

北京市 2009 年 8 月大气颗粒物污染特征

王琳琳¹,王淑兰²,王新锋^{1,3},徐政¹,周声圳¹,袁超¹,于阳春¹,王韬^{1,2,3},王文兴^{1,2*}(1.山东大学环境研究院,山东 济南 250100; 2.中国环境科学研究院,北京 100012; 3.香港理工大学土木结构与工程系,香港)

摘要: 为研究 2008 年 8 月北京奥运会 1a 之后北京市大气颗粒物的污染特征,于 2009 年 8 月对北京市大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 样品进行采集,测量其质量浓度并对其中的水溶性离子组分进行分析.研究发现 2009 年 8 月北京市大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度日均值分别为 176.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 102.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.PM₁₀ 质量浓度比 2008 年观测值上升了 180%,比 2007 年降低了 10%;PM_{2.5} 质量浓度比 2008 年观测值上升了 126%,比 2007 年上升了 31%.水溶性离子是大气颗粒物的重要组分,分别占 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 质量浓度的 43%和 61%.对比发现,污染天气条件下 PM_{2.5}/PM₁₀ 和 NO₃⁻/SO₄²⁻ 比值升高,移动源是北京地区主要的污染物来源.风向风速和降水等天气条件对颗粒物质量浓度有很大影响,其中 0.5~1.0m/s 的东南风条件下大气颗粒物污染最为严重.

关键词: 北京市; 大气颗粒物; 水溶性离子; 北京奥运会

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2011)04-0553-08

Characteristics of particulate matter pollution during August 2009 in Beijing. WANG Lin-lin¹, WANG Shu-lan², WANG Xin-feng¹, XU Zheng¹, ZHOU Sheng-zhen¹, YUAN Chao¹, YU Yang-chun¹, WANG Tao^{1,2,3}, WANG Wen-xing^{1,2*} (1. Environment Research Institute of Shandong University, Jinan 250100, China; 2.Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China; 3.Department of Civil and Structural Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China). *China Environmental Science*, 2011,31(4): 553~560

Abstract: In order to investigate the characteristics of air quality of atmospheric particulate matter pollution in Beijing one year after the 2008 Olympic Games, particulate matter samples were collected in Beijing during August 2009. The daily mass concentrations of particles were measured and ions in them were also analyzed. Results showed that the mean daily mass concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} in Beijing were 176.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 102.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in August 2009, respectively. The concentrations of PM₁₀ in 2009 were 180% higher than those in the same period of 2008 and 10% lower than those in 2007. The observed PM_{2.5} concentrations in 2009 were 126% higher than 2008 and 31% higher than 2007. Water-soluble ions were the major components and accounted for 43% and 61% of PM₁₀ and PM_{2.5}, respectively. The ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ and NO₃⁻/SO₄²⁻ were much higher in polluted days than those in clear days, and the local mobile emission was the major polluted source in Beijing. The concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} were significantly influenced by the weather conditions such as wind speed, wind direction and the rainfall process. Heavy particulate matter pollution was presented in case of southeast wind with wind speed of 0.5~1.0 m/s.

Key words: Beijing particulate matter; water-soluble ions; Beijing Olympic Games

大气颗粒物尤其细粒子,会危害人体健康,散射太阳辐射,影响地球-大气系统能量平衡,降低能见度^[1-4].流行病学数据表明颗粒物对人体健康的危害有季节性变化,如在同样颗粒物污染浓度的暴露下,夏季有更高的死亡率和住院率^[5].水溶性无机离子是大气颗粒物的重要化学组分,具有吸湿性,能够影响大气的能见度、降水及云雾水酸度^[6-7].因此对大气颗粒物及其水溶性无机

离子的研究尤为重要^[8-9].

2008 年奥运会期间,国家对北京及其周边地区的工业、交通、建筑活动等各种大气污染来源实行了严格的控制,其中大部分措施只是暂时减

收稿日期: 2010-08-05

基金项目: 国家“973”项目(2005CB422203);山东省环境保护科技计划项目(2006045)

* 责任作者, 工程院院士, wxwang@sdu.edu.cn

少大气污染物的排放量,如:冶金、建材、石化等企业的暂停生产与减排,土石方工程和混凝土浇注工程临时停工,机动车单双号限行等;而另一些措施则能持久地减少污染物的排放量,例如:污染企业的搬迁与拆除,加油站、油库、油罐的治理改造,餐饮单位的清洗或更换净化装置等.这些控制措施以及有利的气象条件使得奥运会期间北京市空气质量状况明显好转,2008年北京夏季的观测表明奥运期间气体污染物和大气颗粒物浓度均有较大幅度的降低^[10-15].本文以北京地区2009年8月奥运时段的大气颗粒物为监测对象,研究了该时段北京市大气颗粒物及其化学组分的质量浓度与变化特征,探讨奥运后大气颗粒物的污染水平、影响因素与转化机制,为城市空气质量改善提供科学依据.

