

文章编号:1001-7380(2015)06-0001-04

气象因素对南京市南郊大气 PM_{2.5} 质量浓度的影响

万 欣,王 磊*,张亚楠,王 火,江 浩,丁晶晶,李冬林,何冬梅

(江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153)

摘要:依托江苏省林业科学研究院建立的森林环境空气质量监测系统,利用2014年6月到2015年5月1 a内该地区的大气 PM_{2.5} 和气象观测数据,对 PM_{2.5} 质量浓度的日变化特征、季节变化规律,以及气象因素(温度、相对湿度、风速、气压)对其的影响进行了研究。结果表明:该地区 PM_{2.5} 质量浓度的日变化呈波浪形变化,并且有2个高峰,一个高峰出现在夜间,另一个高峰出现在上午。大气 PM_{2.5} 质量浓度在春季最高(平均值为 89.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$),秋、冬季次之,夏季最低(平均值为 53.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)。不同季节影响 PM_{2.5} 质量浓度的气象因素各不相同:春季 PM_{2.5} 质量浓度与气压呈显著负相关,冬季 PM_{2.5} 质量浓度均与平均风速呈显著负相关,与气温、相对湿度呈显著正相关。

关键词:PM_{2.5} 质量浓度;气象因素;气温;相对湿度;非参数分析

中图分类号:X831.03 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2015.06.001

Impacts of meteorological conditions on PM_{2.5} concentration in Nanjing southern suburb

WAN Xin, WANG Lei*, ZHANG Ya-nan, WANG Huo, JIANG Hao, DING Jing-jing,
LI Dong-lin, HE Dong-mei

(Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China)

Abstract: Based on the forest environment and air quality monitoring system in Jiangsu Academy of Forestry, the concentration of PM_{2.5} and meteorological data from June 2014 to May 2015 were collected, and the diurnal variation of the concentration of PM_{2.5}, seasonal change and the influence of meteorological conditions on concentration levels of PM_{2.5} were investigated for four seasons by using statistical analysis. Undulation of daily variation of PM_{2.5} concentrations in the region were found, with two peaks (one in the night, another in the morning). Atmospheric PM_{2.5} concentration in spring was the highest in the four seasons, with a mean of 89.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, next in autumn and winter, that in summer was the lowest, with a mean of 53.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The results also showed that the concentrations of PM_{2.5} were significantly correlated with one or more meteorological parameters in different seasons. The concentrations of PM_{2.5} had strongly negative correlation with surface atmospheric pressure in spring, and those in winter were significantly negatively correlated with wind speed, but positively correlated with ambient temperature as well as relative humidity.

Key words: Concentration level of PM_{2.5}; Meteorological conditions; Air temperature; Relative humidity; Non-parameter statistical analysis

PM_{2.5} 是指大气中直径 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物,也称为可入肺颗粒物。近年来,由于人们对 PM_{2.5} 的高度关注,有关大气 PM_{2.5} 的相关研究也日益增多。PM_{2.5} 质量浓度除了与污染源有直接关系外,

还与气象因素,如气压、风速、温度、湿度等密切相关^[1-3]。有资料显示,气象因素对大气污染物的扩散、稀释和积累有着重要作用,同步观测并分析气象因素与污染物浓度的关系不仅能验证并合理解

收稿日期:2015-10-20;修回日期:2015-11-02

基金项目:江苏省林业三新工程项目“城市森林削减 PM_{2.5} 作用效果研究”(LYSX[2014]01)

