

桂林市大气污染特征分析

陈昶达¹, 陈明涛¹, 左艳秋¹, 黄俊², 王洪强^{1,3,4*}

¹桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

²中国科学院空天信息创新研究院, 北京

³广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 广西 桂林

⁴广西岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心, 广西 桂林

收稿日期: 2022年10月23日; 录用日期: 2022年10月28日; 发布日期: 2023年6月30日

摘要

利用2015年1月1日至2017年12月31日全国320个城市的大气环境质量的实时监测数据, 将桂林市和全国320个城市以及广西14个城市的各个污染指标进行对比分析, 得出主要指标的污染情况, 再进一步剖析各个污染指标的年平均变化特征, 讨论污染指标季节性变化趋势以及不具有变化趋势污染物的影响因素。结果表明: 2015~2017年, 桂林市主要污染为PM_{2.5}污染, 其他指标均低于全国年均水平, 但在区内, 除CO外其他指标的年均值都高于广西区整体年均水平, 且AQI、PM_{2.5}、PM₁₀具有冬季高, 夏季低的特点; NO₂、CO春夏呈下降趋势, 秋冬呈上升趋势; SO₂变化趋势受降雨、风速、风向的影响; O₃夏秋浓度高于冬春浓度, 与温度、日照时间相关。

关键词

PM_{2.5}, O₃, 大气污染

Analysis of Air Pollution Characteristics in Guilin

Changda Chen¹, Mingtao Chen¹, Yanqiu Zuo¹, Jun Huang¹, Hongqiang Wang^{1,3,4*}

¹College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing

³Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin Guangxi

⁴Guangxi Collaborative Innovation Center for Water Pollution Control and Water Safety in Karst Areas, Guilin Guangxi

Received: Oct. 23rd, 2022; accepted: Oct. 28th, 2022; published: Jun. 30th, 2023

*通讯作者。

Abstract

Using real-time monitoring data of atmospheric environmental quality in 320 cities across the country from January 1, 2015, to December 31, 2017. By comparing and analyzing the various pollution indicators of Guilin, 320 cities in China, and 14 cities in Guangxi, the pollution situation of the main indicators is obtained, and then the annual average change characteristics of the pollution indicators are further analyzed, and the seasonal change trend of the pollution indicators and the influencing factors of the pollutants with no change trend are discussed. The results show that from 2015 to 2017, the main pollution in Guilin was $PM_{2.5}$ pollution, and other indicators were lower than the national average annual level, but in the region, the average annual value of other indicators except CO was higher than the overall average annual level of Guangxi. And AQI, $PM_{2.5}$, and PM_{10} have the characteristics of high winter and low summer. NO_2 and CO show a downward trend in spring and summer, and an upward trend in autumn and winter. The change-trend of SO_2 is affected by rainfall, wind speed, and wind direction. The concentration of O_3 in summer and autumn is higher than that in winter and spring, which is related to temperature and sunshine time.

Keywords

$PM_{2.5}$, O_3 , Air Pollution

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

空气污染没有安全阈值, 浓度越高, 危害越大。经测试, 每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 $PM_{2.5}$ 浓度, 记忆力和注意力的表现水准就会有相当于衰老两岁的下降危害, 而且总死亡率、心肺疾病死亡和肺癌的死亡率会增加[1]。地表空气中的 O_3 对人体极为有害, 一些易于过敏的人长时间暴露在臭氧含量超过 $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的环境中, 会产生皮肤刺痒、眼睛刺痛、呼吸不畅、咳嗽及鼻炎等症状。空气中每增加 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 人的呼吸功能就会减弱 3%。全球疾病负担(GBD)研究估计, 2019 年空气污染导致中国 185 万人死亡, 其中 142 万人归因于颗粒物(PM) [2]。对于过敏性疾病与空气质量之间的关系, 我们所知甚少。然而, 与交通相关的空气污染, 高浓度的细颗粒物、氮氧化物和臭氧是非天然营养和过度卫生习惯外的主要嫌疑人的, 可能是过去几十年工业化国家过敏病例大幅增加的原因[3] [4] [5]。

国外研究大气污染对健康的影响最早可追溯至 20 世纪 60 年代, Ridker 定量估算 1958 年美国因大气污染引起的健康经济损失约为 802 亿美元; Dockery 等通过研究美国 6 个城市与 8000 名被调查人群的健康变化情况, 得出 $PM_{2.5}$ 浓度最高城市的人口死亡率大约是最低浓度城市的 1.26 倍; Seethaler 等采用支付意愿法评估 1996 年欧洲奥地利、法国和瑞典 PM_{10} 污染引发的健康损失, 得出健康损失的经济价值约为 270 亿欧元, 占据同年国内生产总值的 1.7%; Katanoda 等探究日本分项大气污染物对 63,520 位居民的健康影响, 揭示出 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 浓度增加均会导致居民死于肺癌和呼吸系统疾病的人数显著上升; Aunan 等基于文献成果, 通过 Meta 方法研究中国 PM_{10} 和 SO_2 污染对居民健康影响, 发现 PM_{10} 和 SO_2 浓度每增加 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人口死亡率分别上升 0.03% 和 0.04%; Pope 等通过美国癌症协会收集了暴露于大气污染 16 年的近 50 万成年人的死亡数据, 发现在控制吸烟、饮食等因素后, $PM_{2.5}$ 每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 总死

