

# 宁夏中部干旱带生态恢复对沙尘暴 的降频与减灾潜力分析

赵光平<sup>1,2</sup>, 陈楠<sup>1</sup>, 王连喜<sup>1</sup>

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室 银川 750002; 2. 中国气象局 兰州干旱气象研究所 兰州 730020)

**摘要:**利用宁夏 1971~2000 年常规气象、自记风及同期亚洲环流资料,并结合 1990~2000 年宁夏八大类土地详查资料,建立了对宁夏中部干旱带春季 3~5 月份沙尘暴发生频次和平均持续时间拟合效果较好的生态/气候影响分析模型。通过对不同生态背景与气象条件下沙尘暴发生频次及平均持续时间的分类对比分析,基本摸清了产生沙尘暴的气象和生态因子间的量化对应关系。结果证实,在生态环境局部治理、整体退化背景下,20 世纪 70 年代以来,宁夏沙尘暴起暴阈值随年代际显著下降,沙尘暴平均持续时间明显延长,沙尘暴发生机率随年代际显著提高、危害加大。揭示了 20 世纪 80 年代中期以来沙尘暴发生频率的降低主要由气候变暖、冷空气活动频次减少造成;但在生态退化显著、沙尘暴高频区宁夏盐池、同心一带,同等动力条件下,沙尘暴平均持续时间的显著延长则主要是由于生态退化所致。即在宁夏中部干旱带,生态环境的恢复与改良,对减少沙尘暴发生频次、尤其是降低沙尘暴平均持续时间及减轻沙尘暴灾害具有显著的生态调控潜力。

**关键词:**沙尘暴;发生频次;平均持续时间;生态;调控

**文章编号:**1000-0933(2005)10-2750-07 **中图分类号:**Q142, S157.1, X16 **文献标识码:**A

## An analysis of the potential impacts of ecological restoration on frequency and disaster reductions of sandstorm in the arid regions of the middle Ningxia

ZHAO Guang-Ping<sup>1,2</sup>, CHEN Nan<sup>1</sup>, WANG Lian-Xi<sup>1</sup> (1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan, 750002, China; 2. Lanzhou arid Meteorology Institute, CMA Lanzhou, 730020, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (10): 2750~2756.

**Abstract:** Using the conventional meteorological and anemometer data and the Asian circulation data from 1971 to 2000, as well as the 8-type land use data from 1990 to 2000, an ecological/climatic effect model of sandstorm occurrence frequency and mean duration was established for the spring from March to May in Ningxia region. By carrying out comparison and cluster analysis on the frequency and duration of sandstorms, under different ecological and meteorological conditions, a quantitative relationship between meteorological and ecological factors that result in sandstorms was revealed. The results show that, with the ecological environment being locally improved but degraded as a whole, since the 1970s the threshold of sand flying has been decreasing, the mean duration and frequency of sandstorms have been significantly increasing, and sandstorm damage became more and more severe. Since the middle 1980s, the overall decrease of the sandstorm frequency was resulted from the climate warming and a reduction of cold air activities. However in the area of Yanchi-Tongxin, where the sandstorm frequently occurred and the ecology severely degraded, the ecological degeneration was a major cause of the augmentation of mean duration of sandstorms, suggesting that, in the areas with frequent sandstorms, the improvement and restoration of ecological

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(40575048, 40065002, 40365002); 宁夏自然科学基金资助项目(AD001-2004)

**收稿日期:**2004-05-22; **修订日期:**2005-03-11

**作者简介:**赵光平(1962~), 男, 山东牟平市人, 正研级高级工程师, 主要从事天气预报业务及灾害性天气防灾减灾对策研究. E-mail: zgpnnet@sina.com

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 40575048, 40065002, 40365003); National Natural Science Foundation of Ningxia (No. AD001-2004)

**Received date:** 2004-05-22; **Accepted date:** 2005-03-11

**Biography:** ZHAO Guang-Ping, Professor, mainly engaged in weather forecast and weather disaster prevention and reduction study mainly. E-mail: zgpnnet@sina.com

environment have eminent potential impacts on the reductions of sandstorm frequency and, in particular, mean duration, as well as on the disaster reducing.

