

文章编号:2096 - 5389(2018)03 - 0033 - 05

重庆雾和霾的气候特征分析

白莹莹¹, 杨世琦², 刘 川¹, 董新宁¹

(1. 重庆市气候中心, 重庆 401147; 2. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147)

摘 要:利用 1981—2014 年重庆地区气象观测资料, 基于气候统计法分析重庆地区雾和霾的气候特征, 结果表明: 重庆雾日总体呈显著减少趋势, 两种雾日观测资料的倾向率分别为 $-10.3 \text{ d}/10\text{a}$ 和 $-7.6 \text{ d}/10 \text{ a}$; 雾日的空间分布总体呈“中西部多, 东南东北少, 西部偏北地区多于西部偏南地区”。霾日总体趋势与雾日变化相反, 呈显著上升趋势, 倾向率为 $12.9 \text{ d}/10 \text{ a}$, 并且霾日发生显著增加的时段与雾日发生显著减少的时段基本一致, 2000 年前后霾日经历了明显的突变; 霾的分布主要呈现“以主城为中心, 中西部多, 东北部和东南部少”的特点。

关键词:重庆; 雾; 霾; 时空分布

中图分类号:P426.4⁺1 **文献标识码:**A

Climatic Characteristics of Fog and Haze in Chongqing

BAI Yingying¹, YANG Shiqi², LIU Chuan¹, DONG Xinning¹

(1. Chongqing Climate Center, Chongqing 401147, China;

2. Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China)

Abstract: The temporal and spatial distributions and long-term variation characteristics of haze were obtained for the Chongqing region from 1981 to 2014 by studying surface meteorological data and using the climatic statistic method. Simultaneously, the Mann-Kendall method and the Morlet wavelet analysis were used to discuss the changing trend, the change point and time period. The results show that Fog days in Chongqing showed a downward trend, the propensity rates of two observations are $-10.3 \text{ days}/10\text{a}$ and $-7.6 \text{ days}/10\text{a}$. The spatial distribution of foggy days was mostly in the central and western parts, less in the southeast and northeast, more in the northwest than in the western part of the south. The general trend of haze days is opposite to that of fog days with a trend of upward trend of $12.9 \text{ days}/10\text{a}$, and the period of significant increase in haze days is basically consistent with the period of significant decrease in haze days. The haze days experienced obvious changes before and after 2000. The distribution of haze is mainly characterized by "the main city as the center, the central and western parts as much, the northeast and the southeast as less".

Key words: Chongqing; fog; haze; the temporal and spatial distributions

1 引言

雾和霾是两种本质上完全不同的、影响视程的自然天气现象^[1]。国家气象标准中, 将能见度 $\leq 10 \text{ km}$, 空气相对湿度 90% 的自然天气现象称为雾; 能见度 $\leq 10 \text{ km}$, 空气相对湿度 80% 的天气现象定义

为霾。因此, 研究中常将造成视程恶化时空气相对湿度的大小作为区分雾和霾的辅助判定条件。雾是常见的天气现象, 作为灾害性天气, 雾主要对社会经济中的交通事业影响较大。长久以来, 除了相关行业部门以外, 大众并没有对雾所造成的影响有太多关注。但近年来, 霾作为大气污染的另一钟天

收稿日期: 2018-02-09

第一作者简介: 白莹莹(1981—), 女, 副高, 主要从事区域气候分析评估工作, E-mail: byying113@126.com。

资助项目: 重庆市科委社会与民生创新专项(cstc2017shmsA20012); 重庆区域大气环境承载力评估研究及应用; 重庆市气象局业务技术攻关团队项目(YWGGTD-201709); 重庆主要天气气候事件定量评估技术标准编研; 重庆市气象局开放基金资助项目(kfj-201402); 基于多源卫星的重庆市大气环境质量遥感信息提取及综合评价研究共同资助。

