

文章编号:1000-694X(2005)06-0886-05

西安沙尘天气特征及其对空气质量的影响

宁海文^{1,2}, 王式功³, 杜继稳⁴

(1. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 2. 西安市气象局, 陕西 西安 710016; 3. 兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 4. 陕西省气象局, 陕西 西安 710015)

摘 要: 利用 1971—2003 年西安市常规气象观测资料、2001—2003 年西安市区主要污染物日均浓度资料和 2002 年 3 月一次重度污染事件逐时的 PM₁₀ 浓度资料, 分析了西安市沙尘天气的时间分布特征及其对主要空气污染物浓度的影响。结果表明, 西安市沙尘天气近 30 多年来总体呈波动式明显减少的趋势, 但 2001—2002 年有所增多, 2003 年又减少。沙尘天气主要出现在春季, 4 月最多, 占全年天数的 22.6%。沙尘天气对西安空气质量影响显著, 可使 3~4 月 PM₁₀ 月浓度平均提高 12.1%, 在分析的一次强沙尘暴个例中, 一小时内 PM₁₀ 浓度最高增加了 0.585 mg·m⁻³, 达到 0.970 mg·m⁻³, 从而造成严重的空气污染事件。

关键词: 沙尘天气; 空气质量; 西安市

中图分类号: X513 **文献标识码:** A

沙尘天气是我国北方干旱、半干旱地区春季多发的一种严重灾害性天气, 它不仅给工农业生产、交通运输和人民生命财产造成极大损失, 而且带来严重的生态环境问题, 特别是高浓度的沙尘颗粒污染物容易引起相关人群呼吸系统的疾病, 对人类的健康造成危害^[1,2]。近几年北方地区频繁发生的沙尘天气, 引起了社会各界的广泛关注, 许多学者对沙尘天气的成因及其对气候变化以及荒漠化的影响进行了深入的分析研究^[3~10], 但对沙尘天气给城市空气质量影响的研究还重视不够, 仅有零星的初步研究^[11]。因而深入研究沙尘天气对城市空气质量和对城市居民健康的影响, 对于实现“以人为本, 全面建设和谐社会”的奋斗目标, 显得尤为重要。

陕西省西安市位于黄河流域中部的关中盆地, 面积 9 983 km², 南有我国地理上北方与南方的重要分界—秦岭, 北有黄土高原, 境内海拔高度差异悬殊位居全国各城市之冠, 西部开阔平坦, 东南部狭窄, 独特的地形地貌使西安市具有独特的大气污染特点。西安市的首要空气污染物一直是可吸入颗粒物 (PM₁₀), 其年均浓度依然超过 2 级标准。春季频繁出现的沙尘天气在很大程度上决定着 PM₁₀ 的浓度, 也就严重影响着西安市的空气质量。王建鹏等人利用 1998—2000 年不够连续的空气质量监测资料初步分析了沙尘天气对西安市空气质量的影响^[12]。近 4 a 来, 西安市的污染物排放发生了较大变化^[13],

为了对空气质量的预报和环境治理提供科学依据, 在利用 1971—2000 年气象观测资料分析西安沙尘天气气候特征的基础上, 重点利用西安市环境监测站提供的 2001—2004 年最新逐日连续环境监测资料和同期气象资料, 详细分析研究了沙尘天气对西安市空气质量的影响。

1 西安沙尘天气基本特征

根据文献^[14]中的有关划分标准, 沙尘天气由弱到强可依次划分为浮尘、扬沙、沙尘暴和强沙尘暴四类。西安市 30 年来浮尘、扬沙、沙尘暴 3 种沙尘天气现象都有发生, 但以浮尘最多, 30 年共出现浮尘 136 次, 年均 4.5 次; 扬沙 117 次, 年均 3.9 次; 沙尘暴 7 次, 年均 0.23 次。

1.1 西安沙尘天气的年际和年代际变化特征

图 1 给出了 1971—2000 年西安站沙尘天气出现次数的年际变化曲线。可以看出, 西安沙尘天气 (3 种沙尘天气出现次数合计) 从 1971 年至今总体趋势是趋于减少, 其直线回归方程为 $y = -2.0504x + 60.2904$, 即平均每 10 a 减少约 20 次, 超过了全省的减少趋势^[15]。

