

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2014.06.020

东北主要城市的空气质量长期变化特征*

于大江^{1**} 吴艳玲¹ 李竑积² 孙敬敏¹ 宋庆利¹ 代鑫¹

(1. 黑龙江龙凤山本底站, 五常, 150200; 2. 黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨, 150030)

摘 要 利用 2001—2012 年沈阳、大连、长春和哈尔滨市及 2005—2012 年齐齐哈尔市和牡丹江市城市空气质量日报资料对空气质量变化特征和影响因素进行了分析. 结果表明, 东北地区城市空气质量与国内北京、天津、石家庄等地区相比, 空气污染相对较轻, 6 个城市空气质量都以 I 级(优)与 II 级(良)为主; 6 个城市首要污染物均为可吸入颗粒物, 占样本总数 80% 以上. 沈阳、长春、哈尔滨市空气污染指数(API)年平均下降趋势显著, 通过 $P < 0.01$ 的显著性检验. 大连、齐齐哈尔空气污染指数(API)年平均下降趋势显著通过 $P < 0.05$ 的显著性检验. 地理因素、污染源及沙尘天气对东北主要城市 API 分布的区域性特征和季节变化具有重要的影响.

关键词 东北主要城市, 空气污染指数, 区域特征.

Long-term variations of the air quality in 6 cities in northeast China

YU Dajiang^{1**} WU Yanling¹ LI Hongji² SUN Jingmin¹ SONG Qingli¹ DAI Xin¹

(1. Longfengshan Regional Atmosphere Background Station, Wuchang, 150200, China;

2. Meteorological Science Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin, 150030, China)

Abstract: Long-term variations of the air quality and its influencing factors were analyzed based on the daily air quality data and meteorological data in Shengyang, Dalian, Changchun, Harbin, Qiqihar, Mudanjiang in Northeast China from 2001 to 2012. Northeast China was relatively less polluted compared to other regions. Most of the urban air quality scales fell into grade I and II based on the air pollution index (API) results. In the 6 cities, the primary pollutant was inhalable particle, accounting for 80% of the total amount. The annual average API declined significantly ($P < 0.01$) in Shenyang, Changchun, Harbin and moderately ($P < 0.05$) in Dalian, Qiqihar cities. Topography, emission sources and dust weather had important influence on regional distribution of API and its seasonal variation in Northeast China.

Keywords: cities in northeast China, air pollution index, regional distribution.

在中国 20 多年的工业及城市化的快速发展过程中, 环境污染问题受到了越来越多的关注, 尤其是空气污染问题的现状及其变化趋势. 空气污染指数(API)是用来评价空气质量及其变化趋势的一个常用指标, 如李向阳等对中国 9 个北方典型城市 2002—2008 年间 API 特征进行了分析^[1], 向敏等对我国 86 个重点城市 2001—2010 年间大气污染时空分布特征进行了详细的阐述^[2]. 这些文章对我国整体城市污染进行了分析和研究, 虽然也涉及东北地区城市的污染情况, 但缺乏对东北地区多个城市空气污染状况更为细致和系统的研究和比较. 近年来, 污染的区域性特征受到越来越多的关注, 如任彦卿等对陕西省 4 市 2007—2009 年间空气污染指数的分析^[3], 孙丹等对中国三大城市群中几个典型城市 2001 年至 2010 年间的 API 变化特征进行分析^[4]. 这些文章从多方面对不同地区空气污染的变化特征进行了分析和研究. 本文的目的是通过对我国东北地区 6 个主要城市的空气污染特征进行细致和系统的研究, 为东

2013 年 10 月 17 日收稿.

* 公益性气象行业专项“大气成分观测业务规范数据综合处理系统研究 GYHY201206037”资助.

** 通讯联系人; E-mail: yu_dajiang@163.com

北地区的环境保护提供依据.

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源

API数据取自中华人民共和国环境保护部网站重点城市空气质量日报数据^[5].黑龙江省选取了哈尔滨、齐齐哈尔、牡丹江等3个城市.因吉林省除长春市外其他城市数据监测时间较短,仅选择了长春市.辽宁省选择了沈阳、大连等2个具有代表性的城市.具体数据包括沈阳、大连、哈尔滨、长春2001年1月1日—2012年12月31日及黑龙江省齐齐哈尔市与牡丹江市2005年1月1日—2012年12月31日的逐日空气污染指数、主要污染因子、空气质量级别和空气质量状况.沈阳、大连、长春、哈尔滨的有效样本数分别为4379、4381、4379和4349日;齐齐哈尔、牡丹江的有效样本数均为2918日.

