

Analysis on the Effect of Different Levels of Precipitation on Pollutant Concentration in Langfang City

Meng Wang, Liping Guo, Na Li, Haitao Du*

Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang Hebei
Email: wm1248260235@163.com, *15831686668@139.com

Received: Jun. 22nd, 2019; accepted: Jul. 2nd, 2019; published: Jul. 9th, 2019

Abstract

Using the hourly precipitation data of the meteorological observation station in Langfang City for 2013-2016 and the corresponding concentration data of six major pollutants (SO₂, NO₂, CO, O₃, PM₁₀ and PM_{2.5}) at the Pharmaceutical Company Station of the Environmental Protection Bureau Air Quality Monitoring Station, the effects of precipitation on the concentration of major pollutants were studied by using mathematical statistical methods, such as intensity of precipitation of different grades, different precipitation periods and nature of precipitation of different seasons. The results show that: 1) Under different precipitation intensity, the dilution of heavy rain and moderate rain is better than light rain; 2) The six types of pollutants have significant differences in precipitation, and the concentration reduction rates of PM₁₀, PM_{2.5}, and SO₂ are the most obvious, reaching 60%, and the rate of decline of O₃ is the weakest, and it is not sensitive to the changes in precipitation intensity; 3) The effect of rainfall is better than snowfall, and the reduction rate of pollutant concentration by precipitation is generally higher than that by snowfall; 4) Summer precipitation has the strongest dilution, followed by autumn, spring and winter, which is also related to precipitation intensity and precipitation; 5) The rate of reduction of pollutant concentration at the end of 2 hours of precipitation is higher than that at the end of 1 hour of precipitation.

Keywords

Different Levels of Precipitation, Air Pollutant Concentration, Impact Analysis

不同等级降水对廊坊市污染物浓度的影响分析

王 梦, 郭立平, 李 娜, 杜海涛*

河北省廊坊市气象局, 河北 廊坊
Email: wm1248260235@163.com, *15831686668@139.com

*通讯作者。

摘要

利用2013~2016年廊坊市气象观测站小时降水资料、环保局空气质量监测药材公司站六类主要污染物(SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀和PM_{2.5})相应浓度数据,利用数理统计方法分析了不同等级降水强度、不同降水时段、不同季节降水性质等6个方面,研究分析了降水对主要污染物浓度的影响。结果表明:1)在不同小时降水强度下,大雨和中雨的稀释作用要优于小雨;2)六类污染物对降水有较明显差异,PM₁₀、PM_{2.5}和SO₂浓度下降率最明显,达到60%,O₃的下降率最弱,对降水强度变化不敏感;3)降雨作用优于降雪,降水对污染物浓度下降率普遍高于降雪;4)夏季降水的稀释作用最强,其次是秋季,春季和冬季最差,这也和降水强度和降水量相关;5)降水结束2小时污染物浓度下降率又比降水结束1小时偏高。

关键词

不同等级降水, 空气污染物浓度, 影响分析

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

有研究表明[1] [2] [3],空气污染造成呼吸系统疾病、心脑血管疾病发病率明显升高,从而严重影响人们的身心健康和寿命;王治非等[4] [5]研究发现,空气污染会导致能见度低下等衍生灾害性问题,对农业、交通等行业产生的严重影响不可忽视。随着人类对健康、环境、生态意识的提高,污染问题已经成为全国乃至全球关注的热点问题之一。目前很多专家学者对气象要素及大气环流对气象污染物的影响做了深入研究:杨洋[6]从局地环流方面对京津冀地区大气污染影响的研究得到了京津冀区域局地环流日变化规律及影响下的大气污染物时空变化特征的初步定量分析结果,严重区域污染过程中局地环流为主要作用因子;郭立平等[7] [8]从大气高低空环流配置形势及风场、空气相对湿度、日降水量、气温、气压方面分析了重污染天气特征指标;花丛[9] [10]从边界层中的热力及动力作用,研究了逆温层及湍流交换对空气污染物的聚集和扩散的作用;张占峰[11] [12]等,从降水方面研究污染物的变化特征。但是由于地形、地域差异,空气重污染的大气环流和气象条件存在一定差异,为应对地域间联合开展空气重污染的预报预警业务和为当地政府、公众提供科学信息的需求,深入分析了河北廊坊2013~2016年降水强度、不同的季节,及降水过程(降水间隔 ≤ 2 小时的降水定义为一次连续降水过程)结束之后1小时、2小时的污染物浓度下降率变化,用数理统计方法分析降水对污染物稀释的作用及污染物的敏感度,从而在实际工作中对空气重污染的预报预警及应对提供参考。

2. 资料来源及方法

气象资料为2013~2016年廊坊市国家气象观测站降水资料,SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀和PM_{2.5}六类主要污染物浓度资料为环保局空气质量监测药材公司站数据(与气象观测站相距约1.2 km,地理位置上与气象观测站更接近,资料有更好的对比分析价值)。日降水量(北京0时至次日0时小时降水量总和)和

小时降水强度均参照 GB/T 28592-2012 日降水量标准, 划分如表 1。

Table 1. Standards for hourly precipitation intensity and daily precipitation intensity
表 1. 小时降水强度、日降水强度标准

小雨	0.1~9.9	小雪	0.1~2.4
中雨	10~24.9	中雪	2.5~4.9
大雨	25~49.9	大雪	5~9.9
暴雨	50~99.9		

根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633-2012)规定: 空气污染指数划分为 0~50 为优、51~100 为良、101~150 为轻度污染、151~200 为中度污染、201~300 重度污染和大于 300 严重污染的六档, 对应于空气质量的六个级别, 指数越大, 级别越高, 说明污染越严重, 对人体健康的影响也越明显。

