

文章编号: 1000-0534(2008)05-1088-06

## 夏季风北边缘与沙尘暴的研究

孙国武<sup>1</sup>, 汤 緝<sup>2</sup>, 李江萍<sup>3</sup>

(1. 中国气象局 兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 上海市气象局, 上海 200030;  
3. 兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 使用 1951—2000 年相关资料, 分析了夏季偏南风强度和夏季风北边缘、冬季风指数和春季偏北风以及沙尘暴的年际、年代际变化, 并研究了它们的联系过程。结果表明, 夏季风北边缘与沙尘暴、北边缘与冬季风和冬季风与沙尘暴的距平相关百分率分别是 0.75, 0.58 和 0.70, 而且 7~8 月 110°~120°E 偏南风和 12 月~2 月 90°~100°E 偏北风与 3~5 月 90°~100°E 偏北风的分析结果也相同。它们相互联系的过程是: 夏季偏南风偏强(弱)—北边缘偏北(南)—冬季风偏强(弱)—冷空气偏强(弱)—春季偏北风偏强(弱)—沙尘暴偏多(少)。这些为沙尘暴的长期预测提供了一个新的事实依据。

**关键词:** 夏季风北边缘; 冬季风指数; 沙尘暴

**中图分类号:** P445.<sup>+4</sup>   **文献标识码:** A

### 1 引言

我国沙尘暴主要分布在中国北方的西北和华北地区, 大多数在春季发生。沙尘暴是人类活动和大气环流变异的产物, 是生态环境恶化和沙漠化加剧的标志, 也是当前政府部门、公众和科技界最关心的热点问题。我国气象科学工作者对沙尘暴已做了大量的研究, 在大气环流、天气系统、气象因子、卫星遥感、数值模拟和中小尺度动力研究, 乃至预测预报等诸多方面, 得到了一些有理论和实践意义的结果<sup>[1~13]</sup>。

我国是一个典型的季风国家, 夏季风的活动对我国雨带位移、干旱洪涝等气候异常和极端天气事件的发生有重要影响, 这是众所周知的事实。全球大气环流是一个整体, 季风是大气环流的重要组成部分, 季风活动与沙尘暴是否有联系? 有怎样的联系? 迄今为止, 很少有人涉及, 本文主要探讨亚洲夏季风活动与我国沙尘暴的联系及其这种联系的大气环流背景, 为沙尘暴的长期预测提供一个新的事实依据。

### 2 亚洲夏季风北边缘

#### 2.1 北边缘的确定

亚洲夏季风包括印度季风和东亚季风。在亚洲季风的季节变化中, 南海地区的夏季风爆发最早, 平均在 5 月中旬, 到 6 月中旬, 夏季风进一步增强和北推; 7 月上旬, 夏季风推进到黄淮地区; 7 月下旬和 8 月上旬, 夏季风在我国到达它一年中的最北位置(约 40°~50°N 地区), 然后迅速南退。夏季风每年在我国的最北位置, 称为夏季风北边缘<sup>[14]</sup>。

夏季风北边缘是一个非常复杂并研究多年的问题, 从 1960 年代高由禧等<sup>[15]</sup>用候大雨带, 地面相对湿度冬夏差, 到 1990 年代以来用假相当位温和水汽差<sup>[16]</sup>以及大气可降水量标准化指数<sup>[17~18]</sup>等等, 它们表示的夏季风北边缘, 虽然在地理位置上有或南、或北一些的差异, 但北边缘基本上都位于从东北地区西部—华北地区北部—西北地区东部, 呈 NE—SW 走向的 400 mm 等雨量线附近区域内, 这一区域是我国三北地区的农牧交错带、生态脆弱带和气候敏感带<sup>[19]</sup>。

收稿日期: 2007-09-20; 改回日期: 2008-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40675057)和科技部公益类项目(2004DIB5192)共同资助

作者简介: 孙国武(1937—), 男, 湖北人, 研究员, 主要从事青藏高原气象、干旱气候、环境蠕变和季风等研究

E-mail: guowusun@yahoo.com.cn

本文使用 1951—2000 年 7、8 月 NCEP/NCAR 再分析候平均可降水量(简称 PW)资料, 分辨率为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (经纬度), 分析每年 7 月第 1 候到 8 月第 6 候共 12 个候的逐候平均 PW25 mm 等值线, 从中挑选出 PW25 mm 线在当年的最北位置, 并且该位置稳定持续 3 天以上, 作为该年夏季风的北边缘(图 1)。