作者简介:万 欣(1983-),女,山东济宁市人,助理研究员,博士,主要从事森林生态研究。E-mail:691069685@qq.com。

* 通信作者:王 磊(1980-),男,江苏宜兴市人,副研究员,博士,从事生态系统研究。E-mail:wl.stone@163.com。

释试验数据,还对研究当地大气污染形成的气象条件与空气污染预报具有基础性的意义^[4]。

有关城市大气颗粒物污染与气象因素关系的研究较多。有研究表明,在北京地区,降雨、降雪、风等 3 类气象要素对颗粒物 PM_{2.5} 均有较强的去除效果^[5],对颗粒物 PM_{2.5} 去除效率高低依次排列为大风>降雪>降水^[6]。常州市在 2011 年的大气 PM_{2.5} 质量浓度日变化呈双峰结构,峰值分别出现在早上 9:00 点和晚上 21:00 点,2 峰值浓度相近,而且城市风场对 PM_{2.5} 污染有一定影响,偏西风时污染较重,偏东风时污染较轻;风速与 PM_{2.5} 质量浓度呈负相关,即风速越大,PM_{2.5} 污染程度越小^[7]。长沙市在 2013 年 4 个典型月份内大气 PM_{2.5} 质量浓度与温度和风速呈负相关,而与湿度和气压呈正相关^[8]。目前为止,有关南京市 PM_{2.5} 质量浓度对不同季节地面气象因素变化的响应研究报道尚不多见。笔者基于四季 PM_{2.5} 质量浓度和气象数据,分析和探讨 PM_{2.5} 质量浓度的四季变化规律及其浓度与四季各气象因素的相关性和响应关系,以期今后的 PM_{2.5} 的监测、预警和污染防治提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究的监测地点位于江苏省南京市江宁区东善桥江苏省林业科学研究院内,PM_{2.5} 质量浓度及气象监测数据均来源于 CSI 开路涡动相关通量监测系统。该系统包括三维超声风速温度仪 CSAT3 和红外气体分析仪 LI-7500,以及相匹配的数据采集系统和预处理软件等。

1.2 数据处理方法

利用 Excel 软件进行总体特征描述,非参数分析即 Spearman 秩相关系数采用 SPSS11.0 软件计算^[9]。

2 结果与讨论

2.1 大气 PM_{2.5} 质量浓度的日变化特征

由于 PM_{2.5} 质量浓度在大气环境中是随时间不断变化的。为较准确地分析 PM_{2.5} 在城市森林内的变化规律,本研究依托在江苏省林业科学研究院建立的森林环境空气质量监测点,从长期监测数据中抽取 2014 年 6 月到 2015 年 5 月这 1 a 中每周每周一 24 h 的 PM_{2.5} 质量浓度数据,再取其平均值进行数据分析,结果如图 1 所示。

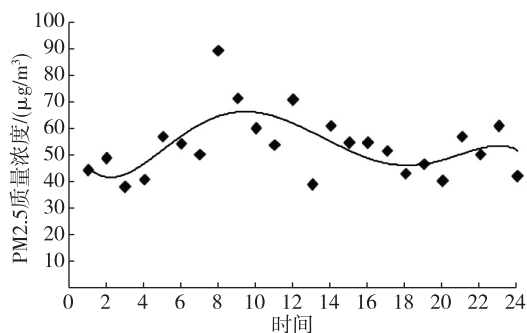


图 1 PM_{2.5} 质量浓度日变化曲线

从图 1 中可以看,PM_{2.5} 质量浓度的日变化呈波浪形变化,并且有 2 个高峰,1 个高峰出现在夜间,另一个高峰出现在上午,这主要与大气污染物排放以及当地的气象条件有关。PM_{2.5} 质量浓度在下午变得相对较低,一般来说,下午是扩散条件最好的时候,这个时间段的多数污染物呈现较低值,主要是由于夜间易发生逆温,使地面产生的颗粒物不易扩散而积累所致^[10-11]。对于从午夜到凌晨的时段,PM_{2.5} 的变化则很平缓,说明 PM_{2.5} 分布比较均匀。此外,从数据结果可以得出,PM_{2.5} 质量浓度的日变化范围较大,其最大 PM_{2.5} 质量浓度值在上午的 8:00 点,均值为 71.28 μg/cm²,最小值在凌晨 2:00 点,均值为 38.10 μg/cm²。

2.2 城市森林 PM_{2.5} 质量浓度的季节变化特征

根据气候学上的分类,南京市每年的 3-5 月为春季,6-8 月为夏季,9-11 月为秋季,12 月-翌年 2 月为冬季。不同季节由于受污染源排放量及气象因素的影响,大气颗粒物浓度水平表现出季节特征。对 2014 年 6 月到 2015 年 5 月全年中每月每周一 PM_{2.5} 质量浓度平均值进行数据分析,以 3 个月做为 1 个季度单位,结果如图 2 所示。

