

文章编号: 2096-1618(2023)01-0107-09

四川盆地大气污染物质量浓度时空变化特征

钟 焱, 曾胜兰, 宋雨润

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:为了从数据层面揭示近几年四川盆地空气污染的现状以及变化规律,利用2015–2020年6种污染物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3)质量浓度数据,对四川盆地污染物浓度的时空变化进行分析,得到了四川盆地近6年空气污染的变化情况。研究结果:(1) CO 浓度逐年降低,空间分布表现为东高西低; NO_2 浓度先增高后降低,存在两个高值中心分别为成都和重庆西南部; SO_2 浓度逐年降低,空间分布北低南高。(2)对于冬季颗粒物浓度,川东北逐年下降,成都平原先升高后降低,川南地区呈降低趋势。盆地 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值的年均值高于62%,6年来比值有所升高,自贡、乐山、宜宾一带为 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值高值区。(3)夏季 O_3 浓度6年内先升高后降低,成都平原浓度值最高,川南次之,川东北最低。

关键词:大气环境;大气污染物;四川盆地;颗粒物污染;臭氧污染;时空特征

中图分类号:X511

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2023.01.016

0 引言

作为中国空气污染问题最严重的四大地区之一,四川盆地由于其独特的地形条件,加之盆地内静风频率高^[1],大气污染物不易扩散,使盆地内大气污染物持续累积,浓度居高不下^[2]。“十三五”以来,四川盆地大气环境质量明显改善,大气环境承载力拐点初步显现,但仍存在改善成效不稳固、污染时空分布不均等问题,大气污染问题从雾霾为主转变为雾霾与臭氧并存,大气污染成因愈发复杂,治理愈发困难^[3–5]。

近年来,关于6种污染物($\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 、 O_3)的时空变化特征的研究较多。Alizadeh-Choozari等^[6]分析了德黑兰市区颗粒物和气态污染物的时空变化特征,发现南德黑兰颗粒物污染比北德黑兰严重,时间上,午夜时分颗粒物浓度较低。陶雨婷等^[7]以点代面在大尺度进行空气质量研究,发现长时间序列上东南沿海部分地区及西部地区空气质量逐步优化,颗粒物高集聚主要出现在华北地区,低集聚主要出现在沿海地区。肖悦等^[8]从年度、季节和月份3个时间尺度上探讨了中国86个重点城市空气质量日数据的时空分布特征,结果表明空气质量逐年转好,冬季空气质量最差,空气质量月变化呈“U”型。胡荣明等^[9]分析西安空气质量指数和主要大气污染物质量浓度时空变化特征,发现西安大气污染物质量浓度在空间分布上呈现西北高、东南低的特征,在时间变化上呈现冬

季>春秋>夏季的“U”型特征。吴一帆等^[10]研究污染物浓度的时间变化、周末效应,发现 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 SO_2 浓度供暖季显著高于非供暖季且“周末效应”明显。Lin等^[11]利用遥感影像反演栅格数据分析了2001–2010年中国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的时空演化规律,结果表明 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度高的地区大多是人口多、城市扩张快的地区,包括华北的京津冀地区、华东地区和河南省。顾康康等^[12]基于Arcgis空间分析平台,探讨合肥市主城区 $\text{PM}_{2.5}$ 时空分布特征,发现合肥市主城区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度季节差异显著,秋、冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度波动较大,而春、夏季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度比较稳定。Dai W等^[13]在结合ArcGIS空间分析对2013–2014年中国城市空气质量进行分析后发现,城市空气污染区域一体化态势明显,表现出“东重西轻、北重南轻”的空间格局。孙爽等^[14]对京津冀大气污染特征进行系统分析,发现京津冀地区大气污染整体表现为南高北低、平原高山区低,由北向南递次升高的特征。曹庭伟等^[15]利用空间离散系数COD评估成渝城市群各城市之间的 O_3 浓度差异程度,发现成渝城市群 O_3 污染呈片状分布。

虽然现在关于四川盆地大气污染时空特征的研究已经不少,但研究大多集中于2018年以前,2018年后四川盆地的大气污染形势发生了一定的改变,由单一的颗粒物污染转变为颗粒物与臭氧并存的复合型污染。所以,有必要利用近几年四川盆地较为完整的大气污染物质量浓度监测资料以及气象资料,对其污染物浓度时空分布特征进行全面分析研究。本文基于2015–2020年6种大气污染物逐日质量浓度数据,分析了年、月变化特征,并利用Kriging插值法研究了空间分布特征,其中将冬季颗粒物和夏季臭氧进行了更

收稿日期:2021-12-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41505122);国家重点研发计划资助项目(2018YFC0214003);国家重点研发计划课题资助项目(2018YFC0214002);四川省科技支撑资助项目(2015GZ0238);四川省重大科技专项资助项目(2018SZDZX0023)

为细致的分析。从数据层面揭示四川盆地空气污染的现状以及变化规律。

1 资料和方法

1.1 研究区域

四川盆地地势较低(海拔 200 ~ 750 m),是川渝地区主体,面积约 26 万平方千米,占四川省面积的 46%。城市林立(包括 17 个地级市和 1 个直辖市),人口稠密,经济发展较好。盆地以西为高原地区,包括西北部的川西高原(海拔超过 4000 m)和西南部海拔略低的川西南山地^[16]。

根据城市群地理位置分布、相对独立性和地形特征^[17],如图 1 将研究区域的 18 个城市划分为 3 个子区域:成都平原(包含成都、德阳、绵阳、乐山、眉山、资阳、遂宁、雅安)、川东北(包含广元、南充、广安、达州、巴中)、川南(包含自贡、泸州、内江、宜宾、重庆)。

