

A Study on the Relationship between Meteorological Condition and Air Quality of Chengdu

Qingyan Cheng, Dongfang Zhang, Rong Yang, Chengcheng Ni, Lei Sun

Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu Sichuan
Email: qingyancheng@163.com

Received: Dec. 28th, 2017; accepted: Jan. 9th, 2018; published: Jan. 16th, 2018

Abstract

This paper studied the characteristics of air pollution of Chengdu and the relationship between air quality and meteorological condition by using the air quality index form 2015-2016 and normally ground meteorological data and sounding data from 2007-2016 of Wen Jiang station. The results show that good air quality or lightly polluted air primarily occurred in Chengdu and the serious air pollution usually occurs in winter; in summer, air pollution is the lightest. North wind is the prevailing wind, wind speed is low, and calm wind frequency is high. These are unfavorable for the pollution dispersion. It showed that when daily precipitation > 0.5 mm, the air quality will be improved evidently. Meanwhile, air quality of Chengdu is significantly correlated with temperature, pressure, visibility and sunshine duration. For neutral weather conditions occur frequently, atmospheric stability is nearly impossible to decide air quality, unless appearing coordinate with temperature inversion. When inversion height is lower than 933 hpa and the intensity of inversion > 2.2°C, the air pollution is difficult to spread. What's more, significant urban heat island effect is conducive to the diffusion of air pollution, which has a certain effect on improving air quality in urban areas.

Keywords

Air Quality, Meteorological Condition, Diffusion of Air Pollution, Chengdu

气象条件与成都市空气质量的关系研究

成青燕, 张东方, 杨蓉, 倪成诚, 孙磊

成都市气象局, 四川 成都
Email: qingyancheng@163.com

收稿日期: 2017年12月28日; 录用日期: 2018年1月9日; 发布日期: 2018年1月16日

摘要

利用2007~2016年成都市常规地面气象观测资料、探空资料以及2015~2016年空气质量指数监测资料,分析了成都市空气质量变化的特征,探讨了气象要素与空气质量之间的关系,结果表明:成都市空气质量以优良或轻度污染为主,空气污染冬季最重,夏季最轻。市内常年盛行偏北风,风速较小,静风频率高,对污染的扩散十分不利;当日降水量大于0.5 mm时,对空气质量有明显的改善作用;空气质量还与气温、气压、能见度、日照等气象要素有显著的相关关系。因中性类天气条件出现频率较高,所以大气稳定度对空气质量作用具有不确定性,此时合适的逆温层高度和强度可以作为判定空气质量的重要依据。当逆温层高度低于933 hpa,逆温强度大于2.2℃时,污染难以扩散。另外,显著的城市热岛效应有利于大气污染扩散,对改善市区空气质量有一定作用。

关键词

空气质量, 气象条件, 污染扩散, 成都市

Copyright © 2018 by authors 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

成都市位于四川盆地西部,是国家重要的高新技术产业基地、商贸物流中心和西部地区重要的中心城市,随着经济的持续快速发展,城市人口的增长极大型工业开发区的建设和扩张,大气环境污染日渐严重,恶劣的空气严重威胁到人们的日常生活和身体健康[1]。然而,空气污染状况如何,并非只取决于污染源的排放及分布状况,同时受当地气象条件的制约,有利的气象条件被认为大气对污染的有较弱的扩散能力,它对空气质量的影响在城市规划和环境决策中起着举足轻重的作用[2] [3] [4] [5],在国外,学者们致力于空气质量模式的研究、改进及污染过程的模拟[6] [7]。国内学者则针对我国整体的或区域性的空气污染特征与影响因素展开了广泛的研究,例如王斌等[8]利用相关性分析探讨了我国沿海城市空气污染指数和气象因素的关系;李文杰等[9]分析了京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系;范绍佳等[10]认为在珠三角地区当气象条件为静小风、上空存在逆温层并且大气扩散能力差,会导致严重的污染事件发生。张学霞等[11]发现风速和日照时数为影响北京地区的污染颗粒物浓度水平的主要气象因素。李德平等[12]分析表明,影响北京地区三级以上污染的主要气象因子为风向、降水和逆温层;邱黎等[13]对济南市近10a逐日空气污染指数及同期气象资料进行了相关分析,结果表明空气污染指数与气象要素的月相关系数较高,天气系统是直接影响污染物的传输条件和大气扩散条件的重要因素。张文静等[14]对西安市2010年大气环境主要污染物的时空分布特征及各种气象条件对城市大气污染的影响进行了分析,总结出西安市区风速对污染物浓度的影响非常显著,而降水对污染物的稀释作用很强,但在降水量小于1 mm时浓度不降反增。由于城市的气候和地理差异,不同城市的气象要素与空气质量的相关性也存在较大的差异,邓利群、姚琳等[15] [16]对成都市空气质量及首要污染物PM_{2.5}和PM₁₀污染与气象条件的也做了研究,结果表明气温、降水及风速对空气质量影响显著,高湿易造成重污染天气。但他们的研究建立在一次或几次污染过程之上,本文利用近10年成都市监测的气象资料以及近2年环境空气质量指数,从气候的角度探讨了成都市空气质量与一些气象要素及大气层结稳定度、逆温、城

