

成都及周边地区大气污染物时空变化特征分析

李玉棋^{1,2}, 张子涵¹, 王聪聪¹, 王靖雯¹, 张昕璇¹, 高 岚¹

¹成都信息工程大学, 四川 成都

²瑞丽市气象局, 云南 瑞丽

Email: liyuqicuit@163.com

收稿日期: 2020年11月5日; 录用日期: 2020年11月20日; 发布日期: 2020年11月27日

摘 要

本文利用2013~2015年成都市8个空气监测站点(金泉两河、十里店、三瓦窑、沙河铺、梁家巷、草堂寺、人民公园、灵岩寺)的PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃和CO逐小时观测资料, 分析各类污染物的时空分布特征, 并对颗粒物的来源, 时空变化原因进行了分析。研究表明: 1) 2013~2015年成都市各监测点PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂的年均浓度逐年显著降低。除灵岩寺外各监测点PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂和CO的月变化、季节变化趋势一致, 这表明成都市污染物来源具有相似性, 其中PM_{2.5}和PM₁₀超标严重。清洁对照点灵岩寺的PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂和CO质量浓度都要低于成都市区各监测点, O₃高于市区各监测点, SO₂与市区各监测点相差不大。2) PM_{2.5}和PM₁₀质量浓度存在显著的空间关联, 即相近监测点的PM_{2.5}和PM₁₀质量浓度在空间上具有相似的聚集特征。成都市及其周边地区PM_{2.5}和PM₁₀年均质量浓度在空间上表现为西北低、东南高, 市区西北部PM_{2.5}和PM₁₀污染最为严重。高浓度的PM_{2.5}和PM₁₀在秋季显著南压, 向市中心增大的趋势明显。3) 成都市大气颗粒物污染以细粒子为主。各监测点的PM_{2.5}/PM₁₀值季节变化规律相同, 即PM_{2.5}/PM₁₀值冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季。PM_{2.5}和PM₁₀在春季受工业燃烧等固定污染源影响较大, 在秋季受机动车尾气等移动污染源影响较大。

关键词

逐小时观测资料, 时空变化特征, 污染来源, 比值法, 偏相关分析

Analysis of the Characteristics of the Temporal and Spatial Changes of Air Pollutants in Chengdu and Surrounding Areas

Yuqi Li^{1,2}, Zihan Zhang¹, Congcong Wang¹, Jingwen Wang¹, Xinxuan Zhang¹, Lan Gao¹

¹Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

²Ruili Meteorological Bureau, Ruili Yunnan
Email: liyuqicuit@163.com

Received: Nov. 5th, 2020; accepted: Nov. 20th, 2020; published: Nov. 27th, 2020

Abstract

In this paper, the hour-by-hour observations of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ and CO from eight air monitoring stations in Chengdu city (Jinquan Lianghe, Shilidian, Sanwayao, Shahepu, Liangjiaxiang, Caotang Temple, People's Park, Lingyan Temple) from 2013-2015 are used to analyze the spatio-temporal distribution characteristics of various pollutants and to focus on the sources of particulate matter and the causes of spatio-temporal changes. The study shows that: 1) From 2013 to 2015, the annual average concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀ and SO₂ at each monitoring point in Chengdu city decreased significantly year by year. The monthly and seasonal changes of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ and CO in all monitoring points except Lingyan Temple are consistent, which shows that the sources of pollutants in Chengdu are similar. The mass concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ exceeded the standard seriously. The mass concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ and CO in clean control point, Lingyan Temple, are lower than those of the urban monitoring points in Chengdu, O₃ is higher than the monitoring points of the urban area, and SO₂ is not much different from that of the urban areas. 2) A significant spatial correlation exists between the mass concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀. The mass concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ at similar monitoring sites have spatially similar aggregation characteristics. The annual average concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ in Chengdu and its surrounding areas is spatially lower in the northwest and higher in the southeast, and the PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the northwest of the urban area are the most serious. The high concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ are significantly moved to the south in autumn, and the trend of increasing in urban area is obvious. 3) Air pollution in Chengdu is dominated by fine particles. The seasonal changes of PM_{2.5}/PM₁₀ values of all monitoring points are the same, which is winter > autumn > summer > spring. And PM_{2.5} and PM₁₀ are greatly affected by industrial combustion (fixed pollution sources) in the spring and vehicle exhaust (mobile pollution sources) in autumn.

Keywords

Hourly Observation Data, Temporal and Spatial Variation Characteristics, Sources of Pollution, Ratio Method, Partial Correlation Analysis

Copyright © 2020 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

大气污染和防治是近十多年来世界最为关注的气象问题，日趋严重的污染天气对人们的身体健康、生产生活、交通运输等都产生了不同程度的影响，引起了市民的广泛关注，政府的高度重视。其中主要污染物为 PM_{2.5} 和 PM₁₀，PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的空气动力学直径(粒径)分别小于 2.5 微米和 10 微米，PM_{2.5} 可称为细颗粒物、可入肺颗粒物。这些粒子在很大程度上决定着空气质量和大气能见度。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 可以在大气中漂浮很长时间，将吸附到的有毒和有害物质带到很远的地方。它们是不同的污染物的催化剂和载体，能直接进入人体的上呼吸道，易引起心血管疾病、哮喘、慢性鼻咽炎、支气管炎[1] [2]，PM 浓度升

高, 这些疾病的死亡率也随之增加[3], 在老人和儿童身上表现尤为突出。

近年来, 国内多数城市对 $PM_{2.5}$, PM_{10} 的时空变化已展开了一系列研究, 但前人的研究主要集中在单一污染物($PM_{2.5}$ 或 PM_{10} 等) [4] [5], 对时间尺度的划分也比较粗略, 且污染物在空间上的区域相关性分析较少[6] [7]。成都独特的地理位置使其扩散条件较差, 尤其是进入秋冬季, 该地区风速减小, 大气层结趋于稳定, 污染物容易聚集在近地层, 对市民的生产生活、交通运输, 乃至经济发展带来危害[8]。目前, 对成都市大气颗粒物污染的研究多局限于某特定时段对特定污染物($PM_{2.5}$, PM_{10})进行, 缺少对 SO_2 , NO_2 , O_3 和 CO 等污染物的多点位、长时间尺度的综合对比分析, 不能客观评价成都及周边地区污染物的相互作用与影响[9] [10] [11]。因此, 本文利用 2013~2015 年成都及周边地区 8 个空气监测站的空气污染物观测资料, 在不同时间尺度上分析多种污染物($PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3 和 CO)的时空变化特征, 并初步探讨了污染物的来源及变化原因, 各污染物的空间关联性, 为客观描述成都及周边地区的污染特征, 进而进行科学的大气污染防治、大气环境规划提供理论依据[12]。

