

# 中国西北及青藏高原沙尘天气演变特征

王劲松<sup>1\*</sup>,任余龙<sup>1</sup>,魏 锋<sup>1</sup>,陶健红<sup>2</sup>,冯建英<sup>1</sup> (1.中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020; 2.兰州中心气象台,甘肃 兰州 730020)

**摘要:** 利用西北地区及青藏高原 177 个气象站 1971~2006 年的观测资料,分析了该区域发生的不同等级的沙尘(浮尘、扬沙、沙尘暴)的空间分布特征、移动规律和变化趋势.结果表明,12 月~翌年 2 月,沙尘暴和扬沙发生的中心位于高原西南部;3 月,除高原西南部外,在河西走廊及其东部也出现沙尘暴和扬沙;4~5 月,高原西南部沙尘暴和扬沙的日数迅速减少,发生区北移到 35°N~40°N 的区域.南疆和河西走廊及其东部,是春季浮尘的高发区.从 12 月到 4 月,沙尘暴和扬沙的高发区是逐渐向北和向东移动的;而浮尘的高发区主要在南疆,不随月份的变化而移动.近 36 来,沙尘的影响范围和发生日数,均呈显著减小的趋势.易于发生沙尘天气的区域,同时也是沙尘发生日数减小趋势最为显著的区域.

**关键词:** 西北地区; 青藏高原; 沙尘天气; 影响范围; 变化特征

**中图分类号:** X16      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-6923(2008)08-0714-06

**Evolution characteristics of dust weather events in Northwest China and the Tibetan Plateau.** WANG Jin-song<sup>1\*</sup>, REN Yu-long<sup>1</sup>, WEI Feng<sup>1</sup>, TAO Jian-hong<sup>2</sup>, FENG Jian-ying<sup>1</sup> (1.Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2.Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China). *China Environmental Science*, 2008,28(8): 714~719

**Abstract:** The dust weather events with different grades (floating dust, blowing sand, and dust storm) were analyzed based on the observation data from 177 meteorological stations in Northwest China and the Tibetan Plateau during 1971~2006. The spatial distribution, moving law and the variation trend of dust weather frequency were revealed for the past 36 years. The occurring center of dust storm and blowing sand located mainly in southwest of the Tibetan Plateau from December to February; in Hexi Corridor and the areas to the east as well as southwest of the Tibetan Plateau in March. From April to May, frequency of dust storm and blowing sand events decreased rapidly in southwest of the Tibetan Plateau, and the main occurring centre moved northward to the region of 35°N~40°N. The higher frequency of floating dust in spring occurred mainly in south Xinjiang, Hexi Corridor and the areas to its east. The centers of dust storm and blowing sand moved gradually northward and eastward from December to April. However, in south Xinjiang region, the occurrences of floating dust did not vary by month. Both frequency and spatial extent of dust weather events demonstrated a remarkably decreasing trend over the past 36 years. The area, which was more prone to dust occurrences, also showed a most remarkable decreasing tendency in dust occurrences at the same time.

**Key words:** Northwest China; the Tibetan Plateau; dust weather; influence extent; variation features

中国西北地区位于东亚内陆,境内有蒙古高原、黄土高原、广阔的沙漠.这里地形地貌特征复杂,沙源丰富,特殊的地貌和干旱的气候特点使该区域成为亚洲沙尘暴贡献量最大的主要源区<sup>[1]</sup>.最近的研究表明,除了西北地区,青藏高原也是一个重要的沙尘源地.由于高原海拔 4000~5000m,较其他源区具有更高的远程传输效率,因此成为沙尘源地之一<sup>[2-3]</sup>.

沙尘微粒所引发的气候学效应,不但对当地

大气能见度、大气光学特征、地-气辐射平衡等产生影响,导致自然生态环境的破坏,而且这些微粒也会造成大范围降尘和大气中气溶胶浓度的增加,对区域气候产生一定的影响<sup>[4-6]</sup>.

