增加(范围为24~119)^[10]。

1.4 时间段划分

根据疫情防控措施的实施次序及石家庄空气质量变化特点,将疫情期分为防控前期、疫情封锁期、防控中期、防控后期4个阶段。表1列出了石家庄COVID-19疫情防控期间不同时间段的主要事件。

表1 石家庄COVID-19流行期间主要事件
Table 1 Major events during COVID-19 in Shijiazhuang

阶段	时间	主要事件
防控前期	[2019-12-01, 2020-01-23]	武汉市出现不明原因肺炎患者,随后病例迅速增加,全国各地开始戒严
疫情封锁期	[2020-01-24, 2020-02-08]	1月24日河北省启动突发公共卫生事件一级响应;1月26日正式封锁;公交地铁暂停;居民实行封闭式管理
防控中期	[2020-02-09, 2020-04-30]	2月9日,河北省企业逐步复工复产;实施分区分级管控,低风险区逐渐恢复正常秩序
防控后期	[2020-05-01, 2020-06-30]	4月30日,河北省宣布突发公共卫生事件响应等级调整为二级,居民全面恢复正常生活

1.5 统计学分析

采用 SPSS 21.0 对监测资料进行统计分析。首先使用 *K-W* 法对数据进行正态性检验，正态分布数据以 $\bar{x}\pm s$ 描述集中和离散趋势，非正态分布数据以中位数和上下四分位数进行描述。正态分布的计量资料样本差异的比较采用配对 *t* 检验，对不服从正态分布的数据使用 Wilcoxon 符号秩和检验进行比较。计数资料使用卡方检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 疫情前、疫情期空气质量的变化

图 1 表明疫情前、疫情期日均 AQI 变化趋势基本相同，石家庄空气污染在冬季（12 月—次年 2 月）较为严重，春夏季（3—6 月）较轻。与 2016—2019 年同期相比，疫情防控期间石家庄日均 AQI 下降 25.38% ($t=6.28, P<0.05$)，见表 2。其中，防控前期降低了

26.06% ($t=12.93, P<0.05$)；封锁期 AQI 变化不明显 ($P>0.05$)；防控中后期变化逐渐减小，日均 AQI 分别下降 27.17% ($t=6.71, P<0.05$)、12.82% ($t=-3.57, P<0.05$)。

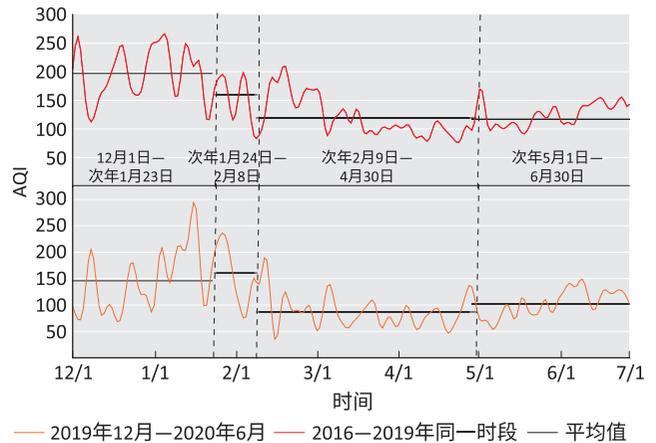


图 1 疫情前与疫情期石家庄日均 AQI 变化趋势

Figure 1 The trend of daily average AQI in Shijiazhuang during and before COVID-19

表 2 疫情期与疫情前同一时段石家庄日均 AQI 变化

Table 2 Daily average AQI changes in Shijiazhuang during and before COVID-19

时间	n	疫情前 (2016—2019 年同一时段)	疫情期 (2019 年 12 月—2020 年 6 月)	变化百分比/%
12 月 1 日—次年 1 月 23 日	54	197.04 (191.00, 249.00)	145.70 (130.50, 209.25)	26.06*
次年 1 月 24 日—2 月 8 日	16	159.81±47.13	160.88±67.65	-0.67
次年 2 月 9 日—4 月 30 日	81	119.16 (86.00, 138.50)	86.78 (55.00, 105.50)	27.17*
次年 5 月 1 日—6 月 30 日	61	117.00 (103.50, 145.50)	102.00 (79.00, 123.00)	12.82*
合计	212	132.00 (102.00, 174.75)	98.50 (71.25, 134.75)	25.38*

