

# 沙尘暴降尘对甘肃大气环境背景值的影响研究

张 宁<sup>1</sup>, 张武平<sup>2</sup>, 张 萌<sup>3</sup>

( 1. 甘肃省环境监测中心站, 甘肃 兰州 730030 ; 2. 甘肃省陇南市环境监测站, 甘肃 武都 746000 ; 3. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710065 )

**摘要** : 通过近 15 年来发生在我国西北地区的较大沙尘暴个例, 就沙尘暴对甘肃境内大气环境背景值的影响等问题进行了调查、分析和研究。使用降尘背景观测点的大气降尘资料和样品, 统计、分析和研究了沙尘暴降尘在各地区的沉降量、分布范围、化学组分和粒度分布特征等问题。研究认为, 沙尘暴不只是一种特异的灾害性天气, 同时它还是一种跨地区的大范围大气污染现象; 在无湿沉降机会时, 它会被输送到很远的地方, 所影响和污染区域也会更大。沙尘暴还会向下游地区输送有害物质, 对生态环境造成潜在和长期的影响; 沙尘暴降尘量在甘肃的分布是以河西走廊东部为中心, 向大气环流下游地域扩散, 形成一个自西向东南迅速递减的梯度分布状态。受沙尘暴降尘的影响, 近 15 年来甘肃省大气自然降尘背景值总体水平呈上升趋势。

**关键词** : 沙尘暴 ; 大气环境背景值 ; 降尘

中图分类号 : X513 文献标识码 : A 文章编号 : 1001 - 692X (2005) 05 - 0006 - 05

## The Research on the Effect of Sand Storm Dustfall on Air Environmental Background Value in Gansu Province

ZHANG Ning<sup>1</sup>, ZHANG Wu-ping<sup>2</sup>, ZHANG Meng<sup>3</sup>

( 1. Gansu Environmental Monitoring Central Station, Lanzhou 730030, China ;

2. Longnan Environmental Monitoring Station of Gansu Province, Wudu 746000, China ;

3. Xi 'an Building Technology University, Xi 'an 710065, China )

**Abstract** : Through big sand storm cases in the western region in China in last 15 years, the effects of sand storm on the air environmental background value in Gansu province were investigated and analyzed. Using air dustfall data and samples at background sites, the quantity of dustfall, distribution scope, chemical composition and grain distribution characteristics, etc. of sand storm deposition at different areas were analyzed. It is found that sand storm is much more than a kind of special disastrous weather; it is also a kind of air pollution phenomenon covering different provinces. In case of no wet deposition opportunities, it can be transported to far away places, thus affecting and polluting large area. Sand storm can transport some hazardous matters to the downwind and leave potential and long effects on the ecological environment. The sand storm dustfall in Gansu is distributed with the core at the east of Hexi Corridor, disperses to the downwind areas, forming gradient distribution from the west to the southeast. Because of the influence of sand storm, the overall level of air environmental background value of dustfall is increasing in Gansu province in the last 15 years.

**Key words** : sand storm ; air environmental background value ; dustfall

自然界要形成沙尘暴特别是强沙尘暴必须具备强风、沙源和不稳定的大气 3 个条件。我国西北地区尤其是甘肃的河西走廊区域, 不但具备这些条件, 而且由于季风在通过狭长河西走廊时产生的狭管效应, 更加重了这种现象。近年来因人口增长和人为对生态环境的破坏, 又加剧了这些地区的沙漠化进程。

由于沙尘暴的发生, 每年均有大量沙(土)尘从沙尘暴源地被搬运到甘肃的陇西、陇东黄土高原及黄河上、中游地区。而利用这一较特殊地形来研究中国西北地区沙尘暴对大气和生态环境的影响、沙尘暴降尘

量和沉降范围及有效控制沙尘暴危害程度等问题具有十分重要的意义。

近年来, 尤其自震惊中外的 1993 年 5 月 5 日特大沙尘暴发生以来, 国内外的气象、大气物理和沙漠等领域的科研工作者对沙尘暴的天气成因<sup>[1-4]</sup>、地质时期的尘暴<sup>[5]</sup>、历史上降尘与天气气候学的关系<sup>[6]</sup>及沙尘暴危害等方面进行了许多研究。但沙尘暴降尘对大气环境背景值影响方面的研究报道较少。