亡率、心血管疾病死亡率和肺癌死亡率分别升高 4.00%、6.00% 和 8.00% [6]-[12]。

国内学者的研究开始相对较晚, 过孝民等依据 1985 年我国 SO_2 浓度和居民健康数据, 采用修正人力资本法揭示出其造成的健康损失价值为 37.64 亿元。21 世纪后, 国内大气污染与健康的研究不断增多; 陈仁杰等评价 2006 年中国 113 个城市 PM_{10} 污染的健康危害, 发现 PM_{10} 引发 29.97 万人早逝、25.49 万人住院; Song 等研究 $\text{PM}_{2.5}$ 对心血管和呼吸系统疾病的影响, 发现 2013 年中国 $\text{PM}_{2.5}$ 污染造成 14.98 万人死于心血管疾病, 44.60 万人死于呼吸系统疾病; 常桂秋等在北京市的一项研究表明总悬浮颗粒物每增加 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 循环系统疾病死亡率增加 0.62%; 杨敏娟等通过控制长期趋势、短期趋势和气象因素等混杂因素基础上, 发现大气 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 心脑血管疾病死亡危险性分别增加 0.40% (0.10%~0.80%), 1.30% (0.20%~2.40%) 和 0.40% (0.20%~0.60%) [11] [13]-[18]。

国内外研究均表明, 大气污染对人体健康有显著影响, 并由此带来大量的财产损失, 因此, 研究并尽快改善大气质量, 是目前我国面临的迫切需要解决的环境问题。随着我国城市化进程的加快, 城市环境尤其是城市大气环境成为人们关注的焦点。当前, 我国大气环境形势十分严峻, 区域性大气污染问题频发, 公众和媒体的关注度日益提升, 大气污染已成为影响我国公众健康和经济社会可持续发展的重大环境问题。桂林作为世界著名的风景旅游名城、历史文化名城和国家环保模范城市, 受到全世界的关注。近年来, 随着经济水平和各行各业的快速发展, 受典型盆地地形、降水季节性分布不均、冬季逆温天气多等的自然地理条件限制, 桂林市城市环境空气质量逐年下降, 就区内而言空气质量令人堪忧, 出现了以颗粒物($\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10})为特征污染物的污染天气, 除此之外 O_3 污染天数逐年增多, 光化学烟雾污染的隐患变大, 严重影响了桂林市的空气质量。本文通过对全国空气环境监测数据的整理统计, 研究桂林市各污染指标随季节、月份变化的特征, 以及无明显特征的成因分析。分析桂林市大气污染特特征, 对在广西区内亦或是全国开展大气污染防治行动计划有特殊的意义。

2. 数据处理

数据基于中国空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/>), 该平台每小时公布一次小时平均值, 公布的数据包括北京、上海、广州和深圳等 363 个城市, 由于各个点布设的时间不一致, 本研究仅统计包含连续观测 3 年(2015 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日)的城市, 并基于日平均值进行统计, 需要说明的是, 数据首先剔除了异常值 0, 本文将每月有效数据量大于 90% 的城市进行统计, 363 个城市中有效的城市数达 320 个, 总计有效天数达 350,492。

320 个城市的分布情况如图 1 所示, 图中的圆圈代表观测点城市的坐标。

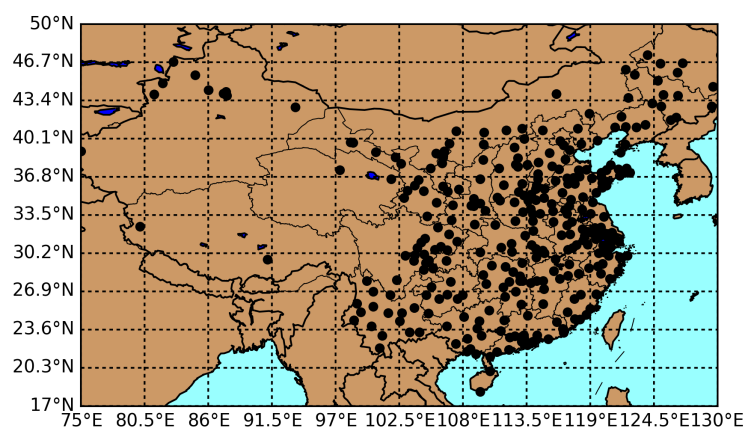


Figure 1. Distribution of 320 observation points

图 1. 320 个观测点分布

3. 结果与讨论

3.1. 桂林市与我国大气污染特征对比

统计 2015 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日, 桂林与 320 个城市对比列于表 1。

Table 1. Comparison of the mean value of Guilin City and 320 cities from 2015 to 2017

表 1. 2015~2017 年 3 年平均桂林与 320 城市对比

	AQI	PM _{2.5} μg/m ³	PM ₁₀ μg/m ³	SO ₂ μg/m ³	CO mg/m ³	NO ₂ μg/m ³	O ₃ μg/m ³
A	37.8~136.5	14~94	28.1~180.9	2.8~81.2	0.5~2.3	11.7~59.1	59.9~115.4
B	80.8	47.5	83.1	22.3	1.0	30.9	88.8
C	70	46.6	65.4	17.5	1.0	25.4	84.4
D	103	165	92	131	167	108	117
E	32.2%	51.6%	28.8%	40.9%	52.2%	33.8%	36.6%

注: A 表示 320 个城市 3 年平均值的范围; B 表示 320 个城市 3 年平均; C 表示桂林市 3 年平均; D 表示桂林市在全国排名; E 表示桂林市在全国排名比例。

