

河北省空气质量的的城市差异与空间效应研究

刘海涵

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年9月25日; 录用日期: 2023年11月7日; 发布日期: 2023年11月14日

摘要

本文基于河北省2018年~2020年的空气质量数据(AQI、PM2.5、PM10、CO、SO₂、NO₂、O₃)展开研究。通过对河北省各市AQI及其影响指标的月度、季度、年度的分析及空间可视化来研究河北省空气质量的的城市差异。所得结论为: (1) 2018年~2020年河北省各市AQI空间分布整体呈南高北低的特点; (2) 在季节尺度上, 河北省11市均是冬季AQI指数最高, 其次为夏季, 春季、秋季往往AQI指数较低, 空气质量较好; (3) 河北省2020年空气质量总体好于2019年, 其中2020年河北省各市PM10、PM2.5指数完全低于2019年, 空气质量主要与这两项指标相关性较高。可见空气质量除了受到地形条件、风速与空气相对湿度等自然条件的影响, 人类活动更是影响空气质量的一大主要影响因素。在“双碳”背景下, 环境保护更需要从多方入手, 空气质量提高有助于提升居民生活质量。

关键词

空气质量, 河北省, 空间差异, PM2.5, PM10

Urban Differences and Spatial Effects of Air Quality in Hebei Province

Haihan Liu

School of Geography Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Sep. 25th, 2023; accepted: Nov. 7th, 2023; published: Nov. 14th, 2023

Abstract

This paper is based on the air quality data (AQI, PM2.5, PM10, CO, SO₂, NO₂, O₃) of Hebei Province from 2018 to 2020. Through monthly, quarterly and annual analysis and spatial visualization of AQIs and their impact indicators in Hebei Province, the urban differences in air quality in Hebei Province were studied. The conclusions are as follows: (1) From 2018 to 2020, the spatial distribution of AQI in Hebei Province was generally high in the south and low in the north; (2) In the

seasonal scale, the 11 cities in Hebei Province had the highest AQI index in winter, followed by summer, and the AQI index was often lower in spring and autumn, namely the air quality in spring and autumn was better than winter and summer; (3) The air quality in Hebei Province in 2020 was generally better than in 2019, of which the PM10 and PM2.5 indices of all cities in Hebei Province in 2020 were completely lower than those in 2019, and the air quality was mainly related to these two indicators. It can be seen that in addition to the influence of natural conditions such as terrain conditions, wind speed and relative humidity of the air, human activities are a major influencing factor affecting air quality. In the context of “dual carbon”, environmental protection needs to start from many aspects, and improving air quality helps to improve the quality of life of residents.

Keywords

Air Quality, Hebei Province, Space Differences, PM2.5, PM10

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着京津冀一体化战略的逐步推进, 由政策调控、产业转型等因素带来的空气质量变化肉眼可见。作为与人类生活息息相关的空气环境, 其质量对于人体健康与经济社会发展有着重要影响[1]。一直以来, 空气质量与地理环境之间的关系都是专家学者关注的议题[2] [3]。然而由于各地区的自然地理状况与社会经济情况的不同和各种不确定因素的综合作用, 关于影响空气质量因素的模型往往难以建立[4]。当前国内外学者在多尺度[5] [6] [7]、多方面[8] [9] [10]对空气质量指数情况进行了研究, 但近年来有关于河北省的空气质量状况及影响因素研究成果相对较少[11]。

基于以上背景, 本文将选取河北省 11 市 2018 年至 2020 年空气质量指数(AQI, Index of Air Quality)与 6 项监测污染物数据进行整理与分析。通过对数据进行时间变化的分析与空间的可视化表达, 对不同城市与不同时间段的差异进行分析。通过对河北省空气质量的城市差异进行研究, 浅析研究时间段内河北省各市不同时间尺度下的空气质量差异; 通过对 2019 年与 2020 年之间空气质量指数与 6 项监测污染物数据的对比分析, 判断空气质量与 6 项主要污染物之间的相关性大小。

