

文章编号: 2096-1618(2021)01-0110-08

# 四川盆地城市群环境空气质量时空分布特征

危诗敏<sup>1</sup>, 冯鑫媛<sup>1,2</sup>, 张铮子<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 上海市气象与健康重点实验室, 上海 200030)

**摘要:** 利用2015–2018年四川盆地18个城市空气质量指数(AQI)以及6种大气污染物质量浓度的逐时监测资料, 对四川盆地城市群空气质量状况以及AQI和污染物质量浓度的时空分布特征进行分析。结果表明: 2015–2018年四川盆地环境空气质量总体趋于好转, AQI呈逐年减小的趋势, 但冬季仍不容乐观。空气质量季节变化明显, 冬季AQI最高, 污染天数出现频率高, 秋季AQI最低, 出现污染天数相对较少。AQI高值区集中在盆地西部和南部地区, 以自贡和成都为高值中心, 低值区主要在盆地东北部地区。四川盆地首要污染物以PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>为主, 以PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>为首要污染物出现的频率逐年减少, 而以O<sub>3</sub>为首要污染物出现的频率逐年增加, 光化学污染正在成为盆地重要的污染形式。主要污染物质量浓度具有明显的季节变化, 不同污染物其质量浓度的季节变化和空间分布存在差异。

**关键词:** 环境空气质量; AQI; 首要污染物; 时空分布; 四川盆地城市群

**中图分类号:** X513

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2021.01.017

## 0 引言

受特殊地形和气候条件等因素的影响, 四川盆地已成为中国空气污染问题最严重的四大地区之一<sup>[1]</sup>。随着社会经济的快速发展以及人们生活水平的日益提高, 城市环境空气质量问题及其给人们生活、交通和健康带来的影响已引起科学界、政府部门和社会公众广泛的关注<sup>[2]</sup>。空气质量时空分布特征的研究是解决大气污染问题的基础, 对城市环境空气质量的分析与预报有宏观的指导意义<sup>[3]</sup>。从2000年6月开始, 中国政府定期发布主要城市的空气污染指数(air pollution index, API), 但由于缺少粒径小于2.5 μm的颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)的数据, 政府建议使用空气质量指数(air quality index, AQI)代替API<sup>[4]</sup>, 并于2012年发布了最新的《环境空气质量标准》(GB3095–2012)<sup>[5]</sup>, 该标准将AQI从抽象的空气质量转化为具象的无量纲指数, 更广泛地被公众理解和认可, 是反映大气环境质量水平的重要指标。

目前, 国内外不少学者就空气污染问题展开了研究<sup>[6–9]</sup>。有研究指出, 空气污染在中国呈现出空间聚集的特征<sup>[10–11]</sup>, 单个城市的空气污染除了受自身的影

响外, 还受到邻近城市的间接影响<sup>[12]</sup>。近年来不少城市空气质量得到明显改善<sup>[13–14]</sup>, 多数城市空气质量分布特征表现为冬春季较差, 夏秋季较好<sup>[15–16]</sup>; 首要污染物主要以颗粒物和臭氧污染为主<sup>[17–18]</sup>, 其中O<sub>3</sub>污染已成为继PM<sub>2.5</sub>之后, 夏季的主要污染物之一<sup>[19]</sup>; 但PM<sub>2.5</sub>污染仍然较为严重, 尤其在冬季, 是大气颗粒物污染的高发期<sup>[20]</sup>, 当空气污染级别越重, PM<sub>2.5</sub>的二次转化更加突出<sup>[21]</sup>。影响空气质量时空分布特征的因素众多, 如气象条件、地理条件以及人类活动等<sup>[2]</sup>。有研究表明, 空气质量与降水量、风速、逆温等气象条件高度相关<sup>[22–24]</sup>。而盆地内降水少、风速小、逆温强、大气层结稳定等是造成该地区大气污染的不利气象条件<sup>[25–26]</sup>。同时, 还有一些研究关注城市化<sup>[27–28]</sup>, 经济结构<sup>[29]</sup>和人口分布对环境空气质量的影响。

城市空气污染是关系到城市发展的突出问题, 尤其是在人口密集的城市群中。由于2012年发布的最新《环境空气质量标准》(GB3095–2012)<sup>[5]</sup>的历史很短, 城市空气质量研究中涵盖PM<sub>2.5</sub>和其他重要污染物的时间尺度通常持续时间较短, 并且研究集中在单一年份或较短时期上。同时, 不同城市空气质量的时空分布特征差异很大, 研究区域空气质量时空分布特征及其主导因素对区域环境管理有重要意义。此外, 四川盆地特殊的地理特征, 盆地内各城市环境空气质量的特征存在怎样的空间差异仍不清楚。因此, 本文基

收稿日期: 2019-12-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41775147); 国家自然科学基金重大研究计划资助项目(91644226); 四川省科技计划资助项目(2019YJ0362)

于 2015–2018 年环境空气质量监测站实时发布的空气质量指数数据,对四川盆地城市群环境空气质量状况、AQI、首要污染物及主要污染物质量浓度的时空分布特征进行研究,以期为大气污染的预防和治理提供理论依据。

# 1 研究方法

采用四川盆地 18 个城市环境空气质量监测国控站的空气质量指数以及大气污染物质量浓度的逐时监测资料,其中包括 6 种大气污染物:PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 和 CO。四川盆地 18 个城市的地理位置分布如图 1 所示。相关数据来自中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台。数据统计起始时间为 2015 年 1 月 2 日–2018 年 12 月 31 日,其中 2018 年 12 月 22–26 日数据缺失,有效天数为 1455 天,有效数据比例为 99.6%,达到统计标准。

