

# Analysis of Air Pollution and Meteorological Characteristics in Autumn and Winter in Chengdu Plain Area

Yanchen Fan

Chengdu University of Information Technology, CUIT, Chengdu Sichuan  
Email: fanyanchencuit@outlook.com

Received: Oct. 14<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 30<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 6<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Using daily air pollution and meteorological elements data of Chengdu plain from January 1, 2014 to February 28, 2017, the temporal and spatial distribution characteristics of air pollution and meteorological factors were studied. Combined with the correlation between the two, influence of meteorological conditions on pollutants concentrations was analyzed, and the main factors were extracted by principal component analysis in this article. Statistic results showed that: 1) In Chengdu plain, the air quality was best in autumn and worst in winter. PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> were the primary pollutants. On the whole, the air quality in Chengdu was the worst, and Mianyang and Ziyang are better. 2) In Chengdu plain, smaller average wind velocity, higher static wind frequency and lower rainfall in both autumn and winter, especially in winter, suppressed the diffusion of pollutants. The average vapor pressure, mean air pressure and other meteorological elements had a significant impact on air pollution.

## Keywords

Chengdu Plain City, Atmospheric Pollutants, Pollution Meteorological Characteristics

---

# 成都平原地区秋冬季节空气污染及其气象特征分析

范晏辰

成都信息工程大学, 四川 成都  
Email: fanyanchencuit@outlook.com

收稿日期: 2019年10月14日; 录用日期: 2019年10月30日; 发布日期: 2019年11月6日

## 摘要

本文采用2014年1月1日~2017年2月28日成都平原逐日空气污染数据和气象观测资料,对成都平原空气污染、气象要素进行了时空分布特征研究,结合两者的相关性,进而分析气象要素对空气污染的影响,并通过主成分分析提取其中主要因子。结果表明:成都平原秋、冬季空气质量分别为全年的最优和最差,主要污染物为PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>。总体上,成都空气质量最差,绵阳、资阳较好;成都平原秋/冬季平均风速小,静小风频率高,降水量少,不利于污染物扩散,冬季尤为突出。平均水汽压、平均气压等气象要素对空气污染状况有显著影响。

## 关键词

成都平原城市, 大气污染物, 污染气象特征

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

据中国环境监测总站发布的《2015 中国环境状况公报》[1]显示,2015 年全国 338 个地级以上城市空气质量仅有 73 个城市环境空气质量达标,可见我国空气污染形势严峻;超标天数中首要污染物以 PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub> 和 PM<sub>10</sub> 居多。空气污染严重危害了人体健康,造成人们呼吸道疾病患病率上升,对气候也有十分显著的影响。随着经济发展与生活质量的提高,人们愈加重视所处的大气环境,各类针对区域性空气污染的研究陆续展开。

李金香等剖析北京秋冬季 44 个严重空气污染个案,说明气象要素在污染发生、持续和结束过程中的主导作用[2]。赵敬国等研究兰州市空气污染变化特征,主要分析风速、降水量、温度等地面常规气象因素及城市热岛效应对空气污染物质量浓度的影响[3]。曲晓黎等研究发现石家庄市空气质量分布的季节变化明显,并进行了 500 hPa 典型污染日天气型划分[4]。廉丽姝等以济南、青岛市为例,利用相关分析法对 API 与气象因子的相关性进行了分析,不同季节空气质量影响因子不相同,其中气温、风速和相对湿度起主要作用[5]。冯宏芳等分类讨论了气象因素与非气象因素对福州污染物浓度时空分布的影响[6]。柴根成、刘翠玲等提供了地面污染气象条件分析方法的参考[7] [8]。冯良敏等针对成都 2012 年发生的 13 次典型 PM<sub>10</sub> 污染过程,研究发现其与从高层西北气流、中低层垂直运动弱且存在逆温层的关系密切[9]。张娟等分析了 2014 年成都市大气污染特征及气象因子,并对同年一次重污染过程进行了个例分析[10]。上述研究结果表明污染物浓度分布不仅与排放条件有关,还与局地污染气象条件密切相关。目前,大气污染物特征研究主要集中于京津冀、长三角、珠三角城市群,而其他城市仍需因地制宜,进行相关研究,比如雾霾重灾区的成都、德阳等成都平原地区城市,对通过污染气象研究提出环境整治措施的需求迫切。

成都平原工业产区密集,城市人口、机动车保有量、工业废气排放随经济高速发展而激增,而成都平原地区地面风速较小,水平输送能力弱,大气层结稳定度高,不利污染物扩散,导致空气污染事件多发。本文主要分析秋冬季成都平原气象要素分布特征及层结状况对空气污染的影响,研究结果可为成都平原空气污染过程的污染防治和预报提供理论依据和研究参考。

## 2. 资料来源与方法

### 2.1. 资料来源

1) 2014年1月1日~2017年2月28日成都、德阳、绵阳空气环境监测资料, 2015年1月1日~2017年2月28日眉山、资阳, 以及各监测站的AQI、PM<sub>2.5</sub>(mg·m<sup>-3</sup>)、PM<sub>10</sub>(mg·m<sup>-3</sup>)、CO(μg·m<sup>-3</sup>)、O<sub>3</sub>(mg·m<sup>-3</sup>)、NO<sub>2</sub>(mg·m<sup>-3</sup>)逐日数据。