2. 资料来源与方法

2.1. 资料来源

本文资料来源于 2013~2015 年成都市 8 个气象空气监测站点(金泉两河、十里店、三瓦窑、沙河铺、梁家巷、草堂寺、人民公园、灵岩寺)的 $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3 和 CO 逐小时观测数据。

2.2. 方法

首先利用逐小时数据, 分析计算得到各类污染物浓度月平均、季节平均和年平均[13] [14], 进而分析污染物的时空变化特征。其次利用比值法来判断成都主要颗粒物的来源、污染类型和污染程度[15], 最后利用相关分析法计算相关系数研究污染物间相关性。研究选取的相关因子有 $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 季节浓度($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 公式(1)为相关系数的计算公式。

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

式中, r 为污染物浓度相关系数; $i = 1, 2, 3, 4$ 分别表示春季、夏季、秋季、冬季, 故 $n = 4$; x_i, y_i 分别为污染物各季节平均浓度, \bar{x}, \bar{y} 为污染物年平均浓度。若 r 表示 $PM_{2.5}$ 和 SO_2 相关系数, 则 x_1, x_2, x_3, x_4 (y_1, y_2, y_3, y_4) 分别表示春、夏、秋、冬 $PM_{2.5}$ (SO_2)的季节平均浓度, \bar{x}, \bar{y} 分别表示 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 的年平均浓度; 且在计算过程中, PM_{10} , NO_2 的浓度作为控制变量, 以排除其他污染物对 $PM_{2.5}$ 与 SO_2 相关系数的影响。同理可得到, $PM_{2.5}$ 和 NO_2 、 PM_{10} 和 SO_2 、 PM_{10} 和 NO_2 的相关系数。当 $r > 0$ 时为正相关, 表明这两种污染物具有同源性; 当 $r < 0$ 时为负相关, 两种污染物浓度存在“此消彼长”的关系, 一种污染物可能是另一种污染物的前体物质。

3. 污染物浓度变化

3.1. 污染物浓度年变化

如图 1 所示, 2013~2015 年成都市 $PM_{2.5}$, PM_{10} 浓度逐年降低。其中沙河铺监测点的 $PM_{2.5}$ 年均浓度下降最多, 下降了 35.48%, 梁家巷监测点的 PM_{10} 年均浓度下降最多, 下降了 30.58%。2013~2015 年各监测点 $PM_{2.5}$ 的年均值为 $85.92 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $72.93 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $62.05 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, PM_{10} 年均质量浓度为 $139.07 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $114.99 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $103.97 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 均超过了 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 年平均浓度二级标准。由此可见, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度虽逐年降低, 但年均质量浓度依然超标严重, 需要引起重视。

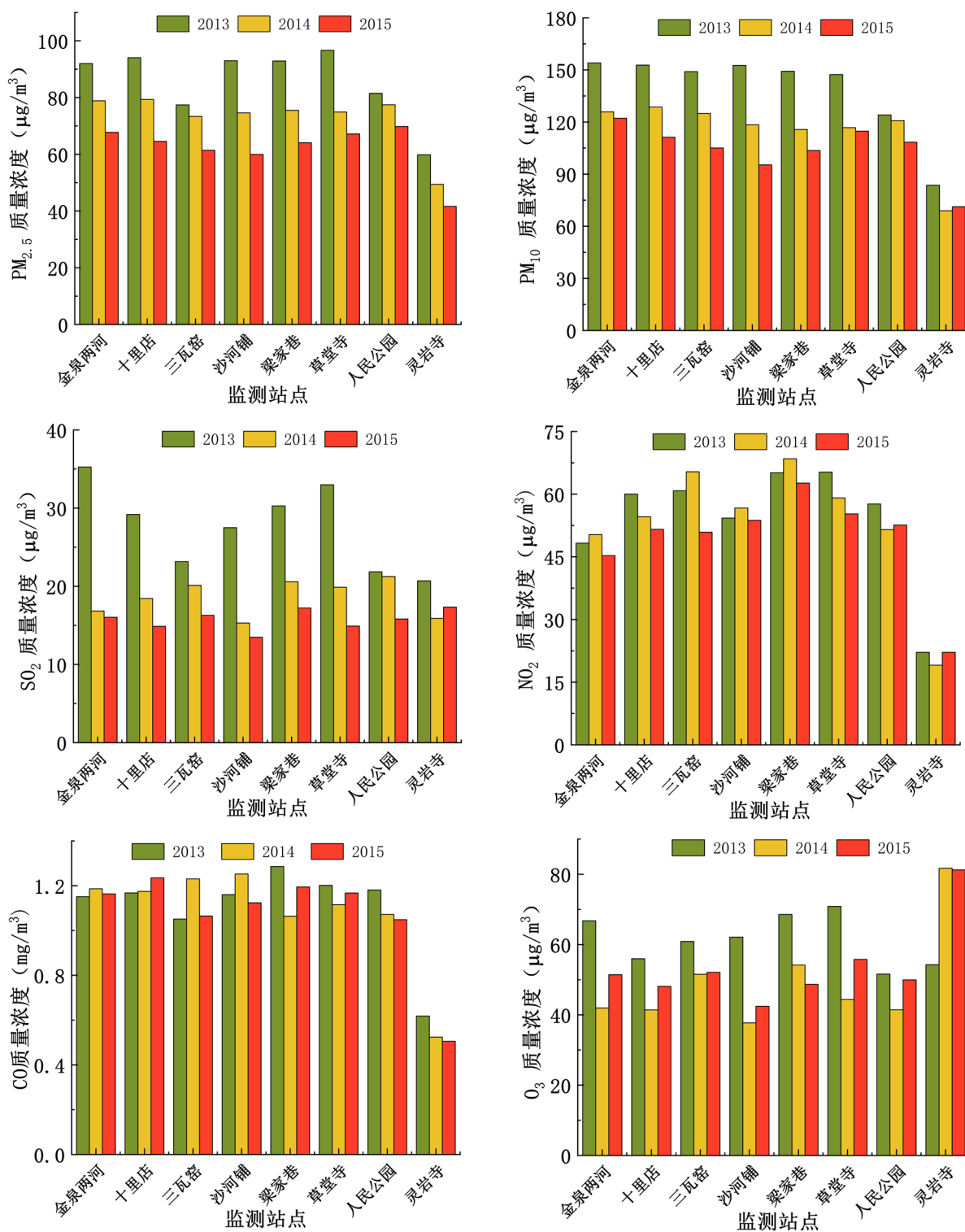


Figure 1. Annual changes in the concentration of six pollutants
 图 1. 六种污染物浓度的年变化

