

兰州市春季沙尘气溶胶的监测与分析^{*}

雷 洋, 袁九毅, 奚晓霞, 刘远永, 全纪龙

(兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

提 要:通过对兰州市 2005 年春季大气气溶胶监测资料的计算, 分析得到了该地区春季大气气溶胶质量浓度和色度随时间的分布及其相互关系, 结果表明: 有大风时, 沙尘浓度较高, 红度、黄度也高, 相应地污染物比例就小, 明度就高; 有降水、阴天和多云天气时, 空气中沙尘和污染物少, 明度高, 而沙尘和污染物的比例变化比较小, 所以红度和黄度也高; 无降水且风速小时, 污染物比例大, 则明度低, 相应地沙尘比例小, 红度、黄度也低。本文还分析计算了沙尘暴发生时沙尘粒径的分布、 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的质量分数以及 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中的比重; 粗细粒子比重不同说明沙尘来源不同。

关键词:气溶胶; TSP; 质量浓度; 飘尘(IP); PM_{10} ; $PM_{2.5}$; 粒径; 色度

中图分类号:P445⁺.4

文献标识码:A

空气中的气溶胶颗粒物对空气污染有很重要的影响。气溶胶对人体的危害特别大, 皮肤、眼、鼻和肺是最先接触沙尘的部位, 受害最重。气溶胶通过辐射强迫作用加热气溶胶层所在大气, 减少地表太阳辐射, 影响地面蒸发, 改变大气稳定度, 从而影响水分循环。另外气溶胶的吸收对云产生“燃烧效应”, 从而可能导致云量下降, 使云的降水率降低, 地球水循环的速度可能会变慢, 从而相对减少地球的水资源, 可能会使干旱加剧^[1]。鉴于气溶胶吸收的重要性, 气溶胶吸收问题是当前气溶胶气候效应研究的一个热点问题。

沙尘暴近年来在我国北方频繁发生, 并造成严重危害, 发生次数在 2001-2002 年呈明显上升趋势。1954-2001 年, 中国西北地区共出现了 1974 次区域沙尘暴天气过程, 平均每年 42 次, 共出现了 247 次强沙尘暴天气过程, 平均每年 5 次。2000 年春季, 中国发生了 10 多次沙尘天气, 其频率之高, 范围之广, 强度之大为多年来所少见^[2]。我国起沙多发生在春季, 同时春季也是我国沙尘强度最大的季节。自然因素对沙尘暴的形成与发展起主要的作用, 当然, 除自然要素外, 不合理的人类活动也将诱发沙尘暴天气的发生, 有些情况下还起到比自然要素更重要的作用^[3]。沙尘暴给国民经济建设, 生态环境和人民生命财产安全问题造成严重的损失和危害, 同时, 由于沙尘暴天气过程所引发的气候学效应和生态学效应, 对大气能见度、大气光学特性、地-气辐射平衡、人类健康等的影响以及导致自然生态环境的破坏, 使人们愈来愈认识到沙尘暴是不可忽视的天气、生态以及生存环境的重要问题之一^[4]。

本文从实测的兰州市 2005 年春季大气气溶胶资料出发, 应用色度分析的方法研究了兰州市空气污染状况及其与 TSP 质量浓度时空分布和气象条件的关系, 并且对典型天气(沙尘暴)条件下的 TSP 细颗粒 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 质量浓度及比重等进行了分析。