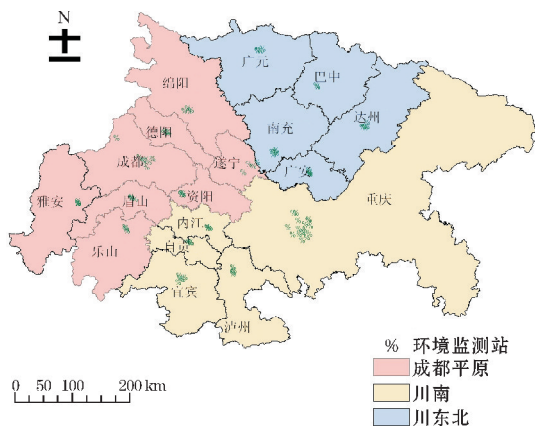


图 1 研究区域划分图

1.2 数据与方法

采用的污染物质量浓度数据来自中国城市空气质量实时发布平台公布的 2015 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日四川盆地 96 个空气质量监测站点的逐时监测数据,包括 6 种污染物:PM_{2.5}、PM₁₀、CO、NO₂、SO₂、O₃。

统计分析 6 种污染物的总体时间(年、月)分布特征,并运用 Kriging 插值法(可用 Arcgis 实现)分析污染物的空间分布特征。克里格插值方法(Kriging)是目前最优的空间内插法,是根据待插值点与临近实测污染物浓度间位置,对待插值点的污染物浓度线性无偏最优估计,通过生成一个关于污染物浓度的克里格插值图来表达研究区域的污染状况^[18],公式是:

$$Z(X_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(X_i)$$

式中: $Z(X_0)$ 表示未知样点的值; $Z(X_i)$ 表示未知样点周围的已知样本点的值; N 为已知样本点的个数; λ_i

为第 i 个样本点的权重。

分析四川盆地冬季颗粒物特征时,提取 2015–2020 年 1 月、2 月、12 月的 PM_{2.5}、PM₁₀ 质量浓度数据进行分析,并引入 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值指标来衡量四川盆地各区域 PM_{2.5} 对颗粒物污染的贡献度。PM_{2.5}/PM₁₀ 比值不仅能很好地反映研究区域的污染程度,还能更准确地表示二次污染程度,辨别人为污染源和自然源,进而更好地揭示研究区大气污染排放状况和污染程度^[19–21],PM_{2.5}/PM₁₀ 比值越高,表示 PM_{2.5} 对 PM 的贡献越大,城市二次污染物越严重^[22]。

提取 2015–2020 年 6–8 月 O₃ 质量浓度数据,分区域分析四川盆地夏季臭氧污染的时空分布特征。

2 总体变化特征

2.1 总体时间变化特征

图 2 表明 PM_{2.5}、PM₁₀、CO、SO₂ 浓度均呈现逐年降低的趋势,其中 CO、SO₂ 下降趋势更为明显。SO₂ 浓度 2019 年年均值仅为 2015 年的 45% 左右,2020 年较 2019 年变化不大,下降趋势放缓。CO 浓度 6 年中变化幅度不大,2020 年为 2015 年的 70% 左右。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的浓度 2016 年与 2015 年水平相当,2016 年后逐年下降,PM₁₀ 的下降幅度较 PM_{2.5} 略大,二者浓度年均值 2020 年分别为 2015 年的 60% 和 70% 左右。NO₂ 浓度表现为先增高后降低,整体变化幅度较小,2017 年达到最高值,2020 年比 2015 年浓度值低大约 3 μg/m³。O₃ 浓度 2015–2018 年逐年增高,2019 年比 2018 年有所下降,但 2020 年又增高,整体变化幅度不大,最高值在 2018 年,最低值为 2015 年,2020 年浓度值较 2015 年增高了 2 μg/m³。

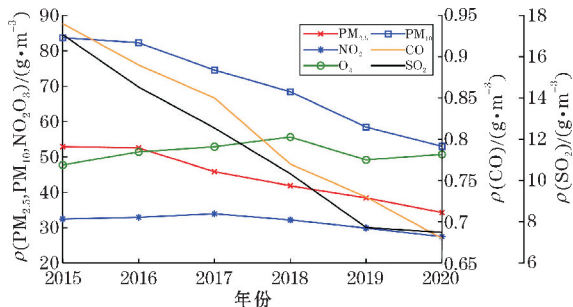


图 2 2015–2020 年四川盆地 6 种污染物浓度的年变化

除 O₃ 外,其余 5 种污染物浓度月变化均呈现“U”型(图 3)。PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的浓度变化表现一致,均为冬季最高,春、秋季次之,夏季最低,5 月较 4 月浓度值略大,最高值为 1 月,最低值为 7 月。CO 浓度变化与颗粒物类似,7 月浓度值最低,1 月最高,冬高夏低。SO₂ 浓度变化的 U 型更不对称,其底部在 9 月,整体上半

年浓度高于下半年,而 2-4 月有一个浓度升高再降低的过程,浓度值最低的 9 月约是最高的 1 月的 65%。 NO_2 浓度变化趋势相对较缓,与 SO_2 浓度类似,2-4 月有一个浓度升高再降低的过程,但上下半年浓度值相当,7 月浓度值最低。 O_3 浓度值变化与其余 5 种污染物相反,冬低夏高,5-8 月是 O_3 浓度高值月,这 4 个月浓度变化不大。

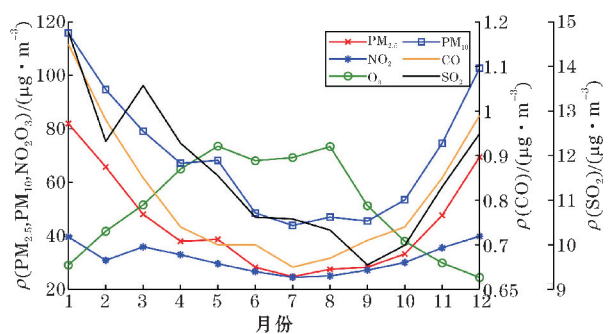


图3 四川盆地 6 种污染物浓度的月变化

2.2 总体空间变化特征

利用 Kriging 插值法得到四川盆地污染物的空间分布特征(图 4)。 CO 浓度空间分布整体表现为东高西低,但在东部有两个高值中心,分别位于成都和宜宾,其中成都一带的 CO 浓度值更高,东部的高值带在重庆西南部以及北部。 NO_2 浓度分布较为均匀,两个高值中心分别为成都和重庆西南部,其中重庆西南部是整个盆地 NO_2 浓度最高的地区。 SO_2 浓度分布北低南高,高值区为内江、自贡、宜宾一带,广元北部也存在一个高值区,低值带为绵阳中部、南充北部以及巴中一带。 O_3 浓度空间分布整体表现为西高东低,重庆的 O_3 浓度较低,西部中成都的 O_3 浓度值较低,资阳、绵阳北部、雅安南部以及乐山西南部为高值区。 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度分布类似,高值区为德阳、成都、眉山、自贡一带,其中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的两个高值中心为成都和自贡,广元为四川盆地颗粒物浓度的低值区。