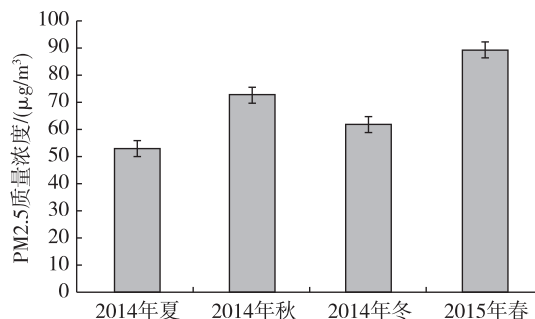


图 2 PM_{2.5} 质量浓度季节变化特征

由图 2 可知,在污染源和气象条件 2 方面作用

下,江苏省林业科学研究院测出的 PM2.5 质量浓度在春季最高,平均值为 $89.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$,秋、冬季次之,夏季最低,平均值为 $53.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。与徐敬等^[10]的研究结果一致。分析其原因,春季冷暖空气活动频繁交替,大量的空气颗粒物悬浮于空气中,雾霾天气多发,故 PM2.5 污染较重;而南京地区夏季降水较多,且降水对消减大气颗粒物浓度有积极作用^[12],导致夏季大气 PM2.5 质量浓度在四季中最低。

2.3 不同气象因素对城市森林内 PM2.5 质量浓度的影响

本项目以江苏省林业科学研究院为监测点,选择 2014 年 6 月到 2015 年 5 月 1 a 中每月每周的气象数据(气压、气温、相对湿度、风速)的平均值和 PM2.5 平均质量浓度,通过 SPSS11.0 软件进行 Spearman 秩相关分析。分析结果如表 1 所示。

表 1 四季 PM2.5 质量浓度与气象因素的 Spearman 秩相关系数

| 季节 | 气压 | 气温 | 相对湿度 | 平均风速 |
|----------|---------|--------|--------|---------|
| 2015 年春季 | -0.560* | 0.312 | 0.271 | 0.192 |
| 2014 年夏季 | 0.132 | -0.093 | 0.413 | -0.251 |
| 2014 年秋季 | -0.413 | -0.312 | 0.211 | -0.041 |
| 2014 年冬季 | -0.491 | 0.732* | 0.691* | -0.632* |

* 表示 2 个变量之间差异显著, $P < 0.05$ 。

结果表明,不同季节影响 PM2.5 质量浓度的气象因素各不相同。春季 PM2.5 质量浓度与气压呈显著负相关;夏季和秋季 PM2.5 质量浓度与各气象因素相关性都不大;冬季 PM2.5 质量浓度均与平均风速呈显著负相关,与气温、相对湿度呈显著正相关。具体分析如下:

2.3.1 春季气象因素对 PM2.5 质量浓度水平的影响 由表 1 可知,春季 PM2.5 质量浓度均值与地面气压呈显著负相关(见表 1,图 3),与其他气象因素相关性不显著。主要是因为该地区春季冷、暖空气活动频繁,易形成地面高、低压交替和控制,形成不同的天气形势,造成了 PM2.5 质量浓度的相应变化^[13-14]。在春季,冷空气过境后,气温升高,地面高压减弱,转为低压控制。地面维持低风速,而且春季时常有大风天气,容易引起地面扬尘,从而导致大气中悬浮物质量浓度开始增加^[15]。

2.3.2 夏、秋季气象因素对 PM2.5 质量浓度水平的影响 由表 1 可知,夏季 PM2.5 质量浓度与气压、气温、相对湿度、平均风速等气象因素相关性均不显著,这可能是因为夏季天气过程交替不明显,同 1 d 气系统可维持较长的时间,所以夏季地面气压和气温的变

