

文章编号 1001-8166(2007)04-0350-07

中国北方沙尘灾害影响因子分析^{*}

范一大^{1,2}, 史培军¹, 周 涛¹, 李 仪²

(1. 北京师范大学资源学院, 北京 100875 2. 中国民政部国家减灾中心, 北京 100053)

摘 要 利用中国北方 1951—2000 年 188 个沙尘暴代表站的气象观测数据和 1983—2000 年 EROS 数据中心 NDVI 数据, 对我国北方沙尘灾害的影响因子进行了分析。主要结论有 ①在影响沙尘暴发生、发展、演化的自然因子中, 植被覆盖度、降水、大风日数和温度起关键作用, 夏季植被覆盖度对来年春季沙尘暴发生频次影响较大, 降水和温度主要表现在对地表植被覆盖等与沙尘暴有关的地表参数的影响; ②大风日数和温度是沙尘暴形成的动力因子, 植被覆盖度和降水是阻力因子。沙尘暴日数和持续时间变化, 主要取决于动力因子与阻力因子的综合作用; ③遏制沙尘灾害的治本办法, 不在于治理沙尘暴本身, 而在于消除产生土地退化、生态安全下降的社会原因, 处理好发展与生态环境建设的关系。

关 键 词 沙尘暴 灾害 动力因子 阻力因子 中国北方

中图分类号 P425.55; P445+.4 **文献标识码** A

1 引 言

沙尘暴是由特殊的地理环境和气象条件所致的一种较为常见的自然现象, 主要发生在沙漠及其临近的干旱与半干旱地区。沙尘暴的频频发生, 也是生态环境恶化的重要标志, 有着警示作用。

沙尘暴成因复杂, 一般认为强风、沙源和热力不稳定是沙尘暴形成的 3 个基本条件。沙尘暴的周期变化、发生的频率和强度, 与气候因子、环境因子和人类活动有着内在的必然的联系。大量研究表明, 大尺度的强冷空气、中尺度的干飚线和小尺度的局地热力不稳定, 是沙尘暴形成的主要动力条件, 沙尘暴形成与发展是它们相互作用的结果^[1~9]。沙尘暴的发生频率与强度变化除了与风力等气象条件有着密切关系外, 还与途经区域下垫面的性质、沙源物质的地理分布和充足程度有着必然的联系^[10~12]。下垫面如何影响沙尘暴, 专家们的看法并不完全统一, 综合分析已有研究成果^[12~18], 影响沙尘暴过程的下

垫面因子主要包括植被的组成、结构和覆盖度, 土壤的结构、质地、含水量(干燥度)、侵蚀强度、表面粗糙度, 土地利用状况, 沙漠化状况, 地形地貌(如山脉、丘陵、平原、坡度、坡向)等。

由于下垫面状况复杂多样, 到底是哪些因素影响沙尘暴发生和发展的全过程, 不同的下垫面因素又有多大的贡献, 哪些下垫面因素是影响沙尘暴过程的主导因子, 这是当前沙尘暴研究的核心问题之一, 对全面认识沙尘暴的形成机制, 进而深入理解沙尘暴与区域生态环境建设和可持续发展战略之间的关系起着关键作用。本文以与沙尘暴相关的自然因子为研究分析对象, 采用气象数据和遥感数据, 借助数据统计分析技术, 对我国北方沙尘灾害的影响因子进行了分析。

2 数据和方法

2.1 气象数据

沙尘暴气象数据来源于中国气象局和内蒙古气

* 收稿日期 2006-06-27 修回日期 2007-02-16.

* 基金项目 科技部社会公益项目“国家重大自然灾害风险管理及预警体系研究”(编号 2005DIB3J013); 国家重点基础研究发展计划

项目“干旱化及其阶段性转折对我国粮食、水和土地资源安全的影响及其适应对策”(编号 2006CB400505) 共同资助。

作者简介 范一大(1968-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 副研究员, 博士, 主要从事自然灾害与风险管理研究. E-mail Tanyida@ndrcc.gov.cn

象局,包括沙尘暴日数、沙尘暴持续时间、降水和温度 4 项指标。其中 1951—2000 年的数据来源于中国气象局,2001 年 1 月至 2003 年 6 月的数据来源于内蒙古气象局,1971—2002 年大风日数数据(风速 ≥ 17.2 m/s)来源于内蒙古气象局。实际分析中筛选出了 188 个气象站作为我国北方地区沙尘暴的代表站(如图 1 所示)。