市热岛效应等气象条件之间的制约关系，可以为空气质量的预报提供理论依据。

2. 资料和方法

成都市环保局环境监测站提供 2015~2016 年逐日空气质量指数 AQI，该指数为成都市主城区内共 7 个国家控制站的 24 小时平均值，经过严格质控。

2007~2016 年近 10 年成都市温江国家站常规地面气象观测资料、探空资料，以及 2011~2016 年成都市共 312 个自动气象站逐日气温资料，数据全部经过严格质控。按照气候学中常用的方法，以 1、4、7、10 月分别代表冬、春、夏、秋四个季节。

文中大气稳定度的计算采用 Pasquill 稳定度分类法[17]，将大气稳定度分为 A~F，共 6 级，A 为强不稳定、B 为不稳定、C 为弱不稳定，D 为中性、E 为较稳定、F 为稳定，以下分析中将大气稳定度分为三大类进行讨论，即不稳定类(包括强不稳定、不稳定、弱不稳定)、中性类和稳定类(包括较稳定和稳定)。Pasquill 稳定度的划分计算如下：首先计算太阳高度角 h_0 。

$$h_0 = \arcsin[\sin \psi \sin \sigma + \cos \psi \cos \sigma \cos(15t + \lambda - 300)]$$

式中 h_0 为太阳高度角， ψ 为本地纬度， λ 为本地经度， t 为进行观测的北京时间， σ 为太阳倾角。根据计算出的太阳高度角和云量按表 1 查出太阳辐射等级数。

再由太阳辐射等级数与地面风速按表 2 查找 Pasquill 稳定等级。

文中热岛强度采用成都市城区与城郊的气温差来表示，其中城区站点共 44 个，全部位于中心城区。

3. 结果分析

3.1. 成都市近 2 年空气质量概况

图 1 为成都市 2015~2016 年空气质量指数 AQI 的日变化曲线，如图，空气污染一年四季均存在，

Table 1. Solar radiation scale

表 1. 太阳辐射等级数表

总云量/低云量	夜间	太阳辐射等级			
		$h_0 \leq 15^\circ$	$15^\circ < h_0 \leq 35^\circ$	$35^\circ < h_0 \leq 65^\circ$	$h_0 > 65^\circ$
$\leq 4/\leq 4$	-2	-1	1	2	3
$5\sim 7/\leq 4$	-1	0	1	2	3
$\geq 8/\leq 4$	-1	0	0	1	1
$\geq 5/5\sim 7$	0	0	0	0	1
$\geq 8/\geq 8$	0	0	0	0	0

Table 2. Pasquill stability category

表 2. Pasquill 大气稳定等级表

地面风速(m/s)	太阳辐射等级					
	3	2	1	0	-1	-2
≤ 1.9	A	A-B	B	D	E	F
$2\sim 2.9$	A-B	B	C	D	E	F
$3\sim 4.9$	B	B-C	C	D	D	E
$5\sim 5.9$	C	C-D	D	D	D	D
≥ 6	D	D	D	D	D	D

