

唐杨,徐志方,韩贵琳. 北京及其北部地区大气降尘时空分布特征[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(2):115-119. Tang Yang, Xu Zhi-fang, Han Gui-lin. Spatio-temporal distribution of atmospheric dry deposition in north area of Beijing[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(2):115-119.

# 北京及其北部地区大气降尘时空分布特征

唐杨<sup>1,2</sup>, 徐志方<sup>3\*</sup>, 韩贵琳<sup>1</sup>

(1.中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049;  
3.中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 文章研究了北京及其北部邻近地区降尘量的时空分布特征和变化规律。在该区的10个采样点开展了为期一年的大气降尘收集工作, 结果表明, 研究区内年均降尘量为 58.4 g/(m<sup>2</sup>·a), 最高和最低年降尘量分别位于研究区西北部的张北和东南部的滦平, 其年均降尘量分别为 169 g/(m<sup>2</sup>·a) 和 15.6 g/(m<sup>2</sup>·a)。整个研究区的降尘主要集中在冬春两季, 其中春季降尘量最大, 占全年总降尘量的 31.2%~49.1%, 这主要是我国北方春季气候干旱、植被稀疏、西风和西北风盛行易产生沙尘天气等因素的影响; 而冬季降尘量偏多则可能与植被稀少易产生局地扬尘以及大面积的取暖所产生的烟尘有关。夏季由于地表多为植被覆盖, 沙尘天气少, 故产生的降尘也相对较少, 仅为全年降尘量的 5.6%~15.1%。受燕山山脉阻挡的影响, 研究区内春季和冬季的降尘量呈现出由西向东, 由北向南逐渐减少的趋势。

**关键词:** 大气降尘; 降尘量; 时空变化; 北京地区

中图分类号: X513 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1003-6504.2011.02.025 文章编号: 1003-6504(2011)02-0115-05

## Spatio-temporal Distribution of Atmospheric Dry Deposition in North Area of Beijing

TANG Yang<sup>1,2</sup>, XU Zhi-fang<sup>3\*</sup>, HAN Gui-lin<sup>1</sup>

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;  
2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The monthly atmospheric dry deposition samples were collected from ten sites in north area of Beijing over a year. The annual average deposition amount of this area is 58.4 g/(m<sup>2</sup>·a). The maximal and minimal values are observed in Zhangbei and Luanping, with annual average deposition amount of 169 g/(m<sup>2</sup>·a) and 15.6 g/(m<sup>2</sup>·a) respectively. Based on the observational data, the concentrated deposition time mainly appears in winter and spring, and the quantity of deposition during the period of spring season accounts for 31.2%~49.1% of the total annual deposition amount in different sites. The high deposition amount should be attributed to the drought climate, thin vegetation and frequently strong wind weather in north China in winter and spring, on the contrary, abundant vegetation cover and absence of sand storm bring only 5.6%~15.1% of the total annual deposition amount in summer. Due to the block of the Yanshan Mountains, the dry deposition decreases from north-west to south-east.

**Key words:** atmospheric dry deposition; deposition amount; spatio-temporal distribution; Beijing

大气降尘是指在空气环境条件下, 依靠重力自然沉降至地表的颗粒物。大气降尘广义上是大气气溶胶的组成成分, 是地球表层地气系统物质交换的一种形式, 该过程有重要的环境指征意义, 并在现代地表土壤的演化方面扮演着重要的角色。一方面, 长时期的大气降尘沉积可能是现存表土的重要来源, 如我国的

黄土高原就是二三百年来, 源自中国西北部和中亚内陆的沙漠和戈壁的沙尘沉积的结果<sup>[1]</sup>; 另一方面, 大量大气降尘物质的输入, 会使当地已有的地表土壤无论在结构还是化学组成方面都发生变化, 进而影响当地的生态系统<sup>[2-4]</sup>。通过对现代大气降尘的监测研究, 我们不仅可以明确降尘的强度、性质、组成和沉降