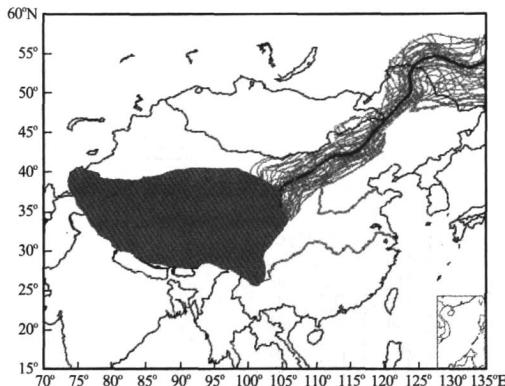


图 1 1951—2000 年逐年夏季风北边缘纬度(细实线)及历年平均纬度(粗实线)变化

Fig. 1 The northern edge latitudes (thin solid line) of summer monsoon and its average ones (thick solid line) derived from NCEP reanalysis data in 1951—2000

从图中可以看出, 105°E 以东, 呈 NE—SW 走向, 其地理位置与文献[14—15, 20]确定的北边缘的地理位置差异很小。本文确定的北边缘比较简明, 与一级气候敏感带(图略)相吻合。

## 2.2 北边缘的年际变化

为了分析我国北方北边缘的年际变化, 我们对  $105^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ (代表西北地区东部)和  $115^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ (代表华北地区)各条经度线上每年北边缘南北位移的纬度位置, 绘制了它们的逐年演变曲线, 发现各条经度线上纬度的年际变化趋势一致, 所以取  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  的平均纬度位置代表我国北方的北边缘。

图 2 给出了  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$  北边缘的年际变化曲线, 同时也附带给出了  $110^{\circ}\text{E}$  和  $120^{\circ}\text{E}$  的曲线。从图中可以看出, 其年际变化是明显的。在  $110^{\circ}\text{E}$ , 北边缘最北达到  $45.2^{\circ}\text{N}$ ; 最南仅到  $36.1^{\circ}\text{N}$ , 相差 9 个纬距。50 年中有 72% 的年份在  $38^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$  之间摆动, 平均位置为  $40.2^{\circ}\text{N}$ 。在  $120^{\circ}\text{E}$  北边缘最北达到  $55.4^{\circ}\text{N}$ , 最南仅到  $38.5^{\circ}\text{N}$ , 相差约 7 个纬距, 50 年中有 70% 的年份在  $44^{\circ}\sim 48^{\circ}\text{N}$  之间摆动, 平均位置为  $46.1^{\circ}\text{N}$ 。从图 2 中还可以看出,  $110^{\circ}\text{E}$  和

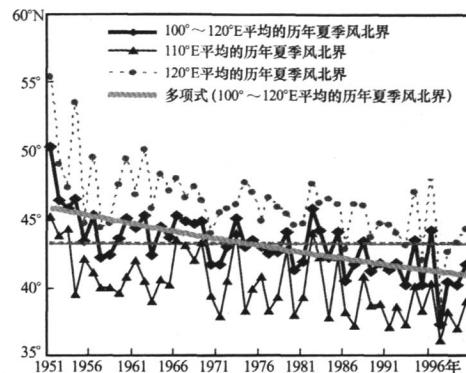


图 2 1951—2000 年夏季风北边缘平均纬度年际变化曲线

Fig. 2 The interannual change of northern edge latitudes of summer monsoon from 1951—2000

$120^{\circ}\text{E}$  的逐年变化曲线趋势基本一致, 这样就可以以  $110^{\circ}\text{E}$  和  $120^{\circ}\text{E}$  平均的北边缘位置来表示北边缘在我国北方地区的活动(图 2 中的粗实线)

## 2.3 北边缘的年代际变化

夏季风北边缘不仅有明显的年际变化, 而且也有明显的年代际变化。图 2 表明, 从 1951—2000 年, 北边缘的趋势线(图 2 中的灰色实线)是下降的, 即北边缘有逐渐向南移的趋势, 1950 年代最偏北, 1960 年代和 1970 年代次之, 1980 年代和 1990 年代最偏南。表 1 的统计结果也表明了它的年代际变化趋势。从 1950 年代至今, 北边缘基本上是每 10 年平均向南位移  $0.3\sim 1.4$  个纬距, 尤其是 1980—1990 年代, 平均向南位移了 1.4 个纬距。

