

Observation and Analysis of Black Carbon Aerosol Characteristics in Tianjin in Winter

Dan Li, Miao Tang*, Bin Liu

Tianjin Eco-Environmental Monitoring Center, Tianjin
Email: 18722023122@126.com, *tangmiao32@163.com

Received: Feb. 25th, 2019; accepted: Mar. 8th, 2019; published: Mar. 15th, 2019

Abstract

Based on the observation data of black carbon, particulate matter and meteorological factors of Tianjin Eco-Environmental Monitoring Center from January to March 2018, the variation trend and pollution characteristics of black carbon aerosol concentration in winter in Tianjin were explored. The results show that the average concentration of black carbon aerosol is $2.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which takes up 3.04% of the mass concentration of PM₁₀ and 15.3% of the total extinction of aerosol. Under the influence of human activities and meteorological conditions, the diurnal variation of black carbon aerosol concentration shows a bimodal pattern, reaching a peak at 8:00, a minimum from 14:00 to 16:00, and a maximum at 22:00. The concentration of black carbon aerosol decreases with the increase of wind speed. When the wind speed exceeds 4 m/s, the concentration of black carbon aerosol is lower. West wind, southwest wind and northwest wind have obvious influence on black carbon aerosol transport in Tianjin city area; high black carbon aerosol events greater than $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ are easy to occur.

Keywords

Black Carbon Aerosol, Absorption Properties, Particulate Matter Correlation, Tianjin

天津市冬季黑碳气溶胶特征观测分析

李 丹, 唐 邈*, 刘 彬

天津市生态环境监测中心, 天津
Email: 18722023122@126.com, *tangmiao32@163.com

收稿日期: 2019年2月25日; 录用日期: 2019年3月8日; 发布日期: 2019年3月15日

摘 要

利用天津市生态环境监测中心2018年1月~3月期间的黑碳、颗粒物和气象因素观测数据, 探究天津市冬
*通讯作者。

季黑碳气溶胶浓度的变化趋势及其污染特征。结果表明,观测期间,黑碳气溶胶浓度均值为 $2.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$,占PM₁₀质量浓度的3.04%,其吸收消光占气溶胶总体消光的15.3%。受人类活动和气象条件影响,黑碳气溶胶浓度日变化呈双峰型,8:00达到峰值,14:00~16:00最小,22:00达到一天中最大值。黑碳气溶胶浓度随风速升高呈下降趋势,当风速大于 4 m/s 时,黑碳气溶胶浓度较低。西风、西南风及西北风对天津城区黑碳气溶胶输送作用明显,易出现大于 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的高黑碳气溶胶事件。

关键词

黑碳气溶胶, 吸收特性, 颗粒物相关性, 天津

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

黑碳气溶胶(BC)是大气气溶胶的重要组成部分,是由生物质燃料和化石燃料的不完全燃烧产生,其中生物质燃料燃烧主要来自于森林火灾、秸秆焚烧等,而化石燃料燃烧主要包括燃煤和石油燃烧等[1] [2]。其对太阳辐射吸收作用较为强烈,是大气中首要的吸收性气溶胶成分,具有直接和间接的气候效应;由于黑碳气溶胶表面可以吸附有毒、有害物质,对人类健康造成了威胁[3];黑碳气溶胶也是大气中非均相反应和气粒转化过程中重要的载体和催化剂,对大气化学过程产生积极影响[4]。在20世纪80年代末,全球大气监测网(GAW)已将黑碳气溶胶作为一个重要的气溶胶观测项目,我国相关的工作开展较晚,到20世纪90年代,才开始在临安[5]、拉萨、北京[6]、瓦里关[7]、南京[8]等地尝试系统的黑碳气溶胶观测。

本研究通过对2018年1月~3月天津市黑碳气溶胶监测数据进行系统分析,从与颗粒物相关性、气象条件及污染气团后向轨迹等多个方面探究天津市黑碳气溶胶污染特征,旨在为开展城市和区域气溶胶特征研究奠定基础,并积累相关科学数据。