2) 中国气象数据网地面气候资料日值数据集, 成都、德阳、绵阳、眉山、资阳的地面气象要素资料, 包括风向、平均风速(m·s<sup>-1</sup>)、平均气压(hPa)、日照时数(h)、平均气温(°C)、平均水汽压(hPa)、20-20时降水量(mm)、平均相对湿度(%RH)。

### 2.2. 研究方法

#### 1) 成都平原空气污染特征分析

分析各城市AQI年、季节(根据成都平原的气候要素分布状况, 将全年划分为春季、夏季、秋季、冬季), 分析月变化特征, 针对秋、冬季污染状况分别为全年最轻、最严重的现象, 进一步着重对比分析秋、冬季污染状况, 比较五个城市, 得到空气污染时空分布特征。

#### 2) 秋冬季空气污染特征与地面气象要素的关系

##### a. 地面风向对污染物浓度的影响

采用中国气象数据网地面气候资料日值数据集风向资料, 统计成都、绵阳2014~2016年秋、冬季PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>的平均质量浓度随风向变化曲线图, 分析地面风向对污染物浓度的影响。

##### b. 地面风速对污染物浓度的影响

采用中国气象数据网地面气候资料日值数据集平均风速资料, 统计成都、绵阳2014~2016年秋、冬季月平均风速变化和静、小风出现的频率。绘制PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>的平均质量浓度随风速变化柱形图, 结合成都平原秋、冬季静小风的原因, 分析地面风速对污染物浓度的影响。

##### c. 地面降水量对污染物浓度的影响

采用中国气象数据网地面气候资料日值数据集20-20时降水量资料, 统计成都、绵阳2014~2016年秋、冬季月平均降水量变化, 绘制PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>的平均质量浓度随温度变化柱形图, 分析地面温度对污染物浓度的影响及原因。

##### d. PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>质量浓度与地面常规气象因素的相关分析

运用SPSS软件分别分析2014~2016年成都、绵阳秋冬季污染物(成都主要分析PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>, 绵阳主要分析PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>)日平均质量浓度与地面常规气象要素的相关性, 并通过显著性检验来确定各气象要素浓度变化的影响程度。计算相关系数的公式如下:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (1)$$

## 3. 成都平原空气污染特征分析

### 3.1. AQI变化特征

#### 3.1.1. AQI年际变化趋势

定义空气质量等级是优、良两档的天数所占比例为良好率。表1为成都平原五个城市2014~2016年

逐年各级空气质量等级所占比例及良好率分布。统计结果表明,成都平原一年中平均有 253 天空气质量良好,污染状况以轻度污染为主的平均有 78 天,占全年的 21.48%,严重污染极少见,仅成都和眉山监测到。比较五个城市空气质量良好率年平均值,可见绵阳空气质量相对最好,其次为资阳,而成都最低。另外,由 AQI 年际变化可见 2015 年绵阳空气质量良好率高达 83.20%,较 2014 年同期增长 32 天,显示了当地开展的城区工业燃煤锅炉企业整治及秸秆禁烧与综合利用工作颇有成效。

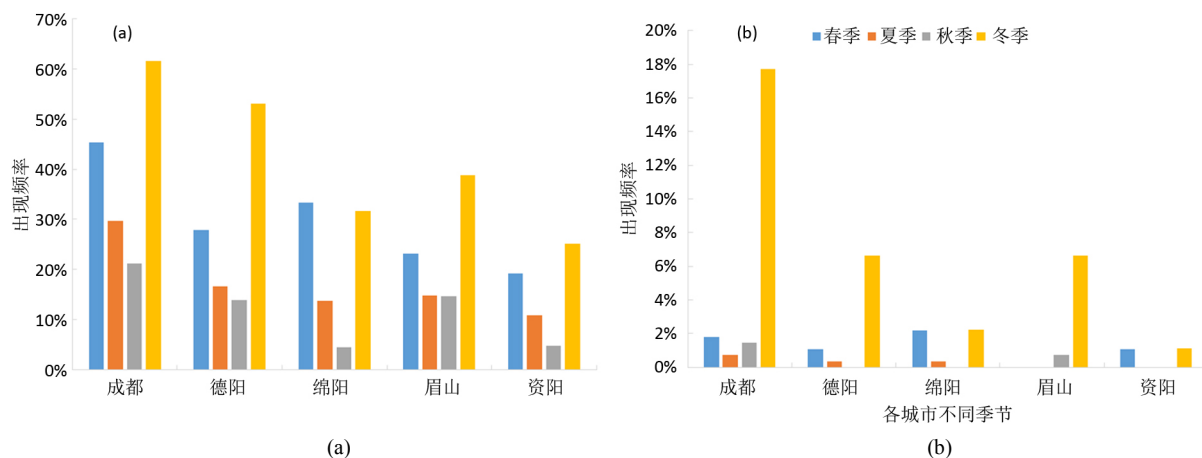
**Table 1.** Days and good rate distribution of air quality grades in five cities from 2014 to 2016

