

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.01.013

泸州城区大气细颗粒物时空分布特征及变化规律

何仁江^{1,2}, 韩知峡¹, 柏 珺¹,
薛京舟², 肖开煌², 张青碧^{1,2}

1. 西南医科大学 公共卫生学院, 四川 泸州 646000; 2. 泸州市环境监测中心站, 四川 泸州 646000

摘要: 利用 2016 年泸州 4 个环境监测站点(九狮山、市环监站、兰田宪桥、小市上码头)的 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的质量浓度数据和气象数据, 研究了泸州 2016 年大气细颗粒物的空间变化特征及分布规律。结果发现, 泸州市城区 2016 年 $PM_{2.5}$ 年平均质量浓度为 $64.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 冬季最高, 春秋季其次, 夏季最低。重污染天气集中在冬季, 且污染程度高、持续时间长。与对照点相比, 城区 $PM_{2.5}$ 质量浓度高 $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 小市上码头的差异最大, 市环监站的差异最小。夏季 $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化最为平稳, 中午与夜间有所升高, 冬季 $PM_{2.5}$ 质量浓度呈现夜间高于日间的污染模式。 $PM_{2.5}$ 质量浓度总体呈现出工作日低, 周末高的“周末效应”。 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 相关性有统计学意义, 全年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值范围为 $0.73\sim 0.83$, 夏季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值最高, 与当地地形、气候密切相关。

关键词: $PM_{2.5}$; 时间变化; 空间分布; 泸州

中图分类号: X513

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2020)01-0088-07

大气细颗粒物(又称 $PM_{2.5}$)已成为我国城市环境空气质量的重要污染物^[1], 作为雾霾天气的首要污染物, $PM_{2.5}$ 对人体健康、能见度、气候变化、水循环等方面产生潜在危害。长期暴露其中可导致肺、呼吸系统和心脑血管疾病, 甚至死亡^[2-5]。自我国《环境空气质量标准》(GB3095-2012)实施及《大气污染防治计划》颁布以来, $PM_{2.5}$ 对大气环境、人体健康的危害逐渐成为公众关注和研究的热点^[6-8]。研究者不仅对污染特征及其影响因素进行研究, 且更加关注其对人群健康影响的评价机制。研究主要集中在污染严重的京津冀、沿海城市及南方部分区域^[9-16], 对南方地级城市研究还很稀少, 为减缓空气污染对该地区人体健康和社会经济发展的负面影响, 迫切需对该类地区展开有关大气细颗粒物的污染特征及其影响因素的研究。本研究通过对泸州城区细颗粒物时空变化特征进行分析, 以了解泸州城区大气污染特征, 为环保及其他部门防治大气污染提供数据依据, 也为本地区大气颗粒物源解析及其对人群健康影响评价提供数据来源。

1 研究方法

1.1 研究区域

泸州位于四川省东南部, 地处四川盆地南缘与云贵高原的过渡地带, 地势北低南高, 属亚热带湿润气

收稿日期: 2018-07-09

基金项目: 环境保护部公益性行业专项项目(201109058); 四川省教育厅科研项目(17ZB0484); 泸州市政府—西南医科大学联合项目(2017LZXNYD-J24); 西南医科大学青年基金项目(2016-YDQN-045)。

作者简介: 何仁江(1982-), 男, 讲师, 主要从事大气环境卫生研究。

通信作者: 张青碧, 教授, 硕士研究生导师。

候区, 年平均气温 $17.5 \sim 18.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 四季分明, 年均风速 1.5 m/s , 静风频率为 21% , 年主导风向为西北风, 逆温频率高, 且持续时间长。截止 2016 年底中心城区建成区面积达 135 km^2 、人口达 136.2 万人, 机动车保有量 61 万余辆。市区共有 1 个空气质量监测背景点(对照点)和 3 个国控空气质量监测站点, 分别为九狮山(站点 1[#], 对照点)和市环监站(站点 2[#]), 兰田宪桥(站点 3[#]), 小市上码头(站点 4[#]), 如图 1 所示。