从表 1 中可以看出, 2015~2017 年 320 个城市年平均 AQI 范围在 37.83~136.52, 平均值为 80.8, 桂林市 3 年平均 AQI 为 70, 在 320 个城市中排名 103, 在 320 个城市中排名比例为 32.2%。从单个指标来看, PM_{2.5} 年平均质量浓度达到 46.6 μg/m³, 与目前我国的《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中规定的二级浓度限值(35 μg/m³)相比, 超标 33%; PM₁₀ 为 65.4 μg/m³, 未超出二级标准值 70 μg/m³, SO₂ 为 17.5 μg/m³, 低于一级标准值, NO₂ 为 25.4 μg/m³, 低于 1 级标准值。

为了对比最近的 2017 年桂林市和 320 个城市的情况, 将各个指标的年平均列于表 2。

Table 2. Comparison between Guilin and 320 cities in 2017

表 2. 2017 年桂林市与 320 城市对比

	AQI	PM _{2.5} μg/m ³	PM ₁₀ μg/m ³	SO ₂ μg/m ³	CO mg/m ³	NO ₂ μg/m ³	O ₃ μg/m ³
A	38.1~133.3	10.3~85.9	28.1~158.5	2.5~83.4	0.5~2.1	11.3~58.9	55.8~124.5
B	81.1	44.9	80.8	18.5	1.0	31.8	94.5
C	67.8	44	61.9	14.8	0.8	25.3	84.7
D	86	163	80	146	113	95	81
E	26.9%	50.9%	25.0%	45.6%	35.3%	29.7%	25.3%

从表 2 可以看出, 2017 年, 与 320 个城市对比, 桂林市 PM_{2.5} 和 SO₂ 相对严重, PM₁₀、NO₂、CO 和 O₃ 有明显改善。

3.2. 桂林市与广西壮族自治区内监测城市对比

中国空气质量在线监测分析平台在广西壮族自治区内公布了 14 个城市的大气污染监测情况, 分别是南宁、百色、北海、崇左、防城港、贵港、桂林、河池、贺州、来宾、柳州、钦州和梧州和玉林, 计算 2015 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日 14 个城市污染指标年平均列于表 3, 桂林与广西对比情况列于表 4。

Table 3. Three-year average of 14 cities in Guangxi from 2015 to 2017**表 3.** 2015~2017 年广西 14 个城市 3 年平均值

城市	AQI	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO ₂	O ₃
梧州	58.98	38.77	60.09	13.24	1.07	22.88	74.90
崇左	60.00	34.82	51.95	10.71	0.87	17.81	88.70
贵港	64.14	40.33	62.67	17.12	1.00	23.06	84.35
南宁	60.41	37.63	64.09	12.12	0.96	32.86	75.09
北海	56.37	28.44	46.88	9.11	0.97	13.31	91.99
防城港	50.40	30.08	47.90	8.94	0.84	15.89	69.52
河池	60.55	37.71	60.66	14.89	1.03	24.04	72.67
钦州	58.43	36.12	56.96	17.22	1.09	19.60	80.00
来宾	66.81	44.08	63.85	20.46	0.96	21.86	78.51
百色	63.36	42.38	65.39	16.42	0.86	17.30	75.50
贺州	59.49	39.06	60.72	14.73	0.94	16.56	70.27
柳州	68.75	45.91	68.64	21.40	1.05	24.59	84.30
桂林	70.00	46.62	65.42	17.50	0.96	25.39	84.43
梧州	58.98	38.77	60.09	13.24	1.07	22.88	74.90
玉林	60.34	37.57	56.46	25.45	1.12	23.25	80.54

Table 4. Comparison of the mean value of Guilin City and 320 cities in 2015~2017**表 4.** 2015~2017 年 3 年平均值桂林市与广西 14 城市对比

	AQI	PM _{2.5} μg/m ³	PM ₁₀ μg/m ³	SO ₂ μg/m ³	CO mg/m ³	NO ₂ μg/m ³	O ₃ μg/m ³
A	50.4~70	28.4~46.6	46.9~68.6	8.9~25.5	0.8~1.1	13.3~32.9	69.5~92.0
B	61.3	38.5	59.4	15.7	1.0	21.3	79.3
C	70	46.6	65.4	17.5	1.0	25.4	84.4
D	14	14	13	11	5	13	12
E	100.0%	100.0%	92.9%	78.6%	35.7%	92.9%	85.7%

注: A 表示广西 14 个城市 3 年平均值的变化范围; B 表示广西 14 个城市 3 年平均值; C 表示桂林市 3 年平均值; D 表示桂林市在广西排名; E 表示桂林市在广西排名比例。

从表 4 可以看出, 2015~2017 年桂林市在广西 AQI 排名倒数第一, 6 个常规指标除 CO 外, 其余排名均靠后, 其中 PM_{2.5} 排名最差。为了对比最新进展, 2017 年桂林市与广西城市对比列于表 5。

Table 5. Comparison between Guilin City and Guangxi City in 2017**表 5.** 2017 年桂林市与广西城市对比

	AQI	PM _{2.5} μg/m ³	PM ₁₀ μg/m ³	SO ₂ μg/m ³	CO mg/m ³	NO ₂ μg/m ³	O ₃ μg/m ³
A	52.8~72.9	27.7~48.3	46.2~71.0	9.0~24.3	0.8~1.1	13.4~34.9	70.8~89.6
B	61.9	38.7	60.0	14.0	1.0	22.7	81.5
C	67.8	44.0	61.9	14.8	0.8	25.3	84.7
D	13	12	8	9	1	10	10
E	92.9%	85.7%	57.1%	64.3%	7.1%	71.4%	71.4%

注: A 表示广西 14 个城市 3 年平均值的变化范围; B 表示广西 14 个城市 3 年平均值; C 表示桂林市 3 年平均值; D 表示桂林市在广西排名; E 表示桂林市在广西排名比例。