2. 数据与方法

2.1. 研究区概况

河北省地处中国东部沿海地区(见图 1), 为温带大陆性季风气候, 四季分明, 夏季受东南季风影响, 雨热同季, 冬季因蒙古高压吹寒冷的偏北风。华北平原地势西北高东南低, 有坝上高原、燕山和太行山山地、河北平原三大地貌单元, 地貌类型多样, 西北山地环抱, 东侧部分城市东临渤海。

河北省共辖 11 个地级市, 分别为承德市、张家口市、秦皇岛市、唐山市、沧州市、保定市、廊坊市、邢台市、衡水市、石家庄市、邯郸市, 其中石家庄为省会城市。根据第七次人口普查的数据, 河北省共有人口 74,610,235 人, 其中城镇人口 44,816,486 人、农村人口 29,793,749 人。截至 2020 年, 河北省三次产业比重为 10.7:37.6:51.7, 其中农业以粮食和蔬菜为主, 棉花、中草药材和水产品的产量较少; 工业涉及采矿业、制造业等各个方面; 服务业以基础性服务业为主, 高新技术产业占比较少。

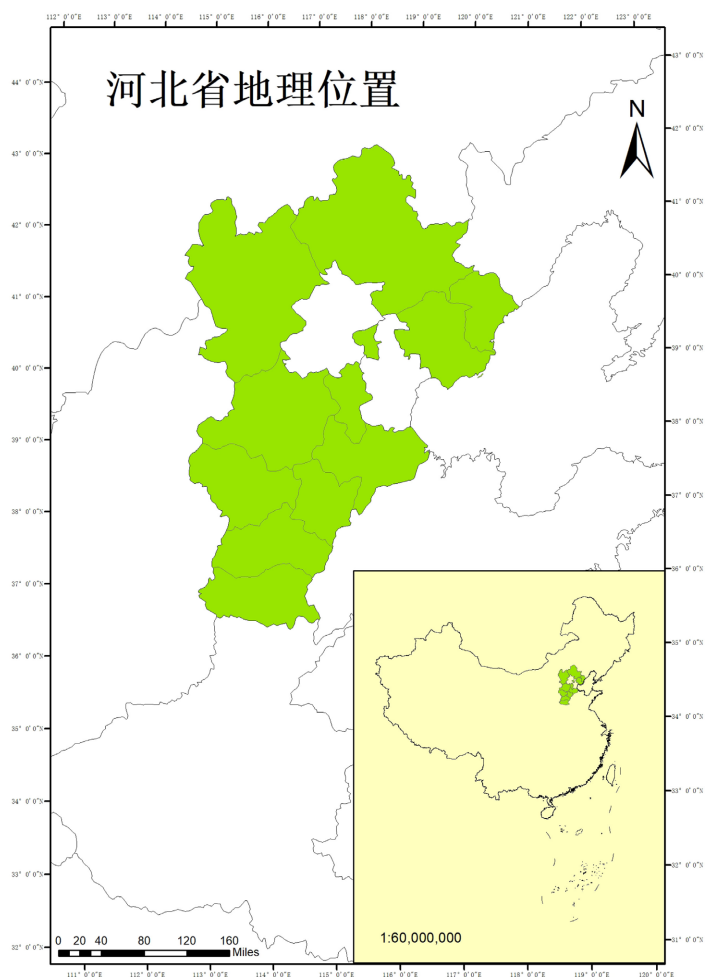


Figure 1. Geographical location of Hebei Province
图 1. 河北省地理位置

2.2. 数据来源

河北省各市 2018 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日的空气质量相关数据(AQI、PM2.5、PM10、SO₂、NO₂、O₃、CO)均下载自中国空气质量在线监测分析平台。

2.3. 研究方法

2.3.1. 空间分析

利用 ArcGIS 软件中的 Kriging 插值法[12]，将 AQI 及其 6 项监测污染物数据导入软件，实现对河北省空气质量情况的可视化。公式如下：

$$z = \sum_{i=1}^n \theta_i z_i \quad (1)$$

其中 θ_i 为权重系数， z_i 为该点的估计值。

2.3.2. 图表对比

将搜集到的河北省各市 2018~2020 年空气质量数据分别进行整理，将每月、每季度、每年河北省各市的空气质量数据和 6 项监测污染物数据分别以图表形式进行可视化。表 1 为空气质量评价标准。