### 1 甘肃大气自然降尘的时空分布特征

#### 1.1 历史时期大气自然降尘

受大气环流自西向东运动的影响, 在西北部出现的沙尘暴往往会随着西风气流向东延伸和扩散。张德二<sup>[6]</sup>曾根据我国史料中的降尘记载、历史气候资料 and

收稿日期 : 2004 - 10 - 25

基金项目 : 甘肃省环境保护局研究项目( GH095 - 02 )

作者简介 : 张宁( 1953 - ) 男, 河南洛阳人, 高级工程师。

现代气象记录 ,认为沙尘暴的尘源地是在甘肃西部和甘肃—内蒙古的干燥沙漠地带 ,其次是南疆沙漠 ;同时还绘出了近 1 000 年来的雨土年频数曲线。由该曲线可知 ,近 1 000 年来降尘的频发期与干旱气候背景对应 ,并呈逐渐上升趋势。

沙尘暴对源地沙(土)尘的搬运能力巨大 ,但要准确地测定沙尘暴在大范围内的沉降量是比较困难的。陈道远<sup>[5]</sup>认为 ,全球每年经风力搬运的沙尘量约为  $1.3 \times 10^8 \sim 8.0 \times 10^8 \text{ t}$  ,最高搬运量为  $50 \times 10^8 \text{ t}$  ,每年进入北太平洋中部的降尘量约为  $6 \times 10^6 \sim 12 \times 10^6 \text{ t}$ 。

1.2 甘肃近年大气降尘分布特征

笔者在对 1986 年以来甘肃大气环境降尘受该省和西部沙尘暴影响研究<sup>[7-8]</sup>的基础上 ,又对甘肃省 15 年来大气降尘的年际变化进行了统计 ,结果见图 1。由图 1 可知 ,近年来甘肃的大气自然降尘量总体呈上升趋势。约占甘肃全省总面积 60% 的河西走廊区域 ,是降尘的高值区 ,同时也是每年春季发生沙尘暴的主要源地。它对该区域降尘量的升高 ,乃至甘肃中部和东南部的大气自然降尘值都有积极的贡献和影响作用。

笔者根据甘肃省地形、地貌、地理位置、气候条件和大气自然降尘沉降量的区域分布 ,自西向东 ,分为 4 个区域 ,即 I ~ IV 区域 ,其中 I 区的降尘量远远高于 IV 区(见表 1)。西北部的河西走廊是甘肃全省的高值

区 ,而金昌和武威又位居榜首 ;东南部和南部的陇南山地和甘南高原的降尘量要比中、西部约低 1 个数量级。I ~ III 区的降尘量呈上升走势。

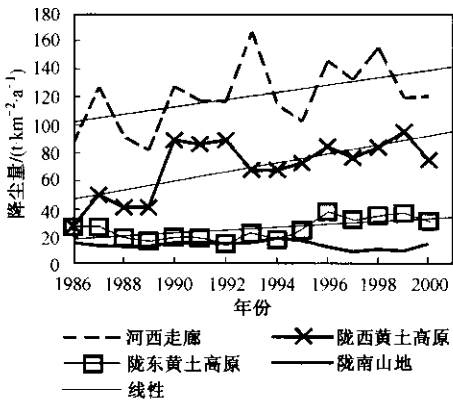


图 1 甘肃各区域大气降尘年变化  
Fig.1 Gansu each district year decline dust total measure variety

甘肃大气自然降尘全年中的高值主要出现在 3—7 月中旬。河西走廊高值期维持的时间长些 ,而在甘肃中部和东南部则相对较短 ,一般在 3—5 月中旬。I ~ IV 区在 3—7 月间的降尘量分别占全年总量的 55.88% ,53.71% ,53.29% 和 32.14%。甘肃全省易出现极大值的地区主要有西部的金昌、武威和中部的白银。