图 1 研究区域监测站点分布示意图

1.2 数据来源

收集泸州市 4 个监测站点 2016 年 1 月 1 日—2016 年 12 月 31 日 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 污染物逐时质量浓度数据和气象数据(来源于泸州市环保在线监控数据共享平台)为本次研究的数据源。

1.3 数据分析方法

根据中国最新空气质量指标中质量浓度划分等级, 将 2016 年全年的数据分为 7 个等级: 优($0 \sim 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、良($35.1 \sim 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、轻微污染($75.1 \sim 115 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、中度污染($115.1 \sim 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、重度污染($150.1 \sim 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、严重污染($250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上)、爆表(超过 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$)^[17]。3 个国控监测站点的日质量浓度平均值为泸州城区总体平均质量浓度, 将这些质量浓度按日期分成不同的等级, 统计全年不同污染等级天数所占比例。

利用 $\text{PM}_{2.5}$ 日变化数据对比不同季节的污染状况, 并通过 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 质量浓度比值的变化特征进行相关分析。四季划分为: 春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 月—次年 2 月)。根据不同时间对应的污染物质量浓度, 观察其变化趋势。将每日数据以小时为单位, 研究泸州地区大气细颗粒物一天中随时间的变化特征。

把不同站点的 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度年平均值大小表现在站点的地理位置图上, 根据色标可看出区域变化趋势。利用空间差异率(COD)值进一步评估 2 个不同监测站点的质量浓度差异程度。COD 值越趋近于 0, 则表明 2 个站点差异越小, 越趋近于 1, 则表明差异越大^[18-19]。COD 的计算公式为:

$$\text{COD}_{fm} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{if} - x_{ih}}{x_{if} + x_{ih}} \right)^2}$$

式中: X_{if}, X_{ih} 为同一污染物不同站点(f 和 h)的质量浓度值; n 为进行比较的总数据数目。

1.4 数据处理方法

利用 Excel 2010 进行数据统计分析和时空变化图形的绘制; 利用 SPSS 20.0 进行相关性分析, 在 $p < 0.05$ 水平上有统计学意义; 利用 ArcGIS 10.2 进行空间分布图形绘制。

2 结果与讨论

2.1 整体污染情况

泸州市城区 2016 年 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均质量浓度为 $64.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 同比 2015 年增加了 5.9% , 超过 WHO 规定的年平均安全值 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 6 倍多, 也超过我国环境空气质量二级标准 1 倍多。2016 年共出现优良天数 250 d, 相比 2015 年降低 9.4% , 轻微污染 88 d, 中度污染 24 d, 重度污染和严重污染的天数为 4 d, 比 2015 年减少了 12 d, 其中, 持续时间 3 d 以上的中度污染过程出现 3 次, 最长为 5 d, 比起 2015 年中

度污染过程的 4 次, 最长持续 14 d, 明显减弱, 但全年 $PM_{2.5}$ 平均质量浓度、中度污染与轻度污染天数和程度无明显下降。

2.2 季节变化和日变化

2016 年 $PM_{2.5}$ 日平均质量浓度变化如图 2 所示, 分析得出春季 $PM_{2.5}$ 最高可达 $148.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 平均值为 $64.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 夏季 $PM_{2.5}$ 最高值为 $112.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 平均值为 $49.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 秋季 $PM_{2.5}$ 最高值为 $134.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 平均值 $63.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 冬季 $PM_{2.5}$ 平均值为 $81.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. $PM_{2.5}$ 最高值为 $263.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2016 年 2 月 8 日, 大年初一), 相邻日增值最大为 $47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (12 月 5—6 日), 日减值最大为 $48.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (11 月 23—24 日)。

