

文章编号:1000-694X(2008)04-0717-07

## 西北地区东部沙尘暴转型对气候 和生态环境变化的响应

陈楠<sup>1,2</sup>, 赵光平<sup>1,2\*</sup>, 陈豫英<sup>1</sup>, 郑广芬<sup>1</sup>, 彭维耿<sup>3</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 3. 民航银川空中交通管理站技术保障部, 宁夏 银川 750011)

**摘要:** 利用西北地区东部近 50 a 较完整的沙尘暴资料序列和 1981 年以来 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数据, 通过量化反演关键区植被覆盖率, 并结合土地详查等代用资料的校准, 对西北地区东部沙尘暴转型的生态演变化特征与基本型态及沙尘暴过程发生频次、持续时间和高发站沙尘暴启动风速的年代际演变特征进行了综合分析。结果表明: 1951 年以来, 西北地区东部沙尘暴过程发生频次出现了由多到少的明显转型, 年突变出现在 1987 年, 春季突变出现在 1986 年; 近 50 a, 该区域年 NDVI 指数振荡幅度较大, 并在波动中略有减小, 生态环境整体呈退化趋势, 在此背景下, 沙尘暴过程持续时间明显增加, 启动风速显著降低。依据生态/气候影响分析模型, 在不同生态/气候型态下, 西北地区东部沙尘暴过程频次和持续时间有明显差异, 气候变化对沙尘暴过程发生频次具有明显的驱动作用, 而生态环境的变化对沙尘暴过程持续时间有显著的调节与控制作用。

**关键词:** 沙尘暴转型; 生态/气候影响模型; 驱动; 西北地区东部

中图分类号: P445 文献标识码: A

我国沙尘暴受地理环境、下垫面状况及冷空气移动路径等诸多因素的制约, 呈现出显著的区域性特征。众多研究指出<sup>[1-4]</sup>, 影响我国的沙尘暴主要有 5 个源区: 即蒙古国东南部戈壁荒漠区、哈萨克斯坦东部沙漠区、浑善达克沙地、巴丹吉林沙漠、塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠。与此相对应, 我国有两大沙尘暴高发区, 分别位于甘肃河西走廊—内蒙阿拉善盟—宁夏平原—陕西榆林一带以及新疆塔克拉玛干沙漠周边地区。

西北地区东部地处干旱荒漠区向半干旱草原过渡地区, 生态环境十分脆弱, 是我国西北路径沙尘粉尘补充、东输的必经之地。王涛等<sup>[5-6]</sup>通过野外调查和遥感监测分析表明, 从 20 世纪 80 年代中期到 2000 年, 中国北方沙漠化土地局部有所逆转, 面积减少, 程度有所减轻, 但整体上, 近 50 a 中国北方大部地区沙漠化面积呈加速发展趋势, 尤其近十几年的发展速度较以前有明显增加。朴世龙等<sup>[7]</sup>, 史培军等<sup>[8]</sup>利用 NOAA-AVHRR 的 NDVI 数据对我国土地利用/覆盖的动态变化进行了研究; 马明国等<sup>[9]</sup>利用相同的数据对西北地区植被覆盖的动态监测显示, 近 21 a 来, 西北地区植被覆盖存在普遍退化的趋势; 而邓朝平

等<sup>[10]</sup>研究指出: 22 a 间, 西北地区植被以增加趋势为主, NDVI 减小的地区主要分布在西北地区东部。

沙尘暴是生态环境退化或恶化的直接产物, 是干旱的西北地区主要的气象灾害之一。沙尘暴的产生不仅受气候、冷空气条件等气象因素的影响, 同时, 生态环境、下垫面状况与其也有密切关联。钱正安、周自江等对沙尘暴年际和年代际演变趋势分析表明<sup>[10-14]</sup>, 在沙漠化土地面积逐渐增加、生态环境退化的生态背景下, 近 50 a 我国北方大部地区沙尘暴总体处于振荡减少趋势。其中: 20 世纪 60—70 年代发生次数较多, 80—90 年代在波动中减少, 2000 年后又急剧上升, 即在 80 年代中期存在沙尘暴由多到少、90 年代末期存在由少到多的异常突变事件。目前国内外对沙尘暴转型事件的研究还主要集中在事实分析、气候影响模型建立及气候变化驱动分析领域<sup>[15-21]</sup>, 研究指出: 70 年代末期后, 沙尘暴发生频率的降低主要是由于气候变暖、冬季东亚大气环流出现突变, 高空东亚大槽偏东偏弱, 冷空气活动频次减少, 致使沙尘暴源区冬春季风速减小所致。而对沙尘暴转型产生重大影响的另一重要背景条件——生态变化的驱动与控制作用研究不足。因