表 1 1986—2000 年甘肃各区域大气降尘

Table 1 Gansu atmosphere decline dust at each district sink decline condition form 1986 to 2000				
编号	区域	月降尘量/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ )	月均值/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{月}^{-1}$ )	年均降尘总量/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )
I	河西走廊	张掖、酒泉、嘉峪关、武威和金昌 <sup>1)</sup>	16.34 ~ 33.05	24.86
		敦煌城区 <sup>2)</sup>	5.36 ~ 39.60	15.95
		酒泉	1.13 ~ 56.59	12.30
		莫高窟 <sup>2)</sup>		146.98
II	陇中黄土高原	兰州、白银、临夏、定西	13.49 ~ 23.81	18.96
		平凉和庆阳	7.26 ~ 18.92	12.56
III	陇南山地	天水、陇南 <sup>3)</sup>	4.61 ~ 9.22	6.89
IV	甘南高原	甘南藏族自治州 <sup>4)</sup>		4.66

1) 由于受局地工业的酸污染 ,金昌曾多次出现酸雨 ;2) 该地数据为 2003—2004 年的 ;3) 受外来酸污染影响 ,该地区曾出现过酸雨<sup>[9]</sup> ;4) 供参考。

2 西北地区沙尘暴在甘肃的沉降

近 40 年来我国西北地区有详细记录的较大沙尘暴约有 70 多次<sup>[1]</sup>。为便于与有大气自然背景降尘值的年份比较 ,笔者参考了有关资料<sup>[1,10]</sup> ,选择了 1986—1996 年间在我国西部地区发生 10 多次较大沙尘暴个例 ,并对发生沙尘暴当月的大气背景沉降量进行了统计<sup>[11]</sup>。将其与同一时期未发生沙尘暴的平均降尘量比较发现 ,当沙尘暴过后 ,全省各个背景点降尘量都会有不同程度的增加<sup>[7]</sup>。

2.1 沙尘暴对大气降尘的影响

近年来我国西北部由于较大沙尘暴累计频次(C)的增加 ,致使甘肃省各降尘背景观测点的降尘值有明显上升。对 1986—1996 年累计频次(C)进行统计 ,其分布状况为 :河西走廊 (I 区)  $C_I = 6.6$  ,陇西黄土高原  $C_{II-1} = 5.0$  ,陇东黄土高原  $C_{II-2} = 6.5$  ,陇东高于陇西 ;陇南山地 (III 区)  $C_{III} = 7.0$  ,为全省最高。该结果与 Daniel 秩相关系数 ( $R_s$ ) 检验结果的区域分布趋势相一致。也就是说 ,发生沙尘暴后沙(土)尘伴随着大风天气 ,将源地的沙(土)尘物质扬起。其中一些较大颗粒物在源地周围地区很快得到沉降 ,而  $< 20 \mu\text{m}$  的沙(土)

尘则随上升气流进入高空,在西风气流的推动下被携带和搬运到了2 000~2 500 km 以外的陇东、陇西黄土高原和陇南山地上空。随着强冷锋向东南移动和逐渐减弱,一部分沙尘(或粉尘)在这些地区靠自身的重力作用而自然沉降;另一部分粒径更小的微粒尘则被传输到更远的地方。这些微粒可作为凝结核经碰撞、湍流扩散、静电吸引和互相作用,最终形成粗粒子而沉降或以湿沉降的形式返回地表。笔者曾对兰州市降尘的粒度分布状况进行研究<sup>[12]</sup>,由于未得到外省同期下风向更远地区的背景点降尘资料,因而还不能确定以上10 多次沙尘暴在甘肃境外最远输送距离的沉降状况和范围。

2.2 沙尘暴降尘在甘肃的沉降量

造成甘肃境内西北部与东南部降尘量差别较大的原因是,随海拔高度下降和搬运距离的增加,气流对沙尘的搬运能力会逐渐减弱,致使不同颗粒物质按由粗至细的次序沉降。对各区域内沙尘暴的降尘量和所占比例进行统计,结果表明,河西走廊区域降尘量占甘肃全省降尘总量的81.54%,其中金昌和武威合计占50.98%。东南部各区域则明显下降。从对沙尘暴降尘量的统计结果可知,其分布区域是以河西走廊的东部为中心,并向大气环流下游地域扩散。降尘量也相应逐渐减少,形成一个自西北向东南的梯度分布(见图2)。