研究指出,虽然单个沙尘天气过程具有一定的地域特征,但年沙尘日数的分布却具有较好的

收稿日期: 2008-01-02

基金项目: 中国气象局气候研究开放实验室开放课题(LCS-2006-10)

\* 责任作者, 博士, wjsgs@hotmail.com

空间一致性<sup>[7]</sup>.沙尘天气是在一定的气候背景下产生的.对 1954~2000 年资料的分析表明,我国沙尘天气多发区分别位于南疆盆地和河西地区<sup>[8]</sup>,强沙尘暴多发区主要位于南疆盆地、西北地区东部和华北地区;强沙尘暴发生次数在 20 世纪 50 年代最多,90 年代最少,2000~2002 年又相对增多<sup>[9]</sup>.但总体而言,近 50a 来,我国沙尘暴发生的日数在减少<sup>[10]</sup>.分析认为,风速的减小和气温的升高是沙尘暴天气减少的主要原因,而降水的影响不明显<sup>[11]</sup>.

20 世纪 70 年代以后是气温显著增暖的时期<sup>[12]</sup>,近年来气温仍在继续增暖<sup>[13]</sup>.在气温继续变暖的近几年里,作为重要沙尘源地的中国西北和青藏高原的沙尘天气的演变规律如何,作者将根据近年(2003~2006 年)沙尘天气的资料,对西北地区 and 青藏高原沙尘天气的演变特征作进一步研究.

1 资料处理与研究方法

资料由中国气象局气象信息中心提供.考虑到青藏高原主体,尤其是其西部气象站点的数量少,且建站的时间也晚,为了获取到较多的青藏高原主体上的站点资料,并使研究区中的资料在时间长度上有统一性,所用资料的时间统一截取为 1971~2006 年.西北地区 and 青藏高原有沙尘天气观测的站点总数为 204 站,但由于有些站的数据不连续,去掉这些站后,用来参加计算和分析的站点数为 177 站(图 1).冬季指 12 月~翌年 2 月,春季指 3~4 月,夏季指 6~8 月,秋季指 9~11 月.

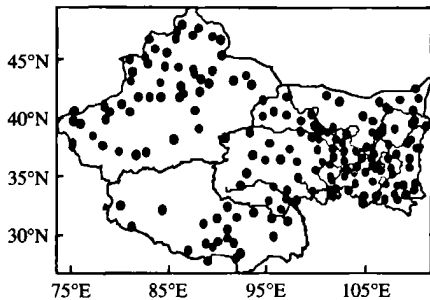


图 1 研究区中的站点分布  
Fig.1 Spatial distribution of observed stations in study area

气象学中,将沙尘天气划分为浮尘、扬沙和沙尘暴 3 个等级<sup>[14]</sup>.沙尘天气日数的日界确定为 20:00 时(北京时),当某一次浮尘、扬沙或沙尘暴过程跨越 20:00 时,按 2 个出现日计算;当某一天浮尘、扬沙或沙尘暴过程出现 2 次或以上时,按 1 个出现日计算.

研究方法:利用各站 1971~2006 年历年来的沙尘日数,统计得到 36a 的平均月、季、年的沙尘日数.通过计算趋势系数和变化速率,来表示沙尘日数随时间变化趋势的性质和幅度.

趋势系数的计算公式为:

$$r_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{i})^2}} \quad (1)$$

式中:  $r_x$  为趋势系数;  $n$  为时间序列长度(年数);  $x_i$  为第  $i$  年气候要素的量值;  $\bar{x}$  为其样本均值;  $\bar{i}$  为:  $\bar{i} = (n + 1) / 2$

气候变化速率(即气候倾向率)的计算公式如下:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i t_i) - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (2)$$

式中:  $t_i$  为  $x_i$  所对应的时间;  $n$  为样本量(年数);  $k$  为气候要素的变化速率,对沙尘天气发生日数的变化速率而言,单位为 d/a.