收稿日期: 2007-05-08; 改回日期: 2007-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(40575048)资助

作者简介: 陈楠(1969—), 男(汉族), 陕西蒲城人, 高级工程师, 主要从事天气预报及灾害性天气研究工作。Email: chennancyy@sina.com

通讯作者: 赵光平 (Email: zgpmnet@sina.com)

此,如何在西北地区生态环境局部治理、整体退化的背景下理解沙尘暴处于振荡减少态势之中?笔者利用西北地区东部近 50 a 较完整的沙尘暴资料序列、常规气象观测资料、74 个环流特征量资料以及 1981 年以来 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数据,通过量化反演关键区植被覆盖率,并结合土地详查等代用资料校准,给出西北地区东部沙尘暴转型的生态演变更化特征与基本型态以及沙尘暴过程发生频次和持续时间的演变特征,同时,通过对高发站民勤、盐池沙尘暴启动风速的综合分析,分离生态与气候因子对西北地区东部沙尘暴过程频次和持续时间的不同贡献,揭示生态变化对沙尘暴转型事件的驱动与控制作用。

## 1 资料与研究方法

所选西北地区东部包括甘肃省东部及河西走廊东部地区,青海省东北部地区、内蒙古自治区西部、陕西省西部地区以及宁夏回族自治区全境,地理坐标为 35°—42°N,95°—110°E 区域。

### 1.1 资料选取

1)西北地区东部近 100 个气象站较完整的常规气象资料和沙尘暴资料序列(包括沙尘暴出现时的能见度、最大风速、沙尘暴开始时间、结束时间、持续时间等)。选取资料时,将跨气象日界 20:00 的沙尘暴过程按照一次过程处理,并以西北地区东部同一天有相邻 5 站或以上出现沙尘暴作为一次沙尘暴过程进行统计。

2)高发站民勤、盐池沙尘暴发生时刻的风向、风速自记资料。

3)1981—2003 年 (8km × 8km 分辨率) 的 AVHRR 月平均归一化植被指数 NDVI 全球数据。

4)1961—2006 年 74 种环流特征量资料及宁夏回族自治区 1990—2004 年和甘肃省 1997 年—2004 年的土地详查资料。

为消除各站由于地理位置不同对资料序列的影响,本文对所用资料均进行了标准化处理。

### 1.2 研究方法

所用研究方法包括相关分析、均值法、累积距平分析、Mann-Kendall 突变检验以及多元回归分析等统计方法。其中在统计西北地区东部 NDVI 值时,采用均值法进行计算,即统计该区域内所有格点的 NDVI 值平均。

1)通过沙尘暴过程发生频次、过程持续时间以及 NDVI 指数与各影响因子的定量统计关系,分别建立了沙尘暴过程发生频次、过程持续时间的生态/气候影响分析模型(1)和 NDVI 指数影响模型(2),公式如下:

$$y_1 = a_0 + a_i x_i \quad (i = 1, n) \quad (1)$$

$$y_2 = b_0 + b_j x_j \quad (j = 1, n) \quad (2)$$

式中: $y_1$  为沙尘暴过程发生频次、持续时间; $y_2$  为 NDVI 指数; $a_0$  和  $a_i$ 、 $b_0$  和  $b_j$  为回归系数; $x_i$  为与沙尘暴过程频次和持续时间显著相关的影响因子,有前一年秋季 NDVI 指数、年降水量和平均气温、秋季平均风速、大风日数及当年春季平均气温; $x_j$  为与 NDVI 指数显著相关的影响因子,有北半球极涡中心位置、欧亚经向环流指数、东亚槽位置、青藏高原指数、次年沙暴过程频次及前一年秋季降水量、冬季平均气温、秋季平均风速和秋季大风日数。