1 资料观测与计算方法

1.1 仪器设备及采样

采样地点位于兰州大学距离地面 9m 的楼顶, 从 2005 年 3 月 1 日到 4 月 30 日的 61 天当中共取得有

* 收稿日期: 2007-7-19。

基金项目: 兰州市科技计划资助项目(06-1-53)资助。

作者简介: 雷洋(1982-), 男, 安徽省淮北人, 硕士, 主要从事大气污染与大气环境方向。 E-mail: leiayang05@lzu.cn

效样品 60 个,其中 3 月 12 日因为仪器出现故障,数据无效。采样仪器有 TH1000C II 型采样器(智能大容量空气 TSP 无碳刷采样器,流量为 $1.05\text{m}^3/\text{min}$),KB-120E,Anderson 采样仪,SPAD-250 土色仪等。采样方法:每天早上 9:00 到次日早上 5:00,用 TH1000C II 型采样器对气溶胶进行 20h 连续采样,如果出现沙尘天气,则增加 KB-120E 及 Anderson 采样仪一起进行采样。KB-120E 采样仪 2h 换一次滤膜,分 $10\mu\text{m}$ 和 $100\mu\text{m}$ 两种。Anderson 采样仪要在整个沙尘过程进行连续观测,它共分 9 级,从 0 级到 8 级粒径分布为: $9.0\sim 10.0\mu\text{m}$, $5.8\sim 9.0\mu\text{m}$, $4.7\sim 5.8\mu\text{m}$, $3.3\sim 4.7\mu\text{m}$, $2.1\sim 3.3\mu\text{m}$, $1.1\sim 2.1\mu\text{m}$, $0.65\sim 1.1\mu\text{m}$, $0.43\sim 0.65\mu\text{m}$, $0\sim 0.43\mu\text{m}$ 。

1.2 计算方法

1.2.1 质量浓度的计算分析

采用重量法^[5]测量大气 TSP 和 PM_{10} 的质量浓度,其计算公式为:

$$C_{\text{TSP}} = (W - W_0) / V_0 \quad C_{\text{各级粉尘}} = (W - W_0) / (V_0 \Delta D)$$

体积可由气体状态方程得到:

$$P_0 V_0 / T_0 = PV / T, \text{从而有 } V_0 = (P \cdot V \cdot T_0) / (P_0 \cdot T)$$

式中: W_0 , W 分别为采样前后滤膜的质量, V_0 , T_0 , V , T 分别为标准状况和实际状况下的体积和温度。实际气压由气压计读出,实际体积由采样时间 t 乘以流量 Q 得出。

1.2.2 色度的计算与分析

色度分析采用 CLELAB 系统,该系统主要有 3 个参数:明度 L 、红度 a 和黄度 b 。 L 变化于黑(0)和白(100)之间, a 变化于红和绿之间, b 变化于黄和蓝之间。有研究表明^[6,7],土壤红度和黄度与铁的质量分数密切相关。气溶胶中的 Fe 主要来自于地壳源,在中国沙尘暴和黄土的研究中^[8], Fe 均被作为地壳源的参考元素。因此以由铁决定的红度、黄度为参数来代表沙尘是可行的。土壤中的有机质可导致土壤颜色变暗,使明度降低。兰州市有机碳的来源主要是燃煤,可将有机碳看作是兰州市污染的产物,将明度作为污染物的参数。

色度测量使用日本美能达公司基于 CIE 标准制造的 SPAD-250 土色仪,它是目前最流行的分光测色仪之一。用土色仪测量的色度参数采用 3 次平均值。

2 分析与讨论

历年来兰州市沙尘暴影响最严重的时期为春季 3、4 月份。对此期间观测资料进行分析得出 2005 年春季兰州市 TSP 质量浓度和色度随时间的变化曲线(图 1)。

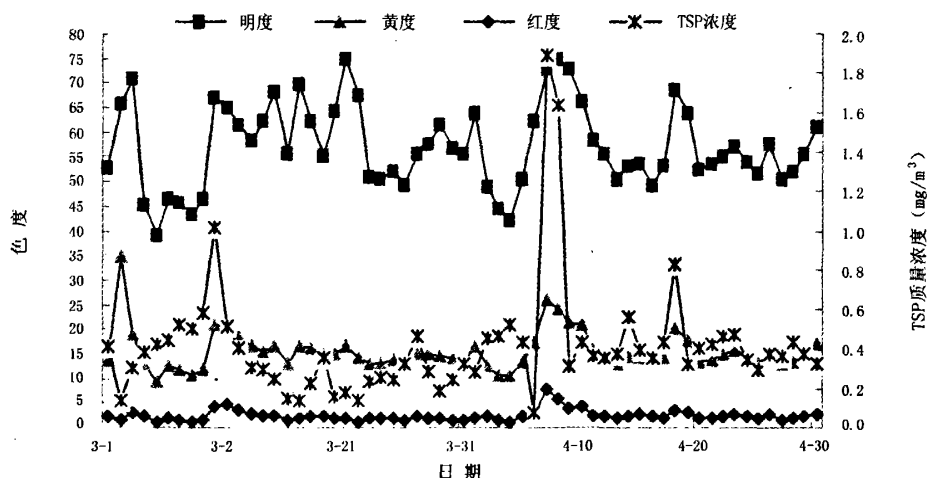


图 1 兰州市春季沙尘色度和 TSP 质量浓度逐日变化

Fig. 1 Daily variation of sample chroma and daily mean mass concentration of TSP in Spring of Lanzhou