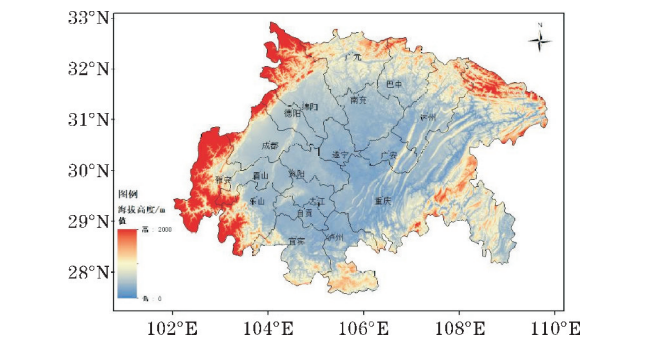


图 1 四川盆地 18 个城市地理位置分布

首要污染物和空气质量的确定依据《环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行)》(HJ633–2012)、《环境空气质量标准》(GB3095–2012) 以及《环境空气质量评价技术规范 (试行)》(HJ 663–2013)<sup>[5,30–31]</sup>。AQI 由空气质量分指数 (IAQI) 确定,并将其分为优、良、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染 6 个级别<sup>[30]</sup>。当城市空气质量级别为优时 (AQI ≤ 50),无首要污染物;空气质量级别为良及以上级别时 (AQI > 50),空气质量分指数 (IAQI) 最大的污染物为首要污染物,若 IAQI 最大的污染物为两项及两项以上时,并列为首要污染物<sup>[32]</sup>。首要污染物出现频率定义为某污染物作为首要污染物出现的天数与总有效天数的百分比。其中,四川盆地首要污染物的确定方法如下:首先,计算盆地 6 种污染物的平均质量日浓度;然后,计算 6 种污染物的 IAQI;最后,确定的 IAQI 最大的污染物即为四川盆地的首要污染物。

# 2 环境空气质量概况

## 2.1 空气质量等级

2015–2018 年四川盆地空气质量总体趋于良好 (图 2),年均 AQI 由 81 降至 73。近 4 年平均 AQI 为 79,空气质量优良率为 78.7%,污染率为 21.3%。2016 年是一个转折点,年均空气质量达到优良的概率由 2016 年 (75.5%) 开始逐年上升至 2018 年 (82.7%),年均污染天气发生的概率由 2016 年 (24.5%) 逐年下降至 2018 年 (17.3%)。由此可见,政府对近年来四川盆地大气环境的治理取得了一定的成效。

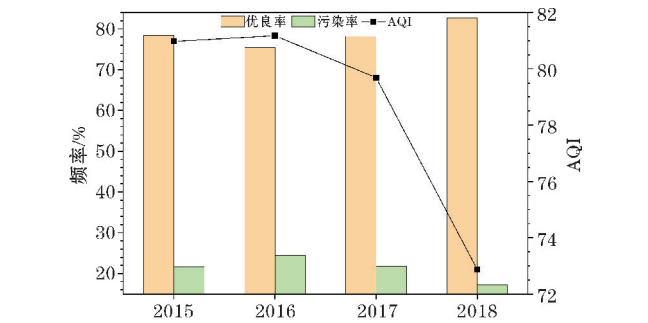


图 2 2015–2018 年四川盆地 AQI、空气优良率以及污染率

空气质量具有明显的季节变化,夏、秋季空气质量较冬、春季好 (图 3)。空气质量较好的是 6、9–10 月,优良率 (AQI ≤ 100) 均超过 90%,尤其是 9 月,优良率高达 96.3%;而污染率 (AQI > 100) 较高的是 12–2 月,1 月最高,污染率为 52.8%,其次是 12 月,污染率为 44.4%。其中,空气质量为优时,出现频率最高的是 9 月,为 52.5%;空气质量为良时,出现频率最高的是 3 月,为 68.2%;轻度污染出现频率最高的是 12 月,频率为 29.5%;中度和重度污染出现频率最高的是 1 月,频率分别为 14.1% 和 11.7%;严重污染只发生在 1、2、5、12 月,1 月出现天数最多,出现 10 天,占总天数 0.5%,5 月仅出现 1 天。整体上,冬季出现污染天数最多,其次是春季、夏季,秋季出现污染天数相对较少。

