

西部沙尘暴对兰州大气气溶胶浓度的影响分析

陈玉春 李振朝 奥银焕 杨胜朋

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州 730000

摘要 本文利用西北地区地面气象观测站的沙尘暴气象要素资料和兰州市环境监测日均气溶胶浓度资料, 统计分析了甘肃河西沙尘暴日与兰州市各气溶胶浓度的关系, 结果表明: 甘肃河西沙尘暴日与兰州颗粒物气溶胶高浓度值相对应或迟后对应; 统计的 4 个月浓度值显示沙尘暴、浮尘天气时 TSP、PM₁₀ 浓度是总资料平均值的 2 倍, 是非沙尘暴日的 2.7 倍以上。多点平均和单点结果均定量表明甘肃河西沙尘暴日不会影响对应时间段兰州市气溶胶 SO₂、NO_x、NO₂ 浓度的变化, 但相应于沙尘暴日的气溶胶浓度均值比总平均值和非沙尘暴日的均值稍小。总之, 沙尘暴引起的沙尘、浮尘天气对气溶胶 SO₂、NO_x、NO₂ 浓度没有什么影响, 而会使 TSP、PM₁₀ 气溶胶浓度成倍增加。

关键词 沙尘暴 气溶胶 资料分析

1 引言

环境与发展是当今国际社会普遍关注的热点。观测、研究结果表明东亚、中国沙尘暴不仅污染本地和邻近地区(如 China、Korea、Japan)环境空气^[1-4], 甚至顺气流跨越太平洋远程影响^[3,5-6], Husar 等^[5-6]表明 1998 年春季起源于亚洲戈壁、沙漠上的强沙尘暴尘埃随西风东行, 越过太平洋传送到北美洲中纬度地带, 在加拿大西南的 British Columbia 与美国西部的 California 之间沿山脉沉积, 严重影响到该地能见度和环境浓度。Sun 等^[3]分析我国 1960-1999 沙尘暴时空特征表明主要沙尘暴源地在蒙古和中国北部的戈壁沙漠, 起源于中国新疆塔克拉玛干沙漠(地点在图 1a 中 Terim Basin)的沙尘暴气溶胶从源地到下风方区域产生各种污染影响, 其影响的空间范围大, 高度可大于 5km, 并能传送到几千 km 以远的北太平洋沉降。王式功等研究表明^[7-8]甘肃河西沙尘暴出现日数与兰州 TSP 污染物之间存在正相关; 张宁等^[9]指出通常甘肃河西沙尘暴降尘量在河西走廊东部为中心向下游扩散。兰州市正位于青藏高原的边坡地带和河西走廊以东的下风方(图 1a), 易受西部、西北部风沙和沙尘暴天气侵袭, 这样易对兰州造成大面积气溶胶污染, 该城市的气溶胶浓度居高不下。本文通过利用兰州环境监测资料结合中国西部部分气象地面站沙尘暴气象要素统计指标, 定量分析中国甘肃河西走廊及其邻近地区(以下简称河西)频繁发生沙尘暴过程对兰州市气溶胶污染物浓度的贡献。

2 兰州市地形概况及资料简介

基金项目: 西部之光项目(2005403)“兰州市南北两山绿化气候环境效益评估的观测和数值模拟研究”资助

2.1 兰州地理位置

Fig.1a 给出兰州在中国的地理位置, 位于青藏高原边缘, 海拔高度大于 1500m, 是一个地形复杂的山谷城市。Fig.1b 兰州市地形等值线(实线), 可以看到兰州市处在一个相对狭长的河谷盆地中, 它东西向长约 40km, 南北向最宽处 8km, 而最窄仅 2km。它的东部河谷 (Fig.1b I 区) 最低处海拔高度约 1500m, 南侧皋兰山峰顶海拔高度 2150m, 北侧白塔山海拔高度约为 1700m, 城关区位于 I 区, 该区是兰州市居民、商业、文化的中心。位于盆地最西端的西固区为工业、企业区 (Fig.1b III 区)。Fig.1b 的五角星标记(★)为 7 个大气污染监测点。