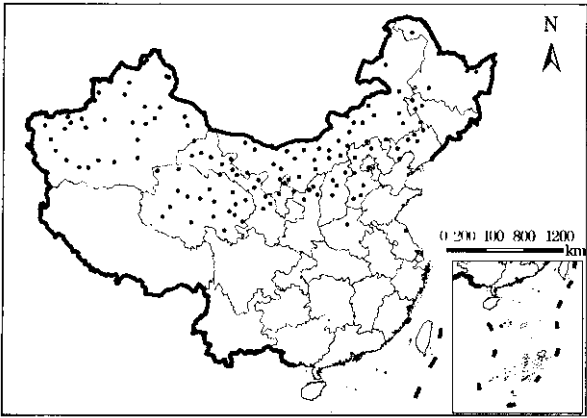


图 1 沙尘暴代表站分布

Fig. 1 Distribution of dust storm stations

降水和温度数据按季节整理,即 3~5 月表示春季、6~8 月表示夏季、9~11 月表示秋季、12~2 月(次年)表示冬季。季节降水量用各月降水数据累加值表示,季节温度值用各月温度数据平均值表示。由于沙尘暴主要发生在春季,因此,沙尘暴数据只区分春季和全年的沙尘暴发生日数和持续时间,大风日数数据与沙尘暴数据相对应,分别整理出春季和全年的大风日数。

2.2 植被覆盖度数据

植被覆盖度计算所用数据来源于 EROS 数据中心探路者数据库所提供的 1983—2000 年每旬 NDVI 数据,图像的空间分辨率为 8 km $\times$ 8 km,投影方式为 GOODE 投影。这个数据集中,为了尽量消除云的影响,旬 NDVI 采用最大值合成法,并且对气溶胶的影响进行了大气纠正。获得的数据是无符号整数,数值范围为 0~255,使用前需要对其进行转换,原始值减去 128,然后乘以 0.008 就可以恢复到真实的物理值。归一化植被指数 NDVI 可以很好地反映地表植被的繁茂程度,它与生物量、叶面积指数有比较好的相关关系^[19,20]。

本研究首先用最大合成法生成月 NDVI 数据,以进一步消除云、大气、太阳高度角等因素对数据的干扰。然后进行投影变换,将 GOODE 格式的投影

转换为兰勃特方位等积投影,最终生成中国 1983—2000 年月 NDVI 数据集。计算公式为:

$$NDVI_i = \max(NDVI_{ij}) \tag{1}$$

式中 $NDVI_i$ 是第 i 月的 NDVI 值, $NDVI_{ij}$ 是第 i 月第 j 旬的 NDVI 值。

植被覆盖度(f_v)被定义为植被投影面积在单位面积上所占比例,它和叶面积指数(L_g)可以作为衡量地表植被数量的指标^[21]。植被覆盖度降低、地表裸露度增大是地表植被退化的表现特征。本文将线性混合模型^[22]应用到 8 km AVHRR-NDVI 数据计算中国北方植被覆盖度。线性混合模型假定每个像元的测值包含着该像元涉及的地表每种覆盖类型的信息,并且每个像元的值根据每种覆盖类型在像元中所占比例呈线性组合。对于每个像元的 NDVI 数据有下列关系:

$$NDVI_i = \sum_{j=1}^Q NDVI_{ij} f_j + e_i \tag{2}$$

式中 $NDVI_i$ 是第 i 月的 NDVI 数据, $NDVI_{ij}$ 是第 j 种覆盖类型在第 i 月的值, f_j 是第 j 种土地覆盖类型在像元中的所占比率, e_i 是误差。模型的约束条件为:

$$\sum_{j=1}^Q f_j = 1 \tag{3}$$

考虑到模型的实际应用,根据线性混合模型的假设,可以认为每个像元的 NDVI 值由植被覆盖部分(f_v)和裸土部分($1 - f_v$)的 NDVI 值合成,即:

$$DNVI = DNVI_v f_v + DNVI_s (1 - f_v) \tag{4}$$

式中 $NDVI_v$ 是植被覆盖部分的 NDVI 值, $NDVI_s$ 是裸土覆盖部分的 NDVI 值。

年最大 NDVI 可以较好反映该年度植被长势最好季节地表的植被覆盖程度。在实际计算中,取 NDVI 最大值代替 $NDVI_v$ 和最小值代替 $NDVI_s$,则植被覆盖度(f_v)计算公式如下:

$$f_v = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \tag{5}$$

$NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 为整个生长季植被 NDVI 的最大值和最小值,本文根据植被覆盖类型从多年(1983—2000 年) NDVI 值中求得(表 1)。