2 结果与分析

2.1 沙尘天气发生日数的气候特征

由图 2 可见,浮尘、扬沙、沙尘暴平均最大发生日数分别为 210,36,18d.浮尘的多发中心在南疆的和田~民丰一带;扬沙日数最多的地区分别位于内蒙古西部(以海力素为中心)、西藏西部(以狮泉河为中心)以及青海西部(以小灶火为中心);沙尘暴除了在和田~民丰发生较多外,在内蒙古的拐子湖也发生较多.

浮尘发生日数的逐月变化结果显示,以南疆最多,其次为河西走廊及其东部(包括河西走廊及向东一直延伸到宁夏区域)是另一多发区.南

疆浮尘日数 12~1 月最少;2 月开始增加;3~5 月最多;6~8 月维持;9~11 月缓慢减少.河西走廊及其东部浮尘日数 12~1 月较少;2 月开始增加,3~5 月最多;6~10 月消失;11 月开始增加.考虑季节变化,南疆浮尘日数春季最多,夏季次之;秋季比夏季略少,冬季最少.河西走廊及其东部浮尘日数春季最多,夏、秋季基本消失,冬季略增多.

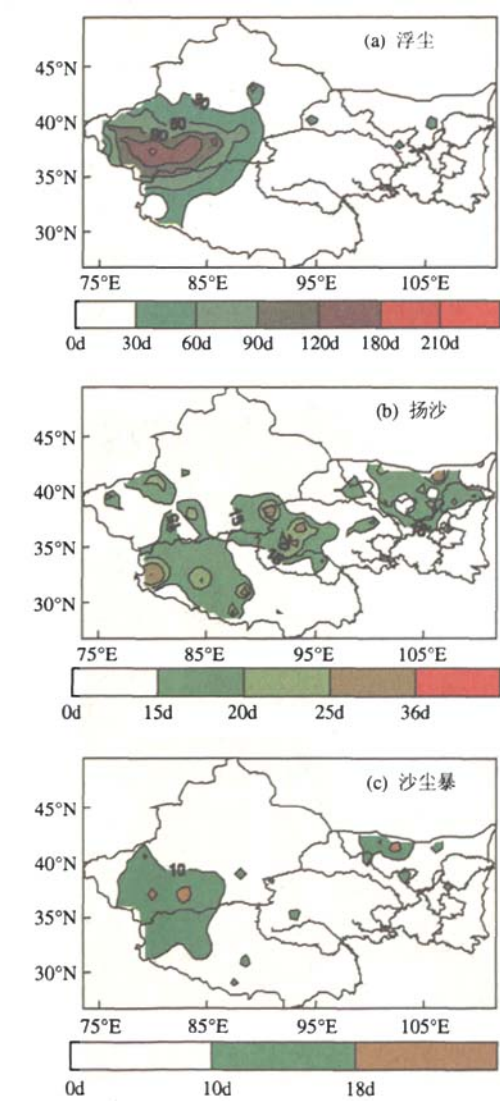


图2 1971~2006 年 3 种类型沙尘天气平均日数的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of annual mean occurrence days of three types of dust weather events during 1971~2006

对扬沙而言,冬季,高原西南部扬沙日数最多;3 月,高原西南部仍然维持较多的扬沙日数,且该区域开始向北和东北方向扩展,表现为高原北部、河西走廊及内蒙西部扬沙日数开始增多;4~5 月,高原西南部扬沙迅速减少,扬沙主要出现在 35°N~40°N 的区域;6~8 月,扬沙发生的区域缩小,集中在南疆附近;9~11 月,扬沙基本消失;12 月又开始增多.