Table 1. Evaluation index of air quality

表 1. 空气质量的评价指标

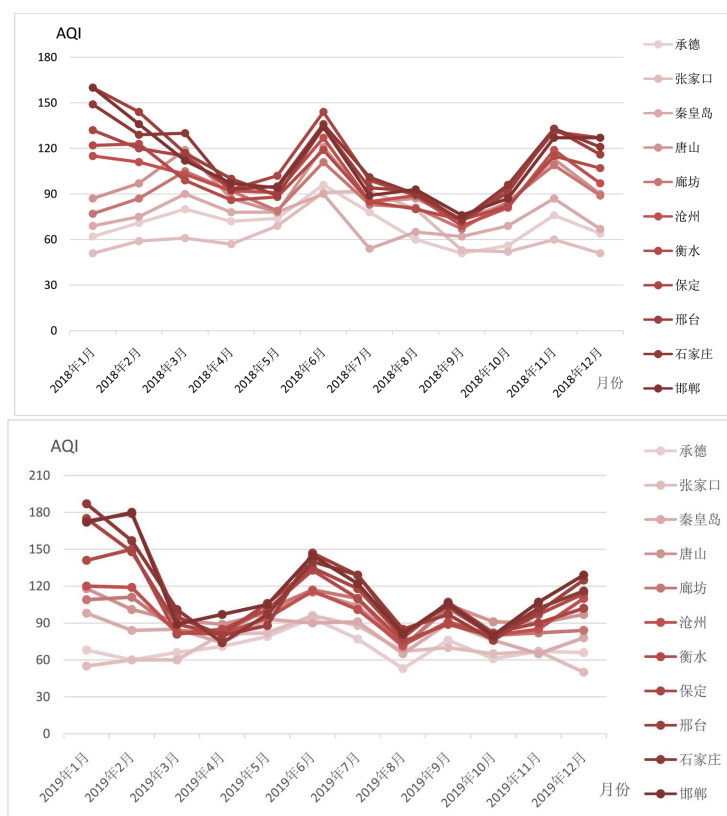
空气质量指数	空气质量指数级别(状况)	表示颜色
0~50	一级(优)	绿色
51~100	二级(良)	黄色
101~150	三级(轻度污染)	橙色
151~200	四级(中度污染)	红色
201~300	五级(重度污染)	深红色
300+	六级(严重污染)	紫红色

3. 结果与分析

3.1. 空气质量时间序列变化

3.1.1. 月度变化

根据图 2 可得,河北省空气质量指数的月均值总体呈 W 形,月均值在 4 月继续降低而 5 月开始升高,到 6 月达到第二个峰值。之后持续下降到 9 月到达最低点,而后继续上升,到 11 月达到第三个峰值。12 月又比 11 月的空气质量有所下降。总体来看,2018 年承德、张家口、秦皇岛的空气质量指数月度变化较为平缓,其他城市则波动较大。2019 年 1 月各市 AQI 月均值相差较大,河北省北部的承德、张家口在 60 左右,而南部城市如邢台、石家庄、邯郸等则是 180 左右。承德、张家口的 AQI 月均值在 2 月~6 月缓慢上升,6 月到达峰值,为 90 左右,之后下降到 8 月为最低,9 月略有升高后直到 12 月都变动不大。其他城市 AQI 月均值 2 月至 4 月下降较大,之后开始上升,到 6 月达到峰值,之后下降到 8 月为最低值,9 月上升后 10 月月均值又下降到与 8 月相近的 80 左右,11 月、12 月持续增加。