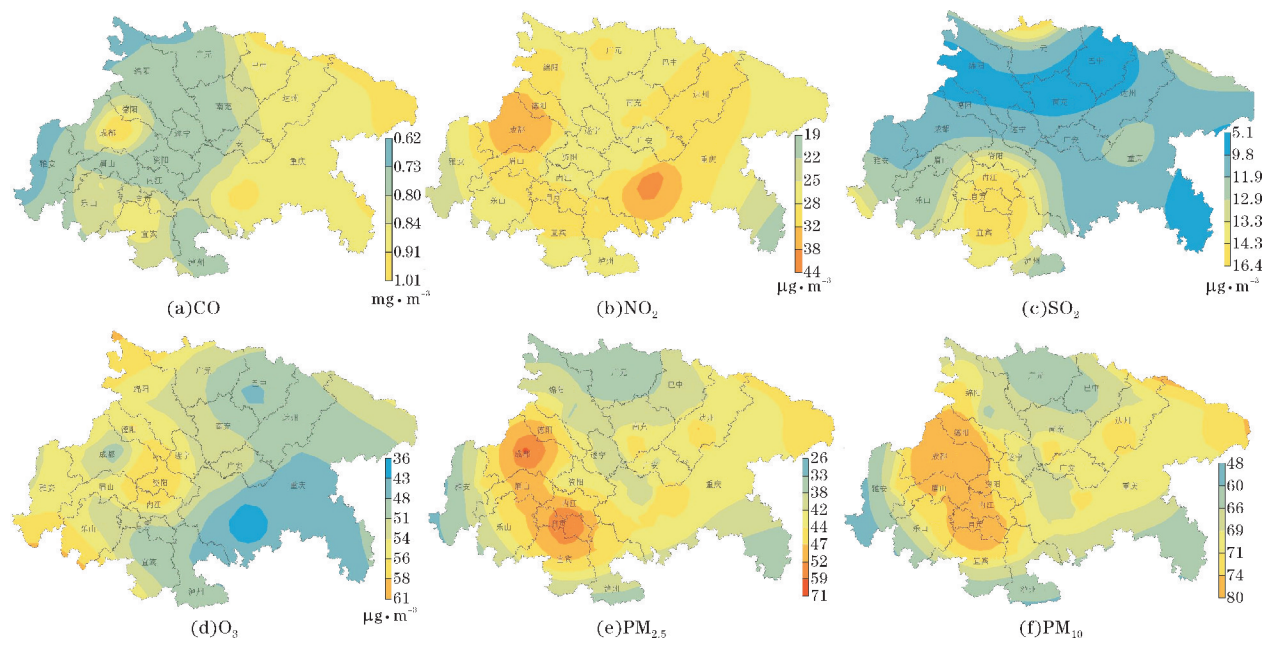


图4 四川盆地 6 种污染物浓度的空间分布

3 颗粒物浓度时空变化特征

颗粒物作为四川盆地冬季空气污染的主要贡献者,虽然经过这些年的治理,其浓度已显著降低,但仍然值得关注。结合 $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ 比值,分区域对四川盆地冬季颗粒物浓度分布特征及变化情况进行更细致的研究。

3.1 颗粒物浓度时间变化特征

从图 5 可以看到,四川盆地冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓

度变化类似,川东北地区除 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度在 2019 年出现小幅度上升外,2015-2020 年基本表现为逐年下降,2015 年浓度值最高,二者 2020 年浓度值分别为 2015 年的 69% 和 62% 左右。成都平原的 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度值从 2015-2017 年先下降后上升,2017 年后逐年下降,2017 年浓度值最高,二者 2020 年浓度值分别为 2017 年的 61% 和 54% 左右, PM_{10} 浓度值下降更快。川南地区的浓度值变化曲线较为曲折,2015-2017 年与成都平原类似,表现为先下降后上升,但 2015 年值最高;2017-2018 年 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度值均有一个大幅度下降;2018-2019 年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度小幅度上升,而 PM_{10}

浓度持续下降。总体看来,3个区域的颗粒物浓度值从2015年的川南最高、成都平原次之、川东北最低转变为2020年的3个区域浓度值相当。

四川盆地3个区域近6年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的年均值均大于62%,除2018年成都平原 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值高于川南外,其他年份均为川南最高,从2015–2020年,每个区域的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值都有一定程度的增大。川南 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值从2015–2018年表现为先增大后减小,2018年后逐年增大,2020年值最大,达到78%。

成都平原6年中 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的变化存在2个先减小后增大的过程,但总体处于增大状态, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值从2015年的65.8%增大到2020年的74.4%。川东北 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的变化呈现U型,2017年值最小,2020年值最大,达到73.8%。2020年四川盆地3个区域 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的年均值全部大于73%,比起2015年, $PM_{2.5}$ 对PM的贡献显著增大,颗粒物污染的治理需着重于 $PM_{2.5}$ 。