这两个月时间内 TSP 的平均浓度为 $0.4112\text{mg}/\text{m}^3$,最大日平均浓度为 $1.8881\text{mg}/\text{m}^3$,有 4 天超过国家五级标准($0.875\text{mg}/\text{m}^3$),占总天数的 6.8%,41 天超过国家二级标准($0.300\text{mg}/\text{m}^3$),全部超过国家一

级标准($0.080\text{mg}/\text{m}^3$)。

可见05年春季兰州市空气污染非常严重。造成污染严重的主要原因与兰州市地理环境有关。大风日数多且降水较少时段为沙尘暴的高发期,因此每年春季是我国北方地区沙尘暴高发期。兰州气候干燥,冬春季降水少,植被覆盖率低,春季容易受到西面河西沙尘暴和浮尘的影响,使得空气中TSP含量严重超标。兰州市为哑铃状盆地,气候特征是风速小,冬季逆温层厚、强度大,大气层结结构稳定,地形条件不利于污染物扩散^[9]。TSP通过对太阳辐射的吸收,影响了近地面逆温层发展,进一步会影响TSP扩散^[10]。加之近年来工业迅速发展和各种民用取暖排污量不断增加,使兰州成为空气污染严重的城市。

和往年比较,2005年兰州市春季沙尘暴次数少,TSP浓度也低。这是因为2004年冬季是冷冬,西北地区解冻比较晚,地表沙源减少,从而使沙尘暴发生的次数没有往年那么频繁,沙尘浓度也没有往年高。

由图1可以看出,红度、黄度和明度之间变化趋势非常一致,呈现密切的相关性,各处的峰值和谷值吻合较好。一般来说,红度、黄度越高,说明沙尘所占比例越高,污染物所占比例就小,相应地明度就高;而污染物占多数时,由于污染物中有机碳的影响,样品明度较低,由于沙尘少,Fe的质量分数就少,因此样品的红度、黄度也较低。为进一步看出三者之间关系,我们求得红度和明度、黄度和明度的相关系数分别为0.588和0.753。两个值总体来说不高,这是因为所用数据的时间段长,从误差角度来说是必然的。红度和明度的相关系数明显小于黄度和明度的相关系数,这主要是因为红度的数值比较小,同样的误差值对于红度来说,所导致的偏差要远大于黄度。权建农,奚晓霞等^[11]得出明度和红度、明度和黄度之间呈线性相关关系,并通过色度分析方法计算兰州市每月降尘中各个影响因子的比例。

气象条件对沙尘和污染物浓度以及色度的影响非常明显。有降水时,由于干湿沉降的作用,沙尘和污染物浓度降低,污染物比例小,明度变高,相应地沙尘比例大,所以红度和黄度也高;而有大风时,陆面或沙漠源区的沙尘容易被大风扬起,然后沿着一定路径到达市区,相应地沙尘浓度要高,则红度和黄度就高,而大风容易吹散污染物,从而使污染物浓度降低,相应地明度就高;若无降水且风速小时,污染物比例大,则明度低,相应地沙尘比例小,红度、黄度也低。

因此可以用色度参数分析沙尘气溶胶的成分,另一方面,由于污染物和沙尘浓度受到气象因素的影响特别明显,降尘色度在一定程度上反映了当时的天气状况,那么反过来,必然可以通过色度分析反映出这种影响之间的相应关系。

3 沙尘天气条件下PM₁₀质量浓度的计算与分析

粒径小于100 μm 的沙尘称为总悬浮颗粒物(TSP),粒径小于10 μm 的称为飘尘(IP),亦即PM₁₀。有研究发现^[12,13],城市大气中小于10 μm 的颗粒物中含有多环芳香烃,其中95%为致癌物和基因毒性诱变物,对人体健康造成严重的危害。因此,对大气中气溶胶粒子不同粒径的研究有着重要的意义。在3、4两个月期间的沙尘天气过程中,以4月7日-8日发生的沙尘暴天气最有代表性,其持续时间较长(32小时),强度也较大。下面着重对这次沙尘过程进行分析。