3. 不同等级降水对污染物浓度的影响

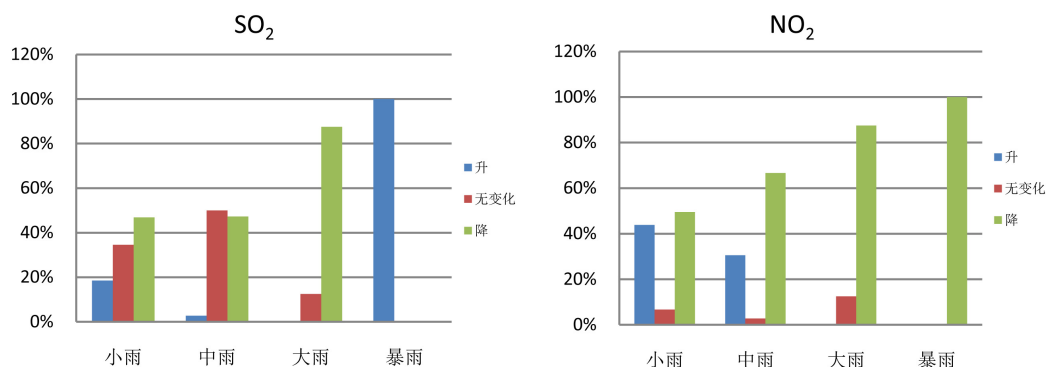
根据上述标准, 2013~2016 年出现的 269 个降雨日中对应空气质量分布见表 2。从表中可见, 小雨 202 天, 中雨 40 天, 大雨为 18 天, 暴雨 3 天。

Table 2. Correlation between rainfall day and air quality in Langfang City 2013-2016
表 2. 2013~2016 年廊坊市降雨日与空气质量的对应关系

	优	良	轻度	中度	重度	严重
小雨	21	103	48	20	8	2
中雨	6	19	13	2		
大雨		12	4	2		
暴雨	1	2				

3.1. 不同等级降水强度对六类污染物浓度升降变化特征

小时降水强度对六类污染物浓度升降变化特征(图 1)反应出, 降水对六类污染物的浓度稀释作用有一定的差异性。就小雨、中雨和大雨的稀释作用来看, 对 SO_2 、 NO_2 和 CO , 大雨和中雨有明显的稀释作用, 相比较, 大雨的稀释下降率更大, 分别达到 87.5%、87.5%、75%, 小雨的稀释下降率较小, 在 46.8%~49.5%; 对 O_3 , 小雨和中雨的稀释沉降作用更大, 其中小雨下降比率最大, 为 50.1%, 大雨的稀释下降率最小, 仅为 25%; 对 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 来说, 中雨的稀释作用均较强, 分别达到 58.3%、80.6%, 不过小雨对 PM_{10}



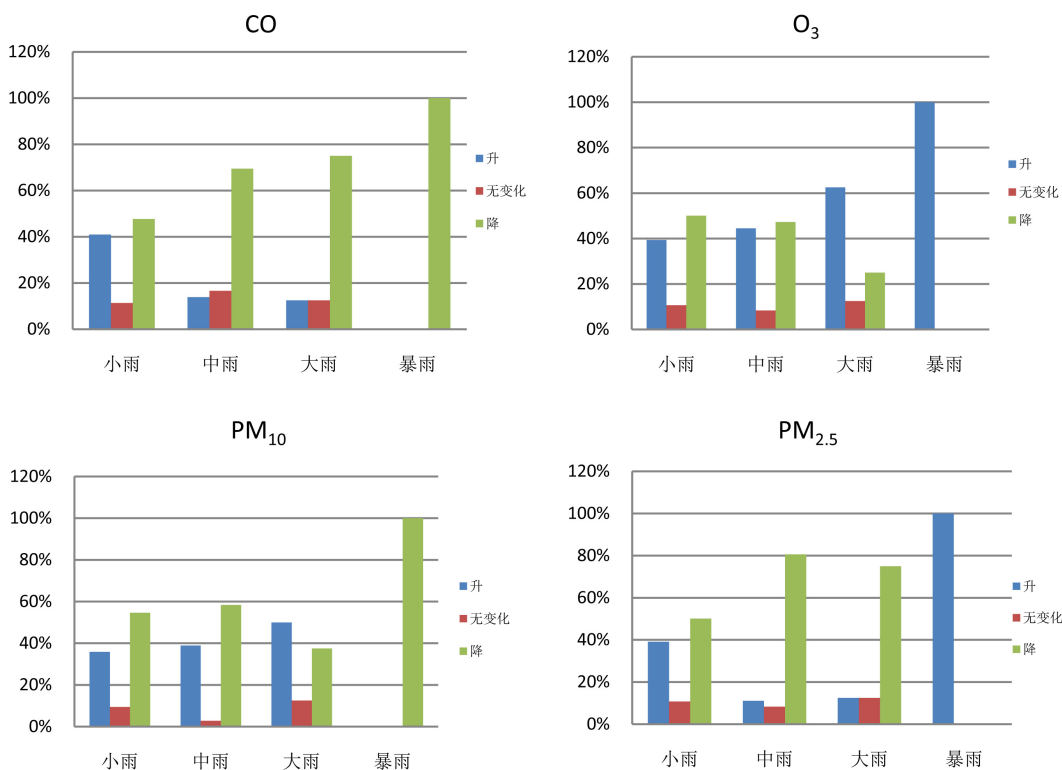


Figure 1. The variation characteristics of hourly precipitation intensity to the concentration of six kinds of pollutants
图 1. 小时降水强度对六类污染物浓度升降变化特征

的稀释作用仅次于中雨，下降率到达 54.6%，对 PM_{2.5} 则是大雨对其有 75% 的稀释下降率；且从上图统计比率可以看出，只有 O₃ 和 PM₁₀ 有浓度升高比率大于下降比率，分别是大雨对 O₃ 和 PM₁₀，升高比率比下降比率分别高 37.5%、12.5%。由于统计中暴雨次数仅有一次，故其统计结果没有较好的代表性。

