

兰州市区 2002 年春季 3~4 月近地层 大气气溶胶的监测与分析

刘治国^{1,2}, 奚晓霞², 王锡稳¹, 陶健红¹, 杨建才¹, 闫红霞³

(1. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020 2. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000;

3. 兰州市第十四中学, 甘肃 兰州 730000)

摘 要 对兰州市区 2002 年春季 3~4 月近地层 TSP 连续观测资料进行分析, 结果表明: (1) 兰州市区 TSP 的质量浓度随着沙尘天气的发生而显著增加, 沙尘天气越强, TSP 的质量浓度越高, 对兰州市区的空气污染越严重; (2) 在不同天气情况下, 兰州市区 TSP 与 PM₁₀ 的质量浓度有很好的对应关系, 沙尘天气越强, 其质量浓度都越高, 但两者增减的比例各不相同; (3) 在不同天气情况下, 同级粒径粒子的质量浓度各不相同, 但在同种天气情况下, 各级粒径粒子质量浓度的分布规律却相同; (4) TSP 样品色度的 3 个独立分量与空气质量有一定的对应关系, L*、a*、b* 值越大, 空气中沙尘含量越高, 空气污染越严重, 兰州市区在一般天气情况下 L*、a*、b* 值均较小, 说明兰州市区空气污染主要以本地排放的黑色有机物为主。

关键词 大气气溶胶; 质量浓度; 空气污染; 色度

中图分类号: X51

文献标识码: A

引 言

大气气溶胶是指以固体或液体微粒形式存在于空气介质中的分散体^[1], 大气中气溶胶可分为 TSP (粒径 < 100 μm) 飘尘 II (粒径 < 10 μm) 降尘 (粒径 > 10 μm)。其中, 粒径在 0.5~5 μm 间的颗粒对人体危害最大, 能够直接沉积于肺泡, 并可能进入血液而输送至全身, 从而引起疾病^[1]。同时 TSP 对气候也有影响, 如“阳伞效应”^[2]。另外, TSP 的飞起、传输及沉降过程对东亚酸雨^[3]和全球气候有巨大影响^[4]。

甘肃河西走廊北临腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠, 是我国沙尘暴天气的 4 大源区之一。而兰州位其出口, 是我国 TSP 污染最为严重的城市之一, 根据 1991~1993 年 TSP 的年平均质量浓度的统计结果^[5]: 兰州市 TSP 的年平均质量浓度达 950 μg/m³, 远远超过了国家环保局规定的 TSP 年平均浓度限值的 2 级标准 200 μg/m³, 且超标严重。因此兰州市的空气污染引起了不少学者的广泛关注, 近年来取得了不少研究成果, 如王式功^[6]等认为造成兰州

市 TSP 污染严重的主要原因除了当地大量污染源的排放、特殊地形和不利的大气扩散条件等因素外, 每年冬、春季节河西地区沙尘暴的频繁发生及其大量尘埃向该地区的输送也是重要原因, 同时认为河西沙尘暴发生的日数和兰州市同期颗粒物污染有很好的正相关关系; 杨民^[7]等利用 2000 年 6 月至 2001 年 5 月, 兰州市的大气气溶胶资料, 讨论了大气气溶胶对人体舒适度的影响, 结果表明: PM₁₀ 日平均质量浓度明显升高后 1~2 d, 呼吸道疾病发病人数明显增加; 杨德保^[8]等在研究兰州市区大气污染与气象条件的关系中指出, 冷锋活动是造成污染浓度日际变化的重要天气系统, 冷锋过境前, 污染物浓度逐渐增加, 并达到峰值, 冷锋过境后, 污染物浓度逐渐降低; 权建农^[9]、奚晓霞^[10]等对兰州市城关区气溶胶的浓度、不同高度的分布特征等的分析表明, 影响兰州市的沙尘主要由局地沙尘和远方传输的沙尘组成, 飘尘在离地面 50 m 处对空气的污染最为严重, 且飘尘浓度随高度的变化与排放源和逆温层高度有关; 马鹏里^[11]等在 2003 年对大气气溶胶的研