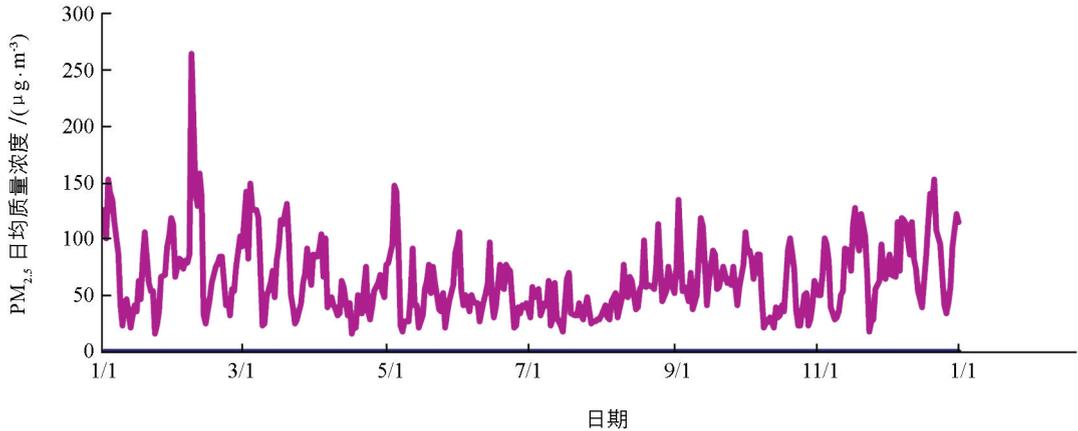


图 2 2016 年 $PM_{2.5}$ 日平均质量浓度变化

图 3 为 2016 年泸州城区四季 6 个污染等级天数占相应季节总天数的百分比。夏季的优良天气最多, 比例为 90.3%, 污染天数比例不到 10%, 且全是轻度污染。春秋两季优良天数的比例分别达 67.4%、66.2%, 轻度污染和中度污染天数的比例分别为 32.6%、33.8%, 且都未出现重度污染与严重污染情况。冬天是污染最严重的季节, 优良天数比例不到 50%, 污染天数比例高达 51%, 重度污染及严重污染等级天气情况均有出现。

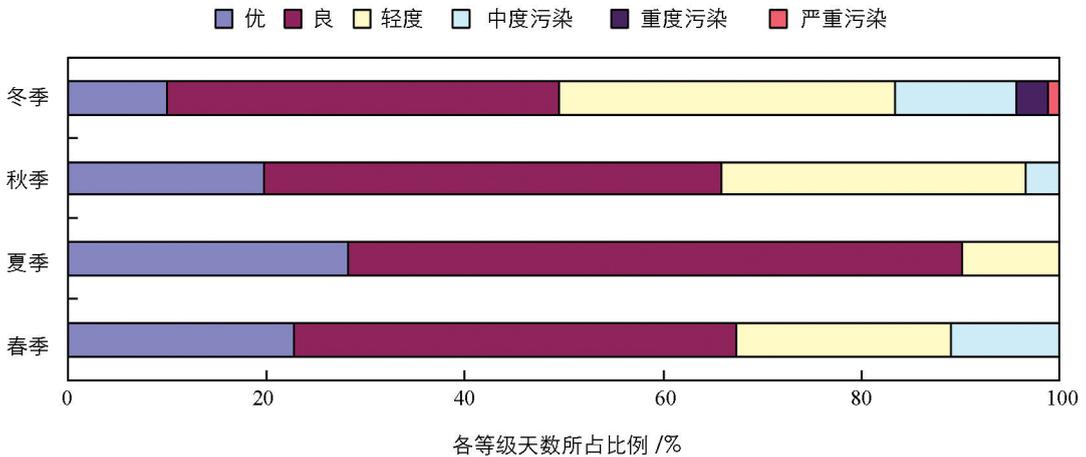


图 3 不同季节不同等级天气所占比例

$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 质量浓度相关性分析如表 1 所示, 全年相关系数 r 为 0.955 ($p < 0.05$), 相关性有统计学意义, 两者变化规律具有相似性。全年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的日平均比值 0.74, 说明 2016 年大气可吸入颗粒物以 $PM_{2.5}$ 为主, 对人群健康危害较大 (同质量浓度 PM_{10} 中 $PM_{2.5}$ 占比越大, 对人体健康的危害越大)。 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值受季节影响明显, 春、夏、冬季的相关系数明显高于秋季。四季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 的日平均比值的 变化范围为 0.73~0.83, 均值为 0.74, 高于方丹飞等^[20] 在合肥 (0.63)、岑世宏^[21] 在京津唐地区