对沙尘暴而言(图 3),冬季,主要出现在高原西南部,且随着时间的推移,高原西南部沙尘暴出现的范围在逐渐扩大.3 月,高原西南部的沙尘暴多发区向北和东北方向扩展,此时高原北部、河西走廊及内蒙西部沙尘暴日数开始增多.这一过程跟扬沙的演变非常相似.4 月,在研究区中约 35°N~40°N 的范围是连成一片的沙尘暴的主要发生区,不过此时沙尘暴高发中心已经由高原西南部转移到了南疆;5 月,连成一片的沙尘暴区大约从 90°E~100°E 的地方断开,形成东(内蒙古西部)、西(南疆盆地)2 个沙尘暴中心;6~8 月,南疆盆地的沙尘暴中心继续维持,而内蒙古西部的沙尘暴中心消失;9~11 月,沙尘暴基本消失;12 月,又开始增多.

比较上述分析结果可知,春季是浮尘的多发期,发生中心在南疆、河西走廊及其东部;夏、秋季,南疆浮尘发生的频率仍然较高,但河西走廊及其东部的浮尘消失.扬沙和沙尘暴的演变较为相似,都是从冬季开始,在高原西南部出现发生日数最多的中心,然后随着时间的推移.3、4 月份,该中心逐渐向北和东北方向推移到 35°N~40°N 的区域;夏季,仅在南疆附近出现扬沙和沙尘暴;秋季,扬沙和沙尘暴基本消失.可见,不同类型沙尘天气发生的开始时间和分布的区域不同.

2.2 沙尘天气影响范围的年代际变化

为从空间上了解沙尘天气影响范围的变化情况,并考虑到春季是沙尘的多发季节,而扬沙和沙尘暴从冬季就开始出现.现以春季 3 种不同类型的沙尘天气和冬季沙尘暴为例,对它们近 36a 中,每 10a 的平均变化做进一步分析.由于浮尘和扬沙发生的次数较沙尘暴多,前两者以平均发生 5d 及以上所影响的区域大小来

讨论其影响范围的变化,后者则以平均发生 2d 及以上所影响的区域大小来讨论其影响范围的变化.从 20 世纪 70 年代到 2006 年,无论春季浮尘、扬沙和沙尘暴,还是冬季的沙尘暴,每 10a 平均影响范围都随着时间的推移在缩小.相比而言,近 36a 来,河西走廊及其东部受到沙尘天气影响的范围明显地越来越小,而南疆受到沙尘天气影响的范围虽然也在缩小,但不如河西走廊及其东部那么明显,且这一特点在浮尘天气中体现得最为突出.