3.2. 季节性降水对六类污染物浓度升降变化特征

3.2.1. 春季降水对六类污染物浓度升降变化特征

春季降水较少，小时雨量以小雨为主，统计时段内的春季小时降水次数为 172 次。从图 2 统计显示，

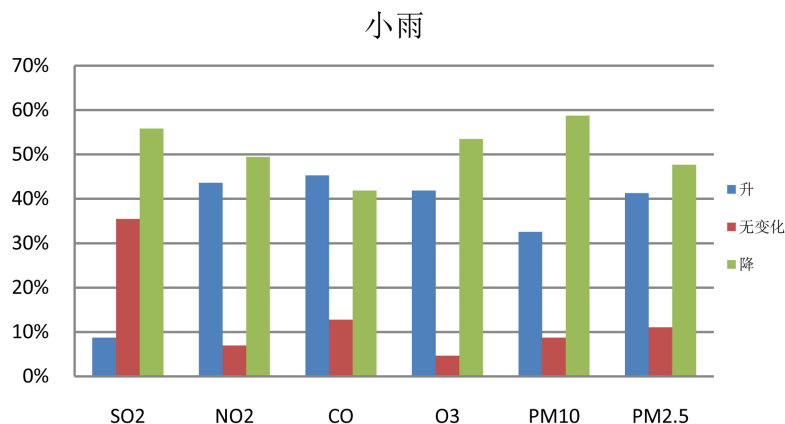


Figure 2. The variation characteristics of spring precipitation on the concentration of six kinds of pollutants
图 2. 春季降水对六类污染物浓度升降变化特征

对 PM_{10} 、 SO_2 和 O_3 的稀释作用较为明显, 下降比率均超过 50%, 其中对 PM_{10} 最明显比率为 58.7%, SO_2 和 O_3 下降比率分别为 55.8%和 53.5%; 对 CO 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 NO_2 的稀释作用不太显著, 下降比率均低于 50%, 分别为 41.9%、47.7%和 49.4%。其中 CO 的浓度升高比率比下降比率高 3.4%, $\text{PM}_{2.5}$ 的升高和下降比率相接近。

3.2.2. 夏季降水对六类污染物浓度升降变化特征

夏季是一年降水较为集中的时段, 雨量较多, 同时降水强度也较大。小时降水量中雨和大雨的次数也明显增多。从图 3 可以看出, 就小雨、中雨和大雨的稀释作用来看, 对 SO_2 小雨和中雨的稀释作用并

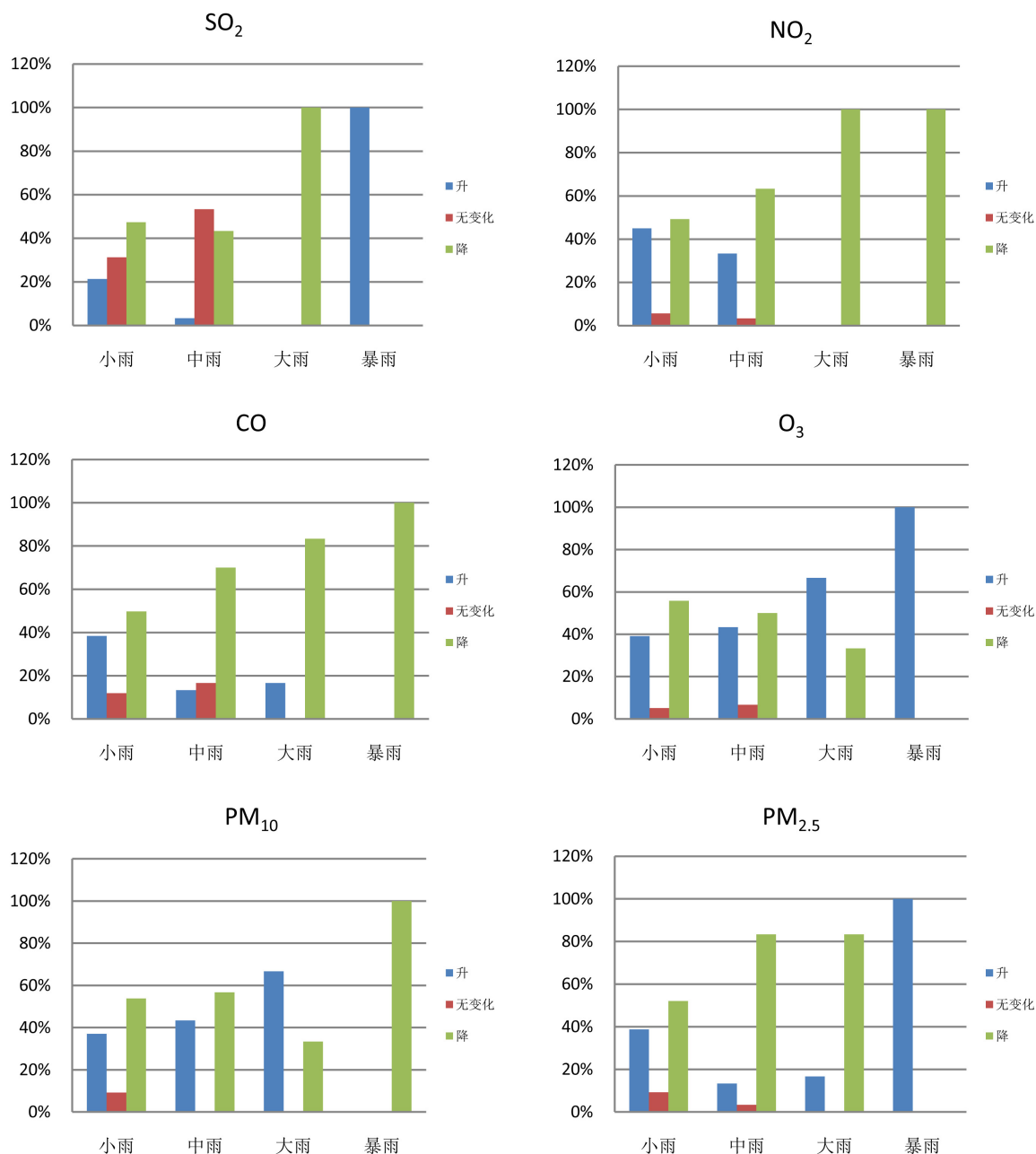


Figure 3. The variation characteristics of summer precipitation on the concentration of six kinds of pollutants
图 3. 夏季降水对六类污染物浓度升降变化特征