气现象,获得了足够的关注,2011 年雾霾天气第一次入选中国十大天气气候事件,反映了社会公众对雾和霾天气的关注程度^[2]。

雾和霾的形成与国家经济发展有一定的关系,西方国家工业化开始较早,受雾和霾影响也相对较早,对于雾霾的形成及化学组成成分,国外学者已有了丰富的研究成果。Malm 在定量分析美国大陆性雾霾天气的时空演变时发现,造成雾霾天气能见度下降的主要成分是硫酸盐气溶胶,部分地区硝酸盐和有机气溶胶的贡献也比较大^[3]。在对中国雾霾的研究中,吴兑^[4]以日均能见度 ≤ 10 km,日均相对湿度 90% 为统计标准,分析了 1951—2005 年中国大陆灰霾的时空变化,分析结果显示,1980 年代以后,随着城市化和工业化的不断发展,中国灰霾日数在明显的增加。在空间分布层面上,吴丹^[5]认为雾霾主要集中在京津冀、长江三角洲和珠江三角洲等人口密集,经济发达的地区。张英娟、于文金、史军、程婷和吴兑等人针对这 3 个研究区进行了大量的研究分析^[6-10]。重庆位于四川盆地东部,属中亚热带湿润季风气候区,四周高山屏蔽,山谷相间,水系发达,地形闭塞,空气温暖湿润,风速小,静风频率高,也不利于污染物的扩散,是雾霾形成的有利条件。张天宇等利用天气现象数据分析了全球变暖背景下重庆地区雾日的长期变化特征^[11],但以往针对重庆的研究大多关注雾,对霾的气候特征研究相对较少,本文尝试利用天气现象和气象要素反算两种资料来分析重庆雾和霾的气候特征。

2 资料和方法

采用重庆区域内 34 个国家站 1981—2014 年气象观测数据,包含:能见度、相对湿度、天气现象等数据。

根据重庆市地方标准 DB50/T270—2008《气象灾害标准》,雾的判识标准为:空气相对湿度 $> 95\%$,悬浮于近地面层空气中的大量水滴或者冰晶颗粒,使水平能见度降到 1 km 以下的现象^[12]。根据气象行业标准《霾的观测和预报等级》,霾的判识条件:水平能见度 < 10 km,相对湿度 $< 80\%$,判识为霾;相对湿度 $80\% \sim 95\%$ 时,按照地面气象观测规范规定的描述或大气成分指标进一步判识^[13]。根据判识标准分离统计出 1981—2014 年重庆地区雾和霾的年平均日数,采用气候倾向率、气候趋势系数、Morlet 小波和二项式平滑等统计方法,对 1981—2014 年重庆地区雾、霾的时空分布特点进行分析。

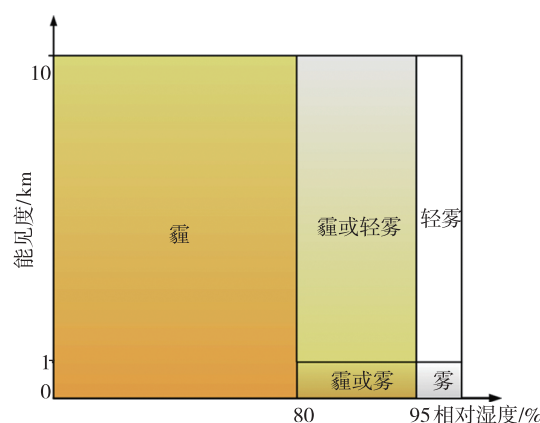


图 1 霾和雾的分类示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the classification of haze and fog

3 重庆雾的气候特征

雾的数据来源主要有两个,一是天气现象数据中直接提取,二是用能见度数据的历史反算,两个数据的资料都是比较完整的,下面对比了分别用这两个数据反应的重庆雾的气候特征。

3.1 时间变化

从重庆雾日的历年变化来看,两种资料反映的雾日的年际变化基本一致,特别是在 2000—2010 年,两种资料的分析结果基本重合,而在 1981—1999 年间,天气现象数据中雾日较能见度反算的结果要偏多 5~10 d。在对重庆雾的研究中,大多数学者采用的是天气现象数据,因 2000 年以前的能见度的观测主要以观测员对参照物的观测来判断,主观性较大,因此两种数据的差别略大,而 2000 年后逐渐用能见度自动观测替代了人工观测,两种数据的结果就相对稳定一致了。