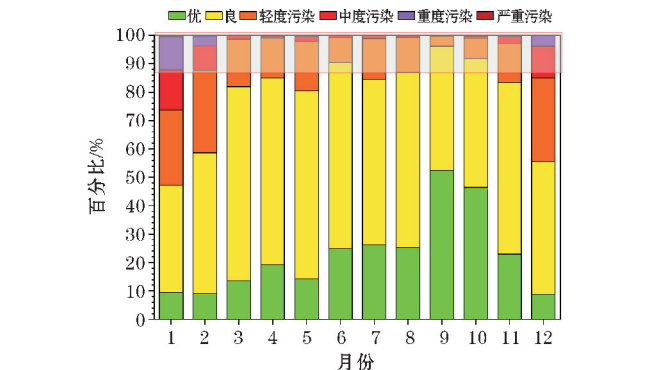


图 3 2015–2018 年四川盆地空气质量等级占比的逐月分布

四川盆地不同城市空气质量等级占比不同(图4)。空气质量较好的城市是广元 and 巴中,优良率均大于90%,分别为94.9%和92.2%;空气质量较差的城市是自贡和成都,污染率均大于30%,分别为37.5%和33.8%。其中,空气质量为优时,出现频率最高的是巴中,为45.8%;空气质量为良时,出现频率最高的是资阳,为62.5%;轻度污染出现频率最高的是成都,频率为25.6%;中度和重度污染出现频率最高的是自贡,频率分别为8.4%和5.9%;严重污染只发生在成都、绵阳、宜宾、泸州、自贡、广元、内江、乐山、眉山、达州10个城市中,其中泸州、自贡、达州出现天数最多,出现3天,占总天数0.2%;乐山出现2天严重污染;其余6个城市仅出现1天。

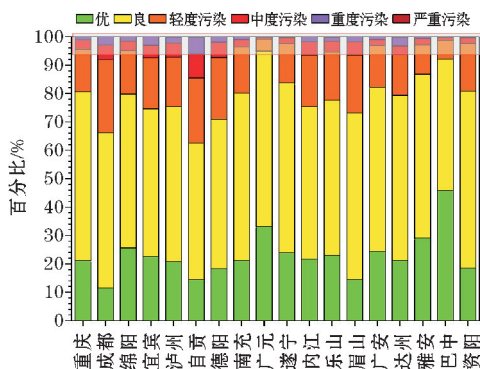


图4 2015-2018年四川盆地18个城市空气质量等级占比

## 2.2 首要污染物

2015-2018年 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$ 和CO作为首要污染物的出现频率分别为39.0%、15.5%、0%、0%、24.2%和0%。引起四川盆地大气污染的首要污染物主要是 $PM_{2.5}$ 、 $O_3$ 、 $PM_{10}$ (图5)。以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物出现频率最高,其次是 $O_3$ 。但2015-2018年以 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 为首要污染物出现的频率整体上呈逐年减少。其中,以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物出现的频率在2015-2016年略有增加,之后从2016年44.8%减少至2018年33.1%;以 $PM_{10}$ 为首要污染物出现的频率从2015年20.9%减少至2018年10.6%。以 $O_3$ 为首要污染物出现的频率整体上呈逐年增加趋势,从2015年的15.4%增加至2017年的30.4%,2018年较2017年略有下降,频率为29.7%。整体上看,2015-2018年以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物出现的频率最多,而2017-2018年以 $O_3$ 为首要污染物出现的频率仅次于以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物出现的频率。四川盆地在近4年来以 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 为首的大气污染物得到了有效的控制,但 $O_3$ 对盆地内大气污染呈增强的趋势,表明以 $O_3$ 为主要污染物的光化学污染正在成为盆地越来越重要的污染形式。近年来,不少地区以 $O_3$ 为主要污染物的情况在逐年增加<sup>[15,32-33]</sup>。

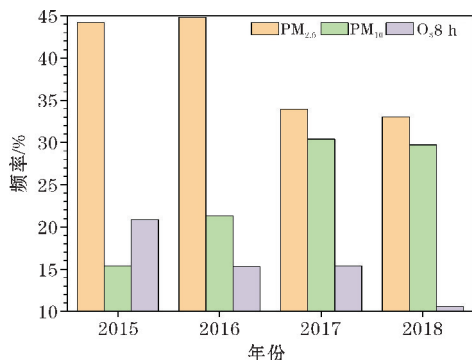


图5 2015-2018年四川盆地不同首要污染物的出现频率

四川盆地不同城市首要污染物出现频率存在差异(图6)。其中广元、资阳、广安和雅安与盆地整体情况不同,广元 and 资阳以 $O_3$ 为首要污染物出现频率最高,其次是 $PM_{10}$ ;广安以 $O_3$ 为首要污染物出现频率最高,其次是 $PM_{2.5}$ ;雅安以 $PM_{2.5}$ 为首要污染物出现频率最高,其次是 $PM_{10}$ 。其中自贡和宜宾以 $PM_{2.5}$ 作为首要污染物出现频率超过50%,分别为60.4%和50.7%; $O_3$ 作为首要污染物出现的频率仅次于 $PM_{2.5}$ ,以 $O_3$ 为首要污染物出现频率较高的是资阳和眉山,分别为35.7%和34.2%;以 $PM_{10}$ 为首要污染物出现频率最高的是资阳,为29.0%。部分城市有出现以 $NO_2$ 和 $SO_2$ 为首要污染物的情况,其中以 $NO_2$ 为首要污染物出现频率最高的是重庆,为11.3%;以 $SO_2$ 作为首要污染物的城市较少,仅雅安和资阳各出现1天以 $SO_2$ 作为首要污染物的天气。四川盆地18个城市除广元、广安和资阳以 $O_3$ 作为首要污染物出现频率最高外,其他城市均以 $PM_{2.5}$ 作为首要污染物出现频率最高。