1.2 趋势分析方法

使用Daniel^[6]趋势检验方法分析API(或空气质量状况比例)的变化趋势及其统计学显著性特征. Daniel趋势检验使用Spearman秩相关系数,公式为:

$$\gamma_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{N^3 - N} \quad (1)$$

式中, N 为时间周期(年), X_i 对应各时间周期按浓度值从小到大排列的序号, Y_i 对应各时间周期按时间排列的序号. γ_s 为负,表示评价时段内空气污染指数呈下降趋势,反之则为上升趋势.若 $|\gamma_s| > W_p$ (秩相关系数统计表中的临界值),表明变化趋势有显著意义.

2 结果与讨论

2.1 东北空气质量状况及污染因子分布特征

图1为东北主要城市空气质量不同API等级的日数分布.6个城市空气质量都以I级(优)与II级(良)为主,其中I级比例在5.0%—34.9%,最低的为沈阳市,最高的为牡丹江市;II级比例在56.1%—81.8%,占比最大;III级(轻微污染及以上)在4.2%—18.6%,其中沈阳市为18.6%,其次分别是哈尔滨市17.0%,牡丹江市9.1%,长春市7.0%,齐齐哈尔市5.9%,大连市4.2%.东北地区城市空气质量与北京、天津和石家庄相比,空气污染相对较轻.如2001年至2010年北京、天津和石家庄空气污染III级及III级以上的天数占总样本数的比例分别为34.2%、21.3%和29.8%^[7],均高于东北6个城市的比例.

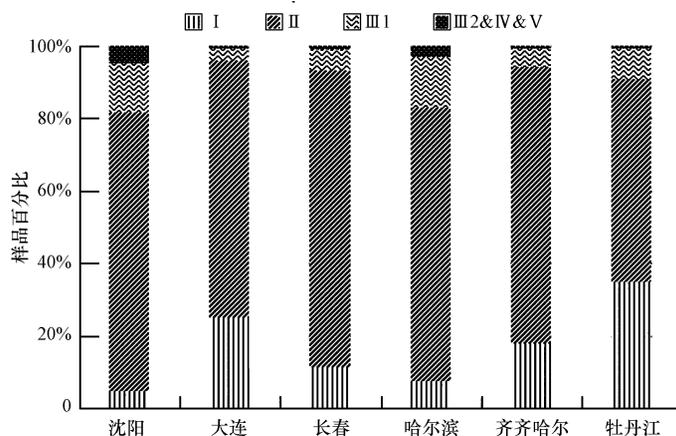


图1 东北6城市空气质量不同API等级日数分布

Fig.1 Daily distributions of the different API grades in 6 cities in northeast China

在3种污染因子二氧化氮(NO_2)、二氧化硫(SO_2)和可吸入颗粒物(PM_{10})中, PM_{10} 在6个城市所占的比例最高,为首要污染物.沈阳、长春、哈尔滨和齐齐哈尔市首要污染物为 PM_{10} 的天数占样本总数的比

例分别为 88.3%、88.4%、91.4% 和 77.1%，而大连和牡丹江市的比例分别为 60.6% 和 64.2%，相对较低一些。6 个城市 SO_2 作为首要污染物的比例在 0.4%—14.4% 之间，最高出现在大连市，最低出现在长春市。以 NO_2 作为首要污染物只在哈尔滨和牡丹江两个城市出现过，所占比例分别为 0.3% 和 0.1%。I 级（优）不计首要污染物。

2.2 城市 API 指数季节变化特征

图 2 是 6 个城市的 API 多年平均月变化。API 季节变化具有冬季高，夏季低的特征，不同站点的变化规律存在一定的空间差异；除牡丹江外，其他城市都出现春季的次高值。沈阳、哈尔滨、长春市 API 月均值相对偏高，且变化规律相似，而大连、齐齐哈尔和牡丹江市 API 月均值相对较低。沈阳、大连、长春、哈尔滨市月变化呈 W 型变化，1、12 月份 API 值最高，4、5 月份次高，7、8 月份最低。齐齐哈尔、牡丹江市与上面 4 个城市变化特征不同。牡丹江市的月变化呈 U 型，具有明显的冬季高夏季低的特征。