《环境科学与技术》编辑部: (网址) <http://jks.chinajournal.net.cn> (电话) 027-87643502 (电子信箱) [hjkyjs@126.com](mailto:hjkyjs@126.com)

收稿日期: 2010-04-07; 修回 2010-06-12

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-205); 国家自然科学基金项目 (40973088)

作者简介: 唐杨 (1983-), 男, 博士研究生, 专业方向为环境地球化学, (手机) 13595109742 (电子信箱) [tangyang@mails.gyig.ac.cn](mailto:tangyang@mails.gyig.ac.cn); \* 通讯作者, (电话) 010-82998289 (电子信箱) [zfxu@mail.iggcas.ac.cn](mailto:zfxu@mail.iggcas.ac.cn)。

速率等,而且可以推断其源地、运移路径和方式。这对生物圈中元素的地球化学循环、第四纪陆源沉积、大气污染物的长距离传输等研究领域都有重要的科学意义<sup>[5-7]</sup>。

我国北方干旱和半干旱地区面积广袤,气候干燥。这些地区的地表除了裸露的岩石,主要为结构疏松的沙粒和沙质土壤<sup>[8-9]</sup>。旱季时由于缺乏水分,植被稀少,其固着能力极差,很容易在风的作用下被扬起,进入到大气之中,在重力的作用下逐渐降落到途经区域的地表。源自我国北方干旱和半干旱地区沙尘的传输路径一般是自西北向东南,到达华北平原<sup>[10]</sup>;有研究表明,部分沙尘甚至能漂洋过海到达北美西海岸<sup>[11-12]</sup>。

华北平原位于我国华北地区,西起太行山和伏牛山,东到黄海、渤海和山东丘陵,北依燕山,南至大别山区一线与长江流域分界,本区土壤主要为黄土和沙土,每年的3至5月份,该区西风和西北风盛行,是该区沙尘暴的主发期<sup>[13]</sup>。北京地处华北平原的北部,是沙尘自西向东和由北向南传输的必经之地,因此,每年春季,北京地区经常受到沙尘天气的影响,给经济生产和居民生活造成极大的不便,也严重危害人体健康。

## 1 样品与方法

### 1.1 采样点位置及自然背景

在北京城区及其东北至西北部共设置了10个采样点,采样点位置见图1。在北京以北,主要是燕山山脉。而沿西北方向延伸至昌平、怀来、宣化、张北一线

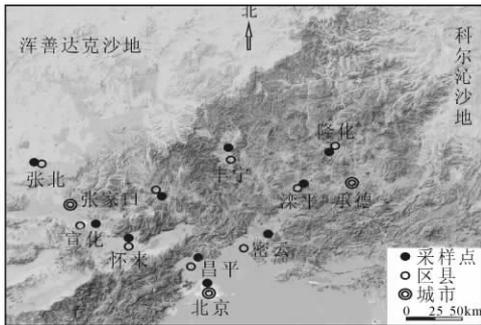


图1 研究区地形与采样点位置

Fig.1 Topographic map of study area and sample locations

是一个峡谷地势。其余各点除密云以外,均位于燕山山脉的山岭之中。其中的张北、赤城、丰宁三点,位于河北的坝上地区,自西向东沿河北—内蒙古边界线分布。10个采样点大致呈三角形排列,其三条边分别对应东南—西北、西南—东北、西—东三个方向。整个采样区域的西北部,紧邻内蒙古浑善达克沙地。

### 1.2 采样方法

大气降尘样品采用湿法收集,收集液为20%的乙二醇,冬天将乙二醇的浓度调整为50%以防冻。采样装置为聚丙烯材料的桶形集尘缸,具体参数为(30 cm 内径,40 cm 桶高)。集尘缸均于空旷平地,在3 m左右高度位置上摆放,减少局地扬尘的影响。采样时,将收集液倒入桶中,定期检查并往桶内补充收集液,保持桶底始终有约1~2 cm深的收集液。下雨前盖上桶盖,避免雨水淋入桶内,雨后立即开盖继续收集。