不明显，下降比率均低于 50%，在统计的 6 次大雨中，对其稀释作用达到 100%；对 NO₂、CO，中雨和大雨的稀释作用较为明显，中雨中两者下降比率分别为 63.3%和 70%，在大雨中两者的比率分别为 100%和 83.3%；O₃ 和 PM₁₀ 与其他物质的反应有较明显的区别，在小雨和中雨中，两者下井比率均在 50%以上，最大下降率值为 56.7%，在大雨中，两者的下降率却只有 33.3%，升高比率比起高 33.4%；PM_{2.5} 对夏季降水比较敏感，下降比率在 52.1%~83.3%，中雨和大雨的下井比率比小雨更高。

3.2.3. 秋季降水对六类污染物浓度升降变化特征

秋季降水中小时雨量主要为小雨(图 4)。秋季雨强达到暴雨统计结果只有 2 次，除 O₃ 的稀释下降比率为 0，其余是下降比率为 50%；对于 SO₂，秋季中雨对其的稀释下降作用增强，稀释下降比率为 66.7%，小雨稀释作用不明显，下降比率仅为 42%；对 NO₂、CO，中雨稀释作用较为明显，稀释下降比率分别为

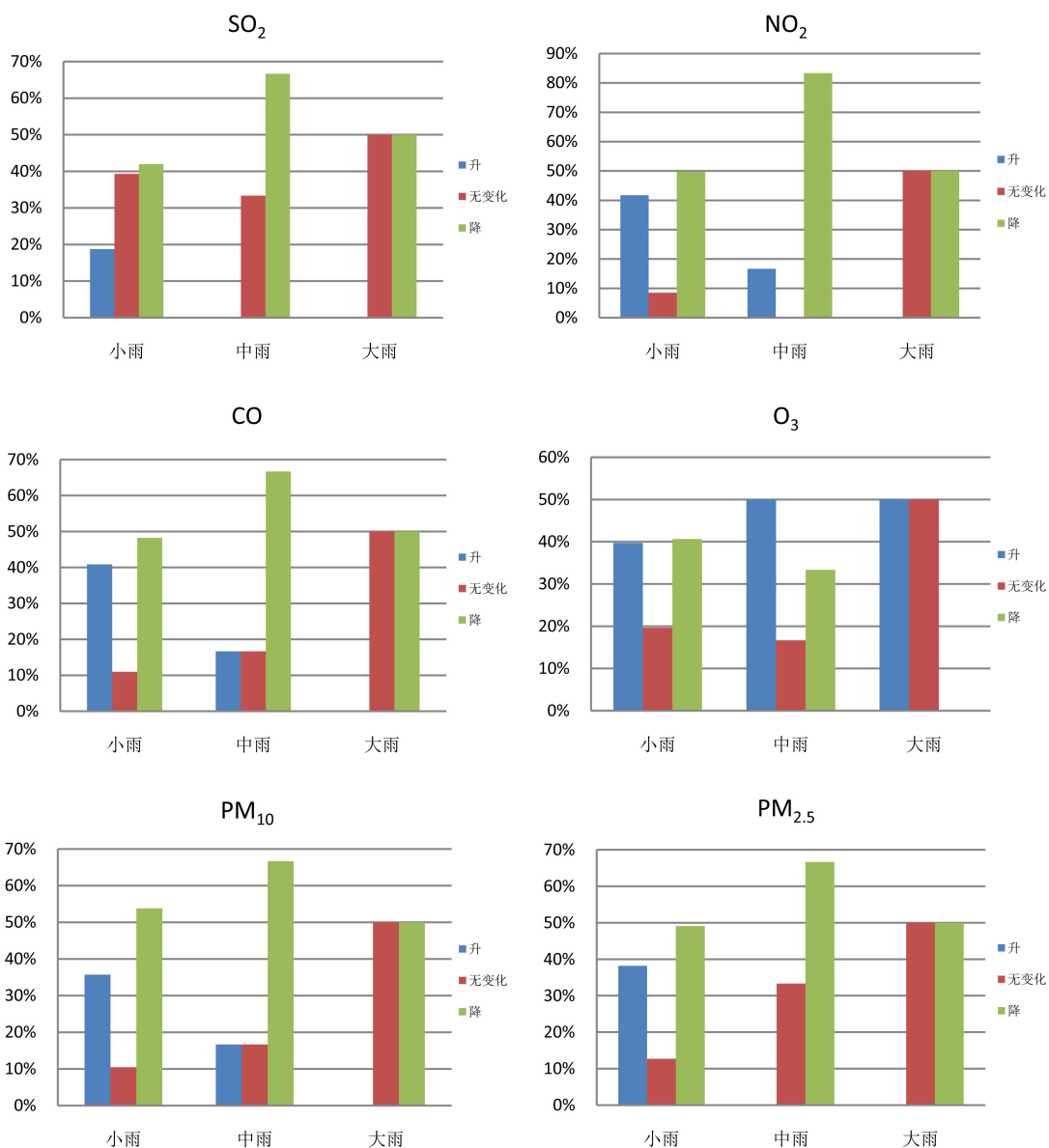


Figure 4. The variation characteristics of autumn precipitation on the concentration of six kinds of pollutants
图 4. 秋季降水对六类污染物浓度升降变化特征

83.3%和 66.7%，小雨稀释下降比率低于 50%；秋季降水中，对 O₃ 的稀释作用不显著，下降比率均低于 41%，中雨中下降比率只有 33.3%；中雨对 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的稀释作用较明显，均为 66.7%，小雨对 PM₁₀ 的稀释作用也较明显，比率为 53.8%，对 PM_{2.5} 的稀释下降率为 49.1%。

3.2.4. 冬季降水对六类污染物浓度升降变化特征

冬季降水较少，雨量及雨强均较小，均为小雨。图 5 统计结果显示，其中 SO₂ 稀释作用最明显，下降比率为 59.2%；其次是 PM₁₀ 和 PM_{2.5}，下降比率分别为 53.9%和 50%；对 CO，NO₂ 和 O₃ 的稀释作用不在显著，下降比率在 38.2%~48.7%，其中 O₃ 的上升比率比下降比率高 1.3%。