计算结果中发现许多噪声点,经分析,主要原因是由于卫星信号接收过程中丢线和误码所致。在获得的原始 NDVI 数据集中这一问题并没有进行处理,本研究的预处理过程也没有对噪声点进行相应处理,目的是尽量减少数据处理步骤,进而降低运算过程带来的误差。

计算出的植被覆盖度结果中,噪声点像元的植被覆盖度与周围像元相比呈现高亮度,大部分植被

表 1 植被覆盖度估算参数表

Table 1 The parameter table about computing fraction vegetation

土地利用/覆盖类型	$NDVI_{max}$	$NDVI_{min}$
林地	0.864	0.032
耕地	0.841	0.032
灌丛	0.835	0.032
草地	0.814	0.032
荒漠	0.814	0.032
水体	$f_v = 0$	

覆盖度高达 100%，利用这一特性，对相应像元作卷积运算。选择 3×3 模板如公式 6，其含义是用噪声点周围 8 个像元值的累加和平均代替噪声点的值。

$$t(3,3) = \begin{bmatrix} \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & 0 & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \end{bmatrix} \quad (6)$$

利用上述方法分别计算了中国北方 13 省从 1983 年 1 月到 2000 年 9 月逐月的植被覆盖度，经噪声处理后，建立了近 20 年来中国北方 13 省月植被覆盖度数据序列集。

以每年 3~5 月和 6~8 月的植被覆盖度分别构造 2 个三维向量 f_{spring} 和 f_{summer} （公式 7），并分别计算两向量的模（公式 8），用来表示当年春季和夏季的植被覆盖状况。最后按 188 气象站点的位置提取对应站点的春季和夏季的植被覆盖度特征值。

$$f_{spring}(i) = \begin{bmatrix} f_{i3} \\ f_{i4} \\ f_{i5} \end{bmatrix} \text{ 和 } f_{summer}(i) = \begin{bmatrix} f_{i6} \\ f_{i7} \\ f_{i8} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\|f_{spring}(i)\| = \sqrt{f_{i3}^2 + f_{i4}^2 + f_{i5}^2} \text{ 和 } \|f_{summer}(i)\| = \sqrt{f_{i6}^2 + f_{i7}^2 + f_{i8}^2} \quad (8)$$

式中 i 表示年， f_{ij} 表示 i 年 j 月的植被覆盖度，定义两向量的模为季节植被覆盖度特征值。

3 影响因子分析

3.1 相关分析

利用时间序列的 188 个沙尘暴代表站的沙尘暴、降水、温度、大风日数数据，分别用春季沙尘暴日数、全年沙尘暴日数、年沙尘暴持续时间与春季降水、上年夏季降水、上年秋季降水、上年冬季降水、春季温度、上年夏季温度、上年秋季温度、上年冬季温度、春季植被覆盖度、上年夏季植被覆盖度、春季大

风日数和全年大风日数做相关分析，得出相关矩阵如表 2。

表 2 时间序列沙尘暴数据相关矩阵

Table 2 The correlation matrix of temporal serial dust storm data

	春季日数		全年日数		年持续时间	
	R	N	R	N	R	N
春季日数	1	4 511	0.908	4 511	0.808	4 511
全年日数	0.908	4 511	1	4 511	0.851	4 511
年持续时间	0.808	4 511	0.851	4 511	1	4 511
春季降雨	-0.290	4 511	-0.294	4 511	-0.234	4 511
上年夏季降雨	-0.304	4 511	-0.338	4 511	-0.266	4 511
上年秋季降雨	-0.244	4 511	-0.269	4 511	-0.210	4 511
上年冬季降雨	-0.240	4 511	-0.233	4 511	-0.188	4 511
春季温度	0.211	4 511	0.221	4 511	0.243	4 511
上年夏季温度	0.143	4 511	0.118	4 511	0.184	4 511
上年秋季温度	0.138	4 511	0.142	4 511	0.186	4 511
上年冬季温度	0.117	4 511	0.154	4 511	0.150	4 511
春季植被覆盖度	-0.291	1 858	-0.285	1 858	-0.232	1 858
上年夏季植被覆盖度	-0.361	1 858	-0.365	1 858	-0.317	1 858
春季大风日数	0.322	1 021	0.229	1 021	0.193	1 021
全年大风日数	0.327	1 021	0.300	1 021	0.244	1 021