收稿日期: 2005-09-06 改回日期: 2006-03-19

基金项目: 国家自然科学基金(40475011)和甘肃省气象课题“甘肃夏季沙尘暴预报方法研究”(200602)共同资助

作者简介: 刘治国(1977-), 男(汉族), 重庆潼南县人, 助工, 主要从事短期天气预报与研究。

究进展进行了系统的总结。据史料记载:历史时期沙尘天气主要发生在每年的2~5月份,其中又以3、4月份最为频繁^[12]。因此我们在2002年春季3~5月对兰州市大气气溶胶作了进一步的监测与分析,以期为进一步改善兰州市区空气质量提供一定的科学依据。

1 资料来源与计算方法

1.1 资料来源

在兰州大学大气科学学院小二楼顶(距地面高度约8 m)设置了采样点,使用DCQ-1A型微电脑大型采样器(简称天虹)对大气中的TSP进行采样,采样时间为3月1日至4月30日,每天采样1次,每次22 h(11:00~09:00),流量是1.05 m³/min,同时在沙尘天气过程中分别使用了PM₁₀-100、KB120-E以及安德森分级采样器,对大气中的TSP进行了采样,采样时间为3月1日至4月30日中每次沙尘天气过程,时间间隔2 h,前2种流量均是120 L/min,安德森分级采样器流量28.3 L/min。沙尘天气各种气象要素资料等均来自兰州中心气象台。

1.2 计算方法

采用称量法对大气中TSP、飘尘(IP)的质量浓度进行了分析,利用安德森仪器测定结果比较分析了不同粒径范围IP的质量浓度。

$$\frac{P^* V^*}{T^*} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \quad (1)$$

算出 V_0 ,其中 P^* 、 V^* 、 T^* 分别是平均压强、累计体积和平均温度。 P_0 、 V_0 、 T_0 分别是标准状况下的压强、体积和温度。利用公式(2)算出TSP和IP的平均质量浓度 C ,其中 W_0 、 W 分别为采样前、后滤膜的重量, V_0 为采样的标准体积。

$$C = \frac{W - W_0}{V_0} \quad (2)$$

2 结果与讨论

2.1 兰州市区春季3~4月近地层TSP平均质量浓度日变化特征

把从2002年3月1日至4月30日共59 d(有2 d由于仪器故障没有采样)用天虹连续监测得到的TSP日平均质量浓度绘制成了浓度逐日变化特征图

(图1)。

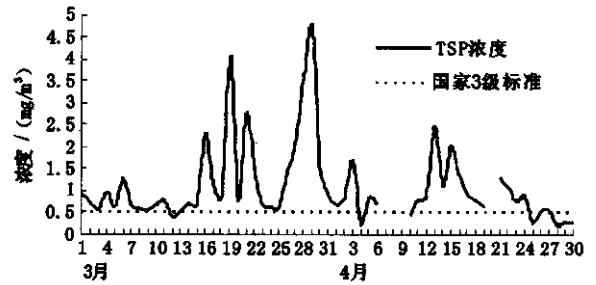


图1 兰州市区2002年3~4月TSP平均质量浓度逐日变化特征
Fig. 1 The inter-daily changes of TSP quality concentration over Lanzhou city during Mar. 1 ~ Apr. 30 2002

从图1中发现:兰州市3、4月份沙尘天气发生频繁,日平均质量浓度 ≥ 1.40 mg/m³的时段均对应沙尘天气,59 d中沙尘天气共有13 d,平均每2周就有3次,占总天数的22.03%,数量大,频率高。沙尘天气过程将导致TSP质量浓度成倍增加,如3月19日沙尘暴使兰州市区TSP日平均质量浓度达到了4.08 mg/m³,是国家3级标准^[13](0.5 mg/m³)的8.17倍,是3月18日的4.91倍,3月20日,沙尘暴停止后,TSP日平均质量浓度迅速下降到0.78 mg/m³,仅占3月19日的19.12%,说明沙尘天气的发生会导致TSP质量浓度的急剧增加,很大程度上影响空气质量。与国家3级标准比较发现,59 d中有52 d超过国家3级标准,占总天数的88.14%,其中3月份占50.85%,4月份占37.29%,表明兰州市区春季3~4月空气污染十分严重,并且3月份大于4月份。其主要原因是:3月份兰州市还处于采暖期,燃煤量大,排放到大气中的烟气随之增大,从而严重影响兰州市区空气质量,造成3月份空气质量超标率现象,加之兰州市区3月份逆温频率极高,特别是夜间的贴地逆温^[10],使空气中的TSP不易扩散,而4月份采暖期过后,燃煤量减少,逆温频率相对减弱,所以相对3月份而言,空气质量有所改善。59 d中只有7 d TSP日平均质量浓度达到国家3级标准。对这7 d天气情况分析发现:这7 d中,每天都对应雨雪天气,特别是连续的雨雪天气,会导致TSP质量浓度进一步降低^[14],如4月28、29日连续2 d降雨,使29日TSP日平均质量浓度降低到0.21 mg/m³,达到国家2级标准^[13],表明雨雪对TSP有很好的清除作用,有利于改善空气质量。我们还发