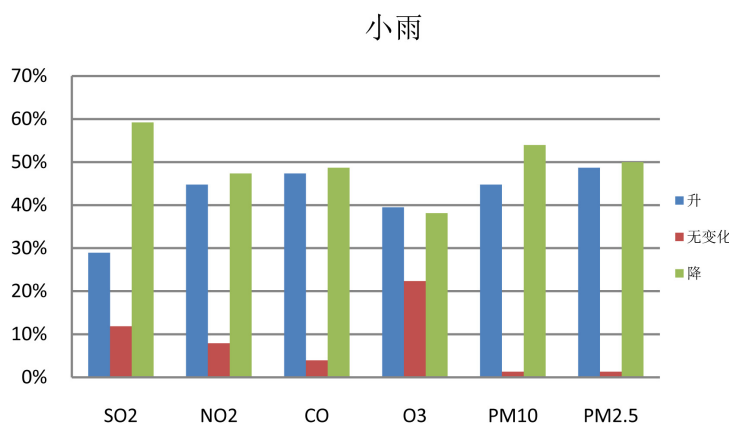


Figure 5. The variation characteristics of winter precipitation on the concentration of six kinds of pollutants
图 5. 冬季降水对六类污染物浓度升降变化特征

3.2.5. 冬季降雪对六类污染物浓度升降变化特征

统计 127 时次降雪对六类污染物的稀释下降情况统计(图 6)发现，只有对 CO 有较明显的稀释作用，下降比率为 53.5%高于 50%，其余五类污染物下降比率均低于 50%，其中 SO₂ 和 NO₂ 的下降比率为 49.6%，接近 50%；PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的下降比率更低，为 44.9%~47.2%，对 O₃ 的稀释作用最差，下降比率仅为 34.6%，其升高比率比下降比率高 11.9%。

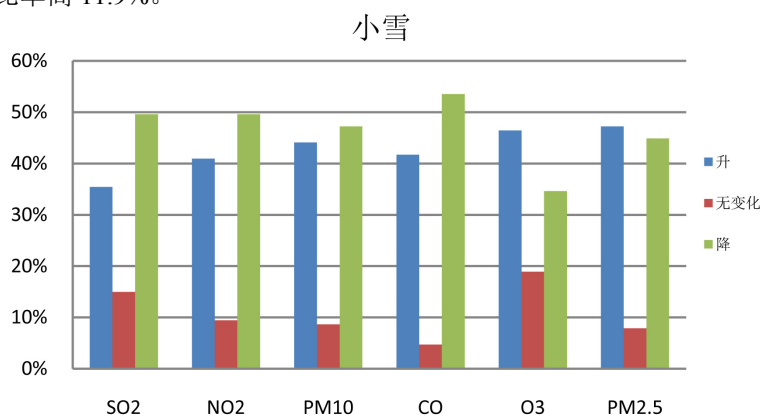


Figure 6. The variation characteristics of winter snowfall on the concentration of six kinds of pollutants
图 6. 冬季降雪对六类污染物浓度升降变化特征

3.3. 日降水量对六类污染物浓度升降变化的影响

日降水量(北京 0 时至次日 0 时小时降水量总和)的稀释下降统计(图 7)，结果显示除 O₃ 外，其余五类

污染物稀释下降比率均较大。其中下降比率最明显的依次是 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 SO_2 ， PM_{10} 和 SO_2 在大雨的下下降比率均最大，分别为 85%和 70%， $PM_{2.5}$ 在中雨的下下降比率最大为 76.7%；在小雨中的下降比率最小，为 68.7%、59.9%和 65.9%； NO_2 和 CO 在三类日降水中下降比率分布较为接近，下降率在 56%~65%之间，两者均在大雨下降率最大分别为 65%和 60%， NO_2 在中雨下降率最小为 55.8%， CO 在小雨下降率最低为 54.8%；可见大雨的稀释作用最明显，稀释比率在 60%~85%，中雨的稀释下降比率略高于小雨下，稀释比率在 55%~76%。日暴雨数只有 3 次， PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 和 CO 中下降率明显， O_3 的升高比率高于下降比率。