每月收集降尘样品一次,将集尘缸内的收集液倒入广口玻璃瓶中,用预先清洗干净的脱脂毛刷轻刷桶底附着的降尘,用超纯水清洗集尘缸和毛刷,清洗液一并转入玻璃瓶中。样品带回实验室,用镊子挑掉掉树叶和昆虫等杂物后,移至已预先恒重的玻璃蒸发皿中,置于电热板上80℃左右蒸干,恒重,用电子天平(精确至0.01 g)称重。

本研究从2008年3月至2009年2月进行了为期一年的连续观测。因奥运会期间实行交通管制,因此除北京和蟒山观测点,其余8个采样点的7、8两个月合为一个样。此外,宣化采样点9、10两个月亦合为一个样。

## 2 结果分析

### 2.1 降尘量的时间分布特征

各采样点在不同时期的降尘量变化较大(表1),降尘量最多相差了达24倍(张北,5月与9月)。但其在一年之间的变化都呈现出大致相同的趋势,即夏秋季节降尘量少而冬春季降尘量大。以春季降尘量最多,占全年降尘量的31.2%~49.1%;其次是冬季,占26.6%~38.2%;夏季降尘量最少,仅为全年降尘量的5.6%~15.1%。

表1 各采样点各月收集的降尘量

Table 1 The amount of atmospheric dry deposition form sampling sites

地点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
北京	2.27	1.31	2.25	0.53	0.42	0.32	0.38	0.80	0.94	1.15	1.64	1.09
蟒山	1.06	0.45	1.58	0.26	0.19	0.11	0.15	0.35	0.47	0.45	0.90	0.32
怀来	1.33	1.38	2.12	1.01		0.66*	0.50	0.88	1.01	1.42	2.06	2.44
张北	8.16	2.67	10.56	0.79		0.94*	0.42	3.10	4.10	2.83	6.86	6.40
宣化	1.54	2.43	2.89	1.05		0.54*		0.63*	1.32	0.94	2.29	1.14
赤城	1.99	0.91	3.46	1.64		0.64*	0.30	0.38	0.92	1.70	2.95	1.38
丰宁	2.28	1.29	4.74	0.36		0.40*	0.22	1.16	2.80	1.39	3.71	2.42
隆化	4.47	1.34	1.74	0.25		0.38*	0.58	0.78	1.18	0.98	2.01	1.51
滦平	0.58	0.37	0.73	0.23		0.22*	0.16	0.30	0.30	0.40	0.48	0.42
密云	1.34	1.05	1.75	0.65		0.33*	0.22	0.36	0.36	0.37	0.76	0.78

注:\* 为前一月与本月两个月降尘量的平均值。

夏季和秋季,各样点的降尘量较少且差别不大(图2)。而春季和冬季,各样点的降尘量出现显著的差异,在张北,丰宁,隆化3点表现得较为明显,这与冬季本区盛行西北风以及采样点所处的地理位置有关。每年春季(3~5月),我国北方西北风盛行,在此期间降水稀少,地表干燥,并且地表仍然缺少植被覆盖,这时期的一些强风天气会将大量的表土和细沙扬起,进入到大气之中,形成沙尘暴天气<sup>[13]</sup>。研究区北临内蒙古高原,是沙尘暴的主要源区;西邻黄土高原,亦是沙尘暴的主要源区之一<sup>[14]</sup>。此时盛行的西北风将上述地区的沙尘向东南携带,而华北地区正好是其途径的区域,因此,在春季各样点的降尘量出现明显的增加,应该与此时沙尘暴的频发密切相关。