1 实验方法

1.1 观测地点和时间

观测点位于中国环境科学研究院(40°02'N, 116°25'E,海拔高度:44m),实验仪器安放在大气楼三楼楼顶.该观测点位于国家体育馆鸟巢北偏东19.2°,5.8km处,周围主要为居民区,院内植被覆盖率较高.对评价奥运会后北京空气质量状况具有良好的代表性,观测时间为2009年8月1~30日.

1.2 观测方法和仪器

采用美国 Andersen 公司生产的 Series 241 型双通道气溶胶采样器,使用石英滤膜(Pall, 37mm)对大气颗粒物进行采集,采样器总流量为 16.7L/min,分 2 个通道,流量分别为 1.67L/min 和 15.03 L/min,分别收集粗粒子气溶胶($2.5 < D_p < 10 \mu\text{m}$; $\text{PM}_{2.5-10}$)和细粒子气溶胶($D_p < 2.5 \mu\text{m}$; $\text{PM}_{2.5}$).采样后的样品装入聚四氟乙烯膜盒中,密封保存在-5℃环境中.每隔 12h 或 24h 采集一次大气颗粒物样品,共取得 43 组有效样品.

观测期间,利用美国 Thermo Electron Corporation 生产的气体分析仪 TEI 43C、TEI 49C、TEI 42I 和 TEI 42CY 对 SO_2 、 O_3 、 NO_x 和 NO_y 进行了测定.观测期间对气体测量仪器进行了多点标定,以保证实验数据的准确性.观测仪器的标定方法详见文献[16].

1.3 样品分析

采样前将石英膜在 600℃ 条件下加热处理 2h,以除去残留或吸附在膜上的有机物,在采样前后对滤膜进行平衡、称重(ME5 型百万分之一天平, Sartorius).采样后的滤膜用 10mL 超纯水(Milli2Q Gradient, Millipore Company, 美国)超声提取颗粒物中的水溶性离子.样品溶液经过滤后使用 Dionex IC 90 分析无机水溶性离子组分: F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} ,分析步骤见文献[17].

2 结果与讨论

2.1 大气颗粒物质量浓度

由图 1 可知,2009 年 8 月北京市大气 PM_{10} 日均质量浓度的变化范围为 56.1~330.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,与应执行的国家二级空气质量标准限值 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 相比^[18],观测期间超标天数为 20 d,超标率为 66.7%,其中有 5d(16.7%)超过国家三级空气质量标准限值 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,出现了重污染天气. $\text{PM}_{2.5}$ 日均质量浓度变化范围为 23.9~222.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.中国目前环境空气质量标准中尚无 $\text{PM}_{2.5}$ 限值,与美国环保署 (USEPA) $\text{PM}_{2.5}$ 日均质量浓度标准 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 相比,超标率为 87%,表明北京地区 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 污染仍很严重.

由图 1 可知,2009 年 8 月 20~30 日期间出现典型的清洁-污染-清洁-污染天气过程,可将该时间段分为两部分:清洁天气和污染天气.以国家二级空气质量标准 PM_{10} 限值 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 作比较^[18],有 5 d(23、24、25、26 和 30 日)超过该限值,定义为污染天气;未超过该标准的 6 d(20、21、22、27、28 和 29 日)为清洁天气.

由表 1 可知,2009 年 8 月 PM_{10} 日均质量浓度平均值为 176.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,比 2008 年奥运同期观测值上升了 180%,比 2007 年奥运期间观测值降低了 10%; $\text{PM}_{2.5}$ 日均质量浓度平均值为 102.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,比 2008 年奥运期间观测值上升了 126%,比 2007 年奥运期间观测值上升了 31%;由此可见,2008 年严格的控制措施对奥运期间空气质量的改善取得很好的短期效果,但 2009 年奥运同期北京地区大气颗粒物尤其是 PM_{10} 质量浓度有很大程度

