

文章编号: 1000-694X(2006)06-0935-07

# 中国北方春季起沙活动时间序列 及其与气候要素的关系

周自江<sup>1</sup>, 章国材<sup>2</sup>, 艾婉秀<sup>3</sup>, 张洪政<sup>1</sup>, 牛若芸<sup>2</sup>

(1. 国家气象信息中心, 北京 100081; 2. 国家气象中心, 北京 100081; 3. 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:** 利用1961—2002年春季中国681个站沙尘天气的实测资料, 将起沙机理相似的扬沙、沙尘暴通过并集运算进行复合, 得到一个新的能体现完整起沙活动的时间序列。统计学检验表明, 新序列较单一的沙尘暴序列具有诸多优点。进一步从681个站中筛选出代表性较好的中国北方175个站, 探讨了春季起沙活动(DBS)时间序列与冷空气、大风、气温、降水等气候要素的关系。结果表明: ①春季DBS与大风日数、冷空气次数的相关系数分别为0.946和0.406。②春季DBS与平均气温、最低气温、最高气温的相关系数分别为-0.494、-0.607和-0.269。③春季降水对DBS的影响主要取决于降水的强度和降水的时间分布, 5 mm以上的降水才能有效地抑制DBS的发生。

**关键词:** 中国北方; 沙尘暴和扬沙; 气候要素; 相关分析

**中图分类号:** P445.4

**文献标识码:** A

沙尘暴是干旱、半干旱地区具有突发性、大灾害的恶劣天气, 能在短时间内给生态环境和人类社会造成严重损失<sup>[1~4]</sup>。沙尘暴与扬沙、浮尘一起统称为沙尘天气<sup>[5]</sup>。20世纪的后50年, 我国北方的沙尘暴总体上呈波动减少的趋势<sup>[6~8]</sup>, 强沙尘暴也同样呈波动减少的趋势<sup>[9]</sup>。那么, 这种演变趋势与气候要素之间有什么关系呢? 针对这个问题, 目前已有一些初步的成果<sup>[10~16]</sup>, 但大多是局限于小范围或有限代表站点的沙尘暴日数与气候要素之间的分析, 缺乏对整个中国北方的总体认识, 需要继续研究。

在研究过程中, 笔者注意到了以下两个问题: ①中国北方地表覆被差异很大, 沙尘暴的空间分布不平衡<sup>[6]</sup>, 代表中国北方的沙尘暴区究竟如何界定? ②沙尘暴是小概率的天气气候事件, 在很多地区春季沙尘暴日数的多年平均值较小, 零值下限的影响较大, 时间序列的稳定性较差, 不利于一些统计学方法的直接运用<sup>[17]</sup>, 如何给予优化? 实际上, 两个问题都涉及到了中国北方沙尘暴资料的的代表性问题。近年来, 沙尘天气起沙机制数值模式<sup>[18, 19]</sup>的发展使我们对三种沙尘天气(沙尘暴、扬沙和浮尘)之间的关系有了比较清晰的认识, 即浮尘不具备起沙作用,

而扬沙与沙尘暴具有相似的起沙机理<sup>[17]</sup>。于是, 这种机理上的相似性便为优化沙尘暴日数时间序列带来了新的启发。本文将起沙机理相似的扬沙、沙尘暴通过并集运算进行复合, 经统计学检验后, 形成一种新的能体现完整起沙活动的时间序列。在此基础上, 进一步从681个国家基本气象站中筛选出代表性较好的中国北方175个站, 形成中国北方起沙活动的主体区域, 进而探讨了起沙活动时间序列与冷空气、大风、气温、降水等气候要素的关系。

## 1 起沙活动时间序列的建立

沙尘天气包括沙尘暴、扬沙和浮尘, 但是从它们的发生发展机理来看, 扬沙与沙尘暴更为相近, 都是指在一定强度的风力作用下大量沙尘被吹扬, 使空气中沙尘颗粒物浓度急剧上升, 特别混浊, 并严重影响地面水平能见度, 其中水平能见度在1~10 km之间的叫扬沙, 低于1 km的叫沙尘暴。再从沙尘天气的起沙机制<sup>[18, 19]</sup>来看, 沙尘暴和扬沙既包含地面沙尘向空中输送的物理过程(只不过扬沙由于风力条件较弱, 起沙强度较小), 又包含着大颗粒沙尘的沉降过程。显然两者的起沙作用是处于主导地位的, 它决定大气中沙尘的来源和数量。而浮尘只体