2.2 资料情况

- (1) 兰州 2001 年 1-4 月每月 12-14 天间断监测日均 TSP 浓度资料, 详细情况参见^[9]。
- (2) 兰州 2001 年 1-4 月逐日连续监测的日均 PM₁₀ 浓度。
- (3) 西北部地区地面气象观测站的气象要素资料。

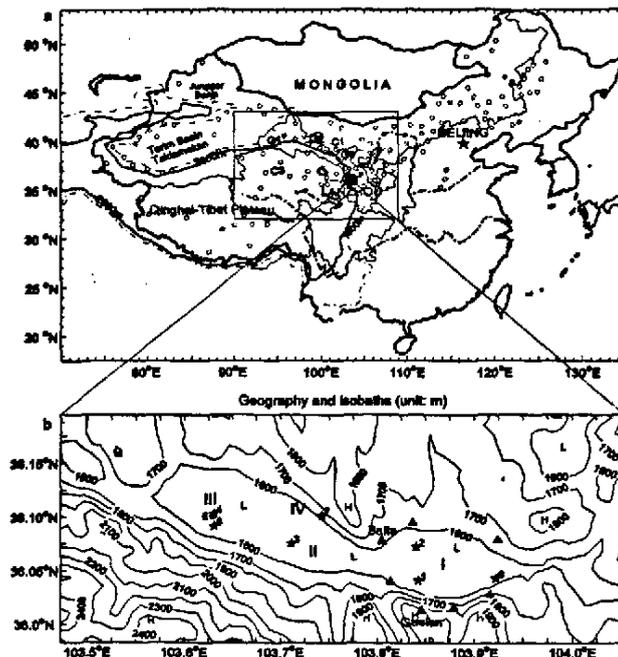


图 1 兰州市在中国的位置(a) 和兰州市及周围地形(b)

- (a) 中小圆圈表示 2001 年 1-5 月中国西、北方发生沙尘暴的气象站点, G1、G2、G3 分别是甘肃河西走廊的西、中、东一线, C1、C2、C3 分别是巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和柴达木沙漠的中心位置, 矩形勾画了在其内的站点上发生的沙尘暴对兰州有明显影响的区域
- (b) 实线为地形等值线 (unit: m), I、II、III、IV 分别代表四个行政区, ★ 是兰州市区的 7 个编号资料监测点, ▲ 山峰, L 地形低值, H 地形高值

3 沙尘暴、扬沙天气简述

在图 1a 中的小圆圈表示 2001 年 1-5 月中国西、北方发生沙尘暴的气象站点, 其中, 中国东北地区的沙尘暴因其处在兰州的下风方一般对兰州无影响, 发生在新疆塔里木盆

地—塔克拉玛干沙漠和西藏高原的相距较远，当随西风或西北气流到达兰州时通常相对减弱，影响较轻微，而直接影响兰州大气气溶胶污染的沙尘暴是距离兰州最近的、主要发生在我国西北的甘肃河西走廊（图 1a 中 G1、G2、G3 分别标识出甘肃河西走廊的西、中、东一线）、巴丹吉林沙漠（约 100-103°E，39-42°N，中心 C1，见图 1a）、腾格里沙漠（103-106°E，37-39°N，中心 C2）以南和柴达木（约 92-98°E，36-38°N，中心 C3）沙区的沙尘暴（简称甘肃河西沙尘暴），范围见图 1a 矩形包围区域。人们知道，中国西北部干旱、具有强风和沙源，甘肃地处中国西北部，近邻 C1、C2、C3 几个沙漠，而且呈南北窄，东西狭长的条形状，季风或气流在通过狭长的河西走廊时产生狭管效应，极易容易发生沙尘暴或浮尘天气，也极易容易在数小时的较短时间内影响到下风方的兰州等地。每次沙尘暴直接有大量浮尘、黄尘或飘尘等从河西走廊或西北、北部随气流移入兰州，弥漫整个兰州河谷，正如图 2 卫星图片显示的那样。

