

太原市冬季 PM_{2.5} 水溶性组分污染特征分析

贾小花¹, 解静芳^{1*}, 马翔², 邸志东¹, 毋燕妮¹ (1.山西大学环境与资源学院, 山西太原 030006; 2.太原市环境监测中心站, 山西太原 030002)

摘要: 为了探讨太原市大气阴霾天气的主要污染物PM_{2.5}中水溶性组分的污染特征,于2011年12月~2012年1月,采用美国Thermal Anderson公司的大流量PM_{2.5}颗粒物采样器进行了PM_{2.5}样品采集,共获得样品56个.通过采样前后滤膜的重量变化计算PM_{2.5}的质量浓度.并采用微波提取技术,用TOC/TN分析仪研究了水溶性TOC和水溶性TN等的污染特征.研究表明,太原市冬季采暖期PM_{2.5}污染严重,并且比北京、天津、广州、南京、西安的污染水平都高.对PM_{2.5}主要影响因素风速、相对湿度、温度和昼夜变化等的分析表明,风速大小与PM_{2.5}的浓度大小呈负相关($r=-0.4693, \alpha=0.05$),相对湿度与PM_{2.5}浓度呈正相关($r=0.4092, \alpha=0.05$),而温度与其浓度变化关系不明显;采样期间PM_{2.5}浓度的昼夜变化规律不明显.水溶性TOC对PM_{2.5}贡献较高,占PM_{2.5}总量的13.2%~57.7%;NO₃⁻、SO₄²⁻也与水溶性TOC有重要的相关关系.

关键词: PM_{2.5}; 水溶性TOC; NO₃⁻和SO₄²⁻; 气象因素

中图分类号: X131.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)04-0599-06

Analysis of water-soluble constituents in winter of PM_{2.5} in Taiyuan City. JIA Xiao-hua¹, XIE Jing-fang^{1*}, MA Xiang², DI Zhi-dong¹, WU Yan-ni¹ (1.College of Environment and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2.Taiyuan Environmental Monitoring Central Station, Taiyuan 030002, China). *China Environmental Science*, 2013, 33(4): 599~604

Abstract: Aimed to understand the property of water-soluble fraction of PM_{2.5} in Taiyuan City, 56 PM_{2.5} samples were collected with high volume particulate sampler from December 2011 to January 2012 in Taiyuan city. The PM_{2.5} concentrations were determined gravimetrically and the water-soluble fraction of TOC and TN were measured using TOC/TN analyzer. The PM_{2.5} concentrations during heating period in Taiyuan were found higher than these in Beijing, Tianjin, Guangzhou, Nanjing and Xi'an. The regression analysis showed that PM_{2.5} concentration was negatively correlated to wind speed ($r=-0.4693, \alpha=0.05$), positively to humidity ($r=0.4092, \alpha=0.05$), but without significant relationship to temperature. No prominent pattern was observed in day-night PM_{2.5} fluctuations during the sampling period. The hydrophilic fraction of TOC accounted for 13.2%~57.7% of total PM_{2.5}, and had significant correlation to NO₃⁻ and SO₄²⁻ ions.

Key words: PM_{2.5}; water-soluble TOC; NO₃⁻ and SO₄²⁻; meteorological factors

在全球气候变化的大背景下,城市群区域气溶胶污染日趋严重,灰霾现象迅速增加,而灰霾本质上就是细粒子污染^[1].据报道,颗粒物质量浓度与能见度变化总体呈负相关,小粒径颗粒对能见度的影响作用明显,随着能见度的降低,小粒径颗粒与大粒径颗粒浓度的比值明显增加^[2].同时,有研究表明通过呼吸进入人体的空气中的微量污染物,要比饮用含有等量污染物的水和食物有更大的潜在危害^[3].相比于PM₁₀,细粒子PM_{2.5}对人体健康的危害更大^[4].

目前国内外关于颗粒物中有机物的研究较多^[5],但是关于水溶性有机物的研究还不多见.有研究表明,水溶性有机物约占PM_{2.5}有机物总量的20%~80%^[6],水溶性有机物可以显著地改变大气颗粒物的吸湿性,影响颗粒物的粒径分布和云凝结核(cloud condensation nuclei, CCN)活性,改变成云过程,进而影响区域和全球气候,降低

收稿日期: 2012-09-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30740037)

* 责任作者, 教授, xiejf@sxu.edu.cn

城市大气能见度^[7-9].也有研究者对大气气溶胶中的水溶性有机物的种类、浓度和来源开展了研究,但是由于分析技术手段的限制,检测到的水溶性有机物仅仅局限于小分子羧酸等成分,还不能全面反映水溶性有机物的化学特征^[10].所以研究气溶胶中水溶性有机物的污染特征有着重要的意义.