2. 资料和方法

天津市位于东经 $116^{\circ}43' \sim 118^{\circ}04'$ 、北纬 $38^{\circ}34' \sim 40^{\circ}15'$ 之间,地处华北平原北部,东临渤海,北依燕山。在海河下游,地跨海河两岸,是北京通往东北、华东地区铁路的交通咽喉和远洋航运的港口。主要工业包括石油化工、电子、机械制造、冶金等。天津地处北温带位于中纬度亚欧大陆东岸,主要受季风环流的支配,是东亚季风盛行的地区,属暖温带半湿润季风性气候。采样点位于南开区天津市生态环境监测中心四楼顶,距地面约20 m左右,周围没有明显局地污染源。距北50 m为复康路,交通较为繁忙。南侧30 m为7层高楼。东西方向较为开阔,无遮挡物,西南方向20 m为南开大学附属小学,东侧为绿化带。点位分布见图1。

观测采用美国MAGEE科技公司研制和生产的AE-31型七波段黑碳仪。该型号仪器能够对黑碳气溶胶质量浓度进行连续在线观测,其工作原理是在石英滤纸带上收集的粒子对光的吸收造成的衰减,属于光学灰度测量法。黑碳仪具有内制泵,流量控制在 $5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,采样时通过一根软管将PM_{2.5} (particulate matter $\leq 2.5 \mu\text{m}$,即大气中直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物)采样切割头和仪器相连。在仪器内部安装有滤纸带,平均每5 min获取1组黑碳浓度数据。它可同时在紫外,可见和近红外等7个波长对大气黑碳气溶胶进

行长期观测,即同时使用 370, 470, 520, 590, 660, 880 和 950 nm 七波段的光源测量气溶胶的光吸收。颗粒物浓度分别采用美国热电公司生产的 1405、1405f 颗粒物分析仪,利用震荡天平法,实时获取 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度,采样周期为 5 min。

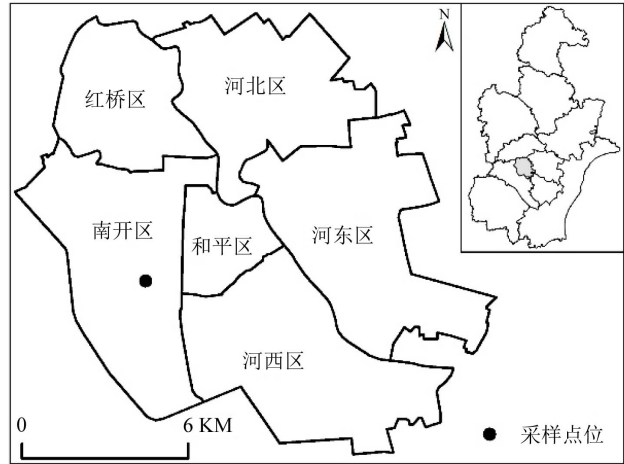


Figure 1. Distribution map of sampling points in Tianjin
图 1. 天津市采样点位分布图

3. 结果与讨论

3.1. 黑碳气溶胶逐日变化趋势

图 2 显示,观测期间,天津市黑碳气溶胶平均浓度为 $2.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$,最大值为 $8.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$,出现在 2018 年 3 月 13 日;最小值为 $0.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$,出现 2018 年 1 月 10 日。其浓度通常与源地的排放、干湿沉降过程、风和大气边界层等气象条件有关[9] [10]。