**Key words:** sandstorm; frequency; mean duration; ecology; adjust

我国是受荒漠化严重危害的国家之一。研究表明,近 50a 来,中国北方大部地区沙漠化面积呈加速发展趋势,年平均发展速率从 20 世纪 50 年代到 70 年代中期的  $1560\text{km}^2$ ,发展到 90 年代的  $3600\text{km}^2$ ,增速十分明显<sup>[1]</sup>。宁夏地处干旱荒漠区向半干旱草原过渡区,是我国西北路径沙尘粉尘补充、东输的必经之地,其上游甘肃河西、内蒙古一带沙漠纵横,加上境内特殊的地形条件,下垫面沙漠化程度也呈逐年增长趋势,境内沙漠化土地面积占全区总面积的 65%左右,达  $328.67\times 10^4\text{hm}^2$ ,其中风蚀沙化面积  $152\times 10^4\text{hm}^2$ ,生态环境十分脆弱,是我国沙漠化比较严重的地区之一,同时也是沙尘暴发生频率较高的地区之一<sup>[2,6]</sup>。

沙尘暴是生态环境退化或恶化的直接产物,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<sup>[3~4]</sup>。对沙尘暴年际和年代际演变趋势分析表明,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 50a 宁夏乃至我国北方大部地区沙尘暴总体呈振荡减少趋势,其中:20 世纪 80~90 年代波动减少,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<sup>[5~6]</sup>。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中减少态势之中?赵光平等研究指出<sup>[8]</sup>,20 世纪 80 年代中期以来沙尘暴发生频率的降低主要是气候变暖、冷空气活动频次减少造成的;但在宁夏中部干旱带,同等动力条件下,沙尘暴平均持续时间的显著延长则主要是由于生态退化所致,且今后我国西北地区的沙尘暴发生机率和危害应处在上升态势之中。

由于受生态或下垫面资料来源及其可用性所限,总体上,目前国内外对沙尘暴突变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>[9~21]</sup>,而对沙尘暴突变产生重大影响的另一个重要背景条件-生态变化的驱动与控制作用研究不足,缺乏对突变事件主要驱动力的全面和定量化认识。那么,促使宁夏以及我国北方沙尘暴突变事件发生的主要驱动力是什么?如何分离气候变化与生态退化在沙尘暴突变时期的各自定量化作用?本文通过对不同生态背景与气象条件下沙尘暴发生频次及平均持续时间的分类拟合分析,探讨宁夏中部干旱带在不同生态/气候背景下沙尘暴发生演变的主要规律特征,揭示产生沙尘暴的气象和生态因子间的量化对应关系,摸清宁夏中部干旱带生态恢复或改良对降低沙尘暴频次、调控灾害的生态潜力,这对提高沙尘暴突变主要驱动力的定量化认识,减少因对主要驱动力的认识不足而在预测领域所带来的不确定性及做好宁夏中部干旱带的生态环境建设,具有较重要的科学意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 历史资料获取

选取宁夏中部干旱带盐池、同心两站 1971~2000 年春季 3~5 月能见度 $\geq 700\text{m}$ 的一般性沙尘暴过程频次和平均持续时间、自记风资料中沙尘暴发生前 1min、前 2min、发生后 10min 风速资料和同期大风日数、亚洲地区经、纬向环流指数、极涡强度指数以及 1990~2000 年宁夏八大类土地详查资料。土地详查资料包括:耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用土地,其中各类型土地又作了二级分类。

### 1.2 计算方法

**1.2.1** 以 20 世纪 90 年代宁夏中部干旱带生态特征量(主体植被牧草面积)和 1971~2000 年 3~5 月大风日数及同期亚洲地区经、纬向环流指数、极涡强度指数、沙尘暴过程发生前 1min、前 2min 及沙尘暴发生后 10min 平均风速作为影响因子,采用多元统计回归方法,通过沙尘暴发生频次与各影响因子的定量统计关系,建立了沙尘暴发生频次的生态/气候影响分析模型:

$$y = a_0 + a_i x_i \quad (i = 1, 8) \tag{1}$$

式中, $y$  为沙尘暴过程发生频次, $a_0$  和  $a_i (i=0, 8)$  为回归系数, $x_i$  分别为生态特征量、沙尘暴前、后 3 种平均风速、经、纬向环流指数、极涡强度指数、大风天气日数。

**1.2.2** 利用相关分析及多元回归方法,计算了 1991~2000 年生态特征量与其显著相关的沙尘暴发生前后 3 种风速的定量统计关系,并通过模型(1),反演得到了 20 世纪 70 年代和 80 年代宁夏中部干旱带的生态特征量。

**1.2.3** 采用相关分析方法,计算了沙尘暴过程平均持续时间与 8 个因子的相关系数,从中选取通过信度为 0.05 相关检验的生态特征量、沙尘暴前 2 min、沙尘暴发生后 10 min 风速和大风日数 4 个因子,建立了沙尘暴平均持续时间的生态/气候影响分析模型(2),模拟得到了 1971~2000 年沙尘暴过程平均持续时间:

$$y = b_0 + b_i x_i \quad (i = 1, 4) \tag{2}$$

式中, $y$  为沙尘暴平均持续时间, $b_0$  和  $b_i ((i=1, 4))$  为回归系数, $x_i$  分别为生态特征量、沙尘暴前 2 min 风速、沙尘暴发生后 10 min 平均风速、大风日数。