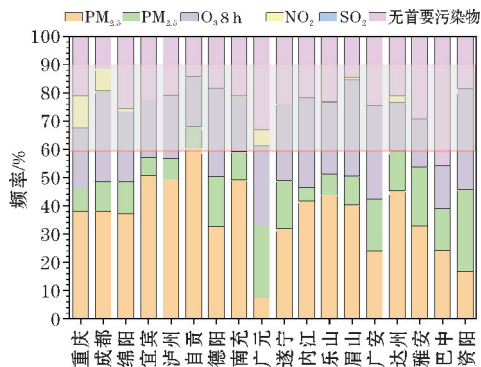


图6 四川盆地18个城市不同首要污染物的出现频率

四川盆地18个城市以 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 以及 $O_3$ 作为首要污染物出现的频率较高,因此针对各月四川盆地以 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 以及 $O_3$ 作为首要污染物出现频率进行统计分析,结果如图7所示。2015-2018年四川盆地10-3月主要以 $PM_{2.5}$ 作为首要污染物,4-9月主要以 $O_3$ 作为首要污染物。以 $PM_{2.5}$ 、 $O_3$ 作为首要污染物出现频



率的月变化均呈单峰型分布,但曲线形态相反。以  $\text{PM}_{2.5}$  作为首要污染物出现频率的月变化呈 U 型分布,1 月频率最高,频率高达 80.1%,7 月最低,频率为 4.2%;以  $\text{O}_3$  作为首要污染物出现频率的月变化呈倒 U 型分布,7 月频率最高,频率为 64.9%,12 月和 1 月最低。以  $\text{PM}_{10}$  作为首要污染物出现频率的月变化呈双峰型分布,1 月开始以  $\text{PM}_{10}$  作为首要污染物出现的频率缓慢上升,在 3 月出现频率最大值(22.6%),随后频率减小至 8 月出现频率最小值(4.0%),8 月后频率缓慢上升,至 11 月出现次峰值(19.5%),之后频率减小至次年 1 月。

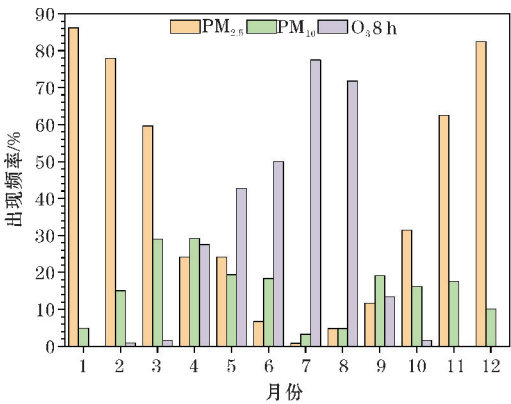


图 7 2015-2018 年四川盆地首要污染物出现频率的逐月分布

### 3 AQI 时空分布特征

#### 3.1 AQI 月变化

四川盆地 AQI 月变化曲线大致呈 U 型,冬春季高,夏秋季低(图 8)。12 月和 1 月 AQI 较高,尤其是 1 月,AQI 为 119,其中,2015 年 1 月达州和自贡 AQI 均大于 190,分别为 192 和 191。1 月之后 AQI 逐月下降,9 月 AQI 最低,为 45,其中,2015 年 9 月雅安和 2017 年 9 月巴中 AQI 最低,均为 35。9 月后 AQI 迅速上升。AQI 存在明显的季节性规律,整体上秋季 AQI 较小,冬季 AQI 较大,春夏季变化不大。春、夏、秋、冬季 AQI 平均值分别为 77、70、62、107,冬季 AQI 显著高于其他季节,其中,2015 年达州冬季 AQI 高达 136,2017 年巴中秋季 AQI 最低,为 38。夏季 AQI 高于秋季可能与夏季  $\text{O}_3$  污染较为严重有关。原因是夏季高温有利于光化学反应,使得  $\text{O}_3$  浓度增加,且夏季的首要污染物以  $\text{O}_3$  为主,促进  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、VOCs 等气态污染物向  $\text{PM}_{2.5}$  转化,引起 AQI 升高<sup>[34]</sup>。

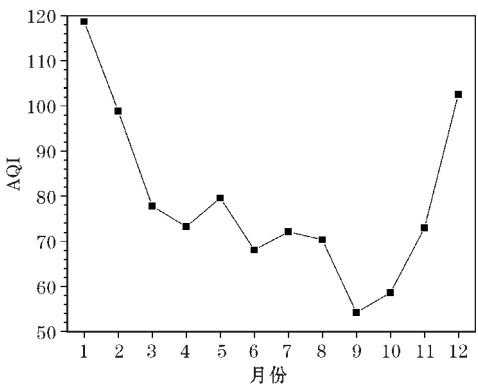


图 8 2015-2018 年四川盆地 AQI 逐月分布

#### 3.2 AQI 的空间分布

由于四川盆地 18 个城市社会经济发展状况、城市化程度不同以及地形地理条件的差异,AQI 的分布存在着一定的空间差异(图 9)。年平均 AQI 高值区主要集中在盆地西部和南部地区,这些地区城镇化发展较快,人口密度大,工业发达。其中年平均 AQI 最大值出现在自贡,为 98,其次是成都,年平均 AQI 为 92,眉山和德阳年平均 AQI 为 86。年平均 AQI 低值区主要集中在盆地东北部地区以及雅安,最小值出现在巴中(年平均 AQI 为 59),其次是广元(年平均 AQI 为 63)。其中,位于盆地边沿的巴中、广元和雅安三市 AQI 小于 70,大气污染程度相对较轻(图 4),可能原因是其海拔高度相对较高(>500m),植被的覆盖率相对较高,对大气污染的自然净化能力较强,人口密度也相对较小。