重庆雾日总体呈减少趋势,两种资料的趋势系数分别为 -10.3 d/10 a 和 -7.6 d/10 a,均可通过显著性检验,其中天气现象数据减少的趋势更为显著,但是进入 2010 年的几年,雾日有反弹的趋势,特别是 2014 年,已经跃升至 1981 年以来历史第 4 位(天气现象数据)(图 2)。

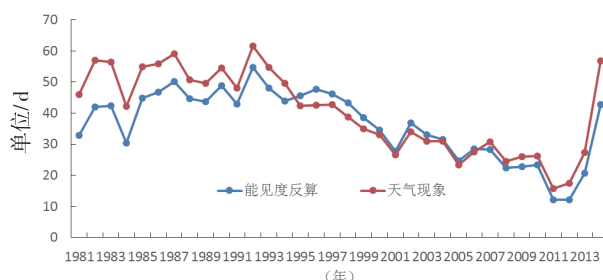


图 2 1981—2014 年重庆雾日历年变化

Fig. 2 Yearly changes of Chongqing's fog days from 1981 to 2014

分析了重庆雾日的年代变化,可以看出,2000 年后雾日显著减少(表 1),这可能与全球变暖有关,《重庆气候变化评估报告》^[14]中指出重庆的变暖开始于 20 世纪 90 年代中后期,这与雾日大幅减少的时间基本一致。

表 1 重庆雾日年代变化(单位:d)

Tab. 1 Decadechanges of Chongqing fog days(unit: day)

	能见度反算	天气现象
1981—1990 年	42.7	52.7
1991—2000 年	44.6	44.8
2001—2010 年	27.9	28.1
2011—2014 年	21.9	29.3

3.2 空间变化

重庆雾日的空间分布总体呈:中西部多,东南

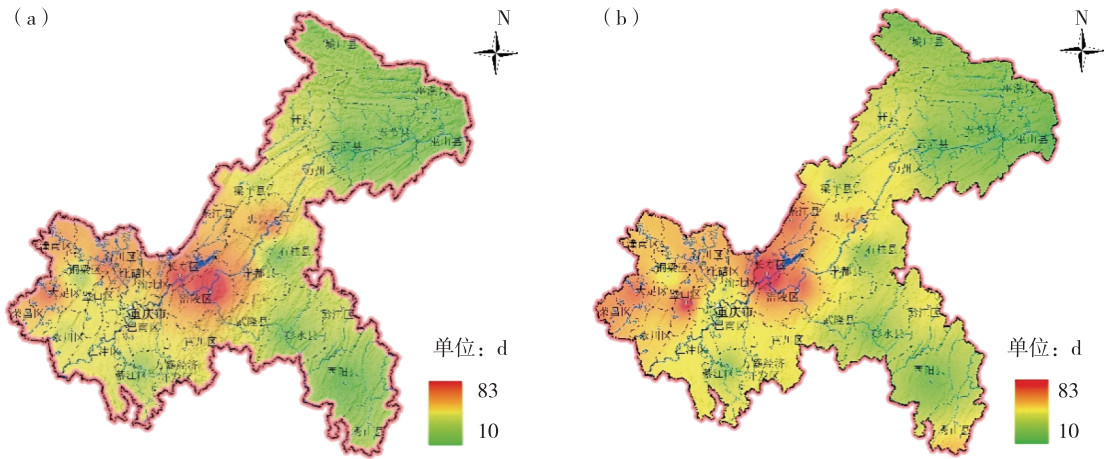


图 3 两种资料计算重庆雾日气候平均(1981—2010 年)分布图(单位:d)(a、天气现象数据,b、能见度数据反算)