**1.2.4** 利用反演得到的 20 世纪 70 年代和 80 年代生态特征量及各影响因子的实况资料,通过模型(1),对 1971~2000 年宁夏

中部干旱带的沙尘暴发生频次进行了模拟。

1.2.5 利用模型(1)和(2),通过不同因子组合,分别对同等生态和同等气象条件下,沙尘暴发生频次和平均持续时间进行模拟,并对产生沙尘暴的气象和生态因子间的量化对应关系做进一步分析。

2 结果与分析

2.1 沙尘暴演变规律

利用近 30a 宁夏最具代表性的几个气象站的全部沙尘暴个例细密自记风时序资料,并以沙尘暴起暴后最近时次 10 min 平均风速近似作为起暴阈值,结合整点能见度观测及其它多源资料,通过不同年代际中所发生的相对较弱(能见度接近 1000m)沙尘暴组启动风速的比较(表 1),基本证实了虽然 1970~1990 年 3 个年代际冷空气发生频数下降、平均强度降低、沙尘暴出现频数也在震荡中处于减少态势,但在能见度基本无变化的前提下,同期的沙尘暴平均持续时间却显著延长,增加大约 2h 24min,也即在同等或略差的气象条件下(动力条件降低),近 10a 来沙尘暴天气的强度在显著增强,其灾害影响也相应加大;同样,在能见度变化不大的前提下,近 30a 来可致沙尘暴的起暴阈值也已明显下降,可致暴 10min 平均风速从 70 年代的约 5.7m/s 下降到 90 年代的约 3.7m/s,90 年代的起暴阈值仅相当于 60 年代起暴阈值的 65%,近 10a 来沙尘暴在宁夏中部干旱带发生机率在显著地提高。

2.2 生态演变量化特征

根据 1990~2000 年宁夏八大类土地详查资料,盐池县牧草地面积占辖区总面积的 72%,耕地占 14%,林地和未利用土地分别占辖区总面积的近 3%和 8%;同心县牧草地面积占辖区总面积的 55%,耕地、林地和未利用土地面积分占 29%、2%和 11%,4 种土地类型约占总面积的 97%左右。因此以 4 种土地类型总面积或主体植被牧草地作为宁夏中部干旱带的生态特征量,能够代表当地生态环境本底的变化状况。为摸清宁夏中部干旱带生态环境演变状况,对这 4 种主要土地类型的年际变化趋势进行分析。

20 世纪 90 年代以来,宁夏中部干旱带牧草地面积逐年减少,尤其是 90 年代后期,呈明显下降趋势,10a 总计减少 17311hm<sup>2</sup>,约占牧草地面积的 2%;耕地和林地面积有所增加(图 1)。从详查资料的二级分类与实地调查可进一步得出,中部干旱带牧草地面积的减少,主要是由于占牧草地面积近 97%的天然草地面积减少所致;耕地中水浇地与旱地面积分别增加 10000hm<sup>2</sup> 和 2000hm<sup>2</sup>;林地虽有增加,但主要为低矮的灌木林和未造成林。由于 20 世纪 90 年代以来,宁夏中部干旱带过度的滥垦、滥采、滥挖,牧草地面积显著下降,地表裸露面积增加,土地大面积沙化,且过度放牧等原因致使草场退化,草地品质和载畜能力明显下降。因地理条件及气候因素影响,每逢春季,该区域的耕地缺乏有效的植被覆盖,基本处于撂荒状态,成为新的季节性沙尘源区。同时,结合赵光平等对宁夏中部干旱带 1991 年和 2000 年同期两个时相的卫星影像对比,1991 年的植被盖度明显好于 2000 年的结果<sup>[8]</sup>,因此可以得出,近 10a 宁夏中部干旱带生态环境总体呈逐渐退化态势。

Table 1 The main key element decadal changes during sandstorm			
项目 Item	20 世纪 70 年代 1970s	20 世纪 80 年代 1980s	20 世纪 90 年代 1990s
10min 平均风速(m/s) <sup>①</sup>	9.6	8.3	8.0
10min 极大风速(m/s) <sup>②</sup>	12.2	11.0	11.0
平均持续时间 <sup>③</sup>	2:10	3:08	4:34
能见度平均值(km) <sup>④</sup>	0.7	0.7	0.8
起暴阈值(m/s) <sup>⑤</sup>	5.7~6.0	4.0~5.0	3.7~4.0

① 10 min average wind speed; ② 10 min great wind speed; ③ Average duration; ④ Average of visibility; ⑤ Cruel threshold value arises