收稿日期: 2005-05-23; 改回日期: 2005-06-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000048703); 国家自然科学基金项目(40305008); 国家科技基础条件平台工作重点项目(2003DEA2C009)共同资助

作者简介: 周自江(1970—), 男(汉族), 安徽庐江人, 高级工程师, 主要从事气候统计分析、气象灾害机理与对策研究。

万方数据 zzyj@ cma. gov. cn

现空中细小沙尘的滞留、漂移和沉降的物理过程,没有起沙机制,即单纯的浮尘天气是不再补充起沙的,空中飘浮的细沙是从上游地区传播而来或本地沙尘暴和扬沙的残余物。因此,将沙尘暴和扬沙通过并集运算(即同一天既出现沙尘暴又出现扬沙时,只按一个日数计算)形成的新序列包含了沙尘天气的全部起沙活动,本文称之为起沙活动(简记为 DBS)时间序列。

统计学检验表明,起沙活动时间序列较单一的沙尘暴序列具有三个方面的优点:减少了沙尘暴与扬沙之间的观测和统计误差;降低了零值下限对时间序列的影响;起沙活动时间序列的统计分布趋于正态<sup>[17]</sup>。

本文使用的中国 681 个站春季起沙活动日数及相关的大风、气温、降水资料,统一取自中国国家气象信息中心归档的原始地面气象记录报表及其信息化产品。冷空气频数取自中国国家气候中心的业务监测产品。原有的资料年代为 1954—2002 年,但是考虑到近几十年中国地面气象观测站网的变化,DBS 观测规范<sup>[5]</sup>及统计方法<sup>[20]</sup>的变化,本文选用

了 1961—2002 年的 42 a 资料进行相关分析,理由如下:①可以避开 1961 年以前气象观测日界的差异,使整个序列都统一在北京时间 20 00 时的日界下(1954—1960 年气象观测日界为北京时间 19 00 时)<sup>[5]</sup>,减小统计误差;②可以使序列长度和站点密度达到最佳的结合。20 世纪 50 年代中国地面测站密度的年际差异很大,60 年代及之后则相对稳定,1961 年进行 DBS 观测的国家基本站有 664 个,这样对于 1961—2002 年的时间尺度有 97% 以上的测站都能满足。此外,为了较准确地把握问题,本文对上述 681 个站按以下条件进行筛选:①1961—2002 年 42 a 平均的春季 DBS 日数必须大于等于 5 d;②42 a 间,测站必须保持连续稳定的观测,即无缺测;③42 a 间,春季 DBS 日数为零的年数必须小于等于 10 a。这样,最后筛选出 175 个代表性较好的站点,以其为基础,便基本形成了中国北方起沙活动的主体区域(图 1)。同时,将 175 个站每年春季的 DBS 日数进行累加,便构建了一个代表中国北方的 DBS 日数时间序列。

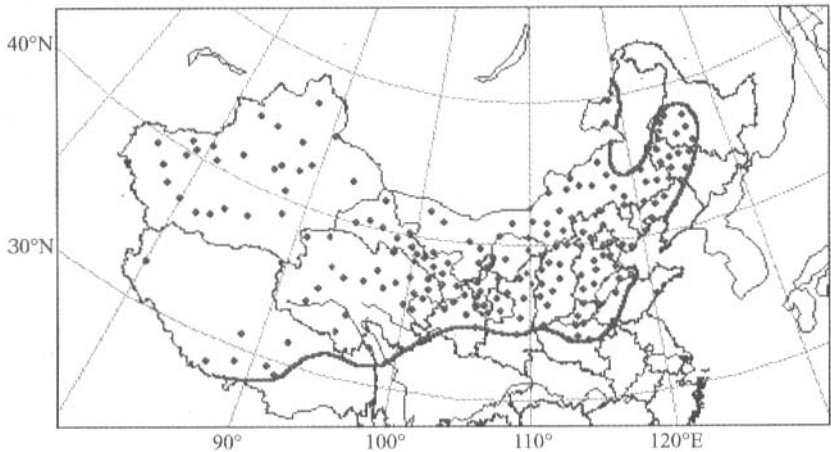


图 1 中国北方起沙活动的主体区域及 175 个站点的分布

Fig. 1 The main region of dust emission and locations of 175 meteorological stations in northern China