除灵岩寺外的各监测点 SO₂ 年均浓度逐年降低，其中金泉两河监测点的 SO₂ 下降最多，较上一年下降了 52.24%。根据有关研究报告，这可能和当时市区居民生活用煤改为用天然气和大批的燃煤企业

的衰败相关。2015年灵岩寺 SO_2 年平均质量浓度升至最高($17.34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。灵岩寺监测点虽然远离市区,工业排放的 SO_2 少,但它周围众多的寺院带来的香火燃烧、寺院燃煤产生了大量的 SO_2 , 升高了 SO_2 浓度。

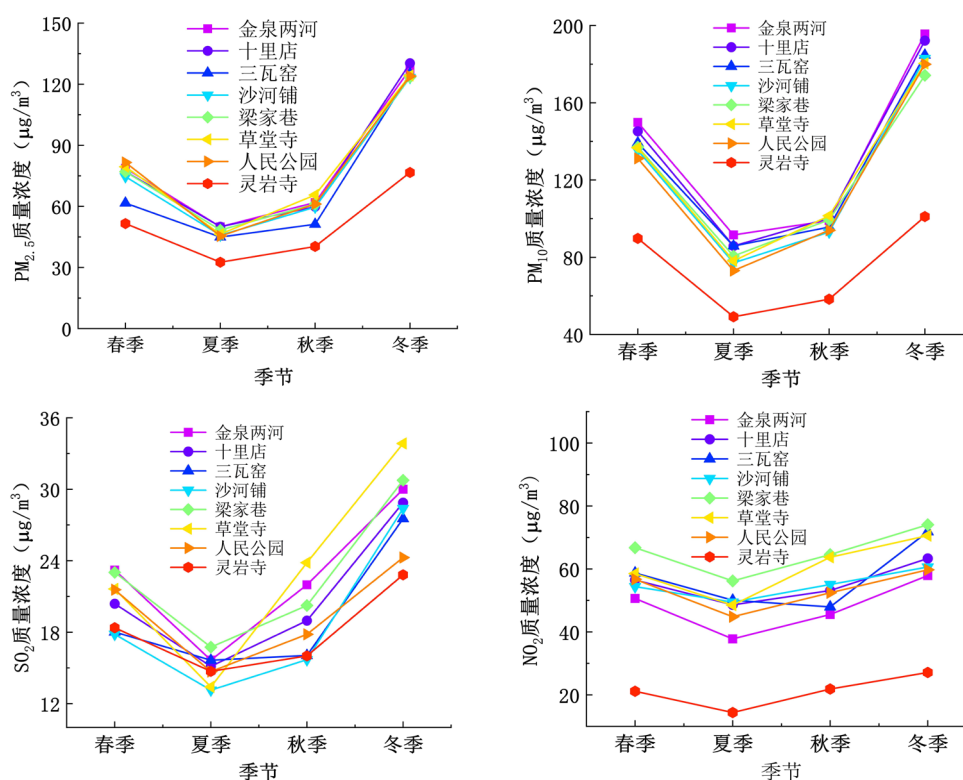
NO_2 的年均浓度变化略有不同,金泉两河、三瓦窑、沙河铺、梁家巷监测点的 NO_2 的年均浓度先升高后降低,人民公园、灵岩寺监测点 NO_2 的年均浓度先降低后升高,其余两个站点的 NO_2 的年均浓度逐年下降。2015年,除灵岩寺外的各监测点的 NO_2 年均浓度都超过了国家 NO_2 二级浓度限值。

2013~2015年各监测点 CO 的年均浓度变化不大,各监测点 CO 的年均浓度均低于国家二级浓度标准。

2013~2015年除灵岩寺外的各监测点的 O_3 年均浓度都稍有下降,市区各监测点 O_3 的年均浓度值相差不大。植物释放的 VOCs 在大气中经过光化学过程生成的二次污染物 O_3 和成都市区较多的汽车排放的 NO_x 对 O_3 的消耗都是灵岩寺 O_3 浓度高于其他站点的重要原因[15]。

3.2. 污染物浓度季节变化

为了研究成都地区年污染物浓度变化的季节变化,将2013~2015年的逐小时污染物数据分为春季(3~5月)、夏季(6~8月)、秋季(9~11月)、冬季(12~翌年2月)四个季节,分别得到六类污染物质量浓度的季节变化(图2)。由图2可知,各监测点的 $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 和 CO 季节变化规律相同,即污染物质量浓度都在冬季最高,最高质量浓度分别为 $130.30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $195.62 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $33.84 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $74.07 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $1.60 \text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 春秋次之,夏季最低[16]。这是因为夏季气候高温高湿,夏季降水增多,清除了一部分大颗粒污染物[17],而冬季低温干燥、居民生活用煤和工业燃煤的使用增多,导致污染物堆积。 O_3 的季均浓度在各监测点都呈现出春夏高,秋冬低的特点,这是因为春夏季温度高湿度大,充足的日照促进了光化学反应的发生。