Fig. 3 Distribution of climateaverageof Chongqing fogdaysbetween two types of data from 1981 to 2010 (Unit: day) (a、weather phenomenon data, b、visibility data calculation)

4 重庆霾的气候特征

对重庆霾的气候特征的分析也主要利用能见度、相对湿度反算和天气现象两种,因雾霾混合的情况判定霾要参考大气成分指标进一步判识,而历史资料没有大气成分相关的观测,因此对重庆霾的气候特征的分析主要参考:水平能见度 < 10 km,相对湿度 < 80% ,判识为霾。

从两种资料的分析情况来看,对于霾日的分布,天气现象数据偏小太多,究其原因,得知天气现象对霾的观测在 2013 年以前采用人工观测,2013 年以后才有仪器自动观测,并且历史天气现象数据人工无法准确判识霾的特征,因此提取出的霾日数据很小,数据参考价值低。利用能见度和相对湿度反算的霾日结果总体比较稳定,下面就主要依据此数据分析了重庆霾的主要时空分布特征(表 2)。

东北少,西部偏北地区多于西部偏南地区。两种资料在空间分布的表现基本一致,长江与嘉陵江流经区域附近的站点多年平均雾日数大于距离两江水域较远的站点,其中沿长江的忠县、丰都、涪陵、长寿和嘉陵江江岸的合川、北碚等站,年平均雾日数在 45 d 以上,涪陵、长寿最多,达 60 d 以上。万州、开县以西广大平行岭谷地区年平均雾日数大都在 30 ~ 50 d 之间。而东北部沿江的云阳、巫山及巫溪,北部的城口,中部的石柱,东南部的彭水、酉阳等站,年均雾日偏少,在 20 d 以内,其中城口和巫山在 10 d 以内,为重庆雾日最少的地区(图 3)。

表 2 两种资料计算重庆霾日的气候平均值 (1981—2010 年)(单位:d)

Tab. 2 climate average of hazedays using two kinds of datainChongqing(Unit: day)

站名	能见度反算	天气现象	站名	能见度反算	天气现象
城口	65.0	0.0	北碚	116.8	1.0
开县	85.6	0.7	合川	43.4	0.0
云阳	99.0	1.1	渝北	73.3	0.0
巫溪	51.1	0.5	璧山	124.5	0.1
奉节	38.0	0.2	沙坪坝	148.5	0.2
巫山	71.0	0.6	江津	109.5	0.0
潼南	83.6	0.0	巴南	118.4	28.7
垫江	64.3	0.3	南川	81.8	0.2
梁平	81.0	7.3	长寿	97.6	5.1
万州	85.0	0.1	涪陵	111.4	0.1
忠县	73.2	0.0	丰都	65.1	0.3
石柱	53.1	0.1	武隆	76.9	0.7
大足	82.0	4.2	黔江	75.7	1.1
荣昌	96.9	0.1	彭水	112.1	2.1
永川	93.3	10.2	綦江	92.7	0.6
万盛	92.9	7.2	酉阳	57.4	4.6
铜梁	96.2	0.1	秀山	132.2	3.1

4.1 时间变化

重庆霾日总体呈显著增加趋势,趋势系数为 12.9 d/10 a(图 4),可通过 99% 的显著性检验,其趋势与雾日变化刚好相反,并且霾日发生显著增加的时段与雾日发生显著减少的时段基本一致,发生在 90 年代中后期。进入 2000 年后,霾日的年际变化的振幅也有增加的趋势,波动明显(图 2)。