2)利用甘肃、宁夏两省(区)土地详查资料中牧草地、耕地、林地等主要土地面积,通过与同期西北地区东部 NDVI 指数的相关分析,主要土地面积与 NDVI 指数的相关系数通过了 0.01 的信度检验,表明 NDVI 指数能够代表该区域的生态环境状况。因此,通过对西北地区东部 1981—2003 年 NDVI 指数与其显著相关的气候因子的相关分析,利用模型(2),反演得到了西北地区东部 20 世纪 50—70 年代及 2004—2006 年 NDVI 指数。

3)利用高发站民勤、盐池沙尘暴过程前后自记风资料,对沙尘暴启动风速的年代际变化特征进行了分析。

4)利用模型(1),通过不同年代 NDVI 指数与气候因子的模拟,分离了生态与气候因子对沙尘暴频次和持续时间的不同贡献。

## 2 沙尘暴演变趋势

从图 1 可以看到,西北地区东部 1951—2006 年和春季沙尘暴过程发生频次的变化一致,呈明显下降趋势,两者均通过了  $\alpha = 0.01$  ( $n = 57$ ,  $\alpha = 0.449$ ) 的显著性检验。近 50 a, 年沙尘暴频次的下降较春季更为显著。1951 年以来,沙尘暴过程发生频次经历了 3 个时期:20 世纪 50 年代,沙尘暴过程频次在波动中有所增加,60 年代到 80 年代中期,变化平稳,波动幅度较小;之后,沙尘暴过程频次显著减少,并持续偏低,2000 年起,沙尘暴过程频次又有增加,但均维持在历年平均值以下。近 50 a 中,80 年代中期前,沙尘暴过程发生频次变化较平缓,

呈3~4 a的变化周期,其后,波动频率明显增加,周

期缩小为2~3 a。

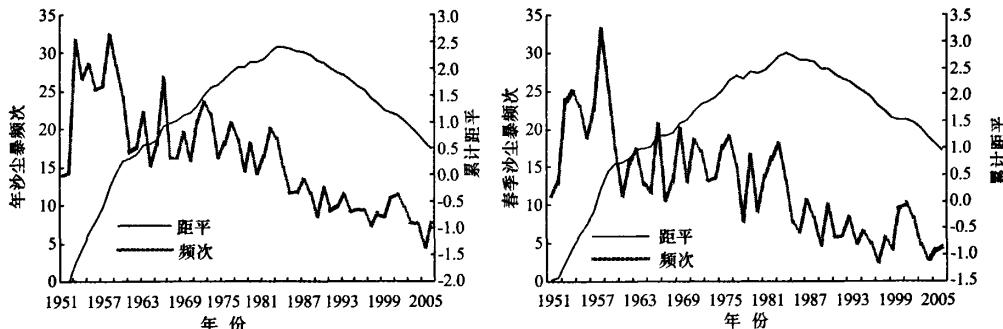


图1 1951—2006年西北地区东部年和春季沙尘暴过程频次年际和累积距平变化

Fig. 1 Annual and accumulative anomaly change of sandstorm frequency in the east part of Northwest China during 1951—2006

由沙尘暴过程频次的累积距平变化可知,西北地区东部年和春季沙尘暴过程累积距平在20世纪50年代显著增加,从60年代到70年代末期,年沙尘暴过程累积距平增加较为明显,80年代初到80年代中期,累积距平缓慢增加,而春季沙尘暴过程累积距平从70年代到80年代中期呈逐渐增加趋势。1984年左右年和春季沙尘暴过程累积距平均出现了由多到少的明显转折,之后,呈减少趋势。其中,50年代以来,沙尘暴过程累积距平增加或减少的年变化特征较显著,而春季变化相对平稳。