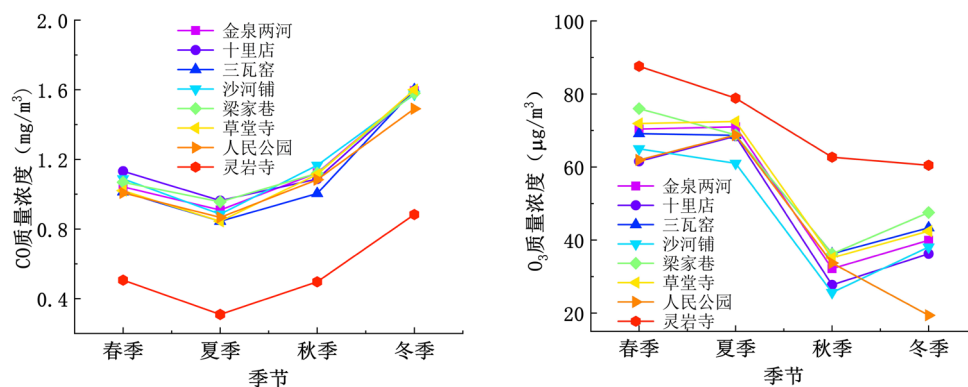


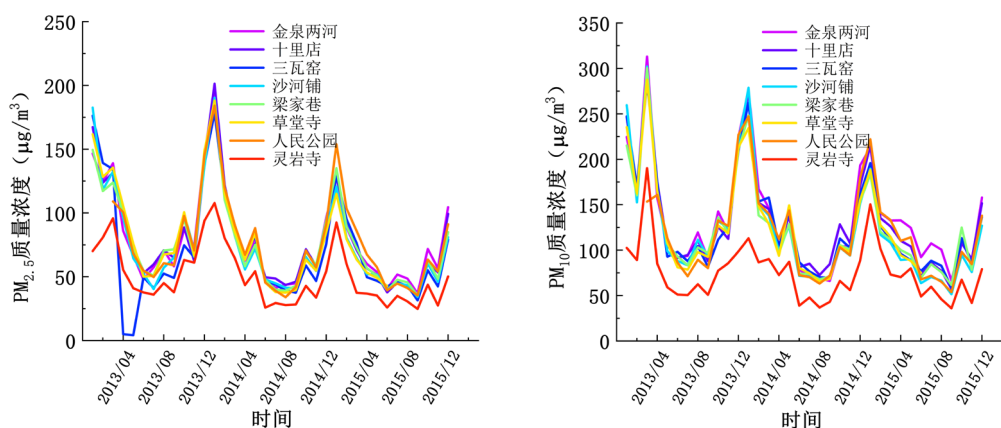
Figure 2. Seasonal changes in the concentration of six pollutants
图 2. 六种污染物浓度的季节变化

除灵岩寺外成都市区监测点的 $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , SO_2 , NO_2 和 CO 浓度季均变化趋势一致。灵岩寺的 $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 和 CO 污染物质量浓度都要低于市区监测点, O_3 浓度的季均变化高于市区监测点, SO_2 浓度的季均变化与市区监测点相差不大。

3.3. 污染物浓度月变化

由图 3 可知, 各监测点的 $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 和 CO 月均浓度在 1~4 月逐月递减, 在 5~9 月趋势平稳, 10~12 月逐月递增, 都呈现出“U”型的单峰曲线。 $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 和 CO 最低月均浓度在 6~8 月份, 最高月均浓度在 12~次年 1 月。造成这样“U”型变化趋势与成都市的各月降水量不均匀有关。6~8 月是四川盆地一年中的强降水时段, 雨水对大气中的大颗粒污染物具有显著的湿沉降作用[4]; 此外, 该时段大气湍流运动强, 垂直方向上的夏季对流稀释了污染物浓度, 因此 6~8 月污染物浓度最低。10 月后, 城市进入秋冬季, 大气上界形成的逆温层阻碍了污染物的扩散, 故 12~次年 1 月污染物浓度达到最高。从整体上看, 成都市区各监测点的 O_3 的月均浓度变化趋势都是“双峰”结构, 峰值分别在 5 月和 7 月, 最低值出现在 12 月~次年 1 月。5 月份成都地区日照时数和强度增多, 促进了植物大气中经过光化学过程生成的二次污染物 O_3 。到了 6 月, 成都地区进入一年中的强降水时段, 增多的降水减弱了光化学反应, O_3 浓度稍有下降。7 月份进入盛夏, 因此出现了第二个 O_3 峰值。

此外灵岩寺外各监测点 $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , O_3 和 CO 月均变化曲线差别不大。灵岩寺监测点的 SO_2 与市区监测点月均曲线变化趋于一致, $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 和 CO 月均浓度都要低于市区监测点, O_3 月均浓度要高于市区监测点。



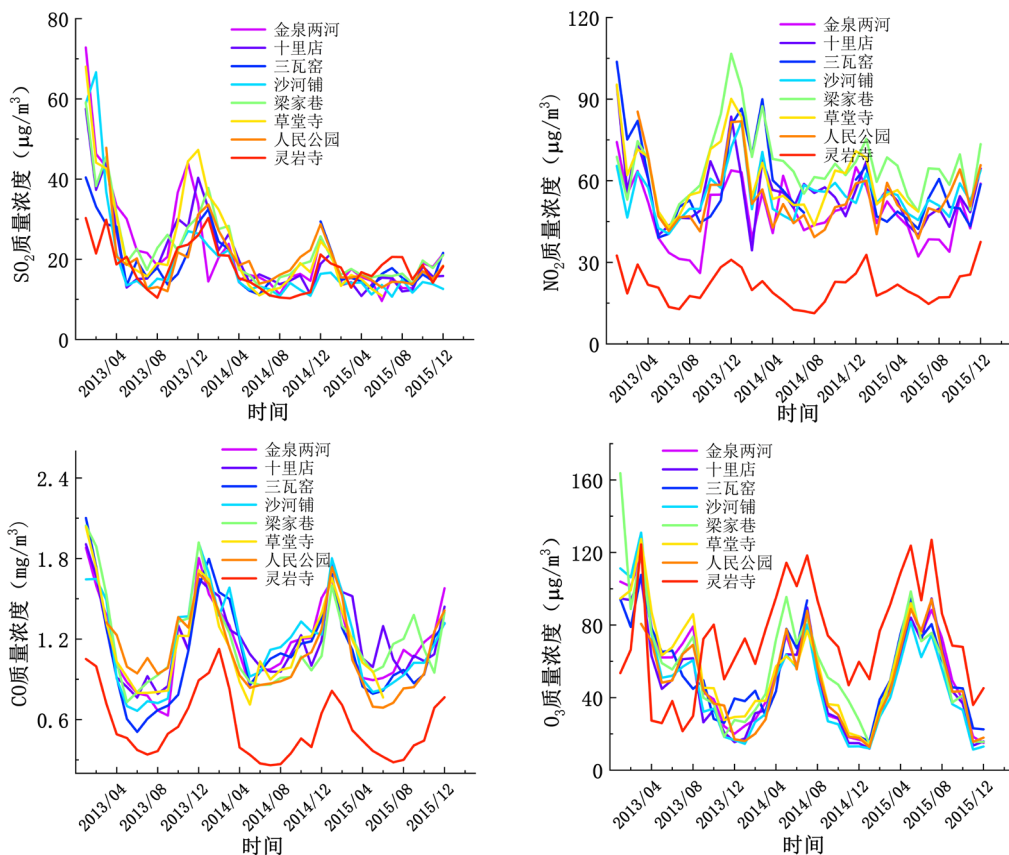


Figure 3. Monthly changes in the concentration of six pollutants
图 3. 六种污染物浓度的月变化