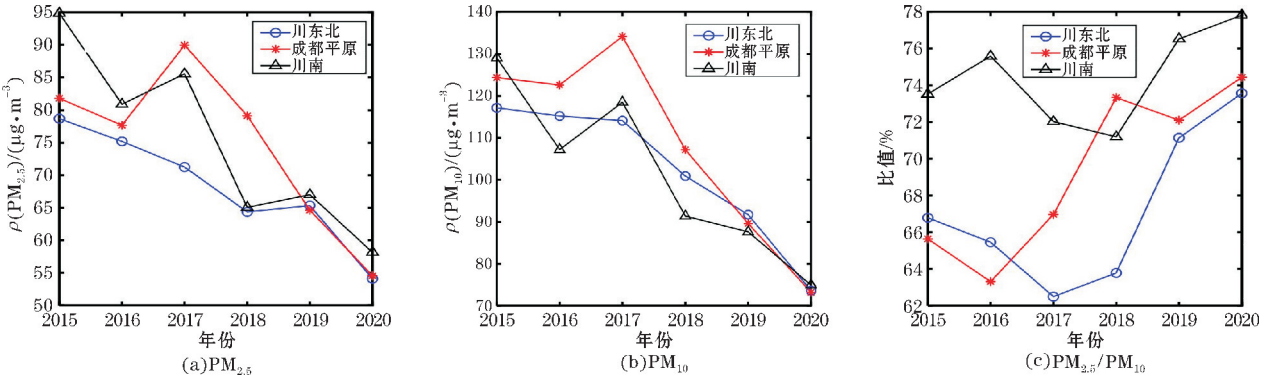


图5 四川盆地冬季3个区域颗粒物浓度的年变化

颗粒物浓度的月变化如图6所示, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度值变化情况类似,均呈“U”型,1月值最大,7月值最小。川南 $PM_{2.5}$ 浓度除12月比成都平原略低外,其余月份都是3个区域中最大的,而 PM_{10} 浓度除6–10月,其余月份均低于成都平原,由此可知, $PM_{2.5}$ 对川南的颗粒物污染贡献更大。整体看来,川东北的颗粒物浓度值是四川盆地3个区域中最低的。

3个区域 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值月变化呈“W”型,3个峰值2个低谷区,峰值主要出现在1月、6月和12月,2

个谷值出现月份有所不同,川南为5月和7月,川东北和四川平原则为4月和7月,冬季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值最大。川南地区的 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值明显高于川东北和成都平原,7月值最低,1月值最高,冬季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值均高于70%, $PM_{2.5}$ 对颗粒物污染贡献大。川东北和成都平原 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值相当,4月值最低,但也超过了50%。不少研究中将 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值为0.5作为判断人为污染和自然污染的标准线^[21–24],由此可见,四川盆地颗粒物污染主要受人为污染控制。

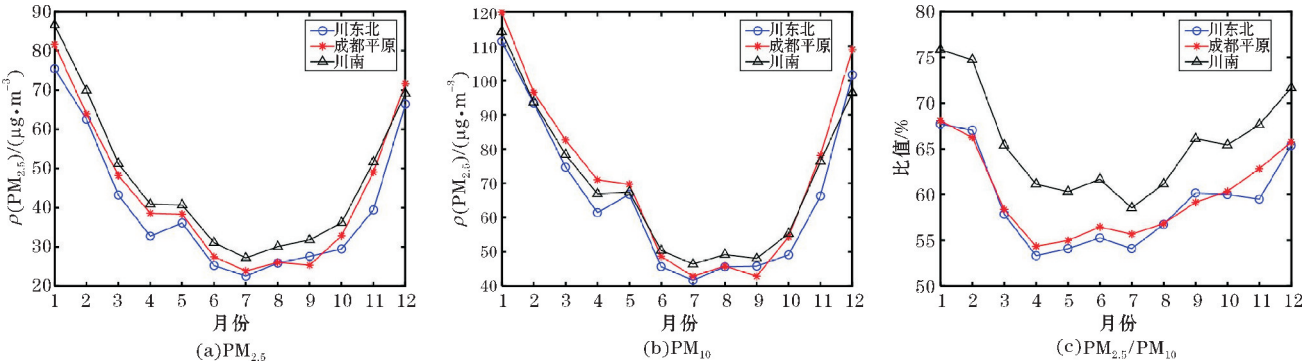


图6 四川盆地3个区域颗粒物浓度的月变化

3.2 颗粒物浓度空间变化特征

根据四川盆地各年冬季 $PM_{2.5}$ 浓度的空间分布变化(图7),西南部 $PM_{2.5}$ 浓度最高,广元一带 $PM_{2.5}$ 浓度最低。2015年四川盆地存在2个高值中心,分别为成

都中部和自贡,其中自贡的高值中心覆盖面积更大,包含了内江南部和宜宾北部,另外重庆北部以及达州一带也是 $PM_{2.5}$ 浓度高值区。2016年自贡的高值中心纬向延伸至泸州北部,达州一带浓度值略有降低。2017年,成都中部的高值中心扩大到整个成都地区,自贡高

值中心范围减小,达州一带浓度值持续降低。2018 年成都、眉山、自贡一带 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度值仍高于其他地区,但四川盆地整体浓度值降低。到 2020 年,四川盆地