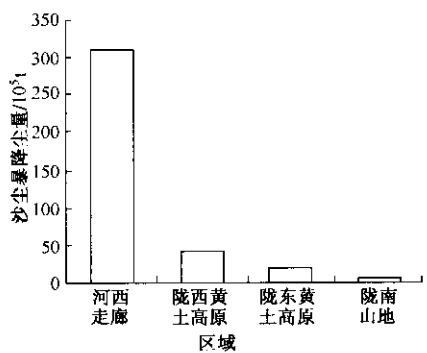


图2 西北地区沙尘暴降尘在甘肃各区域的总量分布状况  
Fig.2 Northwest region sand storm sink decline dust at Gansu each district total measure distribute condition

2.3 沙尘暴降尘的输送和迁移

根据对沙尘暴源地至甘肃境内可测到的沙尘暴降尘最远距离可知,其输送距离约为430~2 500 km<sup>[11]</sup>。如1991年3月25—30日发生在青海茫崖地区大范围的强沙尘暴和1993年6月23—24日发生在新疆和田大范围的特强沙尘暴,其沉降物都影响到了甘肃的陇西黄土高原、陇东黄土高原和陇南山地一带,使这些地区当月的自然降尘量大幅上升。由源地至甘肃境内最

远测点的直线距离分别达到了1 500和2 500 km。由此可见,沙尘暴的输送是跨地区的。沙尘暴不只是一种特异的灾害性天气,同时还是一种跨越地区的大范围大气污染现象。由于被收集到的沙尘暴降尘,只是以自身重力自然沉降的颗粒物,而其中较小的颗粒依靠自身的重力较难沉降,所以在无湿沉降的机会时,它们会被输送到更远的地方,所影响和污染的区域也会更大。

2.4 甘肃沙尘暴的化学组分和粒径分布特征

根据近年采集到的沙尘暴降尘样品,笔者使用中子活化分析法和X射线吸收-沉降法对沙尘暴沉降物中的Al,As,Au,Br,Ca,Ce,Co,Cr,Cs,Cl,Dy,Eu,Fe,Hf,In,Ir,K,La,Mg,Mn,Na,Nd,Ni,Rb,Sb,Sc,Se,Sm,Ta,Tb,Th,Ti,Tm,U,V,W,Yb和Zn等38种化学元素的粒径和粒径分布状况进行了全面测定,并进行了相关的研究<sup>[12-13]</sup>。

2.4.1 沙尘暴降尘的化学组分

对1995年5月16日甘肃沙尘暴降尘中,元素组分与地壳元素丰度的富集因子( $EF_{地壳}$ ),以及沙尘暴降尘中元素组分与甘肃土壤环境背景值富集因子( $EF_{土壤背景}$ )进行统计。以上富集因子在计算时选用的归一元素均为Al。以地壳元素丰度为参考物计算出的 $EF_{地壳}$ 称为相对于地壳的富集度。以甘肃土壤环境背景值为参考物计算出的 $EF_{土壤背景}$ 称为相对于土壤的富集度。一般情况下,当某元素的 $EF$ 显著大于1时表明,与地壳或土壤环境背景值组分对比,该元素在沉降物中被富集。

分析结果表明: $EF_{地壳}$ 和 $EF_{土壤背景}$ 均大于2.0的有Eu,K,Tb和Zn;均为1.0~2.0的有Ca,Ce,Dy和Yb;均小于1.0的有Fe,La,Mg,Sm,Ti,U和W。

2.4.2 沙尘暴降尘的粒径分布特征

敦煌和武威发生特大沙尘暴时,对现场采集样品的分析表明(见表2),两者粒径有所不同,前者粒径主要集中在10~100  $\mu\text{m}$ ,后者粒径主要集中在1~30  $\mu\text{m}$ 。

2.5 1993年5月5日特大沙尘暴降尘在甘肃的沉降状况

1993年5月5日发生在甘肃河西走廊金昌特大沙尘暴全过程(指造成危害的时间)历时11 h。该次特大沙尘暴对甘肃大气环境降尘影响较大<sup>[14]</sup>。单位面积的降尘总量较多年同期平均值上升0.14~11.78倍,全省境内80.7%的土地面积上共沉降沙尘暴降尘 $1.245 3 \times 10^7$  (见表3)。由沙尘暴降尘量的地域分布看,源地金昌及周围的武威降尘量分别占全省降尘总量的56.16%和28.56%,两地累计占全省总量的84.72%;河西走廊占全省总量的91.38%;其次是陇西黄土高