以 10 a 为一个阶段划分 (表 1), 西安沙尘天气 20 世纪 70 年代最多, 80 年代明显减少, 到了 90 年代达到历史最低值, 平均每年只有 3.6 次沙尘天气

收稿日期:2005-01-15; 改回日期:2005-02-10
基金项目:国家自然科学基金项目 (40375015); 博士点基金项目 (20030730019) 共同资助
作者简介:宁海文 (1967—), 男 (汉族), 陕西礼泉人, 高级工程师, 在职研究生, 主要从事天气预报和空气质量预报及其管理工作。

发生。2000—2002 年沙尘天气明显增加,2003 年又减少,2001—2003 年 3 a 共出现 28 次,略少于 1991—2000 年的总和。

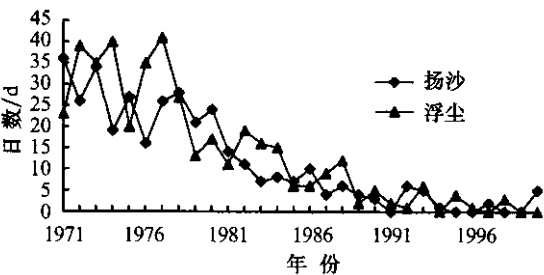


图 1 西安市 1971—2000 年沙尘天气年际变化

Fig.1 Interannual changes of sand and dust events observed at Xi'an Weather Station from 1971 to 2000

表 1 西安市 1971—2003 年沙尘天气出现日数的年代际变化

Tab.1 Interdecadal variation of sand and dust events in Xi'an from 1971 to 2003

年代	浮尘	扬沙	沙尘暴	合计
1971—1980	290	257	2	549
1981—1990	101	74	5	180
1991—2000	17	19	0	36
2001—2003	13	15	0	28

1.2 西安沙尘天气的年变化特点

历史上西安各月都有沙尘天气出现,但发生的次数有明显的季节差异,除沙尘暴天气仅出现在春季的 3~5 月外,浮尘、扬沙天气一年四季都会出现(图 2)。3 种沙尘天气都表现为春季(3~5 月)最多,为沙尘天气的多发期,其中 4 月出现次数最多,占全年天数的 22.6%;冬季(12 月至翌年 2 月)占全年的 19.5%,夏秋季(6~11 月)占全年的 23.1%,9 月份最少,仅占全年的 1.2%。春季和冬季浮尘天气

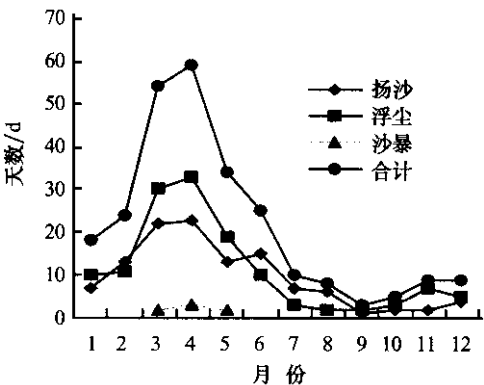


图 2 1971—2000 年西安市沙尘天气发生日数的月变化

Fig.2 Monthly variation of occurrence days of sand and dust events observed in Xi'an from 1971 to 2000

万方数据

多于扬沙,而夏季和秋季则扬沙天气多于浮尘。

2 2000—2003 年西安沙尘天气特征及成因分析

按照沙尘天气的源地和起因,近几年影响西安的沙尘天气大体可分为 3 种类型:

I. 外地飘来型:上游地区出现沙尘天气,卷入高空的沙尘经西北气流的输送在本地降落,这种类型的天气以浮尘和扬沙天气为主,影响的范围较大(如 2001 年 3 月 3~6 日)。

II. 本地生成型:沙尘天气在本地生成,影响范围小,强度弱,以局地扬沙天气为主,其特点是持续时间短(如 2002 年 6 月 21 日)。

III. 外地飘逸到本地加强型:上游地区出现强沙尘暴,随着地面气旋一起移动,经过本地时将上游大量的沙尘带到本地,其特点是沙尘天气强度大,气象要素变化剧烈,空气质量一般为中度到重度污染。2001—2003 年春季 5 次 PM₁₀ 重度污染皆为此类型造成。