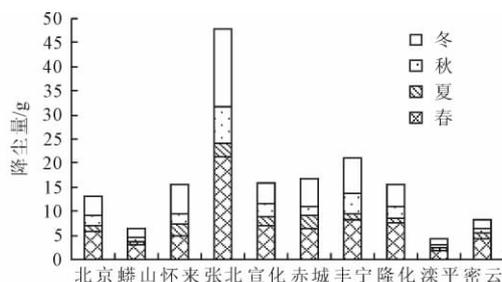


图2 各采样点四季降尘量堆积柱形图

Fig.2 Histogram of seasonal variation of deposition amount

为进一步分析降尘量的时间变化特征,我们选取了位于采样区最南端的北京,西北角的张北,东北角的隆化以及采样区中部的赤城4个样点,分析其逐月降尘量随时间的变化趋势(图3)。我们注意到在冬春季并不是每个月的降尘量都较多,而是降尘量相对较多和相对较少的月份交替出现。对于12月份和2月份降尘量的偏少,可能与采样期间这两个月份出现较多的降雪天气有关,降雪之后地表湿润,大部分土地被雪所覆盖,沙尘很难被扬起,因此,降尘量偏少<sup>[15]</sup>。而4月份降尘量偏少则与该月份大风天气少有关,根据所记录的气象资料,采样期的4月份几乎没有大风天气。

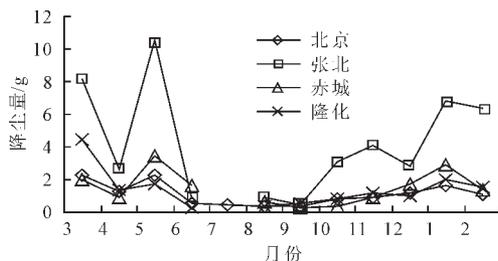


图3 北京,张北,赤城,隆化4点各月降尘量变化图

Fig.3 Monthly changes of deposition amount in Beijing, Zhangbei, Chicheng and Longhua

除了受沙尘天气的影响外,在冬春季节,北方农村地区多采用燃煤和秸秆来取暖。且多为分散式取暖,燃烧不充分,产生了大量的烟尘和粉尘进入到大气中,成为这个季节大气降尘的一个重要来源,此外,秋收以后,残留在田间的秸秆杂草等多被集中焚烧,也产生了大量的烟尘,而杨素英等对北京大气 $PM_{10}$ 的数值模拟结果也表明,在采暖季(1月份)北京大气 $PM_{10}$ 以局地来源占主导<sup>[16]</sup>。张北的各月降尘量与其余3点有较大差异,尤其是在冬春季节,张北的降尘量远高于其它样点。张北是整个研究区年均气温最冷的地区,年平均气温仅为 $2.6^{\circ}C$ ,寒冷期较长,张北的供暖期从每年的10月中旬开始,比其余各点11月中旬开始的供暖期提早了一个月,并且该点位于“风口”位置,冬春季西北风强烈且频繁,携带了大量的沙尘,故而张北的降尘量在此期间有明显的增加。

2.2 降尘量的空间分布特征

地形对沙尘的传输和沉降有着重要的影响<sup>[17]</sup>。整个研究区地形复杂(图1),南部为平原地势,属于华北平原北部地区,包括北京,蟒山,密云3点,平均海拔不超过200m;在研究区中部,自东北向西南横跨着燕山山脉,包括怀来,宣化,隆化,滦平4点,研究区北部为“坝上”地区,与内蒙古高原相接,包括张北,赤城,丰宁3点。

## 2.2 降尘量的空间分布特征

整个研究区年均降尘量为 $58.4 g/(m^2 \cdot a)$ ,各采样点的降尘量存在较大差异,降尘量最高点出现在邻近内蒙古浑善达克沙地的张北地区,为 $169 g/(m^2 \cdot a)$ ;最低位于燕山深处的滦平地区,为 $15.6 g/(m^2 \cdot a)$ 。而怀来,宣化,赤城,隆化4地的年降尘量则比较接近。