表 2 武威和敦煌地区沙尘暴沉降物粒径测定结果

Table 2 Sand storm sink accumulate thing grain path measurement result in Wuwei and Dunhuang

地点	时间	降尘量/ ( $t \cdot km^{-2} \cdot d^{-1}$ )	粒径/ $\mu m$			相对频率的累计比例/%				
			粒径 范围	质量中 值直径	几何平 均直径	粒径/ $\mu m$				
						1 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 30	30 ~ 100	100 ~ 300
武 威	1995 - 05 - 16	59.85	1.0 ~ 300	5.70	11.82	33.71	23.93	34.96	6.26	1.13
敦 煌	1996 - 05 - 30	65.23	0.1 ~ 100	25.41	4.35	0	9.41	51.12	39.47	0

表 3 1993 - 05 - 05 特大沙尘暴在甘肃各区域的沉降状况

Table 3 Big sand storm at Gansu each district of sink decline condition statistics in March 5 ,1993

所处区域 ( 编号 )	市/地	降尘量/ ( $t \cdot km^{-2}$ )	区域内降尘 总量/ $10^4 t$
河西走廊( I )	嘉峪关	12.57	1.6
	酒 泉	3.45	65.9
	张 掖	3.77	15.4
	金 昌	729.06	699.4
	武 威	107.03	355.7
	均值或累计	171.18	1 138.0
陇中黄土高原( II - 1 )	兰 州 <sup>1)</sup>		
	白 银	10.59	21.2
	定 西	15.32	30.0
	临 夏 <sup>1)</sup>		
	均值或累计	12.96	51.2
	陇东黄土高原( II - 2 )		
	平 凉	6.61	7.4
	庆 阳	14.55	39.4
	均值或累计	10.58	46.8
陇南山地( III )	天 水	6.5	9.3
	陇 南 <sup>1)</sup>		
	均值或累计	6.5	9.3
甘南高原( IV ) <sup>2)</sup>			
甘肃境内均值或累计		50.30	1 245.3

1 沙尘暴未经过该地区 ; 2 因数据少未参加统计。

原占 4.11% ,陇东黄土高原占 3.76% ,陇南山地占 0.75%。

陈敏连等认为<sup>[ 15]</sup> , 1993 年 5 月 5 日特大沙尘暴天气的影响范围为 :西起金昌、永昌与山丹、民乐之间 ,东沿黄河干流在白银、兴仁、中卫和平罗一线 ,南沿祁连山北麓 ,北面接近巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠交接处中泉子、锡林高勒和石咀山一带。东西最长约 368 km ,南北最大跨度 328 km ,总面积约  $7 \times 10^4 km^2$ 。但从沙尘暴对大气环境的影响角度看 ,受沙尘暴影响的区域在甘肃境内就已达到  $35.5 \times 10^4 km^2$ 。笔者认为 ,该次特大沙尘暴在甘肃所造成的大气降尘的污染面积 ,要比天气影响的范围大得多 ,二者相差达 4 倍之多。

2.6 沙尘暴沉降物危害

在 1993 年 5 月 5 日发生特大沙尘暴期间 ,位于金昌市的金川公司 30 km<sup>2</sup> 的尾矿坝(选矿排泄区)内 ,沉积厚度达数 m 的金属矿物粉末 ,在沙尘暴中风蚀深度平均达 10 cm ,向大气层中输入有害金属矿末约  $3 \times 10^5 m^3$ 。据了解 ,该尾矿中硫、铬、镍、铜和钴的含量较高。

另外 ,永昌电厂的储灰场在该次特大沙尘暴中被风蚀深度平均也在 50 cm ,它也向大气层中输入了约  $1.65 \times 10^5 m^3$  的灰量<sup>[ 16]</sup>。由此可见 ,沙尘暴不只是通过西风急流向下游输送沙尘 ,同时还会向下游地区输送有害物质 ,它不会仅会危害人体健康 ,也会危害土壤和农作物 ,并对其造成潜在的和长期的影响。笔者也曾对甘肃兰州大气颗粒物中的水溶性粒子浓度及污染状况进行过研究 ,在 13 种被测水溶物中 ,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 所占比例较高 ,分别占总离子的 31.4% 和 27.8%<sup>[ 17]</sup>。