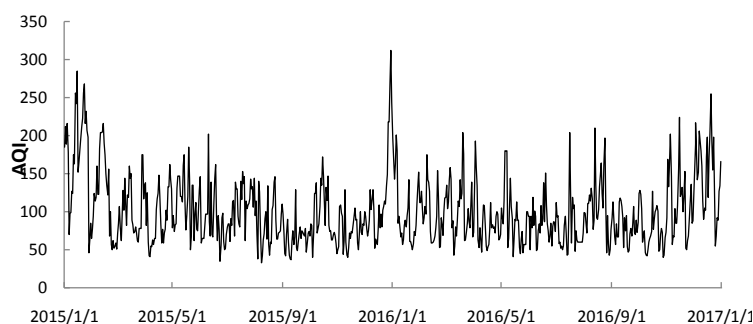


Figure 1. Daily variation of air quality index of Chengdu during 2015-2016
图 1. 成都市 2015~2016 年空气质量指数(AQI)逐日变化曲线

从污染严重程度来看, 冬季最重, AQI 指数明显为峰值区, 其次为春季, 夏季和秋季 AQI 指数明显小于其它季节。进一步按照空气质量评价标准[18]统计得出, 2015~2016 年间, 成都市内 AQI 小于 100 的天数占 60%, 也就是说大部分时间空气质量良好, 污染天气占 40%, 其中轻度污染占 27.5%, 中度污染占 8%, 重度以上污染占 4.5%。轻度污染以春季出现为最多, 中、重度污染以冬季出现为最多。

3.2. 空气质量与主要气象条件关系

3.2.1. 风向风速对空气质量的影响

风向和风速对大气污染的扩散起着重要的作用, 其中, 风向决定污染物的输送方向, 风速决定污染物的输送能力, 风速越大越利于大气污染物的扩散, 反之, 当风速越小, 城市中就会大量堆积污染物, 导致空气质量恶化。

表 3 为近 10 年成都市地面各风向平均频率, 成都市主导风向为偏北风, 其中风向为 N-ENE 的占 35% 左右, 风向为 WNW-NNW 的占 15% 左右, 风向为 SE-SW 的占 18% 左右, 静风频率高, 在 30%~40% 之间。且如表所见, 春季、夏季西北偏北方向的风出现频率略高, 秋冬季东北偏东风出现的频率略高, 从春季到夏季西南偏西方向的风出现频率增加, 总体上四季风向的变化不大, 夏季主导风向为 N, 春、秋、冬季主导风向均为 NE。从成都市环保局公布的 2016 年废气污染源重点监控企业名单 (<http://www.cdepb.gov.cn/>)中可以看到, 绝大多数都位于市区西北部、北部或东北部, 结合风向特征, 成都市的地面风条件对市区大气污染扩散非常不利。

图 2 为成都市近 10 年地面平均风速及小风($0.5 \text{ m/s} < \text{风速} < 1 \text{ m/s}$)出现的频率, 市区地面年平均风速为 1.2 m/s , 四季风速差别很小, 春季风速最大, 平均为 1.3 m/s , 夏季次之为 1.2 m/s , 秋季最小为 1.0 m/s , 冬季为 1.1 m/s 。按照风力等级的画风, 成都市常年风速仅为 1 级, 且如图可以看出, 市内出现小风的频率较高, 其中秋季小风出现的频率高达 55.7%, 冬季次之为 46.5%, 春季小风出现频率最低为 28.3%, 夏季为 34.5%。总体风速较小是成都市地面风的显著特征。如此小的风速对大气污染物的扩散是非常不利的。

事实如何呢? 表 4 为统计 2015~2016 年成都市空气质量与风向、风速的关系所得结果, 成都市空气质量达到优或良时平均风速为 1.4 m/s , 相对于平均风速略大, 最大风速为 3.5 m/s , 达到平均风速的 2.9 倍; 主要风向为 NNE、NE 和 N, 以常年主导风向为主。当空气质量持续恶化至轻度污染、中度污染和重度污染时, 平均风速和最大风速均呈递减变化。其中, 重度污染时的平均风速为 1.0 m/s , 比无污染时小 0.4 m/s ; 最大风速仅 1.5 m/s , 比无污染时的一半还小且最大风速与平均风速仅 0.5 m/s 之差。而各等级的污染对应的风向均以偏北风为主, 最多出现的是风向是 NNE, 其次为 NW、NE 和 N。另外, 不同等级空气质量对应的风速范围也很有意思, 当污染越严重, 风速可变的范围就越小, 优或良的空气质量