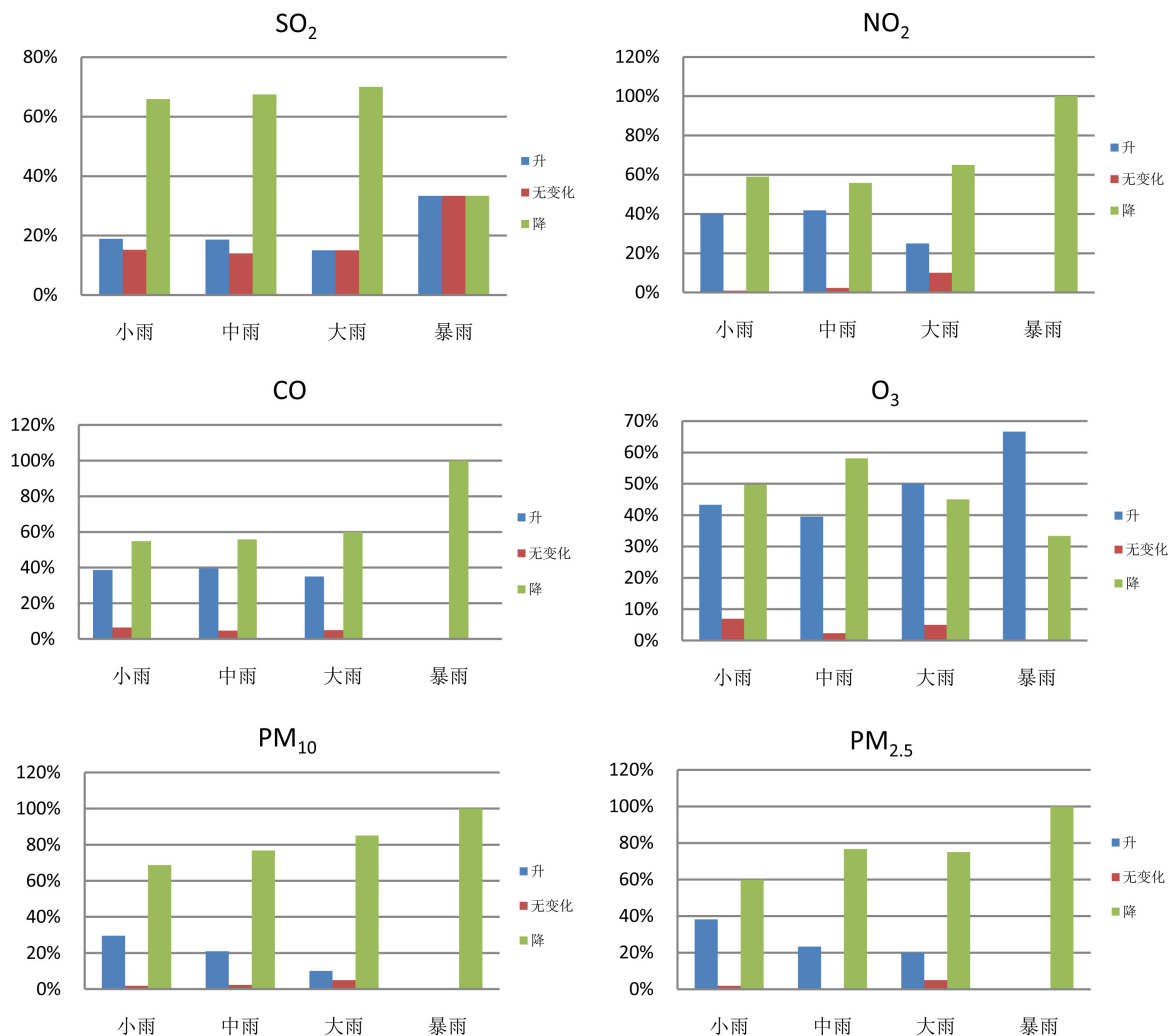


Figure 7. The variation characteristics of diurnal precipitation on the concentration of six kinds of pollutants
图 7. 日降水对六类污染物浓度升降变化特征

3.4. 降水结束 1 小时、2 小时与降水开始时刻相比污染物变化特征

3.4.1. 降雨结束 1 小时与降雨开始时刻相比六类污染物变化特征

对连续降水过程结束 1 小时六类污染物浓度与降水开始时刻浓度进行对比(图 8)，结果表明小雨、中雨和大雨稀释下降比率普遍在 50%以上。其中稀释下降比率较明显前三类依然是 PM_{10} 、 SO_2 和 $PM_{2.5}$ ，其中 PM_{10} 在大雨的下劲旅最明显为 94.7%，在小雨下降率最低，且能达到 63.9%； SO_2 和 $PM_{2.5}$ 在中雨的

下降比率高于大雨和小雨, 最大值分别为 79.5%和 69.2%, 大雨稀释下降比率略低于中雨的下下降比率, 小雨的下下降比率最小为 59%左右; CO、NO₂ 和 O₃ 的在中雨和大雨的稀释下降比率 52%~57%, 在小雨, O₃ 的稀释下降比率为 48.1%, 低于 50%, CO 和 NO₂ 的下下降比率在 52%左右。暴雨只有 4 次, 从比值可以发现, PM₁₀、PM_{2.5} 和 CO 的稀释作用较为明显。

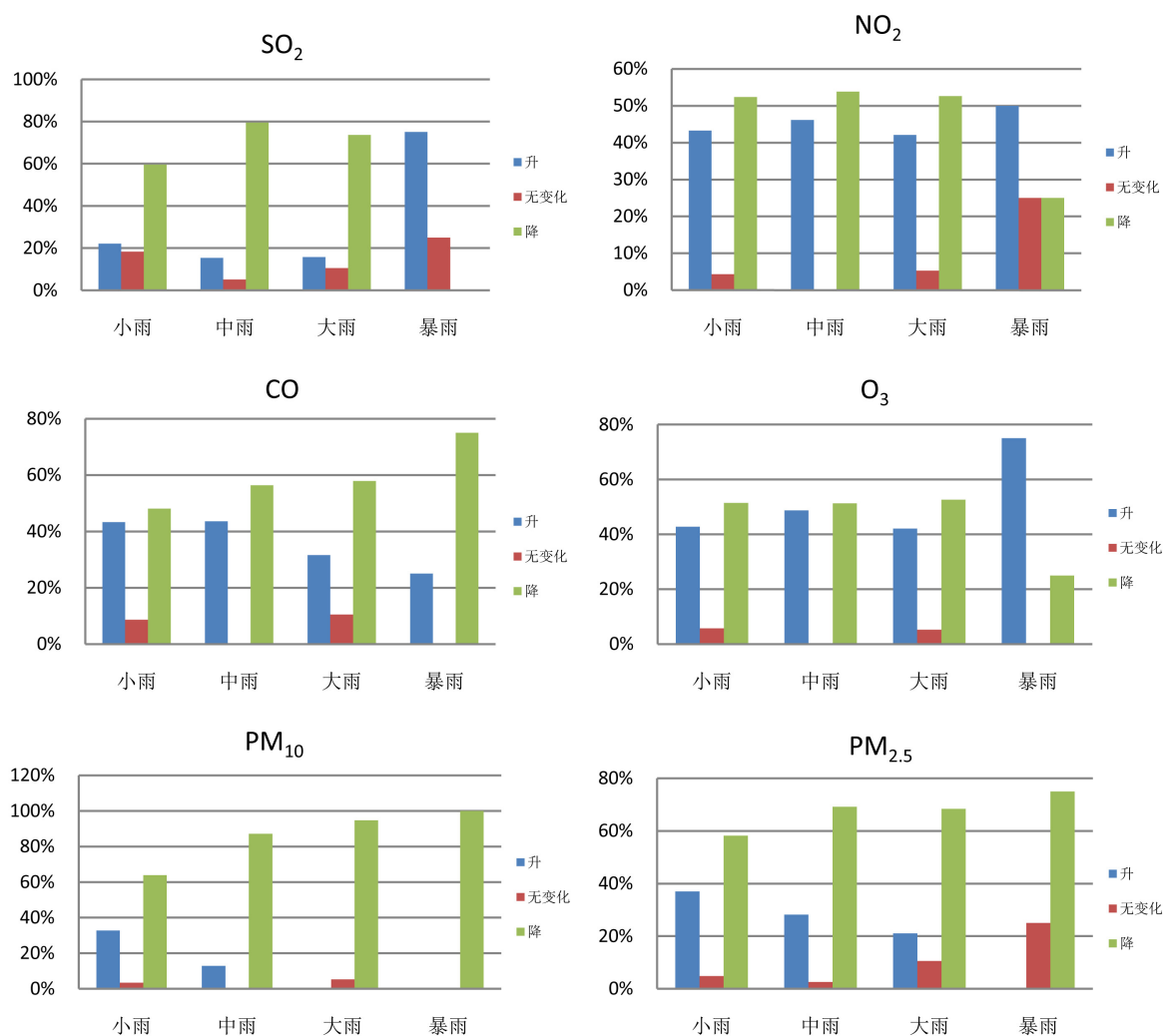


Figure 8. Variation of six types of contaminants in 1 hour end of rainfall compared with the beginning time of precipitation
图 8. 降雨结束 1 小时与降水开始时刻相比六类污染物变化特征