$\text{PM}_{2.5}$ 浓度值分布较为均匀,对比 2015 年显著降低,颗粒物污染治理已见成效。

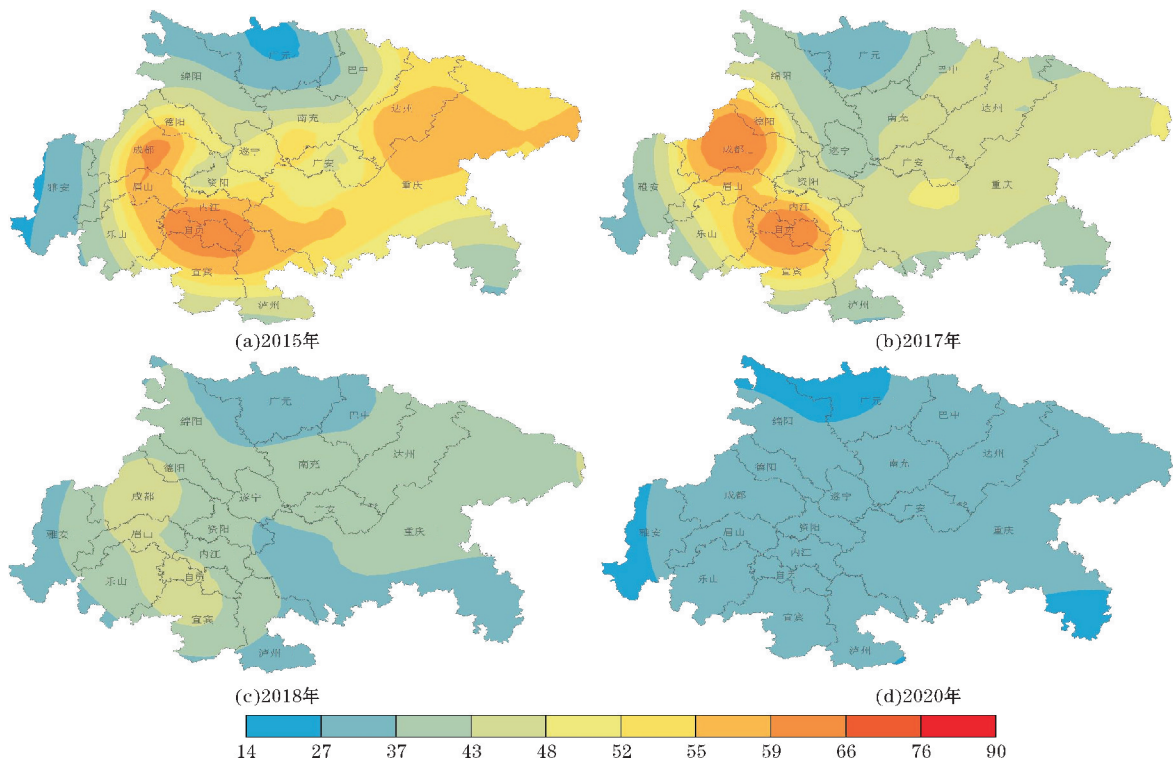


图 7 四川盆地冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的空间分布变化

从图 8 可以看到,四川盆地冬季 PM_{10} 浓度分布与 $\text{PM}_{2.5}$ 类似,但成都的 PM_{10} 浓度高值中心较自贡范围更广,说明 $\text{PM}_{2.5}$ 在 PM 中的占比自贡高于成都,自贡人

为污染更为严重。另外,2015 年重庆南部 PM_{10} 浓度值高于北部。

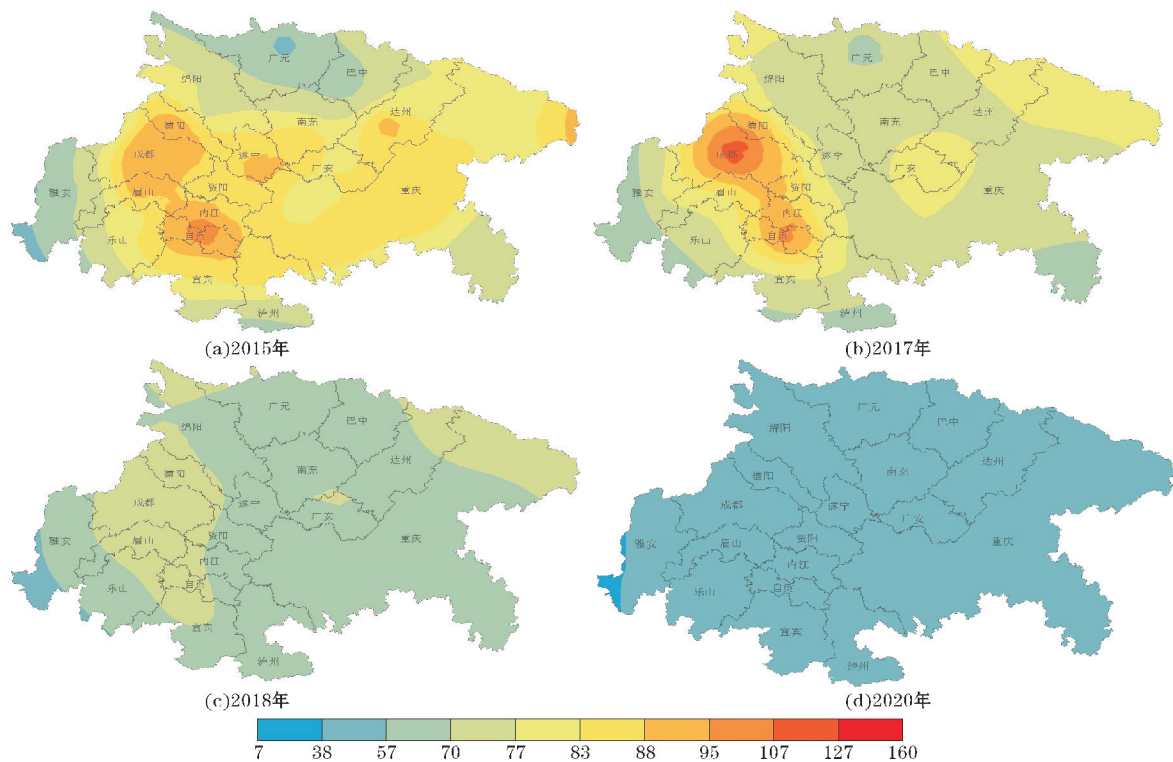


图 8 四川盆地冬季 PM_{10} 浓度的空间分布变化

盆地内冬季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值高低分布极不均匀, 自贡、乐山、宜宾一带一直为高值区(图9)。2015年, 成都平原和川东北除达州以外, $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值较川南更低, 广元为低值中心, 重庆北部比值高于南部, 高值中心为自贡东部和宜宾中部。2016年情况与2015年类似, 但自贡一带的高值中心范围扩大, 包含了泸州北部, 重庆北部 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值比2015年有所降低。2017年自贡一带的高值中心回缩, 与2015年水平相当, 达州、重庆北部比值持续降低, 资阳一带比值也降低, 出现低值中心, 广元的低值中心范围增大, 强度增

强, 川东北 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值达到最低值。2018年盆地整体 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值降低, 但资阳一带的低值中心比值增大, 表现出年变化上的川南、川东北比值降低, 成都平原比值增大。2019年, 自贡的高值中心重新出现, 巴中一带比值增大, 整个南部比值高于北部。2020年比2015年 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值高低分布较为均匀, 原本的高值区强度减小, 低值区比值增大, 盆地南部和巴中一带仍为 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值高值区。可以看出, 近6年, $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度值均有所降低, 但 $PM_{2.5}$ 浓度降低更慢, 颗粒物污染中 $PM_{2.5}$ 贡献增大。