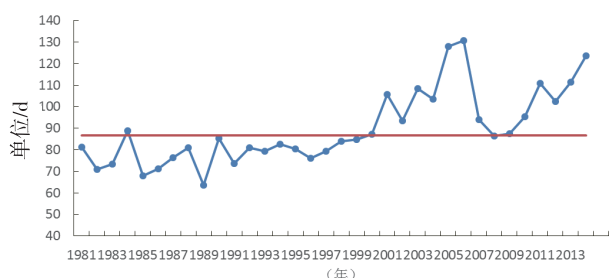
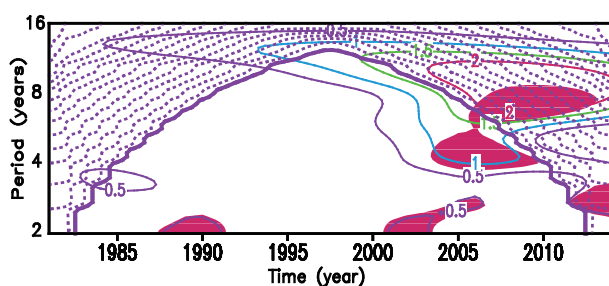


图 4 1981—2014 年重庆霾日历年变化和常年值

Fig. 4 Yearly changes of Chongqing's haze days from 1981 to 2014

利用 Morlet 小波分析了重庆霾日的周期变化,结果表明,重庆霾日变化以年际振荡为主,主要周期有准 2 a 周期,在 2000 年后 4 ~ 8 a 周期开始显著,也可以看出 2000 年前后霾日经历了明显的突变(图 5)。

图 5 重庆霾日 Morlet 小波序列
(阴影部分通过了 90% 的显著性检验)Fig. 5 Morlet wavelet of Chongqing haze days
(The shaded area passes the 90% significance test)

对重庆霾日的年际变化进行二项式 9 点平滑,可以发现霾日在 2000 年发生突变,并且可以通过 99% 的置信度检验(图 6),这也与小波分析的结果基本一致。霾日在 2000 年后的突然增加原因可能主要有以下三方面:其一可能是由于气候变化引起的;其二可能是由于直辖后大规模城市化建设、工业和经济的发展带来的空气污染的加重;可能是观测手段的变更引起的,2000 年后能见度的观测逐渐由仪器自动观测替换了人工观测。

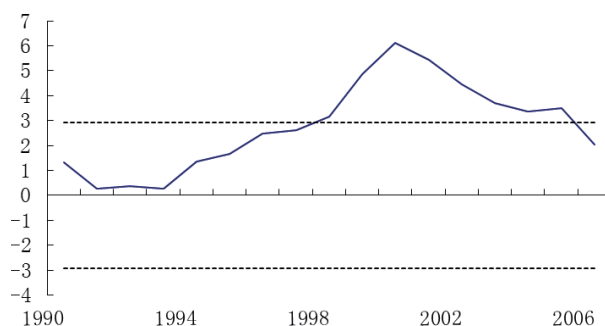


图 6 重庆霾日二项式 9 点平滑曲线及 t 检验

Fig. 6 Binomial 9-point smooth curve and t-test of Chongqing haze days

4.2 空间分布

图 7 给出了重庆霾日 1981—2010 年 30 a 气候平均值,可以看出重庆霾的分布主要呈现“以主城为中心,中西部多,东北部和东南部少”的特点。主城沙坪坝平均每年霾日达 148.5 d,为全市之最,北碚、巴南、璧山、江津、涪陵、彭水、秀山平均每年霾日在 100 ~ 130 d 之间,合川和奉节年平均霾日不足 50 d,其中奉节最少仅为 38 d。

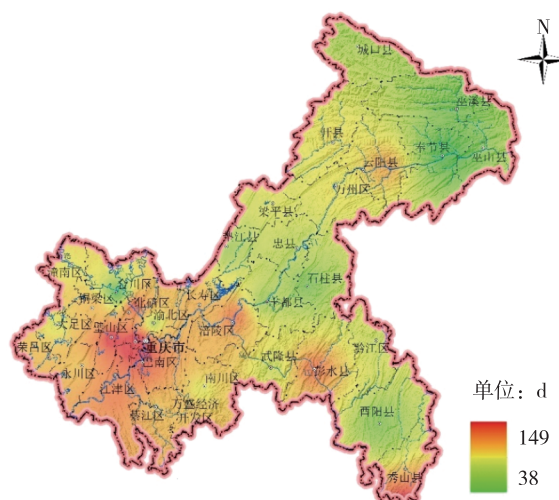
图 7 重庆霾日气候平均(1981—2010 年)
空间分布图(单位:d)