注 R 为相关系数， N 为样本数，所有相关系数都通过了 0.01 的显著性检验

相关分析表明，沙尘暴发生的日数与持续时间的长短与这些因子有很大的相关性，具体有以下几个特点：

(1) 春季、全年沙尘暴日数和年沙尘暴持续时间都与春季降水和上年夏季、秋季、冬季的降水量呈显著的负相关，其中相关系数最高的为上年夏季，其次为春季，最低的是上年冬季。表明四季的降水都对沙尘暴日数和持续时间的变化有影响，当降水量充沛时，沙尘暴日数和持续时间将减少，相反，当持续干旱时，沙尘暴发生频次将提高。其中上年夏季和本年春季降水量所造成的影响最为明显。

(2) 春季、全年沙尘暴日数和年沙尘暴持续时间都与春季温度和上年夏季、秋季、冬季的温度呈显著的正相关，尤其春季的相关系数最高，明显高于上年其它季节，表明春季温度的变化是影响沙尘暴波动变化的重要气象条件。温度在春季对地表的作用主要体现在对水分的蒸散方面，同时温度变化可导致局地热力不稳定，易产生上升气流。

(3) 春季和上年夏季植被覆盖度与沙尘暴发生日数和持续时间呈负相关。与降水相同，上年夏季植被覆盖度的相关程度高于本年春季。夏季是我国北方植被覆盖度最高的季节，如果夏季的降水量大、植被覆盖度高，必然影响到来年春季的植被覆盖度，

而春季又是我国北方沙尘暴发生占全年比例最高的季节,春季植被覆盖度是衡量沙尘暴发生风险等级的关键指标,加之春季的降水量也影响着牧草的返青和作物的生长,可见降水量作为抑制沙尘暴的气象指标,除了可以增加春季地表的土壤墒情外,更重要的是影响着下垫面的植被覆盖度,再考虑温度的作用,可以得出结论 降水和温度主要通过影响地表植被覆盖度来影响着区域沙尘暴的发生频率和持续时间。

夏季植被覆盖度与春季植被覆盖度有较高的相关性,同时,从我国北方地区干旱、半干旱地区植被类型来看,很多是一年生或季节性植物,生长期较短,如果上年夏季生长状况好,其地下根系和地表凋落物就比较多,到来年春季,即使它们中间有一些不能返青或已经死亡,但它们的根系和凋落物仍然能够有效阻滞沙尘暴产生。这或许是夏季植被盖度与沙尘暴相关性高于春季植被覆盖度的主要原因。

(4) 大风日数与沙尘暴日数、持续时间呈正相关,体现了风作为沙尘暴发生、发展动力因素的特征。从相关系数来看,风对沙尘暴的影响要低于植被覆盖度和降水量的影响,高于温度的影响。

总体来看,在影响沙尘暴日数和持续时间的上述各项指标中,根据相关系数排序,春季对沙尘暴影响的大小顺序为 植被覆盖度、大风日数、降水和温

度 全年的顺序为 植被覆盖度、降水量、大风日数和温度 对年沙尘暴持续时间的影响顺序为 植被覆盖度、降水、大风日数和温度。影响春季、全年沙尘暴日数和年沙尘暴持续时间的各因子中,植被覆盖度都是排第一位,表明植被覆盖度的周期变化是影响沙尘暴频率的重要影响因子 对于大风日数,在春季是影响沙尘暴日数的重要因子,其影响力仅次于植被覆盖度的影响,而从沙尘暴的年发生日数和持续时间来看,降水量的影响又高于了大风日数的影响,说明大风对沙尘暴的影响具有季节性,主要影响着春季沙尘暴的发生,同时春季也是我国北方大风频发的季节 在上述所有因子中,温度对沙尘暴的影响是最小的,但也是不可忽视的因子。