[注] *：比较疫情期、疫情前日均 AQI 的差别， $P<0.05$ 。

2.2 首要污染物污染天数变化

6 项污染物中，石家庄首要污染物主要包含 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 和 NO_2 四项，其中 $PM_{2.5}$ 和 O_3 占比最高 (44.56%、31.09%)， PM_{10} 、 NO_2 相对较低 (23.83%、2.59%)。

疫情期、疫情前首要污染物污染天数变化见表 3，在疫情期间，石家庄仅 PM_{10} 污染天数减少 ($P<0.05$)，较历史同期下降 32.3%。疫情封锁期 $PM_{2.5}$ 污染天数增长 41.67% ($P<0.05$)。3 月起石家庄天气变暖 O_3 污染逐渐加重， O_3 作为首要污染物的污染天数为 10d，是疫情前同期的 3.33 倍 ($\chi^2=5.28, P<0.05$)。防控后期疫情逐渐得到控制，污染天数无明显变化 ($P>0.05$)。

2.3 疫情防控期间污染物浓度改善率

防控期间 6 项污染物浓度均有所下降 ($P<0.05$)，其中 SO_2 降幅最大，较历史同期下降了 55.36%； $PM_{2.5}$ 下降了 28.99%， PM_{10} 下降了 24.24%； NO_2 和 CO 分别减少了 14.44%、27.27%； O_3 浓度变化最小，仅下降

9.68%。见表 4。

表 3 研究时段首要污染物污染天数统计

Table 3 Days of primary air pollutants during the study period

时间	污染物	疫情前 (2016—2019 年同一时段)	疫情期 (2019 年 12 月—2020 年 6 月)	χ^2	P
12 月 1 日—次年 1 月 23 日	$PM_{2.5}$	39	42	0.72	0.397
	PM_{10}	13	7	2.08	0.149
	NO_2	2	5	—	0.270
次年 1 月 24 日—2 月 8 日	$PM_{2.5}$	12	17	—	0.044
	PM_{10}	4	2	—	0.398
次年 2 月 9 日—4 月 30 日	$PM_{2.5}$	35	26	0.66	0.417
	PM_{10}	40	34	0.02	0.877
	O_3	3	10	5.28	0.022
次年 5 月 1 日—6 月 30 日	$PM_{2.5}$	3	3	—	1.000
	PM_{10}	10	4	2.70	0.101
	O_3	46	50	1.93	0.164
合计	$PM_{2.5}$	89	86	0.13	0.721
	PM_{10}	68	46	3.86	0.049
	NO_2	2	5	—	0.269

[注] —：50% 的单元格理论频数小于 5，采用 Fisher 确切概率法，无 χ^2 值。

表4 研究时段污染物平均浓度的变化

Table 4 Changes in average concentrations of air pollutants during the study period

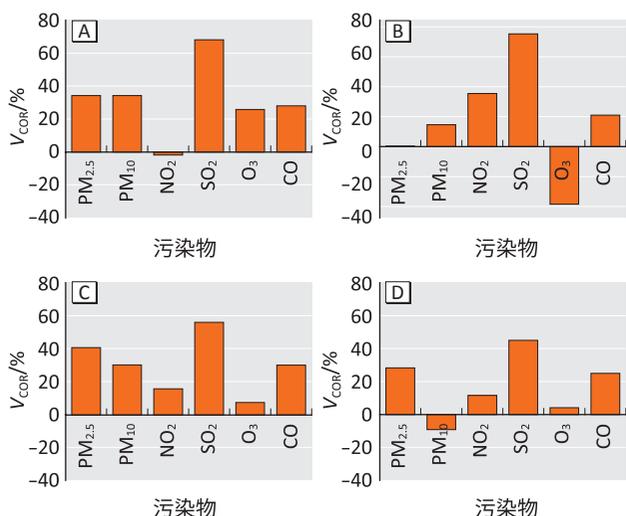
污染物	疫情前 (2016—2019年同一时段) / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	疫情期 (2019年12月—2020年6月) / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	变化 百分比/%
PM _{2.5}	69.00 (51.25, 132.00)	49.00 (31.00, 92.00)	28.99*
PM ₁₀	132.00 (95.00, 207.75)	100.00 (68.50, 140.00)	24.24*
NO ₂	45.00 (38.00, 58.00)	38.50 (26.00, 52.50)	14.44*
SO ₂	28.00 (20.00, 45.00)	12.50 (9.00, 17.00)	55.36*
O ₃	93.00 (45.00, 139.75)	84.00 (48.00, 132.75)	9.68*
CO [#]	1.10 (0.90, 2.00)	0.80 (0.60, 1.30)	27.27*