现 3 月 19 日沙尘暴日平均质量浓度低于 3 月 29 日浮尘天气,其主要原因是 3 月 19 日沙尘暴持续时间约 10 h,而 3 月 29 日浮尘持续了约 24 h。所以不能只根据沙尘天气发生的强度来比较 TSP 的日平均质量浓度,还要考虑沙尘天气持续时间的长短。

2.2 TSP 与 PM₁₀ 质量浓度在不同天气情况下的比较分析

为进一步了解沙尘天气发生过程,比较不同天气情况下 TSP 和 PM₁₀ 的分布情况,我们将扬沙、浮尘、背景 3 种天气下的 TSP(利用 KB120 监测)和 PM₁₀(利用 PM₁₀-100 监测)的 2 h 平均质量浓度(简称时平均质量浓度)绘制到图 2 中分析发现:TSP 与 PM₁₀ 有很好的对应关系,无论是扬沙、浮尘天气,随着沙尘天气强度的增加,TSP 和 PM₁₀ 的时平均质量浓度都有所增加,但是增加的比例不同,从图 3 中看出,沙尘天气越强,PM₁₀ 在 TSP 中占的比例

就越大。但每次沙尘天气发生时,TSP 比 PM₁₀ 增加的比例小。如 4 月 13 日 21:15~23:55 的 TSP 的时平均质量浓度比 19:15~21:15 增加了 0.98 mg/m³,而 PM₁₀ 却只增加了 0.32 mg/m³,增加的数值比 PM₁₀ 的大,但是增加的比例却比 PM₁₀ 的小。在沙尘天气减弱过程中,TSP 比 PM₁₀ 减小快,主要因为粒径 > 10 μm 的粒子沉降速度快。如 3 月 29 日 11:20~13:20,TSP 的时平均质量浓度比 09:20~11:20 减少了 48.68%,而 PM₁₀ 却只减少了 25.12%。所以随着沙尘天气发生、维持、减弱、停止,PM₁₀ 在 TSP 中的比例变化是增加、稍减弱、再增加、然后才减弱。在背景天气过程中,其比例基本维持不变;当有雨雪天气发生时,PM₁₀ 在 TSP 中所占的百分比明显增加,主要原因是雨雪对大粒径粒子的清除作用较强。

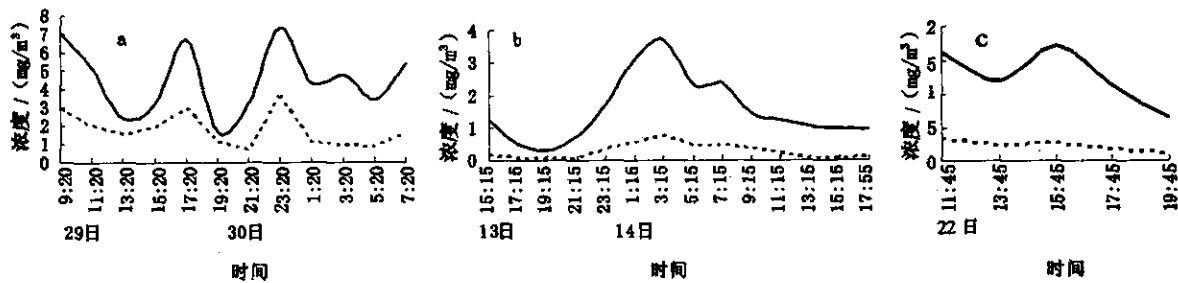


图 2 TSP 与 PM₁₀ 质量浓度在不同天气情况下的对比分析

(a、b、c 分别表示 3 月 29 日扬沙、4 月 13 日浮尘和 4 月 22 日背景天气,时间间隔均为 2 h。图中实线表示 TSP,虚线表示 PM₁₀)

