

黄翠银,莫雨淳,何莉阳,等. 广西主要城市空气质量的气象要素阈值及大气环流分析[J]. 气象研究与应用,2022,43(2):69–73.
Huang Cuiyin, Mo Yuchun, He Liyang, et al. Analysis of meteorological element threshold and atmospheric circulation of air quality in main cities of Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(2): 69–73.

广西主要城市空气质量的气象要素阈值及大气环流分析

黄翠银¹, 莫雨淳², 何莉阳¹, 陈 丹³

(1.广西壮族自治区气候中心, 南宁 530022; 2.广西壮族自治区气象台, 南宁 530022;

3. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022)

摘要: 基于 2002—2013 年广西南宁、桂林、北海 3 市二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)和可吸入颗粒物(PM₁₀)等 3 种大气污染物的逐日监测值, 计算 3 种大气污染物的空气污染指数, 研究 3 个城市空气质量、首要污染物及其月际变化特征及其与气象要素的相关关系, 并利用百分位法确定 2、3 级空气质量过程的阈值, 分析南宁市 6 次长时间污染过程的大气环流特征。结果表明, 3 个城市中南宁市空气质量相对最差; 3 市首要污染物均以 PM₁₀ 为主, 占 66.37%~100%, 污染主要发生在秋冬春季; 影响各市空气质量的主要气象要素及其 2、3 级对应的气象要素阈值呈现差异性; 南宁市出现污染天气的主要大气环流特征是 850hPa 广西受东北气流影响, 水汽输送条件差, 无降雨产生。

关键词: 空气质量; 阈值; 大气环流

中图分类号: X16

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.2.12

引言

随着生活水平的提高, 人们越发关注大气污染对公众健康、社会生产生活的影 响, 对大气污染预测要求也日益提高。为了探索大气污染发生发展规律及其影响机理, 国内学者作了大量研究并取得不少成果^[1-14]: 掌握了各地空气污染时空变化特征及其趋势, 空气污染情况下气象要素特点, 气象条件对空气污染物扩散稀释、湍流沉降的影响, 以及气候变化下空气污染的变化特点等。研究内容多数是针对短时间或 1a 期内的污染数据, 对于 10a 以上的数据研究较少。近年来, 各省气象部门陆续开展月尺度大气污染扩散气象条件趋势预测及月内大气污染过程起止时间和强度的预测。

2013 年之前南宁、北海、桂林 3 市开展对二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)和可吸入颗粒物(PM₁₀)等 3 种大气污染物的监测, 2013 年之后逐渐增加到对 6 种大气污染物的监测。为掌握前后大气污染物

监测变化引起的空气质量及首要污染物的差异, 本文对 2002 年 4 月 1 日—2013 年 3 月 30 日南宁市、北海市、桂林市空气质量进行分析, 统计各级空气质量的关键气象要素阈值及污染过程的大气环流特征, 以满足新增的大气污染延伸期-月尺度预测日益精细化的业务需求。

1 数据和方法

文中使用的大气污染物数据来源于南宁、桂林、北海 3 市环保局的监测数据, 包括 2002 年 4 月 1 日—2013 年 3 月 30 日 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 等 3 种大气污染物的逐日监测值。利用《环境气象学与特种气象预报》^[15]空气污染分指数计算方法, 对 3 种污染物进行计算, 其中最大的分指数即为该市的空气污染指数(Air Pollution Index, API), 引起最大 API 的污染物定义为该市的首要污染物。当 API≤50, 空气质量为 1 级, 空气质量优; 50<API≤100, 空气质量为 2 级, 空气质量良; 100<API≤200, 空气质量为 3

收稿日期: 2021-12-12

基金项目: 广西气象科研计划项目(桂气科 2020M18)、广西自然科学基金项目(2020GXNSFAA159092)、广西科技计划项目(桂科 AB21075008)

作者简介: 黄翠银(1977—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事气候分析与预测。E-mail: 358506774@qq.com

级,空气质量状况为轻度污染;200<API≤300,空气质量为4级,空气质量状况为中度污染;API>300,空气质量为5级,空气质量状况为重污染。

利用相关系数公式(1)分别计算3市气象要素和API的相关系数 r 。 x_1, x_2, \dots, x_n 和 y_1, y_2, \dots, y_n 分别为逐日气象要素和API值, \bar{x} 、 \bar{y} 为气象要素、API的平均值。对通过显著性检验的要素利用百分位的四分位法确定各等级空气质量过程的阈值。各市有4017个样本,0.001、0.05、0.1显著性检验的相关系数临界值分别为0.104、0.062、0.052。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