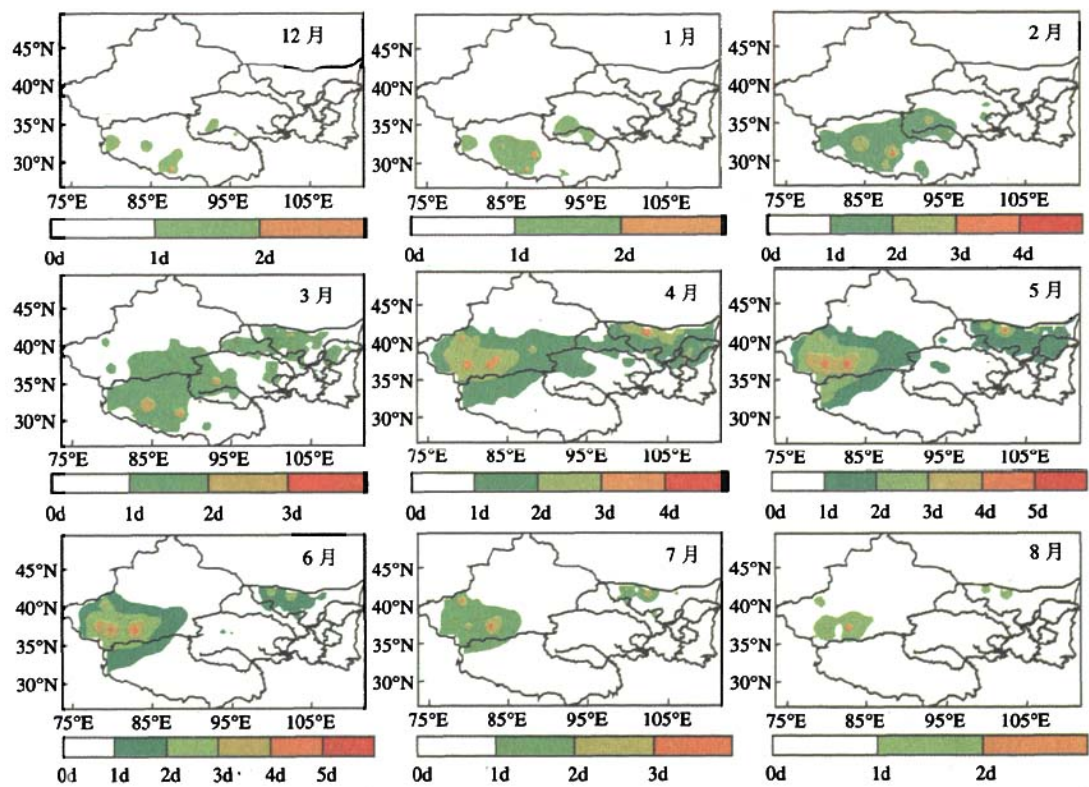


图 3 1971~2006 年历年平均沙尘暴发生日数的逐月空间分布

Fig.3 Spatial distribution of average monthly occurrence days of dust storm from 1971 to 2006

由于 9~11 月沙尘暴基本消失,所以略去了这 3 个月的图

冬季沙尘暴的影响范围在 20 世纪 70 年代最大;在 70 年代的 10a 间,河西走廊及其东部区在冬季也受到沙尘暴的影响,但这一现象在近 36a 来历年平均的冬季图上(图 3)并不能看到,这说明对某要素的长时间尺度的平均,已经平滑掉了其中所包含的一些短时间尺度的信息,表明 20 世纪 70 年代,除高原西南部外,河西走廊及其东部也是冬季沙尘暴发生的主要区域.20 世纪 80 年代,河西走廊及其东部沙尘暴的发生日数减少得十分明显,而高原西南部的沙尘暴发生日数仍然比较多.20 世纪 90 年代,高原西南部沙尘暴影响区的范围急剧缩小,而河西走廊及其东部区则没有受到 2d 以上的沙尘暴天气的影响.近 6a 来的平均结果显示,河西走廊及其东部区、高原西南部均没有受到 $\geq 2d$ 的沙尘暴天气的影响.

**2.3 沙尘天气日数的长期变化趋势**

从上述分析看,秋季仅在南疆易于发生浮尘天气,而其他 3 个季节是 3 种沙尘天气均易发生的季节,因此,重点讨论年、春、夏、冬季沙尘天气的演变趋势.

图 4 给出了近 36a 来冬、春、夏三季、年的

浮尘、扬沙和沙尘暴发生日数的变化倾向率.无论对何种沙尘天气而言,总体的特征都表现为发生日数呈显著减少的趋势;仅在个别地方出现倾向率大于零,即沙尘天气日数呈上升的趋势,但可以看到这种趋势并不显著.浮尘、扬沙和沙尘暴日数的变化倾向率的空间分布具有一个共同的特征:其倾向率的大值或小值区的空间分布,与各自历年平均发生日数的大值或小值区的分布状况是相对应的.也就是说,易于发生沙尘天气的区域,同时也是沙尘天气发生变化最为明显的区域.

冬季,高原西南部是扬沙和沙尘暴的高发区,这里也同时是扬沙和沙尘暴变化倾向率最大的地方,扬沙和沙尘暴的发生日数随时间减少的幅度最大可分别达 8d/10a 和 6d/10a;春、夏季在南疆最易发生沙尘天气,可以看到,春、夏季南疆也是浮尘、扬沙和沙尘暴变化倾向率最大的地方.春季浮尘、扬沙和沙尘暴日数减少的幅度最大可分别达 25d/10a、13d/10a、4d/10a;夏季浮尘、扬沙和沙尘暴日数减少的幅度最大可分别达 20d/10a、11d/10a、5d/10a.