2.3 空气污染指数的年际变化

图 3 是东北 6 个城市空气污染指数年际变化趋势图。2001—2012 年间，沈阳、长春、哈尔滨 3 个城市年平均 API 变化略有起伏，总体呈下降趋势。沈阳市 2001 年至 2005 年下降幅度较大，2003 年下降最为明显，2005 年后下降幅度开始减缓；长春市的下降幅度一直都较为缓慢，2009 年下降幅度与其他年份相比大一些；哈尔滨市的变化可分为两个阶段，一个阶段是快速下降阶段（2001—2005 年），2005 年后出现第二个小幅的下降阶段。与其他城市不同的是，大连市 API 平均值在 2001—2006 年表现出上升的趋势且上升的幅度较大，2006 年后开始持续降低。齐齐哈尔市 API 变化趋势与其他几个城市相同，只是在 2006 年有个异常增高。牡丹江市 API 总体也呈下降趋势，在 2009 年达到了最低值，2010 年又有所增加，然后慢慢降低。

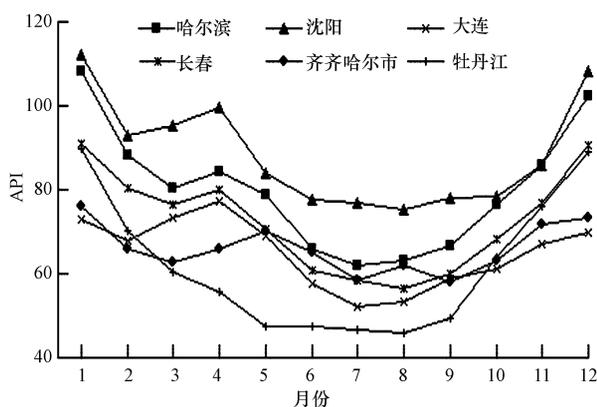


图 2 东北 6 个城市的多年 API 指数平均月变化

Fig.2 The average monthly variation of API in 6 cities in northeast China

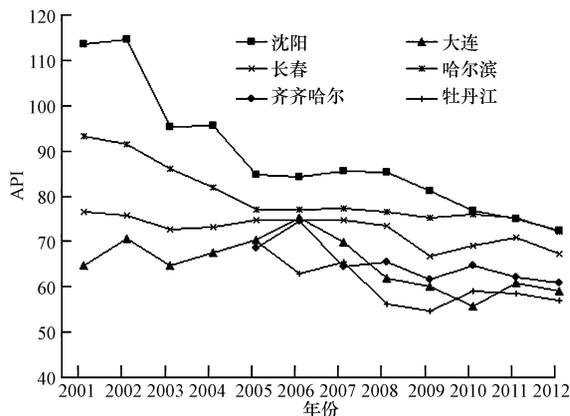


图 3 东北 6 个城市空气污染指数年际变化趋势图

Fig.3 The annual variations of API in 6 cities in northeast China

表 1 是 6 个城市采用 Daniel 趋势检验的结果。沈阳、长春、哈尔滨市 API 年平均下降趋势显著，通过 $P < 0.01$ 的显著性检验；大连、齐齐哈尔 API 年平均下降趋势通过 $P < 0.05$ 的显著性检验；牡丹江市呈下降趋势，但下降趋势不显著。6 个城市 API 年均值下降率由大到小分别是：沈阳-3.5%/年，哈尔滨-1.7%/年，牡丹江-1.6%/年，齐齐哈尔-1.4%/年，大连-1.0%/年，长春-0.7%/年。

表 1 6 个城市秩相关系数

Table 1 Rank correlation coefficients in 6 cities in northeast China

城市	沈阳	大连	长春	哈尔滨	齐齐哈尔	牡丹江
秩相关系数	-0.93**	-0.62*	-0.75**	-0.97**	-0.81*	-0.62
样本数 N	12	12	12	12	8	8

注：* $P < 0.05$ ，** $P < 0.01$ 。

2.4 不同城市间 API 演变之间的关系

为了研究东北三省 6 个城市 API 演变的普遍性与特殊性，用最小二乘法分别对 6 个城市 2005—

2012 年 API 日均值数据按季节进行多元回归分析,计算城市之间 API 的复相关系数与偏相关系数.每一季的最小样本数均为 704 个.计算结果如图 4 所示.图 4 中 R 为一个城市与另外 5 个城市之间的复相关系数, $V.SY$ 、 $V.DL$ 、 $V.CC$ 、 $V.HEB$ 、 $V.QQHE$ 和 $V.MDJ$ 分别表示与沈阳、大连、长春、哈尔滨、齐齐哈尔和牡丹江之间的偏相关系数.