4. 污染物浓度空间变化特征

4.1. 成都市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度的空间变化

根据前文对六种污染物质量浓度在时间变化的分析, 成都地区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 超标最严重(PM_{2.5} 年均浓度超标 145.49%, 108.37%, 77.29%, PM₁₀ 年均浓度超标 98.67%, 64.27%, 48.53%), 因此选择 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 作为成都市区首要污染物分析污染物的空间分布特征(图 4、图 5)。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年均浓度在成都及周边地区表现为西北低、东南高。这种污染物分布时空差异与不同监测站点的人口密度、交通流量、工业园区的分布与数量有关。此外, 这也可能与成都市西北高、东南低的特殊地势有关, 海拔高度能在一定程度上影响污染物的传输和扩散[5], 海拔越高, 空气越稀薄, 引起空气对流, 促进了污染物的稀释和扩散。

4.2. 成都市区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年均浓度的空间变化

由于监测站点较少, 选取监测点集中分布的成都市区作为重点分析对象。图 6 为 2013~2015 年的 PM_{2.5}, PM₁₀ 质量浓度的空间分布图。2013~2014 年成都市区 PM_{2.5} 年均浓度在空间分布上表现为北高南低, 且 2014 年成都市区北部 PM_{2.5} 年均浓度较前一年有所降低, 但整体上市区北部的 PM_{2.5} 年均浓度还是比市区南部高。2015 年 PM_{2.5} 年均浓度表现为西北高、东南低的特征, PM₁₀ 年均浓度在空间上表现为市区东部、西部高, 中部低。造成这种 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染的空间差异与各监测点地理位置差异、污染源的排放类型和强度有关。位于下风向的金泉两河、十里店和梁家巷监测点处污染较重, 三瓦窑、沙河铺虽处于城市