**表 1.** 五个城市 2014~2016 年各空气质量等级所占天数及良好率分布

城市	项目	各级空气质量所占天数/d						良好率/%
		优	良	轻度污染	中度污染	重度污染	严重污染	
成都	2014	14	204	75	29	29	6	61.06
	2015	25	186	108	21	21	1	58.29
	2016	27	187	104	35	13	0	58.47
	平均值	22	192	96	28	21	2	59.27
德阳	2014	80	185	52	25	22	1	72.60
	2015	63	197	67	22	7	0	73.03
	2016	66	182	88	27	3	0	67.76
	平均值	70	188	69	25	11	0	71.13
绵阳	2014	81	189	67	19	9	0	73.97
	2015	96	206	47	10	4	0	83.20
	2016	88	191	65	19	3	0	76.23
	平均值	88	195	60	16	5	0	77.80
眉山	2015	39	190	96	24	14	0	63.09
	2016	31	216	95	19	5	0	67.49
	平均值	35	203	96	22	10	0	65.29
资阳	2015	65	218	63	13	1	0	78.61
	2016	49	220	87	6	3	1	73.50
	平均值	57	219	75	10	2	1	76.05
总平均值		56	198	78	21	10	1	69.79

### 3.1.2. AQI 季节变化特征

2014 年 3 月至 2017 年 3 月成都平原五个城市达轻度污染等级以上 AQI 的季节变化情况,如图 2 所示。图 1(a)为各城市轻度污染以上出现频率季节变化情况,可见冬季出现空气污染的天数最多,其中成都污染状况最严重;其次是春季,夏、秋季污染发生频率相比较小。图 1(b)各城市重度污染以上出现频率季节变化情况,可见冬、春季污染状况较严重,夏、秋季较好,就污染最严重的城市成都而言,冬季重度以上空气污染出现频率达 17.7%,而夏季仅为 0.7%,季节差异显著。绵阳、资阳则相对空气污染程度较轻。

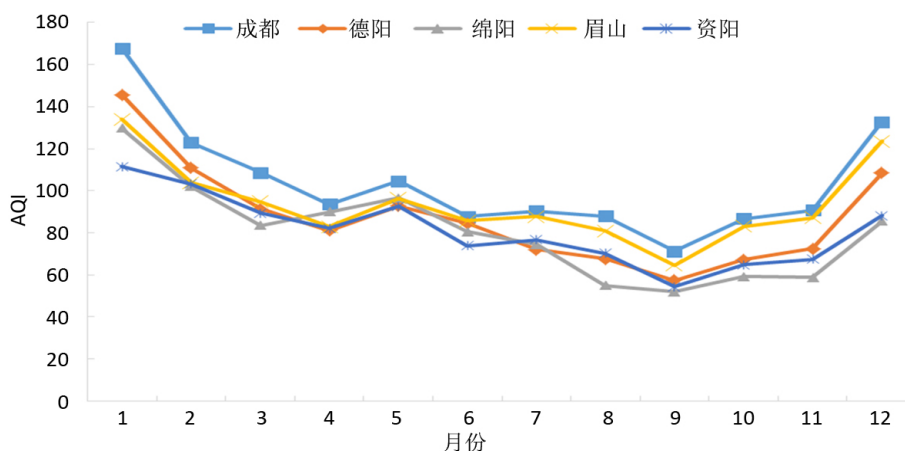


**Figure 1.** (a left) seasonal variation of frequency above light pollution; (b) seasonal variation of frequency above severe pollution  
**图 1.** (a 左) 轻度污染以上出现频率季节变化; (b) 重度污染以上出现频率季节变化

综上所述，成都平原冬、春季空气质量较差，夏、秋季稍好，AQI 季节变化特征显著，故选择秋、冬季为对照，研究成都平原气象要素分布特征及层结状况对空气污染的影响。

### 3.1.3. AQI 月变化特征

成都平原五市 2014 年 3 月~2017 年 3 月 AQI 月均值分布如图 2 所示。各城市 AQI 月变化趋势大致相同，12、1 月为峰值区，对应空气质量最差，夏季受高浓度臭氧影响，AQI 低值出现在 9 月。此结果与上述 AQI 季节变化特征：秋、冬季空气质量的反差吻合。对比各城市，成都 AQI 月均值曲线明显高于其他各市，说明空气质量整体最差，而 1~6 月、7~12 月空气质量最好的城市分别为资阳、绵阳。



**Figure 2.** Monthly average of AQI for each month in five cities in Chengdu Plain  
**图 2.** 成都平原五个城市各月份 AQI 月均值

## 3.2. 秋冬季污染特征分析

### 3.2.1. 首要污染物

成都平原五个城市 2014~2016 年(眉山和资阳为 2015~2016 年)秋、冬季节空气质量为良及以上，各类污染物作为首要污染物的出现频率，如图 3 所示。