采用Mann-Kendall方法对西北地区东部沙尘暴过程频次的突变特征进行检验,给定显著性水平 $u_{0.05} = \pm 1.96$ 。从图2可见,西北地区东部年和春季沙尘暴过程频次的突变年份与累积距平的转折年份有所差异。年沙尘暴过程频次从20世纪50年代到80年代中期呈逐渐减少趋势,UF与UB线在1987年相交,即1987年过程频次发生突变,1989年后,呈显著减少趋势,通过了0.05的信度检验;春季沙尘暴过程频次的突变年份出现在1986年,之后,减少趋势也通过了0.05的显著性检验。

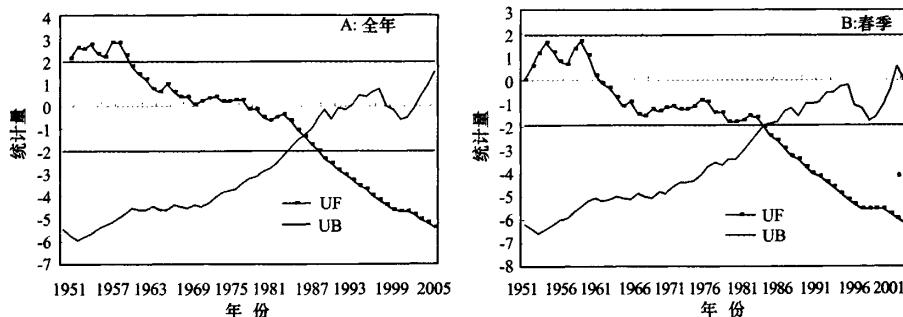


图2 1951—2006年沙尘暴过程频次的Mann-Kendall突变检验

Fig. 2 Mann-Kendall mutation test on sandstorm frequency during 1951—2006

沙尘暴过程频次的年际变化及累积距平变化表明:西北地区东部沙尘暴过程发生频次在20世纪80年代中期出现由多到少的转型,年突变出现在1987年,春季突变出现于1986年,减少趋势均通过了统计检验。

### 3 NDVI指数演变趋势

选取与西北地区东部1981—2003年年和春季NDVI指数显著相关的各9个影响因子,分别建立

年和春季NDVI指数影响模型(2),通过统计检验,该模型模拟的1981—2003年NDVI指数与实况的年偏差为 $-9.09 \times 10^{-8}$ ,春季偏差仅为 $4.55 \times 10^{-8}$ ,复相关系数R分别达0.84和0.94,并且在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下, $F > F_{\alpha}$ ,表明回归方程显著,所得到的NDVI指数可用。因此,利用各影响因子的实况资料,通过模型(2),反演得到了西北地区东部1954—2006年的NDVI指数。

从NDVI指数的年际及累积距平变化曲线看

到(图 3),近 50 a 来,西北地区东部年 NDVI 指数振荡幅度较大,年际变化明显。1954—1957 年,指数逐渐下降,之后,基本为上升趋势,1966 年达到 50 a 中最大值后,NDVI 指数显著下降,1877—1981 年,指数有所增加,自 1982 年起,年 NDVI 指数再次明显下降,1984—1997 年间,指数持续较低,1999 年开始,NDVI 指数在波动中又逐渐增加;春季 NDVI 指数变化幅度相对较小,从 1954 年到 1973 年,指数呈明显增加趋势,之后到 1995 年,指数在波动中逐渐

下降,1996 年开始,指数又有所增加。从 NDVI 指数的年代际变化和线性变化趋势系数表(表 1)可以进一步得到,年和春季 NDVI 指数的变化趋势基本一致,20 世纪 50 年代为上升趋势,60 年代到 90 年代中期持续下降,90 年代后期开始,NDVI 指数基本为增加趋势。其中,50 年代、以及 70—90 年代,年 NDVI 指数为上升趋势,60 年代和 2000 年代为下降趋势;春季 NDVI 指数在 60 年代和 80 年代为下降趋势,其他年代为上升趋势。