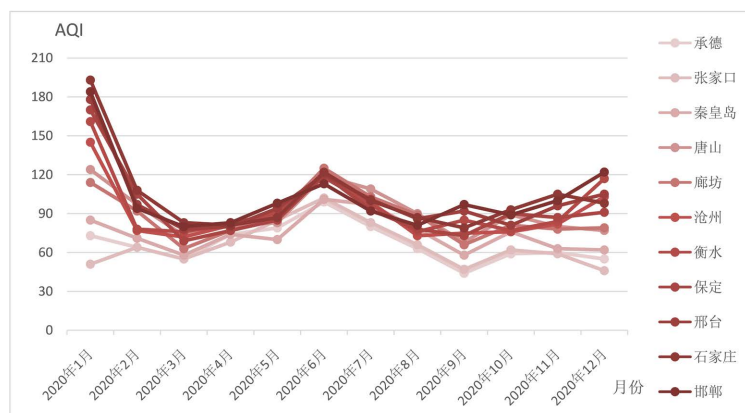


Figure 2. Monthly average AQI of cities in Hebei Province from 2018 to 2020
图 2. 2018~2020 年河北省各市 AQI 月均值

2020 年河北省各市空气质量指数的月均值折线分布紧凑，代表相差较小，但 1 月各市 AQI 月均值仍然相差较大，在 50~200 间均有分布。除承德、张家口、秦皇岛与上月月均值相差不大外，其他城市 2 月的 AQI 月均值都迅速降低到 120 以下。并且在 3 月继续降低，4 月开始上升，到 6 月到达第二个小峰值，各市 6 月 AQI 均在 90~140 之间。7 月、8 月 AQI 月均值保持下降，从 9 月开始各市月均值出现明显差异，承德、张家口、秦皇岛 10 月~12 月 AQI 月均值基本相同，其他城市 AQI 月均值则从 10 月开始逐月上升。

3.1.2. 季度变化

由图 3 可得，总体上河北省空气质量指数冬季高于夏季，其次是春季，秋季 AQI 均值最低。2018 年四季 AQI 均值分别为 91、96、85、114；2019 年 AQI 季均值分别为 89、100、86、106；2020 年 AQI 季均值分别为 78、97、77、89。但从空间上来看，承德、张家口及秦皇岛的空气质量仍然优于本省其他城市。

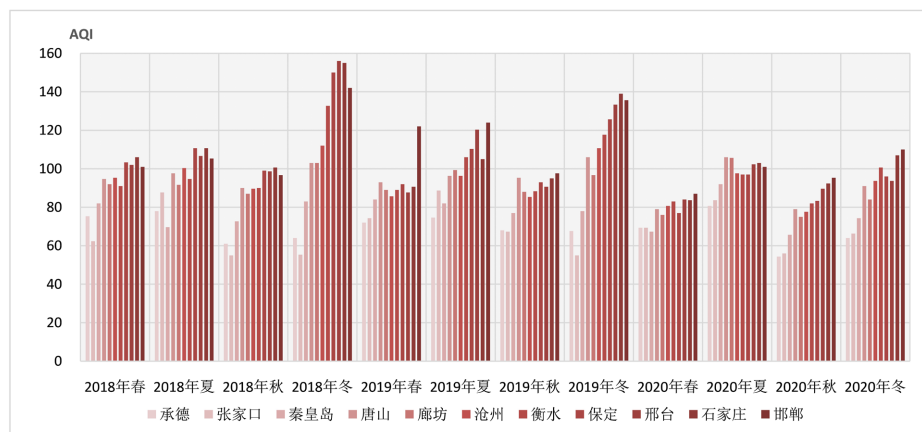


Figure 3. Average AQI of cities in Hebei Province from 2018 to 2020
图 3. 河北省各市 2018 年~2020 年 AQI 季均值

3.1.3. 年度变化

由图 4 河北省各市 2018 年~2020 年 AQI 年均值对比图可得，除承德、沧州两市是 AQI 年均值逐年递减之外，其余城市的年均空气质量在 2018 年~2020 年三年间都呈现先增后减的趋势。邯郸、石家庄、邢台、保定、衡水等河北省南部城市 2020 年空气质量指数的数值下降较明显。