表 1 夏季风北边缘年代际变化

Table 1 The decadal change of the northern edge of summer monsoon

年代	平均位置/ $^{\circ}\text{N}$
1951—1960	45.1
1961—1970	44.2
1971—1980	43.0
1981—1990	42.7
1991—2000	41.1

## 3 我国北方的沙尘暴

近年来, 对我国北方发生沙尘暴的日数和过程次数以及强度标准、源区等的统计分析颇多, 虽然

各自的统计结果略有差异,但沙尘暴总的时间演变趋势还是比较一致的<sup>[1-3, 21]</sup>。自 1950 年代以来,我国北方沙尘暴发生次数或沙尘暴日数总体上呈波动减少趋势,其中 1950 年代最多,1960—1970 年代次之,1980—1990 年代进一步减少,1990 年代最少。

图 3 是根据文献[21—22]的资料绘制的。图中最上面的曲线是我国北方地区(简称 A 区)的年沙尘暴总日数,中间的曲线是我国北方 5 大沙尘暴源区(河西走廊、南疆盆地、阿拉善高原、鄂尔多斯高原和浑善达克沙地,简称 B 区)的多发中心站(民勤、和田、伊克乌素、拐子湖和朱日和)沙尘暴年总日数;最下面的曲线是河西走廊(简称 C 区)沙尘暴年发生次数。从图中可以看出,这 3 条曲线的年际和年代际变化基本一致,沙尘暴的发生从 1950 年代起逐渐减少,到 1990 年代减到最少。另外,宁夏(简称 D 区)各年代沙尘暴次数的变化趋势也是如此<sup>[23]</sup>(图略)。表 2 是 A、B、C 和 D 区沙尘暴每 10 年的年平均日数(或次数)的统计数据。

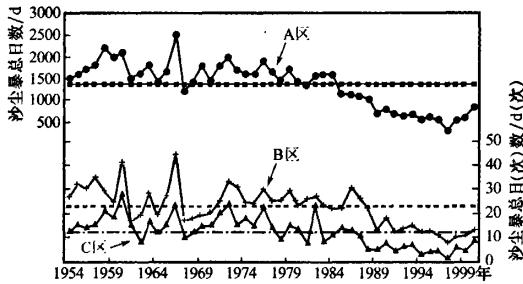


图 3 1954—2000 年沙尘暴年际变化曲线

A 区: 北方地区, B 区: 北方 5 大沙尘暴源区, C 区: 河西走廊

Fig. 3 The interannual change curve of sand-dust storm from 1954 to 2000. A: Northern China,  
B: Five sand-dust sources of Northern China,  
C: Hexi corridor

## 4 夏季风北边缘与沙尘暴的联系

### 4.1 北边缘与沙尘暴相联系的事实

#### 4.1.1 年代际变化趋势分析

从 1950—1990 年代,北边缘和我国北方沙尘暴发生总日数的变化趋势相同,两者都呈下降趋势(见图 2、图 3),表明北边缘偏北的年份,我国北方沙尘暴偏多;反之则偏少。从表 1、表 2 和图 4 也可以看出这一变化趋势,当 1950 年代沙尘暴最多时(1843 个沙尘暴日),北边缘也最偏北(45.1°N);

当 1990 年代沙尘暴最少时(599 个沙尘暴日),北边缘也最偏南(41.1°N)。

表 2 沙尘暴年代际变化

Table 2 The interdecadal change of the sand-dust storm

年份	各区沙尘暴日数			
	A	B	C	D
1954—1960	1843	31.2	17.6	31.0
1961—1970	1630	22.7	14.3	12.4
1971—1980	1680	26.8	13.7	17.4
1981—1990	1198	22.9	10.5	10.2
1991—2000	599	11.9	4.8	3.3