2 三市空气质量分析

2.1 南宁市空气质量分析

南宁市4017个逐日API数据中,最大值为186,出现在2013年1月15日,为轻度污染,没有出现中度及以上等级的大气污染。3级空气质量日数有135d,轻度污染日数占总日数3.36%;2级空气质量日数共2293d,占总日数57.08%;1级空气质量日数为1589d,占39.56%。南宁市空气质量3级、2级日数是3市最多。

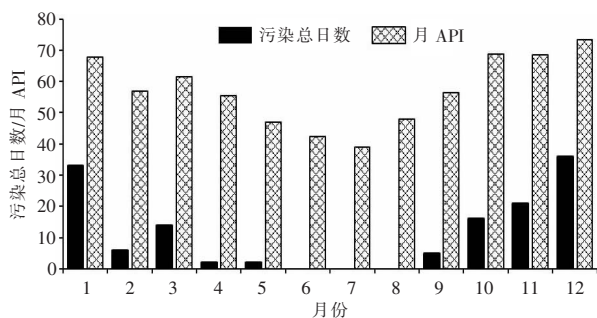


图1 南宁市各月空气污染总日数(单位:d)和月平均API分布图

2.2 桂林市空气质量分析

桂林市有5个月月均API≥50,分别为1月、3月以及10—12月,总体空气质量3市最好,最高值54出现在12月,月API最小值41,出现在5月和7月(图3)。桂林市日API最大值、次大值分别为191和148,出现在2011年2月3日、4日,处于中国农历新年初一、初二。轻度污染日数共48d,占总日数1.19%,首要污染物以PM₁₀为主,占91.67%,其次是SO₂和NO₂,分别为44d、3d和1d。桂林市大气污染

135d轻度污染天数中,128d首要污染物为PM₁₀,占污染天数的94.81%,5d为NO₂,2d为SO₂。南宁市各月污染总日数及API月平均变化如图1:5—8月API<50,空气质量较好,除了5月有2d污染外,其余月份污染日数为0;污染日数从9月开始递增,12月到达顶峰,翌年1月开始递减,2月急剧减少。轻度污染日数最多的月份为12月、1月和11月,分别为36d、33d和21d。秋冬春季,月均API>50共8个月,其中10—12月、1月及3月API>60,最高的12月API为73。

2.2 北海市空气质量分析

北海市月际空气质量变化中,4—9月API<50,空气质量总体较好(图2),7月API为32,空气质量全年最好;其余月份API>50,12月API最高63,但比南宁市明显偏低。日API最大值为125,出现在2010年11月6日,为轻度污染。北海市轻度污染日数共16d,为3市最少,占总日数0.39%。污染日数最多是1月和11月,均为5d,12月3d,4月和2月分别为2d和1d。2级空气质量日数为1867d,占总日数的45.46%;1级空气质量日数2224d,占54.15%。北海市2级、3级空气质量的首要污染物均为PM₁₀。

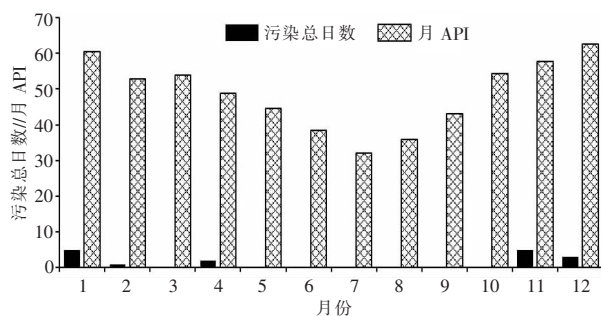


图2 北海市各月空气污染总日数(单位:d)和月平均API分布图

主要出现在10月至翌年4月,污染天数为5~9d,最大值9d出现在10月,6月有1d,其余月份的日空气质量为优良状态。2级、1级空气质量日数分别为1469d和2500d,占总日数36.57%和62.24%,3市中1级日数最多。

汛期降水较多的月份,3市空气质量普遍较好。从各等级空气质量分布来看,轻度污染日数南宁市最多,北海市最少;2级空气质量日数南宁市最多,桂林市最少;1级桂林市最多,南宁市最少。首要污

