

我国北方沙尘天气演变趋势及其气候成因分析*

张莉¹⁾²⁾³⁾ 丁一汇²⁾ 任国玉²⁾

¹⁾(中国气象科学研究院,北京100081)

²⁾(国家气候中心,北京100081)

³⁾(中国科学院研究生院,北京100049)

摘要

利用地面气象观测资料,分析了我国北方1954~2001年年、季沙尘天气发生日数的演变规律及其与主要气候要素,风速、相对湿度、降水、气温和干燥度的相关关系,用NCEP/NCAR再分析资料分析了冬春气压梯度的变化趋势。结果表明:近50年来,造成我国北方沙尘天气频率显著下降的直接自然原因是沙尘源区和发生区平均风速和大风日数的减少,主要沙尘源区降水量特别是春季及其前冬降水量的增加以及由于源区降水增加引起的大气和土壤湿润程度的改善。冬春季节气压梯度的减小是风速减小,进而导致沙尘日数减小的关键间接因素。

关键词:沙尘天气 风速 降水 气温 气候变化

引言

沙尘天气问题目前已成为全球关注的重要环境问题之一。国外从20世纪20年代就开始了沙尘天气时空分布、成因与结构以及监测与对策等方面的研究。我国是受沙尘天气影响较大的国家之一,从20世纪70年代起也开始了该方面的研究^[1],已对沙尘源区、时空特征和天气成因等进行了不少研究^[2~11]。尤其对危害较大的沙尘暴研究更多,不仅分析了近几十年我国沙尘天气的时空特征、发生原因,还提出了相应的治理对策^[2,5,10,12~16]。我国北方是受沙尘天气影响较大的地区,虽有研究分析了温度、降水等基本气象要素对沙尘天气的影响,但对区域干湿状况对沙尘天气影响缺乏分析,对影响风速的气压梯度变化状况尚未做分析,另外,有研究指出沙尘暴的起沙风速是5 m/s,沙尘暴则更小^[17],而目前对风速 ≥ 5 m/s天数对沙尘天气发生的影响也缺乏研究。因此本文利用我国地面观测资料,除对我国北方的沙尘天气(包括浮尘、扬沙、沙尘暴)的演变趋势及其与平均风速、平均气温、降水量、相对湿度的关系进行了分析外,还对沙尘天气与日平均风速 ≥ 5 m/s天数以及干燥度的关系进行了分析,并用NCEP/NCAR 1000 hPa高度场资料分析了1954~2001年冬春季节气压梯度的变化趋势,希望对进一步了解北方沙尘天气演

* 国家“十五”科技攻关项目课题“全球与中国气候变化的检测和预测”(2001BA611B-01)、科技部公益项目“我国西北地区生态气候环境监测、预测方法研究”(WY-2001-02)、中国气象局IPCC专项经费和中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室开放基金共同资助。

2003-10-20收到,2005-06-24收到再改稿。

变规律、变化原因有所帮助,为沙尘天气未来演变趋势的预测奠定基础。

1 研究区域

我国北方是沙尘天气的主要发生和影响区,因此本文重点分析 $32.5^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$ 范围内沙尘天气的演变趋势及其原因。在这个区域内,以 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的经纬度网格为基础,计算获得了北方区域平均的年、季沙尘天气发生日数时间序列。考虑到沙尘源区的气候要素对沙尘天气的发生有关键作用,而国内沙尘天气的沙源区主要分布在中国北方地区的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、塔克拉玛干沙漠、乌兰布和沙漠、黄河河套的毛乌素沙地周围^①。尤其是塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠是中国沙尘暴的主要沙尘源区,因此选择了如图 1 所示的区域,计算对应气候要素的区域平均时间序列,以分析沙尘天气与各气候要素的关系。

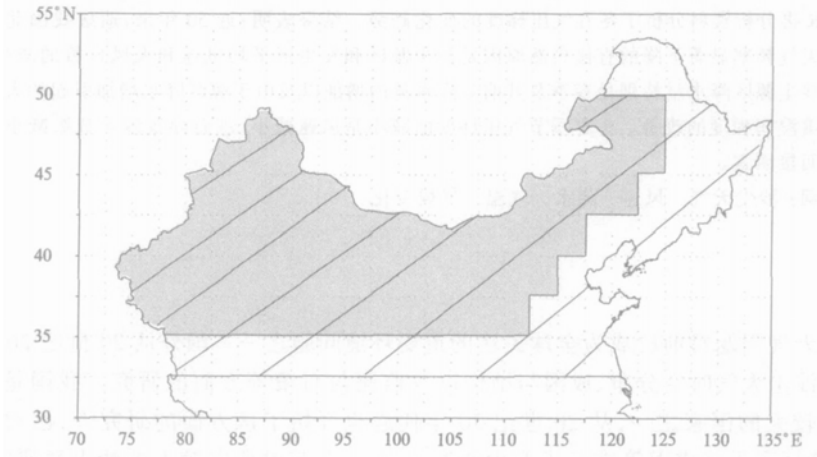


图 1 研究区域示意图

(斜线区为计算北方沙尘天气发生次数的区域,
阴影部分为区域平均气候要素的计算区域)