Fig. 7 Distribution of climate average of Chongqing haze days from 1981 to 2010 (unit: day)

5 结论及讨论

①重庆雾日总体呈显著减少趋势,能见度反算和天气现象两种数据分析结果基本一致,进入 2010 年的几年,雾日有反弹的趋势,特别是 2014 年,已经跃升至 1981 年以来历史第 4 位。

②重庆雾日的空间分布总体呈:中西部多,东

南东北少,西部偏北地区多于西部偏南地区。两种资料在空间分布的表现基本一致,长江与嘉陵江流经区域附近的站点多年平均雾日数大于距离两江水域较远的站点。

③重庆霾日总体呈显著增加趋势,趋势系数为 12.9 d/10 a,其趋势与雾日变化刚好相反,并且霾日发生显著增加的时段与雾日发生显著减少的时段基本一致,发生在 90 年代中后期。进入 2000 年后,霾日年际变化的振幅也有增加的趋势,波动明显。

④Morlet 小波周期分析结果表明,重庆霾日变化以年际振荡为主,主要周期有准 2 a 周期,在 2000 年后 4~8 a 周期开始显著,也可以看出 2000 年前后霾日经历了明显的突变,二项式 9 点平滑也印证了这一结论。

⑤重庆霾的分布主要呈现“以主城为中心,中西部多,东北部和东南部少”的特点。其中主城沙坪坝最多,平均每年霾日达 148.5 d;奉节最少,仅为 38 d。

本文尝试利用两种气象观测资料分析了重庆雾和霾的气候特征,得到了一些有意义的结论,随着全球变暖的加剧,研究表明雾日是呈显著减少趋势的,但是雾日的减少是否是气候变化导致的?雾日的减少与霾日的增加是否有关?两者期间的复杂关系和影响机理仍需进一步的研究深入。

参考文献

- [1] 张舒婷. 南京雾、霾及其转化特征观测研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2015.
- [2] 张宏芳,张科翔,潘留杰,等. 近 51 年陕西雾时空变化及大气环流特征[J]. 气象科技,2013,41(4):703-712.
- [3] Malm W C. Characteristics and origins of haze in the continental United States[J]. Earth - Science Reviews,1992,33(1):1-36.
- [4] 吴兑,吴晓京,李菲,等. 1951-2005 年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报,2010,68(5):680-688.
- [5] 吴丹,于亚鑫,夏俊荣,等. 我国灰霾污染的研究综述[J]. 环境科学与技术,2014,37(12):295-304.
- [6] 张英娟,张培群,王冀,等. 1981-2013 年京津冀持续性霾天气的气候特征[J]. 气象,2015,41(3):311-318.
- [7] 于文金,文亚平,于步云,等. 河北省衡水市雾霾灾害天气演变特征分析[J]. 灾害学,2015,30(2):79-84.
- [8] 史军,崔林丽. 长江三角洲城市群霾的演变特征及影响因素研究[J]. 中国环境科学,2013,33(12):2113-2122.
- [9] 程婷,魏晓奔,翟伶俐,等. 近 50 年南京雾霾的气候特征及影响因素分析[J]. 环境科学与技术,2014,37(6N):54-61.
- [10] 吴兑,廖碧婷,陈慧忠,等. 珠江三角洲地区的灰霾天气研究进展[J]. 气候与环境研究,2014,19(2):248-264.
- [11] 张天宇,孙佳,王勇,等. 重庆雾日的气候特征及变化[J]. 西南大学学报(自然科学版),2014,36(7):1-9.
- [12] 重庆市气象局,重庆市地方标准 DB50/T 270—2008,气象灾害标准[S].
- [13] 中国气象局广州热带海洋气象研究所,中华人民共和国气象行业标准 QX/T113-2010,霾的观测和预报等级[S].
- [14] 重庆市气候中心,重庆气候变化评估报告(待出版).