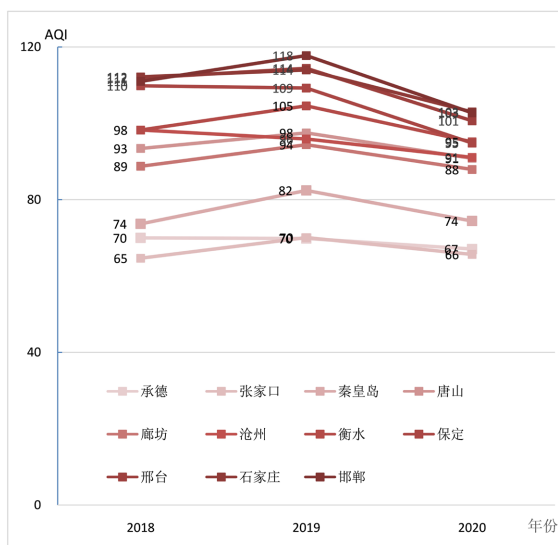


Figure 4. Annual average AQI of cities in Hebei Province from 2018 to 2020
图 4. 河北省各市 2018 年~2020 年 AQI 年均值

3.2. 河北省空气质量空间差异

根据我国对于空气质量指数的评价标准，AQI 共分为六级(见表 1)。由于河北省各市 2018~2020 年 AQI 年均值在 60~120 之间(即良好或轻度污染),如果按照空气质量标准进行分级,空间差异区分度较小,因此在制图时,本文将河北省 2018 年~2020 年空气质量指数分为 3 级:第一级为 51~75,用绿色表示;第二级为 76~100,用黄色表示;第三级为 101~150,用红色表示。

总体来看河北省空气质量北部地区优于南部地区(图 5)。2019 年张家口、承德、秦皇岛三市空气质量最好,廊坊、唐山、沧州、衡水市次之,保定、石家庄、邢台、邯郸等市空气质量相对较差。按照地貌单元来说,主要是坝上高原、燕山山脉地区城市的空气质量优于华北平原。这是由于冀北地区人口较少、重工业企业分布较少,且位于山区风速较大,空气质量优于人口分布密集的冀南地区平原城市。

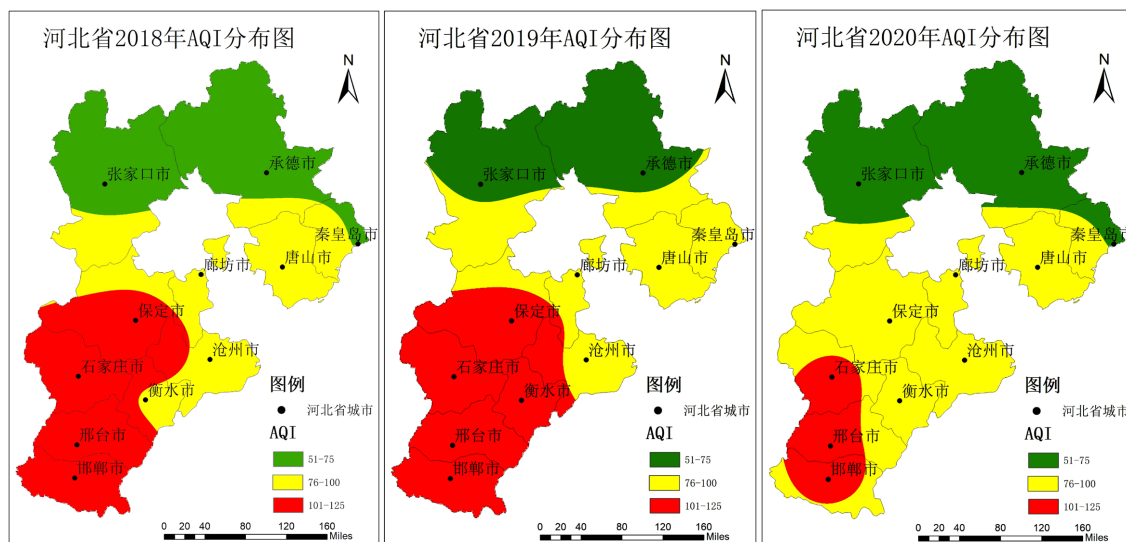


Figure 5. Spatial distribution of AQI in Hebei Province from 2018 to 2020
图 5. 河北省 2018~2020 年 AQI 空间分布