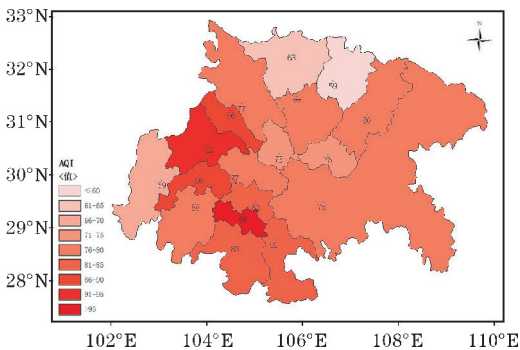


图 9 2015-2018 年四川盆地年平均 AQI 空间分布

#### 3.3 空间分布的季节差异

从 AQI 的季节分布来看(图 10),AQI 存在明显的季节性规律,整体上秋季 AQI 较小,冬季 AQI 较大。四季 AQI 空间分布特征与全年基本一致,即呈现出西南中部地区 AQI 高于东北部地区,但不同季节略有差异。春季 AQI 高值区集中在自贡、成都、眉山,低值区

位于巴中、雅安、广元,最大值出现在自贡,为 93,最小值在巴中,为 57。夏季 AQI 高值区发生变化,主要集中在成都、眉山、德阳,AQI 最大值出现在成都,为 88;低值区与年平均 AQI 分布一致,最小值在巴中,为 51。从春季到夏季除重庆和广安外,其余 16 个城市 AQI 均有不同程度的减少,其中自贡和宜宾 AQI 减少最为明显(自贡由春季 93 减少至夏季 75;宜宾由春季 80 减少至夏季 66)。秋季 AQI 高值区和低值区与年平均 AQI 分布较为一致,西南中部地区 AQI 高于盆地东北部地区,AQI 最大值和最小值仍然在自贡和巴中,分别

为 83 和 44。值得注意的是,自贡、雅安和宜宾 3 个城市从夏季到秋季 AQI 是增加的,表明这 3 个城市 AQI 最小值出现在夏季。冬季 AQI 骤然增大,有 11 个城市 AQI 大于 100(成都、绵阳、宜宾、泸州、自贡、德阳、南充、内江、乐山、眉山和达州),并且 AQI 高值区与年平均 AQI 有差异,主要集中在自贡、达州、宜宾,但最大值仍然为自贡,AQI 高达 141,达州 AQI 也高达 122;低值区主要集中在广元、巴中和遂宁,最小值出现在广元,为 76。

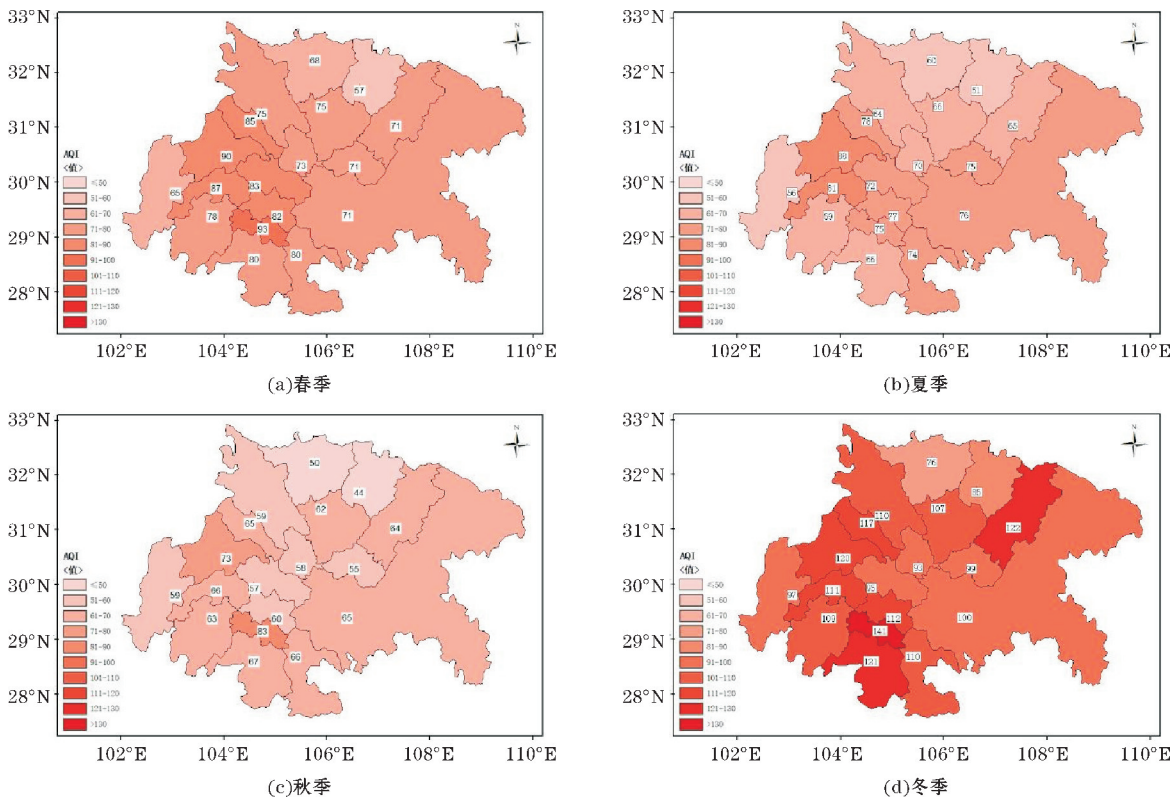


图 10 2015–2018 年四川盆地各季节 AQI 空间分布

4 主要污染物质量浓度时空分布

2015–2018 年四川盆地以  $PM_{2.5}$ 、 $O_3$ 、 $PM_{10}$  为首要污染物出现的频率较高,将 3 类大气污染物作为主要污染物统计分析其质量浓度的时空分布特征。