采样仪器用KB-120E采样仪,分为100 μm 和10 μm 两种粒径。由观测数据得出不同粒径(100 μm 和10 μm)沙尘气溶胶在各个时段的平均浓度(图2)。

从图2可以看出,TSP和IP质量浓度变化趋势吻合较好。TSP质量浓度最大值达到 $3.2225\text{mg}/\text{m}^3$,最小值为 $0.9685\text{mg}/\text{m}^3$,最大值是最小值的3.4倍。最大值和最小值均远远超过国家二级标准($0.300\text{mg}/\text{m}^3$),分别是国家二级标准的10.8和3.2倍。PM₁₀(飘尘)浓度虽然比TSP小,但在整个沙尘过程中所占总比重达到65.2%,说明这次沙尘天气过程以飘尘为主。

这次沙尘过程中,沙尘质量浓度呈现出多峰变化趋势,这与当时的风速有关(图2的次坐标为风速分布)。沙尘浓度从谷值增至峰值的时间段分别是17:00-21:00、23:00-8日3:00、3:00-7:00以及13:00-17:00。和风速廓线对比,在这几个时间段上,都是风速增加的过程。正是因为这次沙尘过程主要是粒径较小的粒子,PM₁₀占主要部分,风速的影响才更为明显。

4 沙尘天气时Anderson分级采样器所得数据分析

4.1 PM₁₀中各级粒子质量浓度分布

飘尘可分为粗粒子(粒径 $>2\mu\text{m}$)和细粒子(粒径 $<2\mu\text{m}$),粗粒子主要来源于一次气溶胶,如风尘、海

盐粒子、火山尘、飞灰、粉尘等;而细粒子主要来源于二次气溶胶,如各种燃烧排放出来的烟气,尤其是汽车尾气中含有大量的细粒子^[14]。一般认为^[15],燃煤产生的气溶胶集中在小于 $1\mu\text{m}$ 区域,汽车尾气产生的粒子则集中在小于 $2\mu\text{m}$ 区域,而土壤颗粒粒径一般都大于 $2\mu\text{m}$ 。冶炼、化肥、材料等各种工业机械粉碎过程,产生大量的工业粉尘,这些都是人为产生直径大于 $2\mu\text{m}$ 粗粒子的典型源。风沙扬尘是以粗粒子为主,对城市大气气溶胶粒子数贡献不大。沙尘天气时由 Anderson 分级采样器所得到的数据绘制(图3)。