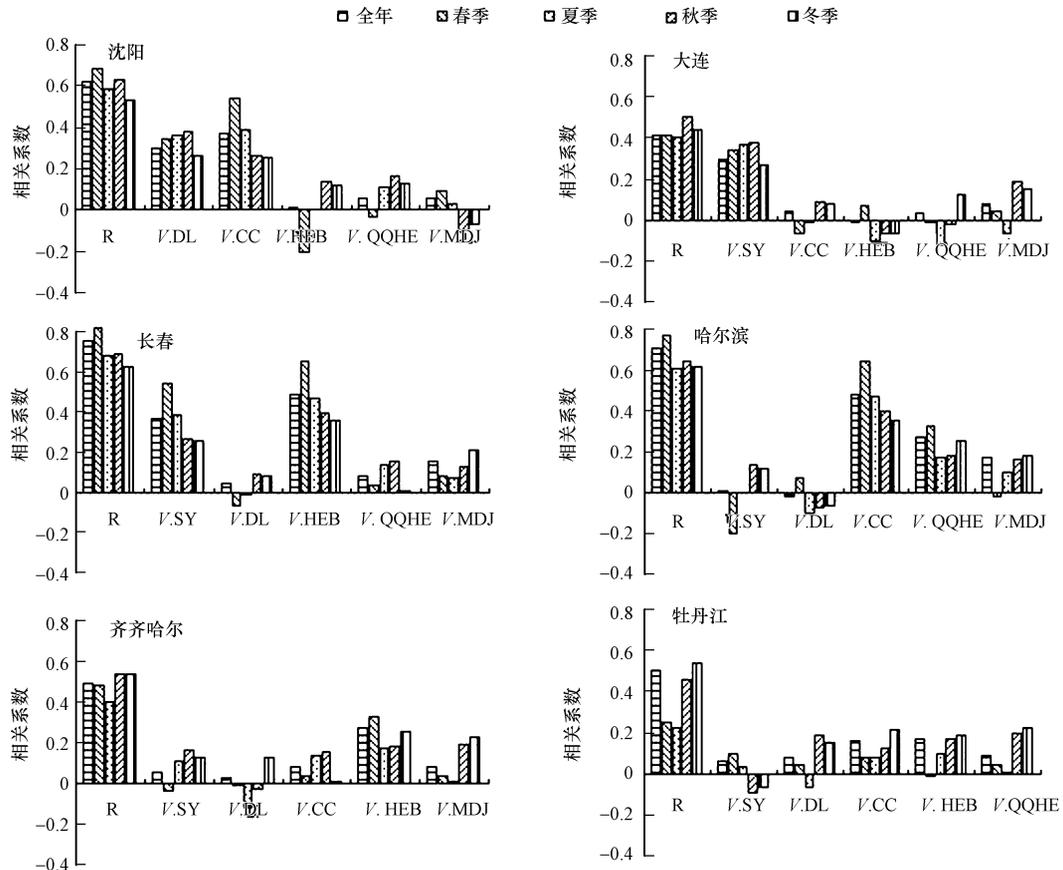


图 4 东北 6 个城市之间 API 相关系数的季节变化

Fig.4 The correlation coefficients of API for different seasons in 6 cities in northeast China