的反弹,说明北京奥运会结束之后控制措施的终止,尤其是采石采矿企业、建筑活动、土石方工程以及汽车单双号限行的恢复,大大增加了大气粗颗粒物的浓度。

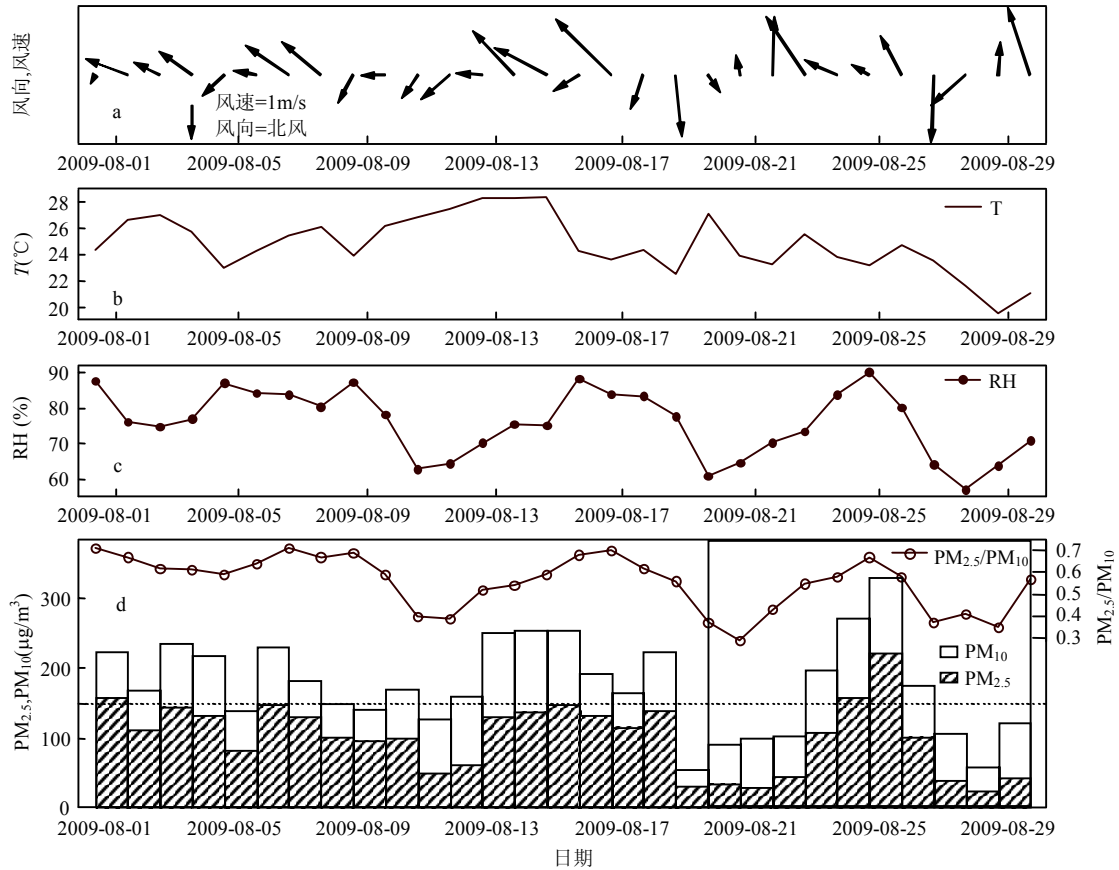


图 1 2009 年 8 月北京市主要气象参数及大气颗粒物质量浓度时间序列

Fig.1 Time series of meteorological parameters and PM concentrations during August 2009 in Beijing

图中箭头表示风向,线段长度表示风速大小,均为日均矢量值;RH、 T 分别为相对湿度和温度;虚线为 PM_{10} 国家二级标准 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$

表 1 北京市 2009 年 8 月大气颗粒物质量浓度日均值及 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值与其他研究比较

Table 1 Daily PM mass concentrations and $PM_{2.5}/PM_{10}$ during August 2009 in Beijing and other data

采样时间	站点	天气	$PM_{10}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	$PM_{2.5}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$	$PM_{2.5}/PM_{10}$
2009 年 8 月 1~31 日	中国环境科学研究院(本研究)	全部	176.9	102.5	0.56
2009 年 8 月 20~22,27~29 日	中国环境科学研究院(本研究)	清洁天气	97.2	35.7	0.37
2009 年 8 月 23~26,30 日	中国环境科学研究院(本研究)	污染天气	234.0	140.4	0.60
2008 年 8 月 8~24 日	奥运村 ^[11]		63.2	45.3	0.72
2007 年 8 月 8~24 日	奥运村 ^[11]		197.3	78.2	0.40
2002 年 7 月	北京大学 ^[16]		130.9	70.4	0.51
2001 年 7 月	北京大学 ^[16]		113	52	0.44

2009 年 8 月 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 平均值为 0.56,明显低于 2008 年奥运期间观测值 0.72,可能原因是为保障奥运会顺利进行采取的一些措施(如对污染

较重的工厂进行外迁、对扬尘和建筑尘等污染源进行控制)对 2008 年粗粒子污染水平的改善作用更为明显^[12],加之 2008 年奥运期间降水较多,

降水对粗粒子的有效冲刷作用大于细粒子,故2008年奥运期间 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 平均值明显高于2009年8月观测值.但2009年8月 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 平均值高于2007年同期及2001和2002年7月观测值,可能与2009年北京地区机动车保有量增加,机动车排放量增加,导致细粒子质量浓度升高有关.观测期间污染天气条件下 $PM_{2.5}$ 质量浓度为清洁天气的3.9倍, PM_{10} 质量浓度为清洁天气的2.4倍,污染天气条件下 $PM_{2.5}/PM_{10}$ 值明显升高,说明污染天气条件下细粒子对大气颗粒物的贡献更大,细粒子浓度升高是引起颗粒物污染的主要原因.