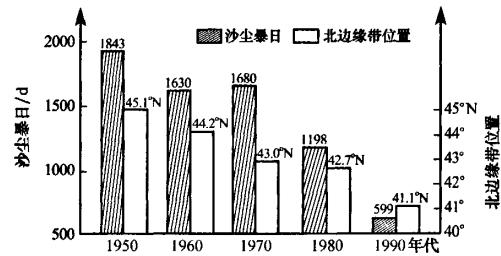


图 4 夏季风北边缘与沙尘暴年代际变化

Fig. 4 The interdecadal change on the northern edge and sand-dust storm

#### 4.1.2 年际变化距平相关分析

我们统计了 1953—1999 年每年北边缘的正、负距平,正距平表明北边缘大于历年平均值,位置偏北;负距平表明北边缘小于历年平均值,位置偏南。同样统计了 1954—2000 年沙尘暴日数,正、负距平分别表明沙尘暴日偏多、偏少。然后统计两者的距平相关,因为北边缘出现在 7、8 月<sup>[14]</sup>,对应次年春季的沙尘暴,两者的正相关百分率为 74.5%(35/47, 表略),通过了 0.01 的显著性水平检验。说明北边缘与沙尘暴有联系,北边缘偏北(南)时,沙尘暴偏多(少)。

#### 4.1.3 转折趋势分析

1954—2000 年中,北边缘和沙尘暴日数似乎在 1979—1980 年前后有一个较明显的转折,1979 年以前,北边缘偏北的年份占 73%,沙尘暴偏多的年份占 92%;1980 年以后正好相反,北边缘偏南的年份占 71%,沙尘暴偏少的年份占 81%,这表明两者在转折期以前或以后的变化也是相同的。事实上,1970 年代后期到 1980 年代初期在气候上存在一个突变期<sup>[24]</sup>。

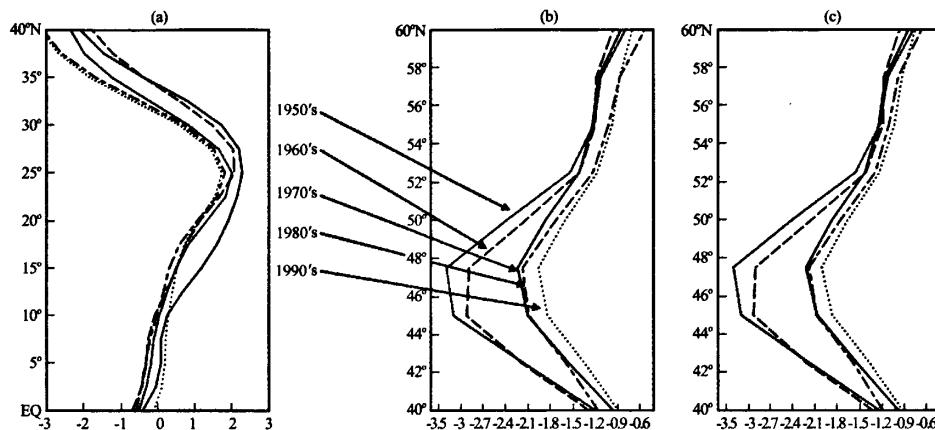


图 5 1950—1990 年代 7~8 月  $110^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$ (a)、12 月~2 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$ (b)  
和 3~5 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$ (c)  $700\text{ hPa}$  经向风剖面

Fig. 5 The longitude cross-section of  $700\text{ hPa}$  from 1950's to 1990's, (a)  $110^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$  from July to August, (b)  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  from December to February, (c)  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  from March to May

#### 4.2 北边缘与沙尘暴相联系的过程

夏季风北边缘的位置变动与夏季风的强度和进退相联系, 而冬季风的活动又以东亚寒潮爆发为主要特征。通过计算 1954—2000 年北边缘位置和冬季风指数<sup>[22]</sup>的年际变化距平相关, 结果表明两者的正相关百分率达 0.58, 通过了 0.01 的显著性水平检验。同时还计算了 1954—2000 年的冬季风指数与次年春季沙尘暴日数的年际变化距平相关, 两者的正相关百分率达 0.70, 通过了 0.01 的显著性水平检验。

从这些统计事实不难看出, 当夏季风北边缘偏北(南)时, 冬季风偏强(弱), 沙尘暴偏多(少)。文献[22]在分析河西走廊沙尘暴时也得到了相同的结果, 即强的冬季风对应春季沙尘暴多发时期; 弱的冬季风对应春季沙尘暴较少时期。