Fig. 2 The quality concentration contrast of TSP and PM₁₀ under different weather conditions

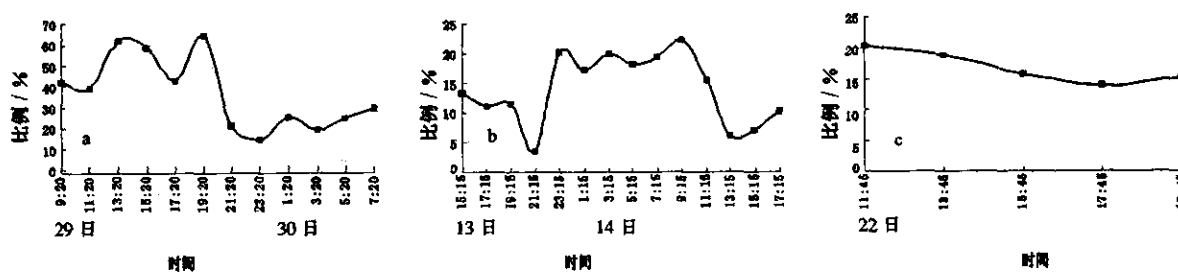


图 3 不同天气情况下 PM₁₀ 在 TSP 中的比例

(a、b、c 分别表示 3 月 29 日扬沙、4 月 13 日浮尘和 4 月 22 日背景天气,时间间隔均为 2 h)

Fig. 3 The proportion of PM₁₀ in TSP quality concentration under different weather conditions

2.3 3月19日沙尘暴过程分析

我们还分析了1次沙尘暴过程TSP的2h平均质量浓度的时间变化特征,将3月19日利用KB120监测沙尘暴过程的监测结果绘制出图4。

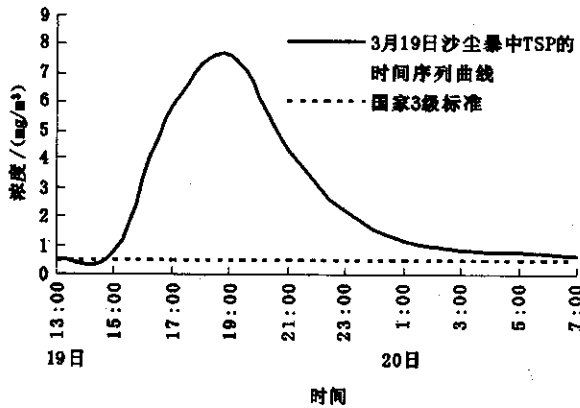


图4 3月19日沙尘暴中TSP平均质量浓度时间序列曲线(3月19日11:00开始到20日07:00时间间隔2h)

Fig.4 The average quality concentration change of TSP under sandstorm weather condition on Mar, 19th

此次沙尘暴于3月19日15:30到达兰州市西固区,15:45到达兰州市城关区。从3月19日11:00开始利用KB120进行监测,结果发现,沙尘暴到

达兰州市城关区前,TSP时平均质量浓度较低,最高只达到0.79 mg/m³,比当天利用天虹测出的TSP日平均浓度低了3.29 mg/m³,然而,15:00以后,时平均质量浓度骤然增加,15:00~17:00时平均质量浓度上升到5.86 mg/m³,比前2h增加了5.06 mg/m³,比当天的日平均质量浓度高出1.77 mg/m³,是国家3级标准的11.71倍,随后进一步增加到了7.63 mg/m³,是国家3级标准的15.25倍;从19:00以后依次稍有减弱,直到3月20日05:00(因为04:30开始降小雪)。从3月19日15:00到3月20日05:00的沙尘量占全天(3月19日11:00~3月20日09:00)的78.32%,由此可见,TSP高质量浓度的时间主要分布在沙尘天气发生到停止这一时段内,时平均质量浓度能够达到国家3级标准的10倍以上,沙尘天气越强,其TSP时平均质量浓度就越高,在沙尘天气发生和停止前后,其时平均质量浓度都较低,并且差距较大。