[注] #: 单位为 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。*: $P < 0.05$ 。

不同阶段污染物COR变化较大, 见图2和表5。防控前期PM_{2.5}、PM₁₀、SO₂和CO分别降低了34.22%、34.27%、68.09%、28.00% ($P < 0.05$)。疫情封锁期, O₃浓度较2016—2019年同期增长38.47% ($t = -21.38, P < 0.05$), SO₂、NO₂与CO出现不同程度的下降 ($P < 0.05$)。在防控中期, 除O₃无明显变化外, 其余5项污染物浓度均有下降 ($P < 0.05$)。防控后期PM_{2.5}受疫情防控的影响, 同比降低了28.26% ($t = 13.00, P < 0.05$), O₃降低了4.14% ($t = 7.00, P < 0.05$)。

2.4 疫情前、疫情期 $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 的变化

不同时期 $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 比值变化如图3。防控前期移动源排放量上升, $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 是疫情前的3.33倍。疫情封锁期 $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 较2016—2019年增长了1.54倍, 这可能与工厂停工导致固定源排放的骤降有关。疫情防控中后期 $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 的逐渐减少, 分别为疫情前的79.65%、54.14%。



[注] A: 防控前期; B: 疫情封锁期; C: 防控中期; D: 防控后期。

图2 疫情防控不同阶段浓度改善率变化

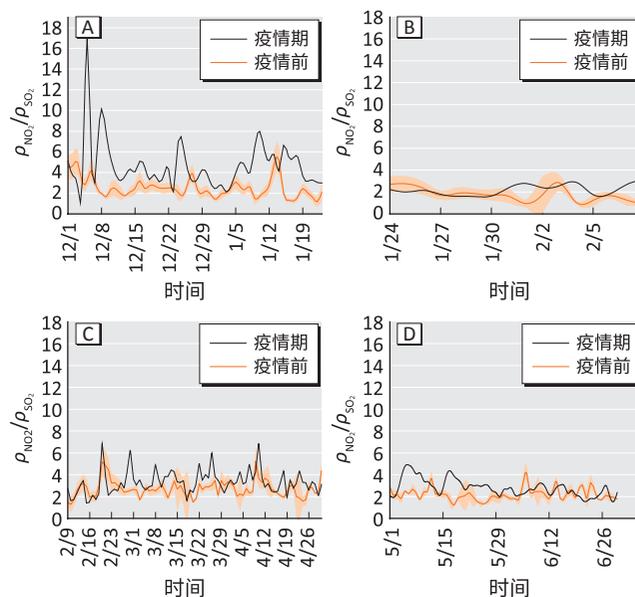
Figure 2 Change of rate in different stages of COVID-19 outbreak

表5 疫情期与疫情前同一时段污染物浓度变化分析

Table 5 Changes in air pollutant concentrations during and before COVID-19 outbreak

时间	污染物	疫情前 (2016—2019年 同一时段) / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	疫情期 (2019年12月— 2020年6月) / ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	变化 率/%
12月1日—次年1月23日	PM _{2.5}	150.50	99.00	34.22*
	PM ₁₀	230.50	151.50	34.27*
	NO ₂	65.59	66.81	-1.87
	SO ₂	47.00	15.00	68.09*
	O ₃	31.00	23.00	25.81
	CO [#]	2.50	1.80	28.00*
次年1月24日—2月8日	PM _{2.5}	123.63	123.19	0.35
	PM ₁₀	186.69	159.38	14.63
	NO ₂	43.31	28.00	35.35*
	SO ₂	50.50	12.50	75.25*
	O ₃	55.56	76.94	-38.47*
	CO [#]	1.85	1.46	20.95*
次年2月9日—4月30日	PM _{2.5}	69.00	41.00	40.58*
	PM ₁₀	133.00	93.00	30.08*
	NO ₂	45.00	38.00	15.56*
	SO ₂	25.00	11.00	56.00*
	O ₃	97.00	90.00	7.22
	CO [#]	1.00	0.70	30.00*
次年5月1日—6月30日	PM _{2.5}	46.00	33.00	28.26*
	PM ₁₀	70.50	77.00	-9.22
	NO ₂	36.02	31.84	11.61*
	SO ₂	20.00	11.00	45.00*
	O ₃	169.00	162.00	4.14*
	CO [#]	0.80	0.60	25.00*