太原市是我国重要的煤炭重化工基地,市区东、西、北三面环山,强逆温天气在冬季采暖季节出现频率高,灰霾天气现象比较多见,因而大气颗粒物污染和其以煤炭为主的能源结构、地理位置、气象条件有密切的关系.目前,关于太原市大气气溶胶中水溶性组分的研究还很少,且主要集中在大粒径颗粒物以及无机离子方面.本文对太原市冬季采暖期细粒子 $PM_{2.5}$ 浓度变化及其中水溶性组分总碳(TC)、总有机碳(TOC)、无机碳(IC)、总氮(TN)、无机阴离子 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 进行了研究,以为灰霾天气的治理和控制大气污染提供基础数据资料.

1 实验部分

1.1 样品采集

2011 年 12 月~2012 年 1 月对太原市 $PM_{2.5}$ 进行了采样.采样所用仪器为大流量 $PM_{2.5}$ 颗粒物采样器(美国 Thermal Anderson 公司),流速 $1.13m^3/min$.采样膜为石英纤维滤膜(美国 PALL 公司, $8 \times 10in$).采样点设在山西大学环境与资源学院楼顶($37^\circ 47.713'N$, $112^\circ 34.882'E$,海拔 802m),周围是太原市城中村改造居民区、交通繁忙区和几所学校(学校内部设有用于供暖的大型锅炉).每天分白天(09:00~21:00)和夜间(21:00~次日 09:00)进行两次连续采样,采样期间共获得白天和夜间样品各 28 个,样品总计 56 个.采样之前,首先将滤膜在 $400^\circ C$ 马弗炉内烘 2h,然后置于干燥器中进行干燥平衡,用万分之一天平称重至恒重,记录其平衡后的重量.采样完之后将富集了样品的滤膜于干燥器平衡,称重.然后将滤膜分割成八份,每份对折后用铝箔纸封包,于 $-18^\circ C$ 保存备用.根据采样前后滤膜的质量差和采样体积得到气溶胶的质量浓度.

1.2 水溶性有机碳提取

将 1/8 滤膜剪成碎条状,装入具塞棕色瓶中,加入 50mL 超纯水(电阻率= $18.25M\Omega$),于超声波振荡仪中冰浴提取 60min,静置,用 $0.45\mu m$ 微孔滤膜过滤,滤液转移至具塞试管中,待分析.

1.3 分析测定方法

采用 TOC/TN 分析仪 (Multi N/C 3100,德国 Analytik Jena 分析仪器股份公司) 进行 TOC 和 TN 的测定.TOC 值通过 TC 值减去 IC 值得到.TC 测定过程是将样品中的所有有机和无机碳物种高温催化氧化生成 CO_2 ,用 NDIR 进行检测;IC 测定方法是在酸性条件下,将样品中的无机碳溶解生成 CO_2 ,用 NDIR 进行检测.用离子色谱仪(瑞士万通 883)测定 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 等离子的浓度大小.

2 结果与讨论

2.1 最佳提取时间的确定

$PM_{2.5}$ 水溶性有机碳超声提取时间分别选择了 10,20,30,40,50,60,90,120min,对水溶性提取液 TOC 的浓度大小进行了测定.结果如图 1 所示.

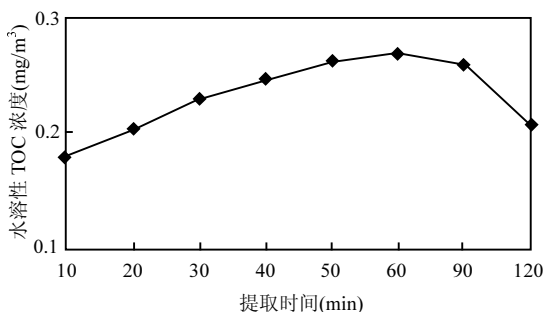


图 1 水溶性 TOC 浓度随提取时间的变化

Fig.1 The relationship between the concentration of TOC and extraction time

从图 1 可以看出,水溶性 TOC 浓度随提取时间的延长有升高趋势,但当提取时间超过 60 min 后 TOC 浓度开始下降,分析其原因可能是随着提取时间增加,冰浴中的冰逐渐融化导致提取液温度升高,样品中易挥发的有机物进入气相挥发,从而 60min 后 TOC 浓度开始下降.因此确定本实验的最佳超声提取时间为 60min.