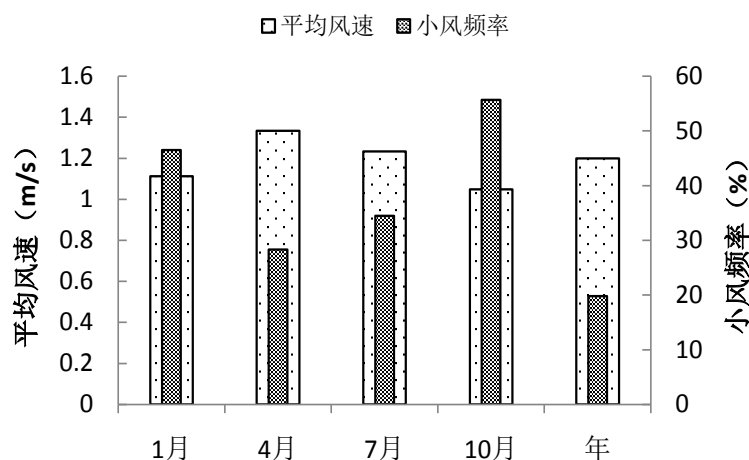


Figure 2. Average wind speed and smaller wind frequency in different months during the past 10 years

图 2. 成都市近 10 年各月平均风速及小风频率

Table 3. Wind direction frequency of Chengdu in different months during the past 10 years (Unit:%)

表 3. 近 10 年成都市各月各风向频率(单位: %)

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	PPC
1月	8	5	14	5	2	1	2	3	4	2	2	1	1	2	3	4	39
4月	11	6	11	3	2	1	3	3	6	3	3	3	2	3	5	6	29
7月	11	5	9	3	2	1	3	2	7	4	4	2	2	3	5	6	31
10月	9	5	10	4	2	1	2	3	5	3	3	2	2	3	4	5	37
年	9	6	11	4	2	1	2	3	5	3	3	2	2	2	4	5	34

Table 4. The relationship between air quality index and wind direction and wind speed

表 4. 2015~2016 年成都市空气质量指数与风向、风速的关系

	优或良	轻度污染	中度污染	重度污染
平均风速 (m/s)	1.4	1.2	1.2	1.0
最大风速 (m/s)	3.5	3.0	3.0	1.5
平均风速范围 (m/s)	0.8~2.5	0.8~1.9	0.8~1.6	0.8~1.1
最多风向	NNE、NE、N	NNE、WNW、N	NNE、NW、NE	NNE、WNW、NW

对应的风速范围为 0.8~2.5 m/s。如表所见，当平均风速达到 0.8 m/s 时，若持续不变或变化较小，则空气质量易发展为污染。总体而言，当空气质量良好和空气受到不同程度污染时，成都市的风向并没有明显的差别，均以主导风向偏北风为主，甚至可以简单的认为，主导风向能够加剧空气质量污染；风速对空气质量的影响显而易见，但成都市常年风速较小，也不利于空气质量的改善。

3.2.2. 降水对空气质量的影响

一般情况下，降水对改善空气质量的主要作用表现在对污染颗粒的清除作用。将成都市日降水两分为小于 0.5 mm，0.5~5 mm，5~10 mm，大于 10 mm 共 4 个等级，表 5 为成都市近 10 年不同等级降水日

Table 5. Number of graded rain days in different months during the past 10 years (Unit: day)**表 5.** 近 10 年成都市各月分级降水日数统计(单位: 天)

	>0.5 mm	0.5~5 mm	5~10 mm	>10 mm
1 月	27.2	3.3	0.1	0.0
4 月	21.6	6.8	1.3	0.9
7 月	17.6	4.7	2.1	5.6
10 月	20.8	7.8	1.0	0.6
年	264.5	62.1	16.9	21.5