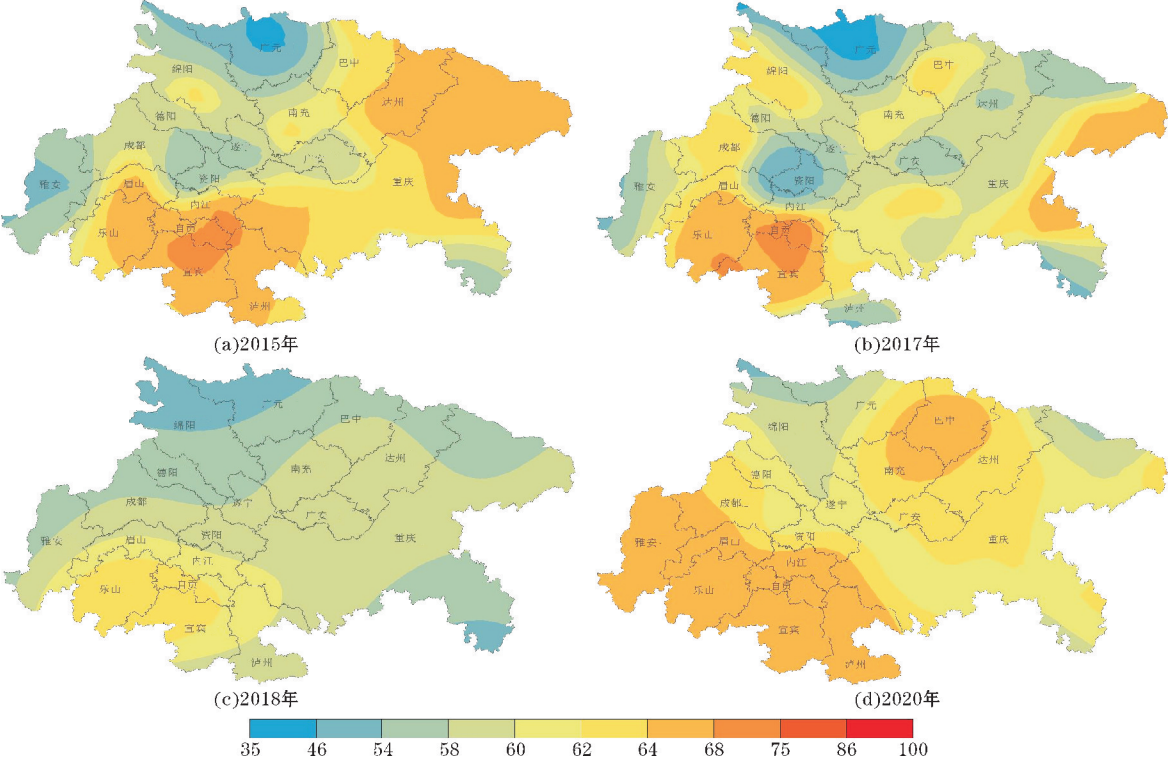


图9 四川盆地冬季 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 比值的空间分布变化

4 O_3 浓度时空变化特征

从前面的分析可以发现, 近6年四川盆地内的 O_3 浓度不仅不像颗粒物一样降低, 反而还有一定的增高趋势。作为当下城市复合型污染的另一主角, 夏季 O_3 浓度的变化同样值得关注。

4.1 O_3 浓度时间变化特征

四川盆地夏季 O_3 浓度的年变化大致呈现先升高后降低的趋势, 2020年浓度值成都平原最高, 川南次之, 川东北最低(图10)。除2018年外, 成都平原的 O_3 浓度值高于川东北和川南, 2020年浓度值与2015年相差不大, 6年中2017年浓度值最高, 达到 $81 \mu g/m^3$ 。川南的 O_3 浓度值在2018年达到最高, 约 $78 \mu g/m^3$, 2020年浓度值较2015年升高了约 $7 \mu g/m^3$ 。川东北的 O_3 浓度也在2018年达到最高值, 2020年浓度值较2015年降低了约 $8 \mu g/m^3$ 。四川盆

地的 O_3 浓度值较2017年、2018年有所降低, 但 O_3 污染问题改善不足, 尤其川南地区, 其浓度水平较之2015年还有所升高。

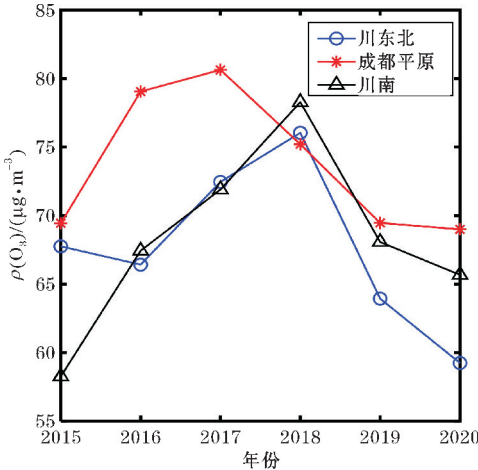


图10 四川盆地夏季3个区域 O_3 浓度的年变化

从图 11 可以看到,多数月份 O_3 浓度值表现为成都平原最高,川南次之,川东北最低,夏季最高,春秋季节次之,冬季最低,但 5 月浓度水平与夏季相当。成都平原地区 5 月 O_3 浓度值最高,达到 $80\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,比川东北和川南高 $14\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,夏季 3 个月浓度水平相当,均在 $72\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右, O_3 浓度值上半年高于下半年。川南地区 8 月 O_3 浓度值最高,且与其他两个区域相差不大,5-8 月,其值有一个先降低后升高的过程,6 月值最低。川东北 O_3 浓度值月变化情况与川南类似,但趋势较缓,最高值低于川南的,低值更高。