由图 3 可见，成都 2014~2015 年秋季首要污染物主要为  $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 、 $PM_{10}$ ，2016 年秋季出现  $O_3$  污染；冬季首要污染物是  $PM_{2.5}$ 、 $NO_2$ 、 $PM_{10}$ ；同时，相比秋季，冬季  $PM_{2.5}$  在首要污染物中占的比重较大。

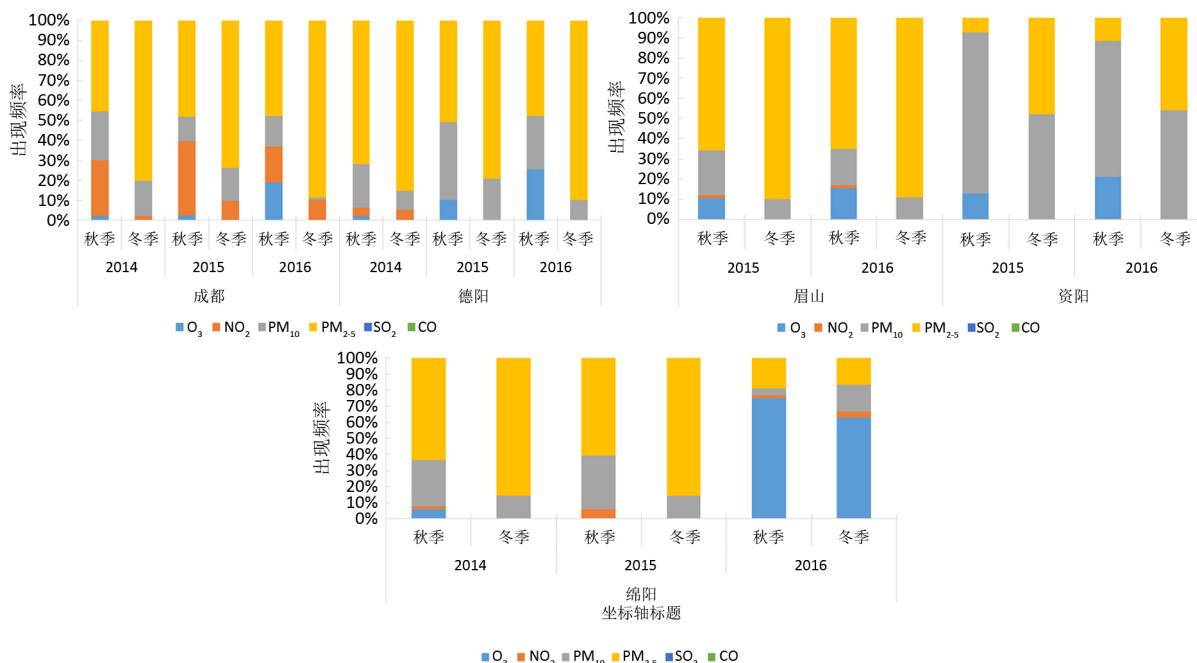


Figure 3. Primary pollutant frequency  
图 3. 首要污染物出现频率

成都汽车保有量居全国前列，尾气排放量较高，故二氧化氮污染占较大比重。德阳 2014 年秋、冬季首要污染物主要是 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>。2015 年，自 2015 年起 NO<sub>2</sub> 不再作为首要污染物出现，秋季首要污染物为 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>，冬季则为 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub>；同时，相比秋季，冬季 PM<sub>2.5</sub> 在首要污染物中占的比重较大。绵阳 2014~2015 年秋、冬季首要污染物主要是 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub>，秋季出现少量 NO<sub>2</sub> 及 O<sub>3</sub> 污染；相比秋季，冬季 PM<sub>2.5</sub> 在首要污染物中占的比重较大。2016 年秋冬出现明显 O<sub>3</sub> 污染过程，其作为首要污染物出现频率分别为 75% 和 63%。究其原因，臭氧是大气中的 NO<sub>x</sub> 和 VOCs 等前体物质在高温光照条件下发生转化形成的二次污染物[11]，因此夏季臭氧污染最严重，春秋次之，冬季最少。下半年绵阳空气质量好转，光照增强，臭氧浓度升高，故空气质量虽然良好，首要污染物多为臭氧八小时，秋季较冬季频率高。眉山 2015~2016 年秋季首要污染物主要是 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>，冬季则为 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>。同时，相比秋季，冬季 PM<sub>2.5</sub> 在首要污染物中占的比重较大。资阳 2015~2016 年秋季首要污染物主要是 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、O<sub>3</sub>，冬季则为 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>。同时，相比秋季，冬季 PM<sub>2.5</sub> 在首要污染物中占的比重较大。

综上所述，受秸秆集中焚烧、北方沙尘天气等和秋冬季不利污染气象条件影响，成都平原秋、冬季多出现颗粒物污染(PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) [12] [13]，故下文将主要分析这气象要素分布特征与这两种污染物浓度变化之间的联系。

### 3.2.2. 空气污染空间分布特征

利用 2014 年 3 月~2017 年 3 月(眉山和资阳为 2015 年 3 月至 2017 年 3 月)污染物浓度逐日监测数据计算秋、冬季 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 平均质量浓度，结果如表 2 所示。