数的统计,可以看出,一年当中绝大多数时间的降水量小于 0.5 mm,而日降水量大于 0.5 mm 的有效降水日数平均每年为 100.5 d,站全年总日数的 27.5%,其中,日降水量大于 10 mm 的为 21.5 d,5~10 mm 的为 16.9 d,0.5~5 mm 的为 62.1 d。在空气污染最严重的冬季,日降水量大于 0.5 mm 的有效降水日数仅占全部日数的 11%,且没有大于 10 mm 的降水日;春季和秋季,有效降水日数占总日数的 30%,以日降水 0.5~5 mm 降水为主;夏季有效降水日数占总日数的 40%,其中,日降水量大于 10 mm 的降水日数占总日数的 18%,因此,夏季也是全年降水最多的季节。

表 6 为 2015~2016 年成都市空气质量指数与降水量的统计关系,当日降水量 < 0.5 mm 时,空气质量较差,有 51% 的频率出现不同程度的污染,其中轻度污染占 33.9%,中度污染占 11%,重度污染占 6.1%;当日降水量 > 0.5 mm 时,空气质量优或良的比重上升至 80% 以上,空气质量得到明显改善;当日降水量 > 5 mm 时,不会出现重度污染,当日降水量 > 10 mm 时,空气质量发生中度以上污染的比重为 0,轻度污染的比重仅为 9.3%。这完全符合空气污染的季节分布,冬季降水最少,污染最重,反之夏季降水最多,污染最轻。进一步分析各等级降水发生时空气质量指数的变化情况,当日降水量 < 0.5 mm 时,空气质量指数日变量以正值为主,说明空气质量在继续恶化,当日降水量为 0.5~5 mm 时,空气质量日变量负值占 58%,说明空气质量以改善为主,当日降水量为 5~10 mm 时,空气质量指数日变量为负的比重增大至 75%,当日降水量 > 10 mm,空气质量指数日变量有 83% 为负,因此,降水的强度直接决定对空气的净化作用,<0.5 mm 的降水不会改善空气质量,空气质量有可能继续恶化,>0.5 mm 时,空气质量开始逐步改善,当日降水量 > 10 mm 时,空气质量得到明显改善。

3.2.3. 其他常规气象要素对空气质量的影响

通过前面两节的分析,我们对风和降水对成都市空气质量的影响有了一定了解,当然这两个气象要素也是大气污染扩散能力最重要的指标,除此之外,对研究期间空气质量指数与同期地面其他常规气象要素做相关分析(表 7),发现成都市空气质量指数与绝大多数常规气象要素呈显著负相关关系,和最高气压、日照时数呈显著正相关关系。

简单地从原理来分析,当地面温度越低,越容易形成逆温现象,逆温越严重,污染就越重,冬季气温最低,污染最重;而当能见度减小说明空气中的水汽或微粒在增加,空气质量便越差;同理,当气压越高,日照日数越长,说明天气越稳定,降水越少,空气质量相对就差。气象要素对空气质量的影响一目了然,本文不再赘述。但是,气象要素对空气质量的影响并不是单一的,而是一个或多个要素以不同方式组合形成不同的气象条件去实现。以下便以和大气污染联系最紧密的大气稳定性和逆温、热岛强度三个气象条件做分析。

3.2.4. 大气稳定性和逆温对空气质量的影响

大气稳定性是影响空气污染的重要气象条件之一,它代表大气垂直扩散能力的强弱,不稳定类天气

Table 6. Frequency of graded rain days at varying degrees of air pollution (Unit: %)**表 6.** 不同空气质量对应分级降水出现频率(单位: %)

	优或良	轻度污染	中度污染	重度污染
<0.5 mm	49.0	33.9	11.0	6.1
0.5~5 mm	82.2	15.5	1.6	0.8
5~10 mm	84.2	12.1	3.7	0.0
>10 mm	90.7	9.3	0.0	0.0

Table 7. Correlation between the air quality index and conventional meteorological factors**表 7.** 成都市空气质量指数与常规地面气象要素相关系数

要素	相关系数	要素	相关系数
平均气温	-0.199**	平均气压	0.068
最高气温	-0.103**	最高气压	0.084*
最低气温	-0.286**	最低气压	0.061
日降水量	-0.183**	日照	0.143**
平均相对湿度	-0.039	平均风速	-0.319**
最小能见度	-0.289**	极大风速	-0.275**