对数据重新整理,得出 188 个站点与沙尘暴有关的各因子的多年综合指标,即每个站点一条记录,各时段为沙尘暴日数(春季平均、年平均)、降水量(春季平均、上年夏季平均、上年秋季平均、上年冬季平均)、温度(春季平均、上年夏季平均、上年秋季平均、上年冬季平均)和植被覆盖度(春季最高、平均、最低,上年夏季最高、平均、最低)。由于大风日数只有内蒙的站点有这项数据,不能代表我国北方沙尘暴的整体情况,所以这里分析没有将大风日数作为输入变量,相关矩阵如表 3。

沙尘暴综合指标相关矩阵从整体上反映了多年

表 3 沙尘暴综合指标相关矩阵
Table 3 The correlation matrix of dust storm integration index

变量	沙尘暴日数		变量	沙尘暴日数	
	春季平均	年平均		春季平均	年平均
春季平均降水	-0.492 **	-0.468 **	春季平均温度	0.313 **	0.296 **
上年夏季降水平均	-0.436 **	-0.464 **	上年夏季温度平均	0.192 *	0.148
上年秋季降水平均	-0.472 **	-0.465 **	上年秋季温度平均	0.214 *	0.201 *
上年冬季降水平均	-0.416 **	-0.355 **	上年冬季温度平均	0.256 **	0.277 **
春季最低盖度	-0.358 **	-0.331 **	春季最大盖度	-0.387 **	-0.351 **
春季平均盖度	-0.370 **	-0.339 **	上年夏季最低盖度	-0.442 **	-0.422 **
上年夏季最大盖度	-0.456 **	-0.465 **	上年夏季平均盖度	-0.466 **	-0.465 **

注 样本数 $N=188$, * 表示在 0.05 检验水平上显著相关, ** 表示在 0.01 检验水平上显著相关,其它为不相关

来沙尘暴与下垫面因子间的关系。沙尘暴日数与植被覆盖度、降水量和温度存在显著相关,多数指标通过了 0.01 的显著性检验。其中春季和全年的沙尘暴日数与降水量和植被覆盖度呈显著负相关,都通过了 0.01 的显著性水平检验 温度的相关程度要低于前二者,除春季平均温度和上年冬季平均温度通过了 0.01 的显著性检验外,其它仅通过了 0.05 的显著性检验,而年平均沙尘暴日数与上年夏季平均

温度不存在相关关系。

3.2 主导因子分析

由于植被覆盖度、温度、降水、大风等影响沙尘暴的变量之间彼此具有一定的联系(或者说相关性),因此,通过因子分析这种降维技术,可以在保障原始信息损失较小的前提下,将高维变量降为低维变量,从而简化变量系统的统计数字特征,并做出更合理的解释。

在本文的分析中,主要选取了具有年际和季节变化特征的地表信息(温度、降水、植被覆盖度、大风日数等),而地表的土壤结构质地、地形地貌等数据,尽管对于沙尘暴天气过程有较大的影响,但由于它们随时间变化不大,因此在因子分析时没有考虑。

因子数量的选取主要依据累计方差贡献率和特征根来选取。在因子分析中,各因子按照其方差贡献率进行排序,因此,根据累计方差贡献率选取前 k 个因子,既可以达到简化变量结构、但同时最大程度保留原始变量信息的目的。此外,在选择因子时,同时考虑了对应特征根的大小,因为特征根某种程度上可以看作是衡量对应因子影响力大小的指标。一般来说,要求特征根大于 1。否则,说明该因子的解释力度太小,还比不上直接引入一个原变量的平均解释力度大。在本文中我们要求所选的因子的特征根均大于 1。

为了对因子进行更好地解释,我们相应地作了方差极大正交旋转变换。进而根据旋转因子得分系数矩阵来计算标准化的因子得分,并探讨了各因子得分与沙尘暴的相关性。由于大风日数数据只有内蒙古的气象站点有此项数据,因此,主导因子分析在两种空间尺度上进行,即分为内蒙古(考虑大风日数)和中国北方两种尺度分别进行。

(1) 内蒙古沙尘暴的影响因子分析。对 12 个原始变量进行因子分析后提取出 2 个因子,它们的方差贡献率为 66%。按方差极大正交旋转变换后,得出旋转后的因子载荷矩阵如表 4(注:载荷矩阵中载荷值小于 0.45 没有显示在表中)。对于第一因子,它与上年秋季温度、本年春季温度、上年夏季温度、上年冬季温度、本年春季大风日数和全年大风日数的相关系数的绝对值均大于等于 0.5,其中,因子 1 与上年秋季温度、本年春季温度、上年夏季温度、上年冬季温度有较大的正相关,与上年秋季温度和本年春季温度的相关系数最高,达到 0.9 以上。从因子载荷矩阵中可以看出,因子 1 所反映的变量是大风日数和温度,因子 2 所反映的变量是植被覆盖度和降水量。