结合各城市地理位置，2014~2016 年成都平原秋、冬季 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 平均质量浓度在空间上都表现为成都为高值区，即空气污染最严重，而距成都较远的绵阳、资阳污染程度相对较轻。PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 主要源于建筑扬尘、道路扬尘及工业点源排放[14]，故成都平原 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 质量浓度的空间分布特征与各城市工业状况有关。故下文选取绵阳、成都两市，分析秋冬季污染气象特征。

**Table 2.** Average mass concentration of pollutants in five cities in Chengdu Plain in autumn and winter/( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )  
**表 2.** 成都平原五个城市污染物秋冬季平均质量浓度/( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

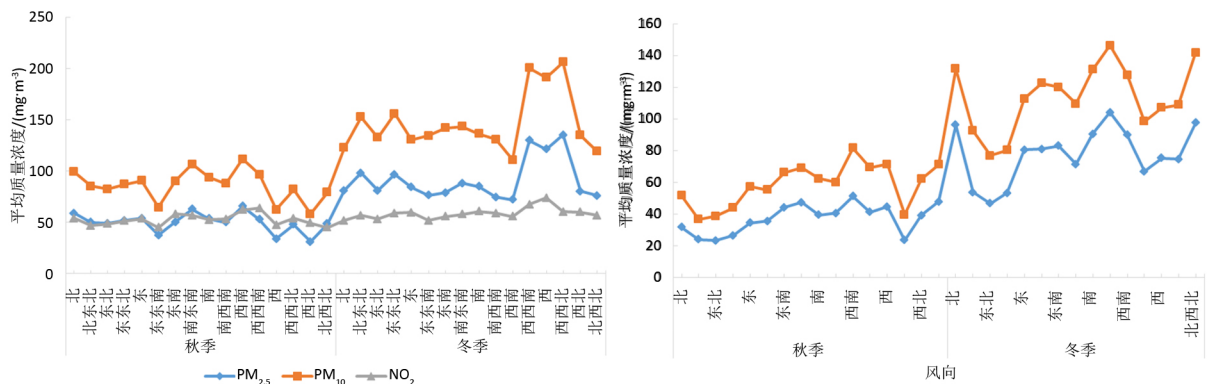
城市	季节	污染物秋冬季平均质量浓度/( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	
		PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
成都	秋季	53.68	91.29
	冬季	96.83	153.64
德阳	秋季	42.36	69.34
	冬季	84.41	128.94
绵阳	秋季	37.98	59.36
	冬季	77.86	112.08
眉山	秋季	53.70	83.35
	冬季	89.63	128.90
资阳	秋季	33.08	73.08
	冬季	65.38	128.27

#### 4. 秋冬季空气污染特征与地面气象要素的关系

##### 4.1. 地面风向对污染物浓度的影响

如图 4(a)所示,成都秋季三种污染物质量浓度随风向变化基本一致,其中 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 变化曲线极相似,呈双峰多谷型分布。吹西北风时 PM<sub>2.5</sub> 的质量浓度最低,其次是西风;吹西南风时质量浓度最高,平均质量浓度为 65.86  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,是最低值的 2.13 倍。PM<sub>10</sub> 最高、低平均质量浓度分别为 111.82  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 58.08  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。而 NO<sub>2</sub> 质量浓度在吹西西南风时达到最高,北西北时最低。成都冬季 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 质量浓度随风向变化基本一致,呈双峰型分布。吹西南风时 PM<sub>2.5</sub> 的质量浓度最低;吹西西北、西西南风时质量浓度最高,是最低值的 1.88 倍。而 NO<sub>2</sub> 变化较平稳,波动小。

如图 4(b)所示,绵阳秋季 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 质量浓度随风向变化基本一致,吹西西北风平均质量浓度最低,西南风时平均质量最高,两者差异明显,最高值分别是最低值的 2.20 倍、2.23 倍。绵阳冬季 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 质量浓度随风向变化基本一致,吹东北风平均质量浓度最低,南西南风时平均质量最高,两者差异明显,最高值分别是最低值的 2.23 倍、1.90 倍。



**Figure 4.** (a) The relationship between pollutant concentration and wind direction in autumn and winter in Chengdu; (b) The relationship between pollutant concentration and wind direction in Mianyang autumn and winter  
**图 4.** (a) 成都秋冬季污染物浓度与风向的关系; (b) 绵阳秋冬季污染物浓度与风向的关系

综上所述：秋季吹西北风时成都、绵阳污染物质量浓度都较低，有利于污染物扩散；西南风时不利于污染物扩散，导致污染物质量浓度较高。

## 4.2. 地面风速对污染物浓度的影响

### 4.2.1. 地面风速特征

将风速小于  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时的风定义为静风，风速大于或等于  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  且小于  $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时的风定义为小风[15]。由图 5 可见，秋冬季成都、绵阳平均风速均小于  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，月变化幅度小，最小平均风速值落于 12 月，分别为  $1.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ， $1.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，均属于小风。成都月平均风速值在小风范围内变动，相较而言，绵阳风速较大。