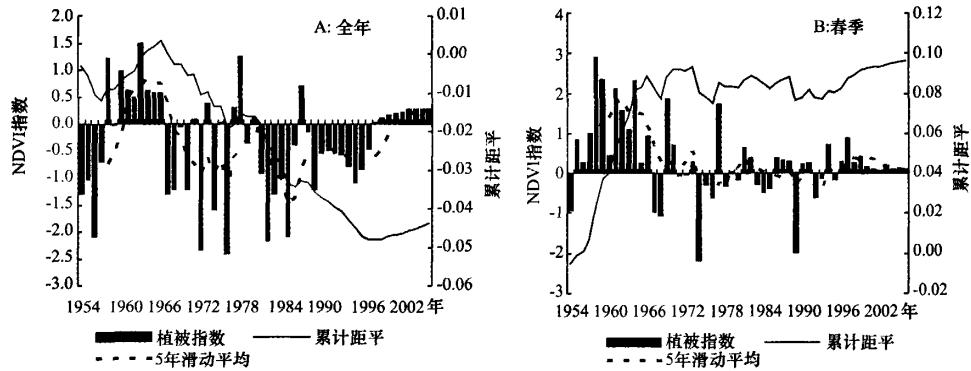


图 3 1954—2006 年 NDVI 指数和累积距平变化

Fig. 3 Change of NDVI index and its anomaly during 1954—2006

表 1 1954—2006 年 NDVI 指数年代际变化和线性变化趋势系数

Table 1 Decadal change of annual NDVI and linear trend coefficient during 1954—2006

时间	项目	20 世纪 50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2000 年
年	NDVI 指数	0.11539	0.11651	0.11531	0.11425	0.11534	0.11695
	趋势系数	0.001	-0.0006	0.0003	-0.0003	0.00002	-0.0003
春季	NDVI 指数	0.10462	0.10507	0.09825	0.09840	0.10031	0.10134
	趋势系数	0.002	-0.0013	0.0002	-0.0005	0.0002	0.0001

NDVI 指数的年际和年代际变化表明:近 50 a 来,西北地区东部年和春季 NDVI 指数减小的幅度明显大于增加幅度,生态环境总体呈逐渐退化趋势,2000 年后,年和春季 NDVI 指数的趋势变化有所差异,但指数均较 20 世纪 90 年代增加,生态环境有所改善。

#### 4 沙尘暴过程持续时间及启动风速变化

选取 1954—2006 年西北地区东部平均能见度  $\geq 700$  m 的区域性沙尘暴过程,对其平均持续时间的年际变化特征进行分析,从图 4 看到,近 50 a 来,西北地区东部沙尘暴过程平均持续时间在波动中逐渐增加,增加趋势通过了 0.05 的信度检验。沙尘暴

过程持续时间的 5 a 滑动平均表明,20 世纪 50 年代到 60 年代中期,沙尘暴持续时间较短,1968 年开始,持续时间明显增加,60 年代末期到 70 年代后期,持续时间呈下降趋势,从 80 年代开始,持续时间基本在平均线附近波动变化,总体呈增加趋势。

进一步对高发站甘肃民勤、宁夏盐池两站沙尘暴发生前后平均风速的变化特征进行分析。从所选 1971—2006 年民勤、盐池沙尘暴发生前后平均风速看到(表 2),平均风速在沙尘暴发生前 1 h 逐渐增大,到沙尘暴前 10 min 平均风速达到最大值,之后迅速减小,在沙尘暴发生前 2 min 减小到最低值,沙尘暴发生后,平均风速又开始逐渐增大,在沙尘暴发生后 10 min 再次达到相对高值后有所减小。即沙尘暴发生前 10 min 的平均风速较沙尘暴发生前后 5 min 及发