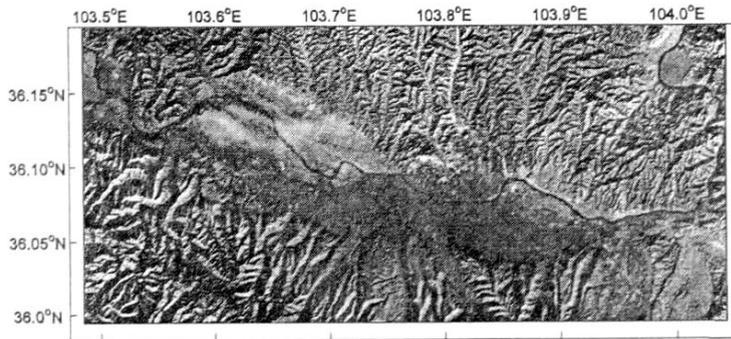


图 2 兰州 2001.01.03 LD-Satellitic 图

表 1 统计给出了 2001 年 1-4 月中国西北的甘肃河西出现沙尘暴 12 次，每次发生沙尘暴或沙尘、扬沙天气后，相继兰州市出现浮尘，观测到的气溶胶浓度成倍数增加，见第 4 节分析。

4 气溶胶浓度分析

4.1 SO₂、NO_x、NO₂

统计了 2001 年 1-4 月平均气溶胶浓度，SO₂、NO_x、NO₂ 无论是西固点连续观测的值（表 2）还是兰州 7 个观测点的平均值（表 3），沙尘暴天的平均和非沙尘暴天的平均值均与总平均值相差不大，相对而言，沙尘暴日的均值比总平均值和非沙尘暴日稍小。这说明沙尘暴引起的沙尘、浮尘天气对气溶胶 SO₂、NO_x、NO₂ 浓度没有什么影响。

4.2 PM₁₀

2000 年 12 月 31 日-2001 年 1 月 1 日甘肃河西出现沙尘暴（表 1 给出统计结果），兰州浮尘天气从 1 月 1 日持续到 1 月 5 日^[8]，这在 1 月 3 日的卫星图像（图 2）上明显看到滞留在兰州河谷中的污染物状况。2001 年 1 月 1 日、2 日 PM₁₀ 浓度值分别高达 2.561、2.012mg·m⁻³（见图 3 最高峰值）；2001 年 4 月 6 日甘肃河西大范围沙尘暴，兰州 4 月 7 日

PM₁₀ 浓度 1.535mg.m⁻³(见图 3 次高峰值); 1 月 30 日沙尘暴对应 31 日、2 月 1 日 PM₁₀ 为 1.09、1.231mg.m⁻³, 3 月 4 日沙尘暴对应 5 日 1.123mg.m⁻³, 4 月 12 日沙尘暴对应 4 月 13 日 1.46mg.m⁻³ (见图 3 各峰值), 这与王武功等研究表明的河西沙尘暴与兰州污染有滞后现象相一致, 分析直观表明兰州以西沙尘暴引起的外界输送对兰州的气溶胶 PM₁₀ 污染扮演了重要角色。

从表 2 统计结果定量值进一步表明沙尘暴、沙尘、浮尘天气的 PM₁₀ 浓度是平均值的 2 倍, 是非沙尘暴日的 (0.8669: 0.3061) 2.8 倍以上。表明沙尘暴对 PM₁₀ 浓度影响显著。