黄雪莲等通过沙尘暴 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 对大鼠的细胞毒性试验 ,认为其对大鼠的细胞毒性大 ,可刺激大鼠肺泡巨细胞分泌炎症因子 NO ,IL - 8 及 TNF - α 等<sup>[ 18]</sup>。

3 结论

a. 沙尘暴不只是一种特异的灾害性天气 ,同时还是一种跨地区的大范围大气污染现象。沙尘暴不只是通过西风急流向下游输送沙尘 ,同时还会向下游地区输送有害物质 ,在无湿沉降的机会时 ,则会被输送到更远的地方 ,所影响和污染的区域会更大。它不仅会危害人体健康 ,也会危害土壤和农作物 ,并对生态环境造成潜在的和长期的影响。沙尘暴虽然可以传输到很远的地方 ,但破坏性最强和造成危害程度最大、最直接的仍是在源地和源地周围地区。

b. 受沙尘暴降尘的影响 ,近 15 年来甘肃省大气自然降尘值总体水平呈上升趋势。

c. 从沙尘暴对环境的影响角度看 ,受到沙尘暴影响的大气环境区域要比天气影响的范围大得多。二者相差约 4 倍以上。

参考文献 :

[ 1 ] 夏训诚 杨根生 . 中国西北地区沙尘暴灾害及防治 [ M ] . 北京 : 中国环境科学出版社 ,1996 .  
Xia Xuncheng , Yang Gensheng . China northwest region sandstorm disaster and prevention and cure [ M ] . Beijing : China Environmental Science Press ,1996 .  
[ 2 ] 刘树华 刘新民 高尚玉 . 沙尘暴天气成因的初步分析 [ J ] . 北京大学学报 ( 自然科学版 ) ,1994 ,30 ( 5 ) :589 - 596 .  
Liu Shuhua , Liu Xinmin , Gao Shangyu . Sandstorm weather because of first step analysis [ J ] . Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis , 1994 ,30 ( 5 ) :589 - 596 .  
[ 3 ] 王式功 杨德保 金炯 . 我国西北地区黑风暴的成因和对策 [ J ] .