由图 4 可看出,沈阳、长春和哈尔滨市 API 间的复相关系数高过 0.6,表明 3 个省会城市与其他城市关联度较大,城市污染多为系统性普遍性污染.3 个城市复相关系数的季节变化规律基本相同,春季最高,冬季最低(哈尔滨为夏季最低).表明春季多为系统性污染,而冬季多为局地污染.大连、齐齐哈尔和牡丹江市的复相关系数相对较低,在 0.4—0.5 之间,表明大连、齐齐哈尔和牡丹江市受局地污染影响为主.从偏相关系数看,与沈阳关系最密切的城市是长春和大连,与长春关系密切的是哈尔滨和沈阳,与哈尔滨关系最密切的城市是长春.齐齐哈尔、牡丹江与其他城市的偏相关系数都相对较低,这可能与这 2 个城市的地理位置有很大的关系.东北处在大兴安岭山脉、小兴安岭山脉和长白山山脉包围下,中部多平原,周边多山水,所以中部城市的污染有一定同一性.从图 2 中 6 市月平均 API 值的变化特征可以看出,牡丹江市明显异于其他 5 市,而后 5 市 API 的走势基本一致.沈阳、长春、哈尔滨等 3 个城市同是省会级城市又处在东北平原的腹地,所以污染因素具有一定的同一性,API 月均值走势基本一致;而牡丹江市处在东北地区边缘,四面环山,中部低平,构成盆地形状,形成局地小气候,所以牡丹江市 API 变化特征与其他几个城市差异较大.

除了地理分布特征外,东北三省城市具有北方城市煤烟型污染的共性特点,即 API 变化有明显的季节性特征,冬季 API 平均值明显高于夏季.另外,由于每个城市的发展特点不一样,空气污染特征也有所差异.沈阳主要以高耗能的钢铁和机械为支柱产业,其城市规模和人口也是最大的,空气Ⅲ级及以上污染天数占总样本数的 18.6%,在 6 个城市中是最高的.黑龙江重在机械、石油和煤炭工业,同是高耗能产业,哈尔滨的空气Ⅲ级及以上污染天数占总样本数的 17.0%,排在第二位.牡丹江和齐齐哈尔由于城市

规模及工农业发展较哈尔滨要慢,空气Ⅲ级及以上污染天数分别占总样本数的9.1%和5.9%。长春市则是以汽车和新兴的生物医药为主,空气Ⅲ级及以上污染天数只占7.0%。大连是以旅游和高新技术产业为主,再加上地理特点,成为6个城市中空气Ⅲ级及以上污染天数比例(4.2%)最少的城市,在6个城市中空气质量情况最好。

2.5 沙尘天气对东北主要城市空气质量的影响

沙尘天气主要发生在我国的西北和华北地区^[8-11],东北地区虽不是我国沙尘天气主要影响区,但特定天气条件下也会对东北主要城市空气污染造成影响,尤其是对城市春季的重度污染有较大的影响。表2是几次典型沙尘天气下6个城市的空气质量分析,2002年4月7日至8日,沈阳、大连、长春、哈尔滨等4个城市的API最高值达到了500,9日沈阳、长春、哈尔滨API下降到200以下,但大连仍达到385,为重度污染。2008年5月28日至30日在沙尘天气影响下,大连、长春、哈尔滨、齐齐哈尔API值最高都达到了365以上,沈阳也达到了轻微污染,牡丹江3天空气质量均为优,没有受到沙尘天气的影响。图5是气象卫星监测示意图和2008年5月28日哈尔滨市72 h,500 m后向轨迹图,起源于蒙古国南部或内蒙古中西部的沙尘对东北的API产生重要的影响。2011年5月12日至13日沙尘天气也严重影响沈阳、长春和哈尔滨的空气质量,API总值都达到了重度污染。

表2 典型沙尘天气下6个城市的空气污染指数变化

Table 2 Change of air pollution index in 6 cities under a typical dust weather

沙尘过程	沈阳	大连	长春	哈尔滨	齐齐哈尔	牡丹江
2002-4-7	500	500	500	495	—	—
2002-4-8	500	500	500	500	—	—
2002-4-9	172	385	140	97	—	—
2008-5-28	156	101	393	500	500	32
2008-5-29	98	174	222	498	149	21
2008-5-30	98	365	88	128	100	24
2011-5-12	414	141	423	266	55	42
2011-5-13	161	93	320	500	69	44