4.1 主要污染物浓度的空间分布

不同污染物的质量浓度空间分布存在显著差异。如图 11(a~b)所示,四川盆地  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  为主要超标污染物,18 个城市中只有广元和巴中  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  年平均质量浓度均未超过国家二级标准(分别为

$35\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>[5]</sup>,其余城市均超过国家二级标准,且 2 种污染物年均质量浓度的空间分布较为一致。 $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  年均质量浓度最大值均出现在自贡(分别为 $67.6\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $95.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),其次是成都(分别为 $55.2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $91.9\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  年均质量浓度最小值分别出现在广元和巴中(分别为 $23.8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $54.9\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。如图 11(c)所示, $O_3$  质量浓度高值区较为集中,主要分布在盆地西部资阳、眉山和成都,这与李波兰等<sup>[35]</sup>对四川省臭氧时空分布特征的分析结果一致。 $O_3$  年均质量浓度最大值出现在资阳( $100.8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),最小值在巴中( $69.4\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

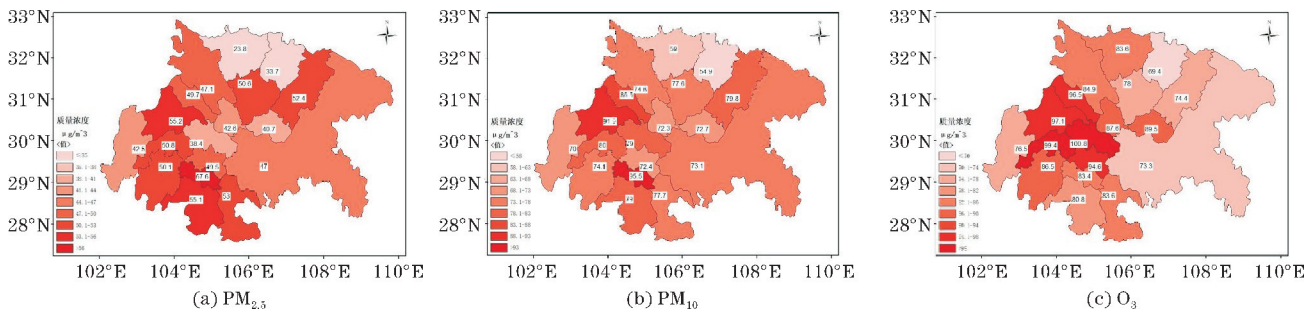


图 11 2015–2018 年四川盆地 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 质量浓度年平均值的空间分布

4.2 主要污染物浓度的时间变化

近 4 年四川盆地 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 平均质量浓度均超过国家二级标准,分别为 47.2 μg/m<sup>3</sup> 和 76.1 μg/m<sup>3</sup>, O<sub>3</sub> 平均质量浓度为 85.5 μg/m<sup>3</sup>。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 的质量浓度均有不同程度的下降,如图 12 所示,年均质量浓度分别由 2015 年 51.4 μg/m<sup>3</sup> 和 81.8 μg/m<sup>3</sup> 下降至 2018 年 40.4 μg/m<sup>3</sup> 和 66.8 μg/m<sup>3</sup>,只有 2018 年 PM<sub>10</sub> 年均质量浓度未超过国家二级标准。2015–2018 年 O<sub>3</sub> 年均质量浓度呈逐年上升,由 79.5 μg/m<sup>3</sup> 上升至 90.5 μg/m<sup>3</sup>。

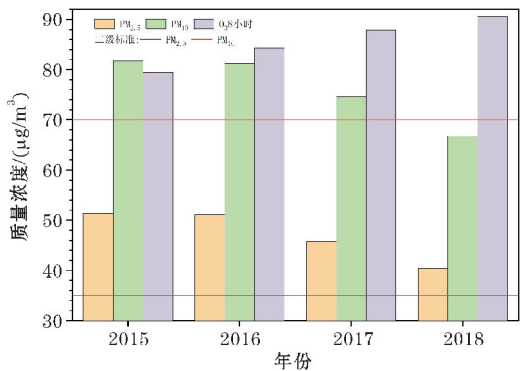


图 12 2015–2018 年四川盆地 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 质量浓度的年平均

主要污染物质量浓度的月变化均呈单峰型分布,但不同污染物的峰谷值发生时间不同,且曲线形态存在差异(图 13)。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 质量浓度的月变化曲线均呈 U 型分布,冬季最高,夏季最低,与 AQI 月均值分布较为一致(图 8)。PM<sub>2.5</sub> 质量浓度最大值和最小值分别在 1 月和 7 月,质量浓度的月均值分别为 87.5 μg/m<sup>3</sup> 和 26.9 μg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> 质量浓度最大值和最小值分别在 1 月和 9 月,质量浓度的月均值分别为 127.0 μg/m<sup>3</sup> 和 47.3 μg/m<sup>3</sup>,在 5 月颗粒物质量浓度均有略微增加。O<sub>3</sub> 质量浓度的月变化曲线则呈倒 U 型分布,夏季最高,春秋季节次之(春季>秋季),冬季最低,质量浓度最大值和最小值分别在 7 月和 12 月,质量浓度的月均值分别为 120.6 μg/m<sup>3</sup> 和 43.4 μg/m<sup>3</sup>。颗粒