表 1 2001 年 1-4 月西北部主要沙尘暴天气统计

出现时间	风力	最小能见度	沙尘天气范围
12 月 31 日	7—8 级, 最	小于	金塔、鼎新、民勤等出现沙尘暴, 河西其余地方和河东部分地方出现
—1 月 1 日	大 9 级	100 米	扬沙、浮尘天气
1 月 11—	7—8 级, 最	小于	鼎新、金塔、张掖、临泽、高台、民勤、永昌出现沙尘暴, 河西其余
12 日	大 9 级	200 米	地方和河东部分出现扬沙、浮尘天气
1 月 30 日	7 级, 最大 9	小于	酒泉、金塔、高台、永昌、拐子湖 ¹ 、五道梁 ² 陶乐 ³ 等地出现沙尘暴,
—31 日	级	80 米	河西其余地方和河东部分地方出现扬沙、浮尘天气
2 月 16 日	6-7 级	250 米	贯南 ² 、玛曲出现沙尘暴
2 月 23 日	6-7 级	8 米	敦煌、安西出现沙尘暴
3 月 4 日—	6 级	小于	酒泉、敦煌、金塔、鼎新、民勤、拐子湖 ¹ 巴音毛道 ¹ 、刚察 ² 、门源
5 日		100 米	² 、共和 ² 、贯南 ² 等地沙尘暴, 河西其余地方和河东部分出现扬沙、浮尘天气
3 月 13 日	8 级	16 米	拐子湖 ¹ 、鄂托克旗 ¹ 、陶乐 ³ 出现沙尘暴
3 月 26 日	6—7 级, 最	小于	鼎新、武威、金昌、山丹、景泰、拐子湖 ¹ 等出现沙尘暴天气, 河西
	大 8 级	60 米	其余地方和河东部分出现扬沙、浮尘天气
4 月 6 日—	7—8 级, 最	0 米	敦煌、马鬃山、鼎新、金塔、酒泉、张掖、临泽、高台、山丹、金昌、
8 日	大 10 级		永昌、民勤、武威、古浪、乌鞘岭、靖远、景泰、白银、永登、兰州、和政、临夏、环县、平凉、华家岭、定西、西宁 ² 、乌兰 ² 、都兰 ² 、五道梁 ² 等出现沙尘暴。省内其他地方出现扬沙、浮尘天气
4 月 12 日	6—7 级, 最	小于	民勤、武威、景泰、乌鞘岭出现沙尘暴, 河西其余地方和河东部分出
	大 8 级	10 米	现扬沙、浮尘天气
4 月 19 日	6-7 级	4 米	敦煌、张掖、高台、金塔出现沙尘暴
4 月 28—	7—8 级, 最	0 米	敦煌、安西、玉门、高台、张掖、金塔、酒泉、鼎新、永昌、民勤、
—29 日	大 11 级		金昌、白银、景泰、榆中、皋兰、会宁、华家岭出现沙尘暴, 河西其余地方和河东部分出现扬沙、浮尘天气

表 1 注: 受限于资料来源和统计工作量, 仅为甘肃河西走廊和邻近地区 (上标 1、2 和 3 分别为邻近甘肃的内蒙、青海和宁夏的县站, 他们分别位于甘肃北、西、东北边), 即在图 1a 的矩形区域内发生的沙尘暴日。最小能见度取多数站的值。

表 2 2001 年 1-4 月西固测点气溶胶浓度(mg.m⁻³)

情况	天数	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀
总平均	120	0.0802	0.0523	0.4136
沙尘暴日	23	0.0776	0.0480	0.8669
非沙尘暴日	97	0.0808	0.0534	0.3061

表 3 2001 年 1-4 月兰州 7 点平均气溶胶浓度(mg.m⁻³)

情况	天数	SO ₂	NO _x	TSP
总平均	51	0.0831	0.0503	1.2451
沙尘暴日	12	0.0818	0.0467	2.4000
非沙尘暴日	39	0.0835	0.0514	0.8897