(0.50)的研究结果, 低于李敏等^[22]在上海(0.90)的研究结果, 与陈林等^[23]在重庆(0.68)、章熙锋等^[24]在绵阳(0.70)、苏志华等^[15]在贵阳(0.72)的结果接近。

表 1 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度相关性分析结果

季节	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
春季	92	0.970	0.000
夏季	92	0.952	0.000
秋季	91	0.893	0.000
冬季	91	0.983	0.000
全年	366	0.955	0.000

图 4 为 2016 年不同季节 $PM_{2.5}$ 质量浓度逐时变化情况, 细颗粒物质量浓度逐时变化范围较大, 从全年四季看, 一天中 $PM_{2.5}$ 质量浓度在 23:00—24:00 达到峰值, 出现晚上 21:00 至次日 2:00 高, 清晨 7:00—9:00、下午 14:00—17:00 低的特点。质量浓度明显攀升的拐点出现在傍晚 18:00—20:00, 这与章熙锋等^[24]研究绵阳的污染特征类似, 中午 11:00—13:00 与傍晚 18:00—20:00 是上下班高峰期, 交通扬尘和尾气对细颗粒物质量浓度有明显贡献。波谷出现在下午 14:00—17:00 与清晨 6:00—7:00。

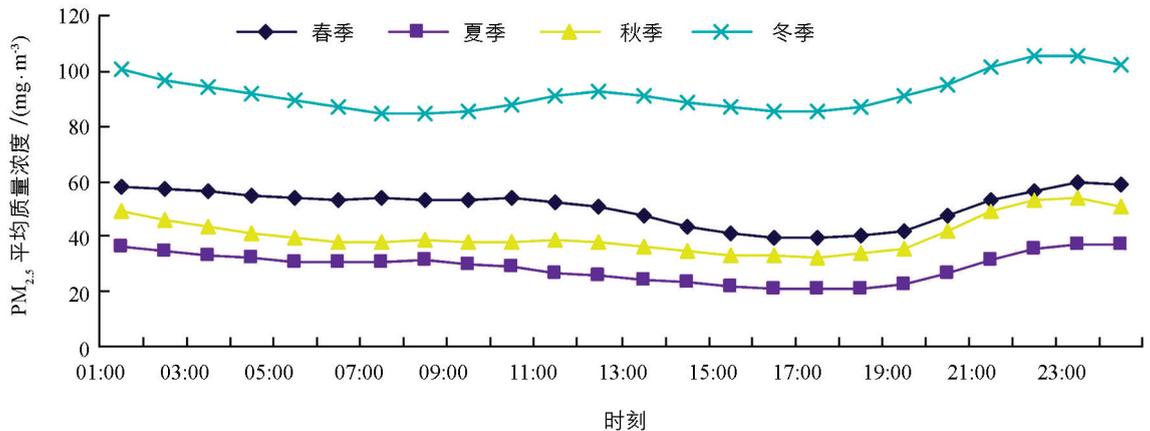


图 4 2016 年不同季节 $PM_{2.5}$ 质量浓度逐时变化

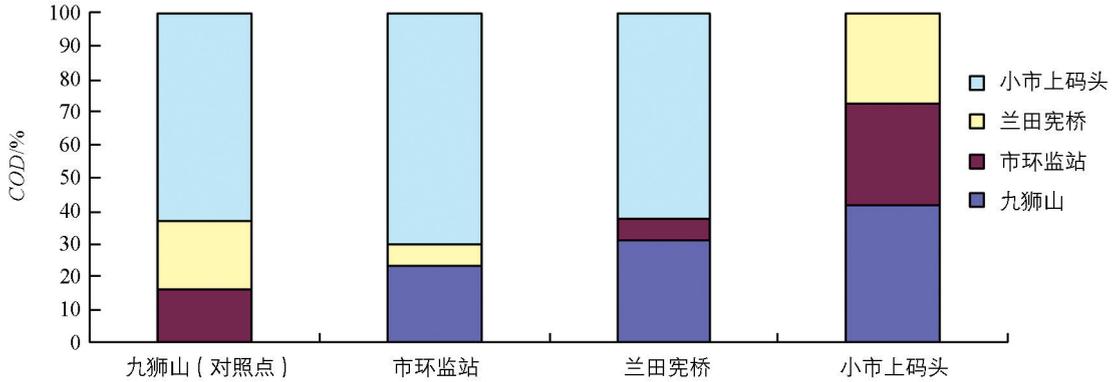
不同季节大气细颗粒物逐时变化规律存在一定差异, 冬季一天内 $PM_{2.5}$ 小时均值随时间变化最大达 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2016 年 1 月 6 日), 其次为春、秋季, 夏季最为平稳。春、夏、秋季 $PM_{2.5}$ 质量浓度变化规律总体呈现晚上 22:00 至次日 1:00 高, 下午 15:00—17:00 低的特点。冬季为晚上 21:00 至次日 1:00 高, 清晨 7:00—9:00 低, 白天质量浓度明显低于晚上质量浓度。泸州为典型的山地城市, 城区被长江、沱江所分割, 地形起伏、山水相间。夏季降雨多, 冬季少, 湿清除过程对颗粒物的作用存在差异; 冬季静风频率、逆温频次以及雾罩日数多于其他季节, 不利于污染物的扩散输送; 夏、秋季日照辐射充足, 对流活动强, 边界层较高, 污染物垂直扩散能力较强, 冬季边界层高度低, 边界层较稳定, 污染物扩散较弱^[25]。