**代表通过显著性水平 $\alpha = 0.01$ 的相关性检验, *代表通过显著性水平 $\alpha = 0.05$ 的相关性检验.

有利于大气污染物垂直扩散, 而大气层结稳定则不利于低层污染物的扩散, 对空气质量产生不利影响。

图 3 为近 10 年成都市不同稳定度大气出现的频率, 中性天气在一年当中出现频率最高, 占全年的 86%, 不稳定天气占 7.1%, 稳定天气占 6.9%。其中, 不稳定天气通常仅在春季、夏季出现, 夏季出现的频率最高, 达 18%, 秋季罕有发生, 冬季不发生; 而稳定类天气在夏季出现的频率几乎为 0, 冬季出现的频率最高, 为 11%, 秋季稳定类天气较春季多。然而, 在探查过大气稳定度与空气质量指数的关系后发现, 成都市的空气污染有 93% 出现在中性类气象条件下, 仅 7% 出现在稳定类天气条件下, 而当空气质量较好的时候, 中性类天气条件依然占 95%, 不稳定类和稳定类天气条件各占 2.5%。因此, 在大多数天气为中性类气象条件时, 大气的稳定度对空气质量的影响难以界定。当然, 这并不代表完全没有办法界定, 一般情况下, 严重的污染都伴有不同程度的逆温现象, 逆温使得空气对流活动减少, 同时逆温层像一层厚被笼罩城市上空, 此时, 如果有污染物, 必定导致污染物长期停滞原处而造成污染难以扩散。中性类大气配合一定的逆温条件, 可以作为判定大气污染扩散条件的重要依据。

众所周知, 逆温一般出现在黎明前, 多为辐射逆温, 若白天日照不足, 逆温会持续。成都市位于四川盆地西部, 市区西部为龙泉山脉, 东部为龙泉山脉, 由于地形特殊, 入夜后还会形成地形逆温。表 8 统计的是温江站近 10 年 08 点, 20 点探空资料在有逆温现象出现的情况下逆温层高度和强度情况, 过去 10 年, 08 点出现逆温的频率为 69%, 春季出现逆温的频率最高, 冬季次之, 逆温强度冬季最高, 春季次之, 夏季最低, 平均强度为 2.1℃; 相比之下, 20 点发生逆温的频率为 22.5%, 远低于 08 点, 冬季出现逆温的频率最高, 秋季次之, 逆温强度冬季最强, 秋季次之, 平均为 1.8℃, 也低于 08 点, 但从逆温层高度来看, 20 点的要低于 08 点。

同样地, 将 2015~2016 年空气质量与逆温特征做了对比分析, 如表 9, 空气质量随着逆温层高度降低而变差, 随着逆温强度增加而变差。一般情况下逆温强度也是随着逆温层高度的降低而增加的, 但是并非有逆温现象发生空气质量就差, 还要配合适当的逆温强度: 当逆温层高度在 925 hpa 或以上, 逆温强

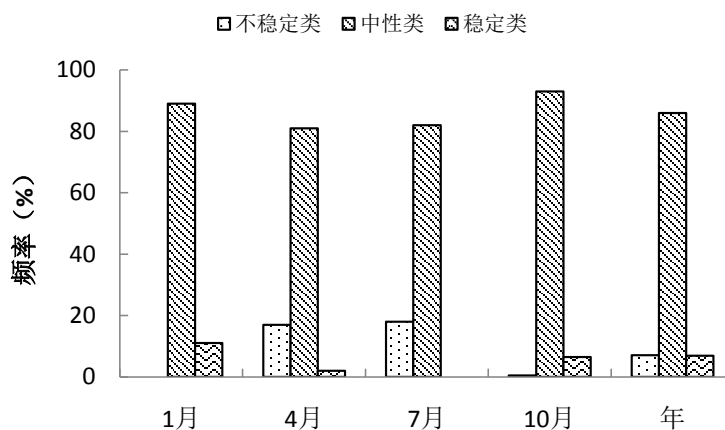


Figure 3. Frequency of graded atmospheric stability in Chengdu during the past 10 years (Unit: %)

图 3. 成都市近 10 年大气稳定度出现频率变化(单位: %)

Table 8. Statistics of the height and strength of the inversion layer at different time in recent 10 years in Chengdu