生前 2 min 的平均风速明显偏大。沙尘暴发生前后的风速变化表明, 当平均风速持续较大, 将地面尘沙

吹起, 在沙尘暴发生前, 由于强烈的热力不稳定作用, 使能见度急剧下降, 造成沙尘暴天气的发生。

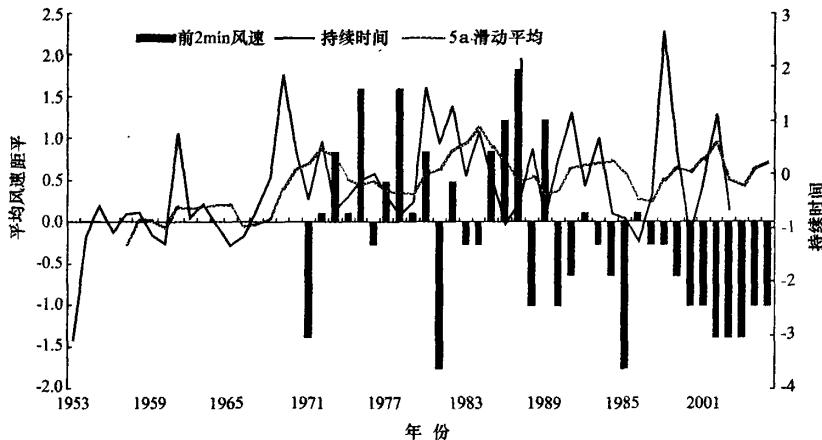


图 4 沙尘暴过程平均持续时间和沙尘暴发生前 2 min 平均风速距平年际变化

Fig. 4 The sandstorm average duration and the annual mean wind speed 2 min before sandstorm during 1954—2006

表 2 民勤、盐池站沙尘暴过程发生前后平均风速变化

Table 2 The wind speed before and after the sandstorm at Minqing of Gansu and Yanchi of Ningxia

	前 1 h	前 10 min	前 5 min	前 2 min	后 5 min	后 10 min	后 1 h
平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )	8.9	10.6	5.5	1.7	4.4	8.7	7.5

以距沙尘暴发生最近的前 2 min 平均风速作为沙尘暴启动风速, 分析其年际变化特征。从图 4 可以看到, 1971 年以来, 沙尘暴发生前 2 min 平均风速呈显著减小趋势, 通过了 0.05 的信度检验。其中, 1971—1987 年, 沙尘暴前 2 min 平均风速相对较大, 上下波动变化, 但下降不明显, 从 20 世纪 80 年代末期开始, 启动风速迅速减小, 并持续较低。

对西北地区东部沙尘暴过程频次、持续时间、高发站沙尘暴启动风速及 NDVI 指数年际变化分析表明, 在西北地区东部生态环境整体趋于退化的背景下, 沙尘暴过程发生频次明显下降, 一般性沙尘暴过程平均持续时间逐渐增加, 沙尘暴天气的强度在显著增强, 沙尘暴灾害影响也相应加大。

## 5 生态/气候型态与沙尘暴对应关系

依据沙尘暴过程频次和持续时间与各影响因子的定量统计关系, 建立了西北地区东部沙尘暴过程频次和平均持续时间的生态/气候影响分析模型。利用各气候因子的实况资料及反演得到的西北地区东部 NDVI 指数, 模拟得到了西北地区东部近 50 a 沙尘暴过程频次和平均持续时间。从模拟值与实况的对比图可以看到(图 5), 模型对近 50 a 西北地区

东部沙尘暴过程频次和持续时间具有较准确的模拟效果, 模型复相关系数分别达 0.83 和 0.69, 回归方程显著, 均通过了 0.05 的信度检验。沙尘暴频次模拟中, 近 50 a 沙尘暴过程频次的模拟值与实况平均偏差为 0.6 次。其中, 20 世纪 50 年代偏差最大, 平均为 4 次, 70 年代偏差最小, 平均仅为 0.8 次; 50 a 平均持续时间模拟值与实况值的偏差为 1.1 min, 其中, 70 年代偏差最小, 平均为 1.0 min, 90 年代偏差最大, 平均为 8.9 min。

由于不同时期生态/气候的型态差异, 西北地区东部沙尘暴过程发生频次和平均持续时间明显不同。因此, 利用生态/气候影响分析模型, 对不同生态和气候背景下, 西北地区东部沙尘暴过程频次和持续时间进行模拟和分离。

根据沙尘暴过程频次、持续时间以及 NDVI 指数的年代际变化特征, 分别以 20 世纪 60 年代生态背景和 90 年代气候背景与模型中的其他因子进行组合, 利用模型模拟不同生态/气候型态下西北地区东部沙尘暴过程频次和持续时间的变化。从表 3 可以看到, 在 60 年代生态背景下, 不同年代沙尘暴持续时间均减少。其中, 80 年代减少幅度最大, 90 年代次之, 70—90 年代平均减少达 12.5%, 模拟沙尘