除了上述的北边缘, 冬季风和沙尘暴的年际变化对应关系较好外, 它们的年代际变化趋势也是较一致的。冬季风 1950, 1960, 1970, 1980 和 1990 年代的平均指数分别是 0.79, 0.01, 0.77, -0.09 和 -0.88。显然, 1950—1970 年代冬季风较强; 1980—1990 年代冬季风较弱。这正好与本文 1、2 节分析的北边缘 1950—1970 年代偏北、1980—1990 年代偏南和沙尘暴 1950—1970 年代偏多、1980—1990 年代偏少的结果相同。而且 50 年中, 1950 年代北边缘最偏北, 则冬季风也最强, 沙尘暴也最多; 1990 年代北边缘最偏南, 则冬季风也最偏

弱, 沙尘暴也最少。

上述的北边缘、冬季风指数和沙尘暴的联系过程, 在图 5 中得到了反映。从图 5a 可以看出, 7~8 月  $110^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$  的经向风在  $25^{\circ}\sim30^{\circ}\text{N}$ , 偏南风 1950, 1960 和 1970 年代强于 1980 年代和 1990 年代; 从图 5b 可以看出, 12 月~2 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  的经向风在  $46^{\circ}\sim48^{\circ}\text{N}$ , 偏北风 1950, 1960 和 1970 年代强于 1980 年代和 1990 年代; 图 5c 也是如此。这表明 7~8 月偏南风强时, 当年 12 月~次年 2 月和次年 3~5 月的偏北风也强。

不仅年代际变化如此, 年际变化也如此, 通过计算 50 年(1951—2000 年)逐年最大经向风的距平相关, 表明 7~8 月  $110^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏南风与 12 月~2 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏北风的相

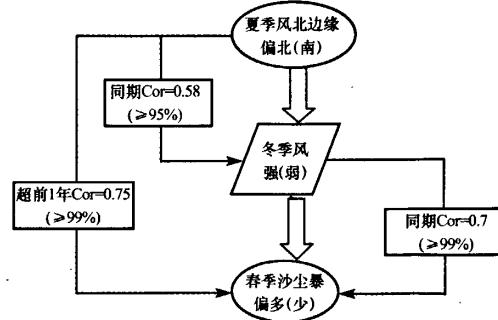


图 6 相关示意图

Fig. 6 Correlation schematic diagram

关百分率为 62%；12 月～2 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏北风与 3～5 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏北风的相关百分率为 65%。

以上统计表明，它们相互联系的过程是：夏季风偏强（弱），北边缘偏北（南），冬季冷空气偏强（弱），春季偏北风偏强（弱），沙尘暴偏多（少）（图 6）。

## 5 小结

（1）夏季风北边缘（1951—2000 年平均）， $105^{\circ}\text{E}$  以东，呈东北—西南走向，从东北地区西部—华北地区北部—西北地区东部。北边缘有明显的年际、年代际变化，每年北边缘的地理纬度相差较大，约 7~9 个纬距。从 1951—2000 年，北边缘纬度的年际变化曲线呈下降趋势，即逐渐偏南，1950 年代至今，北边缘每 10 年平均南移 0.3~1.4 个纬距，1950 年代最偏北，1960 年代和 1970 年代次之；1980 年代和 1990 年代偏南，1990 年代最偏南。

（2）我国北方的沙尘暴，自 1950 年代以来，总体呈波动减少趋势，1950 年代最多，1960 年代和 1970 年代次多，1980 年代较少，1990 年代最少。A 区（我国北方）、B 区（5 个源区的中心站）、C 区（河西走廊）和 D 区（宁夏）的统计数字亦是如此。

（3）夏季风北边缘、冬季风指数和沙尘暴总日数年际变化之间的距平相关，均  $\geq 0.01$  的显著性水平检验。北边缘与沙尘暴的正相关百分率达到 0.75；北边缘与冬季风指数的正相关百分率达到 0.58；冬季风指数与沙尘暴的正相关百分率达到 0.70。表明夏季风北边缘偏北（南）时，冬季风偏强（弱），沙尘暴偏多（少）。而且它们的年代际变化趋势也是如此，从 1950—1990 年代，三者都呈下降趋势，1950 年代北边缘最偏北，冬季风最强，沙尘暴最多；1960 年代和 1970 年代三者次之；1980 和 1990 年代三者又次之，1990 年代北边缘最偏南，冬季风最弱，沙尘暴最少。