2.2 大气颗粒物中主要水溶性离子

由表2可知,2009年8月 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 中总水溶性离子(TWSI)质量浓度为82.0和62.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,分别占 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 质量浓度的43.1%和61.4%,说明水溶性离子是大气颗粒物的重要组成部分. $PM_{2.5}$ 中总水溶性离子质量浓度占颗粒物质量浓度百分比比较 PM_{10} 高,说明 $PM_{2.5}$ 中二次污染物相对含量较高.此外,大气气溶胶中 NO_3^- 与 SO_4^{2-} 的摩尔浓度比($[\text{NO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$)可以用来比较移动源(如机动车尾气)和固定源(如燃煤、石油等)对大气中硫和氮的相对污染贡献^[19].观测期间 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 中 $[\text{NO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 平均值为1.14和0.92,比值较高,说明移动源成为北京地区重要的大气颗粒物污染来源.

表2 北京地区大气颗粒物中水溶性离子日均质量浓度与 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 值

Table 2 Daily mass concentrations of water-soluble ions in PM in Beijing and the values of $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$

PM	天气	离子浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									TWSI/PM*	$\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}\#$
		TWSI	SO_4^{2-}	NO_3^-	NH_4^+	K^+	Cl^-	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}		
$PM_{2.5}$	全部	62.9	26.9	16.1	15.8	1.34	1.73	0.39	0.13	0.42	0.61	0.92
	清洁天气	11.6	4.99	2.78	2.24	0.45	0.49	0.18	0.10	0.34	0.32	0.86
	污染天气	81.6	27.96	27.88	19.78	2.12	2.93	0.54	0.11	0.19	0.59	1.54
PM_{10}	全部	82.0	31.6	23.2	16.9	1.57	2.54	0.59	0.64	4.81	0.43	1.14
	清洁天气	20.8	6.26	5.68	2.25	0.50	0.92	0.32	0.39	4.28	0.21	1.41
	污染天气	109.2	34.35	39.08	21.58	2.48	4.33	0.82	0.79	5.43	0.47	1.76

注:*表示质量浓度比,#表示摩尔浓度比

与清洁天气相比,污染天气条件下 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 中总水溶性离子(TWSI)质量浓度及TWSI/ PM_{10} 和TWSI/ $PM_{2.5}$ 均升高,说明污染天气条件下大气颗粒物中二次污染物相对含量升高. PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中主要水溶性离子质量浓度均有不同程度的升高,但各种离子占总水溶性离子百分比变化较大.如图2所示,污染天气条件下 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 中 $\text{NO}_3^-/\text{TWSI}$ 和 $\text{NH}_4^+/\text{TWSI}$ 升高, $\text{SO}_4^{2-}/\text{TWSI}$ 下降或基本不变, $\text{Ca}^{2+}/\text{TWSI}$ 减小, Cl^-/TWSI 、 Na^+/TWSI 、 K^+/TWSI 和 $\text{Mg}^{2+}/\text{TWSI}$ 变化较小.

污染天气条件下 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 中 NO_3^- 质量浓度及 $\text{NO}_3^-/\text{TWSI}$ 升高, $\text{SO}_4^{2-}/\text{TWSI}$ 下降或基本保持不变, $[\text{NO}_3^-]/[\text{SO}_4^{2-}]$ 大幅升高,说明污染天气条件下北京交通源污染严重,固定源对污染天气颗粒物浓度升高的贡献相对较小,可能

是2008年奥运前对北京及周边地区污染严重的工业外迁及拆除等措施为北京市空气质量的长期改善起到重要作用^[11],这些持久性措施也有效地减少了2009年北京地区 SO_2 排放,从而降低了大气中 SO_4^{2-} 的污染.而汽车等交通源排放的 NO_x 仍然是北京大气中的重要污染物,并且随着奥运会后机动车单双号限行的解禁和北京市机动车保有量的逐年增加, NO_3^- 的污染问题会越来越突出^[18-21].