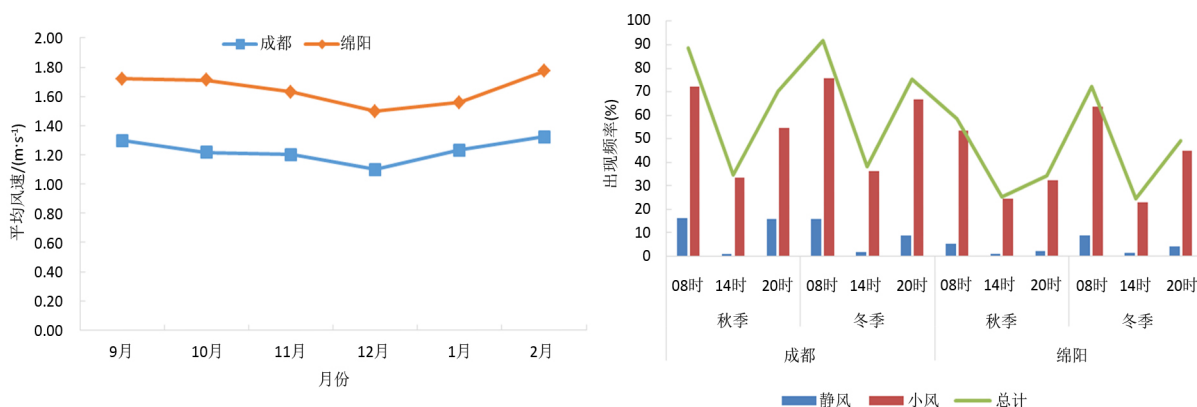


Figure 5 Monthly average wind speed change (left) and static small wind frequency (right) in Chengdu and Mianyang in autumn and winter of 2014~2016

图 5. 成都、绵阳 2014~2016 年秋冬季月平均风速变化(左)、静小风频率(右)

秋季、冬季静小风频率如图 6 所示，小风频率较静风更高。成都、绵阳两市地面风速季节变化趋势相同，冬季静小风频率稍高于秋季。两季节静小风频率日变化一致，08 时静小风出现频率最高，其次是 20 时、14 时。同时，成都静小风频率高于绵阳，08 时秋冬季相差 29.97%、19.62%。

### 4.2.2. 地面风速与污染物浓度关系

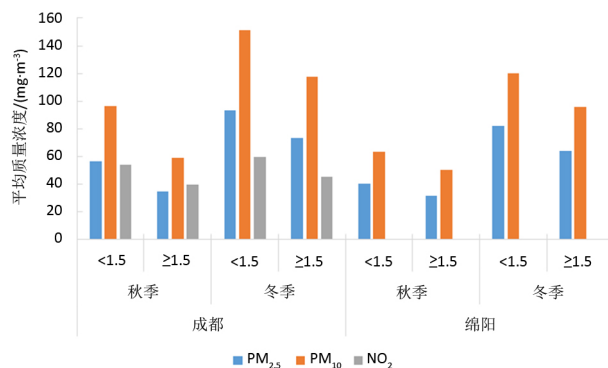
污染物质量浓度随风速变化如图 6 所示。成都、绵阳两市秋冬季污染物浓度随风速增大而减小，如成都冬季风速  $\geq 1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  时， $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  平均质量浓度相对于静小风天气分别降低了 21.29%，22.09%，24.63%。可见风速对于污染物的清除具有动力作用，而四川盆地处于低洼地带，四面环山，地形闭塞，平均风速较小且静小风频率高，静稳天气的维持使污染物累积，造成空气污染。

## 4.3. 地面降水量对污染物浓度的影响

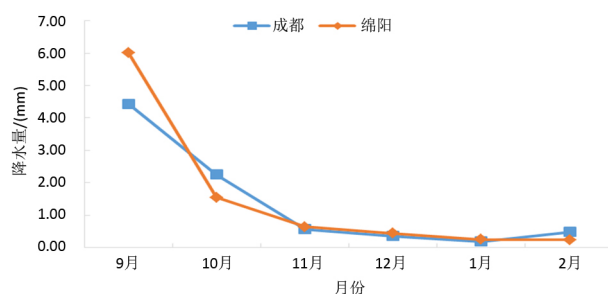
降水量季节变化如图 7 所示，秋季月平均降水量高于冬季，自 9 月起月平均降水量急剧减少，11 月后速率逐渐降低，降水量缓慢减少至 1 月达最小值，成都 1 月平均降水量仅 0.19 mm，仅为 9 月的 4.28%。成都、绵阳两市秋冬季降水量偏低，差异小。

污染物质量浓度随降水量变化如图 8 所示。成都、绵阳两市秋冬季污染物浓度整体随降水量增加而减小。如成都秋季无降水发生时， $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  平均质量浓度均较高，而降水量达 20 mm 以上时，污染物质量浓度分别降低了 52.00%，59.04%，34.99%。可见降水过程有清洁大气中悬浮颗粒物和气态污染物的作用，其中降水对颗粒物的吸附沉降作用显著，而对  $\text{NO}_2$  稀释作用相对较小。