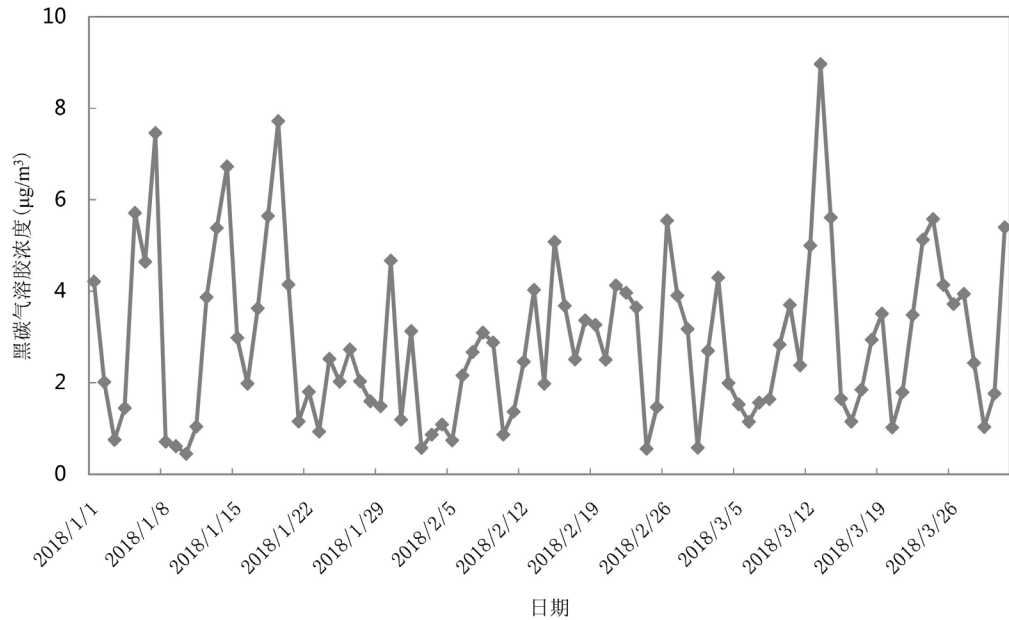


Figure 2. The daily variation characteristics of black carbon aerosol in Tianjin from January to March 2018
图 2. 2018 年 1 月~3 月天津市黑碳气溶胶逐日变化特征

表 1 为天津市黑碳气溶胶浓度与国内外主要城市的对比情况。与国外城市相比，天津市黑碳气溶胶浓度要高于国外的一些城市，天津市黑碳气溶胶浓度是其浓度的 1~2 倍。与国内一些城市相比，明显低于长春、西安、北京和深圳，又是兰州和敦煌黑碳浓度水平的约 1 倍。这说明天津市空气中黑碳气溶胶污染较为严重，主要是受机动车尾气排放、冬季采暖和工业企业排放的影响，造成了空气中黑碳气溶胶浓度的上升；而冬季经常出现静稳天气、低层大气逆温现象不利于黑碳的扩散，导致低层大气中黑碳浓度较高且长期存在。

Table 1. Comparison of black carbon aerosol concentration in Tianjin and other major cities at home and abroad
表 1. 天津市黑碳气溶胶浓度与国内外主要城市的对比

采样地点	采样时间	黑碳浓度/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
天津	2018 年 1 月~3 月	2.92
北京[11]	2003 年 7 月~8 月	8.80
深圳[12]	2009 年 1 月~2 月	7.2
长春[13]	2007 年 10 月	16.04
西安[14]	2003 年 9 月	8.2
西安[14]	2003 年 10 月	11.3
西安[14]	2003 年 11 月	11.8
兰州[15]	2006 年 5 月	2.12
敦煌[15]	2006 年 5 月	1.89
芬兰赫尔辛基[16]	1996 年 11 月	1.44
美国洛杉矶[17]	1994 年	2.4
美国芝加哥[17]	1997 年 10 月~11 月	1.2
美国费城[17]	1998 年 8 月~9 月	1.1