2 起沙活动与冷空气、大风的关系

之所以选用瞬时风速大于等于  $17.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的大风日数作为风力条件指标,主要是因为瞬时大风的观测不受观测时次的限制,这一点与 DBS 的观测是一致的。图 2 给出了 1961—2002 年中国北方春季 DBS 日数、大风日数的逐年变化曲线。可见,春季 DBS 日数与大风日数具有很好的对应关系,两者的年际振荡和多年变化趋势是相当一致的,相关系数为 0.946,远远高于 99.9% 的显著性水平。如此高的相关关系表明春季大风动力条件的变化对

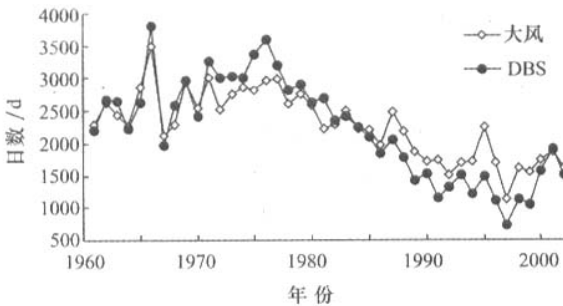


图 2 中国北方春季 DBS 日数、大风日数的逐年变化  
Fig. 2 Annual distributions of spring DBS days and gale days recorded by 175 stations in northern China

DBS 增减趋势的影响非常显著,也进一步证明了风力条件是形成 DBS 的最直接因素之一。从相关系数的空间分布(图 3)来看,各地春季 DBS 日数均与

本地大风日数存在较为显著的正相关。除局部外,绝大部分地区的相关系数大于 0.25,超过 90% 的显著性水平。

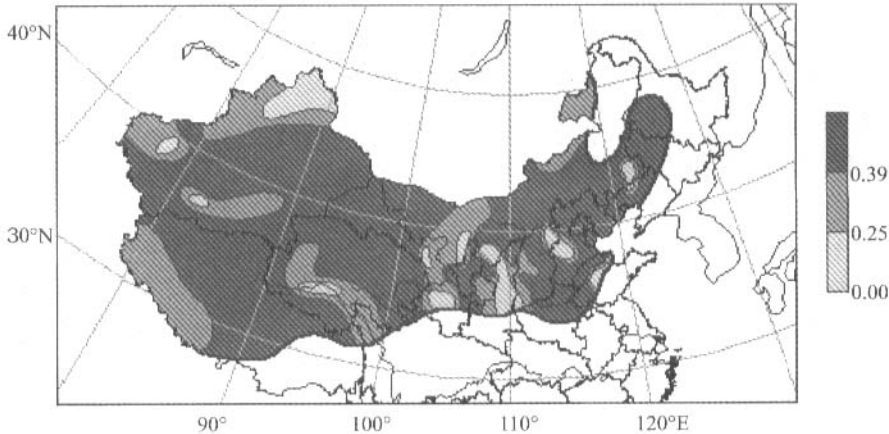


图 3 中国北方春季 DBS 日数与大风日数相关系数的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of correlation coefficients between spring DBS days and gale days in northern China

中国北方春季的大风天气主要来自冷空气的活动,同时,春季影响我国北方的冷空气次数在近 40 余年也有明显的减少趋势(图 4)。相关性分析表明,在 1961—2002 年的 42 a 间,中国北方春季 DBS 日数与冷空气次数的相关系数为 0.406,超过了 99% 的信度标准。显著的正相关表明如果春季影响我国北方的冷空气越频繁,那么发生 DBS 的可能性也就越大。这也证明了冷空气的入侵是引发我国北方 DBS 的主要动力源。但值得注意的是,影响中国北方的冷空气存在明显的路径变化<sup>[21]</sup>,由其引起的大风分布是不均匀、不平衡的,表现出春季 DBS 日数与冷空气次数、当地大风日数的相关关系具有较明显的区域差异。来自西伯利亚并影响我国的冷空气的几条主要路径均无法到达西藏地区,所以该地