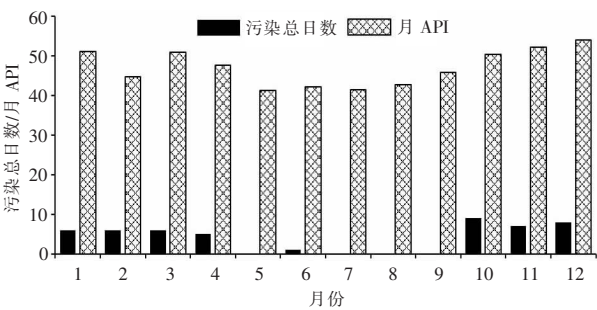


图3 桂林市各月空气污染总日数(单位:d)和月平均 API 分布图

染物 3 市均是 PM₁₀ 最多。

3 三市空气质量的气象要素阈值

利用相关系数公式(1)计算 3 市逐日降水量、气温、相对湿度、风速、日照时数等气象要素和 API 的相关系数,对通过显著性检验的要素利用百分位四分位法确定 2 级和 3 级空气质量过程的阈值,为了减少空报率,选择四分之一分位数和四分之三分位

数气象要素值作为各等级空气质量的临界值。

3.1 南宁市气象要素阈值

计算发现,南宁市气象要素与 API 相关性从高到低依次为最低气温、平均风速、最大风速、平均气温、降水量、相对湿度、最高气温,相关系数分别为-0.420、-0.382、-0.330、-0.314、-0.246、-0.237、-0.170,通过 0.001 的显著性检验。当最低气温范围在 8.6~15.1℃、最高气温 20.6~27.7℃、平均气温 13.9~19.9℃,平均风速 0.8~1.2m·s⁻¹、最大风速 2.4~3.5m·s⁻¹、平均相对湿度 70%~80%且无降水时,南宁市空气质量易为 3 级即轻度污染状态。空气质量 2 级时,南宁市最低气温 12.2~22℃、最高气温 21.2~31.5℃、平均气温为 15.5~25.9℃,平均风速 0.9~1.7m·s⁻¹、最大风速 2.8~4.2m·s⁻¹,日降水量 0~0.1mm 且平均相对湿度 72%~84%(表 1)。可见,相对于空气质量 2 级,3 级时南宁市气温更低、风速更小、相对湿度稍低且无降水,这样的气象要素组合不利于大气污染物的扩散稀释。

表 1 南宁市 2、3 级空气质量过程的高相关气象要素阈值

要素	最低气温 (℃)	最高气温 (℃)	平均气温 (℃)	平均风速 (m·s ⁻¹)	最大风速 (m·s ⁻¹)	降水量 (mm)	相对湿度 (%)
3 级	8.6~15.1	20.6~27.7	13.9~19.9	0.8~1.2	2.4~3.5	0	70~80
2 级	12.2~22	21.2~31.5	15.5~25.9	0.9~1.7	2.8~4.2	0~0.1	72~84

3.2 北海市气象要素阈值

北海市气象要素与 API 相关通过 0.001 显著性检验的分别有最低气温、平均气温、最高气温、相对湿度、降水量,相关系数分别为-0.421、-0.386、-0.304、-0.272、-0.215,日照时数相关系数-0.065,通过 0.05 显著性检验。北海市地处广西南部沿海地区,API 与气象要素的相关性与南宁市有一定的差异;北海市风力普遍较大,相关性降低,相关较高的

是气温和水汽。当最低气温为 12.4~18.0℃、最高气温 21.4~25.3℃、平均气温 15.6~21.0℃、日照时数 1.7~8.4h、平均相对湿度 64%~80%且无降水时,北海市空气质量可能达到 3 级(表 2);最低气温 13.7~22.4℃、最高气温 21.8~29.4℃、平均气温 16.9~25.2℃、日照时数 0.4~8.2h、平均相对湿度 71%~83%且无降水时,空气质量为 2 级的可能性大。空气质量为 3 级时,气温和相对湿度更低、日照时间更长。

表 2 北海市 2、3 级空气质量过程的高相关气象要素阈值

要素	最低气温(℃)	最高气温(℃)	平均气温(℃)	相对湿度(%)	降水量(mm)	日数时数(h)
3 级	12.4~18.0	21.4~25.3	15.6~21.0	64~80	0	1.7~8.4
2 级	13.7~22.4	21.8~29.4	16.9~25.2	71~83	0	0.4~8.2