2.2 PM_{2.5} 及各水溶性组分的浓度分析

采样期间 PM_{2.5} 的日均质量浓度为 (334.47±97.93)μg/m³, 白天平均质量浓度为 (351.74±119.68)μg/m³, 夜间平均质量浓度为 (317.20±122.05)μg/m³. 与我国《环境空气质量标准》第三次修改意见稿新增设的 PM_{2.5} 二级标准 (24 小时平均浓度限值为 75μg/m³) 相比, 超标率为 100%. 与其他城市如北京 (94.24μg/m³)^[11]、天津 (223μg/m³)^[12]、广州 (81.2μg/m³)^[13]、南京 (78μg/m³)^[14]、西安 (288.7μg/m³)^[15] 等冬季不同时间的 PM_{2.5} 平均质量浓度的测定结果相比, 太原市的冬季 PM_{2.5} 平均质量浓度均高于这些城市. 表明采样期间, 太原市 PM_{2.5} 污染极为严重. 采样期间几个主要测定项目的浓度逐日变化情况如图 2 所示.

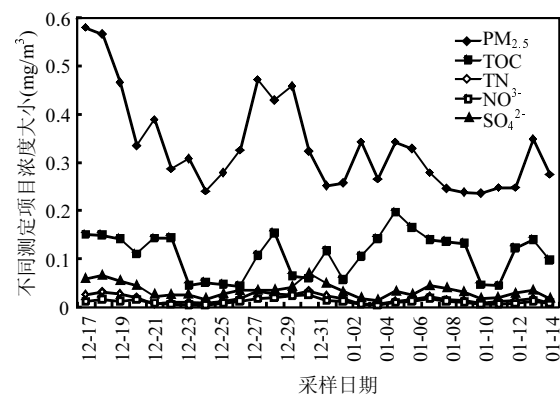


图 2 采样期间各主要测定项目浓度逐日变化
Fig.2 The daily concentration variation of PM_{2.5} and every components

采样期间, PM_{2.5} 中水溶性 TOC 的日均质量浓度为 (109.16±45.05)μg/m³, 其含量占 PM_{2.5} 的质量百分比为 13.2%~57.7%, 平均值为 33.75%; 而 IC 含量占 PM_{2.5} 的平均百分比仅为 0.03%, 表明 PM_{2.5} 水溶性 TC 主要为 TOC, 因此后续讨论主要以水溶性 TOC 为主. 水溶性 TC 主要以 TOC 的形态存在. 大气环境中的 TOC 主要以干、湿沉降形式去除, 或挥发到对流层, 其含量大小对人类健康的影响深远^[16-17], 因此, 进一步研究大气 PM_{2.5} 中 TOC 的组成和浓度大小, 及其对健康的影响显得尤为重要.

水溶性无机离子是 PM_{2.5} 的重要组分, 直接影响气溶胶的酸碱度、吸湿性和成核能力^[18]. 太

原市冬季采暖期 PM_{2.5} 中水溶性 TN 的日均质量浓度为 (17.70±8.38)μg/m³, 其含量占 PM_{2.5} 的质量百分比为 1.78%~10.31%, 平均百分比为 5.30%. NO₃⁻ 的日均质量浓度为 (12.06±5.64)μg/m³, 占 PM_{2.5} 的质量百分比为 1.60%~7.99%, 平均百分比为 3.66%; SO₄²⁻ 的日均质量浓度为 (35.12±14.88)μg/m³, 占 PM_{2.5} 质量的 5.49%~21.77%, 平均百分比为 10.66%; 呈现出 PM_{2.5} 中 SO₄²⁻ 含量高于 NO₃⁻ 的特点. SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 也是北京市大气 PM_{2.5} 中的主要水溶性组分, 并且在 PM_{2.5} 中 SO₄²⁻ (10.6%) 比重比 NO₃⁻ (7.4%) 大^[19], 这与太原市的污染特征很相似, 对进一步分析太原市 PM_{2.5} 污染来源很有指导意义.