在这 3 种类型中,I 型最多,占总次数的 57.7%;II 型和 III 型各占 19.2%、23.1%。

2000—2003 年度西安市共出现沙尘天气 33 次,年均 8 次,且主要集中在 3~4 月。2003 年仅出现了 3 次,与前 3 年比较沙尘天气日数明显减少。造成这种现象的原因:一是由于环流特征的差异。对比分析 2000 年和 2003 年 4 月份北半球 500 hPa 月平均高度场和距平场,在多沙尘天气的 2000 年 4 月,在东半球新地岛附近有一较大强度的低涡中心,极地环流呈中心偏于东半球的偶极型分布。在东半球中高纬度高度距平图上,东欧平原到西西伯利亚平原为正距平,日本列岛附近存在一个负的距平中心,这种距平分布使得东半球径向度明显加大,锋区强度加强,冷空气活动频繁,因而大风、沙尘暴日数较多。而 2003 年 4 月中高纬度地区上空为四波型分布,中纬度从地中海附近到西太平洋附近维持着较强的纬向气流,东半球的亚洲东北部为负高度距平控制,日本海附近、黑海到里海附近均为弱的正距平区。这些正负距平区的分布使得东半球径向度明显减弱,纬向环流明显加强,冷空气活动减弱,相应的大风、沙尘日数减少。二是前期气候背景的差异。2000—2002 年的前冬和春季,西安市降水普遍偏少 5~6 成,气温偏高 2~3 ℃,近地面气温升高增加了大气热力层结的不稳定性,由于影响西安的冷空气和气旋次数增多,当与冷空气或气旋相伴的冷暖锋

区附近强烈抬升的热力和动力共同作用时,极易将地面沙尘卷扬到空中。而 2002 年冬季西安降水量高达 56.3 mm,比常年同期降水量偏多 1.5 倍,季平均气温仅偏高 0.6℃。由于前期降水偏多,土地湿润,地表没有形成干土层,加之 2003 年春季强冷空气活动偏少,相应的沙尘天气明显减少。三是由于 2002 年冬季和 2003 年春季沙源地和西安下垫面得到改善。2002 年冬季内蒙古中西部沙源地被积雪覆盖,深厚的积雪和持续低温有利于土壤冻结和土壤水分的保持^[16];2003 年 4 月西安气温正常,特别是第一场透墒雨偏早,对农作物生长和下垫面植被状况的改善有利,裸露地面积减少,在一定程度上也抑制了沙尘天气的发生。

3 沙尘天气对西安市空气质量的影响分析

3.1 西安市区 PM₁₀ 污染季节分布特征及其成因分析

对 2001—2004 年 1 450 d 西安市区不同季节 PM₁₀ 不同等级发生的天数进行了统计(表 2)。可以看出近 4 a 西安空气质量主要为 2~3 级,占 91.4%,达到 4 级中度污染天数为 98 d,占 6.8%;而优等天数只有 16 d,占 1.1%,重度污染 10 d,仅占 0.7%。

表 2 西安市 2001—2004 年各季节不同 PM₁₀ 污染级别发生天数统计

Tab. 2 Statistics of occurrence days of different PM ₁₀ pollution degree in different season from 2001 to 2004 in Xi'an city					
污染级别	春季/d	夏季/d	秋季/d	冬季/d	合计/d
1 级	3	4	8	1	16
2 级	210	295	232	135	872
3 级	118	63	99	174	454
4 级	22	6	24	46	98
5 级	5	0	0	5	10

从西安市区空气质量的季节分布看,西安市区空气质量 1 级(优等级)只出现了 16 d,且主要出现在夏秋两季,占该等级全年出现总次数的 75%;空气质量 2 级(良好)也主要出现在夏秋两季,占总次数的 60.4%;3 级轻度污染则主要出现在春冬两季,占总次数的 64.3%;4 级中度污染主要出现在冬季,占总次数的 46.9%,春秋两季频率接近,夏季最少,出现频率仅 0.7%,5 级重度污染主要发生在春季和冬

季,二者各占 50%。夏秋两季均未出现 5 级重度污染。

春季的 5 次重度污染分别出现在 2001 年 4 月 9 日,2002 年 3 月 20 日,4 月 15、23 日和 2003 年 4 月 18 日的沙尘天气中。分析春季的 5 次 PM₁₀ 重度污染事件,都是由于西安上游发生了较强的沙尘暴天气,随着沙尘天气的发生、发展,产生并向下游传输大量沙尘,西安站出现扬沙和浮尘天气,使能见度急剧下降,PM₁₀ 浓度急剧增加达到重度污染。可见春季强沙尘暴天气会导致西安市 PM₁₀ 浓度极度升高,造成空气质量急剧恶化。