- 中国沙漠,1995,15(1):19-30.
- Wang Shigong, Yang Debao, Jing Jiong. Study on the formative causes and countermeasures of the catastrophic sandstorm occurred in northwest China[ J ]. Journal of Desert Research, 1995, 15(1):19-30.
- [ 4 ] 曲绍厚,李玉英,周明煜,等. 北京地区一次沙尘暴过程的来源[ J ]. 环境科学学报,1984(1):80-85.
- Qu Shaohou, Li Yuying, Zhou Mingyu, et al. Peking region a time dust storm process of source[ J ]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1984(1):80-85.
- [ 5 ] 陈道远. 大气尘埃来源与尘暴[ J ]. 世界沙漠研究,1994(1):10-16.
- Chen Daoyuan. Atmosphere dust source with dust storm[ J ]. World Desert Research, 1994(1):10-16.
- [ 6 ] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析[ J ]. 中国科学( B 辑 ),1984(3):278-288.
- Zhang Deer. Our country history period since then decline dust of weather climatologic first step analysis[ J ]. Science in China( B ),1984,(3):278-288.
- [ 7 ] 张宁,黄维,常沁春,等. 沙尘暴对甘肃大气降尘背景值的影响研究[ J ]. 中国沙漠,1998,18(增1):95-98.
- Zhang Ning, Huang Wei, Chang Qinchun, et al. Research of the effect of sandstorms on dust deposition background value in Gansu province[ J ]. Journal of Desert Research, 1998, 18( suppl. 1 ):95-98.
- [ 8 ] 张宁,康颖琦,刘晓文,等. 甘肃省大气自然降尘背景值的调查和研究[ J ]. 甘肃环境研究与监测,1999,12(2):69-73.
- Zhang Ning, Kang Yingqi, Liu Xiaowen, et al. Investigation and study on background value of natural dustfall in Gansu province[ J ]. Gansu Environmental Study and Monitoring, 1999, 12(2):69-73.
- [ 9 ] 张宁. 甘肃降水化学特征研究[ A ]. 陈志远,刘志荣. 中国南方酸雨[ C ]. 北京:中国环境科学出版社,1996. 264-277.
- Zhang Ning. Gansu decline water chemistry characteristic research[ A ]. Chen Zhiyuan, Liu Zhirong. China south acid rain[ C ]. Beijing:China Environmental Science Press, 1996. 264-277.
- [ 10 ] 钱正安,贺慧霞,张瞿,等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准个例谱及其统计特征[ A ]. 钱正安. 中国沙尘暴研究[ C ]. 北京:气象出版社,1996.
- Qian Zhengnan, He Huixia, Zhang Qu, et al. Our country northwest region sandstorm of ratings standard example and its statistics characteristic[ A ]. Qian Zhengnan. China sandstorm research[ C ]. Beijing:China Meteorological Press, 1996.
- [ 11 ] 张宁,黄维,陆荫,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.
- Zhang Ning, Huang Wei, Lu Yin, et al. Study on the deposition situation of sand-dust storm in Gansu region[ J ]. Journal of Desert Research, 1998, 18(1):32-37.
- [ 12 ] 张宁,牛耘,李春生,等. 兰州市大气降尘沉积物的粒度分布特征研究[ J ]. 干旱环境监测,1998,12(1):15-19.
- Zhang Ning, Niu Yun, Li Chunsheng, et al. Research of the characteristic of the granulometric distribution of the atmospheric [ J ]. Arid Environmental Monitoring, 1998, 12(1):15-19.
- [ 13 ] 张宁,陆荫,李春生,等. 沙尘暴降尘的化学组分和粒度分布特征[ J ]. 甘肃环境研究与监测,1998,11(1):3-7.
- Zhang Ning, Lu Yin, Li Chunsheng, et al. Characteristics of chemical composition and particle size distribution in sand-dust[ J ]. Gansu Environmental Study and Monitoring, 1998, 11(1):3-7.
- [ 14 ] 张宁,倾继组,倪童,等. 930505 特大沙尘暴沙尘在甘肃沉降状况研究[ J ]. 高原气象,2001,20(1):44-50.
- Zhang Ning, Qing Jizu, Ni Tong, et al. Research of dust depositions of 930505 extremely severe sandstorm in Gansu[ J ]. Plateau Meteorology, 2001, 20(1):44-50.
- [ 15 ] 陈敏连,郭清台,徐建芬,等. 黑风暴天气的研究和探讨[ J ]. 甘肃气象,1993,11(3):16-27.
- Chen Minlian, Guo Qingtai, Xu Jianfen, et al. Sand storm weather of study [ J ]. Gansu Weather, 1993, 11(3):16-27.
- [ 16 ] 杨根生,王一谋,赵兴梁. 我国西北地区“5.5”强沙尘暴的危害状况与对策[ J ]. 甘肃气象,1993,11(3):43-48.
- Yang Gensheng, Wang Yimou, Zhao Xingliang. Our country northwest region“5.5”strong sandstorm of endanger condition with counter plan [ J ]. Gansu Weather, 1993, 11(3):43-48.
- [ 17 ] 张宁,吴仁铭. 兰州市大气颗粒物中水溶性离子研究[ J ]. 环境化学,1994,13(5):453-455.
- Zhang Ning, Wu Renming. A study on water soluble ions in atmospheric particulates in Lanzhou city[ J ]. Environmental Chemistry, 1994, 13(5):453-455.
- [ 18 ] 黄雪莲,金煜. 沙尘暴  $PM_{2.5}$  和  $PM_{10}$  对大鼠肺泡巨细胞炎性因子分泌的影响[ J ]. 环境与健康杂志,2004,21(1):38-40.
- Huang Xuelian, Jin Yu. Sandstorm  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  rightness big rat lung bubble big and small after birth sex factor secrete of influence[ J ]. Environment with Health Magazine, 2004, 21(1):38-40.

(责任编辑 孙彩萍)