表 8. 成都市近 10 年不同时间逆温层高度及强度统计

	08 时			20 时		
	逆温层高度 (hpa)	逆温强度 (°C)	出现频率 (%)	逆温层高度 (hpa)	逆温强度 (°C)	出现频率 (%)
1 月	934.5	2.7	7.9	946.4	2.6	10.4
4 月	926.2	2.3	10.0	931.7	1.3	6.2
7 月	915.8	1.8	8.9	912.3	1.4	7.6
10 月	930.6	2.0	6.0	944.6	2.1	8.4
年	926.6	2.1	69.0	934.6	1.8	22.5

Table 9. The relationship between air quality and the characteristics of inversion layer

表 9. 成都市空气质量等级与逆温特征的关系

	平均逆温层高度(hpa)	平均逆温强度(°C)	发生频率(%)
优或良	925	1.9	75
轻度污染	933	2.2	71
中度污染	941	2.5	71
重度污染	946	3.0	74

度在 1.9°C 以下时,空气质量能达到优或良的频率达 75%,当逆温层高度低于 933 hpa,逆温强度大于 2.2°C 时,空气被不同程度污染的频率也均在 71%以上。此时,空气质量与逆温的成因无关,不管 08 点或是 20 点出现的逆温,只要满足上述条件,大气污染的扩散条件一比可知,

3.2.5. 城市热岛效应对空气质量的影响

随着城市规模的发展,下垫面的改变使得成都市区年平均气温不断上升,城市热岛效应日渐明显。通常,热岛效应会导致城市中心区气流上升,郊区气流下降,污染空气在高空由中心流向郊区,清洁空气在近地面从郊区流向城市,从而使市区的污染程度降低。热岛强度也代表了城市对大气污染的扩散能力。参照文献[19]中关于热岛强度的算法,图 4 展示了近 5 年成都市热岛强度的月际变化。如图,成都市

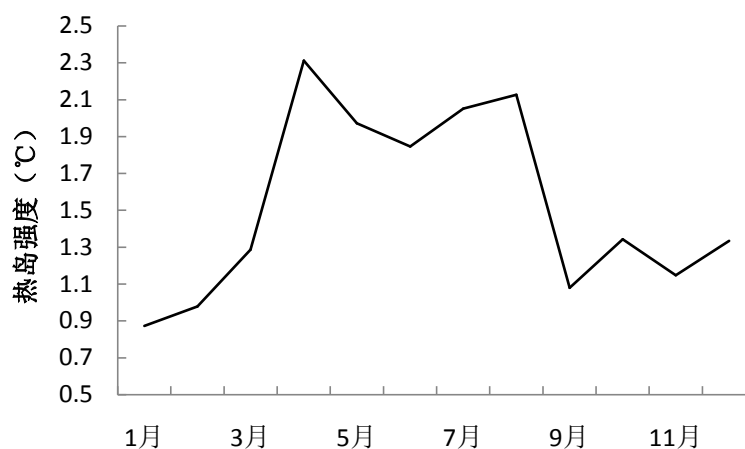


Figure 4. Inter-monthly changes of during the past 5 years
图 4. 成都市近 5 年城市热岛强度月际变化

Table 10. Frequency of varying degrees of air pollution under different Urban heat-island intensities
表 10. 不同热岛强度下各级空气质量的出现频率(%)

	<0°C	0°C~1°C	1°C~2°C	2°C~3°C	>3°C
重度污染	0	7	6	1	0
中度污染	0	9	13	4	10
轻度污染	29	28	31	32	21
优或良	71	56	59	62	69

整年均存在热岛效应，其中春、夏季为热岛效应显著时段，其热岛强度维持在 2°C 左右，秋季和冬季热岛效应明显减弱，平均热岛强度为 1.2°C。

表 10 展示了成都市 2015~2016 年逐日热岛强度与空气质量的对比分析结果：当热岛强度逐渐增强，严重污染空气出现的频率逐渐减小，另外，当热岛强度为负值时，污染空气出现的频率最小，为 29%，且仅为轻度污染。不同热岛强度对应的空气质量等级不尽相同，当热岛强度大于 3°C 或小于 0°C 时，出现重度污染的频率为 0；热岛强度在 0°C~1°C 之间时，重度污染出现的频率最高，热岛强度为 1°C~2°C 时中度污染出现的频率最高，热岛强度为 2°C~3°C 时轻度污染出现频率最高。