10 次重度污染日还有 5 次出现在冬季,其成因将在其他文章中进行专门分析。

3.2 沙尘天气对西安市 3 种主要污染物浓度影响的对比分析

对沙尘天气频发的 2001 年 4 月、2002 年 3~4 月和 2003 年 4 月 PM₁₀ 浓度资料进行分析。首先对 3 种主要污染物的月平均浓度和剔除沙尘日后的月平均浓度进行了统计(表 3)。可以看出剔除沙尘日后的 SO₂、NO₂ 月平均日浓度与当月的 SO₂、NO₂ 月平均日浓度接近,说明沙尘天气对 SO₂、NO₂ 的浓度影响不明显。2001 年 4 月 9 日的沙尘天气使 PM₁₀ 月平均浓度提高了 0.027 mg·m⁻³。2002 年 3~4 月,2003 年 4 月沙尘天气使 PM₁₀ 月平均浓度分别提高了 9.1%,17.2%和 8.8%,即沙尘天气使西安市区 3~4 月 PM₁₀ 月均浓度平均提高了 12.1%。

表 3 沙尘天气和无沙尘天气条件下西安市 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 月均浓度的对比分析

Tab. 3 Comparison of monthly quality concentration of SO ₂ , NO ₂ and PM ₁₀ between with dust-storm weather and without dust-storm weather in Xi'an city				
月份	SO ₂ 月均浓度/剔除沙尘日月均浓度/(mg·m ⁻³)	NO ₂ 月均浓度/剔除沙尘日月均浓度/(mg·m ⁻³)	PM ₁₀ 月均浓度/剔除沙尘日月均浓度/(mg·m ⁻³)	沙尘天气对 PM ₁₀ 月均浓度贡献率/%
2001 年 4 月	0.031/0.030	0.025/0.026	0.205/0.178	13.2
2002 年 3 月	0.034/0.035	0.025/0.025	0.197/0.179	9.1
2002 年 4 月	0.021/0.020	0.018/0.018	0.215/0.178	17.2
2003 年 4 月	0.018/0.018	0.016/0.015	0.137/0.125	8.8

分析了 2001—2003 年 3~4 月沙尘日前后 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 日平均浓度变化,扬沙天气日西安市区 PM₁₀ 日均浓度迅速升高,空气污染严重。而

在扬沙天气发生前后日 SO_2 和 NO_2 日均浓度维持高值,在出现扬沙天气时 SO_2 和 NO_2 日平均浓度反而下降,说明沙尘天气发生时的气象条件有利于 SO_2 和 NO_2 的扩散。

4 一次强沙尘暴天气过程对西安市空气质量影响的个例分析

4.1 沙尘暴对 PM_{10} 浓度日变化的影响

2002 年 3 月 20~21 日,西安市先后出现了扬沙、浮尘天气。图 3 为 3 月 15~24 日西安市首要污染物 PM_{10} 浓度日际变化。3 月 15~19 日沙尘天气发生前西安市空气质量属轻度污染。20 日由于受强沙尘天气影响,空气质量迅速恶化达到了 5 级重度污染,21 日、22 日受浮尘天气影响,空气质量为 4 级中度污染,23 日随着沙尘天气影响结束,空气质量改善为 3 级轻度污染。20 日是重度污染的高峰期, PM_{10} 日平均浓度为 $0.562 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,是 5 级重度污染(限值 $0.420 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)的 1.34 倍。21、22 日浓度虽有所降低,但仍超过 4 级中度污染标准(限值 $0.250 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$)。20~22 日 PM_{10} 平均浓度为 $0.393 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,是 2002 年 3 月中旬(11~19 日) PM_{10} 平均浓度的 2.1 倍。因此沙尘天气使远离沙尘源地的西安市空气质量恶化了 2 倍。