3.2. 黑碳气溶胶日变化特征

图 3 为黑碳气溶胶浓度日变化趋势，由图可见，黑碳日浓度呈双峰型变化趋势，有相对明显的两个峰值和一个谷值，其中上午 8:00 出现一个峰值 $3.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，晚上 22:00 出现另一个峰值 $3.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，谷值出现在下午 15:00 为 $2.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。黑碳气溶胶浓度的变化主要取决于测点周边污染源的变化以及城市大气边界层内气象要素的变化。清晨 7:00~10:00 主要是由于上班高峰期机动车辆逐渐增加，城市开始出现交通拥堵情况，汽车低速行驶导致燃料不完全燃烧，汽车尾气中大量黑碳排放到空气中，黑碳浓度急剧增加；另外，由于该时段正处于日出后不久，太阳辐射不断增强，大气升温较快，但冷的地面升温较慢，因此形成了清晨大气逆温现象，这也导致黑碳浓度不断累积。次峰值出现在傍晚 18:00 以后，此阶段正是下班高峰期，机动车辆流动量较大，不断地排放出大量尾气，黑碳浓度迅速上升；同时，居民开始烹饪与取暖活动，所用的能源均排放出大量的黑碳。由于最初排放的黑碳尚未完全扩散清除，又有大量新的污染物产生进入大气，所以各种颗粒物在大气中聚集、凝聚，导致黑碳浓度较高。并在 22:00 左右出现一天中的最大值，有时可持续到次日凌晨 03:00。主要是由于夜间大气处于稳定状态，边界层较低，地面产生的气溶胶粒子不能向上快速扩散。午后 12:00~17:00 为黑碳浓度全天中的低值时段，随着太阳辐射不断加强，地面的温度上升速度明显高于大气的升温速度，与大气之间形成热力对流，此种天气下对污染物的扩散相对有利；另外，与清晨和傍晚相比，午后人为活动会明显减弱，机动车辆也明显减少，尾气排放降低，这也可能导致午后黑碳浓度降低。

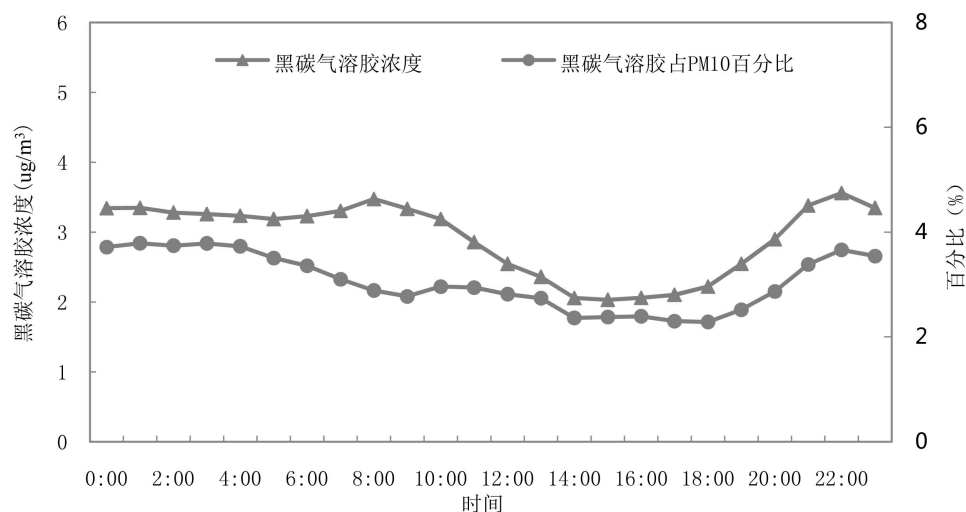


Figure 3. Diurnal variation characteristics of black carbon aerosols in Tianjin

图 3. 天津市黑碳气溶胶的日变化特征

3.3. 黑碳气溶胶与 PM10、PM2.5 的相关性

分别对黑碳和 PM10、PM2.5 做相关性分析, 由图 4 可以看出, PM10、PM2.5 与黑碳气溶胶日均浓度 Pearson 相关系数分别为 0.7011、0.7716, 均达到 0.7 以上, 具有较强相关性, 其中与 PM2.5 的相关性略高于 PM10, 表明黑碳更多以细粒子形式存在。由于观测地点处于天津市中心城区毗邻中环线, 周边交通繁忙, 由此可推断天津市冬季黑碳主要来源于机动车尾气及城市集中供暖燃煤等。