2019年河北省的空气质量低于2018年。2020年河北省空气质量总体优于2019年，冀南地区城市空气质量变化较大，空气质量指数高于100的区域相较于2019年减少了约二分之一。2020年河北省各市中，张家口市、承德市、秦皇岛市空气质量最好，廊坊、唐山、沧州、保定、衡水市次之，石家庄、邢台、邯郸等市市区及工业区空气质量相对较差。

3.3. 影响因素分析

空气质量指数是定量描述空气质量状况的非线性无量纲指数，同时，针对单项污染物还规定了空气质量分指数，参与空气质量评价的主要污染物为细颗粒物、可吸入颗粒物、二氧化硫、二氧化氮、臭氧、一氧化碳等六项。因此AQI指数也受参与评价的六项分指数值影响。本文测度了2019~2020年空气质量指数各项子指标的变化。

PM2.5指环境空气中空气动力学当量直径小于或等于2.5微米的颗粒物。由于停工停产使人们出行次数降低、工厂排放废气减少等原因，邢台、保定、邯郸、石家庄、秦皇岛等工业分布较多的城市PM2.5年均值下降较大(图6)；张家口、承德下降较少，当然也受到2019基数本身较小的影响。另外，2020年河北省各市PM10年均值均低于2019年，除张家口、承德外，其他城市PM10指数均有10以上的大幅下降，反映出疫情防控措施的实行对于颗粒污染物排放产生了一定的限制作用。

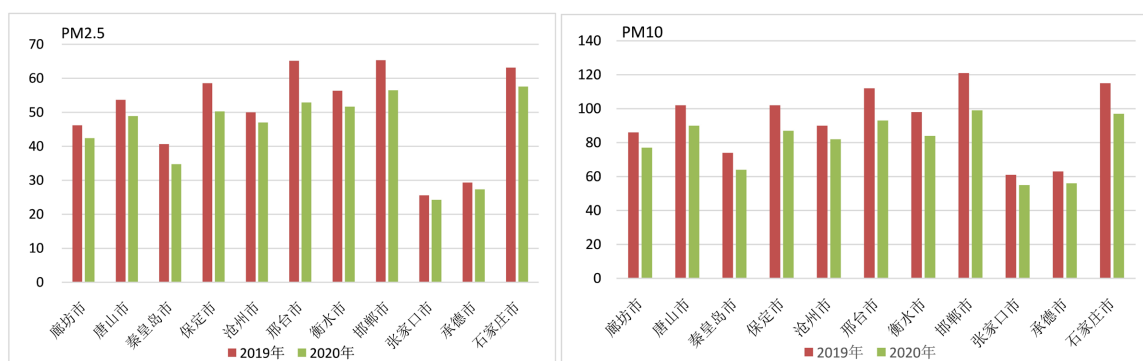


Figure 6. Differences between PM2.5 and PM10 in cities in Hebei Province from 2019 to 2020

图 6. 河北省各市 2019 年~2020 年 PM2.5 和 PM10 差异

作为一种常见的硫氧化物，二氧化硫会在大气中自行氧化形成硫酸雾或者硫酸气溶胶，在工业生产过程中，燃烧过程往往会产生大量的二氧化硫气体。由图7可知，除廊坊和张家口两个城市2020年与2019年二氧化硫指数持平外，其余城市2020年二氧化硫指数均低于2019年。