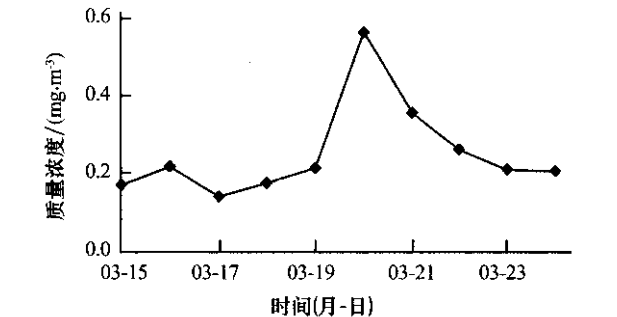


图 3 西安市区 2002 年 3 月 15~24 日 PM_{10} 浓度逐日变化
Fig. 3 Daily variation of PM_{10} concentration during 15~24 March, 2002 in Xi'an city

4.2 强沙尘天气发生日 PM_{10} 逐时浓度变化分析

以市区 4 个监测站点平均浓度代表市区平均浓度,分析 2002 年 3 月 18~21 日市区平均浓度的逐时变化和市区 5 个监测站点逐站逐时的 PM_{10} 浓度变化。18 日 12:00 至 19 日 11:00 西安市区 PM_{10} 逐时平均浓度表现为正常的日内变化特点,浓度在 $0.21 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 附近波动并一直延续到 19 日 19 点。19:00~20:00 浓度缓慢上升,在强沙尘天气到

来前 3 h(20 日 0 时~2 时) PM_{10} 浓度略有下降,从凌晨 3 时开始强沙尘天气影响西安,市区 PM_{10} 平均浓度在 2:00~3:00 的 1 h 内陡然升高了 $0.585 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 达到 $0.970 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,是前 1 小时的 2.5 倍(图 4)。此后超过 $0.850 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的高浓度一直持续到 20 日早 9:00,前后长达 7 h。由于冷锋过境后大风将沙尘继续向下游输送,而当地大气扩散条件转好,从 10:00 开始 PM_{10} 浓度迅速下降,此后十几小时内波动下降,但由于受浮尘天气影响,至 21 日 11:00 PM_{10} 浓度仍超过 $0.350 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

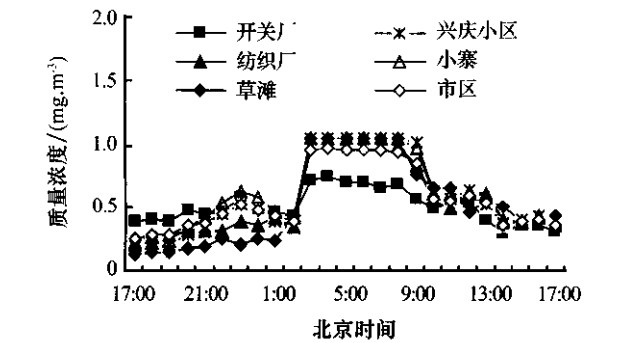


图 4 2002 年 3 月 19 日 17:00 至 20 日 17:00 西安市各监测站点 PM_{10} 浓度及市区 PM_{10} 平均浓度的逐时变化曲线
Fig. 4 Variation of hourly mean PM_{10} concentration at different stations and in the whole Xi'an City

由于各监测站地理位置的差异,这次沙尘天气对西安市不同位置 PM_{10} 浓度影响不尽相同(图 4)。沙尘天气对西郊的开关厂监测点影响最小,1 小时最大浓度为 $0.751 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,东南方向的兴庆小区监测站 1 小时最大浓度高达 $1.056 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$,其他三站浓度接近。兴庆小区的监测点大于 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的高浓度持续时间长达 7 h,其他各点为 5~6 h。从 PM_{10} 浓度迅速下降的时间看,开关厂、纺织城和草滩点比小寨和兴庆小区的监测点早 1~2 h。

可以看出,正是由于春季强冷空气携带大量的沙尘使西安市空气质量在短时间内极度恶化,达到重度污染强度。由于强沙尘天气的路径偏东,西安市的西郊污染程度最轻,但也达到了重度污染。随着沙尘天气结束,空气质量逐步好转。因此在春季制作空气质量预报时应充分考虑沙尘天气的影响。