从表 5 来看, 2017 年, 桂林市大气污染情况有所改善, 但污染情况仍较为严重, 其中 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_2 和 O_3 最为严重。

3.3. 桂林市大气污染特征

桂林市作为国际旅游城市, 主要发展旅游业, 工业产业相对较少, 然而, 与全国和广西城市大气污染对比来看, 污染相对较重, 其原因尚不明确。现将 2015~2017 年桂林市大气污染指标年平均值列于表 6。

Table 6. Annual average of air pollution indicators in Guilin City from 2015 to 2017

表 6. 2015~2017 年桂林市大气污染指标年平均值

	AQI	$\text{PM}_{2.5}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO mg/m^3	NO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2015	71.7	49.1	68.0	20.4	1.1	24.0	83.9
2016	70.5	46.8	66.4	17.3	1.0	26.9	84.6
2017	67.8	44.0	61.9	14.8	0.8	25.3	84.7

从表 6 可以看出, $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、CO、 NO_2 均有所改善, 而 O_3 浓度呈上升趋势。为了更好的探究其污染特征, 下面分别绘出 7 个指标的 3 年平均年变化图, 图 2 为 AQI, 图 3 为 $\text{PM}_{2.5}$, 图 4 为 PM_{10} , 图 5 为 SO_2 , 图 10 为 CO, 图 11 为 NO_2 , 图 12 为 O_3 。

Figure 2. Annual Variation Characteristics of AQI in Guilin City from 2015 to 2017

图 2. 2015~2017 年桂林市 AQI 年变化特征

从图 2 来看, 2015~2017 年, 桂林市 AQI 每年均在 6、7 月份最低, 8 月份也相对较低, 即夏季空气质量相对较好, 这与夏季好的扩散条件密切相关。12 月、1 月和 2 月相对较高, 即冬季大气污染相对严重。统计各个月份 AQI 不同级别级别天数列于表 7。

Table 7. Monthly days distribution of AQI at six levels in Guilin City from 2015 to 2017

表 7. 2015~2017 年桂林市 AQI 六个级别月份天数分布

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
2015-I	4	9	9	5	9	21	14	14	6	3	15	10	119
2016-I	12	5	6	12	6	21	24	11	3	13	16	2	131

Continued

2017-I	6	8	17	7	4	23	22	24	5	14	9	4	143
2015-II	9	7	20	21	22	9	17	15	18	15	12	14	179
2016-II	13	13	15	16	22	9	7	16	18	18	12	15	174
2017-II	12	11	12	20	25	7	9	7	23	13	13	14	166
2015-III	13	4	1	4	0	0	0	2	6	13	2	7	52
2016-III	3	10	7	1	3	0	0	4	9	0	2	11	50
2017-III	6	8	2	3	2	0	0	0	2	4	8	9	44
2015-IV	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9
2016-IV	2	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	3	9
2017-IV	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9
2015-V	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
2016-V	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2017-V	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2015-VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016-VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017-VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 7 表明, 从 AQI 来看, 桂林市大气以优良天为主, 大气污染天以轻度污染为主, 平均每年约有 49 天, 中度污染平均每年 9 天, 重度污染平均每年 4 天。从月份分布来看, 轻度污染主要分布在春季、秋季和冬季, 夏季仅在 2015 年 8 月和 2016 年 8 月出现过, 2017 年夏季没有出现轻度污染; 中度污染和重度污染主要分布在冬季, 特别是 2017 年, 中度污染和重度污染仅出现在冬季。

Figure 3. Characteristics of PM_{2.5} years variation in Guilin City from 2015 to 2017

图 3. 2015~2017 年桂林市 PM_{2.5} 年变化特征

Figure 4. Characteristics of PM₁₀ years variation in Guilin City from 2015 to 2017

图 4. 2015~2017 年桂林市 PM₁₀ 年变化特征

图 3 和图 4 表明，桂林市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 质量浓度具有明显的相似性，即夏季最低，冬季最高。从 2015~2017 年际变化来看，PM_{2.5} 夏季呈现降低的趋势，冬季呈现增长的趋势。

Figure 5. Characteristics of SO₂ years variation in Guilin City from 2015 to 2017

图 5. 2015~2017 年桂林市 SO₂ 年变化特征

图 5 表明 2015~2017 年桂林市 SO₂ 无明显的相似特征，但 2017 年 11 月和 12 月较 2016 年增长明显。因此，SO₂ 大气质量浓度可能较易受其他因素影响。将 2016 和 2017 年桂林市月平均风速绘于图 6，月平均降雨量绘于图 7，2016 和 2017 年桂林市每月风向统计列于表 7。