(2) 中国北方沙尘暴的影响因子分析。采用同样方法对中国北方沙尘暴影响因子进行了分析,同样可以归为 2 个因子。2 个因子的方差贡献率为 64%,旋转后的因子载荷矩阵如表 5。因子 1 所反映的变量是本年春季和上年夏季、秋季、冬季的温度数据,因子 2 所反映的变量是植被覆盖度和降水数据。

表 4 旋转后的因子载荷矩阵(内蒙古)

Table 4 Rotated component matrix (Inner Mongolia)

编号	变量	因子 1 (动力因子)	因子 2 (阻力因子)
1	上年秋季温度	0.934	
2	本年春季温度	0.926	
3	上年夏季温度	0.787	
4	上年冬季温度	0.747	
5	本年春季大风日数	-0.615	
6	全年大风日数	-0.516	
7	上年夏季植被覆盖度		0.834
8	上年夏季降水量		0.770
9	本年春季植被覆盖度		0.745
10	上年秋季降水量		0.743
11	本年春季降水量		0.721
12	上年冬季降水量		0.465

表 5 旋转后的因子载荷矩阵(中国北方)

Table 5 Rotated component matrix (North China)

编号	变量	因子 1 (动力因子)	因子 2 (阻力因子)
1	上年秋季温度	0.966	
2	本年春季温度	0.932	
3	上年夏季温度	0.855	
4	上年冬季温度	0.781	
7	上年夏季植被覆盖度		0.858
8	本年春季植被覆盖度		0.829
9	上年夏季降水量		0.719
10	上年秋季降水量		0.717
11	本年春季降水量		0.688
12	上年冬季降水量		0.413

两种尺度的主导因子分析结果显示:因子 1 所反映的变量是大风日数和温度,因子 2 所反映的变量是植被覆盖度和降水。由于大风是沙尘暴过程的动力条件,同时温度变化可导致热力不稳定,在春季亦产生上升气流,因此,因子 1 可以称为沙尘暴产生的动力因子。植被覆盖度是衡量下垫面植被状况的重要参数,加之降水量是地表土壤水分的主要来源,两者都是影响沙尘暴发生、发展、强弱变化的重要的下垫面参数,与动力因子相对应,降水量和地表植被覆盖是阻碍沙尘暴产生的重要因素,因此,因子 2 可以称为沙尘暴产生和搬运的阻力因子。

为了探讨影响沙尘暴产生和搬运的动力因子与阻力因子的影响程度,分别将 2 次分析得出的因子与相应的沙尘暴日数和持续时间作相关分析,相关系数矩阵如表 6。

分析表 6 发现:沙尘暴动力因子与沙尘暴日数和持续时间的相关系数远低于阻力因子,这表明在动力因子与阻力因子中,阻力因子更为重要,它是沙

表 6 因子得分与沙尘暴日数、持续时间的相关系数矩阵

Table 6 Factor scores and the correlation matrix of dust storm daytimes and duration

	内蒙古		中国北方	
	动力因子	阻力因子	动力因子	阻力因子
春季沙尘暴日数	0	-0.582 **	0.068 **	-0.396 **
全年沙尘暴日数	0.100 *	-0.609 **	0.064 **	-0.402 **
沙尘暴年持续时间	0.036	-0.472 **	0.132 **	-0.319 **

注 样本数 $N=188$, * 表示在 0.05 检验水平上显著相关, ** 表示在 0.01 检验水平上显著相关, 其它为不相关

尘暴产生的内因所在,在植被覆盖好、降水多的情况下,诸如风等动力因子再大,也不会产生沙尘暴。相反,风等动力因子是沙尘暴产生和发展的外因,当植被覆盖差,降水少时,也就是达到沙尘暴发生的临界状态时,动力因素才能成为沙尘暴产生和搬运的主导因子,从而影响沙尘暴的产生和发展。