区春季 DBS 日数与冷空气活动的相关很差,相反西北地区东部和华北中部地区是影响我国的冷空气最多经过之地,正相关关系较为显著(图 5)。

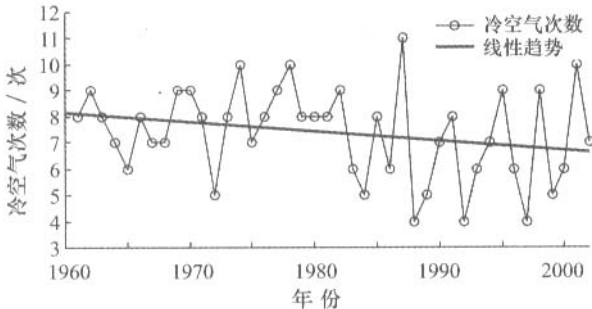


图 4 中国北方春季冷空气活动次数的逐年变化

Fig. 4 Annual change of cold air frequency in spring in northern China

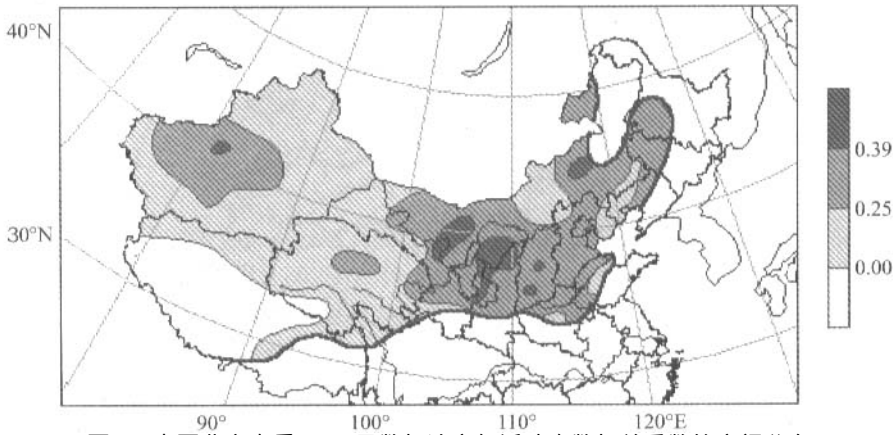


图 5 中国北方春季 DBS 日数与冷空气活动次数相关系数的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of correlation coefficients between spring DBS days and cold air frequency in northern China

3 春季起沙活动与气温的关系

冷空气的入侵除了带来大风,给 DBS 的发生提供动力源外,另一个重要表现形式就是显著降温。这是从天气尺度来说的。如果从季的气候尺度上看,春季影响我国北方的冷空气次数与上述 175 个站的平均气温的相关系数为  $-0.196$ ,与平均最低气温的相关系数为  $-0.245$ ,后者通过了  $\alpha$  等于  $0.1$  的信度检验,是有物理意义的。同样,冷空气的影响还进一步表现出大风日数与气温之间的相关性,在 1961—2002 年的 42 a 间,中国北方春季大风日数与平均气温的相关系数为  $-0.628$ ,与平均最低气温的相关系数为  $-0.715$ ,两者都通过了  $\alpha$  等于  $0.001$  的信度检验,与平均最高气温的相关系数为  $-0.405$ ,也超过了  $\alpha$  等于  $0.01$  的信度水平。亦即春季大风天气越多,气温偏低,春季大风天气越少,气温偏高。反之亦然,春季北方地区较为明显的升温,会导致大气温压场结构的变化,使得地面气压梯度减小,从而使地面风速减小、大风日数减少。这种双向关系暗示着气温变化对 DBS 的多与少可能存在着影响。

近 40 余年,中国北方春季的气温处于明显的变暖过程中(图 6),且高纬地区较低纬地区增温明显<sup>[11]</sup>。这种差异自然会导致春季大气温压场结构和对流层中上层环流场的变化,减弱温带气旋锋生作用<sup>[22]</sup>,减弱冷空气势力,进而对应着大风日数的减少,DBS 发生的动力条件变弱。统计结果进一步证明这一推理是正确的,在春季,中国北方 DBS 日