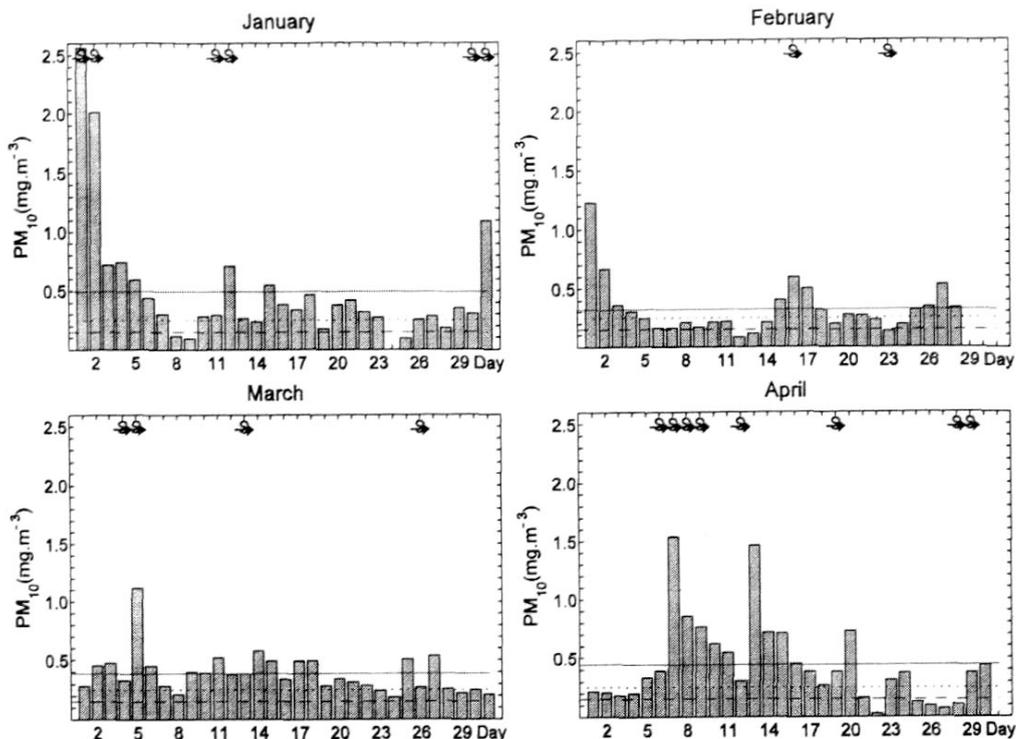


图3 2001年1-4月气溶胶 PM_{10} 的浓度,☄符号标明沙尘暴及浮尘的日
注:图中横的虚线、点线分别是2、3级国家标准浓度值,横的实线是月平均值

4.3 TSP

对应2000年12月31日-2001年1月1日河西沙尘暴过程,使2001年1月1日#1-#4 TSP最大值分别是 5.510 、 4.181 、 3.571 、 $2.775\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,这是一次河西向兰州输送造成的高浓度。1-4月7个监测点的平均浓度见图4,除无TSP的观测值外,明显地凡标有沙尘暴符号处都对应TSP气溶胶高浓度;特别是3月4-5日兰州以西的甘肃河西酒泉、金塔等站的沙尘暴,相对应的3月5日兰州7观测点平均的浓度为 $3.71\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,就平时很洁净的远离兰州的榆中乡村浓度值高达 $5.289\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (见图4最高峰值);4月6-8日又是一次包括兰州在内的西部大范围沙尘暴过程,#2-#8测点TSP浓度值依次为 4.375 、 5.915 、 4.967 、 1.589 、 4.503 、 3.366 、 $3.925\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,7点平均值为 $4.023\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (图4次高峰值)。

表3统计的7个点平均的气溶胶,这个统计值定量表明沙尘暴、浮尘天气时TSP浓度基本是平均值的2倍,是非沙尘暴日的2.7倍,为了有代表性,这个统计值由于7点平均削减了其浓度,单点的统计结果比例更高。进一步定量表明了沙尘暴对颗粒物气溶胶浓度的显著影响。显然成倍数加重兰州颗粒物污染程度。研究还表明甘肃河西沙尘暴次数与兰州TSP浓度、呼吸系统疾病之间有显著正相关—沙尘、扬尘中的颗粒污染物引发并加速呼吸道疾病发病率^[11]。