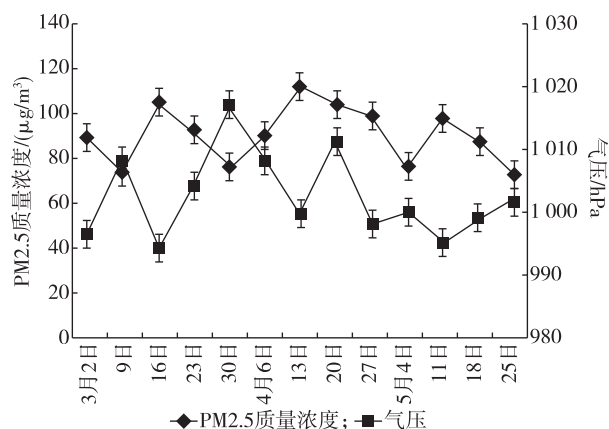


图 3 春季地面气压与 PM2.5 质量浓度变化

动范围小于其他季节。此外,夏季降雨能有效清除大气颗粒物,再加上逆温现象发生频率少,且即使发生,由于逆温层厚度较低,强度弱、边界层结构不稳定,都使夏季大气颗粒物扩散、沉降的条件非常好,大气颗粒物污染最轻^[16]。同样,秋季 PM2.5 质量浓度与地面气压、气温、相对湿度和平均风速等其他气象因素相关性也不显著。主要原因在于当地秋季风速小(平均风速只有 1.187 m/s ,为四季中最低),相对湿度偏大,逆温发生频率高、强度大且持续多日,常出现稳定天气形势^[17]。

2.3.3 冬季气象因素对 PM2.5 质量浓度水平的影响 表 1 及图 4,5,6 所示,冬季 PM2.5 质量浓度与气温、相对湿度呈显著正相关,与平均风速呈显著负相关,与地面气压相关性不显著。其中,冬季 PM2.5 质量浓度与气温的相关性最大,相关系数达到 0.732,其次是湿度和风速。

在冬季相对湿度增大,风速减小和逆温层加厚等不利气象条件时,大气颗粒物会发生持续累积,质量浓度升高;相对湿度变小时,风速增大,大气颗粒物通过输送、迁移和沉降导致其浓度有降低趋势^[18-19],所以冬季 PM2.5 质量浓度与相对湿度呈显著正相关。而在冬季相对湿度与平均风速呈显著负相关(Spearman 秩相关系数为 -0.514 , $P < 0.101$),风速减小,相对湿度增大,有利于近地面层处于稳定状态,逆温强度增大,不利于污染物垂直和水平方向的扩散,加重了大气颗粒物的积聚污染,使其质量浓度升高^[20]。而且冬季气温和相对湿度都增大时,经常会伴有雾,不利于颗粒物的扩散、沉降,悬浮的雾滴极易捕获空气中的污染颗粒,也易吸附气态污染物^[21]。