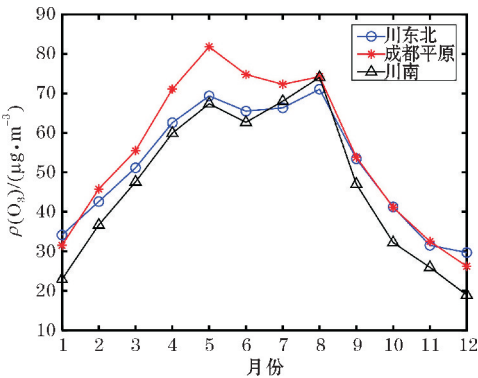


图 11 四川盆地 3 个区域 O_3 浓度的月变化

4.2 O_3 浓度空间变化特征

四川盆地夏季 O_3 浓度的空间分布总体表现为西高东低,重庆南部 6 年均均为低值区(图 12)。2015 年除雅安和乐山外,成都平原 O_3 浓度值均较高,除此之外,广元和广安也是高值区,重庆和达州为低值区,整个四川盆地存在 3 个 O_3 浓度高值中心,分别为成都西部、资阳西部以及广安。2016 年盆地整体 O_3 浓度值升高,高值区范围扩大,资阳西部的高值中心延伸发展到了整个资阳和遂宁地区,广安浓度值降低,高值中心消失,重庆 O_3 浓度值整体升高。2017 年重庆北部和达州一带浓度值升高,但重庆南部低值区范围扩大,南充 O_3 浓度值显著升高,出现高值中心,资阳一带浓度值降低,高值中心消失,盆地西南角 O_3 浓度值亦明显升高。2018 年盆地 O_3 浓度高低分布较为均匀,整体浓度值到达最高,浓度最低的重庆南部其值也超过了 $46\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,盆地内不存在明显高值中心。2019 年盆地内浓度最高的区域为重庆东南部,其余地区浓度值高低分布较均匀。2020 年重庆东南部的高值区浓度降低,但盆地西部整体 O_3 浓度值升高,成都平原东部出现高值区。总的来看,对比 2015 年,盆地内 2020 年 O_3 浓度值高低分布更为均匀,整体浓度值略有升高。

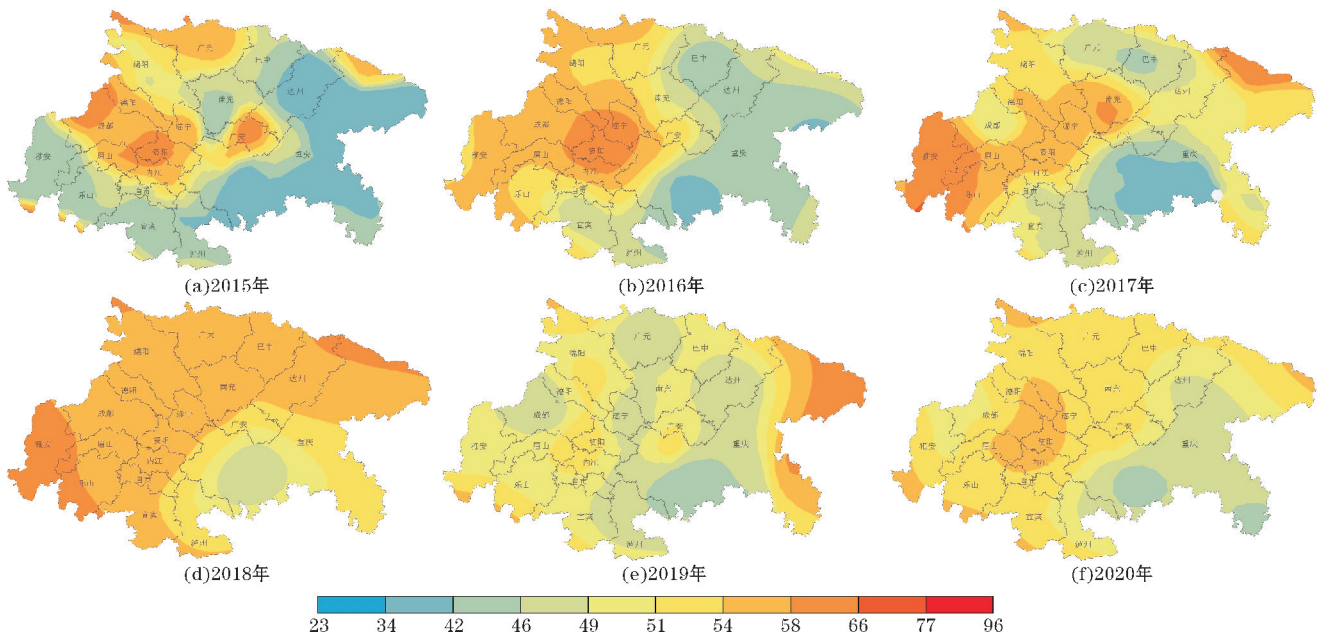


图 12 四川盆地夏季 O_3 浓度的空间分布变化

5 结论

对四川盆地空气污染的时空分布特征进行分析,得出以下结论:

(1) $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 CO 、 SO_2 浓度均呈现逐年降低的趋势; NO_2 浓度表现为先增高后降低,整体变化幅度较

小; O_3 浓度 2018 年值最高,2020 年浓度值较 2015 年增高了 $2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$,除 O_3 外,其余 5 种污染物浓度月变化均呈现 U 型。

(2) CO 浓度空间分布整体表现为东高西低; NO_2 浓度分布较为均匀,两个高值中心分别为成都和重庆西南部; SO_2 浓度分布北低南高,高值区为内江、自贡、宜宾一带; O_3 浓度分布整体表现为西高东低; $PM_{2.5}$ 和

PM₁₀的浓度分布类似,高值区为德阳、成都、眉山、自贡一带。

(3)对于冬季颗粒物浓度变化情况,川东北地区表现为逐年下降,成都平原浓度值先升高后降低;川南地区的浓度值变化曲线较为曲折,但总体仍为下降趋势。西南部是盆地内颗粒物浓度最高的地区,广元一带是浓度低值区。PM_{2.5}在PM中的占比自贡高于成都。

(4)四川盆地冬季PM_{2.5}/PM₁₀比值的年均值均大于62%,除2018年成都平原PM_{2.5}/PM₁₀比值高于川南外,其他年份均为川南值最高,2015–2020年,每个区域的PM_{2.5}/PM₁₀比值都有一定程度的增大。盆地内PM_{2.5}/PM₁₀比值高低分布极不均匀,自贡、乐山、宜宾一带一直为高值区。