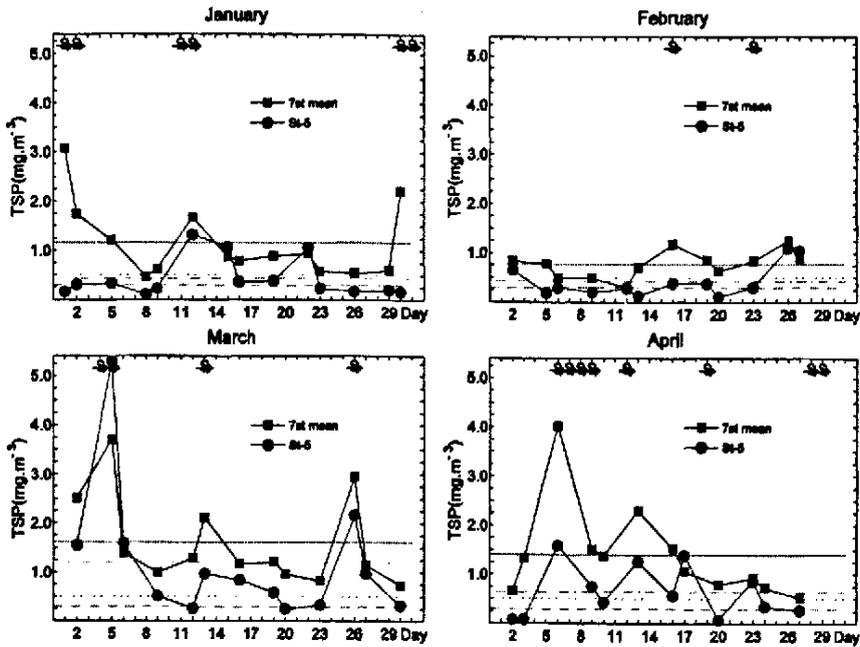


图4 2001年1-4月气溶胶TSP的浓度，带■线是如图1b中7个监测点的平均值，带●线是榆中县的观测值，横的点虚线、实线分别是各曲线值的平均值，其余说明同图3

5 主要结论与讨论

多点平均和单点结果均定量表明甘肃河西沙尘暴日对应兰州气溶胶 SO_2 、 NO_x 、 NO_2 浓度基本没有变化，相对而言，沙尘暴日的均值比总平均值和非沙尘暴日稍小。这说明沙尘暴引起的沙尘、浮尘天气对气溶胶 SO_2 、 NO_x 、 NO_2 浓度没有什么影响。

统计和分析都表明甘肃河西沙尘暴日与兰州颗粒物气溶胶高浓度值相对应，统计4个月浓度值定量表明沙尘暴、浮尘天气时 TSP、 PM_{10} 浓度基本是总平均值的2倍，是非沙尘暴日的2.7倍以上。表明沙尘暴对颗粒物气溶胶浓度的影响显著。

参 考 文 献

- [1] Uno, Itsushi ; Amano, Hiroyasu ; Emori, Seita ; Kinoshita, Kisei ; Matsui, Ichiro ; Sugimoto, Nobuo , Trans-Pacific yellow sand transport observed in April 1998: A numerical simulation , J. Geophys. Res. Vol. 106 , No. D16 , p. 18,331-18344 (2000JD900748), 2001.
- [2] Murayama, Toshiyuki ; Sugimoto, Nobuo ; Uno, Itsushi ; Kinoshita, Kisei ; Aoki, Kazuma ; Hagiwara, Naseru ; Liu, Zhaoyan ; Matsui, Ichiro ; Sakai, Tetsu ; Shibata, Takashi ; Arao, Kimio ; Sohn, Byung-Ju ; Won, Jae-Gwang ; Yoon, Soon-Chang ; Li, Tao ; Zhou, Jun ; Hu, Huanling ; Abo, Makoto ; Iokibe, Kengo ; Koga, Ryuji ; Iwasaka, Yasunobu, Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in east Asia , J. Geophys. Res. Vol. 106 , No. D16 , p. 18,345-18,359 (2000JD900554), 2001.
- [3] Sun, Jimin; Zhang, Mingying; Liu, Tungsheng Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960-1999: Relations to source area and climate J. Geophys. Res. Vol. 106 , No. D10 , p. 10,325-10333 (2000JD900665), 2001.