[注] #: 单位为 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。*: $P < 0.05$ 。



[注] A: 12月1日—次年1月23日; B: 次年1月24日—2月8日; C: 次年2月9日—4月30日; D: 次年5月1日—6月30日。阴影面积表示误差范围。

图3 疫情期与疫情前同一时段 $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 变化

Figure 3 Changes in $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ during and before COVID-19 outbreak

3 讨论

COVID-19 疫情以来,国内外很多学者讨论了疫情防控下空气质量的变化特征,但采用统计学方法进行分析的研究相对较少。本文主要采用了 t 检验和卡方检验的方法将 2019 年 12 月—2020 年 6 月与 2016—2019 年相同时期的日均 AQI 值、首要污染物污染天数、污染物浓度、 $\rho_{\text{NO}_2}/\rho_{\text{SO}_2}$ 等进行比较,分析疫情防控期间石家庄空气质量的变化,探讨防疫措施对空气质量的影响,为进一步改善空气质量、调整防治措施提供参考依据和思路。

从结果分析来看,石家庄疫情防控期间空气质量与近三年相比出现明显改善,这显然与疫情期间石家庄普遍实施的交通限行、小区封闭式管理、企业生产与经营管控等疫情防控措施大大限制了人民生活活动密切相关。上述措施的先后实施,一方面减少了城区污染源,消减了影响环境空气质量的污染物的排放量,另一方面由于封闭式管理,人群相对密集,对取暖的需求量大大增加。因此在石家庄采取交通限制后,颗粒物浓度略有升高。由于社会生活的需要,上述措施实施的次序、范围在石家庄逐步减缓,生产生活活动逐渐恢复以及污染源的不断排放,环境空气质量出现波动,日均 AQI 较历史同期相比,差异逐渐减小。

这项研究也为环境空气质量管理提供了启示。结果表明,临时性的社会封锁并不能够改善所有污染物污染情况,由于烟花排放和煤炭燃烧量的增加, O_3 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染天数在某些时期反而增加^[11]。因此石家庄未来环境保护的重点应该仍是工业、交通、生活活动排放的技术革新,去除污染源可能并非是节能减排的良策。

通过对疫情期、疫情前基本污染物的同比比较,本研究也探索了疫情期间大气污染的来源及影响因素。石家庄在疫情防控期间 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 NO_2 、 SO_2 和 CO 等污染物浓度均有所下降,这与其他国家和地区的环境空气质量变化是一致的^[12-14]。尤其是 SO_2 污染浓度在疫情防控期间明显改善。这是由于近年来石家庄积极采取乡镇改良炉灶、淘汰中小型锅炉、改用无烟煤等环保措施,供热方式不断升级,取暖对 SO_2 、CO 的贡献下降,因此工业管控是消减 SO_2 排放量的重要举措^[15]。在疫情防控逐步放松之后,石家庄 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO 浓度呈下降趋势,这是由于温度上升利于燃料的完全燃烧,导致 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO 排放量下降^[16],故改进燃料和更新供热方式在减少 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO 排放上可能是一

项优于限制交通、减少尾气排放的举措。此外,取暖工具如暖气、锅炉等也是 $\text{PM}_{2.5}$ 和 CO 的重要来源,其使用率随气候变暖而下降,当温度上升时,污染物浓度会出现进一步下降。

本研究表明石家庄在疫情防控期间的日均 AQI 值与各项污染物浓度较 2016—2019 年相同时间段均有不同程度的改善,降幅最大的污染物为 SO_2 (68.09%)、 $\text{PM}_{2.5}$ (34.22%)、 PM_{10} (34.27%)。对疫情防控期首要污染物进行分析,仅 PM_{10} 污染天数减少,在交通封锁后 $\text{PM}_{2.5}$ 和 O_3 污染反而有所加重,这是燃煤和烟花排放量增加的结果。上述结果说明疫情封锁对环境空气质量可能存在着积极和消极的双重影响。

本研究还存在一些不足之处:①本研究验证了疫情封锁对于环境空气质量可能存在着积极和消极的双重效应,但由于研究人员时间和精力限制,尚没有定量地分析疫情管控与污染物浓度之间的依存关系;②本次调查仅限石家庄市,将疫情前 3 年环境质量水平与疫情期进行配对比较,但不同地区、不同年份空气质量有所差别,研究结果外推需谨慎。

综上所述,本研究证实了疫情防控对空气质量的双重效应,即新冠肺炎疫情防控措施既可以减少污染源、污染物的排放量,对石家庄市空气质量起到一定的保护作用,但也有加重 O_3 污染的负面影响,需要进一步探索 O_3 污染加重的原因,以制定合理的空气质量防治策略。