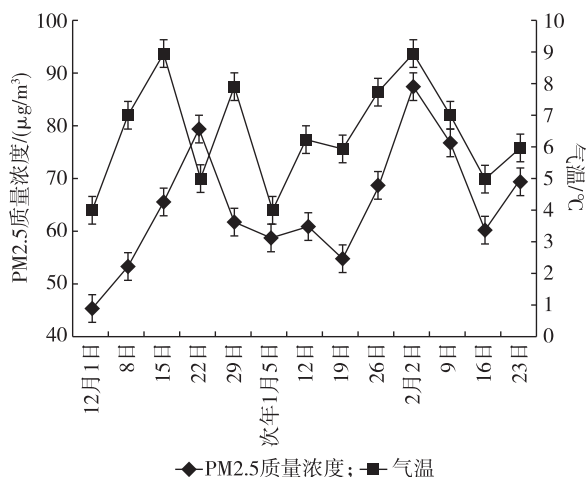


图 4 冬季气温与 PM2.5 质量浓度变化

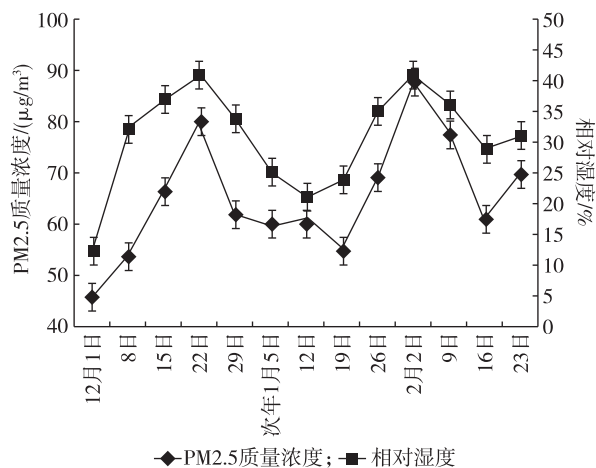


图 5 冬季相对湿度与 PM2.5 质量浓度变化

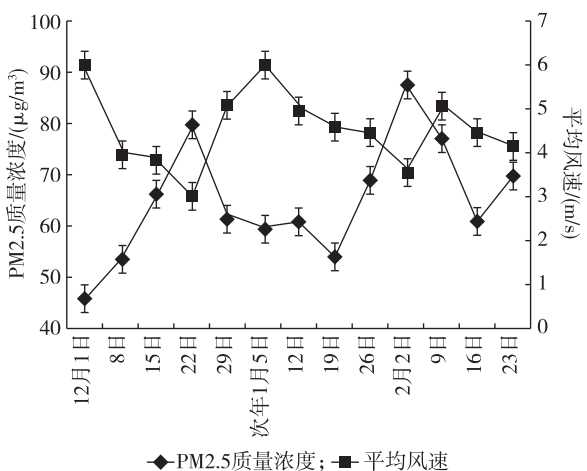


图 6 冬季平均风速与 PM2.5 质量浓度变化

3 结论

(1) 南京市郊大气 PM2.5 质量浓度的日变化呈波浪形变化趋势,并且有 2 个高峰,一个高峰出现在夜间,另一个高峰出现在上午,这主要与大气污染物排放以及当地的气象条件有关。

(2) 该地区 PM2.5 质量浓度具有明显的季节特征。在春季最高,平均值为 $89.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$,秋、冬季次之,夏季最低,平均值为 $53.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(3) 不同季节影响 PM2.5 质量浓度的气象因素各不相同。春季 PM2.5 质量浓度与气压呈显著负相关;夏季和秋季 PM2.5 质量浓度与各气象因素相关性都不大;冬季 PM2.5 质量浓度均与平均风速呈显著负相关,与气温、相对湿度呈显著正相关。

参考文献:

- [1] 李宗恺,潘云仙,孙澜桥.空气污染气象学原理及应用[M].北京:气象出版社,1985:557-569.
- [2] Górka-Kostrubiec B, Król E, Jelenska M, Dependence of air pollution on meteorological conditions based on magnetic susceptibility measurements; a case study from Warsaw [J]. Studia Geophysica et Geodaetica, 2012, 56(3): 861-877.
- [3] Sandrin C Z, Figueiredo-Ribeiro R C L, Delitti W B C, et al. Short-term changes of fructants in ryegrass (*Lolium multiflorum* 'Lema') in response to urban air pollutants and meteorological conditions [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2013, 96(1): 80-55.
- [4] 孟燕军,程丛兰.影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J].气象,2002,28(4): 42-47.
- [5] Wang J Z, Wang Y Q, Liu H, et al. Diagnostic identification of the impact of meteorological conditions on PM2.5 concentrations in Beijing [J]. Atmospheric Environment, 2013, 81(2): 158-165.
- [6] 潘本锋,赵熠琳,李健军,等.气象因素对大气中 PM2.5 的去除效应分析[J].环境科技,2012,25(6): 41-44.
- [7] 孙南.常州市区空气 PM2.5 污染分布和气象因素影响初探[J].环境科学与管理,2013,38(10): 166-169.
- [8] 陈阳,曾钊,张琴,等.气象因素对长沙市 PM2.5 周期性变化规律的影响分析[J].四川环境,2014,33(6): 81-87.
- [9] 陶澍.应用数理统计方法[M].北京:中国环境科学出版社,1994.
- [10] 徐敬,丁国安,颜鹏,等.北京地区 PM2.5 的成分特征及来源分析[J].应用气象学报,2007,18(5): 645-654.
- [11] 周江兴.北京市几种主要污染物浓度与气象要素的相关分析[J].应用气象学报,2005,16(增刊): 123-127.

(下转第 18 页)

不同灌木柳树枝干在铅污染土地上的生长表现,初步筛选出杂交无性系 2343, 35-9, 55-2, 2358 和 2413 等为铅污染立地上生长表现较好的灌木柳。

比较生长表现较好的灌木柳,发现无性系 2358, 35-9 和 55-2 都是以二色柳为母本的杂交后代,这可能和它们的基因型有关,这也为下一步研究提供了很好的思路。

本试验是田间试验,其试验结果显示不同的灌木柳树在铅污染土地的生长表现存在显著差异,因此可以筛选出生长表现较优的灌木柳树。但是由于本试验地土壤铅含量较低,选择压力较小,因此筛选的灌木柳树不一定适合铅含量较高的土壤立地;且试验地单一,也没有成片造林,测试面积偏小,测得的数据与纯林可能有偏差。在后续的研究中,可以进行不同铅含量土壤立地条件下的灌木柳树铅富集能力的筛选,考虑不同植物品种或不同基因型之间以及种源之间的抗性差异,研究重金属对植物的毒害机理和耐性机理,建立柳树收割后的配套铅处理技术,形成以植物修复技术为主,以物理化学方法和农业工程为辅的铅污染土壤的综合治理体系。