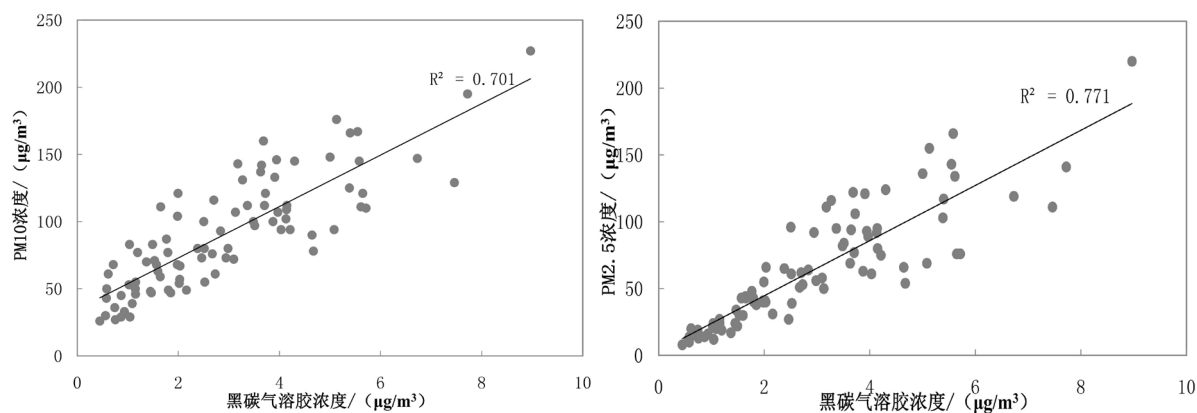


Figure 4. Tianjin black carbon aerosol is correlated with PM10 and PM2.5

图 4. 天津市黑碳气溶胶与 PM10、PM2.5 相关性

3.4. 黑碳气溶胶的吸收特性

已知黑碳气溶胶质量浓度, 可以得到黑碳气溶胶的吸收系数, 其经验公式[12]如下:

$$A_{532\text{nm}} = 8.28M_{\text{BC}} + 2.23 \quad (1)$$

式中: M_{BC} 是 AE-31 在 880 nm 波长测量的黑碳气溶胶浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; $A_{532\text{nm}}$ 是黑碳气溶胶在 532 nm 波长的吸收系数, Mm^{-1} 。而根据世界气象组织推荐值, 可实现能见度和消光系数的转换, 其公式为[18]:

$$\text{bext} = 2.996/V_R \quad (2)$$

式中: b_{ext} 指大气消光系数, m^{-1} ; V_R 为大气能见度, m 。

利用式(1)获取天津城区黑碳气溶胶的消光系数; 利用式(2)通过能见度仪获取天津地区大气的消光系数, 对两者进行比较, 黑碳气溶胶占大气中 PM10 的 3.04%, 其吸收作用贡献大气消光的 15.3%。

3.5. 风速和风向对黑碳气溶胶的影响

由图 5 可见, 天津市近地面处黑碳气溶胶浓度的变化受风速影响显著, 在静风与小风条件下, 易形成高黑碳气溶胶质量浓度, 这与较低风速导致的较差的扩散条件有关; 当风速 $> 2 \text{ m/s}$ 后, 黑碳浓度开始降低且极难形成 $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上的高黑碳气溶胶污染事件; 当风速大于 4 m/s 时, 黑碳浓度容易出现低值, 这表明高的风速可以加快黑碳气溶胶的扩散, 使得黑碳气溶胶浓度降低。对于来自不同方向的风对天津市黑碳气溶胶的输送, 当风向为西北风、西风、西南风时, 尤其是出现西北风时, 易出现超过 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 高黑碳气溶胶事件; 而风向为东北风、东风、东南风、南风时, 黑碳气溶胶高于 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 出现概率很小。究其原因, 天津东部为渤海, 西部为内陆地区, 西北部与北京相邻, 黑碳气溶胶为人为气溶胶, 天津西部、西北部人为活动更为剧烈, 因此黑碳气溶胶明显高于海洋, 使得西风条件天津的黑碳气溶胶高于东风条件。