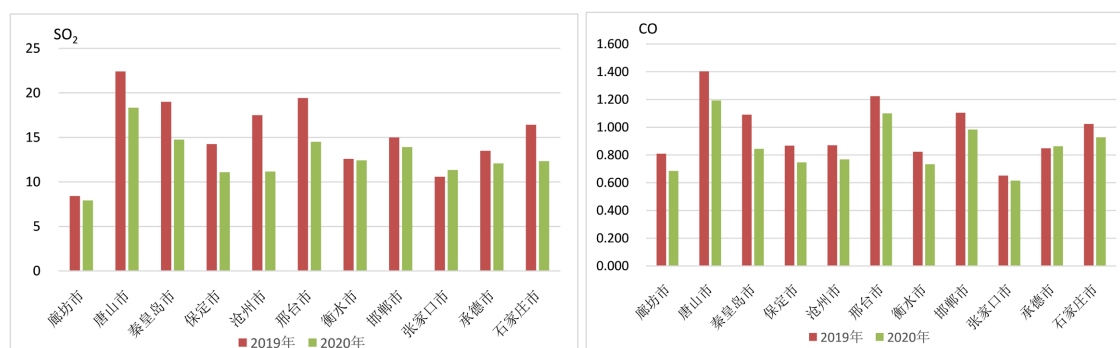


Figure 7. Differences of SO₂ and CO among cities in Hebei Province from 2019 to 2020

图 7. 河北省各市 2019 年~2020 年 SO₂ 和 CO 差异

一氧化碳是目前计入空气质量评价的主要污染物之一，是煤、石油等含碳量高的物质不完全燃烧后的产物，当前一氧化碳对大气的污染主要是由于汽车尾气带来的。除承德市外，2020年河北省10市年均一氧化碳指数都低于2019年。

二氧化氮作为一种大气污染物，主要是由于人类进行工业生产时的高温燃烧——机动车尾气、锅炉废气等的排放。根据图8可得，除张家口市外，河北省其余城市2020年二氧化氮年均值均低于2019年。其中除承德市下降幅度很小(由32下降到31)之外，其他城市均有明显下降。

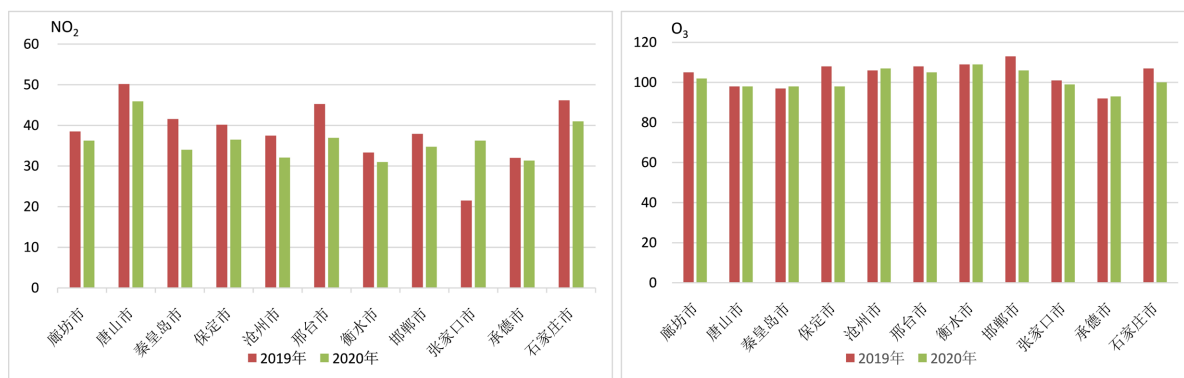


Figure 8. Differences of NO₂ and O₃ among cities in Hebei Province from 2019 to 2020
图8. 河北省各市2019年~2020年NO₂和O₃差异

在我国最新的空气质量评价标准中，“O₃_8h”代表臭氧的8小时滑动平均值，是将每天臭氧最高的连续8小时得出的平均浓度值作为评价当天臭氧污染水平的标准。虽然臭氧层有吸收紫外线的作用，但是在低空近地面范围内，过量臭氧的存在反而会威胁到人类及其他生物的健康生存。根据图8可知，除承德市、秦皇岛市、沧州市2020年臭氧8小时滑动平均年均值较2019年有所增加，唐山市、衡水市2020年臭氧8小时滑动平均年均值与2019年持平之外，河北省其他城市2020年的臭氧8小时滑动平均年均值均低于2019年。