2.3 大气颗粒物与气象条件相关性分析

由图3可知,观测期间北京夏季盛行东南风,其次为北风和东北风.在东南风条件下,气流带来天津、唐山方向的污染气团,大气颗粒物浓度高.在北风和东北风条件下,气流来自长城以北较为清洁的地区,大气颗粒物浓度较低.整体看来,风向风速对北京市空气质量影响很大,在0.5~

1.0m/s 的东南风条件下观测期间大气颗粒物质量浓度最高,空气污染也最为严重.2009 年 8 月 1~8 日主导风向为东南风,此时间段大气颗粒物浓度较高,PM₁₀ 质量浓度超过国家二级空气质量标准.9~12 日为东北风,风速较小,大气颗粒物浓度降低,PM_{2.5}/PM₁₀ 比值较低.13~17 日主导风向为东南风,其中 14 日、15 日和 17 日风速较大,日均矢量风速分别为 1.79,1.74,2.33m/s,此时 PM₁₀ 质量浓度超过 150μg/m³,PM_{2.5}/PM₁₀ 比值较

高.19 日出现降水过程,降水过后 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度明显降低.20、21 日为静风天气,大气颗粒物质量浓度升高不大,而 23~25 日期间主导风向为东南风,风速较小,PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度持续上升,8 月 25 日出现观测期间颗粒物日均浓度最大值.26~28 日主导风向转为北风和东北风,风速较大,此时观测到北京地区大气颗粒物质量浓度与 PM_{2.5}/PM₁₀ 值均明显降低.29、30 日主导风向为南风,大气 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度积累升高.

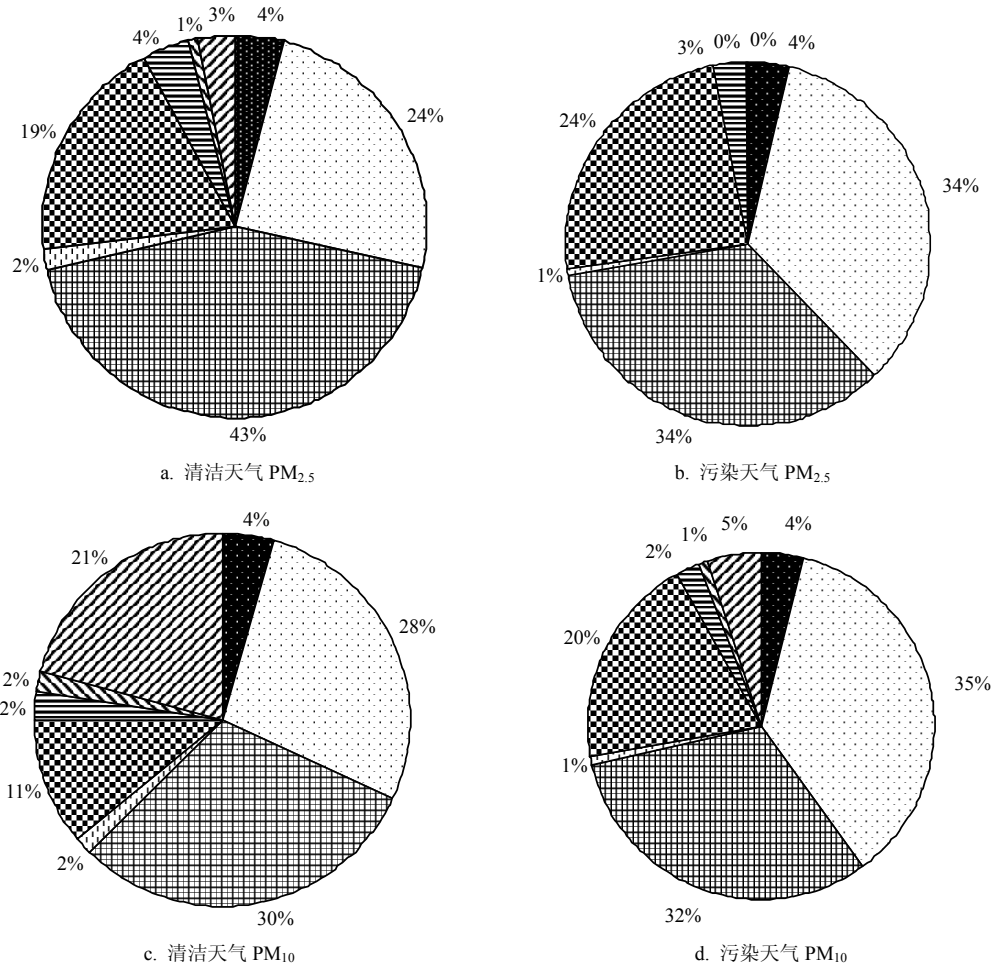


图 2 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中主要水溶性离子的百分组成

Fig.2 The percent of different inorganic compounds of total water-soluble ions in PM_{2.5} and PM₁₀

■ Cl⁻ □ NO₃⁻ ▨ SO₄²⁻ ▩ Na⁺ ▪ NH₄⁺ ▫ K⁺ ▬ Mg²⁺ ▮ Ca²⁺

从图 1 还可以看出,大气颗粒物质量浓度和 PM_{2.5}/PM₁₀ 值与相对湿度有较好的相关性,与温

度相关性不大,可能原因是高湿度有利于颗粒物尤其是细粒子的生成^[22],而温度对大气颗粒物的

影响较为复杂.