本研究采样期间 TOC (33.75%)、TN (5.30%)、NO₃⁻ (3.66%) 和 SO₄²⁻ (10.66%) 总均值占 PM_{2.5} 质量浓度比例为 53.37%. 由上述分析以及图 2 可知, 各水溶性组分在 PM_{2.5} 中所占比重大小顺序为: TOC>SO₄²⁻>TN>NO₃⁻.

2.3 PM_{2.5} 及各水溶性组分的相关性分析

对 PM_{2.5} 及各水溶性组分的日均质量浓度进行相关性分析, 结果如表 1 所示.

表 1 PM_{2.5} 及各水溶性组分之间的相关系数
Table 1 The correlation coefficients between PM_{2.5} and every water-soluble components

指标	指标				
	PM _{2.5}	TOC	TN	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PM _{2.5}	1.00000	0.34505	0.62641**	0.44961*	0.57071**
TOC		1.00000	0.13791	0.11643	0.20298
TN			1.00000	0.86753**	0.84788**
NO ₃ ⁻				1.00000	0.74292**
SO ₄ ²⁻					1.00000

注: **在 0.01 水平上显著相关; *在 0.05 水平上显著相关, 下同

查相关系数临界值表^[20], 在自变量个数 $k=1$, 自由度 $f=n-2=26$ 的情况下, 可知不同显著性水平下相关系数临界值分别为 $r_{0.10}=0.31722$, $r_{0.05}=0.37389$, $r_{0.01}=0.47851$. 对比表 1, 可知 PM_{2.5} 与 TN、SO₄²⁻, TN 与 SO₄²⁻、NO₃⁻, SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 之间均在 $\alpha=0.01$ 显著性水平上相关; PM_{2.5} 与 NO₃⁻ 之间在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上相关; PM_{2.5} 与 TOC 在 $\alpha=0.10$ 显著性水平上相关.

城市大气颗粒物中的 SO_4^{2-} 主要来自于 SO_2 转化过程, SO_2 主要来源为化石燃料的燃烧, 因此在采暖期的排放量远高于非采暖期; 气溶胶中的 NO_3^- 主要来自游离大气中的 NO_x 在大气中氧化形成的 HNO_3 与 NH_3 反应生成的 NH_4NO_3 离子, 而 NO_x 主要来自机动车排放和燃煤; SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是二次气溶胶主要的离子成分^[21]. 它们的含量在一定程度上反应了二次气溶胶污染的程度. SO_4^{2-} 和 NO_3^- 之间具有很好的相关性 ($r=0.74292$), 表明它们具有相同的来源. 而且二者占 $\text{PM}_{2.5}$ 比重比较大, 说明汽车尾气以及冬季燃煤对大气气溶胶的污染均有较

高的贡献率, 这反映出了太原市二次气溶胶污染比较严重.

2.4 气象要素对 $\text{PM}_{2.5}$ 及各水溶性组分的影响

在污染源排放污染物强度相对稳定的情况下, 气象条件决定了大气对污染物的输送和扩散能力^[22]. 相对湿度, 风速, 温度层结等气象因子都是影响气溶胶浓度变化的重要因素^[23-24]. 文中所用到的气象资料来源于太原市气象观测站.

采样期间, 太原市城区夜间温度比白天温度低、湿度比白天大, 风速昼夜变化不明显. $\text{PM}_{2.5}$ 日均质量浓度与太原市城区气象参数变化的相关分析结果如图 3 所示.