物浓度冬季较高,一方面是因为冬季气温较低,低层靠近地面易形成辐射逆温,从而不利于污染物扩散<sup>[26]</sup>;另一方面,冬季是采暖期,其污染物源强大于非采暖期污染源排放量较大<sup>[36]</sup>,使得颗粒物浓度较高。而 O<sub>3</sub> 夏季浓度高的原因主要是夏季气温较高、辐射强、气压低,有利于 O<sub>3</sub> 的前体物经过光化学反应形成 O<sub>3</sub> 并积累<sup>[18]</sup>。

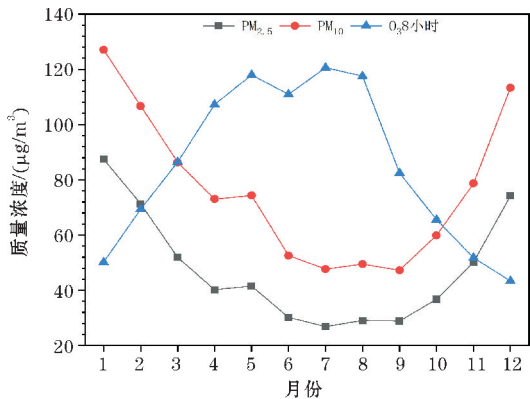


图 13 2015–2018 年四川盆地 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 O<sub>3</sub> 浓度的月变化

5 结束语

2015–2018 年四川盆地环境空气质量总体趋于好转, AQI 呈逐年减小的趋势。盆地空气质量具有明显的季节性变化特征,冬季空气质量最差, AQI 相对最高,其次是春季、夏季,秋季空气质量最好, AQI 相对较小。AQI 高值区集中在盆地西部和南部地区,以自贡和成都为高值中心,低值区主要在盆地东北部地区,广元和巴中 AQI 最低。

四川盆地首要污染物以 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub> 为主。以 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 为首要污染物出现的频率逐年减少,而以 O<sub>3</sub> 为首要污染物出现的频率逐年增加。以 O<sub>3</sub> 为主要污染物的光化学污染逐步成为盆地越来越重要的污染形式。首要污染物出现频率还具有季节性差异,以 PM<sub>2.5</sub> 为首要污染物出现的频率冬季最高,夏季最低;以 PM<sub>10</sub> 为首要污染物出现的频率春季最高,夏季最低;以 O<sub>3</sub> 为首要污染物出现的频率夏季最高,冬季最



低。

四川盆地主要污染物质量浓度年平均值的空间分布存在差异。 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 为四川盆地主要超标污染物,18个城市中仅广元和巴中未超过国家二级标准。其中自贡和成都的 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 年均质量浓度最大。 $O_3$ 质量浓度高值区较为集中,主要分布在盆地西部资阳、眉山和成都,年平均浓度资阳最大,巴中最小。2015–2018年 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 年均质量浓度均呈下降趋势,而 $O_3$ 年均质量浓度呈上升趋势。主要污染物质量浓度具有明显的季节性差异, $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 质量浓度冬季高,夏季低; $O_3$ 质量浓度夏季最高,冬季最低。