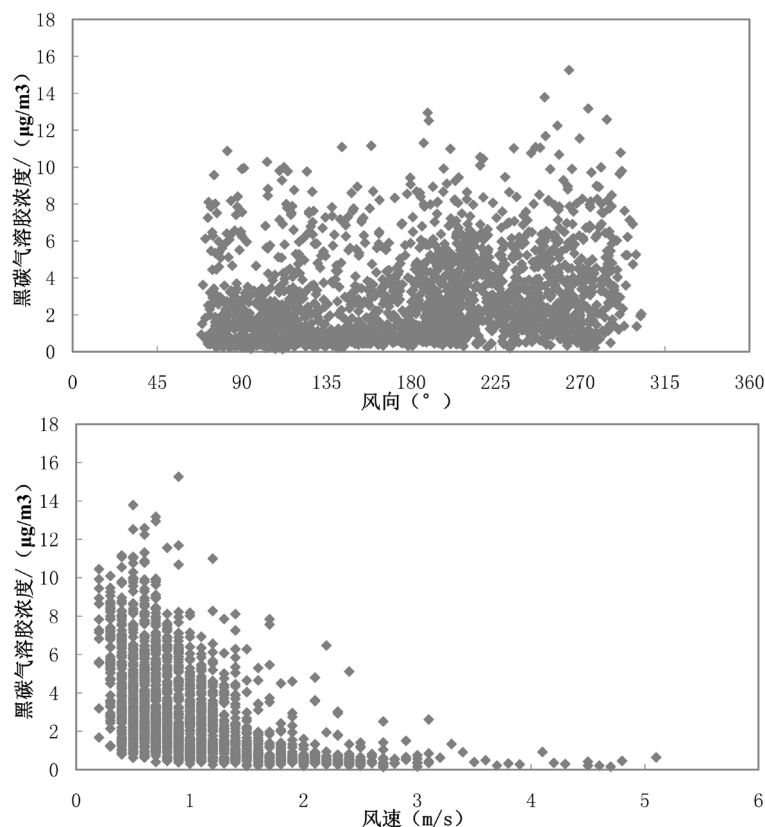


Figure 5. The influence of wind direction and wind speed on the concentration of black carbon aerosol in Tianjin
图 5. 风向、风速对天津市黑碳气溶胶浓度的影响

4. 结论

1) 天津市 2018 年 1~3 月黑碳气溶胶质量浓度均值为 $2.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 占大气中 PM10 的 3.04%, 其吸收作用贡献大气消光的 15.3%。

2) 天津市黑碳气溶胶日浓度变化趋势呈双峰型, 有相对明显的两个峰值和一个谷值, 其中每日的上午 8:00 达到峰值, 晚上 22:00 出现另一个峰值, 也一天中最大值, 谷值出现在午后 15:00。

3) 结合颗粒物监测数据, 黑碳气溶胶日均浓度与 PM₁₀、PM_{2.5} 的 Pearson 相关系数分别为 0.7011、0.7716, 均达到 0.7 以上, 具有较强相关性, 其中与 PM_{2.5} 的相关性略高于 PM₁₀, 表明黑碳更多以细粒子状态存在。

4) 天津市近地面黑碳气溶胶质量浓度的变化受风速影响显著, 在静风和小风条件, 易形成高黑碳气溶胶质量浓度; 当风速 > 2 m/s 后, 黑碳浓度开始降低且极难形成 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上的高黑碳气溶胶污染事件; 当风速大于 4 m/s 时, 黑碳浓度容易出现低值。当风向为西北风、西风、西南风时, 易出现超过 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高黑碳气溶胶事件, 其对天津市黑碳气溶胶的输送要明显强于偏东风条件。

致 谢

本文由国家重点研发计划(No. 2016YFC0208506)资助, 在此深表感谢!