2.3 污染物 $PM_{2.5}$ “周末效应”分析

泸州城区 $PM_{2.5}$ 污染存在较明显的周末效应。全年 $PM_{2.5}$ 工作日均值平均质量浓度为 $62.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 周末日均值平均质量浓度为 $69.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。从周末与工作日 $PM_{2.5}$ 质量浓度日均值分析, 全年 52 周中 67.3% 的周末日均值高于同周工作日日均值, 7.7% 周末日均值与同周工作日的日均值持平, 25.0% 的周末日均值低于同周工作日日均值, 这与周俊佳等^[11]对福州市区污染物排放规律研究恰好相反。泸州 $PM_{2.5}$ “周末效应”体现在周末下午 17:00 开始, $PM_{2.5}$ 质量浓度急剧上升, 一直持续到凌晨 1:00, 达到高峰。这可能与泸州市城区道路狭窄, 周末出行造成交通拥挤, 车辆处于怠速, 汽油燃烧不充分, 排放尾气中细颗粒物大量聚集于城区, 晚间大量烧烤摊点油烟排放等因素有关。

2.4 污染物 $PM_{2.5}$ 空间分布特征

根据空间差异率, 研究得出 4 个研究区域的质量浓度差异程度. 图 5 为各站点相互关联的 COD 值分布图. 图 6 为 4 个站点的 $PM_{2.5}$ 质量浓度分布图, 污染物质量浓度南差北好, 站点 1(九狮山, 对照点)平均空气质量最好, 站点 4(小市上码头)平均空气质量最差. 2016 年市区 $PM_{2.5}$ 平均质量浓度为 $64.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 对照点 $PM_{2.5}$ 平均质量浓度为 $55.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 对照点与站点 4(小市上码头)的差异最大($COD=0.56$), 站点 2(市环监站)与站点 3(兰田宪桥)的差异最小($COD=0.07$).



图中 COD 为相对指标, 是两个地区质量浓度的相对比.