2.4 不同粒径粒子在不同天气情况下的平均浓度分布

由于此次试验将安德森仪器0级上面的滤盖去掉,所以0级粒子粒径改为>9 μm,这样可能会影响后面1~8级^[10]粒子的分布,各级粒子粒径范围如表1。

表1 安德森分级采样器采样粒子的等效直径(D)
Tab.1 Equivalent diameter of sampled particles from Anderson sampler

级数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
D/μm	>9.00	5.80~9.00	4.70~5.80	3.30~4.70	2.10~3.30	1.10~2.10	0.65~1.10	0.43~0.65	0.00~0.43

我们将安德森分级采样器分别在沙尘暴、扬沙、浮尘和背景4种天气情况下的监测结果绘制成了不同天气情况下不同粒径粒子质量浓度的对比图(图5)。

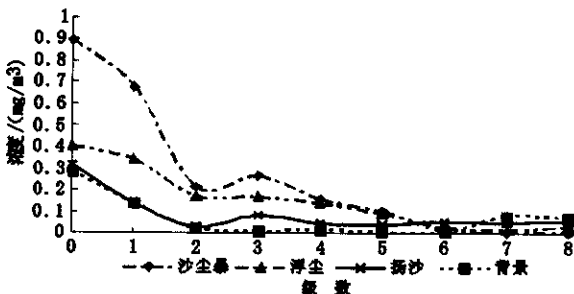


图5 不同天气情况下不同粒径粒子质量浓度对比(浮尘是3月2日、26日和4月14日平均值,扬沙、沙尘暴、背景天气分别是4月15日、3月19日和4月22日)

Fig.5 The quality concentration contrast of diversified level particles under different weather conditions

对图5分析发现沙尘天气越强,同级粒径粒子的平均质量浓度越大,特别在0~2级粒径粒子表现明显。在不同天气情况下各级粒子质量浓度的比较中发现,沙尘暴对应的各级粒子质量浓度最大,浮尘大于扬沙,背景天气对应的各级粒子质量浓度最小。在相同天气情况下,虽然各级粒子的质量浓度有所不同,但其分布具有一定的规律,0级粒子的平均质量浓度最大,1级、2级依次减小,第3级稍有增加,以后逐渐减小,使得0~2级、3~8级粒子浓度呈递减趋势,不同天气情况下,6、7、8级粒子的质量浓度均较小。说明6、7、8级粒子在TSP中所占的比例较小。

2.5 色度与沙尘天气的关系

CIE1976(L*, a*, b*)表色系统^[15]是当今最重要的颜色次序表达和测量系统之一。它使用L*、

a^* 、 b^* 3 个独立参量描述任何均匀连续的颜色空间。 L^* 代表明度,变化于黑(0)和白(100)之间,即样品颜色越黑, L^* 值就越小,颜色越白, L^* 值就越大。 a^* 值变化于红和绿之间, b^* 变化于黄和蓝之间。因此,从某种意义上讲: $+a^*$ 表示红色的饱和程度,简称红度; $+b^*$ 可表示黄色的饱和程度,称为黄度; $+L^*$ 表示黑色的饱和程度,简称为黑度。相应的, $-L^*$ 称为白度; $-a^*$ 称为绿度; $-b^*$ 称为蓝度。CIELAB 的表色原理基于以下前提:颜色的刺激值是照明光源能谱分布状况、物体反射光谱特征和颜色感应器的光谱响应特征共同作用的结果。

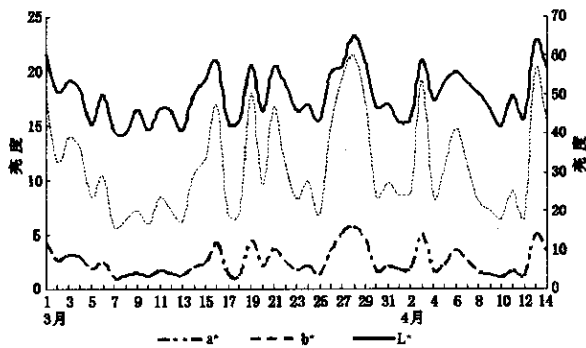


图 6 天虹采集样品的色度 L^* 、 a^* 、 b^*

Fig. 6 The contrast among chroma L^* 、 a^* 、 b^* of samples from Tianhong sampler