3.3 桂林市气象要素阈值

桂林市 API 和气象要素的相关关系,与南宁市、北海市气温相关最高不同,桂林市相关最高的气

象要素是最大风速和平均风速,其次是和水汽有关的相对湿度和降水量,这些要素的相关系数通过了 0.001 显著性检验,最低气温相关系数通过 0.05 显

著性相关,其余要素相关性较小,相关系数分别为-0.305、-0.25、-0.178、-0.148、-0.064。当最大风速为 $1.8\sim 4.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、平均风速 $0.7\sim 1.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,最低气温 $10.7\sim 18.9^{\circ}\text{C}$,相对湿度60%~77%的无降水日,桂林市空气质量易达到3级;最大风速为 $2.8\sim 4.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、

平均风速 $1.0\sim 2.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,相对湿度60%~80%、降水量为 $0\sim 0.4\text{mm}$,最低气温 $10.2\sim 22.2^{\circ}\text{C}$ 时,桂林市空气质量倾向于2级(表3)。由此可见,桂林市空气质量为2级时,可能有微量降水,3级时,风速更小、相对湿度略低且无降水。

表3 桂林市2、3级空气质量过程的高相关气象要素阈值

要素	最大风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	平均风速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	相对湿度 (%)	降水量 (mm)	最低气温 ($^{\circ}\text{C}$)
3 级	1.8~4.0	0.7~1.8	60~77	0	10.7~18.9
2 级	2.8~4.8	1.0~2.4	60~80	0~0.4	10.2~22.2

从阈值分析可见,南宁、北海、桂林3市的2、3级空气质量过程的气象要素值有一定的重合区间,需要进一步分析造成空气质量等级差异的大气环流特征。

4 南宁市持续性污染天气过程大气环流特征

南宁市135d的大气污染中,有6次持续时间较长的污染过程,以下从气候角度对这6次污染过程的大气环流进行分析,共有4种类型。

(1)乌山阻高偏弱型

2006年12月25—31日和2013年11月11—19日,500hPa高度场上,乌拉尔山地区(以下简称乌山)高度场为负距平,乌山阻高偏弱,由气候态的高压脊区变成了低压槽区;我国大部地区高度场距平为正值,为高压脊控制;东亚槽偏弱偏东,位于 140°E 以东,西太副高脊线在 17°N 以南,印缅槽偏弱。环流使得南下冷空气路径偏东、影响广西的冷空气势力偏弱。850hPa风场距平上,菲律宾附近有异常气旋,广西受气旋西北侧的东北气流影响,水汽输送条件较差。

(2)稳定的冷高压脊控制型

2010年11月1—10日,500hPa高度场在乌山及我国西部地区为正距平,乌山阻高偏强,东亚槽位于 $130\sim 145^{\circ}\text{E}$ 之间,引导地面冷空气从西路南下影响广西,印缅槽偏弱;850hPa风场距平广西受东北气流控制;西伯利亚高压前期偏强,后期偏弱。10月27日受较强冷空气南下影响,南宁市开始急剧降温;11月1—10日,受稳定的变性冷高压脊影响,南宁上空大气湍流交换及扩散能力下降,空气污染指数上升,达到污染过程。

(3)纬向环流型

2003年1月12—20日、2013年1月24—30日,500hPa高度距平场中,欧亚中高纬北面为负距平、南面为正距平,我国大部地区为正距平,乌山至我国大片地区为宽广的高压脊区,是较平直的纬向环流型;东亚槽偏东,位于 140°E 以东,副高脊线在 16.5°E 以南。广西850hPa风场距平为东北气流;西伯利亚高压偏弱,影响广西的冷空气偏弱。弱的动力条件和水汽条件引起南宁市大气污染过程。

(4)台风外围下沉气流影响型

2004年10月3—26日,西北太平洋相继3个台风移动路径相似,前期向西北方向移动到达台湾东部附近海域,然后转向东北,在日本附近海域减弱。10月13—18日,500hPa高度场距平乌山为负值,高压脊偏弱;东亚槽位于 145°E 以东,位置偏东;西太副高前期偏强偏大、后期偏弱偏小,副高脊线从 21°N 逐渐北抬到 25°N ,前期偏南、后期偏北,印缅槽偏弱。南宁市受台风外围下沉气流影响,2004年10月无降雨,10月8—29日连续22d的 $\text{API}\geq 80$,其中13—18日达到轻度污染。