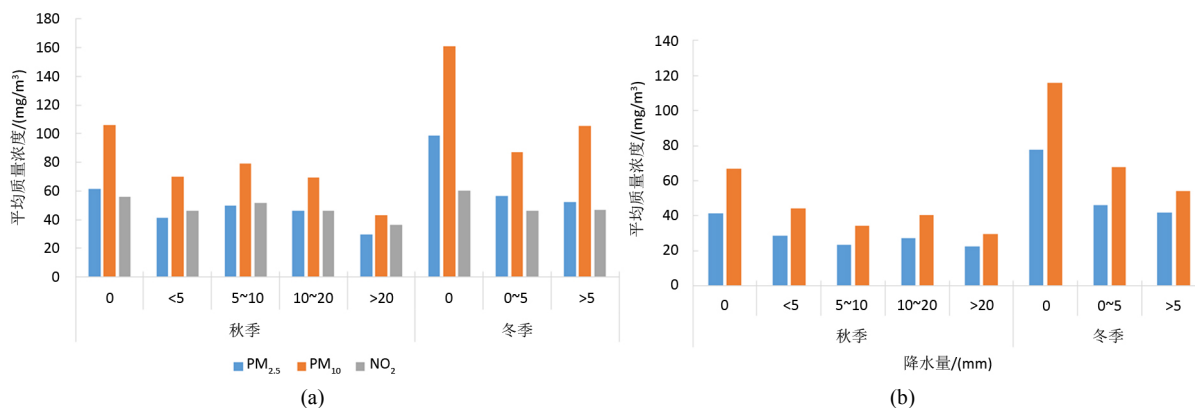




**Figure 6.** Relationship between pollutant concentration and wind speed in autumn and winter in Chengdu and Mianyang  
**图 6.** 成都、绵阳秋冬季污染物浓度与风速的关系



**Figure 7.** Monthly average precipitation changes in Chengdu and Mianyang in autumn and winter of 2014~2016  
**图 7.** 成都、绵阳 2014~2016 年秋冬季月平均降水量变化



**Figure 8.** (a left) the relationship between pollutant concentration and precipitation in autumn and winter in Chengdu; (b right) relationship between pollutant concentration and precipitation in Mianyang autumn and winter  
**图 8.** (a 左) 成都秋冬季污染物浓度与降水量的关系; (b 右) 绵阳秋冬季污染物浓度与降水量的关系

#### 4.4. 污染物质量浓度与地面气象要素的相关分析

2014~2016 年成都、绵阳秋冬季污染物日平均质量浓度与地面常规气象要素的相关性如表 3 所示。由于风使污染物在向下风水平输送的过程中被稀释冲淡，风速与各类污染物浓度呈负相关。成都平原冬季多受地面冷高压控制，垂直方向盛行下沉运动，污染物沉积而浓度偏高，因此气压与污染物浓度呈正相关。平均气温与污染物浓度呈显著负相关，因为温度较高时，边界层湍流、对流强盛，湍流作用使利于污染物在垂直方向上与空气进行混合，而扩散、稀释。空气中水汽较多时，水汽压大，利于大气污染

物凝聚, 则浓度低, 所以平均水汽压与污染物浓度呈明显负相关。日照时数与污染物浓度多呈正相关, 但仅与绵阳市  $PM_{10}$  平均质量浓度的相关性显著。平均相对湿度与污染浓度统计学意义上的相关性较差, 绵阳市平均相对湿度与  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  负相关, 但仅与  $PM_{10}$  的相关性通过了显著性检验。一般情况下, 空气湿度大, 水汽含量高, 水汽的吸附作用降低了大气污染物浓度。但是需要考虑到成都平原秋冬季多雾日, 常伴有逆温现象, 大气层结稳定, 污染物如  $PM_{2.5}$  吸湿性增长效应明显。降水不仅能冲刷大气中污染物质而清洁大气, 也可在一定程度上抑制地面扬尘发生, 故降水量与污染物浓度呈显著负相关[16][17][18]。

**Table 3.** (a), (b) Correlation between surface meteorological elements and pollutant concentrations in Chengdu and Mianyang  
**表 3.** (a)、(b)成都、绵阳地面气象要素与污染物浓度的相关性

(a)		平均风速	平均气压	日照时数	平均气温	平均水汽压	平均相对湿度	20~20 时降水量
$PM_{2.5}$	Pearson 相关性	-0.279**	0.157**	-0.007	-0.387**	-0.356**	0.053	-0.196**
	显著性	0	0.003	0.898	0	0	0.312	0
$PM_{10}$	Pearson 相关性	-0.298**	0.202**	0.032	-0.398**	-0.379**	-0.02	-0.225**
	显著性	0	0	0.542	0	0	0.7	0
$NO_2$	Pearson 相关性	-0.445**	0.125*	0.068	-0.185**	-0.169**	0.086	-0.203**
	显著性	0	0.017	0.199	0	0.001	0.103	0
(b)		平均风速	平均气压	日照时数	平均气温	平均水汽压	平均相对湿度	20~20 时降水量
$PM_{2.5}$	Pearson 相关性	-0.350**	0.239**	0.1	-0.454**	-0.413**	-0.038	-0.161**
	显著性	0	0	0.058	0	0	0.465	0.004
$PM_{10}$	Pearson 相关性	-0.333**	0.274**	0.160**	-0.440**	-0.441**	-0.158**	-0.182**
	显著性	0	0	0.002	0	0	0.003	0.001