此外,降水也是北京地区大气颗粒物浓度降低的重要原因之一.2009年8月19日1:00~12:00为中雨天气,表3和表4列出了降水前后大气颗粒物与颗粒物中水溶性离子质量浓度及去除率.去除率采用公式 $\gamma_i=(1-C_{i,rain}/C_i)\times 100\%$, 式中: $C_{i,rain}$ 为降水日大气颗粒物或颗粒物中水溶性离子质量浓度日均值; C_i 为降水日前1d大

气颗粒物或颗粒物中水溶性离子质量浓度日均值.由表4可以看出,降水对颗粒物及颗粒物中水溶性离子的冲刷作用很强,对大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 的去除率约为75%,对颗粒物中水溶性离子去除率相差较大,其中降水对大多数离子的去除率超过60%,但对 $PM_{2.5}$ 中 F^- 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 去除率较低,可能与3种离子在 $PM_{2.5}$ 中含量较低有关.

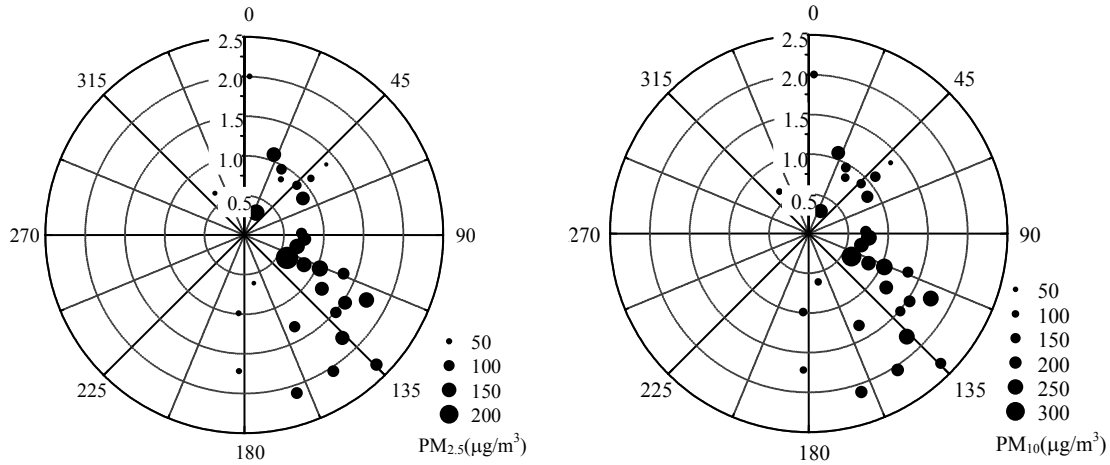


图3 不同风向风速条件下的 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度

Fig.3 Concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} under different wind directions and speeds

表3 降水前后大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及颗粒物中水溶性离子质量浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 3 The mean daily mass concentrations of $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} and water-soluble ions in rain periods ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

时间	天气	PM	PM	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
2009年8月18日	降水前	$PM_{2.5}$	139.66	0.02	2.03	36.62	40.77	0.65	26.14	3.78	0.14	0.33
2009年8月19日	降水后	$PM_{2.5}$	31.36	0.01	0.22	1.80	9.47	0.23	3.82	0.42	0.12	0.27
2009年8月18日	降水前	PM_{10}	223.67	0.30	3.31	47.72	48.48	0.94	28.52	4.44	0.84	5.03
2009年8月19日	降水后	PM_{10}	56.09	0.04	0.30	2.60	10.91	0.24	4.01	0.43	0.31	2.00

表4 降水过程大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 及颗粒物中水溶性离子去除率

Table 4 The removal rate of $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} and water-soluble ions in rain periods

PM	去除率										
	PM	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	
$PM_{2.5}$	0.78	0.46	0.89	0.95	0.77	0.65	0.85	0.89	0.15	0.19	
PM_{10}	0.75	0.87	0.91	0.95	0.77	0.75	0.86	0.90	0.63	0.60	

2.4 $PM_{2.5}$ 中硫和氮的氧化速率

通常用硫和氮的氧化速率SOR和NOR来表示二次气溶胶的形成、转化过程,其定义分别为

$SOR = nss - SO_4^{2-} / (nss - SO_4^{2-} + SO_2)$; $NOR = NO_3^- / (NO_3^- + NO_2)$, 式中: $nss - SO_4^{2-}$ 指 $PM_{2.5}$ 中非海盐 SO_4^{2-} 摩尔浓度; NO_3^- 指 $PM_{2.5}$ 中 NO_3^- 摩尔浓度; SO_2 、