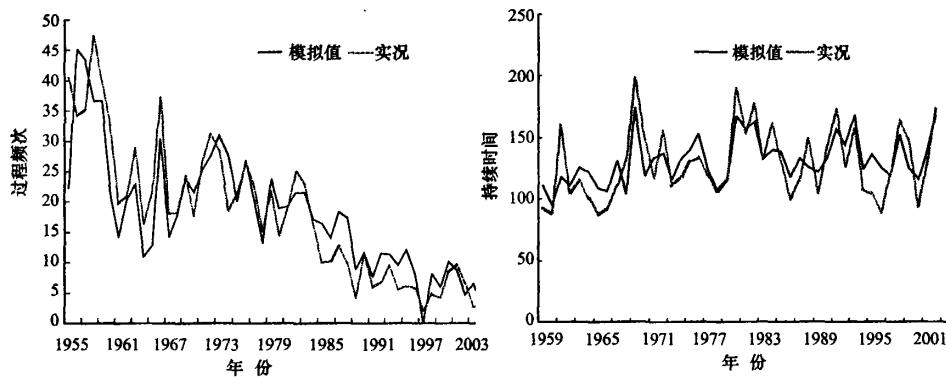


图 5 沙尘暴过程频次和持续时间实况与模拟对比

Fig. 5 The stimulation and observation of duration and frequency of sandstorm

表 3 西北地区东部不同生态/气候型态下沙尘暴频次和持续时间

Table 3 The sandstorm duration and frequency under different eco-climate model in the east part of Northwest China

20世纪		沙尘暴过程频次/次			沙尘暴过程持续时间/min		
		模拟值	实况值	偏差	模拟值	实况值	偏差
生态背景	60年代	23.6	22.7	0.9	125.4	129.3	-3.9
	80年代	11.3	14.0	-2.7	130.1	136.5	-6.4
	90年代	8.9	5.9	3.0	121.8	127.8	-6.0
气候背景	60年代	18.9	22.2	-3.3	131.8	124.5	7.3
	70年代	18.4	22.7	-4.3	129.9	129.3	0.6
	80年代	8.2	14.0	-5.8	128.1	136.5	-8.4

暴过程频次变化幅度不大,70年代和90年代有所增加,80年代明显减少,30 a 过程频次平均增加了6.1%;而在90年代气候背景下,不同年代沙尘暴过程发生频次均显著降低,60—80年代平均减少幅度高达68.2%,持续时间60年代和70年代有所增加,80年代明显减少,30 a 平均仅减少了0.3%。

利用20世纪60年代生态背景和90年代气候背景,对不同生态/气候型态下,沙尘暴过程频次和持续时间进行模拟,在60年代相对较好的生态背景下,70—90年代沙尘暴持续时间呈明显减少趋势,过程频次有所增加;而在90年代气候背景下,60—90年代沙尘暴过程频次显著降低,持续时间略有减少。这表明西北地区东部沙尘暴由多到少转型的最根本原因是由于气候因素所致,而该地区生态环境的整体退化导致了沙尘暴过程持续时间显著延长,沙尘暴强度增强,所造成的灾害损失相应增大。即气候因子对沙尘暴过程发生频次具有明显的驱动作用,而生态环境的变化对沙尘暴持续时间具有显著的调节作用。

## 6 结论

通过对西北地区东部沙尘暴发生频次、持续时

间和启动风速以及沙尘暴转型前后NDVI指数年际变化特征的分析,可以得出以下几点结论:

1)近50 a,西北地区东部沙尘暴过程发生频次显著减少,出现了由多到少的明显转型,年突变出现在1987年,而春季突变发生于1986年。

2)西北地区东部20世纪50年代以来,年和春季的NDVI指数在波动中逐渐下降,生态环境整体呈退化趋势,90年代末期开始,有逐渐转好的趋势。

3)在生态环境整体退化的背景下,西北地区东部沙尘暴过程持续时间明显增加,多发站民勤、盐池沙尘暴过程前2 min 平均风速从20世纪80年代末期开始显著降低。

4)不同生态/气候型态下,西北地区东部沙尘暴过程频次和持续时间有明显差异,即生态和气候因子对沙尘暴频次和持续时间具有不同的贡献。通过分离,气候因子对沙尘暴过程发生频次具有明显的驱动作用,而生态变化对沙尘暴过程持续时间具有显著的调节与控制作用。