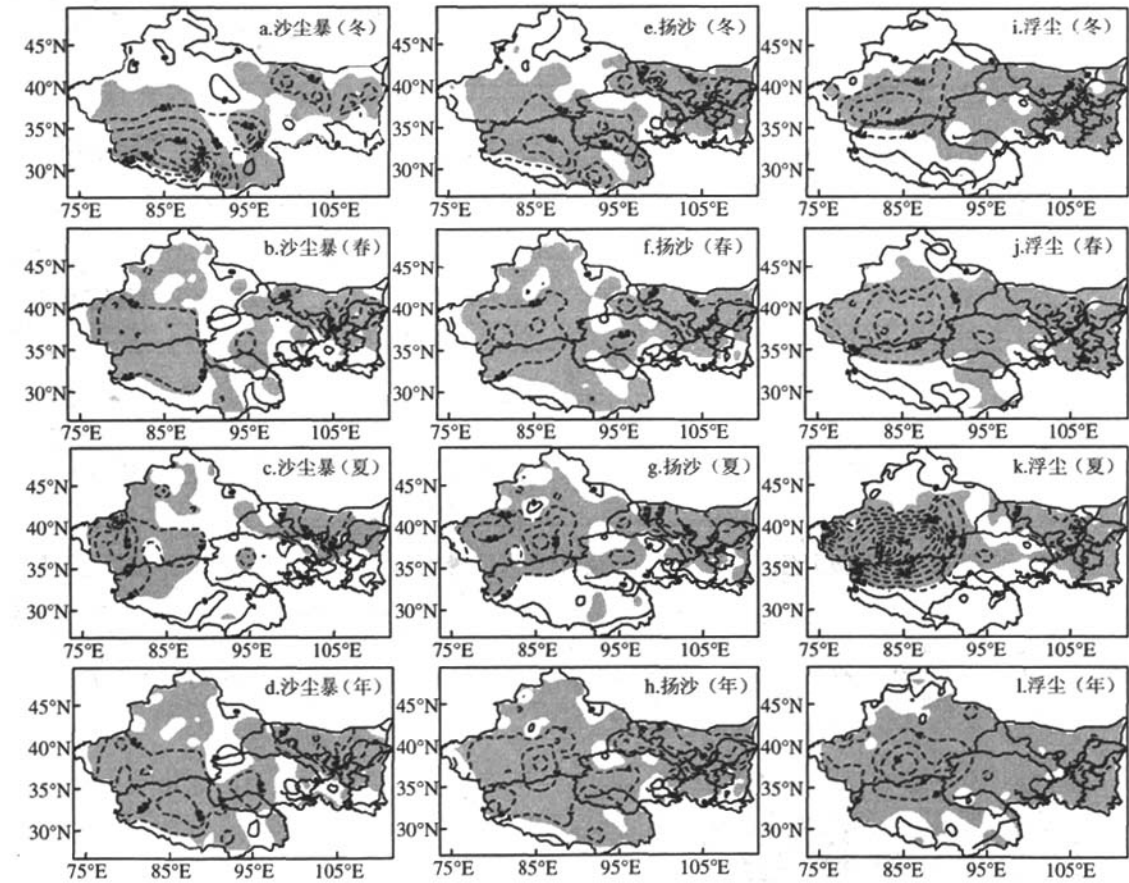


图 4 近 36a 米沙尘暴、扬沙、浮尘变化倾向率  
Fig.4 Trend ratio of occurrence days of sand dust in the past 36 years  
其中实线代表沙尘天气日数增加,虚线代表沙尘天气日数减少,阴影区表示  
变化趋势通过 0.05 显著性检验

南疆春季沙尘日数的减少,与前人对塔克拉玛干地区春季沙尘日数演变研究得到的结论<sup>[15]</sup>是一致的.