数与平均气温的相关系数为  $-0.494$ ,与最低气温相关系数为  $-0.607$ ,两者通过了  $\alpha$  等于  $0.001$  的信度检验,与最高气温相关相对弱一些,相关系数为  $-0.269$ ,但也通过了  $\alpha$  等于  $0.1$  的信度检验。实际上,春季 DBS 日数与气温的相关性体现了大尺度物理因子对中国北方 DBS 的影响。

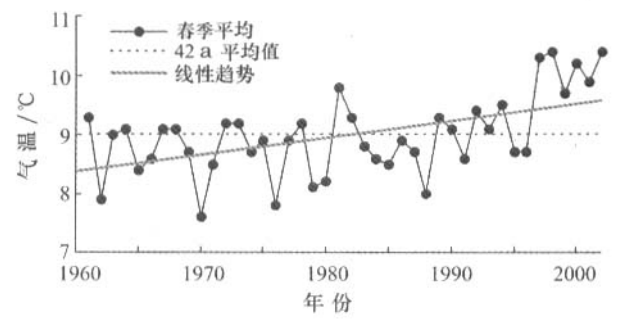


图 6 中国北方春季平均气温的逐年变化  
Fig. 6 Annual change of mean temperature of 175 stations in spring in northern China

从相关系数的空间分布(图 7)来看,春季 DBS 日数与平均气温负相关的高值区位于西北地区东部和东北平原地区,相关系数的绝对值大于  $0.25$ ,超过  $90\%$  的显著性水平。这些地区可以认为是温度对春季 DBS 影响的敏感区。但在华北南部、塔里木盆地西南缘、准噶尔盆地、浑善达克沙地和青藏高原中南部等部分地区,DBS 日数与平均气温成弱的正相关,反映了气温变化对 DBS 影响的另一方面,即春季较为明显的升温,地表快速解冻,容易起沙。

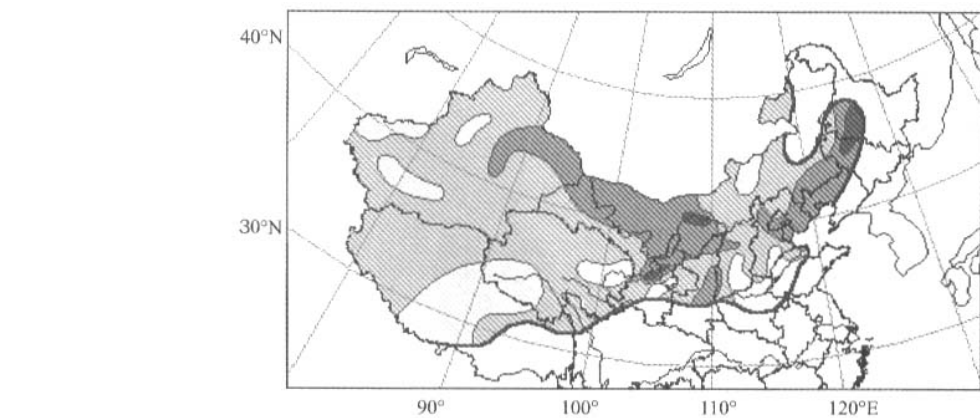


图 7 中国北方春季 DBS 日数与平均气温相关系数的空间分布  
Fig. 7 Spatial distribution of correlation coefficients between spring DBS days and mean temperature in northern China

4 春季起沙活动与降水的关系

图 8 给出了中国北方春季 DBS 日数与降水量相关系数的空间分布状况,可见,在整个研究区域

内,DBS 日数与降水量成较为一致的负相关关系,但是其中大部分地区的相关关系较弱,没有达到  $90\%$  的信度标准,只有在华北南部、新疆西北部和其它局部降水量相对充沛的地区负相关系数较好,绝

对值大于 0.25 通过了  $\alpha$  等于 0.1 的信度检验。这些地区可以认为是降水对春季 DBS 影响的敏感区。DBS 与降水量之间的负相关关系可以从起沙机理上来理解：有效的降水会增加土壤含水率，增强土壤