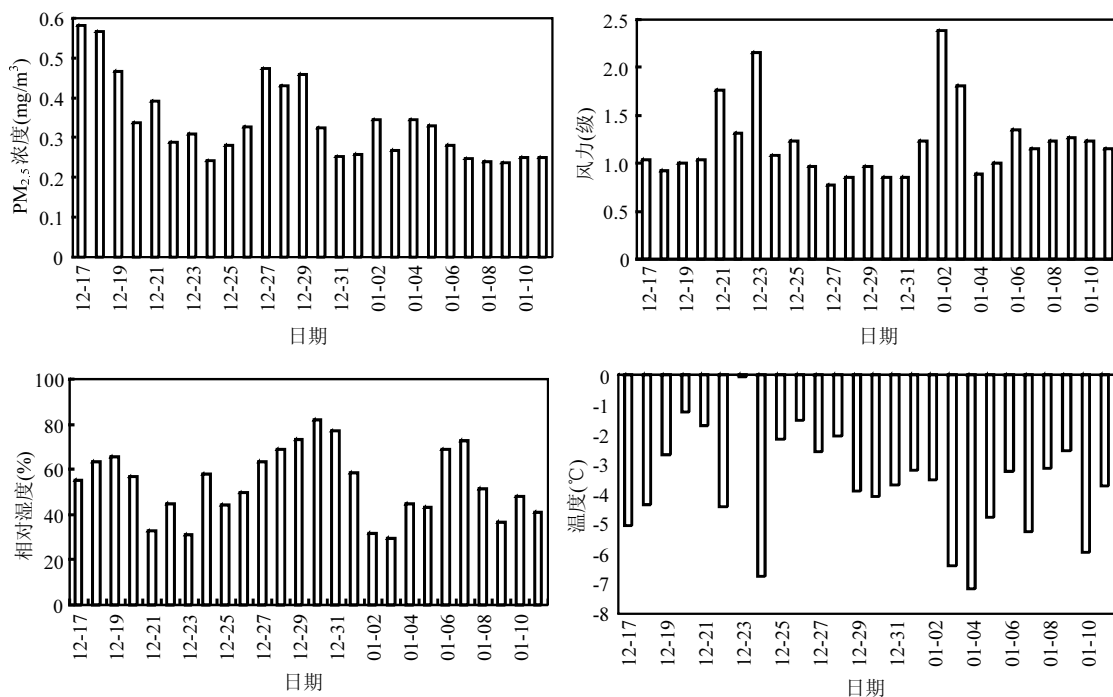


图 3 气象要素与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度随时间的变化

Fig.3 Change of meteorological factors and the concentration of $\text{PM}_{2.5}$

从图中可以看出, 当 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度呈下降趋势的时候, 风速变化呈一定程度的上升; 反之, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度升高的时候, 风速大小呈下降趋势; 风速大时, 污染物稀释能力强, 浓度低. 相对湿度与 $\text{PM}_{2.5}$ 的变化趋势一致, 反映出 $\text{PM}_{2.5}$ 与湿度之间的正相关关系. 而温度与 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度变化关系不明显.

对各主要气象要素如相对湿度、温度和风速

大小与 $\text{PM}_{2.5}$ 、TOC、TN、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 浓度进行 Pearson 相关性分析, 结果如表 2 所示.

对表 2 中相关系数进行统计学分析可知, 相对湿度与 $\text{PM}_{2.5}$ 在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上正相关, 与 TN、 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 均在 $\alpha=0.01$ 显著性水平上正相关. 空气相对湿度高, 颗粒物表面对气态污染物更容易吸附, 使得 NH_3 、 NO_x 、 HNO_3 等污染气

体易于吸收或吸附在颗粒表面^[25],使得水溶性 TN 浓度升高.在大气中能够氧化 SO₂和 NO_x的氧化剂中 OH·对 SO₂和 NO_x的氧化具有较大的意义.而湿度越大,水分子中 OH·浓度越高,从而促进硫酸根离子和硝酸根离子的生成.湿度下降时,易形成光化学烟雾,湿度上升时形成 PM_{2.5} 的灰霾天气^[26].

表 2 主要气象要素与 PM_{2.5} 及水溶性组分浓度的相关系数

气象要素	各水溶性组分				
	PM _{2.5}	TOC	TN	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
相对湿度	0.4092	0.1189	0.8069	0.8067	0.7339
温度	0.0916	-0.3832*	0.1466	0.1553	0.0823
风速	-0.4693*	-0.1746	-0.6789**	-0.6133*	-0.5467**

风速与 PM_{2.5} 及各水溶性组分全部呈负相关关系,与 PM_{2.5} 在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上负相关;与 TN、SO₄²⁻和 NO₃⁻在 $\alpha=0.01$ 显著性水平上负相关.因为风对污染物的扩散有两个作用:一是整体输送作用,二是冲淡稀释作用,即风速增大,降低单位体积内污染物的含量会降低.

温度与 TOC 在 $\alpha=0.05$ 显著性水平上呈负相关,即温度升高 TOC 浓度下降,可能是温度升高不利于易挥发有机物在颗粒物上的吸附所致.温度与其他组分之间的相关关系不明显.