4. 结论与讨论

4.1. 结论

(1) 2018年~2020年河北省各市空气质量指数的空间分布整体呈南高北低的特点，即冀北地区质量优于冀南地区。

(2) 在一年四季中，河北省11市均是冬季AQI指数最高，其次为夏季，春季、秋季往往空气质量较好。受季节因素影响，冬季雾霾更加严重，空气质量较其他季节更差。

(3) 河北省2020年空气质量总体好于2019年，其中2020年河北省各市PM₁₀、PM_{2.5}指数完全低于2019年，且变化趋势与空气质量指数变化趋势一致，可见空气质量的好坏主要与这两项主要指标的关联性较高。

4.2. 讨论

由于空气质量影响因素多种多样，在研究时无法完全考虑到所有影响因素，再加上空间分析方法比较单一，因此本文结论尚具有局限性，在未来的研究中可通过进行线性模型模拟的方式预测空气质量指数，以便得到更精准的数据。

根据研究发现，空气质量除了受到地形条件、风速与空气相对湿度等自然条件的影响，人类活动更

是影响空气质量的一大主要影响因素。明确空气质量及其评价子指标与人类生活生产活动的关系，有利于因地制宜改善空气质量。在“双碳”背景下，环境保护更需要从多方入手，空气质量提高有助于提升居民生活质量。

致 谢

感谢论文完成过程中给我支持与鼓励的导师、同学、家人。谢谢 Evan，在渺茫岁月里，我等到了玫瑰再次盛开的那天。

参考文献

- [1] Ioana, T., Marius, C. and Brindusa, S. (2023) Air Quality Integrated Assessment: Environmental Impacts, Risks and Human Health Hazards. *Applied Sciences*, **13**, 1222. <https://doi.org/10.3390/app13021222>
- [2] 张中祥, 曹欢. “2 + 26”城市雾霾治理政策效果评估[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(2): 26-36.
- [3] 秦臻, 张明, 张月莹, 等. COVID-19 疫情对河南省空气质量及社会经济活动短期影响[J]. 中国环境监测, 2021, 37(6): 221-228.
- [4] 赵艳艳, 张晓平, 陈明星, 等. 中国城市空气质量的区域差异及归因分析[J]. 地理学报, 2021, 76(11): 2814-2829.
- [5] 金自恒, 高锡章, 李宝林, 等. 川渝地区空气质量时空分布格局及影响因素[J]. 生态学报, 2022, 42(11): 4379-4388.
- [6] 王娜, 塔依尔江·艾山, 玉米提·哈力克, 等. 和田市空气质量特征及潜在健康效应[J]. 干旱区研究, 2023, 40(3): 349-357.
- [7] 许杰, 刘海江, 聂平静, 等. 国家重点生态功能区县域环境空气质量时空变化分析[J]. 生态学报, 2022, 42(11): 4362-4368.
- [8] 何韩吉, 邓光明, 葛梦兰. 中原城市群空气质量空间关联研究[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2021, 39(3): 151-162.
- [9] 康梦蕾, 倪洋, 曾强, 等. 基于老年人群循环系统疾病寿命损失年的天津市空气质量健康指数的初步构建[J]. 环境与健康杂志, 2020, 37(8): 684-687.
- [10] 杜肖肖, 张立清, 梁海霞. 东营市空气质量指数和酸雨的变化特征及相关性分析[J]. 环境工程技术学报, 2021, 11(1): 33-40.
- [11] Wang, J.Y., Gao, A.I., Li, S.R., *et al.* (2023) Regional Joint PM_{2.5}-O₃ Control Policy Benefits Further Air Quality Improvement and Human Health Protection in Beijing-Tianjin-Hebei and Its Surrounding Areas. *Journal of Environmental Sciences*, **130**, 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.06.036>
- [12] Meng, J.Z. (2021) Raster Data Projection Transformation Based on Kriging Interpolation Approximate Grid Algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, **60**, 2013-2019. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.12.006>