### 3 结论

#### 3.1 12 月到翌年 2 月,青藏高原西南部是沙尘暴

和扬沙发生的主要区域;3 月,该区域仍然是沙尘暴和扬沙发生的中心,但此时在河西走廊及其东部也开始出现沙尘暴和扬沙;4~5 月,高原西南部沙尘暴和扬沙日数迅速减少,主要发生区北移到 35°N~40°N 的区域;而浮尘主要出现在春、夏季的南疆和春季的河西走廊及其东部。

**3.2 沙尘暴和扬沙的发生时间和空间分布较为相似,而浮尘的变化与两者有明显的差异:**从 12 月到翌年 4 月,前两者发生的高频区随着月份的增加,是由高原西南部逐渐向北和向东北移动,而浮尘的高发区则主要集中在南疆,不随月份的变化而移动。

**3.3 近 36a 来,沙尘天气的影响范围和发生日数,均呈显著减小的趋势。**冬季,高原西南部是扬沙和沙尘暴减少幅度最大的地方;春、夏季,南疆是沙尘天气减少幅度最大的地方。而上述沙尘天气减少幅度最大的地区也同时是沙尘天气的高发区。

#### 参考文献:

- [1] Zhang X Y, Gong S L, Shen Z X.Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 1. Network observations [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003,108(D9):8032-8039.
- [2] 方小敏,韩永翔,马金辉,等.青藏高原沙尘特征与黄土堆积:以 2003-03-04 拉萨沙尘天气过程为例 [J]. *科学通报*, 2004,49(1): 1084-1090.
- [3] 韩永翔,宋连春,奚晓霞,等.中国沙尘暴月际时空特征及沙尘的远程传输 [J]. *中国环境科学*, 2005,25(增刊):13-16.
- [4] Duce R A, Unni C K, Ray B J, et al.Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: temporal variability [J]. *Science*, 1980,209:1522-1524.
- [5] Arao K, Ishizaka Y.Volume and mass of yellow sand dust in the air over Japan as estimated from atmospheric turbidity [J]. *J. Meteorol. Soc. Jap.*, 1986,1:79-94.
- [6] Tsunogai S. Seasonal variation of atmospheric 210Pb and Al in the western North Pacific region [J]. *J. Atmosph. Chem.*, 1988, 7:389-407.
- [7] 李栋梁,钟海玲,魏 丽,等.中国北方年沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应 [J]. *高原气象*, 2003,22(4): 337-345.
- [8] 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.
- [9] 周自江,章国材.中国北方典型的强沙尘暴事件(1954-2002 年) [J]. *科学通报*, 2003,48(11):1224-1228.
- [10] 范一大,史培军,周俊华,等.近 50 年来中国沙尘暴变化趋势分析 [J]. *自然灾害学报*, 2005,14(3):22-28.
- [11] 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.
- [12] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001 [J]. *J. Climate*, 2003,16:206-223.
- [13] Hansen J, Ruedy R, Sato M, et al. Global warming continues [J]. *Science*, 2002,295:275.
- [14] 中央气象局.地面气象观测规范 [M]. 北京:气象出版社, 1979: 21-27.
- [15] 肖风劲.塔克拉玛干地区春季沙尘演变及气候因素分析 [J]. *中国环境科学*, 2007,27(1):19-23.

**作者简介:** 王劲松(1968-),女(苗族),贵州凯里人,副研究员,博士,主要从事干旱区气候变化的研究,发表论文 30 余篇。

**致谢:** 衷心感谢甘肃省气象信息与技术装备保障中心的陆登荣对本文资料的处理和分析。

## 关于《中国环境科学》网上投稿的通知

《中国环境科学》编辑部为提高稿件处理的网络化水平和采编工作的效率,及时让作者了解稿件的处理情况,自 2008 年 3 月 1 日起已开通网上投稿查稿系统,请登陆网址: <http://www.zghjcx.com.cn> 点击“作者在线投稿”进行注册后再按要求投稿,点击“作者在线查稿”进行查询.本刊不再接受纸件投稿和电子版稿件的 E-mail 投稿.特此通知.

《中国环境科学》编辑部