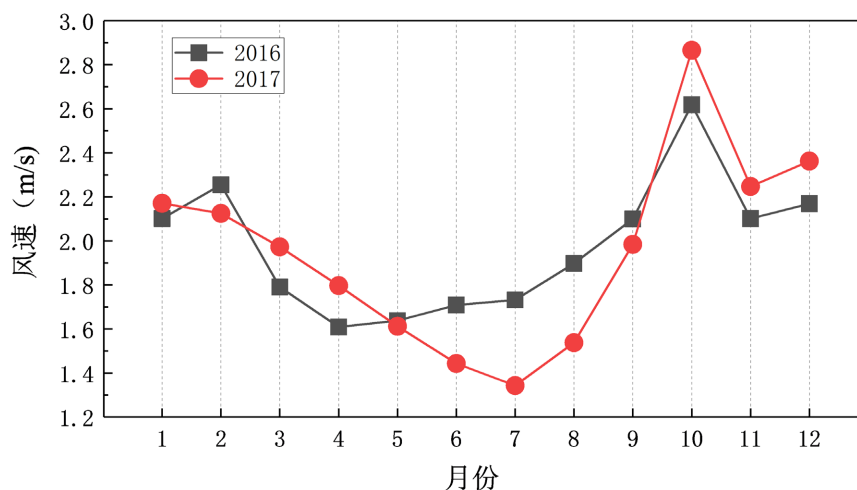


Figure 6. Monthly average wind speed in 2016 and 2017

图 6. 2016 年和 2017 年月平均风速

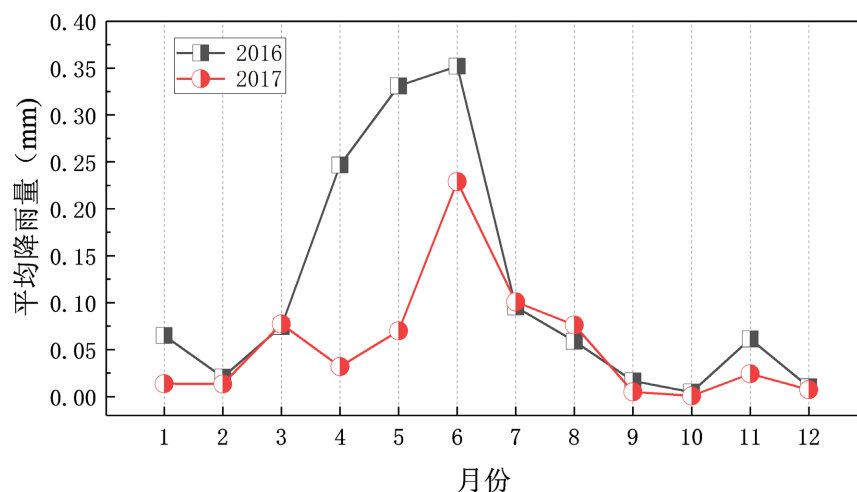


Figure 7. Average monthly rainfall in 2016 and 2017

图 7. 2016 年和 2017 年月平均降雨量

Table 8. Monthly wind direction statistics for 2016 and 2017

表 8. 2016 和 2017 年月风向统计

风向	南	东南	东	东北	北	西北	西	西南
2016 年 1 月	0.0%	6.6%	0.0%	75.2%	1.5%	13.8%	0.0%	2.9%
2016 年 2 月	0.0%	9.9%	0.0%	72.3%	0.8%	14.7%	0.0%	2.4%
2016 年 3 月	0.2%	14.9%	0.2%	48.8%	0.6%	23.8%	0.0%	11.5%
2016 年 4 月	0.3%	13.3%	0.0%	56.5%	0.5%	19.6%	0.0%	9.8%
2016 年 5 月	0.0%	17.5%	0.4%	54.3%	0.4%	19.0%	0.0%	8.3%
2016 年 6 月	1.2%	34.3%	0.0%	21.3%	0.0%	13.1%	0.0%	30.1%
2016 年 7 月	1.3%	36.0%	0.0%	13.8%	0.5%	10.3%	0.2%	38.0%
2016 年 8 月	0.3%	20.4%	0.2%	55.9%	0.7%	16.0%	0.0%	6.5%
2016 年 9 月	0.0%	6.4%	0.0%	77.0%	0.8%	12.9%	0.0%	3.0%

Continued

2016年10月	0.0%	3.2%	0.2%	84.7%	0.7%	8.5%	0.0%	2.7%
2016年11月	0.0%	9.4%	0.2%	68.9%	0.7%	13.9%	0.0%	7.0%
2016年12月	0.2%	5.8%	0.0%	73.8%	1.0%	15.9%	0.0%	3.4%
2017年1月	0.0%	5.3%	0.0%	79.6%	0.2%	10.7%	0.0%	4.3%
2017年2月	0.4%	11.3%	0.0%	67.2%	0.7%	14.5%	0.0%	5.9%
2017年3月	0.0%	5.9%	0.0%	71.6%	0.9%	19.0%	0.0%	2.6%
2017年4月	0.7%	21.0%	0.2%	41.4%	0.7%	13.2%	0.0%	22.9%
2017年5月	0.6%	20.9%	0.5%	46.3%	0.8%	18.9%	0.0%	12.0%
2017年6月	1.1%	23.8%	0.2%	41.4%	0.9%	18.0%	0.0%	14.6%
2017年7月	2.0%	43.1%	0.2%	16.7%	0.3%	14.5%	0.2%	23.1%
2017年8月	0.9%	36.1%	0.3%	28.8%	0.0%	14.0%	0.0%	19.8%
2017年9月	0.5%	20.2%	0.0%	57.0%	0.3%	10.8%	0.0%	11.4%
2017年10月	0.1%	2.2%	0.0%	89.9%	0.4%	4.7%	0.0%	2.6%
2017年11月	0.0%	4.8%	0.3%	75.5%	1.0%	16.7%	0.0%	1.6%
2017年12月	0.0%	3.0%	0.1%	83.3%	0.9%	11.2%	0.0%	1.5%

从图 6 来看, 2017 年 11 月和 12 月较 2016 年 11 月和 12 月风速大, 可考虑大气传输导致 SO_2 浓度升高。从图 7 来看, 2017 年 11 月和 12 月较 2016 年 11 月和 12 月降雨减少, 降雨清除 SO_2 的量减少。从表 8 来看, 2017 年 11 月和 12 月东北风频率比 2016 年 11 月和 12 月高 15% 左右, 为了进一步验证是否异地传输导致, 将不同风向风速列于表 9, 不同风向下的 SO_2 平均浓度列于表 10, 不同风向下的降雨量列于表 11。