参考文献:

- [1] 张 欣,范仲学,王丽香,等.济南城郊菜园土壤和蔬菜中重金属污染状况调查与评价[J].山东农业科学,2011(5):68-70.
- [2] 孙铁珩,周启星,李培军.污染生态学[M].北京:科学出版社,2001.
- [3] 国家环境保护局科技标准司.土壤环境质量标准:GB15616-1995[S].北京:中国标准出版社,1996.
- [4] Cui S, Zhang T, Zhao S, et al. Evaluation of three ornamental plants for phytoremediation of Pb-contaminated soil [J]. International Journal of Phytoremediation, 2013, 15(4): 299-306.
- [5] Kuzovkina Y A, Knee M, Quigley MF. Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (*Salix* L.) species [J]. International Journal of Phytoremediation, 2004, 6(3): 269-287.
- [6] Rosselli W, Keller C, Boschi K. Phytoextraction capacity of trees growing on a metal contaminated soil [J]. Plant and soil, 2003, 256(2): 265-272.
- [7] Meers E, Vandecasteele B, Ruttens A, et al. Potential of five willow species (*Salix* spp.) for phytoextraction of heavy metals [J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 60(1): 57-68.
- [8] Landberg T, Greger M. Differences in uptake and tolerance to heavy metals in *Salix* from unpolluted and polluted areas [J]. Applied Geochemistry, 1996, 11(1): 175-180.
- [9] Zalesny Jr. R S, Bauer E O, Hall R B, et al. Clonal variation in survival and growth of hybrid poplar and willow in an in situ trial on soils heavily contaminated with petroleum hydrocarbons [J]. International Journal of Phytoremediation, 2005, 7(3): 177-197.
- [10] Kuzovkina Y A, Quigley M F. Willows beyond wetlands: Uses of *Salix* L. species for environmental projects [J]. Water, Air & Soil Pollution, 2005, 162(1): 183-204.
- [11] 汪有良,王宝松,施士争.灌木型柳树镉吸收积累性状的研究 [J].西北林学院学报,2011,26(2):105-110.
- [12] 王小鸽,张文辉,何景峰,等.3个瑞典能源柳无性系对铅污染耐受性研究[J].西北植物学报,2009(7):1400-1407.
- [12] Connell D P, Withum J A, Winter S E, et al. The steubenville comprehensive air monitoring program (SCAMP): Associations among fine particulate matter, co-pollutants, and meteorological conditions [J]. Journal of the Air & Water Management Association, 2005, 55(4): 481-496.
- [13] 李小龙,方宗义.2006年两次影响北京的沙尘天气对比分析 [J].气候与环境研究,2007,12(3):320-328.
- [14] 毛 睿,龚道溢,范一大.春季天气变率对华北沙尘暴频次的影响 [J].地理学,2005,60(1):12-20.
- [15] Farinha M M, Almeida S M, Freitas M C, et al. Influence of meteorological conditions on PM_{2.5} and PM_{2.5-10} elemental concentrations on Sado estuary area, Portugal [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2009, 282(3): 815-819.
- [16] 刘 洁,张小玲,徐晓峰,等.北京地区 SO₂, NO_x, O₃ 和 PM_{2.5} 变化特征的城郊对比分析 [J]. 环境科学, 2008, 29(4): 1059-1065.
- [17] Lee S, Ho C H, Choi Y S. High-PM₁₀ concentration episodes in Seoul, Korea Background sources and related meteorological conditions [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(39): 7240-7247.
- [18] 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.
- [19] 李金香,邱启鸿,辛连忠,等.北京秋冬季空气严重污染的特征及成因分析 [J]. 中国环境监测, 2007, 23(2): 89-93.
- [20] 孟燕军,王淑英,赵习方.北京地区大雾日大气污染状况及气象条件分析 [J]. 气象, 1998, 26(3): 40-43.
- [21] 徐怀刚,邓北胜,周小刚,等.雾对城市边界层和城市环境的影响 [J]. 应用气象学报, 2002, 13(特刊): 170-176.

(上接第4页)