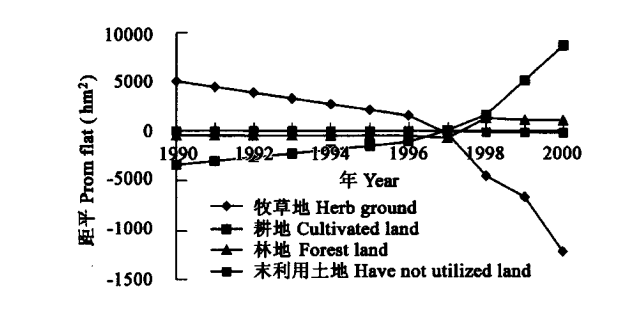


图 1 盐池、同心地区 20 世纪 90 年代 4 种土地类型年际距平变化  
Fig. 1 Anomaly change of 4 types of land in Yanchi and Tongxin since 1990s

由生态特征量与沙尘暴发生前后 3 种风速的相关系数表可得(表 2),生态特征量与沙尘暴发生前后 3 种风速为显著的正相关关系,且均通过了信度为 0.01 的相关检验。进一步证明了在生态环境逐渐退化的背景下,沙尘暴的启动风速呈减小趋势。从 1971~2000 年生态特征量的距平百分率演变曲线看到(图 2,其中 20 世纪 70、80 年代为拟合值):20 世纪 70、80 年代宁夏中部干旱带生态特征量基本均为正距平,变化幅度不大,为缓慢下降趋势,自 1988 年以后,生态特征量转为负距平,90 年代后期,距平值明显增大,生态环境呈加速退化态势。这种变化与高庆先、陈凯等对宁夏生态环境变化的分析结果完全一致<sup>[2,22]</sup>。

2.3 沙尘暴平均持续时间变化特征

由沙尘暴过程平均持续时间的距平百分率看到(图 2),30a 中,沙尘暴过程平均持续时间与生态特征量的变化呈反相分布。

20 世纪 70、80 年代,平均持续时间基本为负距平,90 年代后,沙尘暴过程平均持续时间明显增加,逐渐转为正距平。这表明,在生态环境退化的状况下,选取的一般性沙尘暴过程的平均持续时间呈逐渐增加趋势。

表 2 生态特征量与沙尘暴发生前后风速的相关系数

项目 Item	沙尘暴前 1min 风速	沙尘暴前 2min 风速	沙尘暴后 10min 平均风速
	1 min wind speed	2 min wind speed	10 min average wind
	before the sandstorm	before the sandstorm	speed after the sandstorm
生态特征量 Ecological characteristic amount	0.938	0.959	0.966

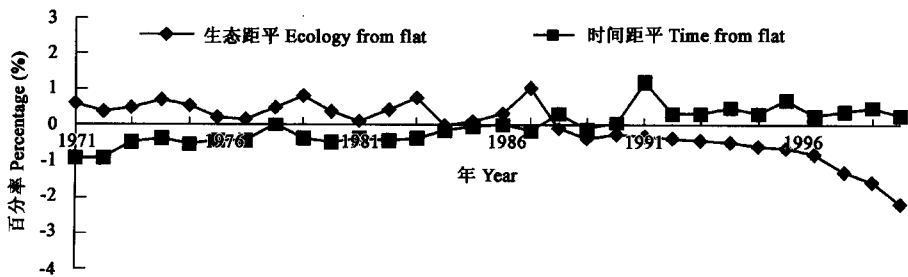


图 2 宁夏中部干旱带 30a 生态特征量与沙尘暴持续间距平百分率图

Fig. 2 Percentage anomaly of 30a ecological characteristic amount of sandstorm in middle Ningxia arid area

通过沙尘暴平均持续时间的生态/气候影响分析模型(2),利用 20 世纪 90 年代各因子实况资料,拟合得到 90 年代沙尘暴平均持续时间为 3.42h,这与实际沙尘暴平均持续时间 3.56h 相比基本吻合,误差仅为 0.14h,表明本文建立的沙尘暴持续时间模型的可信度较高。