3.4.2. 降雪结束 1 小时与降雪开始时刻相比六类污染物变化特征

小雪降水过程统计(图 9)结果显示, 18 次小雪过程结束 1 小时的污染物与开始时刻的浓度差值的正负比率分析, SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 的下下降比率均为 55.6%, 其次是 O₃, 其下下降比率仅为 50%, CO 的下下降比率最低仅为 22.2%。结果显示, 小雪的稀释作用并不明显。中雪和大雪统计次数太少, 结果没有较好的代表性。

3.4.3. 降雨结束 2 小时与降雨开始时刻相比六类污染物变化特征

对连续降水过程结束 2 小时六类污染物浓度与降水开始时刻浓度进行对比(图 10), 结果表明小雨、中雨和大雨稀释下下降比率普遍在 50%以上。其中稀释下下降比率较明显前三类是 PM₁₀、SO₂ 和 PM_{2.5}, 其

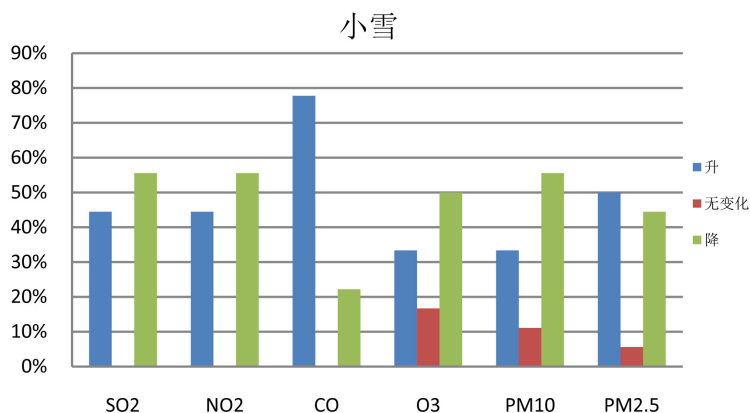


Figure 9. Variation of six types of contaminants in 1 hour end of snowfall compared with the beginning time of precipitation

图 9. 降雪结束 1 小时与降雪开始时刻相比六类污染物变化特征

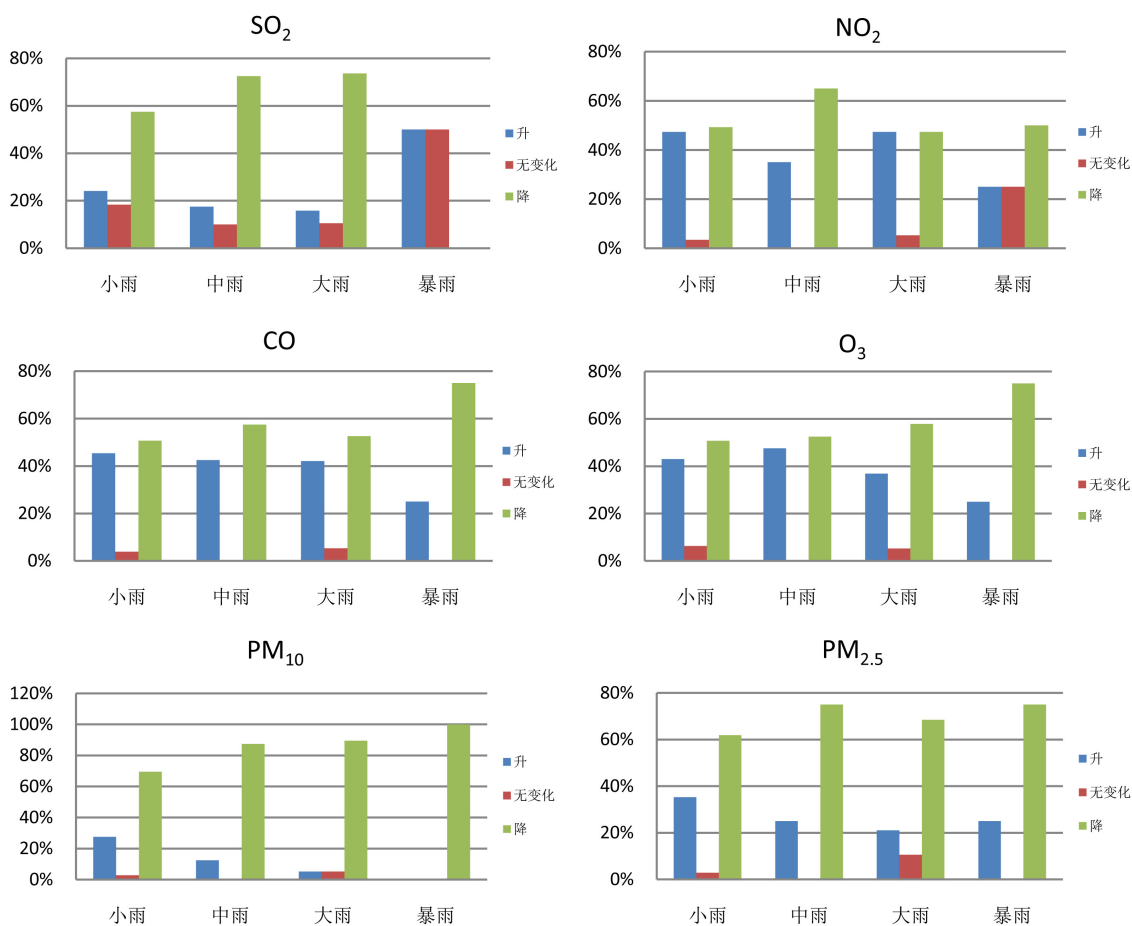


Figure 10. Variation of six types of contaminants in 2 hour end of rainfall compared with the beginning time of precipitation