将 3 月 1 日至 4 月 15 日所采样品的色度测量结果绘制图 6 分析发现: L^* 、 a^* 、 b^* 的大小有很好的对应关系,其值的大小与兰州市区的空气质量有很好的对应关系, L^* 、 a^* 、 b^* 值越大,对应的空气质量越差。因为当沙尘天气时,大量沙尘均匀漂浮在空中,对兰州市区原有的气态空气污染物具有一定的吸附沉降作用,加之沙尘天气发生时,各气象要素的改变,有利于市区原有空气污染物扩散,沙尘浓度增加,所以,大气中的污染物主要是红亮的沙尘,其样品的色度主要由沙尘的色度决定,所以 L^* 、 a^* 、 b^* 值均增大;当 L^* 值越小时,对应的 a^* 、 b^* 值也越小,对应的空气质量越好,因为在较好的天气情况下,兰州市区的空气污染主要是本地黑色有机物(除气体污染物),其样品的色度主要由黑色有机物决定,所以 L^* 、 a^* 、 b^* 的值均较小。同时,我们还发现:一般天气情况下,兰州市区 3 月份的 L^* 、 a^* 、 b^* 的平均值比 4 月份低,这说明:兰州市区 3 月份空气中的黑色有机物污染比 4 月份严重,其主要原因是,3 月份兰州市区燃煤量大^[10],排放到空气中黑色有

机物多,所以 3 月份样品的色度值较小,即偏黑、偏暗。而 4 月份采暖期过后,燃煤量减少,空气中的黑色有机物含量减少,所以 4 月份样品的色度比 3 月份偏亮。这说明,兰州市区采暖期间,由于供暖而燃烧的大量煤炭等对兰州市区的空气质量造成严重影响。虽然色度不能准确地反映当地的空气质量,但具有一定的对应关系,且有测量简单、经济、快速等优点,所以色度的大小从某种意义上讲能够体现该地区空气质量的好坏,可以作为衡量一地区空气质量的辅助指标。

3 结 论

(1)兰州市区 TSP 的质量浓度随着沙尘天气的发生而显著增加,沙尘天气越强,TSP 的质量浓度增加得越快,造成兰州市区的空气污染越严重。兰州市区春季 3~4 月 88.14% 天数的 TSP 日平均质量浓度超过国家 3 级标准,说明兰州市区春季 3~4 月空气污染十分严重,虽然雨雪对 TSP 有很好的清除作用,但是对小粒径的粒子清除作用却不明显。

(2)通过对不同天气情况下 TSP 与 PM_{10} 的比较发现:TSP 与 PM_{10} 有很好的对应关系,其增减趋势相同,沙尘天气越强,其质量浓度都增加得越多,但增减的比例却不同,随着沙尘天气发生、维持、减弱、停止,其比例变化是增加、稍减弱、再增加,最后减弱。

(3)在不同天气情况下,由安德森分级采样器监测的同级粒径的粒子质量浓度虽然各不相同,沙尘暴各级粒子质量浓度都最大,浮尘大于扬沙,背景天气情况下的各级粒子质量浓度最小。但是在同种天气情况下,各级粒子质量浓度的分布规律却是相同的,0 级粒子质量浓度最大,以后各级粒子的质量浓度依次减小,在第 3 级处发现稍有增加,出现一隐约的次峰值,使得 0~2 级、3~8 级粒子质量浓度呈现出递减趋势。在不同天气情况下,6、7、8 级粒子的质量浓度均较小。

(4)样品色度的 3 个独立分量 L^* 、 a^* 、 b^* 有很好的对应关系,即 L^* 、 a^* 、 b^* 值同时增减。与空气质量也有一定的对应关系, L^* 、 a^* 、 b^* 值越大,空气中沙尘含量越高,空气污染越严重; L^* 、 a^* 、 b^* 值越小,则沙尘含量越小,主要是本地排放的污染物。兰州市区一般天气情况下样品的 L^* 、 a^* 、 b^* 值均较小,说明兰州市区空气污染主要以本地排放的黑色有机物为主,所以色度的大小从某种意义上讲能够