4. 结论

1) 成都市空气质量总体以优良为主，污染天气占全年总日数的 40%，其中以冬季污染最重，由冬至夏污染天气逐渐减少，夏季最少。

2) 成都市常年盛行偏北风，风速较小，静风频率高，不利于大气污染物的扩散；日降水量 > 0.5 mm 有效降水的对空气质量有明显的改善作用，但全市全年平均有效降水日数仅占总日数的 1/3 左右；除此之外，成都市空气质量与温度、能见度呈显著负相关关系，与气压及日照有显著负相关关系。

3) 成都市常年以中性类天气条件为主，以此来判断空气质量未来走向不确定性大，但结合逆温层高度和强度可以为环境决策提供重要依据。当逆温层高度低于 933 hpa，逆温强度大于 2.2°C 时，污染难以扩散，空气质量差；当逆温层高度在 925 hpa 或以上，逆温强度在 1.9°C 以下时，空气质量能达到优或良的频率达 75%；当逆温层高度低于 933 hpa，逆温强度大于 2.2°C 时，空气被不同程度污染的频率也均在 71% 以上。

4) 成都市区热岛效应显著, 热岛强度也是影响空气质量的重要条件, 代表城市对大气污染的扩散能力, 当热岛强度大于 3℃或小于 0℃时, 空气质量达到最优的频率最高; 热岛强度在 0℃~1℃之间时, 重度污染出现的频率最高, 热岛强度为 1℃~2℃时中度污染出现的频率最高, 热岛强度为 2℃~3℃时轻度污染出现频率最高。

参考文献 (References)

- [1] Wu, D. (2012) Hazy Weather Research in China in the Last Decade: A Review. *Acta Scientiae Circumstantiae*, **32**, 257-269.
- [2] 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): 1936-1943.
- [3] 佟彦超. 中国重点城市空气污染预报及其进展[J]. 中国环境监测, 2006, 22(2): 69-71.
- [4] 王斌. 利用空气污染指数(API)分析我国空气污染的时空变化特征[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2008: 22-26.
- [5] 段玉森, 魏海萍, 伏晴艳, 等. 中国环保重点城市 API 指数的时空模态区域分异[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 384-391.
- [6] Cogliani, E. (2001) Air Pollution Forecast in Cities by an Air Pollution Index Highly Correlated with Meteorological Variables. *Atmospheric Environment*, **35**, 2871-2877. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00071-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00071-1)
- [7] Jiang, D.H., Zhang, Y., Hu, X., et al. (2004) Progress in Developing an ANN Model for Air Pollution Index Forecast. *Atmospheric Environment*, **38**, 7055-7064. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.10.066>
- [8] 王斌, 高会旺. 中国沿海城市空气污染指数的分布特征[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 542-548.
- [9] 李文杰, 张时煌, 高庆先, 等. 京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1392-1400.
- [10] 范绍佳, 王安宇, 樊琦, 等. 珠江三角洲大气边界层概念模型的建立及其应用[J]. 热带气象学报, 2005, 21(3): 286-292.
- [11] 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): 1-10.
- [12] 李德平, 程兴宏, 于永涛, 等. 北京地区三级以上污染日的气象影响因子初步分析[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(3): 7-13.
- [13] 邱粲, 曹洁, 王静, 等. 济南市空气质量状况与气象条件关系分析[J]. 中国环境监测, 2014, 30(1): 53-59.
- [14] 张文静, 孙娴, 王琦, 等. 西安市污染气象特征和大气环境容量分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 257-261.
- [15] 邓利群, 钱骏, 佟洪金. 2009 年 8~9 月成都市颗粒物污染及其与气象条件的关系[J]. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1433-1438.
- [16] 姚琳, 彭王敏子, 陈胜东, 等. 成都市空气质量状况与气象条件的关系分析[J]. 环境研究与监测, 2015(3): 29-32.
- [17] Pasquill, F. (1961) The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. *Meteorological Management*, **90**, 33-49.
- [18] 中国环境科学研究院, 中国环境监测总站. GB 3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016: 1-8.
- [19] 杨柏生. 成都城市热岛效应研究[J]. 成都气象学院学报, 1988, 7(2): 50-59.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org