4 结论和讨论

(1) 在影响沙尘暴发生、发展、演化的自然因子中,植被覆盖度、降水、大风日数和温度起到关键作用。沙尘暴发生频次与降水量和植被覆盖度呈显著的负相关,与温度和大风日数呈显著的正相关。其中,植被覆盖度是影响沙尘暴频率变化的重要影响因子,夏季的植被覆盖度对来年春季沙尘暴发生频次影响较大。其次是降水量,影响最大的是上年夏季和本年春季。然后才是大风日数和温度变化,尤其在春季,由于我国北方植被覆盖度低,甚至有大面积裸地,影响较为明显。研究表明,降水和温度对区域沙尘暴发生和频率的影响,主要表现在对地表植被覆盖度等与沙尘暴有关的地表参数的影响。

(2) 沙尘灾害的形成是气候因子、环境因子和人类活动共同作用的产物,因子分析表明,大风日数和温度是沙尘暴形成的动力因子,植被覆盖度和降水是阻力因子。沙尘暴日数和持续时间变化,主要取决于动力因子与阻力因子的综合作用,当植被覆盖差,降水少,阻力因子处于沙尘暴发生的临界状态时,动力因素才能成为沙尘暴产生和搬运的主导因子。

(3) 中国北方土地利用/覆盖变化与生态环境安全水平密切相关,它是人类活动和气候变化对地球表层作用的结果。土地利用/覆盖格局的变化,以及土地退化、荒漠化带来的植被覆盖度下降,导致生态环境安全水平大幅下降,容易引发沙尘暴这一生态环境灾害。因此,遏制沙尘灾害的治本办法,不在

于治理沙尘暴本身,而在于消除产生土地退化、生态安全下降的社会原因,处理好发展与生态环境建设的

参考文献(References) :

[1] Hu Yingqiao, Y Mitsuta. Micrometeorological characteristics and local triggering mechanism of strong dust storm [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*,1997,21(5) :581-589. [胡隐樵,光田宁. 强沙尘暴微气象特征和局地触发机制 [J]. 大气科学,1997,21(5) :581-589.]

[2] Wang Shigong, Dong Guangrong, Chen Huizhong, et al. Advances in studying sand-dust storms of China [J]. *Journal of Desert Research*,2000,20(4) :350-356. [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) :350-356.]

[3] Quan Linsheng, Shi Shaoying, Zhu Yafen, et al. Temporal-Spatial distribution characteristics and causes of dust-day in China [J]. *Acta Geographic Sinica*,2001,56(4) :477-485. [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.]

[4] Joseph P V, Raipal D K, Deka S N. “ Andhi ”, the convective dust storms of northwest India [J]. *Mausam*,1980,31 :431-442.

[5] McNaughton D L. Possible connection between anomalous anticyclones and sandstorms [J]. *Weather*,1987,42(1) :8-13.

[6] Liu Jingtao, Zheng Mingqian. The climatic characteristics of blank storm in the northern part of north China [J]. *Journal of Weather*,1998,24(2) :39-44. [刘景涛,郑明倩. 华北北部黑风暴的气候学特征 [J]. 气象,1998,24(2) :39-44.]

[7] Gong Daoyi, Shi Peijun. Variability of summer rainfall over northern China and its association with thermal conditions of early stage underlying surface [J]. *Journal of Natural Resources*,2001,16(3) :211-215. [龚道溢,史培军. 华北农牧交错带夏季降水变率及其与前期下垫面热力状况的关系 [J]. 自然资源学报,2001,16(3) :211-215.]

[8] Li Dongliang, Wang Tao, Zhong Hailing. Climatic cause of sand-dust storm formation in northern China and its trend forecast [J]. *Journal of Desert Research*,2004,24(3) :376-379. [李栋梁,王涛,钟海玲. 中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测 [J]. 中国沙漠,2004,24(3) :376-379.]

[9] Mao Rui, Gong Daoyi, Fan Yida. Influences of synoptic variability on spring sand storm frequency in north China [J]. *Acta Geographica Sinica*,2005,60(1) :12-20. [毛睿,龚道溢,范一大. 春季沙尘暴对华北沙尘暴频次的影响 [J]. 地理学报,2005,60(1) :12-20.]

[10] Shi Peijun, Yan Ping, Yuan Yi. Driving force analyses of the blown-sand activity in northern China [J]. *Quaternary Sciences*,2001,21(1) :41-47. [史培军,严平,袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析 [J]. 第四纪研究,2001,21(1) :41-47.]