研究区各采样点的年降尘量存在着一定的空间规律性,主要表现在从西向东,从北向南,降尘量呈递减趋势(图4)。从时间分布特征可知,降尘量的增加主要在冬春两季,此时西北风和北风盛行,而本区西面为库布奇沙漠,西北面为浑善达克沙地,东北面为科尔沁沙地,均为华北沙尘的主要源区<sup>[18]</sup>。在冬春两季,地表植被稀疏,之气候干燥,沙尘很容易被风扬起携带,自西北向东南输送。位于研究区西北部的张北和北部的丰宁紧邻风沙源区,其降尘量高。而位于东南部的蟒山,北京,密云,滦平4点由于位于燕山山脉的

分布图

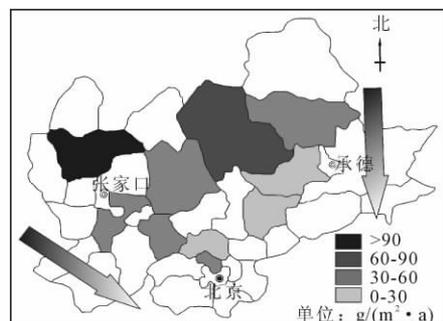


图4 采样区年降尘量强度分布图

Fig.4 Distribution of annual deposition intensity

背风一侧,风沙受山脉的阻挡,且该地区植被覆盖较好,裸露地表相对较少<sup>[18-19]</sup>,故降尘量小。

从图 1 中地形可以看出,张北—宣化—怀来—蟒山—北京这几个点位于一个自西北向东南的喇叭状的峡谷地势中,张北位于喇叭口,北京位于喇叭尾,从内蒙古高原吹来的西北风大都受燕山山脉的阻挡。而这样一个峡谷地势使得携带沙尘的西北风能够长驱直入,并且沿线各地植被覆盖稀少,表土厚而疏松,容易被风刮起,因此,除蟒山外,沿线各点的降尘量都相对较高。尤其是张北地区,处于内蒙古高原南缘,平均海拔为 1 400m 左右,为著名的“风口”,其降尘量远高于其它样点,与其特殊的地理位置是密切相关的。值得注意的是蟒山也是位于峡谷地势,其降尘量却低于更西南部的北京。这主要因为该采样点位于蟒山山顶,海拔近 700 m,并且从图 1 中我们可以看到,在怀来与蟒山之间,峡谷地势受到少量山脉的阻隔,而蟒山采样点位于背风一侧,与阻隔的山脉离得近。高海拔与背风的共同作用使得蟒山样点的降尘量比较少。

### 2.3 城市和农村地区降尘量的特征

我们选择了北京城区,近郊地区密云,远郊地区滦平 3 个点全年的降尘量进行对比分析(图 5)。这三个采样点均位于研究区的东南部,受到风沙作用的影响相对较小。

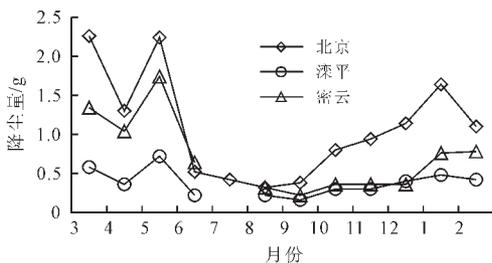


图5 北京, 滦平, 密云3点各月降尘量图  
Fig.5 Monthly changes of deposition amount in Beijing, Luoping and Miyun

三点的降尘量依次是北京>密云>滦平,大体呈现出由城市向远郊递减的趋势,由此可以推断城市和工业活动带来的影响。三个样点的降尘量在夏季差别并不大,而在其余季节则存在较大差别。尤其是在 1~5 月,虽然大体变化规律趋于一致,但北京和密云的降尘量明显高于滦平,这段时期是我国北方沙尘暴的主要发生时间,降尘量的多少主要受沙尘暴的影响,城乡的差别对降尘量的影响较小,而地理位置和地形则占主导。滦平位于燕山深处,四面环山,来自北方和西北的沙尘经过燕山的层层阻挡,而部分未被阻挡的沙尘则处于高空随着西北风飘过,很少能够降落到此地,故其接受到得降尘最少。密云虽处于燕山的背风一侧,但采