4种大气环流类型中,对流层低层广西均受东北气流影响,水汽输送条件差,不利于降水的发生,是造成大气污染过程的重要条件。

5 结论

(1)3个城市南宁市空气质量相对最差:3级日数南宁市最多,北海市最少;2级日数南宁市最多,桂林市最少;1级日数桂林市最多,南宁市最少。3市首要污染物均以 PM_{10} 为主,占66.37%~100%。空气质量月际分布中,秋冬春季较差,夏季较好。

(2)因地理环境和气候特点不同,影响各市空气质量的高相关气象要素有较大差异。利用百分位法,统计给出各市2、3级空气质量的气象要素阈值各有

差异。

(3)分析了南宁市 6 次持续时间较长的大气污染过程,大气环流共有 4 种类型,共同点为 850hPa 广西受东北气流影响,水汽输送条件差,无降雨产生。

参考文献:

- [1] 吴燊先,吴铠华,郑凤琴,等. 2011 年广西主要城市空气质量分析[J]. 气象研究与应用,2012,33(4):54-56.
- [2] 莫雨淳,廖国莲,潘润西. 广西一次大气重污染过程的气象条件分析[J]. 气象研究与应用,2017,38(2):14-17.
- [3] 林巧美,陈裕强,陈璟,等. 揭阳市空气污染特征及气象条件分析[J]. 气象研究与应用,2018,39(3):76-79.
- [4] 毛敏娟,杜荣光,胡德云. 气候变化对浙江省大气污染的影响[J]. 环境科学研究,2018,31(2):221-230.
- [5] 潘润西,陈蓓,莫雨淳,等. 广西 PM_{2.5} 时空分布特征及污染天气类型[J]. 环境科学研究,2018,31(3):465-474.
- [6] 唐利利,何莉,陈家宝,等. 南宁市一次严重空气污染期间颗粒污染物特征及气象条件分析[J]. 广西科学院学报,2012,28(4):302-305.
- [7] 董继元,王式功,尚可政. 降水对中国部分城市空气质量的影响分析[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(12):43-48.
- [8] 刘子豪,黄建武,孔德亚,等. 合肥市大气污染时空变化及与气象因子相关性分析研究[J]. 环境科学与管理,2019,44(2):43-48.
- [9] 孔锋,吕丽莉,方建,等. 中国空气污染指数时空分布特征及其变化趋势 (2001-2015) [J]. 灾害学,2017,32(2):117-123.
- [10] 袁媛,周宁芳,李崇银. 中国华北雾霾天气与超强 El Niño 事件的相关性研究[J]. 地球物理学报,2017,60(1):11-21.
- [11] 曹亚平,祁秀香,钱湘红,等. 2015 年南沙区 PM 质量浓度与气象要素相关性分析[J]. 广东气象,2018,40(2):36-38,43.
- [12] 黄远盼,黎馨,欧徽宁. 广西贺州市城区空气质量与气象条件的关系研究[J]. 气象研究与应用,2019,40(4):66-71.
- [13] 张人禾,李强,张若楠. 2013 年 1 月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析[J]. 中国科学:地球科学,2014,44(1):27-36.
- [14] 廖国莲,郑凤琴,莫雨淳. 南宁典型空气污染和清洁过程的近地层流场分析[J]. 气象研究与应用,2014,35(1):56-59,62.
- [15] 吴兑,邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报[M]. 北京:气象出版社,2001.

Analysis of meteorological element threshold and atmospheric circulation of air quality in main cities of Guangxi

Huang Cuiyin¹, Mo Yuchun², He Liyang¹, Chen Dan³

(1.Guangxi Climate Center, Nanning 530022, China; 2.Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022, China; 3.Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the daily monitoring values of SO₂, NO₂ and PM₁₀ in Nanning, Guilin and Beihai from 2002 to 2013, the air pollution indexes of the three air pollutants were calculated. This paper studied the air quality, major pollutants and their monthly variation characteristics in the three cities, and their correlation with meteorological elements. The percentile method was used to determine the thresholds of level 2 and 3 air quality processes, and the atmospheric circulation characteristics of six long-time pollution processes in Nanning were analyzed. The results show that Nanning has the worst air quality among the three cities. PM₁₀ is the main pollutant in the three cities, accounting for 66.37%~100%. The pollution mainly occurs in autumn, winter and spring. The main meteorological elements that affect the air quality of each city and the thresholds of meteorological elements corresponding to level 2 and 3 are different. The main atmospheric circulation characteristics of the polluted weather in Nanning are that Guangxi is affected by the Northeast air flow at 850hPa, the water vapor transmission conditions are poor, and there is no rainfall.

Key words: air quality; threshold value; atmospheric circulation