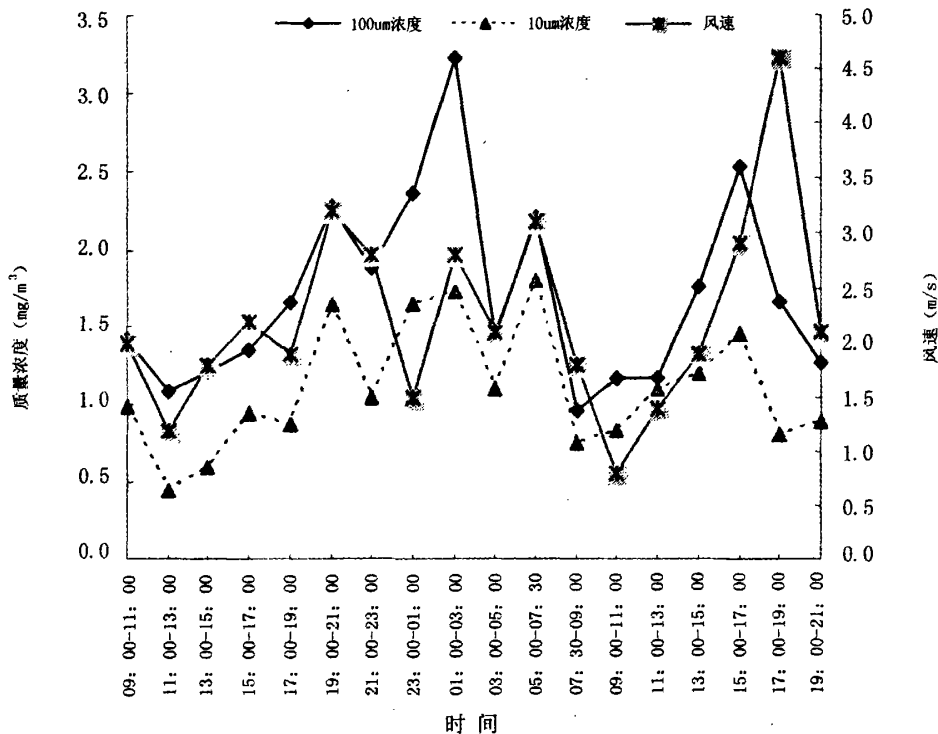


图2 兰州市春季沙尘色度和 TSP 质量浓度逐日变化

Fig. 2 Hourly variation of mean mass concentration of TSP and IP with different granule in the sand and dust weather

由图3可知,两次沙尘天气过程中,浓度均呈现双峰型,但是峰值所处的位置不同。3月27日峰值位置分别在0级和7级,且6、7两级粒子(粒径小于 $1\mu\text{m}$ 的细粒子)浓度远远高于其他各级粒子,所占比重分别达到27.3%和37.2%。这说明此次沙尘天气过程的沙尘来源不是黄土高原(黄土颗粒粒径较大),而是来自兰州市区,或者来自黄土高原的沙尘非常少,使得来自市区的细粒子比例增大。另外,这次沙尘天气过程中,风速总体较小,很难扬起大粒径的粒子,但是却能够扬起粒径较小的细颗粒。与之相反,4月7日沙尘天气过程的峰值位置是0级和3、4级,并且0级粗粒子的含量远远高于其它各级

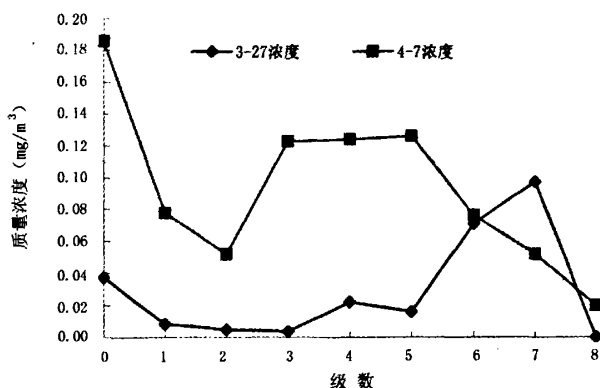


图3 两次沙尘过程中 PM₁₀ 质量浓度粒度分布特征

Fig. 3 Granule distribution of the mass concentration of PM₁₀ in different time

粒子,而和它粒径相差不大的1级粒子浓度却非常小。这说明4月7日沙尘天气过程的沙尘来源主要是黄土高原或荒漠地区,这些源区的沙尘粒径较大,一般都大于 $9\mu\text{m}$ 。春季气候干燥多风,土地解冻,沙源增加,由此产生粗粒子的数量相应增加。此外2004年是冷冬,使得取暖时间延长,所以即使到了春季前期

尚有一段时间需要燃煤取暖,烟气排放量增多,从而使3月份变化图上的6、7级出现了较大的峰值,这与兰州市冬季大气污染主要是由细粒子造成的研究结果^[16]吻合。而在4月份,需要燃煤取暖的时间不多,烟尘排放量减少,因而5级以上的细粒子浓度较小。从而表明,IP中粗细粒子比重大小主要受气象因素和排放源的影响,自然因素对粗粒子的影响要大一些,而细粒子在很大程度上受到人为因素的制约。

4.2 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占的比例

现今,空气污染对健康影响的焦点是大气气溶胶,对粒径 $<2.5\mu m$ ($PM_{2.5}$)的可吸入颗粒物尤为重视,因为这些细颗粒物可以进入肺部并保留在肺的深处,是对人体健康危害最大的污染物之一。为保护人体健康,1987年美国环保局公布了大气颗粒物新标准,用 PM_{10} 替代TSP;1997年又对空气质量标准进行了修订,增加了 $PM_{2.5}$ 的24小时和年平均限值^[17,18]。