主导风向的下风向,但其离市区特定工业区、商业交通混合区较远交通流量相对较低,因而受到的污染也较轻。

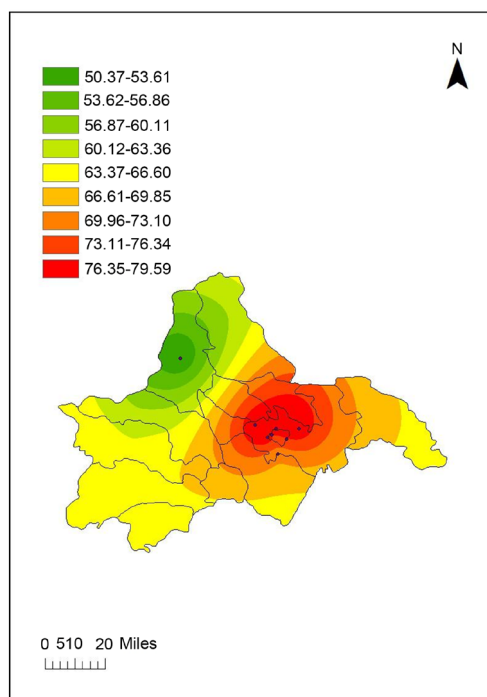


Figure 4. Spatial distribution of PM_{2.5} concentration
图 4. PM_{2.5} 浓度空间分布

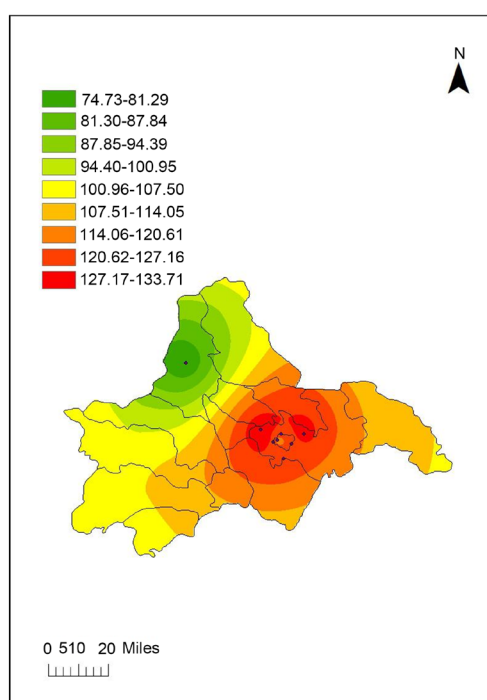


Figure 5. Spatial distribution of PM₁₀ concentration
图 5. PM₁₀ 浓度空间分布

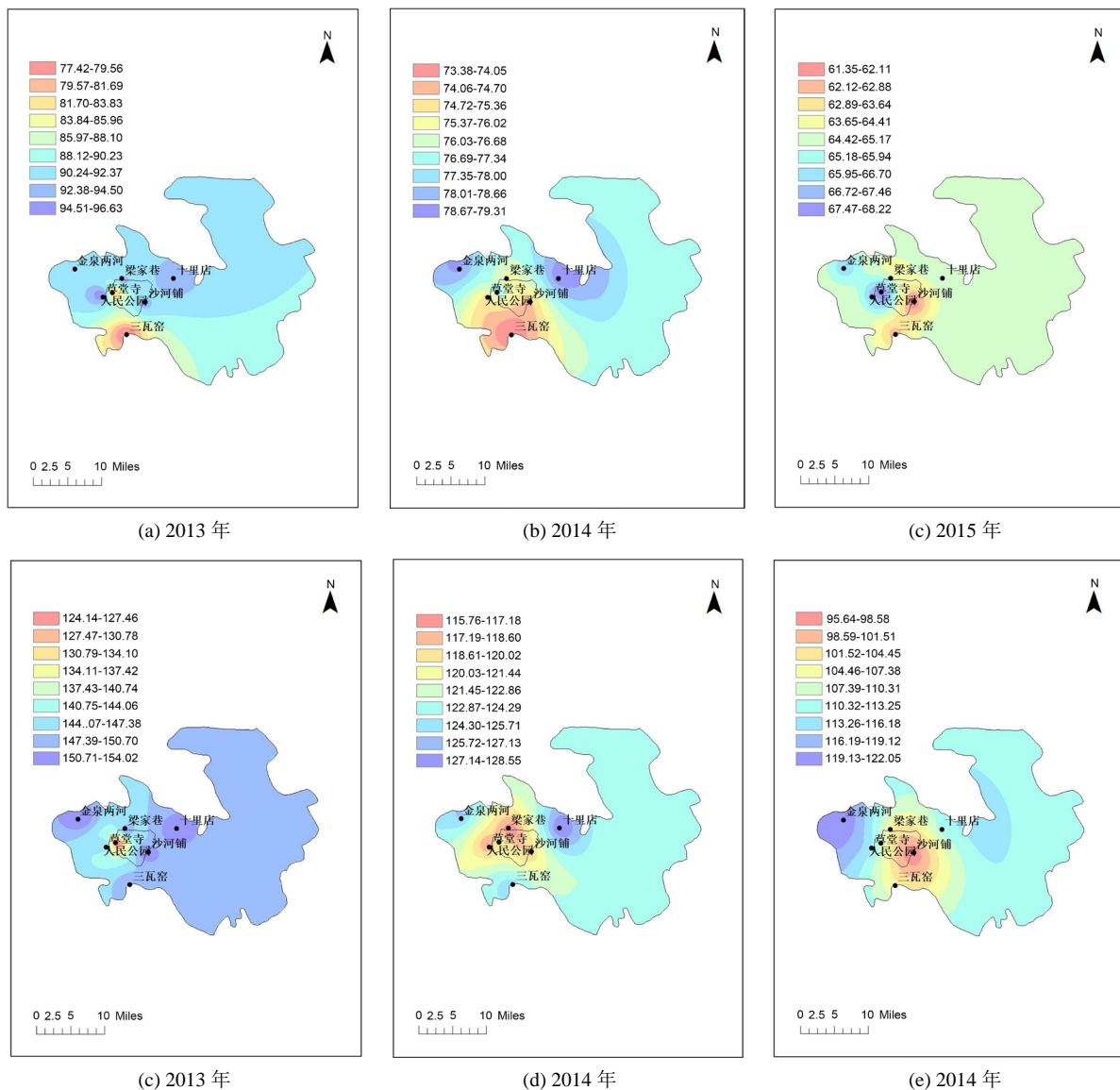


Figure 6. Spatial changes of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in Chengdu urban area from 2013 to 2015 (Figures (a)-(c) are $PM_{2.5}$, and Figures (d)-(f) are PM_{10})

图 6. 2013~2015 年成都市区 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的空间变化(图(a)~(c)为 $PM_{2.5}$, 图(d)~(f)为 PM_{10})

4.3. 成都市区 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 季均浓度的空间变化

由图 7 可知, 各季节 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的空间分布也在变化。成都市区在春季、夏季和秋季较高的 $PM_{2.5}$ 浓度主要分布在金泉两河、梁家巷和十里店监测点, $PM_{2.5}$ 存在明显的高浓度分布带, 即市区北部 $PM_{2.5}$ 浓度高于南部。冬季市区中部 $PM_{2.5}$ 浓度低, 市区西北部(金泉两河)和东北部(十里店) $PM_{2.5}$ 浓度高。春季、夏季和冬季 PM_{10} 浓度在空间分布上表现为市区中心 PM_{10} 浓度低, 周围 PM_{10} 浓度高, 即市区西北部(金泉两河)和东北部(十里店)和南部(三瓦窑) PM_{10} 浓度高。秋季成都市区 PM_{10} 质量浓度在空间上表现为北高南低。

秋季较高浓度的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 向南压, 向市中心增大的趋势明显; 冬季较高浓度的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 主要分布在市区东部和西部, 向市中心增大的趋势不明显。这可能与成都市冬季稳定的大气层结有关, 在冬季大气流动性较差, 层结稳定的大气阻碍了 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的传输和扩散, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 颗粒物在部分区域

聚集,造成了少部分监测点冬季 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度高。由此可推测,粗颗粒物与细颗粒物相比,粗颗粒物不容易扩散和传输, PM_{10} 更容易在部分地区聚集。此外, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 浓度空间分布上的差异可能与工业区分布、交通排放的机动车尾气、季节性气候有关。

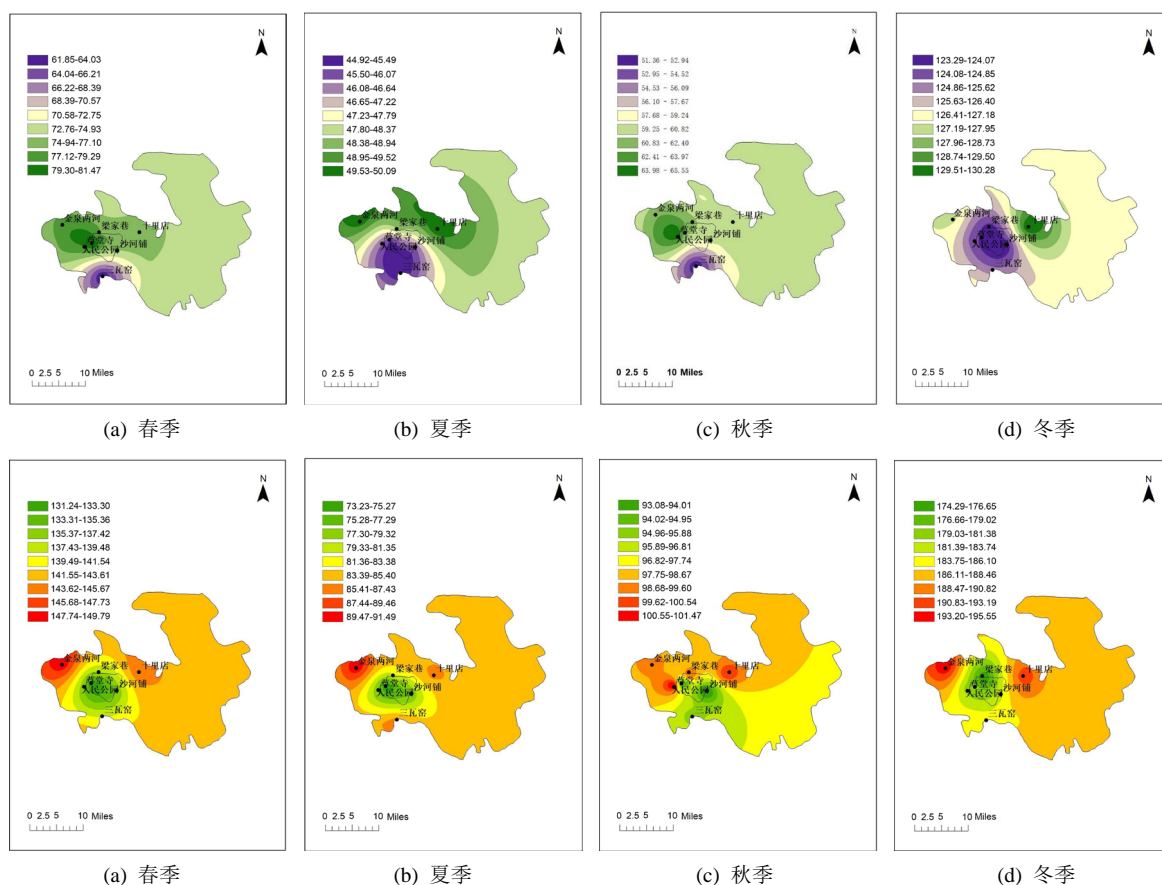


Figure 7. Spatial variation of $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentration in each season in Chengdu urban area (Figure (a)-(d) is $PM_{2.5}$, and Figure (e)-(h) is PM_{10})