Table 9. Monthly mean wind speed in different directions in 2016 and 2017 (m/s)

表 9. 2016 和 2017 年不同方向风速月平均值(m/s)

风向	南	东南	东	东北	北	西北	西	西南
2016年1月	nan	0.8	nan	2.5	2.5	1.6	nan	0.7
2016年2月	nan	1.0	nan	2.6	2.2	1.8	nan	0.8
2016年3月	0.5	1.3	0.4	2.4	3.3	1.3	nan	1.4
2016年4月	1.6	1.2	nan	1.8	1.9	1.5	nan	1.3
2016年5月	nan	1.2	1.0	2.0	2.3	1.3	nan	1.5
2016年6月	3.0	1.6	nan	1.6	nan	1.3	nan	2.1
2016年7月	1.7	1.6	nan	1.2	1.1	1.4	1.8	2.1
2016年8月	2.4	1.3	1.6	2.2	2.6	1.7	nan	1.5
2016年9月	nan	1.2	nan	2.2	2.5	1.9	nan	1.7
2016年10月	nan	1.5	1.6	2.8	1.9	1.8	nan	1.6
2016年11月	nan	1.0	1.2	2.7	2.3	1.2	nan	1.0
2016年12月	1.1	0.8	nan	2.6	2.9	1.5	nan	0.8
2017年1月	nan	1.2	nan	2.5	1.7	1.3	nan	1.4
2017年2月	1.6	1.0	nan	2.7	1.5	1.3	nan	1.5
2017年3月	nan	0.9	nan	2.3	2.3	1.3	nan	0.7
2017年4月	2.2	1.2	0.5	2.6	2.0	1.3	nan	1.6

Continued

2017年5月	1.5	1.2	1.4	2.0	1.4	1.4	nan	1.7
2017年6月	1.6	1.3	0.9	1.8	1.4	1.3	nan	1.6
2017年7月	1.9	1.4	1.6	1.3	1.3	1.2	1.1	1.5
2017年8月	2.4	1.4	1.3	1.8	nan	1.3	nan	2.0
2017年9月	2.6	1.6	nan	2.3	1.6	1.6	nan	2.0
2017年10月	1.8	1.3	nan	3.0	2.5	2.0	nan	1.6
2017年11月	nan	1.0	1.1	2.6	1.9	1.5	nan	0.8
2017年12月	nan	1.2	1.0	2.6	2.2	1.6	nan	0.8

Table 10. February mean SO₂ concentration in different directions in 2016 and 2017 (μg/m³)**表 10.** 2016 和 2017 年不同方向 SO₂ 月平均浓度值(μg/m³)

风向	南	东南	东	东北	北	西北	西	西南
2016年1月	nan	27.4	nan	16.1	14.3	21.8	nan	29.3
2016年2月	nan	16.2	nan	13.4	11.9	15.1	nan	14.7
2016年3月	30.8	21.3	31.5	20.2	13.7	24.5	nan	20.4
2016年4月	19.3	16.1	nan	18.0	24.8	21.0	nan	20.2
2016年5月	nan	20.6	26.1	18.6	12.0	22.1	nan	20.3
2016年6月	9.0	12.8	nan	12.9	nan	14.5	nan	11.2
2016年7月	10.5	12.7	nan	18.3	11.2	17.2	10.8	12.6
2016年8月	14.1	19.2	27.8	18.1	12.6	19.3	nan	16.5
2016年9月	nan	24.9	nan	20.5	15.2	22.5	nan	18.7
2016年10月	nan	11.8	21.8	15.4	13.4	19.9	nan	11.0
2016年11月	nan	16.9	30.8	12.6	12.6	13.7	nan	17.3
2016年12月	27.3	19.5	nan	18.5	16.3	22.4	nan	25.2
2017年1月	nan	25.7	nan	12.5	9.0	22.0	nan	15.7
2017年2月	6.9	13.3	nan	9.9	7.4	13.1	nan	15.0
2017年3月	nan	14.0	nan	12.0	14.0	13.9	nan	15.3
2017年4月	14.0	15.4	5.8	13.7	9.7	16.5	nan	12.9
2017年5月	12.3	16.7	15.0	14.7	12.6	15.7	nan	12.7
2017年6月	10.3	9.5	23.0	9.5	8.0	10.2	nan	9.5
2017年7月	9.2	9.6	5.3	12.4	32.6	15.4	39.3	9.2
2017年8月	11.7	10.0	18.9	12.2	nan	11.8	nan	8.9
2017年9月	15.2	12.8	nan	14.5	18.7	13.4	nan	12.7
2017年10月	10.0	9.6	nan	14.4	17.8	15.4	nan	10.1
2017年11月	nan	27.7	21.6	15.7	16.3	19.3	nan	25.0
2017年12月	nan	28.6	40.5	23.1	24.4	25.2	nan	37.3

Table 11. Monthly mean rainfall in different directions in 2016 and 2017 (mm)**表 11.** 2016 和 2017 年不同方向降雨量月平均值(mm)

风向	南	东南	东	东北	北	西北	西	西南
2016年1月	nan	0.0	nan	0.1	0.0	0.1	nan	0.0
2016年2月	nan	0.0	nan	0.0	0.1	0.0	nan	0.0