NO₂ 为气态 SO₂ 和 NO₂ 摩尔浓度.前人研究表明,SOR 值<0.10 时大气中以一次污染物 SO₂ 为主, SOR>0.10 说明大气中发生 SO₂ 向 SO₄²⁻转化反应,SOR 越大,大气中发生光化学氧化过程越激烈,大气中存在的 SO₄²⁻越多^[23].2009 年 8 月观测到北京地区 PM_{2.5} 中 SOR 平均值为 0.61,远高于 0.10,说明大气中硫多以 SO₄²⁻形式存在.NOR 平均值为 0.14,比 SOR 值低,说明与 SO₂ 相比,NO₂ 向 NO₃⁻的转化率或氧化程度较低.

通过对比北京地区夏季大气颗粒物 PM_{2.5} 中

SO₄²⁻和 NO₃⁻昼夜质量浓度发现,SO₄²⁻质量浓度夜间低于日间,而 NO₃⁻质量浓度夜间高于日间(表 5).夏季日间高 O₃ 浓度及强太阳辐射得条件有利于 SO₂ 向 SO₄²⁻的生成转化,同时日间大气活动频繁,SO₄²⁻易受远距离传输带来的外地污染物的影响,因此日间 SO₄²⁻浓度较高.夜间相对湿度高、温度较低,有利于可逆反应 HNO₃(g) + NH₃(g) ↔ NH₄NO₃(s)生成颗粒物态的硝酸盐,同时 NO₃⁻主要受局地源影响,夜间逆温层较低,不利于污染物扩散,因此夜间 NO₃⁻浓度高于白天.

表 5 2009 年 8 月 PM_{2.5} 中 SO₄²⁻、NO₃⁻ 与相关气体浓度及气象因素值

Table 5 The concentrations of SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ in PM_{2.5}, gaseous precursors and meteorological parameters during August 2009

时间	SO ₄ ²⁻ (μg/m ³)	NO ₃ ⁻ (μg/m ³)	SO ₂ (×10 ⁻⁹)	O ₃ (×10 ⁻⁹)	NO ₂ (×10 ⁻⁹)	温度 (°C)	RH (%)
日间	22.05	12.60	3.83	36.70	31.72	26.37	64.34
夜间	17.68	15.75	3.07	11.47	36.38	21.27	83.55

3 结论

3.1 北京市 2009 年 8 月大气颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5} 质量浓度日均值分别为 176.9μg/m³ 和 102.5μg/m³.PM₁₀ 质量浓度比 2008 年观测值上升了 180%,比 2007 年降低了 10%;PM_{2.5} 质量浓度比 2008 年观测值上升了 126%,比 2007 年上升了 31%.

3.2 污染天气条件下 PM_{2.5}/PM₁₀ 和 [NO₃⁻/SO₄²⁻] 大幅升高,NO₃⁻/TWSI 增大,而 SO₄²⁻/TWSI 有所降低或基本不变,表明污染天气条件下细粒子大量生成,北京奥运的持久性措施(污染企业搬迁或拆除等)有效控制了 SO₄²⁻浓度,而汽车等交通源导致 NO₃⁻污染问题较严重,交通源成为北京地区重要的大气污染源.

3.3 风向风速对北京市大气颗粒物浓度影响很大.观测期间的主导风向为南风或东南风,以及北风或和东北风,当主导风向为南风或东南风时北京大气颗粒物浓度显著上升,其中 0.5~1.0m/s 的东南风条件下污染最严重,而主导风向变为北风或东北风时大气颗粒物污染有明显改善.

参考文献:

- [1] 杨复沫,马永亮.细微大气颗粒物 PM_{2.5} 及其研究概况 [J]. 世界环境, 2000,(4):32-34.
- [2] 谢 骅,王庚辰.北京市大气细粒态气溶胶的化学成分研究 [J]. 中国环境科学, 2001,21(5):432-435.
- [3] 谢 鹏,刘晓云,刘兆荣,等.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.
- [4] Schwartz J, Dockery D, Neas L. Is daily mortality associated specifically with fine particles? [J]. Journal of the Air and Waste Management Association (1995), 1996,46(10):927-939.
- [5] Ostro B. Fine particulate air pollution and mortality in two Southern California counties [J]. Environmental Research, 1995,70(2):98-104.
- [6] Takeuchi M, Okochi H, Igawa M. Characteristics of water-soluble components of atmospheric aerosols in Yokohama and Mt. Oyama, Japan from 1990 to 2001 [J]. Atmospheric Environment, 2004,38(28):4701-4708.
- [7] Wang Y, Zhuang G, Sun Y, et al. The variation of characteristics and formation mechanisms of aerosols in dust, haze, and clear days in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2006,40 (34): 6579-6591.
- [8] 王京丽,谢 庄,张远航,等.北京市大气细粒子的质量浓度特征研究 [J]. 气象学报, 2004,62(1):104-111.
- [9] Wang Y, Zhuang G, Tang A, et al. The ion chemistry and the source of PM_{2.5} aerosol in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2005,39(21):3771-3784.