## 参考文献:

- [1] 白莹莹,张德军,杨世琦,等.川渝地区雾霾时空分布特征及影响因子分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2018,43(11):112–119.
- [2] 郭晓梅,陈娟,赵天良,等.1961–2010年四川盆地霾气候特征及其影响因子[J].气象与环境学报,2014,30(6):100–107.
- [3] 李小飞,张明军,王圣杰,等.中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J].环境科学,2012,33(6):162–169.
- [4] Lei YE,Xiangjun O U. Spatial-temporal Analysis of Daily Air Quality Index in the Yangtze River Delta Region of China During 2014 and 2016[J]. Chinese Geographical Science,2019,29(3):22–33.
- [5] GB 3095–2012,环境空气质量标准[S].
- [6] 杨佳,葛馨,吴起鑫.贵阳市主城区空气质量指数时空分布特征[J].长江流域资源与环境,2018,27(8):176–184.
- [7] 杨旭,张小玲,康延臻,等.京津冀地区冬半年空气污染天气分型研究[J].中国环境科学,2017,37(9):3201–3209.
- [8] Bridgman H A,Davies T D,Jickells T,et al. Air pollution in the Krusne Hory region,Czech Republic during the 1990s[J]. Atmospheric Environment,2002,36(21):3375–3389.
- [9] Zee S C V D,Hoek G,Harssema H,et al. Characterization of particulate air pollution in urban and non-urban areas in the Netherlands[J]. Atmospheric Environment,1998,32(21):3717–3729.
- [10] 贺冉冉,朱兰保,周开胜.基于时间序列模型残差的中国东部地区空气质量指数(AQI)空间自相关特征分析[J].环境科学学报,2017,37(7):2459–2467.
- [11] 袁博,肖苏林,蒋大和.我国城市群空气污染及其季节变化特点[J].环境科技,2009,22(S1):102–106.
- [12] 赵学鹏,孜比布拉·司马义,冯刚,等.乌鲁木齐城市群城市间大气污染相互影响分析[J].环境工程,2017,35(7):96–100+64.
- [13] 边沁,王宇红,李盛,等.2001–2016年兰州市空气质量时空变化特征[J].环境与健康杂志,2017,34(11):995–998.
- [14] 李婷,麦戈,刘永红,等.近年来广州市环境空气质量变化趋势分析[J].安全与环境学报,2013,13(1):124–128.
- [15] 晏彩霞,周旋,张华敏,等.南昌市环境空气污染时空变化特征及影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2019,28(6):1446–1459.
- [16] 刘昕,辛存林.陕甘宁地区城市空气质量特征及影响因素分析[J/OL].环境科学研究:1–16,2019–12–13. <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2019.05.16>.
- [17] 邱海杰,周仨,周辉,等.2018年沙尘天气对随州空气质量的影响分析[J].环境科学与技术,2019,42(S1):159–162.
- [18] 李晓宇,璩向宁,赵希妮,等.银川市大气污染物变化特征及影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2018,32(3):28–33.
- [19] 陈优良,陶天慧,刘新意.环鄱阳湖城市群空气质量时空分布[J].环境污染与防治,2018,40(12):1418–1424.
- [20] 付宏臣,孙艳玲,王斌,等.基于AOD数据和GWR模型估算京津冀地区 $PM_{2.5}$ 浓度[J].中国环境科学,2019,39(11):4530–4537.
- [21] 刘培川,罗彬,张巍,等.四川盆地城市细颗粒物污染特征分类分析研究[J].四川环境,2019,38(2):53–57.
- [22] 郑美秀,周学鸣.厦门空气污染指数与地面气象要素的关系分析[J].气象与环境学报,2010,26(3):53–57.
- [23] 肖建能,杜国明,施益强,等.厦门市环境空气污染时空特征及其与气象因素相关分析[J].环境科学学报,2016,36(9):3363–3371.
- [24] 李思其,杜海波,吴正方,等.京津冀鲁豫地区空气质量变化特征及其气象驱动因素研究[J].环境污染与防治,2018,40(12):1431–1435.

- [25] 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,1995,15(3):28-30.
- [26] 李培荣,向卫国. 四川盆地逆温层特征对空气污染的影响[J]. 成都信息工程大学学报,2018,33(2):220-226.
- [27] 高明,郭施宏,夏玲玲. 福州市城市化进程与大气污染关系研究[J]. 环境污染与防治,2015,37(5):56-61.
- [28] 李茜,宋金平,张建辉,等. 中国城市化对空气质量影响的演化规律研究[J]. 环境科学学报,2013,33(9):2402-2411.
- [29] 肖悦,田永中,许文轩,等. 中国城市大气污染特征及社会经济影响分析[J]. 生态环境学报,2018,27(3):518-526.
- [30] HJ 633-2012,环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)[S].
- [31] HJ 663-2013,环境空气质量评价技术规范(试行)[S].
- [32] 王晓彦,王帅,朱莉莉,等. 2014-2016年京津冀沿山城市空气质量首要污染物特征分析[J]. 环境科学,2018,39(10):4422-4429.
- [33] 马敏劲,谭子渊,陈玥,等. 近15a兰州市空气质量变化特征及沙尘天气影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2019,55(1):33-41.
- [34] 黄小刚,邵天杰,赵景波,等. 长江经济带空气质量时空分布特征及影响因素的季节差异[J/OL]. 中国环境科学, <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20191016.001>, 2019.
- [35] 李波兰,罗彬,张巍,等. 四川省臭氧时空分布特征及污染特征分析[J]. 环境科学与技术,2018,41(S1):293-298.
- [36] 毛红梅,张凯山,第宝锋,等. 成都市大气污染物排放清单高分辨率的时空分配[J]. 环境科学学报,2017(1).

## Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Air Quality in Urban Agglomeration of Sichuan Basin

WEI Shimin<sup>1</sup>, FENG Xinyuan<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhengzi<sup>1</sup>

(1. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Meteorology and Health, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** Based on the air quality index(AQI) and the monitoring data of the mass concentration of six air pollutants in 18 cities of Sichuan Basin during 2015-2018, the temporal and spatial distribution characteristics of the air quality status, AQI and pollutants mass concentration were analyzed in urban agglomerations of Sichuan Basin. Results indicate that the ambient air quality in the Sichuan Basin has generally improved, and the AQI has been decreasing year by year, but the air quality is still poor in winter from 2015 to 2018. The seasonal variation of air quality is obvious, with the highest AQI in winter, high frequency of pollution days, and the lowest AQI in autumn, with relatively few pollution days. The high-value areas of AQI are concentrated in the western and southern areas of the basin, with Zigong and Chengdu as the high-value centers, and the low-value areas are mainly in the northeast of the basin. The primary pollutants in the Sichuan Basin are mainly  $PM_{2.5}$ ,  $O_3$  and  $PM_{10}$ . However, the frequency of  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  as the primary pollutant are decreasing year by year, and the frequency of  $O_3$  as the primary pollutant is increasing year by year. Therefore, photochemical pollution is becoming an important form of pollution in the basin. The concentration of the major pollutants has obvious seasonal variation, and the seasonal variation and spatial distribution of mass concentration of different pollutants are different.

**Keywords:** ambient air quality; AQI; primary pollutants; temporal and spatial distribution; urban agglomerations of Sichuan Basin