2.4 沙尘暴频次演变特征

为检验模型(1)的准确性,利用反演得到的 20 世纪 70、80 年代生态特征量和 90 年代实际生态特征量及其它因子的实况资料,拟合得到了 1971~2000 年宁夏中部干旱带沙尘暴发生频次。从 30a 对比图可以看到(图 3),拟合沙尘暴频次与实况基本相同,总体均呈波动中减少趋势。其中,70、80 年代沙尘暴发生频次明显高于 90 年代,80 年代沙尘暴发生频次较 70 年代略偏少,90 年代后期,沙尘暴频次又有所增加。30a 中,对沙尘暴发生频次偏少年份均拟合较好,对异常偏多年份,80 和 90 年代拟合基本准确,70 年代略有偏差。从两种沙尘暴频次结果对比可进一步得出(表 3):利用实际生态特征量拟合得出的 90 年代沙尘暴频次平均为 2.3 次,与实况最为吻合,平均绝对误差仅为 0.1 次;而使用拟合生态特征量得出的 80 年代和 70 年代沙尘暴频次平均为 5.7 次和 6.8 次,与实况平均值相差 0.4 次和 2.4 次,80 年代基本接近,70 年代平均绝对误差相对偏大。拟合结果表明,本文所建立的针对宁夏中部干旱带春季 3~5 月沙尘暴发生频次的生态/气候影响分析模型具有较好的拟合效果,拟合值与实况沙尘暴发生频次基本吻合,为进一步揭示生态恢复与改良对沙尘暴减灾潜力的研究提供了技术支持。

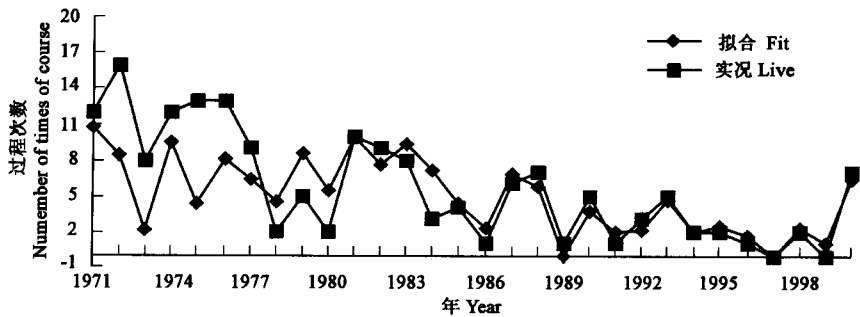


图 3 1971~2000 年宁夏中部干旱带模拟沙尘暴发生频次与实况对比

Fig. 3 Simulated frequency of sandstorm and observatoin in middle Ningxia arid area form 1971 to 2000

2.5 生态恢复对沙尘暴的降频及减灾潜力

由于沙尘暴的发生频次和平均持续时间与生态特征量及气象条件有显著的相关关系,因此,利用生态/气候影响分析模型,

对不同因子组合进行拟合,分离气候和生态因子的不同贡献,并进一步探讨生态恢复与改良对降低沙尘暴频次、调控灾害的生态潜力。

表 3 1971~2000 年拟合沙尘暴频次与实况对比表(次)  
Table 3 Fit and observation of sandstorm frequency from 1971~2000

	20 世纪 90 年代 1990s	20 世纪 80 年代 1980s	20 世纪 70 年代 1970s
实况值 Live value	2.3	5.3	9.2
拟合值 Fitting value	2.4	5.7	6.8
平均绝对误差 Average absolute error	0.1	0.4	2.4

2.5.1 生态恢复的降频特征 以 20 世纪 90 年代生态为本底,用 20 世纪 70 年代气象条件拟合得出的沙尘暴发生频次为 10.6 次,较 70 年代实际发生频数偏多 1.4 次;80 年代拟合频次为 6.2 次,比实际偏多仅 0.8 次(见图 4)。这表明,一是在整体荒漠化背景下,生态环境的有限恢复或改良对沙尘暴发生频率的调控作用和潜力并不明显;二是可间接得出,80 年代中期以来沙尘暴发生频率的降低主要由气候变暖、冷空气活动频次减少造成。

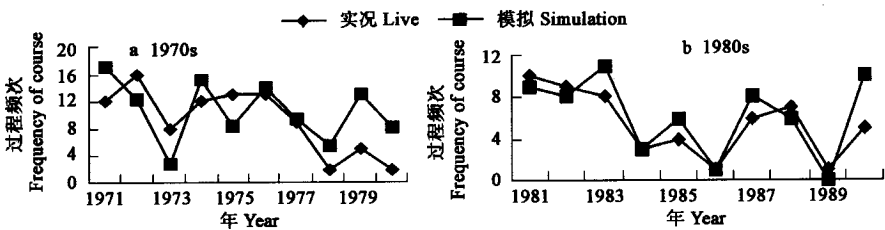


图 4 沙尘暴降频特征  
Fig. 4 The sandstorm lowers the characteristic picture frequently

2.5.2 生态恢复的减灾潜力 在同等气象条件下,沙尘暴平均持续时间随生态环境的变化呈显著差异。分别利用 70 年代和 80 年代气象条件与 90 年代生态特征量组合,对沙尘暴平均持续时间进行拟合。