图 7. 成都市区各季 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度的空间变化(图(a)~(d)为 $PM_{2.5}$, 图(e)~(h)为 PM_{10})

5. $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 来源分析

5.1. 比值法

由 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 空气动力学直径可知, PM_{10} 包含 $PM_{2.5}$,因此同一地点同一时间监测到的浓度值 $PM_{2.5}$ 浓度应当小于 PM_{10} 浓度,即 $PM_{2.5}/PM_{10} < 1$ 。细颗粒物污染越重, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 越大。因此 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 可以在一定程度上反映颗粒物的来源、污染的类型和污染程度。由图 8 可知,2013~2015 年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 高值主要集中在 1~2 月、9~11 月。这可能与秋冬季污染物的排放和扩散条件有关。 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 最大值为 0.78,最小值为 0.47。2013~2015 年仅有一个月 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值小于 0.5 (2013 年 3 月),因此 2013~2015 年成都市大气污染以细粒子为主。WHO (世界卫生组织)规定一般情况下发展中国家 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 超过 0.5 就认为该地区大气严重污染[18],因此成都地区细颗粒污染物的治理需要引起重视。

由表 1 可知,各监测站点 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 季节变化趋势相同。以金泉两河监测点为例, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 在四季的比值为 0.53, 0.55, 0.63, 0.65。由此可见, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值在春季最低,冬季最高。结合各季节 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的算术平均, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 分别为 0.55, 0.59, 0.63, 0.69,即冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季,这可能与成

都季节性气候差异有关。春季湿度较小,增多的地面扬尘升高了 PM_{10} 粗颗粒物质量浓度;夏季温度高湿度大,促进了生成二次粒子的光化学烟雾的发生, $PM_{2.5}$ 升高;此外,夏季的多降水天气也有助于稀释粗颗粒物 PM_{10} 的浓度,夏季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值稍大于春季。秋季,大气环流开始向冬季型调整,形成的静稳天气有利于粗颗粒物沉降,升高了 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 。冬季,气温较低,建筑施工活动大量减少,减少了工业中的粗颗粒物污染, PM_{10} 浓度降低,因此 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 升高。

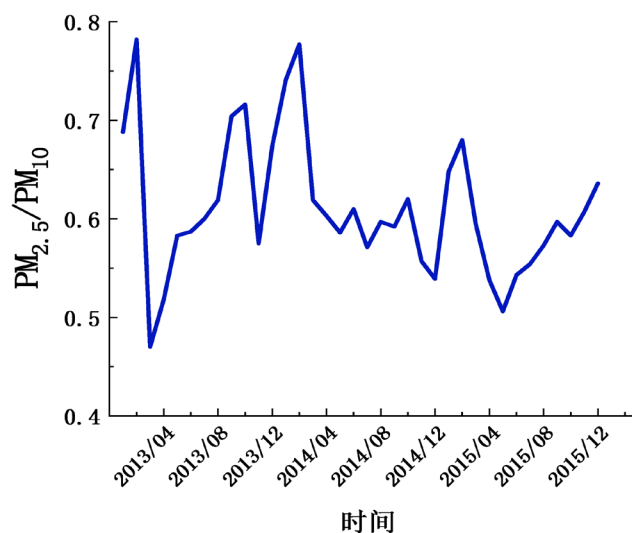


Figure 8. Monthly average change of $PM_{2.5}/PM_{10}$
图 8. $PM_{2.5}/PM_{10}$ 月均变化

Table 1. Seasonal changes of $PM_{2.5}/PM_{10}$
表 1. $PM_{2.5}/PM_{10}$ 季节变化

	金泉两河	十里店	三瓦窑	沙河铺	梁家巷	草堂寺	人民公园	灵岩寺
春季	0.53	0.53	0.44	0.55	0.56	0.58	0.62	0.57
夏季	0.55	0.58	0.52	0.59	0.60	0.59	0.62	0.66
秋季	0.63	0.60	0.54	0.64	0.62	0.65	0.65	0.69
冬季	0.65	0.68	0.68	0.67	0.71	0.69	0.69	0.76

5.2. 偏相关分析

如表 2 所示,成都市 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 在春季与 SO_2 显著相关,相关系数最大,为 0.537 和 0.546。 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 在秋季与 NO_2 显著相关,相关系数最大,为 0.548, 0.548 和 0.648。成都市各季节的 $PM_{2.5}$ 都与 SO_2 呈正相关;除春季外,各季节的 PM_{10} 与 SO_2 、 NO_2 呈正相关。由此可见,春季的 PM_{10} 主要源自固定污染源的直接排放,夏季、秋季和冬季 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 主要源自机动车尾气的排放。 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 年均相关系数与 SO_2 、 NO_2 呈正相关,表明成都市的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 主要源自固定污染源和移动污染源的双重排放。普遍的正相关系数表明成都市的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 主要为一次颗粒物[19] [20]。此外, $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 与 SO_2 、 NO_2 的相关系数相差不大,表明成都市移动污染源和固定污染源对 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的贡献相差不大。

Table 2. Partial correlation analysis of PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂ and NO₂ in Chengdu
表 2. 成都市 PM_{2.5}、PM₁₀ 和 SO₂、NO₂ 的偏相关分析

	SO ₂ 相关系数	SO ₂ 显著水平	NO ₂ 相关系数	NO ₂ 显著水平
PM _{2.5} 春季	0.537**	0.000	0.447**	0.000
PM _{2.5} 夏季	0.453**	0.000	0.395**	0.000
PM _{2.5} 秋季	0.517**	0.000	0.548**	0.000
PM _{2.5} 冬季	0.222**	0.000	0.447**	0.000
PM ₁₀ 春季	0.546**	0.000	—	—
PM ₁₀ 夏季	0.516**	0.000	0.468**	0.000
PM ₁₀ 秋季	0.552**	0.000	0.648**	0.000
PM ₁₀ 冬季	0.142*	0.024	0.583**	0.000