[11] Fan Yida, Shi Peijun, Wang Xiushan, et al. The analysis of typical dust storm in northern China by remote sensing [J]. *Advances in Earth Science*,2002,17(2) :289-294. [范一大,史培军,王

- 秀山,等. 中国北方典型沙尘暴的遥感分析[J]. 地球科学进展,2002,17(2):289-294.]
- [12] Xu Jiongxin. Physico-geographical factors for formation of sand-dust storms in Loess Plateau region: Factor analysis[J]. *Journal of Desert Research*,2005,25(4):547-551. [许炯心. 黄土高原地区沙尘暴形成的自然地理因素: I 影响因素分析[J]. 中国沙漠,2005,25(4):547-551.]
- [13] Wang Tao, Chen Guangting, Zhao Halin, *et al.* Research progress on aeolian desertification process and controlling in north of China[J]. *Journal of Desert Research*,2006,26(4):508-516. [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):508-516.]
- [14] Shao Yaping. Physics and Modeling of Wind Erosion[M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [15] Gillette D A, Adams J, Endo A, *et al.* Threshold Velocities for input of soil particles in the air by desert soils[J]. *Journal of Geophysical Research*,1980, 85(c15): 5621-5630.
- [16] Zhang Zengxiang, Zhou Quanbin, Liu Bin, *et al.* Monitoring of the characters and ground-surface of dust storm area in north China remote sensing[J]. *Journal of Remote Sensing*,2001,5(5):377-382. [张增祥,周全斌,刘斌,等. 中国北方沙尘灾害特点及其下垫面状况的遥感监测[J]. 遥感学报,2001,5(5):377-382.]
- [17] Zhang Guoping, Zhang Zengxiang, Liu Jiuyan. Spatial distribution of Aeolian erosion of soil and its driving factors in China[J]. *Acta Geographica Sinica*,2001,56(2):146-157. [张国平,张增祥,刘纪远. 中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J]. 地理学报,2001,56(2):146-157.]
- [18] Gu Wei, Cai Xuepeng, Xie Feng, *et al.* Study on relationship between vegetation cover and distribution of days of sandstorm—Taking central and western Inner Mongolia for example[J]. *Advances in Earth Science*,2002,17(2):273-277. [顾卫,蔡雪鹏,谢峰,等. 植被覆盖与沙尘暴日数分布关系的探讨——以内蒙古中西部地区为例[J]. 地球科学进展,2002,17(2):273-277.]
- [19] Asrar G, Kanemasu E T, Jackson R D, *et al.* Estimation of total above-ground phytomass production using remotely sensed data[J]. *Remote Sensing of Environment*,1985,17:211-220.
- [20] Tucker C J, Holben B N, Elgin H J, *et al.* Remote Sensing of total dry matter accumulation in winter wheat[J]. *Remote Sensing of Environment*,1981,11:171-190.
- [21] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. *International Journal of Remote Sensing*,1998,19:533-543.
- [22] Defries R S, Hansen M C, Townshend J R G. Global continuous fields of vegetation characteristics: A linear mixture model applied to multi-year 8km AVHRR data[J]. *International Journal of Remote Sensing*,2000,21(6/7):389-414.

The Impact Factor Analysis of Dust Storm Disaster in Northern China

FAN Yi-da^{1,2}, SHI Pei-jun¹, ZHOU Tao¹, LI Yi²

(1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China ;

2. National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100053, China)

Abstract: Based on data (1951-2000) from the 188 meteorological observation stations and the NDVI data (1983-2000) from EROS data center from 1983 to 2000, the authors analyzed the impact factors of dust storm in northern China, and arrived at the main conclusions as follows: (1) Among the natural factors which affect the occurrence, development and evolution of dust storm, vegetation coverage, precipitation, windy days and temperature play a critical role. The summer vegetation coverage affects the occurrence frequency of the following spring season. Precipitation and temperature have direct impact on the dust storm related ground parameters such as vegetation coverage. (2) Windy days and temperature are composed of the impetus factors of dust storm, and vegetation coverage and precipitation are the main resistance factors. The changes of the dust storm days and duration mainly depend on the integrated affection of the impetus factors and the resistance factors. (3) The fundamental measures to reduce dust storm disaster is not to deal with dust storm itself, but to eliminate the social impact which caused land and ecological degradation and to achieve the harmony development among social, economic and eco-environmental construction.

Key words: Dust storm disaster ; Impetus factors ; Resistance factors ; Northern China.