（4）7~8 月  $110^{\circ}\sim120^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏南风与 12 月～2 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏北风的距平相关百分率为 62%；12 月～2 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏北风与 3～5 月  $90^{\circ}\sim100^{\circ}\text{E}$  每年的最大偏北风的距平相关百分率为 65%。表明夏季偏南风和冬季偏北风、冬季偏北风和春季偏北风在夏季、冬季和次年春季的强度变化是一致的。它们相互联系的过程是：夏季偏南风偏强（弱）—北边缘偏

北（南）—冬季风偏强（弱）—冷空气偏强（弱）—春季偏北风偏强（弱）—沙尘暴偏多（少）。

## 参考文献

- [1] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106~111
- [2] 李耀辉. 近年来我国沙尘暴研究的新进展[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 616~622
- [3] 王式功, 王金艳, 周自江, 等. 中国沙尘暴的区域特征[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 193~200
- [4] 王炜, 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
- [5] 张莉, 丁一汇, 任国玉. 我国北方沙尘天气演变趋势及其气候成因分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(5): 583~592
- [6] 陈楠, 陈晓光, 赵光平. 宁夏不同强度沙尘暴环流差异特征的对比分析[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 680~686
- [7] 尤凤春, 史印山, 付桂琴, 等. 河北省沙尘暴天气成因分析[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 642~647
- [8] 钟海玲, 李栋梁. 中国北方 4 月沙尘暴与西风环流的关系[J]. 高原气象, 2005, 24(1): 104~111
- [9] 毛睿, 龚道溢. 华北春季沙尘暴频次与环流年际变率的相关分析[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 1023~1030
- [10] 尹晓惠, 时少英, 张明英, 等. 北京沙尘天气的变化特征及其沙源地分析[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 1039~1044
- [11] 王建鹏, 沈树立, 刘小英, 等. 西北地区一次沙尘暴过程的诊断分析及地形影响的模拟试验[J]. 高原气象, 2006, 25(2): 259~267
- [12] 姜学恭, 赵琳那. 一次蒙古气旋型强沙尘暴的数值模拟试验[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 672~679
- [13] 刘景涛, 钱正安, 姜学恭. 中国北方特强沙尘暴的天气系统分型研究[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 540~547
- [14] 汤绪, 孙国武, 钱维宏. 百年亚洲季风研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(特刊): 140~152
- [15] 高由禧等. 东亚季风的若干问题[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 58~80
- [16] Zeng X, R Lu. Globally unified monsoon onset and retreat indexes[J]. J Clim, 2004, 17: 2241~2248
- [17] 陶诗言, 伊兰. 青藏高原在亚洲季风区水分循环中的作用. 第二次青藏高原大气科学试验理论研究进展[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 204~215
- [18] 秦大河. 中国西部环境演变评估(综合卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 1~80
- [19] 丁一汇, 王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 111~112
- [20] 钱维宏. 天气学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 171~174
- [21] 周自江, 章国材. 中国北方典型的强沙尘暴事件(1954—2002) [J]. 科学通报, 2003, 48(11): 1224~1228
- [22] 张存杰, 汤绪, 李耀辉. 河西走廊沙尘暴特征及气候成因分析[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 18~22
- [23] 陈晓光, 刘庆军, 张智, 等. 宁夏与甘肃沙尘暴过程的时空分

- 布对比研究[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 1—5  
[24] 王绍武, 朱锦红. 国际关于年代际变率的研究[J]. 气象学报,

1999, 57(3): 376—383

## Relationship between Northern Edge of the East Asian Summer Monsoon and Sand-Dust Storm

SUN Guo-wu<sup>1</sup>, TANG Xu<sup>2</sup>, LI Jiang-ping<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Drought Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China;  
2. Shanghai Meteorological Bureau, Shanghai 200030, China;  
3. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Using NCEP/NCAR and sand-dust storm data, the summer south wind, northern edge, winder monsoon index, spring north wind and sand-dust storm were analyzed on their interannual and interdecadal change. And their contact process each other were investigated. The results are as follows: The summer monsoon is stronger(weaker)—the northern edge is far north(south)—the winter monsoon is stronger(weaker)—the winter cold air is stronger(weaker)—the spring north wind is stronger(weaker)—the sand-dust storm is more(less), and provides the new idea for long-term forecast.

**Key words:** The northern edge of summer monsoon; Winter monsoon index; Sand-dust storm