3.5 昼夜 PM_{2.5} 污染状况比较

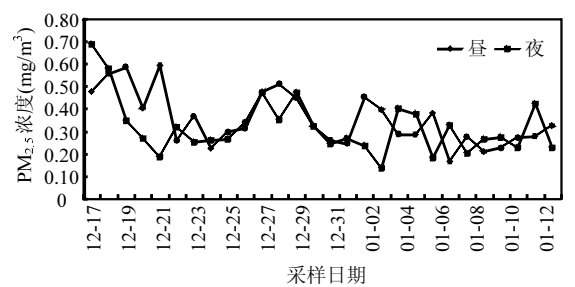


图 4 采样期间 PM_{2.5} 的夜晚和白天平均浓度随时间的变化

Fig.4 Comparison of the average concentration of PM_{2.5} in day and night

由图 4 可见,采样期间 PM_{2.5} 的最高浓度出现在 12 月 17 日夜间,为 684.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;最低浓度出现在 2012 年 1 月 3 日夜间,为 135.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.采样期间白天 PM_{2.5} 平均质量浓度 (351.74 $\pm$ 119.68) $\mu\text{g}/\text{m}^3$,夜间为 (317.20 $\pm$ 122.05) $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

冬季采暖期所采得的 28 个样品中,14 个样品夜间浓度比白天浓度大,另外 14 个样品是白天浓度比夜间大,这可能与周围是交通主干道有关,白天人为活动频繁、汽车流量比夜间大,而夜间比白天供热量大从而产生更多的烟气.汽车尾气与夜间燃煤增加相互之间复杂的变化,造成局地污染现象复杂.太原市冬季采暖期间 PM_{2.5} 浓度的昼夜变化规律不明显.

3 结论

3.1 对同一样品分别选择不同的超声提取时间,进行水溶性 TOC 提取效率研究,确定最佳超声提取时间为 60min.

3.2 太原市冬季气溶胶污染严重,与其他城市如北京、天津、广州、南京、西安等采暖期不同时间 PM_{2.5} 平均质量浓度相比,发现太原市 PM_{2.5} 污染最严重.其中水溶性 TC 对 PM_{2.5} 贡献率最高,占 PM_{2.5} 浓度的 13.33%~57.72%,TC 中的碳主要以 TOC 形式存在,而 IC 很微量.另外无机离子 SO₄²⁻和 NO₃⁻也占有较大的比重;太原市二次气溶胶污染比较严重.各水溶性组分在 PM_{2.5} 中所占比重大小顺序为:TOC>SO₄²⁻>TN>NO₃⁻.

3.3 风速与 PM_{2.5} 浓度及各水溶性组分浓度呈一定程度的负相关.相对湿度与 PM_{2.5} 浓度的变化趋势一致,二者之间呈正相关关系.而温度与其浓度变化关系不明显.

3.4 采样期间,太原市 PM_{2.5} 浓度大小昼夜变化规律不明显,这可能与污染源排放、局地地理位置以及气候等因素比较复杂有关系.

参考文献:

[1] 吴 兑.近十年中国灰霾天气研究综述 [J]. 环境科学学报, 2012,32(2):257-269.
[2] 边 海,韩素芹,张裕芬,等.天津市大气能见度与颗粒物污染的关系 [J]. 中国环境科学, 2012,32(3):406-410.
[3] Balducci Catia, Perilli Mattia, Romagnoli Paola, et al. New