- [4] Zhou, Jun; Yu, Guming; Jin, Chuanjia; Qi, Fudi; Liu, Dong; Hu, Huanling; Gong, Zhiben; Shi, Guangyu; Nakajima, Teruyuki; Takamura, Tamio, Lidar observations of Asian dust over Hefei, China, in spring 2000, *J. Geophys. Res.* Vol. 107, No. D15, 4252, doi: 10.1029/2001JD000802, 2002.
- [5] Husar, R. B. ; Tratt, D. M. ; Schichtel, B. A. ; Falke, S. R. ; Li, F. ; Jaffe, D. ; Gassó, S. ; Gill, T. ; Laulainen, N. S. ; Lu, F. ; Reheis, M. C. ; Chun, Y. ; Westphal, D. ; Holben, B. N. ; Gueymard, C. ; McKendry, I. ; Kuring, N. ; Feldman, G. C. ; McClain, C. ; Frouin, R. J. ; Merrill, J. ; DuBois, D. ; Vignola, F. ; Murayama, T. ; Nickovic, S. ; Wilson, W. E. ; Sassen, K. ; Sugimoto, N. ; Malm, W. C. , Asian dust events of April 1998 , *J. Geophys. Res.* Vol. 106 , No. D16 , p. 18,317-18330 (2000JD900788), 2001.
- [6] Tratt, David M. ; Frouin, Robert J. ; Westphal, Douglas L., April 1998 Asian dust event: A southern California perspective *J. Geophys. Res.* Vol. 106 , No. D16 , p. 18,371-18379 (2000JD900758),2001.
- [7] 王式功,杨民,祁斌,辛春兰,杨明芳, 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
- [8] 丁瑞强,杨德保,王式功,尚可政,李建红,沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J], *高原气象*, 2001, 20(增刊), 104-109
- [9] 张宁,黄维,陆萌等,沙尘暴降尘在甘肃的沉降状况研究[J], *中国沙漠*, 1998,18(1),32-37
- [10] 祁国炜,尹越,田云,兰州市大气污染监测信息资料库[J], *高原气象*, 2001, 20(增刊), 146-150
- [11] 王宝鉴,黄玉霞,王式功,王锡稳,王鹏祥,大气 TSP 含量对兰州市呼吸系统疾病的影响[J], *高原气象*, 2001, 20(增刊), 110-113

Influence and Study of Sand-dust Storms Occurring over Western China on Atmospheric Aerosol Concentration in Lanzhou City

Chen Yuchun Li Zhenchao Ao Yinhuan Yang Shengpeng

Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences,
Lanzhou, 730000, China

Abstract By using the data of sand-dust storm meteorological elements from ground weather stations in western China and mean daily aerosol concentration from environmental monitoring stations of Lanzhou, the relationship between the days of sand-dust storms occurred over the district of Gansu Hexi and aerosol in Lanzhou City is analyzed statistically. The results show that the days of sand-dust storms occurred over the district of Gansu Hexi correspond to high aerosol concentration of Lanzhou or laggardly correspond; The statistic value of aerosol concentration for 4 months presents TSP and PM₁₀ concentrations during sand-dust storms and floating dust weather are two times of overall average and 2.7 times of that during non-sand-dust storms; Both multipoint average and single-point result indicate days of sand-dust storms and concentrations of SO₂, NO_x, NO₂ in Lanzhou have not evident relation, and correspondingly average aerosol concentration during sand-dust storms is slightly less than average value during non-sand-dust storms. Therefore, we conclude that sand dust and floating dust caused by sand-dust storms have little influence on concentration of aerosols such as SO₂, NO_x and NO₂, but make concentration of TSP and PM₁₀ double.

Key words sand-dust storm, aerosol, data analysis