图 5 2016 年 4 个站点 $PM_{2.5}$ 质量浓度差异

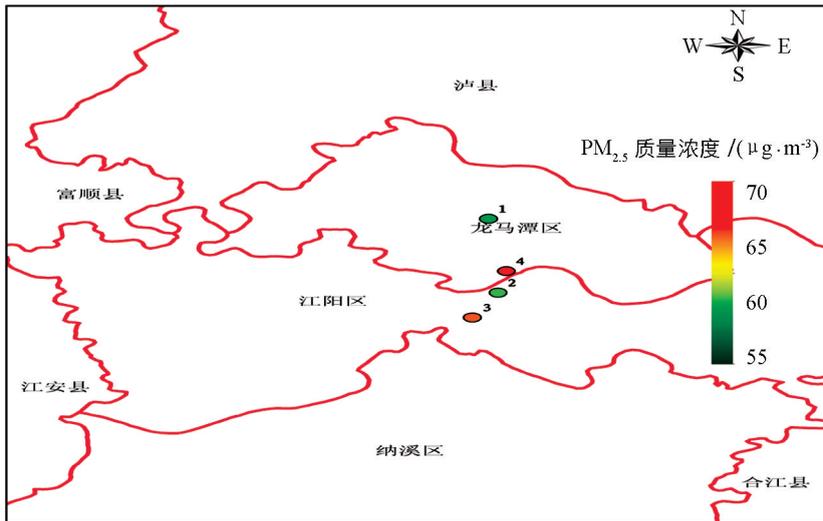


图 6 2016 年 4 个站点 $PM_{2.5}$ 质量浓度空间分布图

3 结论

(1) 2016 年泸州 $PM_{2.5}$ 年均质量浓度为 $64.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 呈现出冬季高、夏季低的特点. 重污染天气集中在冬季, 污染程度高, 持续时间长.

(2) 城区 $PM_{2.5}$ 质量浓度比对照点高 $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 小市上码头与对照点差异最大, 市环监站与对照点差异最小.

(3) 夏季细颗粒物 $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化较为平稳, 冬季细颗粒物质量浓度夜间高于日间. $PM_{2.5}$ 质量浓度呈现出工作日低, 周末高的“周末效应”. $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 相关性有统计学意义, 夏季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值最高.

参考文献:

- [1] HUANG D S, XU J H, ZHANG S Q. Valuing the Health Risks of Particulate Air Pollution in the Pearl River Delta, China [J]. *Environmental Science & Policy*, 2012, 15(1): 38-47.
- [2] ZHANG K, BATTERMAN S. Air Pollution and Health Risks Due to Vehicle Traffic [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 450-451: 307-316.
- [3] LI H M, QIAN X, HU W, et al. Chemical Speciation and Human Health Risk of Trace Metals in Urban Street Dusts from a Metropolitan City, Nanjing, SE China [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 456-457: 212-221.
- [4] 赵晨曦, 王云琦, 王玉杰. 北京地区冬春 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 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.
- [5] 汪伟峰, 俞杰, 许丹丹, 等. 宁波市区冬季大气颗粒物及其主要组分的污染特征分析 [J]. *中国环境监测*, 2013, 29(5): 43-44.
- [6] 环境保护部. 环境空气质量标准: GB3095-2012 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [7] 程念亮, 李云婷, 张大伟, 等. 2013 年北京市细颗粒物时空分布特征研究 [J]. *环境工程*, 2015, 33(10): 43-46.
- [8] 程念亮, 陈添, 张大伟, 等. 2015 年春节北京市空气质量分析 [J]. *环境科学*, 2015, 36(9): 3150-3158.
- [9] ZHAO N, QIU J, ZHANG Y Q, et al. Ambient Air Pollutant PM₁₀ and Risk of Preterm Birth in Lanzhou, China [J]. *Environment International*, 2015, 76: 71-77.
- [10] 杨茜, 高阳华, 李振亮. 重庆市霾天气下大气能见度与颗粒污染物的关系 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(9): 134-140.
- [11] 周俊佳, 梁娟珠. 福州市区大气污染物质量浓度时空分布特征分析 [J]. *环境工程*, 2017, 35(2): 89-93.
- [12] 王嫣然, 张学霞, 赵静瑶, 等. 北京地区不同季节 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度对地面气象因素的响应 [J]. *中国环境监测*, 2017, 33(2): 34-40.
- [13] 倪超, 李新江, 向涛, 等. 重庆涪陵大气污染物特征及其与气象要素的关系 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 43(9): 123-130.
- [14] 陈丹青, 师建中, 肖亮洪, 等. 粤东三市 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 质量浓度分布特征 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2012, 51(4): 73-78.
- [15] 苏志华, 王建华. 贵阳市大气颗粒物的污染特征及其影响因素分析 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2015, 54(5): 77-84.
- [16] 罗琼, 王祥洪, 王欢博, 等. 重庆市涪陵城区 PM_{2.5} 中水溶性离子污染特征 [J]. *三峡生态环境监测*, 2019, 4(1): 1-5.
- [17] 郭家瑜, 张英杰, 郑海涛, 等. 北京 2015 年大气细颗粒物的空间分布特征及变化规律 [J]. *环境科学学报*, 2017, 37(7): 2409-2419.
- [18] XIE M J, COONS T L, DUTTON S J, et al. Intra-urban Spatial Variability of PM_{2.5}-bound Carbonaceous Components [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, 60: 486-494.
- [19] XIE Y, WANG Y X, ZHANG K, et al. Daily Estimation of Ground-Level PM_{2.5} Concentrations over Beijing Using 3 Km Resolution MODIS AOD [J]. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49(20): 12280-12288.
- [20] 方丹飞, 倪秀峰, 戴豪杰, 等. 2014 年合肥大气颗粒物污染特征及变化规律 [J]. *环境科学与技术*, 2017, 40(S1): 16-22.
- [21] 岑世宏. 京津唐城市群大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 理化特征及健康效应研究 [D]. 北京: 中国矿业大学, 2011.
- [22] 李敏, 何红弟. 上海市大气环境中 PM_{2.5} 与其他污染物相关性研究 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(10): 127-134.
- [23] 陈林, 熊万明, 李杰, 等. 重庆市沙坪坝区环境空气 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 相关性分析 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 42(11): 137-143.
- [24] 章熙锋, 宋玲, 唐家良, 等. 绵阳市城区空气 PM₁₀、PM_{2.5} 污染特征及相关性研究 [J]. *环境工程*, 2016, 34(4): 86-90.
- [25] 罗俊, 薛京州, 张洪文. 泸州市城市环境空气质量及其变化趋势 [J]. *广州化工*, 2016, 44(12): 150-152.