(5)四川盆地夏季O₃浓度在2015–2020年先升高后降低;四川盆地的O₃浓度值成都平原最高,川南次之,川东北最低,夏季最高,春秋季节次之,冬季最低;空间分布总体表现为西高东低,对比2015年,盆地内2020年O₃浓度值高低分布更为均匀,整体浓度值略有升高。

参考文献:

- [1] 杨华安,但尚铭.四川盆地冬季风速、降水量与大气污染浓度分析[J].四川气象,1995(3):28–30.
- [2] 肖丹华.四川盆地城市群6种大气污染物质量浓度的时空分布及污染气象参数研究[D].成都:成都信息工程大学,2018.
- [3] 赵乐陶.四川大气污染治理现状及对策[J].中国国情国力,2020(5):74–77.
- [4] Ning G, S Wang, M Ma, et al. Characteristics of air pollution in different zones of Sichuan Basin, China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 612: 975–984.
- [5] 张玥莹,乔雪,唐亚.成都G20会议期间大气污染特征及污染防治分析[J].生态环境学报,2018,27(8):1472–1480.
- [6] Alizadeh-Chooabari O, Bidokhti A, Ghafarian P, et al. Temporal and spatial variations of particulate matter and gaseous pollutants in the urban area of Tehran[J]. Atmospheric Environment, 2016, 141: 443–453.
- [7] 陶雨婷,吴云清.基于Moran'I指数的全国空气质量时空格局分析[J].自然灾害学报,2018,27(5):107–113.
- [8] 肖悦,田永中,许文轩,等.近10年中国空气质量时空分布特征[J].生态环境学报,2017,26(2):243–252.
- [9] 胡荣明,王睿哲,李朋飞,等.西安市大气污染物时空特征及其与土地利用因素的关系[J].中国科技论文,2021,16(9):925–934.
- [10] 吴一帆,张子豪,王帅,等.大连市大气污染特征、影响因素及来源分析[J].环境工程,2018,36(6):104–109.
- [11] Lin G, Fu J, Jiang D, et al. Spatio-temporal variation of PM_{2.5} concentrations and their relationship with geographic and socioeconomic factors in China[J]. International journal of environmental research and public health, 2014, 11(1):173–186.
- [12] 顾康康,祝玲玲.合肥市主城区PM_(2.5)时空分布特征研究[J].生态环境学报,2018,27(6):1107–1112.
- [13] Dai W, Yi L. Spatio-temporal differences and driving forces of air quality in Chinese cities[J]. Journal of Resources and Ecology, 2016, 7(2):77–84.
- [14] 孙爽,李令军,赵文吉,等.京津冀大气污染变化规律及其与植被指数相关性分析[J].环境科学,2019,40(4):1585–1593.
- [15] 曹庭伟,吴锴,康平,等.成渝城市群臭氧污染特征及影响因素分析[J].环境科学学报,2018,38(4):1275–1284.
- [16] 冯鑫媛,张莹.川渝地区大气污染物质量浓度时空分布特征[J].中国科技论文,2018,13(15):1708–1715.
- [17] 史海琪,曾胜兰,李浩楠.四川盆地大气污染物时空分布特征及气象影响因素研究[J].环境科学学报,2020,40(3):763–778.
- [18] Al-Mashagbah A, Al-Adamat R, Salameh E. The use of Kriging techniques with in GIS environment to investigate groundwater quality in the Amman-Zarqa basin/Jordan[J]. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 2012, 4(2):177–185.
- [19] Hwa-Lung Y, Chih-Hsin W. Retrospective prediction of intraurban spatiotemporal distribution of PM_{2.5} in Taipei[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(25):3053–3065.
- [20] Xu G, Jiao L, Zhang B, et al. Spatial and temporal variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio in Wuhan, Central China[J]. Aerosol and Air Quality Re-

search,2017,17(3):741–751.

[21] 查慧敏. 河北省 PM_{2.5}/PM₁₀ 比值时空分布及影响因素分析[D]. 石家庄:河北师范大学,2020.

[22] Wang S,Liao T,Wang L,et al. Process analysis of characteristics of the boundary layer during a heavy haze pollution episode in an inland megacity, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2016,40:138–144.

[23] 马敏劲,杨秀梅,丁凡,等. 中国南北方大气污染物的时空分布特征[J]. 环境科学与技术, 2018,41(5):187–197.

[24] Zhao D,Chen H,Yu E,et al. PM_{2.5}/PM₁₀ ratios in eight economic regions and their relationship with meteorology in China[J]. Advances in Meteorology,2019(2).

Temporal and Spatial Variation Characteristics of Air Pollutant Mass Concentration in Sichuan Basin

ZHONG Yao, ZENG Shenglan, SONG Yurun
(College of Atmospheric Sciences,Chengdu University of Information Technology,Chengdu 610225 ,China)

Abstract:In order to reveal the current situation and change law of air pollution in the Sichuan Basin in recent years from the data level, using the mass concentration data of six kinds of pollutants(PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO₂, SO₂, O₃) from 2015 to 2020, the spatial and temporal changes of the concentration of pollutants were analyzed, and the changes of air pollution in the Sichuan Basin in the past six years were obtained. The results of the study are as follows: (1) The concentration of CO decreased year by year, and the spatial distribution was high in the east and low in the west; the concentration of NO₂ increased at first and then decreased, and there were two high-value centers in Chengdu and southwestern Chongqing; the concentration of SO₂ decreased year by year, and the spatial distribution was low in the north and high in the south. (2) As for the concentration of particulate matter in winter, the northeast Sichuan decreased year by year, the Chengdu Plain at first increased and then decreased, and the south Sichuan showed a decreasing trend. The annual average value of PM_{2.5}/PM₁₀ ratio in the basin is higher than 62% , and the ratio has increased in the past six years . ZiGong, LeShan, and YiBin are the areas with high PM_{2.5}/PM₁₀ ratio. (3) The concentration of O₃ in summer first increased and then decreased within six years, with the highest concentration in Chengdu Plain, followed by southern Sichuan, and the lowest in northeastern Sichuan.

Keywords: atmospheric environment; air pollutants; Sichuan Basin; particulate pollution; ozone pollution; temporal and spatial characteristics