(志谢:真气网提供了地面环境空气质量监测资料,实时空气质量指数监测平台提供了石家庄新冠肺炎疫情前后空气质量指数资料)

参考文献

- [1] 范俊强,于静静.新冠肺炎疫情期间某高校大学生睡眠质量与压力负荷现状[J].环境与职业医学,2020,37(9):862-866.
FAN JQ, YU JJ. Status quo of sleep quality and stress load of students from a college during the coronavirus disease 2019 pandemic [J]. J Environ Occup Med, 2020, 37 (9): 862-866.
- [2] PAN A, LIU L, WANG C, et al. Association of public health interventions with the epidemiology of the COVID-19 outbreak in Wuhan, China [J]. JAMA, 2020, 323 (19): 1915-1923.
- [3] ABDULLAH S, MANSOR AA, NAPI NN, et al. Air quality

- status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 729 : 139022.
- [4] BERMAN JD, EBISU K. Changes in U.S. air pollution during the COVID-19 pandemic [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 739 : 139864.
- [5] ZHOU L, LI L, HAO G, et al. Sperm mtDNA copy number, telomere length, and seminal spermatogenic cells in relation to ambient air pollution : Results of a cross-sectional study in Jing-Jin-Ji region of China [J]. *J Hazard Mater*, 2021, 406 : 124308.
- [6] ZHANG W, WANG P, ZHU Y, et al. Occurrence and human exposure assessment of organophosphate esters in atmospheric PM_{2.5} in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2020, 206 : 111399.
- [7] LIU Y, NI S, JIANG T, et al. Influence of Chinese New Year overlapping COVID-19 lockdown on HONO sources in Shijiazhuang [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 745 : 141025.
- [8] CHU B, ZHANG S, LIU J, et al. Significant concurrent decrease in PM_{2.5} and NO₂ concentrations in China during COVID-19 epidemic [J]. *J Environ Sci*, 2021, 99 : 346-353.
- [9] 环境空气质量标准 : GB 3095—2012 [S]. 北京 : 中国环境科学出版社, 2016.
Ambient air quality standard : GB 3095—2012 [S]. Beijing : China Environmental Science Press, 2016.
- [10] LIAN X, HUANG J, HUANG R, et al. Impact of city lockdown on the air quality of COVID-19-hit of Wuhan city [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 742 : 140556.
- [11] SHAKOOR A, CHEN X, FAROOQ T H, et al. Fluctuations in environmental pollutants and air quality during the lockdown in the USA and China : two sides of COVID-19 pandemic [J]. *Air Qual Atmos Health*, 2020, 13 (11) : 1335-1342.
- [12] WANG L, LI M, YU S, et al. Unexpected rise of ozone in urban and rural areas, and sulfur dioxide in rural areas during the coronavirus city lockdown in Hangzhou, China : implications for air quality [J]. *Environ Chem Lett*, 2020, 18 (5) : 1713-1723.
- [13] MARTORELL-MARUGÁN J, VILLATORO-GARCÍA JA, GARCÍA-MORENO A, et al. DataAC : a visual analytics platform to explore climate and air quality indicators associated with the COVID-19 pandemic in Spain [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 750 : 141424.
- [14] NAKADA LY, URBAN RC. COVID-19 pandemic : impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil [J]. *Sci Total Environ*, 2020, 30 : 139087.
- [15] 黄青, 程水源, 陈东升, 等. 北京市一次 SO₂ 污染过程来源分析 [J]. *环境科学与技术*, 2010, 33 (1) : 89-93.
HUANG Q, CHENG SY, CHEN DS, et al. Source identification of an ambient SO₂ pollution process in Beijing [J]. *Environ Sci Technol*, 2010, 33 (1) : 89-93.
- [16] CHENG N, ZHANG D, LI Y, et al. Spatio-temporal variations of PM_{2.5} concentrations and the evaluation of emission reduction measures during two red air pollution alerts in Beijing [J]. *Sci Rep*, 2017, 7 (1) : 8220.

(英文编辑 : 汪源 ; 责任编辑 : 陈姣)

· 告知栏 ·

关于《浙江省嘉善地区孕妇全氟化合物暴露水平及影响因素》一文的更正

《环境与职业医学》2021年第4期《浙江省嘉善地区孕妇全氟化合物暴露水平及影响因素》一文, 第一作者牛金波的E-mail应为 : 58547328@qq.com。特此更正, 并致歉意。