粘滞性，加强土壤粒子的团聚作用，土壤粒子的临界摩擦速度增大，因而也就要求更高的起动风速，不利于 DBS 的发生。这一点已在数值模式的模拟中得到了很好的证明<sup>[18,19]</sup>。

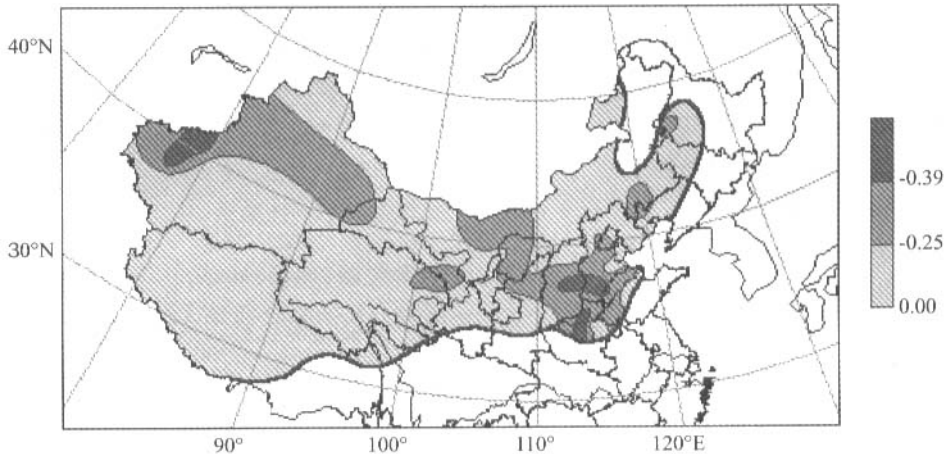


图 8 中国北方春季 DBS 日数与降水量相关系数的空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of correlation coefficients between spring DBS days and precipitation in northern China

从图 9 同样可以看出，中国北方春季 DBS 日数与 1 mm 以上降水日数也有较为一致的负相关关系。这就进一步说明，降水对 DBS 的影响还取决于降水的时间分布是否均匀。也就是说，在干旱、半干旱地区，春季非常有限的降水在时间上分配比较均匀，1 mm 以上降水日数增多，DBS 则相对减少。当

然要想有效地抑制 DBS 的发生，过弱的降水恐怕还是无济于事。表 1 的统计结果显示出 5 mm 以下的降水日数与春季 DBS 日数的相关关系非常之弱，相比之下，5 mm 以上的降水日数与春季 DBS 日数却有较为明显的负相关关系。这就说明只有降水达到一定的强度才能有效地抑制 DBS 的发生。显然，这

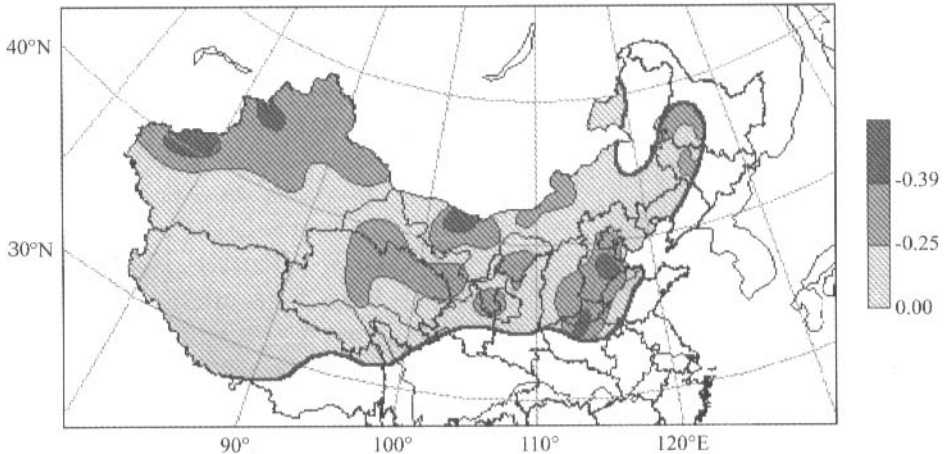


图 9 中国北方春季 DBS 日数与 1 mm 以上降水日数相关系数的空间分布

Fig. 9 Spatial distribution of correlation coefficients between spring DBS days and rainfall days are greater than 1mm in northern China