Characteristics of Temporal and Spatial Distribution and Variations of Atmospheric Fine Particles in Luzhou

HE Ren-jiang^{1,2}, HAN Zhi-xia¹, BAI Jun¹,
XUE Jing-zhou², XIAO Kai-huang², ZHANG Qing-bi^{1,2}

1. School of Public Health of Southwest Medical University, Luzhou Sichuan 646000, China;

2. Luzhou Environmental Monitoring Center Station, Luzhou Sichuan 646000, China

Abstract: Hourly mass concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} and meteorological data in 2016 were obtained from 4 monitoring sites (Jiushishan, Luzhou Environmental Monitoring Station, Lantianxianqiao and Xiaoshi Dock) in Luzhou to investigate the characteristics of spatial distribution and variations of atmospheric fine particles in this city. The results showed that the mass concentration of $PM_{2.5}$ averaged $64.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in the urban area of Luzhou in 2016, with the highest value occurring in winter, followed in order by spring, autumn and summer. Severe pollution events predominantly occurred in winter with high concentration levels and a long duration. The mass concentration of $PM_{2.5}$ in the urban area was $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ higher than that in the contrast area, the difference in the coefficient of divergence value being most significant between the traffic and the background sites and the smallest between the Environment Monitoring Station site and the Lantianxianqiao site. The diurnal profiles of $PM_{2.5}$ mass concentrations were relatively stable with small increases at noon and night in summer. However, pronounced diurnal cycles in winter showed much higher concentration at nighttime than that during daytime. Furthermore, a significant “weekend effect” was observed with higher concentrations of $PM_{2.5}$ on weekends and lower concentrations on weekdays. The concentrations of $PM_{2.5}$ were significantly correlated with those of PM_{10} . The ratios of $PM_{2.5}/PM_{10}$ of 2016 ranged between 0.73 and 0.83, being the highest in summer, which was closely related to the local geographical and climatic conditions.

Key words: $PM_{2.5}$; temporal variation; spatial distribution; Luzhou

责任编辑 包颖