5 结论

(1) 西安的沙尘天气 30 a 来呈明显减少趋势。沙尘天气主要以浮尘、扬沙天气为主,浮尘最多,沙尘暴很少出现。春季为沙尘天气的多发期,其中 4

月出现次数最多,占全年总天数的 22.6%。

(2) 由于高空环流形势,前期气候特点以及沙尘源地和西安本地下垫面特征的差异,2000—2002 年沙尘天气明显增多,2003 年又减少。

(3) 强沙尘天气对 SO₂ 和 NO₂ 的浓度影响不大,但容易导致 PM₁₀ 日均浓度迅速升高,造成严重的空气污染事件。

(4) 沙尘天气使西安市区 3~4 月 PM₁₀ 月平均浓度平均提高 12.1%。在分析的一次强沙尘暴天气过程中,西安市区 PM₁₀ 小时平均浓度在 1 小时内可迅速增加 0.585 mg·m⁻³,比前一小时增加 2.5 倍。

参考文献 (References):

[1] 马雁军,齐丽丽,扬虹斌. 大气污染对呼吸系统疾病的影响研究[J]. 辽宁气象, 2002, (2): 33—34.
[2] 魏复盛,胡伟,滕恩江,等. 空气污染与儿童呼吸系统患病率的相关分析[J]. 中国环境科学, 2000, 20(3): 220—224.
[3] 王伟,方宗义. 沙尘暴天气及其研究进展综述[J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 366—381.
[4] 王式功,王金艳,周自江,等. 中国沙尘天气的区域特征[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 193—200.

[5] 张莉,任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析[J]. 气象学报, 2003, 61(6): 744—750.
[6] 王小玲,翟盘茂. 中国春季沙尘天气频数的时空变化及其与地面风压场的关系[J]. 气象学报, 2004, 62(1): 96—103.
[7] 陆均天,邹旭恺,王锦贵,等. 近 3 年我国沙尘天气较频繁发生的原因分析[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 107—113.
[8] 高庆先,任阵海,张运刚,等. 利用静止卫星资料跟踪沙尘天气的发生、发展及传输[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 35—40.
[9] 盛立方,耿敏,王园香,等. 2002 年春季沙尘暴对青岛大气气溶胶的影响[J]. 环境科学研究, 2003, 16(5): 12—138.
[10] 薛建军,刘月巍,牛若芸,等. 2002 年 3 月 18~22 日强沙尘暴过程分析[J]. 气象, 2004, (9): 39—40.
[11] 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.
[12] 王建鹏,王式功,孟小绒,等. 沙尘天气等对西安市空气污染影响的研究[J]. 中国沙漠 2004, 24(5): 558—563.
[13] 程继夏,刘立国,王斌. 煤改气工程对改善西安市大气环境的趋势分析[J]. 长安大学学报, 2003, 20(3): 44—49.
[14] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349—356.
[15] 雷向杰,胡春娟,田武文. 陕西沙尘天气的气候特征及影响分析[J]. 气象, 2003, 29(1): 38—40.
[16] 中国气象局. 沙尘天气年鉴(2003 年)[M]. 北京: 气象出版社, 2004.

Characteristics of Sand-Dust Events and Their
Influence on Air Quality of Xi'an City

NING Hai-wen^{1,2}, WANG Shi-gong³, DU Ji-wen⁴

(1.Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2.Xi'an City Meteorological Bureau, Xi'an 710016, China; 3.The Gansu Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 4.Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710015, China)

Abstract: Based on the data of Xi'an Meteorological Observing Station from 1971 to 2003 and the data from the Environmental Monitoring Station including daily average concentration of SO₂, NO₂ and PM₁₀ from 2001 to 2003 and hourly PM₁₀ concentration in a heavy pollution case occurred on March, 2002 in Xi'an city, the temporal distribution characteristics of sand-dust events and their influence on air quality of Xi'an City were analyzed. The results are as follows: In Xi'an City, sand-dust events had a tendency of decrease in the past more than 30 years, but it increased obviously from 2000 to 2002. Most of sand-dust events mainly took place in spring especially in April, mean occurrence days in April accounted for 22.6% of all sand-dust days of a year. The influence of sand-dust events on air quality of Xi'an City is remarkable. Server sand-dust events could lead to heavy air pollution in Xi'an City. They could make the average growth rate of PM₁₀ concentration to reach 12.1% during March and April. During the case of server sand-dust storm, hourly PM₁₀ concentration could increase by 0.585 mg·m⁻³, maximum PM₁₀ concentration reach 0.970 mg·m⁻³. Server sand-dust storm usually cause heavy air pollution event in Xi'an City.

Key words: sand-dust event; air quality; Xi'an City