由图 5a 可知,在 20 世纪 70 年代气象条件与 90 年代生态特征量组合下,拟合得出的沙尘暴平均持续时间为 2.25h,较 70 年代沙尘暴实际平均持续时间延长了近 1h;在 80 年代气象条件与 90 年代生态特征量组合下,拟合得出的平均持续时间为 3.0h,增加了 0.6h(图 5b)。

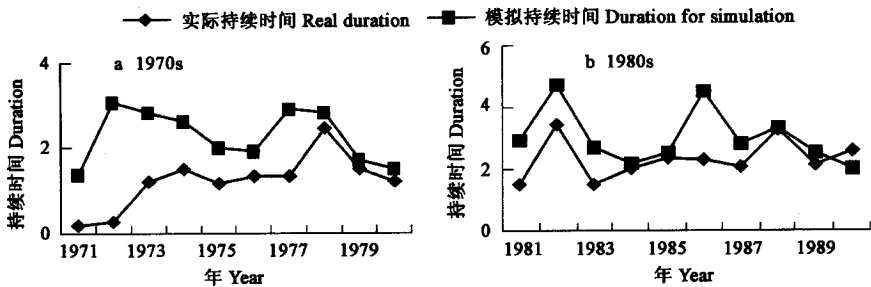


图 5 沙尘暴减灾特征  
Fig. 5 Picture of characteristic that the sandstorm reduces natural disasters

在 20 世纪 90 年代气象条件下,沙尘暴持续时间的变化更为明显。其中,对应 80 年代生态特征量,拟合沙尘暴平均持续时间较实际减少 1.3h;而对应于 70 年代生态特征量,拟合得到的平均持续时间为 1.46h,与 90 年代实际平均持续时间 3.56h 相比,减少达 2.1h。

从同等气象、不同生态背景条件对沙尘暴频次和持续时间影响的对比图(图 6)看到,在生态退化显著的宁夏中部干旱带,同等气象条件下,沙尘暴发生频次随生态环境的变化差异不明显,沙尘暴频次的年代际偏差在 1 次左右,为 30a 平均沙尘暴频次的 10%~15%;而生态环境改变对沙尘暴平均持续时间影响显著,随生态变化,沙尘暴平均持续时间的年代际偏差在 1.2h 左右,达 30a 沙尘暴平均持续时间的 66%~69%。这表明在同等强度的冷空气下,生态环境恢复对沙尘暴频次的减少幅度明显

小于沙尘暴平均持续时间,即:在宁夏中部干旱带,生态恢复或改良对降低沙尘暴发生频次、尤其是缩短沙尘暴平均持续时间及减轻沙尘暴灾害具有显著的调节与控制潜力。

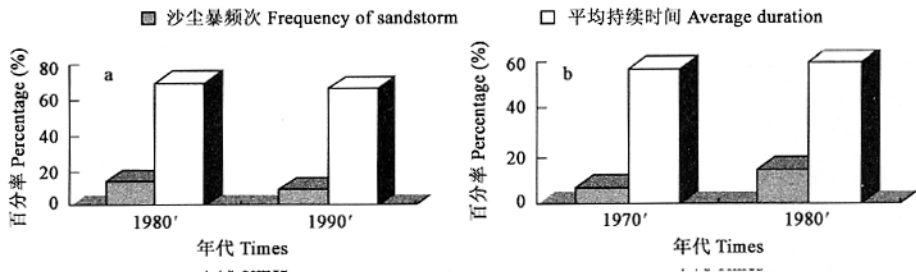


图 6 生态恢复对沙尘暴频次和平均持续时间的影响

Fig. 6 The ecology resumes influencing and pursuing the frequency of sandstorm and average duration