图 10. 降雨结束 2 小时与降水开始时刻相比六类污染物变化特征

中 PM₁₀ 的稀释下降比率最明显，比率在 70% 以上，PM₁₀ 和 SO₂ 在大雨的下落率最大，分别为 89.5% 和 73.7%，两者在中雨的下落比率只略低于大雨，在小雨最小分别为 69.6% 和 57.5%；PM_{2.5} 在中雨的下落

比率最高, 达到 75%, 小雨的稀释下降比率最小为 61.8%, 大雨的稀释下降比率略高于小雨 6%; CO 和 O₃ 的在中雨和大雨的稀释下降比率 53%~57%, 在小雨的下下降比率为 50.7%; NO₂ 在中雨的稀释下降比率最高为 65%, 在小雨和大雨下降比率低于 50%; 暴雨(4 次)次数较少, 从比值可以发现, PM₁₀、PM_{2.5} 和 CO 的稀释作用较为明显。

3.4.4. 降雨结束 2 小时与降雨雪开始时刻相比六类污染物变化特征

小雪过程结束 2 小时的污染物与开始时刻的浓度差值的下降比率分析(图 11), PM₁₀、NO₂ 和 SO₂ 的稀释下降比率高于 50%, PM₁₀ 的稀释下降比率最高为 66.7%, 次高值是 NO₂ 的 61.1% 稀释下降比率, SO₂ 的下降比率为 50%; O₃、CO 和 PM_{2.5} 的下降比较低, 升高比率高于下降比率, 且 PM_{2.5} 的下降比率仅有 33.3%。中雪和大雪统计次数太少, 结果没有较好的代表性。

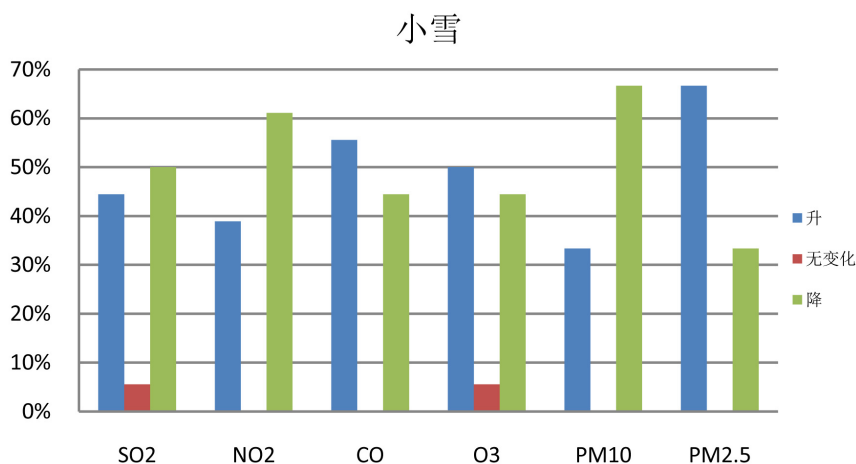


Figure 11. Variation of six types of contaminants in 2 hour end of snowfall compared with the beginning time of precipitation

图 11. 降雪结束 2 小时与降水开始时刻相比六类污染物变化特征

4. 结论与讨论

- 1) 在不同小时降水强度下, 大雨和中雨的稀释作用要优于小雨。
- 2) 六类污染物(SO₂、NO₂、CO、O₃、PM₁₀ 和 PM_{2.5})对降水的稀释作用有明显差异, PM₁₀、PM_{2.5} 和 SO₂ 浓度下降率最明显, 达到 60%, O₃ 的下降率最弱, 对降水强度变化不敏感。
- 3) 降水形态对污染物的稀释沉降作用有差异, 降雨作用优于降雪, 降水使污染物浓度下降率普遍高于降雪。
- 4) 降水的稀释沉降作用有明显的季节性, 夏季降水的稀释作用最强, 其次是秋季, 春季和冬季最差, 这也和降水强度和降水量相关。
- 5) 降水结束 2 小时污染物浓度下降率又比降水结束 1 小时偏高。

基金项目

河北省气象局 2017 年指导性项目(201704)。

参考文献

- [1] 裴秀坤, 威海, 刘凤霞, 张小民, 王勇. 承德市空气污染和健康监测结果分析[J]. 中国公共卫生, 2005, 21(10): 1262-1262.

- [2] 邓晓为, 张燕萍, 段青. 太原市空气污染与儿童门诊量相关性研究[J]. 环境与健康杂志, 2002, 19(1): 44-46.
- [3] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 大气细颗粒物控制对我国城市居民期望寿命的影响[J]. 中国环境学, 2014, 34(10): 2701-2705.
- [4] 王治非. 济南市能见度与大气污染物的关系研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2016.
- [5] 路婵. 大气污染物与气象条件对长沙城市能见度的影响分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [6] 杨洋. 局地环流对京津冀地区大气污染影响研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
- [7] 郭立平, 李成才, 王旭光, 等. 河北廊坊空气重污染的大气环流和气象条件[J]. 中国人口资源与环境, 2016(S1): 79-83.
- [8] 杨雪玲. 兰州市重污染天气过程环流形势与气象条件研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [9] 花丛, 张碧辉, 张恒德. 2013年1-2月华北雾、霾天气边界层特征对比分析[J]. 气象, 2015, 41(9): 1144-1151.
- [10] 孙兆彬, 李梓铭, 廖晓农, 唐宜西, 赵秀娟. 北京大气热力和动力结构对污染物输送和扩散条件的影响[J]. 中国环境科学, 2017, 37(5): 1693-1705.
- [11] 张占峰, 马小萍, 张焕平, 等. 降水对西宁市大气污染物浓度的影响分析[J]. 青海环境, 2016, 26(2): 57-61.
- [12] 费金岩. 抚顺市大气降水污染状况及变化趋势分析[J]. 黑龙江科技信息, 2015(21): 28.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

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

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org