样点位于平原,离群山已有一段距离。在进入平原地区后,高空的部分未被阻挡的沙尘会逐渐沉降,同时密云与西边的张北—北京的风口峡谷末端紧邻,其沙尘也部分受其影响,故而密云的降尘要高于滦平。

从 9 月份开始至 12 月份,3 个样点的降尘量又表现出另一个方面的特点,即北京的降尘量呈逐月明显增加的趋势,远高于其它 2 个点的降尘量。而滦平和密云的降尘量在这几个月份内增加趋势并不明显,并且二点的降尘量一直都非常接近。分析其原因,一是城市路面扬尘;二是冬季供暖带来的烟尘可能也对降尘量起一定的影响作用,北京城区冬季集中供暖,在较小区域内使用了大量的燃料,因而产生较多的烟尘。

### 3 结论

(1) 整个研究区的年均降尘量为  $58.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,最高和最低年降尘量出现在张北地区和滦平地区,分别为  $169 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  和  $15.6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。研究区各样点逐月降尘量变化趋势基本一致,冬春季节多而夏秋季节少,主要降尘量集中在 3~5 月份,此时的降尘主要来自西北面的内蒙古浑善达克沙地的沙尘以及局地扬尘的影响。

(2) 受地形因素的影响,在沙尘暴高发的春季,研究区内降尘量呈现出自西向东,自北向南逐渐递减的趋势,尤其是在背风一侧的滦平和密云地区,其降尘受到来自西北路线沙尘的影响很小。而由于张北到北京一线存在着峡谷地势,使得西北方向的沙尘的可以直接直达怀来甚至北京地区。

(3) 在非沙尘暴时期,城乡降尘量的差别体现的更加明显,此时冬季的降尘量差别要比夏季的降尘量差别明显,主要在于冬季城市的降尘量除了下垫面扬尘的影响外,可能还有一个重要的源,即集中供暖使用大量燃料所带来的烟尘。

#### [参考文献]

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985.  
Liu Dong-sheng, Loess and Environment[M]. Beijing: Science Press, 1985. (in Chinese)
- [2] McTainsh G, Strong C. The role of aeolian dust in ecosystems[J]. Geomorphology, 2007, 89: 39-54.
- [3] Swap R, Garstang M, Greco S, et al. Saharan dust in the Amazon basin[J]. Tellus Series B—Chemical and Physical Meteorology, 1992, 44(2): 133-149.
- [4] Prospero J M. African dust: Its large-scale transport over the Atlantic ocean and its impact on the Mediterranean region [C]. in NATO Advanced Research Workshop on Regional Climate Variability and Its Impacts in the Mediterranean Area, Marrakech, Morocco: Springer, 2006: 15-38.