- developments on emerging organic pollutants in the atmosphere [J]. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2012,19:1875-1884.
- [4] 谢 鹏,刘晓云,刘兆荣.我国人群大气颗粒物污染暴露-反应关系的研究 [J]. *中国环境科学*, 2009,29(10):1034-1040.
- [5] 霍 静,李彭辉,韩 斌,等.天津秋冬季PM_{2.5}碳组分化学特征与来源分析 [J]. *中国环境科学*, 2011,31(12):1937-194.
- [6] Saxena P, Hildemann L M. Water-soluble organics in atmospheric particles: a critical review of the literature and application of thermodynamics to identify candidate compounds [J]. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1996,24:57-109.
- [7] Saxena P, Hildemann L M, Mc Murry P H, et al. Organics alter hygroscopic behavior of atmospheric particles [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995,100:18755-18770.
- [8] Cruz C N, Pandis S N. A study of the ability of pure secondary organic aerosol to act as cloud condensation nuclei [J]. *Atmospheric Environment*, 1997,31:220-2214.
- [9] Malm W C. The effects of models of aerosol hygroscopicity on the apportionment of extinction [J]. *Atmospheric Environment*, 1997,31:1965-1976.
- [10] 邓利群,伦小秀,张 逸,等.气溶胶中水溶性有机物的分析方法进展 [J]. *安全与环境学报*, 2009,2:112-115.
- [11] 邓利群,李 红,柴发合,等.北京市东北城区冬季大气细粒子与相关气体污染特征 [J]. *中国环境科学*, 2010,30(7):954-961.
- [12] 李伟芳,白志鹏,魏敬东,等.天津冬季大气中PM_{2.5}及其主要组分的污染特征 [J]. *中国环境科学*, 2008,28(6):481-486.
- [13] 朱李华,陶 俊,张仁健,等.冬夏季广州城区碳气溶胶特征及其与 O₃ 和气象条件的关联 [J]. *环境科学学报*, 2010,30(10):1942-1949.
- [14] 魏玉香,银 燕,杨卫芬,等.南京地区PM_{2.5}污染特征及其影响因素分析 [J]. *环境科学与管理*, 2009,34(9):29-34.
- [15] 刘随心,曹军骥,安芷生.西安大气细粒子(PM_{2.5})质量浓度变化特征及其影响因素 [J]. *过程工程学报*, 2009,9(2):231-236.
- [16] 王 荟,王格慧,高士祥,等.南京市大气颗粒物春季污染的特征 [J]. *中国环境科学*, 2003,23(1):55-59.
- [17] Souza S R, Vasconcellos P C, Carvalho L R F, et al. Low molecular weight carboxylic acids in an urban atmosphere: Winter measurements in Sao Paulo City, Brazil [J]. *Atmospheric Environment*, 1999,33(16):2563-2574.
- [18] 李伟芳,白志鹏,魏静东,等.天津冬季大气中PM_{2.5}及其主要组分的污染特征 [J]. *中国环境科学*, 2008,28(6):481-486.
- [19] 余学春,贺克斌,马永亮,等.北京市PM_{2.5}水溶性有机物污染特征 [J]. *中国环境科学*, 2004,24(1):53-57.
- [20] 赵 颖.应用数理统计 [M]. 北京:北京理工大学出版社, 2008:343.
- [21] 沈振兴,霍宗权,韩月梅,等.采暖期和非采暖期西安大气颗粒物中水溶性组分的化学特征 [J]. *高原气象*, 2009,28(1):151-158.
- [22] 韩爱梅.太原市大气污染气象条件分析 [J]. *太原科技*, 2005, 4:26-28.
- [23] 吴 兑,吴 晟,李 菲,等.粗粒子气溶胶远距离输送造成华南严重空气污染的分析 [J]. *中国环境科学*, 2011,31(4):540-545.
- [24] 顾凯华,樊曙先,黄红丽,等.南京冬季雾天颗粒物中 PAHs 分布与气象条件的关系 [J]. *中国环境科学*, 2011,31(8):1233-1240.
- [25] Biswas K F, Ghauri B M, Husain L. Gaseous and aerosol pollutants during fog and clear episodes in South Asian urban atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 2008,42(33):7775-7785.
- [26] 凌 琪.酸雨的形成机制研究进展 [J]. *安徽建筑工业学院学报(自然科学版)*, 1995,3(1):55-58.

作者简介: 贾小花(1988-),女,山西吕梁人,山西大学环境与资源学院硕士研究生,主要研究方向是环境化学。

《中国环境科学》获评“2012 中国最具国际影响力学术期刊”

2012 年 12 月,《中国环境科学》被评为“2012 中国最具国际影响力学术期刊”。

“中国最具国际影响力学术期刊”是中国科学文献计量研究中心、清华大学图书馆依据《CAJ 国际引证报告》,按 2011 年度中国学术期刊被 SCI 期刊、SSCI 期刊引用的总被引频次排序并经 40 多位期刊界专家审议,遴选出的 TOP5%期刊.获评“中国最具国际影响力学术期刊”的科技类期刊共 156 种.统计分析结果表明,从定量分析的角度看,“中国最具国际影响力学术期刊”的国际影响力已经达到国际中等以上水平,跨入了国际品牌学术期刊行列。

《中国环境科学》编辑部