### 3 讨论

- 3.1 通过土地详查资料及实地调查证实,20 世纪 90 年代以来,宁夏中部干旱带由于过度放牧,滥垦、滥挖、滥采等,造成大面积草场被毁,草地品质及草场的载畜力严重下降,主体植被牧草地面积明显减少,生态环境状况整体呈逐渐退化态势;在此背景下,沙尘暴起暴阈值随年代际显著下降、沙尘暴平均持续时间明显延长,沙尘暴发生机率随年代际显著提高、危害加大。
- 3.2 生态特征量与沙尘暴发生前后 3 种风速有显著的正相关关系,均通过了信度为 0.01 的相关检验,同时,生态特征量反演结果显示,20 世纪 70、80 年代,宁夏中部干旱带生态环境状况明显好于 90 年代;30a 中,沙尘暴平均持续时间逐渐增加,与生态特征量呈反相分布,且以生态特征量、沙尘暴前后 2 种风速和大风日数 4 个因子建立的沙尘暴平均持续时间的生态/气候影响分析模型的拟合结果与实际相差仅为 0.14h,模型拟合效果基本准确。
- 3.3 利用生态特征量、沙尘暴发生前后 3 种风速及代表沙尘暴动力条件的 3 种环流因子建立的拟合沙尘暴发生频次的生态/气候影响分析模型,对实际沙尘暴发生频次有较好的拟合效果,尤其是 20 世纪 90 年代,平均绝对误差仅为 0.1 次,80 年代与实际基本吻合,70 年代平均绝对误差相对较大。
- 3.4 在同等气象条件下,沙尘暴发生频次随生态环境的变化差异并不明显。以 20 世纪 90 年代生态为本底,用 70 年代气象条件拟合得出的沙尘暴发生频次较 70 年代实际发生频数偏多 1.4 次;80 年代拟合频次比实际偏多 0.8 次,平均年代际偏差为 1 次左右,为 30a 平均沙尘暴频次的 10%~15% 左右。
- 3.5 在同等气象条件下,生态环境变化对沙尘暴平均持续时间影响显著。在 20 世纪 70 年代气象条件与 90 年代生态特征量组合下,拟合沙尘暴平均持续时间较 70 年代实际延长了近 1h;在 90 年代气象条件下,对应 80 年代生态特征量,拟合沙尘暴平均持续时间较实际减少 1.3h;而对应 70 年代生态特征量,较 90 年代实际平均持续时间减少达 2.1h,平均年代际偏差为 1.2h 左右,达 30 年沙尘暴平均持续时间的 66%~69% 左右。

### 4 结论

本文依据沙尘暴突变时期的生态/气候基本型态与差异,分类研究了不同生态/气候背景下的沙尘暴发生频率与平均持续时间演变规律特征,不仅阐明了生态/气候作用机理及分离出了其对沙尘暴发生频次、平均持续时间的不同贡献,而且分层次地摸清了生态环境的恢复与改良对降低沙尘暴频次、尤其是减少沙尘暴平均持续时间及减轻沙尘暴灾害所具有的显著调控潜力。

### References:

[1] Wang T, Wu W, Xue X, et al. Time-space Evolution of Desertification Land in Northern China. *Journal of Desert Research*, 2003, **23**(3): 230~235.

[2] Gao Q X, Ren Z H. The Dust Storm Phenomena in Ningxia and the Counter measures. *Engineering Science*, 2002, **4**(2): 16~21.

[3] Wang T, Zhu Z D. Study on Sandy Desertification in China. *Journal of Desert Research*, 2003, **23**(3): 209~214.

[4] Wang S G, Dong G R, Chen H Z, et al. Advances in Studying Sand-dust Storms of China. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(4): 349~356.

[5] Zhou Z J. Blowing-sand and Sandsorm in China in recent 45 years. *Quaternary Sciences*, 2001, **21**(1): 9~17.

[6] Zhao G P, Wang F, Yang S P, et al. Study on Weather Formation Cause and Forecast Methods of Strong Dust Storm in Ningxia. *Study on Dust Storm in China*. Beijing: Meteorological Press, 1997. 52~58.

[7] Zhao G P, Wang L X, Yang S P. Preliminary Research on Ecological Regulation Counter Measure against stron Sandstorm in Ningxia. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(4): 448~450.