- [5] 钱广强,董治宝. 大气降尘收集方法及相关问题研究[J]. 中国沙漠, 2004,21(6):779-782.  
Qian Guang-qiang, Dong Zhi-bao. Discussions on different dust trapping methods and on some related topics[J]. Journal of Desert Research, 2004, 21(6):779-782.(in Chinese)
- [6] Prenni A J, Petters M D, Kreidenweis S M, et al. Relative roles of biogenic emissions and Saharan dust as ice nuclei in the Amazon basin[J]. Nature Geoscience, 2009,2(6):401-404.
- [7] 高会旺,祁建华,石金辉,等. 亚洲沙尘的远距离输送及对海洋生态系统的影响[J]. 地球科学进展, 2009,24(1):1-10.  
Gao Hui-wang, Qi Jian-hua, Shi Jin-hui, et al. Long-range transport of asian dust and its effects on ocean ecosystem[J]. Advances in Earth Science, 2009,24(1):1-10.(in Chinese)
- [8] 梅凡民,张小曳,鹿化煜,等. 中国北方表土微生物颗粒度分布及其对粉尘释放通量的影响[J]. 科学通报, 2004,49(17):1776-1784.  
Mei Fan-min, Zhang Xiao-ye, Lu Hua-yu, et al. Characterization of MASDs of surface soils in north China and its influence on estimating dust emission [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(17):1776-1784.(in Chinese)
- [9] 王涛,吴薇,薛娴,等. 中国北方沙漠化土地时空演变分析[J]. 中国沙漠, 2003,23(3):230-235.  
Wang Tao, Wu Wei, Xue Xian, et al. Time-space evolution of desertification land in northern China [J]. Journal of Desert Research, 2003,23(3):230-235. (in Chinese)
- [10] 张凯,高会旺,张仁健,等. 我国沙尘的来源、移动路径及对东部海域的影响[J]. 地球科学进展, 2005,26(6):627-636.  
Zhang Kai, Gao Hui-wang, Zhang Ren-jian, et al. Sources and movement routes of sand-dust aerosols and their impact probabilities on China seas in 2000-2002[J]. Advances in Earth Science, 2005,26(6):627-636.(in Chinese)
- [11] Martet M, Peuch V H, Laurent B, et al. Evaluation of long-range transport and deposition of desert dust with the CTM MOCAGE [J]. Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology, 2009,61(2):449-463.
- [12] Duce R A, Unni C K, Ray B J, et al. Long-range atmospheric transport of soil dust from asia to the tropical north pacific-temporal variability[J]. Science, 1980, 209(4464):1522-1524.
- [13] 吴占华, 任国玉. 我国北方区域沙尘天气的时间特征分析[J]. 气象科技, 2007,35(1):96-100.  
Wu Zhan-hua, Ren Guo-yu. Regional characteristics of climatic variability of dust storm frequency in northern China[J]. Meteorological Science and Technology, 2007,35(1):96-100.(in Chinese)
- [14] 张志刚,赵燕华,陈万隆,等. 北京沙尘天气与源地气象条件的关系[J]. 安全与环境学报, 2003,3(1):20-24.  
Zhang Zhi-gang, Zhao Yan-hua, Chen Wan-long, et al. Relation between sand-dust weather in Beijing and meteorological conditions of dust source areas[J]. Journal of Safety and Environment, 2003,3(1):20-24.(in Chinese)
- [15] 刘瑞霞,张甲,郑照军,等. 北京沙尘天气与源地积雪变化的关系[J]. 气候与环境研究, 2007,12(3):374-380.  
Liu Rui-xia, Zhang Jia, Zheng Zhao-jun, et al. Relationship between dust weather in Beijing and snow cover in dust source areas[J]. Climatic and Environmental Research, 2007, 12(3):374-380.(in Chinese)
- [16] 杨素英,陈东升,赵秀勇,等. 周边污染对北京大气 PM<sub>10</sub> 的影响研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(3):13-17.  
Yang Su-ying, Chen Dong-sheng, Zhao Xiu-yong, et al. Transboundary PM<sub>10</sub> contribution to Beijing[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(3):13-17.(in Chinese)
- [17] 姜学恭,陈受钧. 地形影响沙尘传输的观测和模拟研究[J]. 气象学报, 2008,66(1):1-12.  
Jiang Xue-gong, Chen Shou-jun. An observational and numerical study on the topography influence on the dust transportation[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008,66(1):1-12.(in Chinese)
- [18] 张书余,姚树然,王云秀,等. 环北京沙尘暴沙尘源区的地表特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004,18(3):296-299.  
Zhang Shu-yu, Yao Shu-ran, Wang Yun-xiu, et al. Ground characteristic analysis on sandstorm source area surrounding Beijing[J]. Journal of Arid Land Resource and Environment, 2004, 18(3):296-299.(in Chinese)
- [19] 张志刚,陈万隆. 影响北京沙尘源地的气候特征与北京沙尘天气分析[J]. 环境科学研究, 2003,16(2):6-9.  
Zhang Zhi-gang, Chen Wang-long. Climate character affecting Beijing's dust sources and analysis of the dust weather in Beijing[J]. Research of Environmental Science, 2003, 16(2):6-9.(in Chinese)