Continued

2016年3月	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	nan	0.0
2016年4月	0.0	0.1	nan	0.3	0.0	0.2	nan	0.2
2016年5月	nan	0.8	0.0	0.1	0.1	0.5	nan	0.3
2016年6月	0.0	0.3	nan	0.7	nan	0.4	nan	0.1
2016年7月	0.1	0.1	nan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2016年8月	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	nan	0.0
2016年9月	nan	0.0	nan	0.0	0.0	0.0	nan	0.0
2016年10月	nan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	nan	0.0
2016年11月	nan	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	nan	0.0
2016年12月	0.0	0.0	nan	0.0	0.1	0.0	nan	0.0
2017年1月	nan	0.0	nan	0.0	0.0	0.0	nan	0.0
2017年2月	0.0	0.0	nan	0.0	0.0	0.0	nan	0.0
2017年3月	nan	0.1	nan	0.1	0.0	0.1	nan	0.3
2017年4月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	nan	0.1
2017年5月	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	nan	0.1
2017年6月	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	0.3	nan	0.3
2017年7月	0.0	0.1	5.7	0.0	1.2	0.2	0.0	0.1
2017年8月	0.0	0.1	0.0	0.0	nan	0.2	nan	0.0
2017年9月	0.0	0.0	nan	0.0	0.0	0.0	nan	0.0
2017年10月	0.0	0.0	nan	0.0	0.0	0.0	nan	0.0
2017年11月	nan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	nan	0.1
2017年12月	nan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	nan	0.0

从表 9、表 10 和表 11 来看，桂林市 SO₂ 浓度不仅受风速、风向和降雨的影响，还会受到其他因素的影响，例如总排放量，为了进一步观察风速的影响，将 2016 年 12 月和 2017 年 12 月东北风向下小时 SO₂ 浓度和风速关系绘于图 8。

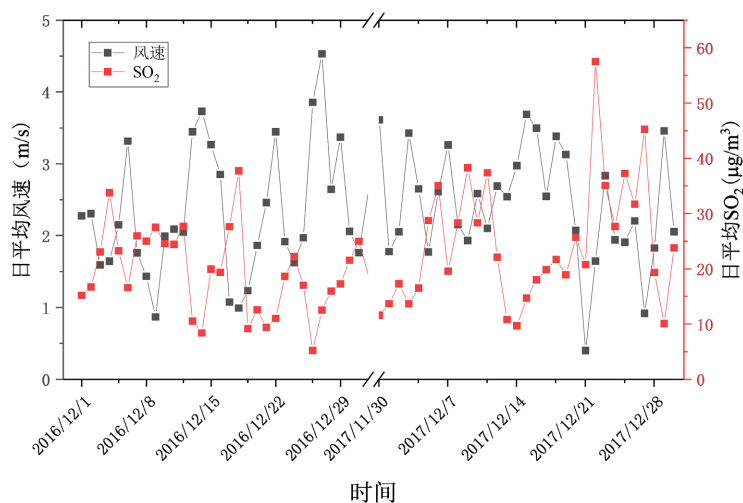


Figure 8. Relationship between SO₂ concentration and wind velocity in hourly downward wind over Northeast China in December 2016 and December 2017
图 8. 2016 年 12 月和 2017 年 12 月东北风向下小时 SO₂ 浓度和风速关系

从图 8 可以看出, 2016 年 12 月和 2017 年 12 月东北风向下小时 SO_2 浓度和风速基本呈反相关关系, 即风速大的时候, SO_2 浓度小, 风速小的时候 SO_2 浓度大。将 2016 年 12 月日均风速和日平均 SO_2 浓度进行线性拟合, 绘于图 9。

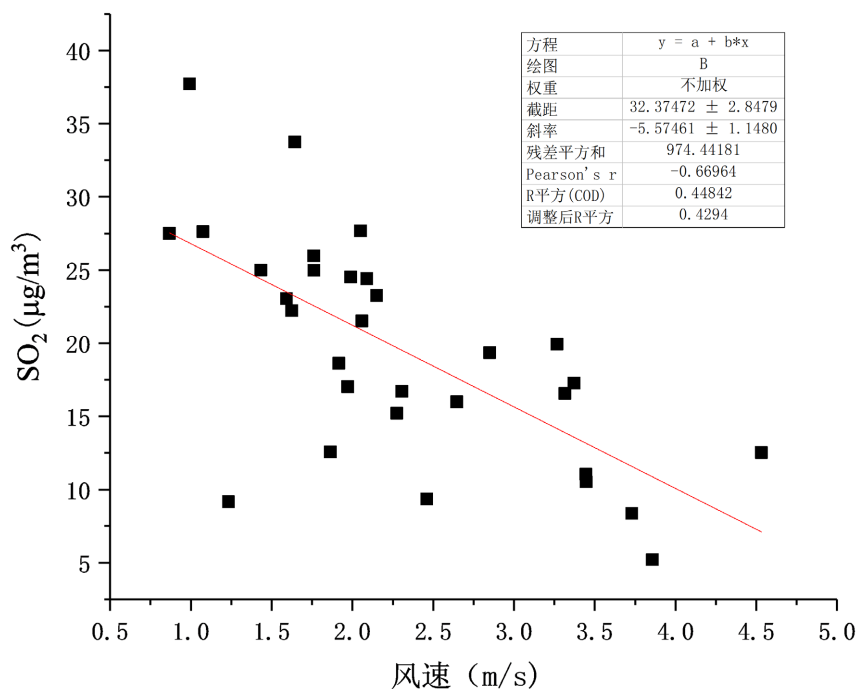


Figure 9. Linear fitting of daily average wind speed and daily average SO_2 concentration in December 2016