Anderson分级采样器第4级的粒径范围是 $2.1\sim 3.3\mu m$,将这一级质量浓度以 $2.5\mu m$ 为界线性分开,将所有粒径小于 $2.5\mu m$ 的细粒子的质量浓度相加得到 $PM_{2.5}$ 的质量浓度。再将该质量浓度除以总浓度,得到在兰州市春季3月27日和4月7日 $PM_{2.5}$ 在 PM_{10} 中所占的比例。图4是两次沙尘过程中各级粒子在 PM_{10} 质量浓度所占的百分比。

在3月27日的沙尘天气过程中, $PM_{2.5}$ 质量浓度在 PM_{10} 中所占比重为73.5%,而在4月7日所占比重为37.7%。这和前面分析得到的结果相同,即前者主要为细粒子,而后者主要为粒径较大的粒子,说明这两次沙尘过程的沙尘来源不同。

从大气污染方面来说,3月27日沙尘过程中燃煤和汽车尾气所产生的气溶胶对兰州市大气污染造成了重要的影响,空气中各种大气污染物的含量

较高,如 CO 、 NO_x 、 SO_2 等。上述污染物的集中,再加上兰州市地形以及贴地逆温的存在,使得污染物难以扩散,这些都直接导致了兰州市严重的大气污染,从而对兰州市空气环境质量造成不利影响和破坏,进一步对人们的生活环境和身体健康构成一定威胁。

5 结论

兰州市3-4月份的TSP超标,最大日平均浓度为 $1.8881mg/m^3$,特别是3月份污染严重,这主要是因为04年冬季是冷冬,使得采暖期延长,空气几种主要污染物浓度增加,并造成严重污染。地形条件和气象因素对沙尘和污染物浓度的影响比较明显。

由于04年冷冬的原因,使得西北地区解冻较晚,地表沙源减少,而且3月份降水也比较多,所以05年兰州市春季的沙尘天气次数没有往年频繁,而且总体浓度不高。

红度和明度、黄度和明度呈线性相关关系,相关系数分别为0.588和0.753。气象条件对沙尘和污染物浓度以及色度的影响非常明显:1)有大风时,沙尘浓度较高,红度、黄度也高,相应地污染物比例就小,明度就高;2)有降水、阴天和多云天气时,空气中沙尘和污染物少,明度高,而沙尘和污染物的比例变化比较小,所以红度和黄度也高;3)无降水且风速小时,污染物比例大,则明度低,相应地沙尘比例小,红度、黄度也低。由此可以用色度参数分析沙尘气溶胶的成分。

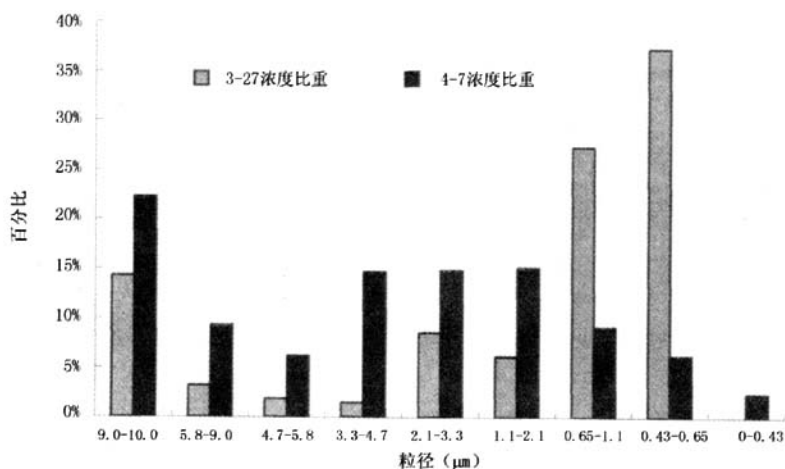


图4 两次沙尘过程 PM_{10} 质量浓度粒度分布百分比

Fig.4 Percentage of granule distribution of the mass concentration of PM_{10} under the two times sand and dust weather process

4月7日沙尘天气过程中以飘尘为主要成分,其在TSP质量浓度中的比例达到65.2%。在整个持续过程中浓度呈现多峰分布,这和风速的影响有很大关系。

3月27日和4月7日的两次沙尘暴天气过程,PM₁₀中不同粒径粒子的质量浓度分布均是双峰型。3月27日的沙尘过程中,峰值位置分别在0级和7级,PM_{2.5}比重达到了73.5%,细粒子占主要部分。4月7日的沙尘过程,峰值位置分别在0级4级,PM_{2.5}只占了37.7%,粗粒子占主要部分。这说明两次沙尘过程的来源不同。