## 参考文献(References):

[1] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与

- 治理对策[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 514-521.
- [2] 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.
- [3] 史培军, 严平, 高尚玉, 等. 我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J]. 自然灾害学报, 2002, 9(3): 71-75.
- [4] 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.
- [5] 王涛, 陈广庭, 赵哈林, 等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展[J]. 中国沙漠, 2006, 26(4): 507-516.
- [6] 王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 中国北方沙漠化土地时空演变分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 230-235.
- [7] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J]. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294-302.
- [8] 史培军, 王静爱, 冯文利, 等. 中国土地利用/覆盖变化的生态环境安全响应与调控[J]. 地球科学进展, 2006, 21(9): 111-119.
- [9] 马明国, 董立新, 王雪梅. 过去 21a 中国西北植被覆盖动态监测与模拟[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 232-236.
- [10] 邓朝平, 郭锐, 王介民, 等. 近 20 余年来西北地区植被变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2006, 28(5): 686-693.
- [11] 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.
- [12] 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 9-17.
- [13] 牛生杰, 孙继明, 桑建人. 贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 55-58.
- [14] 陈楠, 陈豫英. 宁夏近四十年大风、沙尘演变趋势分析[C]//2001 年天气预报技术文集. 北京: 气象出版社, 2001: 226-230.
- [15] 丁瑞强, 王式功, 尚可政, 等. 近 45a 我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 306-310.
- [16] 全林生, 时少英, 朱亚芬, 等. 中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 477-485.
- [17] McTainsh G H, Lynch A W, Tews E K. Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia[J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39: 457-466.
- [18] 韩永翔, 张强, 董光荣, 等. 沙尘暴的气候环境效应研究进展[J]. 中国沙漠, 2006, 2(2): 307-311.
- [19] 田育红, 纪中奎, 刘鸿雁. 内蒙古高原中部主要气候因子及地表覆盖对沙尘暴影响分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(4): 476-483.
- [20] 魏文寿, 张璞, 高卫东, 等. 新疆沙尘暴源区的气候与荒漠环境变化[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 483-487.
- [21] 邹旭恺, 王守荣, 陆均天. 气候异常对我国北方地区沙尘暴的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(增刊): 169-176.

## Response of Sandstorm Transformation to Climate and Eco-environment Change in East Part of Northwest China

CHEN Nan<sup>1,2</sup>, ZHAO Guang-ping<sup>1,2</sup>, CHEN Yu-ying<sup>1</sup>, ZHENG Guang-fen<sup>1</sup>, PENG Wei-geng<sup>3</sup>

(1. Gansu Arid Meteorology Institute, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing of Ningxia, Yinchuan 750002, China; 3. Technology Department of Air Traffic Administration, Yinchuan Civil Aviation of China, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** The sandstorm data in last 50 years and the quantitatively retrieved vegetation cover data from NOAA/AVHRR NDVI data since 1981 in the east part of Northwest China, which combined with calibrated detailed land-use data, were used to synthetically analyze the ecological change feature and basic model, sandstorm frequency, duration, and threshold wind speed in the area. The results show that, since 1951 the sandstorm in the east of Northwest China experienced a transformation from less to more, the annual change mutation occurred in 1987, the annual amplitude of NDVI in the area was large and showed a slow decreasing trend, the general eco-environment showed a degenerating trend. Under this circumstance, the duration of sandstorm increased, the threshold wind speed decreased. Study based on the eco-climate model shows that the sandstorm duration and frequency in the east of Northwest China are different, climate change drove the sandstorm frequency change, and eco-environment change had a significant adjust and control effect on the sandstorm duration.

**Keywords:** transformation of sandstorm; eco-climate model; driving factor; east part of Northwest China