表 1 中国北方春季 DBS 日数与各种强度降水日数的相关系数

Tab.1 Correlation coefficients between spring DBS days and rainfall days with various precipitation intensities in northern China

	降水量	0.1 ~ 0.9 mm 降水日数	1.0 ~ 4.9 mm 降水日数	5 mm 以上降水日数	10 mm 以上降水日数
DBS 日数	-0.222	0.091	0.017	-0.222	-0.239

一强度的临界值应该是在 5 mm 左右。

由图 10 可见,在 1961—2002 年的 42 a 间,中国北方春季降水量的线性变化趋势非常不明显,线性趋势线完全与 42 a 的平均值重合,但年际、年代际差异还是比较大的。20 世纪 70 年代中国北方春季降水量相对偏少,对应着春季 DBS 日数的相对偏多(图 2)。统计结果表明,42 a 间 175 个站春季 DBS 日数与降水量的相关系数为 -0.222。虽然没有通过  $\alpha$  等于 0.1 的信度检验,但是物理意义还是明确的。相关性水平大致相当于 DBS 日数与 5 mm 以上的降水日数的相关性(表 1)。同样,42 a 间中国北方春季 1 mm 以上降水日数和 5 mm 以上降水日数(图略)的线性变化趋势也不明显。因此,可以认为在过去的 42 a 间,降水因素虽然对中国北方 DBS 的年际振荡有一定的影响,但是对 DBS 总体趋势的影响相对较小。

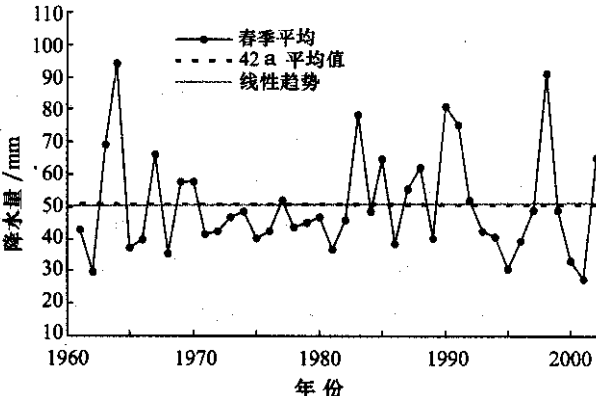


图 10 中国北方春季平均降水量的逐年变化

Fig. 10 Annual change of spring mean precipitation of 175 stations in northern China

5 结论

(1) 在 1961—2002 年的 42 a 间,中国北方春季 DBS 日数与大风日数的相关系数为 0.946。表明春季大风动力条件的变化对 DBS 增减趋势的影响非常显著,证明风力条件是形成 DBS 的最直接因素之一。

(2) 中国北方春季 DBS 日数与冷空气次数的相关系数为 0.406。表明如果春季影响我国北方的冷空气越频繁,那么发生 DBS 的可能性也就越大,这也证明了冷空气的入侵是引发我国北方 DBS 的主要动力源。但是由于影响中国北方的冷空气存在明显的路径变化,由其引起的大风分布是不均匀、不平衡的,表现出春季 DBS 日数与冷空气次数、大风日数的相关关系具有较明显的区域差异。

(3) 中国北方春季 DBS 日数与平均气温、最低

气温、最高气温的相关系数分别为 -0.494、-0.607、-0.269。表明近 40 余年中国北方春季气温的明显变暖,导致春季大气温压场结构变化,减弱温带气旋锋生作用,减弱冷空气势力,大风日数减少,DBS 发生的动力条件变弱。

(4) 春季降水对中国北方 DBS 总体趋势的影响相对较小。降水对 DBS 的影响还取决于降水的强度和降水的时间分布,5 mm 以上的降水能有效地抑制 DBS 的发生。

参考文献 (References):

[1] Nickling W G, Brazel A J. Temporal and spatial characteristics of Arizona dust storms (1965 - 1980) [J]. *J. Climatology*, 1984, 4: 645 - 660.

[2] Middleton N J. A geography of dust storms in south-west Asia [J]. *J. Climatology*, 1986, 6: 183 - 196.