参考文献

- [1] 夏祥鳌,王明星. 气溶胶吸收及气候效应研究的新进展[J]. 地球科学进展,2004,19(4):630-636.
- [2] 张仁健,王明星,浦一芬,等. 2000年春季北京特大沙尘暴物理化学特性的分析[J]. 气候与环境研究,2000,5(1):259-266.
- [3] 吴绍洪,杨勤业,曹军. 中国北方沙尘天气原因探讨[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(增刊):22-27.
- [4] 张广兴,李霞. 沙尘暴观测及分级标准研究现状[J]. 中国沙漠,2003,23(5):586-587.
- [5] 奚旦立,孙裕生,刘秀英,编. 环境监测[M]. 高教出版社,1995(2):104-190,286-347,407-414.
- [6] Schwde mineralogy of well - drained Ultisols II. Influence on color,surface area and photophate retention[J]. Soil Sci Soc Am J,1978,43:825-830.
- [7] Bigham J M,Gokden D C,Ironoxi ertman U. Transformation of hematite to goethite in soils[J]. Nature,1971,232:624-625.
- [8] 曹升康. 土壤颜色的测定和描述-门赛尔土壤比色卡的应用[A]. 曹升康. 土壤分类及土壤地理论文集[C]. 北京:科学出版社,1985.
- [9] 奚晓霞,郭治龙,等. 兰州皋兰山顶春季大气气溶胶的监测与分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2003,39(5):101-104.
- [10] 奚晓霞,权建农,等. 兰州市城关区冬季TSP的检测分析及其与辐射的关系[J]. 高原气象,2002,21(4):427-431.
- [11] 权建农,奚晓霞,等. 色度分析在沙尘气溶胶成分分析中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2004,40(4):112-116.
- [12] 姜振远,王玮,汤大纲,等. 我国大气气溶胶粒度分布研究[A]. 中国环境科学研究院学术委员会. 中国环境科学研究院环境科学论文集(1990-1991)[C]. 北京:中国环境科学出版社,1992. 70-79.
- [13] 汪安璞. 大气气溶胶研究新动向[J]. 环境科学,1999,18(1):10-15.
- [14] 奚晓霞,邓张胤,等. 兰州市城关区冬季春季大气气溶胶与大气污染[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1994,30(3):145-149.
- [15] 刘吉,陈长和. 兰州城市冬季大气气溶胶特征的综合观测研究[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2003,39(4):105-110.
- [16] 奚晓霞,宋庆海,等. 兰州市冬半年大气污染物分布特征及变化规律[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1995,31(3):136-140.
- [17] 吴国平,胡伟,滕恩江. 我国城市空气中PM_{2.5}和PM₁₀的污染水平[J]. 中国环境科学,1999,19(2):133-137.
- [18] 杨复沫,马永亮,贺克斌. 细微大气颗粒物PM_{2.5}及其研究概况[J]. 中国环境科学,1999,19(2):133-137.

Monitoring and Analysis of the Atmospheric Dust and Aerosol Over Lanzhou City in Spring

LEI Yang, YUAN Jiu - yi, XI Xiao - xia, LIU Yuan - yong, TONG Ji - long

(College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract

The atmospheric aerosol and dust - stormy weathers in Lanzhou City in Spring of 2005 were monitored. In this research the atmospheric aerosol samples were analyzed. The distribution of the mass concentration and color index of atmospheric aerosol were obtained. The largest average mass concentration of TSP was 1.8881mg/m³ from March to April. The relationship between the chroma and the mass concentration under the different weather condition was revealed. During the study of the mass concentration of PM₁₀ and PM_{2.5} particles by Anderson and KB - 120E cascade under dust - stormy weather, 7th April for example, the distribution law of size grade of PM₁₀, the proportions of PM_{2.5} over PM₁₀ were got. The average mass concentrations of 100μm and 10μm granules were 1.7011mg/m³ and 1.1043mg/m³ respectively. It was concluded that air pollution of cold weather in Lanzhou City is mainly caused by coal combustion and tail gas from cars and sometimes by dust, too. The different size granule distribution may had different sources.

Key words: aerosol; TSP; color index; mass concentration; PM₁₀; PM_{2.5}; granularity