- [ 8 ] Zhao G P, Chen N, Yang J L, *et al.* An analysis on the relationship between the ecological change and sandstorm in the drought zone of middle Ningxia. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2004, **15**(4): 477~484.
- [ 9 ] Wang S G, Wang J Y, Zhou Z J, *et al.* Regional Characteristics of Dust Events in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, **58**(2): 193~200.
- [ 10 ] Huang F X, Zhang X S, Xu Y F. Simulating the effect of climate on the dust storm frequency in MuUs sandland, north China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(11): 1875~1884.
- [ 11 ] Quan L S, Shi S Y, Zhu Y F, *et al.* Temporal-Spatial Distribution Characteristics and Causes of Dust-day in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(4): 477~485.
- [ 12 ] Qiu X F, Zeng Y, Miao Q L. Temporal distribution as well as tracks and source areas of sand dust storm in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(3): 316~322.
- [ 13 ] Zhao G P, Wang L X, Yang S P. Short-range Forecast System for Regional Severe Sandstorm in Ningxia. *Journal of Desert Research*, 2001, **21**(2): 175~181.
- [ 14 ] Niu S J, Sun J M, Sang J R. Tread of Sandstorm Occurrence in HeLan Mountain Area. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(1): 55~58.
- [ 15 ] Zou X K, Wang S R, Lu J T. Impacts of Climate Abnormality on Dust Devil in North China and Countermeasures. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(supplement): 169~176.
- [ 16 ] Zhu Z D. *The Desert Phenomena in China and the Counter measures. Engineering Science*. Beijing: Environment Press of China, 2000.
- [ 17 ] Peng W G, Chen N. Contrast Analysis of April General Circulation between More and Less Sandstorm Years in Ningxia. *Plateau Meteorology*, 2002, **21**(6): 599~603.
- [ 18 ] Wang S G, Dong G R, Yang D B, *et al.* A Study on Sand-dust Storms Over the Desert region in North China. *Journal of Natural Disasters*, 1996, **16**(2): 86~94.
- [ 19 ] Zhai P M, Li X Y. On Climate Background of Duststorm Over North China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, **58**(supplement): 125~131.
- [ 20 ] Shang K Z, Sun L H, Wang S G, *et al.* The Teleconnections of Sand Dust Storm Over Hexicorridor in Gansu Province and Sea Surface Temperature in Area of Middle and Eastern Pacific Ocean Near Equator. *Journal of Desert Research*, 1998, **18**(3): 239~243.
- [ 21 ] Huang J Y. *The Methods of Statical Analysis and Prediction in Meteorology*. Beijing: Meteorological Press, 2000.
- [ 22 ] Chen K. Monitoring and Prevention Counter Measures of Sand and Dirt Storm Disaster in Ningxia. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2003, **3**: 42~48.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王涛, 吴薇, 薛娴, 等. 中国北方沙漠化土地时空演变分析. *中国沙漠*, 2003, **23**(3): 230~235.
- [ 2 ] 高庆先, 任阵海. 宁夏的沙尘暴天气及防治沙的对策建议. *中国工程科学*, 2002, **4**(2): 16~21.
- [ 3 ] 王涛, 朱震达. 我国沙漠化研究的若干问题. *中国沙漠*, 2003, **23**(3): 209~214.
- [ 4 ] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展. *中国沙漠*, 2000, **20**(4): 349~356.
- [ 5 ] 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气. 第四纪研究, 2001, (1): 9~17.
- [ 6 ] 赵光平, 王凡, 杨淑萍, 等. 宁夏区域性强沙尘暴天气成因及其预报方法的研究. *中国沙尘暴研究*. 北京: 气象出版社, 1997. 52~58.
- [ 7 ] 赵光平, 王连喜, 杨淑萍. 宁夏强沙尘暴生态调控对策的初步研究. *中国沙漠*, 2000, **20**(4): 448~450.
- [ 8 ] 赵光平, 陈楠, 杨建玲, 等. 宁夏中部干旱带生态变化与沙尘暴发生关系的分析. *应用气象学报*, 2004, **15**(4): 477~484.
- [ 9 ] 王式功, 王金艳, 周自江, 等. 中国沙尘天气的区域特征. *地理学报*, 2003, **58**(2): 193~200.
- [ 10 ] 黄富祥, 张新时, 徐永福. 毛乌素沙地气候因素对沙尘暴频率影响作用的模拟研究. *生态学报*, 2001, **21**(11): 1875~1884.
- [ 11 ] 全林生, 时少英, 朱亚芬, 等. 中国沙尘天气的时空变化及其气候特征. *地理学报*, 2001, **56**(4): 477~485.
- [ 12 ] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径. *地理学报*, 2001, **56**(3): 316~322.
- [ 13 ] 赵光平, 王连喜, 杨淑萍. 宁夏区域性强沙尘暴天气短期预报系统. *中国沙漠*, 2001, **21**(2): 175~181.
- [ 14 ] 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. *中国沙漠*, 2000, **20**(1): 55~58.
- [ 15 ] 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及其对策. *地理学报*, 2000, **55**(增刊): 169~176.
- [ 16 ] 朱震达. *中国沙漠、沙漠化、荒漠化及其治理的对策*. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. 659~660.
- [ 17 ] 彭维耿, 陈楠. 宁夏多、少沙尘暴年 4 月平均环流特征的对比分析. *高原气象*, 2002, **21**(6): 599~603.
- [ 18 ] 王式功, 董光荣, 杨德保, 等. 中国北方地区沙尘暴变化趋势初探. *自然灾害学报*, 1996, **16**(2): 86~94.
- [ 19 ] 翟盘茂, 李晓燕. 中国北方沙尘天气的气候条件. *地理学报*, 2003, **58**(增刊): 125~131.
- [ 20 ] 尚可政, 孙黎辉, 王式功, 等. 甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关关系. *中国沙漠*, 1998, **18**(3): 239~243.
- [ 21 ] 黄嘉佑. *气象统计分析与预报方法*. 北京: 气象出版社, 2000.
- [ 22 ] 陈凯. 宁夏沙尘天气监测的开展及沙漠化防治对策. *宁夏农林科技*, 2003, **3**: 42~48.