参考文献

- [1] Bond, T.C., Doherty, S.J., Fahey, D.W., *et al.* (2013) Bounding the Role of Black Carbon in the Climate System: A Scientific Assessment. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **118**, 5380-5552. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50171>
- [2] Petzold, A., Ogren, J.A., Fiebig, M., *et al.* (2013) Recommendations for Reporting “Black Carbon” Measurements. *Atmospheric Chemistry & Physics*, **13**, 8365-8379. <https://doi.org/10.5194/acp-13-8365-2013>
- [3] 陈仁杰, 陈秉衡, 阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 410-415.
- [4] 屈文军, 张小曳, 王亚强, 等. 云南迪庆地区大气本底碳气溶胶的理化特征[J]. 中国环境科学, 2006, 26(3): 266-270.
- [5] 汤洁, 温玉璞, 周凌晞, 等. 中国西部大气清洁区黑碳气溶胶的观测研究[J]. 应用气象学报, 1999(2): 160-170.
- [6] 王庚辰, 孔琴心, 任丽新, 等. 北京地区大气中的黑碳气溶胶及其变化特征[J]. 过程工程学报, 2002(2): 284-288.
- [7] 秦世广, 汤洁, 温玉璞. 黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义[J]. 气象, 2001, 27(11): 3-7.
- [8] 陈魁, 银燕, 魏玉香, 等. 南京大气 PM_{2.5} 中碳组成观测分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(8): 1015-1020.
- [9] Gong, S.L., Zhao, T.L., Sharma, S., *et al.* (2010) Identification of Trends and Interannual Variability of Sulfate and Black Carbon in the Canadian High Arctic: 1981-2007. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, **115**, 1-9. <https://doi.org/10.1029/2009JD012943>
- [10] Zhao, S.Y., Ming, J., Xiao, C.D., *et al.* (2012) A Preliminary Study on Measurements of Black Carbon in the Atmosphere of Northwest Qilian Shan. *Journal of Environmental Sciences*, **24**, 152-159. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60739-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60739-0)
- [11] 委淑娟, 毛节泰, 王美华. 北京地区不同尺度气溶胶中黑碳含量的观测研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1): 17-22.
- [12] 姚婷婷, 黄晓锋, 何凌燕, 等. 深圳市冬季大气消光性质与细粒子化学组成的高时间分辨率观测和统计关系研究[J]. 中国科学化学, 2010, 40(8): 1163-1171.
- [13] 高枫亭, 张仁健, 苏丽欣. 长春秋冬季大气黑碳气溶胶的特征分析[J]. 高原气象, 2009, 28(4): 803-807.
- [14] 李杨, 曹军骥, 张小曳, 等. 2003 年秋季西安大气中黑碳气溶胶的演化特征及其来源解析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(2): 229-237.
- [15] 高润祥, 牛生杰, 张华, 等. 2006 年春季西北地区黑碳气溶胶的观测研究[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(5): 655-661.
- [16] Pakkanen, T.A., Kerminen, V.M., Ojanen, C.H., *et al.* (2000) Atmospheric Black Carbon in Helsinki. *Atmospheric Environment*, **34**, 1497-1506. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00344-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00344-1)
- [17] Babich, P., Davey, M., Allen, G., *et al.* (2000) Method Comparisons for Particulate Nitrate, Elemental Carbon, and PM_{2.5} Mass in Seven U.S. Cities. *Air and Waste Management Association*, **50**, 1095-1105.

<https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464152>

- [18] 吴兑, 毛节泰, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲黑碳气溶胶及其辐射特征的观测研究[J]. 中国科学 D 辑, 2009, 39(11): 1542-1553.

Hans 汉斯

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: 2168-5711, 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: ccrl@hanspub.org