- [10] Wang T, Nie W, Gao J, et al. Air quality during the 2008 Beijing Olympics: secondary pollutants and regional impact [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2010,10: 12433-12463
- [11] 汪伟峰,王迎红,王莉莉,等.北京奥运会期间奥运村站空气质量的观测与研究 [J]. *环境科学研究*, 2010,23(1):48-54.
- [12] Wang W, Primbs T, Tao S, et al. Atmospheric Particulate Matter Pollution during the 2008 Beijing Olympics [J]. *Environmental Science and Technology*, 2009,43 (14):5314-5320.
- [13] Zhou Y, Wu Y, Yang L, et al. The impact of transportation control measures on emission reductions during the 2008 Olympic Games in Beijing, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(3):285-293.
- [14] 吴方堃,王跃思,安俊琳,等.北京奥运时段 VOCs 浓度变化,臭氧产生潜势及来源分析研究 [J]. *环境科学*, 2010,31(1):10-16.
- [15] Streets D, Fu J, Jang C, et al. Air quality during the 2008 Beijing Olympic Games [J]. *Atmospheric Environment*, 2007,41(3):480-492.
- [16] Wang T, Wong H, Tang J, et al. On the origin of surface ozone and reactive nitrogen observed at a remote mountain site in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, western China [J]. *Geophysical Research*, 2006,111:D08303.
- [17] 胡敏,赵云良,何凌燕,等.北京冬,夏季颗粒物及其离子成分质量浓度谱分布 [J]. *环境科学*, 2005,26(4):1-6.
- [18] 中华人民共和国环境空气质量标准(GB3095-1996).
- [19] Arimoto R, Duce R A, Savoie D L, et al. Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during PEM-west [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996,101(D1): 2011-2024.
- [20] 李林,郝吉明,胡京南.北京市能源利用对空气质量的影响分析和预测 [J]. *中国环境科学*, 2005,25(6):746-750.
- [21] Chen J, Wang W, Zhang J, et al. Characteristics of gaseous pollutants near a main traffic line in Beijing and its influencing factors [J]. *Atmospheric Research*, 2009,94(3):470-480.
- [22] 胡敏,刘尚,吴志军,等.北京夏季高温高湿和降水过程对大气颗粒物谱分布的影响 [J]. *环境科学*, 2006,27(11):2293-2298.
- [23] Truex T, Pierson W, McKee D. Sulfate in diesel exhaust [J]. *Environmental Science and Technology*, 1980,14(9):1118-1121.
- 作者简介:** 王琳琳(1984-),女,山东威海人,山东大学环境研究院硕士研究生,研究方向为大气环境化学。

黑炭降解和氧化的温度敏感性

惰性土壤碳库的分解(矿化和碳损失的同义词)对温度的敏感性仍存争论.大量研究表明,由于气候变暖,相对于新发育的和易分解的土壤有机碳库,稳定的土壤有机碳温度敏感性持续增强.相反地,Liski 等人认为惰性土壤有机碳库分解的温度敏感性弱于易分解的土壤有机碳库,Giardina 和 Ryan 更是认为森林矿化土壤中的有机碳的分解不受温度升高的影响.

这些明显的区别可能是土壤特性的差异造成的,例如,团聚体的形成或有机物与矿物质的相互作用等.因为短期内温度对土壤有机碳分解的影响小于对微生物新陈代谢的影响,当土壤有机碳的物理保护作用较强时,升温可能不会导致其加速分解.

除物理保护外,化学抵抗性也会影响土壤有机碳的分解速率.黑炭是土壤中抵抗性很强的 1 种碳,在土壤有机碳中占相当大的比例,例如在德国 Chernozemic 土壤中含量达到 45%(质量分数),在美国农业土壤中达到 35%,在澳大利亚土壤大陆尺度分析中的平均含量为 20%.黑炭在土壤中的平均存留时间大约为 1 000 年,甚至更长.与土壤中非黑炭有机物相比,黑炭出现在轻质组分中的比例最高,而不是矿物结合态的土壤有机碳.因此,黑炭的温度敏感性可能很大程度上被它内在的化学抵抗性所控制,而不是物理保护.

赵敏戴洁译自《*Environmental Science and Technology*》, April 12: 3324-3331 (2010)