**表明在在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表明在 0.05 水平(双侧)上显著相关; —为显著性水平>0.05, 相关系数无统计学意义。

成都市四季受到的工业污染都比较严重, 燃煤厂通过燃煤来发电、冶金, 在工业燃煤的过程中会排放大量的 NO_x 和 SO₂ 等前体物, 另一方面会直接排放次颗粒物 PM_{2.5} 和 PM₁₀, 升高了 PM_{2.5}、PM₁₀ 和 SO₂ 浓度。此外, 在市区汽车尾气排放更多, 废气中的前体物 NO_x 经二次转化形成颗粒物, 升高了 PM_{2.5} 的质量浓度。此外, 偏相关分析的季节差异可能与季节性气候、季节燃煤量和季节废气排放量有关。

6. 结论

本文利用 2013~2015 年成都市 8 个空气监测站点(金泉两河、十里店、三瓦窑、沙河铺、梁家巷、草堂寺、人民公园、灵岩寺)的 PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ 和 CO 逐小时观测资料, 进行统计分析后得到如下结论。

1) 2013~2015 年 PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂ 浓度逐年降低, NO₂ 年均浓度变化不大, O₃ 浓度先减小后增加。PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO₂ 和 CO 在冬季浓度最高, 夏季最低; 月变化均呈“U”型变化趋势, 最高值大多出现在 12 月~次年 1 月, 最低值在 6~8 月。O₃ 浓度在春夏高、秋冬低; 月变化趋势在各监测点都呈现出“双峰”结构, 峰值分别在 5 月和 7 月, 最低值在 1 月和 12 月。

2) 灵岩寺作为成都市的清洁对照点, 它的 PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂ 和 CO 浓度都要低于市区监测点, O₃ 浓度高于市区监测点, SO₂ 浓度与市区监测点相差不大。

3) 成都及其周边地区的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 年均浓度在空间上表现为西北低、东南高。成都市区 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 质量浓度存在着显著的空间关联, 即相近地监测点 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 质量浓度在空间上集聚特征相似。秋季较高的 PM_{2.5}、PM₁₀ 浓度向南压, 市中心增大的趋势明显。

4) 各监测点的 PM_{2.5}/PM₁₀ 值季节变化规律相同, 即冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季; PM_{2.5}/PM₁₀ 值较大, 成都市大气颗粒物污染以细粒子为主。PM_{2.5}、PM₁₀ 在春季与 SO₂ 的相关性比较强, 在秋季与 NO₂ 的相关性较强, 其他三个季节也存在着不同程度的相关性。

5) 观测期间成都市区有复合型污染特征, 大气中六类污染物相互叠加污染, 污染物来源具有相似性。成都市 PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃ 等大气污染物浓度处于较高水平, 尤其要重视 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的防治。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019047, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

参考文献

- [1] 陈鹏, 陈宇, 张城, 刘卫清. 论述 $PM_{2.5}$ 与心血管疾病的关联[J]. 吉林医学, 2014, 35(7): 1493-1495.
- [2] 时彦玲, 邓林红. 细颗粒物($PM_{2.5}$)对气道的病理作用及其与哮喘病理机制的关系[J]. 医用生物力学, 2013, 28(2): 127-134.
- [3] 徐文体, 李琳. PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 与人类健康效应关系的研究进展[J]. 职业与健康, 2014, 30(11): 1556-1559.
- [4] 江瑶, 汪婷, 沈利洪, 严明良, 周晨虹, 黄建平, 包云轩. 2012年苏州地区 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的时空变化特征分析[J]. 热带气象学报, 2015, 31(1): 128-136.
- [5] 张丽华, 武捷春, 包玉海, 李继军, 于长水. 西安市 $PM_{2.5}$ 的时空分布特征研究[J]. 环境工程, 2016, 34(2): 87-90+107.
- [6] 王涛, 何浩奇, 夏忠欢, 吴敏敏, 张倩倩. 2015年南京市 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 的污染特征[J]. 环境工程学报, 2017, 11(11): 5978-5985.
- [7] 陈嘉晔, 李仕平, 游泳, 李红霞, 林丽衡, 刘波. 深圳市 $PM_{2.5}$ 浓度变化及污染输送特征分析[J]. 绿色科技, 2017(2): 34-38.
- [8] 李鑫. 当前我国大气 $PM_{2.5}$ 污染特征浅析[J]. 山东化工, 2016, 45(3): 136-137.
- [9] 肖雪, 曹云刚, 张敏. 成都市 $PM_{2.5}$ 浓度时空变化特征及影响因子分析[J]. 地理信息世界, 2018, 25(1): 65-70.
- [10] 谢雨竹, 潘月鹏, 倪长健, 陈志辉, 韦霞. 成都市区夏季大气污染物浓度时空变化特征分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(4): 975-983.
- [11] 冯良敏, 陈朝平, 龙柯吉, 冯汉中. 成都地区 2012年 PM_{10} 污染过程气象条件分析[J]. 高原山地气象研究, 2014, 34(2): 57-62.
- [12] 赵晨曦, 王云琦, 王玉杰, 张会兰, 赵冰清. 北京地区冬春 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 污染水平时空分布及其与气象条件的关系[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 418-427.
- [13] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [14] 龙永红. 概率论与数理统计[M]. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [15] 刘洁, 张小玲, 徐晓峰, 徐宏辉. 北京地区 SO_2 、 NO_x 、 O_3 和 $PM_{2.5}$ 变化特征的城郊对比分析[J]. 环境科学, 2008(4): 1059-1065.
- [16] 赵克蕾, 何清, 钟玉婷, 黄秋霞. 2012年库尔勒市 PM_{10} 质量浓度的变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(1): 11-16.
- [17] 王涛, 陈梦平, 周梦翩, 李晶, 吴松峻, 罗敏, 夏忠欢. 无锡市区大气污染物污染特征及影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(12): 74-78+95.
- [18] 赵立建. 从国内到国外 细颗粒物的两种“境遇”[J]. 环境保护, 2011(16): 22-24.
- [19] 梁高亮, 关远鹏. 南海区空气中的 O_3 和 NO_2 浓度变化特征分析[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(S1): 110-112.
- [20] 苏彬彬, 刘心东, 陶俊. 华东区域高山背景点 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 背景值及污染特征[J]. 环境科学, 2013, 34(2): 455-461.