注:“—”表示无数据。

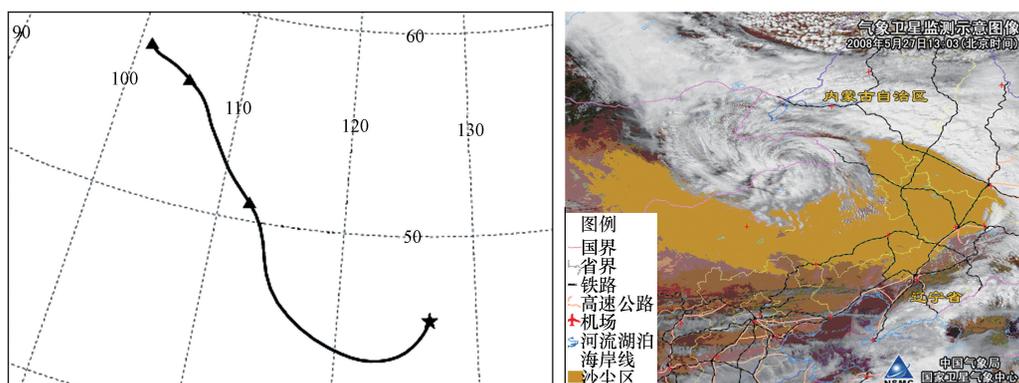


图5 2008年5月28日哈尔滨市上空500 m后向轨迹图(左)和气象卫星监测沙尘示意图(右)

Fig.5 The backward trajectory 500 m over Harbin (left) and meteorological satellite plot of dust storm (Right) on May 28, 2008

3 结论

东北地区城市空气质量与国内经济相对较发达地区相比,空气污染相对较轻,6个城市空气质量都以I级(优)与II级(良)为主,其中I级比例在5.0%—34.9%,II级比例在56.1%—81.8%;III级(轻微污染及以上)的比例在4.2%—18.6%。6个城市首要污染物主要为可吸入颗粒物,沈阳、长春、哈尔滨和齐

齐哈尔市可吸入颗粒物为首要污染物的天数占 80% 以上,而大连和牡丹江两城市的比例相对较低一些,分别是 60.6% 和 64.2%。总体来看,沈阳、哈尔滨、长春 API 月均值偏高,且变化规律相似,大连、齐齐哈尔和牡丹江 API 月均值相对较低。沈阳、大连、长春、哈尔滨 API 月均值呈 W 型变化,每年 1 月份出现最高值。

(2) 2001—2012 年间,沈阳、长春、哈尔滨市 API 年均值下降趋势极其显著 ($P < 0.01$),大连、齐齐哈尔 API 年均值下降趋势显著 ($P < 0.05$),牡丹江市 API 年均值呈下降趋势,但在统计学上不显著。

(3) 沈阳、长春和哈尔滨等 3 个省会城市与其他城市关联度较大,城市污染多为系统性普遍性污染,3 个城市的复相关系数的季节变化规律基本相同,春季高,冬季低(哈尔滨夏季最低)。地理及污染源因素对东北地区 API 区域和季节分布有着重要的影响。沙尘天气对我国东北城市春季空气质量具有重要影响,是造成 API 在春季出现次高值的重要原因。

参 考 文 献

- [1] 李向阳,丁晓妹,高宏,等.中国北方典型城市 API 特征分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(3):96-101
- [2] 向敏.我国重点城市大气污染时空分布特征分析[J].广州化工,2011,39(21):127-130
- [3] 任彦卿,曹国良,涂娟.陕西省 4 市 2007—2009 年空气污染指数分析[J].环境保护与循环经济,2010,30(8):43-46
- [4] 孙丹,杜吴鹏,高庆先,等.2001 年至 2010 年中国三大城市群中几个典型城市的 API 变化特征[J].资源科学,2012,34(8):1402-1407
- [5] 中国气象科学共享数据网.中国地面气候资料月值数据集[EB/OL].2013 年 3 月. <http://datacenter.mep.gov.cn/>
- [6] 章卫星,冯为华.南昌市大气降尘的初步研究[J].江西科学,2007,25(6):713-716
- [7] 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
- [8] 周自江,王锡稳,牛若芸,等.近 47 年中国沙尘暴气候特征研究[J].应用气象学报,2002,13(2):193-200
- [9] 鲁然英,田良,刘铁军,等.沙尘天气对我国城市环境空气质量的影响[J].甘肃科技,2005,21(2):1-4
- [10] 康晓风,张建辉,刘红辉.沙尘天气对我国城市空气质量影响的范围和强度分析[J].资源科学,2002,24(4):1-4
- [11] 樊晓燕,温天雪,徐仲均,等.北京大气颗粒物碳质组分粒径分布的季节变化特征[J].环境化学,2013,32(5):742-747