注: \*\*表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关, \*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

## 5. 结论

本文利用成都平原城市 2014~2016 年地面气象观测资料、边界层资料和污染数据, 主要分析了成都、德阳、绵阳、眉山、资阳五市的空气污染状况、气象要素的时空分布特征两者, 得出如下结论:

1) 2014~2016 年成都平原空气质量良好率平均为 69.79%, 污染状况以轻度污染为主, 占全年的 21.48%。AQI 季节性差异显著, 冬、春季空气质量最差, 夏、秋季较好; 因夏季受高浓度臭氧影响, 就 AQI 而言, 9 月空气质量最好。同向比较, 成都空气质量整体最差, 绵阳、资阳较好。

2) 成都平原各城市地形因素、经济水平、主要产业等存在差异, 故 AQI 参评因子中的各项污染物作为首要污染物的出现频率不尽相同。受秸秆集中焚烧、北方沙尘天气等和秋冬季不利污染气象条件影响, 成都平原秋、冬季多出现颗粒物污染( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ), 冬季尤为明显。 $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  平均质量浓度在空间分布上表现为成都是高值中心, 即空气污染最严重, 而距成都较远的绵阳、资阳污染程度相对较轻。

3) 统计时段内, 冬季吹东北风时成都、绵阳两市污染物质量浓度都较低, 但吹西风时成都出现污染, 吹西南风、北风时绵阳易发生空气污染。成都平原秋、冬季风速特征为平均风速小, 静小风频率极高, 冬季较秋季更突出, 静稳天气的维持使污染物累积, 造成空气污染。冬季降水量远少于秋季, 不利于大气中污染物质沉降。

4) 污染物浓度与平均风速、平均气温、平均水汽压、20-20 时降水量呈显著负相关, 与平均气压呈正相关, 而与平均相对湿度、日照时数相关性不明显。

## 基金项目

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

## 参考文献

- [1] 廖婷婷, 王珊, 王莉莉, 等. 2013 年成都财富论坛期间空气质量状况分析研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 271-278.
- [2] 李金香, 邱启鸿, 辛连忠, 等. 北京秋冬季空气严重污染的特征及成因分析[J]. 中国环境监测, 2007, 23(2): 89-94.
- [3] 赵敬国, 王式功, 王嘉媛, 等. 兰州市空气污染与气象条件关系分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2013, 49(4): 491-496, 503.
- [4] 曲晓黎, 付桂琴, 贾俊妹, 等. 2005-2009 年石家庄市空气质量分布特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(3): 29-32.
- [5] 廉丽妹, 高军靖, 束炯. 城市大气污染特征及其与气象因子的关系——以济南、青岛市为例[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(5): 22-26.
- [6] 冯宏芳, 隋平, 邱丽霞. 福州市污染物浓度时空分布及影响因子分析[J]. 气象科技, 2003, 31(6): 356-360.
- [7] 柴根成, 陈培生, 高志国, 等. 包头地区地面污染气象特征分析[J]. 内蒙古气象, 2008(1): 45-47.
- [8] 刘翠玲, 常艳君. 鲅鱼圈地区污染气象特征分析[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(1): 29-33.
- [9] 冯良敏, 陈朝平, 龙柯吉, 等. 成都地区 2012 年 PM<sub>10</sub> 污染过程气象条件分析[J]. 高原山地气象研究, 2014, 34(2): 57-62.
- [10] 张娟, 刘志红, 段伯隆, 等. 2014 年成都市大气污染特征及气象因子分析[J]. 四川环境, 2016, 35(6): 79-88.
- [11] 梁碧玲, 张丽, 赖鑫, 等. 深圳市臭氧污染特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(1): 66-71.
- [12] 廖乾邑, 曹攀, 蒋燕, 等. 浮尘天气过程对四川省空气质量的影响[J]. 广州化工, 2016, 44(11): 182-184.
- [13] 李展, 杜云松, 王斌. 2013 年成都地区一次秸秆焚烧特征及成因分析[J]. 环境保护科学, 2015, 41(1): 65-69.
- [14] 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, 37(1): 23-33.
- [15] 周颖, 靳小兵, 曾涛. 用 AutoCAD 分析成都市夏季地面风场特征[J]. 四川气象, 2005, 25(1): 33-35.
- [16] 李展, 陈建文, 杜云松, 等. 成都及周边城市一次区域性空气污染过程特征分析[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(3): 125-130.
- [17] 吴昊旻, 王伟征, 麻碧华, 等. 丽水市大气污染的时空分布特征及与气象要素的相关分析[J]. 环境污染与防治, 2012, 34(10): 51-55.
- [18] 叶堤. 重庆市空气污染持续过程特征及其气象成因分析[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(4): 57-60.