图 9. 2016 年 12 月日平均风速和日平均 SO_2 浓度进行线性拟合

从图 9 来看, 2016 年 12 月日平均风速和日平均 SO_2 浓度总体呈反相关关系, 随着日平均风速的增大, 日平均 SO_2 浓度减小, 进行线性拟合, 其 R^2 为 0.45。

Figure 10. Characteristics of NO_2 years variation in Guilin City from 2015 to 2017

图 10. 2015~2017 年桂林市 NO_2 年变化特征

Figure 11. Characteristics of CO years variation in Guilin City from 2015 to 2017

图 11. 2015~2017 年桂林市 CO 年变化特征

图 10 和图 11 表明桂林市 2015~2017 年 NO_2 和 CO 年变化具有明显特征, 即 1~6 月份呈下降趋势, 7~12 月呈上升趋势。

Figure 12. Characteristics of O_3 years variation in Guilin City from 2015 to 2017

图 12. 2015~2017 年桂林市 O_3 年变化特征

图 12 表明 2015~2017 年桂林市 O_3 的浓度平均来看 4~10 月比 11~3 月浓度高, 这与 O_3 形成的温度和日照时间有关系。

4. 结论

1) 本文根据中国空气质量在线监测分析平台, 通过对 2015~2017 年三年内桂林市与广西区内以及全国不同城市的不同污染物的对比分析, 更为全面的分析了桂林市空气污染特征对比。

2) 桂林市 2015~2017 年 AQI 呈下降趋势,但在区内污染情况来说仍较为严重。O₃ 污染情况逐年严重,SO₂、PM₁₀、PM_{2.5} 浓度都逐年下降,但 PM_{2.5} 仍为影响空气质量的主要污染物。

3) 桂林市产业以旅游业为主,然而,与全国和广西城市大气污染对比来看,污染相对较重,具有十分明显的季节变化特征。除受天气变化影响,夏季晴朗天气相较最多,污染最重的臭氧外,其他污染物含量都呈现冬天污染严重,夏天污染较轻的特点。因此针对不同污染物采取综合治理是治理桂林市大气污染的方式之一。

基金项目

国家重点研发计划项目(2018YFC1506304)资助。

参考文献

- [1] Underwood, E. (2017) The Polluted Brain. *Science*, **355**, 342-345. <https://doi.org/10.1126/science.355.6323.342>
- [2] Murray, C.J., Aravkin, A.Y., Zheng, P., *et al.* (2020) Global Burden of 87 Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2019: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, **396**, 1223-1249. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2)
- [3] Bernstein, J.A., Alexis, N., Barnes, C., *et al.* (2004) Health Effects of Air Pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **114**, 1116-1123. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.08.030>
- [4] Brunekreef, B. and Sunyer, J. (2003) Asthma, Rhinitis and Air Pollution: Is Traffic to Blame? *European Respiratory Journal*, **21**, 913-915. <https://doi.org/10.1183/09031936.03.00014903>
- [5] Ring, J., Eberlein-Koenig, B. and Behrendt, H. (2001) Environmental Pollution and Allergy. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, **87**, 2-6. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62332-0](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62332-0)
- [6] Ridker, R.G. (1967) *Economic Costs of Air Pollution: Studies in Measurement*. Praeger, New York.
- [7] Dockery, D.W., Pope, C.A., Xu, X., *et al.* (1993) An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine*, **329**, 1753-1759. <https://doi.org/10.1056/NEJM199312093292401>
- [8] Seethaler, R., *et al.* (2003) Economic Costs of Air Pollution-Related Health Impacts: A Impact Assessment Project of Austria, France and Switzerland. *Clean Air and Environmental Quality*, **37**, 35-43.
- [9] Katanoda, K., Sobue, T., Satoh, H., *et al.* (2011) An Association between Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Mortality From Lung Cancer and Respiratory Diseases in Japan. *Journal of Epidemiology*, **21**, 132-143. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20100098>
- [10] Aunan, K. and Pan, X.-C. (2004) Exposure-Response Functions for Health Effects of Ambient Air Pollution Applicable for China—A Meta-Analysis. *Science of the Total Environment*, **329**, 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.03.008>
- [11] 秦耀辰, 谢志祥, 李阳. 大气污染对居民健康影响研究进展[J]. 环境科学, 2019, 40(3): 1512-1520.
- [12] Arden Pope, C., Burnett, R.T., Thun, M.J., *et al.* (2002) Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*, **287**, 1132-1141. <https://doi.org/10.1001/jama.287.9.1132>
- [13] 过孝民, 张慧勤. 我国环境污染造成经济损失估算[J]. 中国环境科学, 1990, 10(1): 51-59.
- [14] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 410-415.
- [15] Song, Y., Wang, X., Maher, B.A., *et al.* (2016) The Spatial-Temporal Characteristics and Health Impacts of Ambient Fine Particulate Matter in China. *Journal of Cleaner Production*, **112**, 1312-1318. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.006>
- [16] 常桂秋, 潘小川, 谢学琴, 高燕琳. 北京市大气污染与城区居民死亡率关系的时间序列分析[J]. 卫生研究, 2003, 32(6): 565-568.
- [17] 杨敏娟, 潘小川. 北京市大气污染与居民心脑血管疾病死亡的时间序列分析[J]. 环境与健康杂志, 2008, 25(4): 294-297.
- [18] 刘勇, 芦茜, 黄志军. 大气污染物对人体健康影响的研究[J]. 中国现代医学杂志, 2011, 21(1): 87-91.