体现该地区空气质量的好坏,可以作为衡量一地区空气质量的辅助指标。

参考文献:

- [1] 陈德均, 季延安, 林肇信. 大气污染化学[M]. 北京: 北京机械工业出版社, 1988. 17.
- [2] 赵维楣, 曹文俊, 蒋瑞宾, 等. 空气污染学[M]. 北京: 气象出版社, 1991. 16 - 17, 392 - 394.
- [3] Kyoung B L, Seung H H, Dong S L. Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula [J]. Atmos Environ, 2000, 34: 563 - 569.
- [4] Saxena V. Impact of stratospheric volcanic aerosols on climate: Evidence for aerosol short - wave and long - wave forcing on the south-east, U. S. [J]. Atmos Environ, 1997, 31: 4211 - 4217.
- [5] 徐华英. 我国空气污染状况及其对人体健康的影响[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(1): 56 - 60.
- [6] 王式功, 杨民, 祁斌, 等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 354 - 358.
- [7] 杨民, 丁瑞强, 王式功, 等. 兰州市大气气溶胶的特征及其对呼吸道疾病的影响[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 54 - 57.
- [8] 杨德保, 王式功, 黄建国. 兰州市区大气污染与气象条件的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1994, 30(1): 132 - 136.
- [9] 权建农, 奚晓霞, 王鑫, 等. 兰州市 2001 年沙尘气溶胶质量浓度的特征分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 93 - 97.
- [10] 奚晓霞, 王式功, 陈长和, 等. 兰州市城关区冬季不同高度大气气溶胶的测量与分析[J]. 高原气象, 1995, 14(2): 221 - 225.
- [11] 马鹏里, 张强, 杨兴国, 等. 大气化学研究进展——臭氧、气溶胶研究综述[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 66 - 70.
- [12] 赵景波, 杜鹏. 沙尘暴发生的条件和影响因素[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 58 - 62.
- [13] 刘培桐. 环境学概论[M] (第二版). 北京: 高等教育出版社, 1995. 267.
- [14] 张存杰, 宁惠芳. 甘肃省近 30 年沙尘暴、扬沙、浮尘天气空间分布特征[J]. 气象, 2001, 28(3): 28 - 32.
- [15] 杨胜利, 方小敏, 郭志龙, 等. 表土颜色和定性至半定量关系研究[J]. 中国科学, 2001 (增刊): 175 - 181.

Monitoring and Analysis on Atmospheric Aerosol at Surface Boundary Layer over Lanzhou City in March and April in 2002

LIU Zhi - guo^{1, 2}, XI Xiao - xia², WANG Xi - wen¹, TAO Jian - hong¹, YANG Jian - cai¹, YAN Hong - xia³

- (1. Lanzhou Center Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China ;
2. College of Atmosphere Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China ;
3. The NO. 14 Middle School in Lanzhou, Lanzhou 730000, China)

Abstract Through monitoring and analysis on atmospheric aerosol at surface boundary layer over Lanzhou city in March and April in 2002, some results are given out as follows (1) The quality concentration of TSP over Lanzhou city is increasing evidently while the dust weather is occurring, and the more strong the sand dust is, the more high the quality concentration of TSP is, and the air pollution is more severe ; (2) The quality concentration of TSP corresponds to that of PM₁₀ well over Lanzhou city under different weather conditions, and the more strong the dust is, the more high the quality concentration of TSP and PM₁₀ is, but the increase or decrease proportion of TSP and PM₁₀ quality concentration is different ; (3) The quality concentration of the same level particles is different under different weather conditions, but the quality concentration distribution of the diversified level particles is same under the same weather condition ; (4) The sample chroma of TSP corresponds to the air quality in some degree, if the value of L*, a* and b* is larger, then the sand dust in air is more and the air pollution is more severe, and the air pollution primarily comes from local black organic substance because the value of L*, a* and b* is much less under normal weather condition.

Key words atmospheric aerosol ; quality concentration ; air pollution ; chroma