[3] Swap R S, Ulanski S, Cobbett M *et al.* Temporal and spatial characteristics of Saharan dust outbreaks [J]. *J. Geophys. Research*, 1996, 101: 4295 - 4220.

[4] Sun Jimin, Zhang Mingying, Liu Tungsheng. Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960—1999: relations to source area and climate [J]. *J. Geophys. Research*, 2001, 106: 10325 - 10333.

[5] 中央气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 1979.

[6] 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.

[7] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年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.

[8] 丁瑞强, 王武功, 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.

[9] Zhou Zijiang, Zhang Guocai. Typical severe dust storms in northern China during 1954 - 2002 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(21): 2366 - 2370.

[10] 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): 513 - 521.

[11] 张莉, 任国玉. 中国北方沙尘暴频率演化及其气候成因分析 [J]. 气象学报, 2003, 61(6): 744 - 750.

[12] 赵光平, 郑广芬, 王卫东. 宁夏特强沙尘暴气候背景及其成灾规律研究 [J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 420 - 427.

[13] 杨续超, 刘晓东. 东亚中纬度前期降水对中国北方春季强沙尘暴影响初探 [J]. 干旱区地理, 2004, 27(3): 293 - 299.

[14] 冯建英, 陈旭辉, 陆登荣, 等. 我国西北干旱区区域性沙尘暴特征及成因研究 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 582 - 587.

[15] 张杰, 郭锐, 蒯潇泓. 西北地区东部冬季降水和次年沙尘暴发生的关系 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 603 - 606.

[16] 成天涛, 吕达仁, 王革丽, 等. 浑善达克沙地气候因子对沙尘暴频率影响作用的模拟研究 [J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 68 - 74.

[17] 周自江, 艾婉秀, 张洪政, 等. 沙尘暴常规观测资料中若干问题

的解析[ J ]. 应用气象学报 2004 ,15( 增刊 ) 60 – 67.

[ 18 ] 赵琳娜. 沙尘( 暴 )发生发展的机理及起沙机制的数值模拟 [ D ]. 中科院大气层物理所博士研究生学位论文 2002. 94 – 105.

[ 19 ] ShaoYaping ,Yang Yan ,Wang Jianjie ,et al. Northeast Asian dust storms :Real-time numerical prediction and validation[ J ]. J. Geophys. Research 2003 ,108 ,10. 1029/2003JD003667.

[ 20 ] 王树廷 ,王伯民. 气象资料的整理和统计方法[ M ]. 北京 :气象出版社 ,1984. 139 – 144.

[ 21 ] 朱乾根 ,林锦瑞 ,寿绍文. 天气学原理和方法[ M ]. 北京 :气象出版社 ,1981. 168 – 169.

[ 22 ] Qian Weihong , Quan Lingshen ,Shi Shaoying. Variations of dust storm in China and its climatic control[ J ]. J. Climate 2002 ,15 : 1216 – 1229.

Time Series of Spring Dust Emission and Its Correlative Climatic Factors in Northern China

ZHOU Zi-jiang<sup>1</sup>, ZHANG Guo-cai<sup>2</sup>, AI Wan-xiu<sup>3</sup>, ZHANG Hong-zheng<sup>1</sup>, NIU Ruo-yun<sup>2</sup>  
(1. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100081, China; 3. National Climate Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the spring sandy weather data from 681 meteorological stations in China during 1961—2002, time series of dust storm and blowing sand are recombined because of their similar mechanism, and a new series which can represent all of dust emission activities and has more merits are constructed. Furthermore, 175 stations are selected as the representatives of the main region on discussing dust emission and its correlative climatic factors in spring (March to May) in northern China. The results show: (1) correlation coefficients between spring dust emission days and gale days, cold air frequency are 0.946 and 0.406 respectively; (2) correlation coefficients between spring dust emission days and mean, minimum and maximum temperature are 0.494, –0.607, and 0.269 respectively; (3) controls of precipitation on dust emission is decided by the precipitation intensity and temporal distribution, and only precipitation is higher than 5 mm can effectively suppress dust emission.

**Key words:** northern China; dust storm and blowing sand; climatic factor; correlation analysis