2 资料和方法

本文所用资料来自国家气象中心气候资料室和国家气候中心,包括 1954~2001 年我国北方 339 个站的沙尘天气日数和相对湿度的月平均资料值,逐日风速、降水和气温资料,以及 NCEP/NCAR 1000 hPa 位势高度再分析资料。由月平均值计算季节平均,由风速逐日资料统计日平均风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 有效起沙风速天数,利用降水和温度的逐日资料计算年干燥度。四季划分按气象季节划分方法,即前一年 12 月至当年 2 月为冬季,3~5 月

① 中国沙尘暴网, <http://www.duststorm.com.cn/> .

为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季。对于序列中缺测的部分,资料处理中进行了剔除。

计算了1954~2001年间各台站的干燥度序列,分析了干燥度、年平均气温、年平均相对湿度、年降水量、年平均风速、年日平均风速 ≥ 5 m/s天数等的演变趋势及其与北方区域平均沙尘天气年发生日数之间的相关关系。干燥度采用了张宝雯的计算方法^[18],其定义为:日平均气温 ≥ 10 °C期间的积温(T)与同期降水量(R)之比乘以经验系数0.16,即:

$$K = 0.16 \times \sum T_{\geq 10} \text{ } ^\circ\text{C} / R \quad (1)$$

气候要素区域平均时间序列的建立采用经纬度网格面积加权平均方法^[19]。本文采用 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的经纬度网格点,将每个格点内某气候要素值求算术平均,再根据网格面积做加权平均,得到逐年区域平均值。假设共有 n 个 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格,其中第 i 个网格内有 k_i 个参与计算的数据 x_j ($j=1, 2, \dots, k_i$),网格中心点纬度为 a_i ,考虑网格面积大小进行加权平均,则某要素 x 的区域平均 \bar{X} 为:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\cos a_i \times \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} x_j)}{\sum_{i=1}^n \cos a_i} \quad (2)$$

另外,本文还用 Mann-Kendall 非参数检验方法^[20](简称 MK 检验),分析了气候要素和沙尘天气日数时间序列的演变趋势。

3 结果与分析

3.1 北方沙尘天气年季发生日数的时间变化

1954~1997年我国北方沙尘天气的年发生日数呈波动下降的趋势,1997年之后又开始上升(图2a)。对该序列进行 MK 检验发现:20世纪50年代中期和70年代后期到80年代前期的10年沙尘天气年发生日数呈上升趋势,但这种趋势在0.05显著性水平上并不显著;其余时段内均呈现下降趋势,其中1961~1965年,1968年及1989年以后共19年达到和超过了0.05显著性水平(对应统计值 $U_{0.05} = \pm 1.96$),并且90年代开始甚至超过了0.001显著性水平(对应统计值 $U_{0.001} = \pm 2.56$),表明这些时段内北方沙尘天气显著减少,尤其从90年代开始减少趋势非常显著(如图2b)。沙尘暴、扬沙和浮尘年发生日数也分别呈现减少趋势,其中,以沙尘暴的减少最为显著(图2b),沙尘暴年发生日数从50年代中期的平均10天左右减少到目前的3天左右,下降2倍还多(图略)。并且三者沙尘天气年总日数中所占的比例也有所改变,平均而言北方沙尘暴所占比例有所降低,而浮尘和扬沙的比例有所上升(图略)。

近50年,各季节沙尘日数也呈现减少趋势(图略),尤其春季,并且春季沙尘日数在1997年之后也出现了与年变化趋势非常一致的回升,其余各季则不明显。其中,沙尘暴日数减少约2倍,从平均每年6天左右降至不足2天(图略)。MK 检验(图3)发现,春季的 MK 检验统计量 U 值均为负,且1957~1971年以及1987年以后 U 值均可超过0.05显著水平($U_{0.05} = \pm 1.96$),1989年以后甚至超过了0.001显著水平($U_{0.001} = \pm 2.56$),

说明该时间段内春季沙尘天气日数减少的趋势非常显著。在 20 世纪 70~80 年代沙尘天气日数冬季、夏季和秋季均出现了增长趋势,但其间除夏季在 1978~1984 年间呈显著增长外,其余各时段的增长趋势在 0.05 显著水平上并不显著。冬、夏、秋各季的 U 值均自 90 年代的不同年份起超过了 0.05 的显著水平。

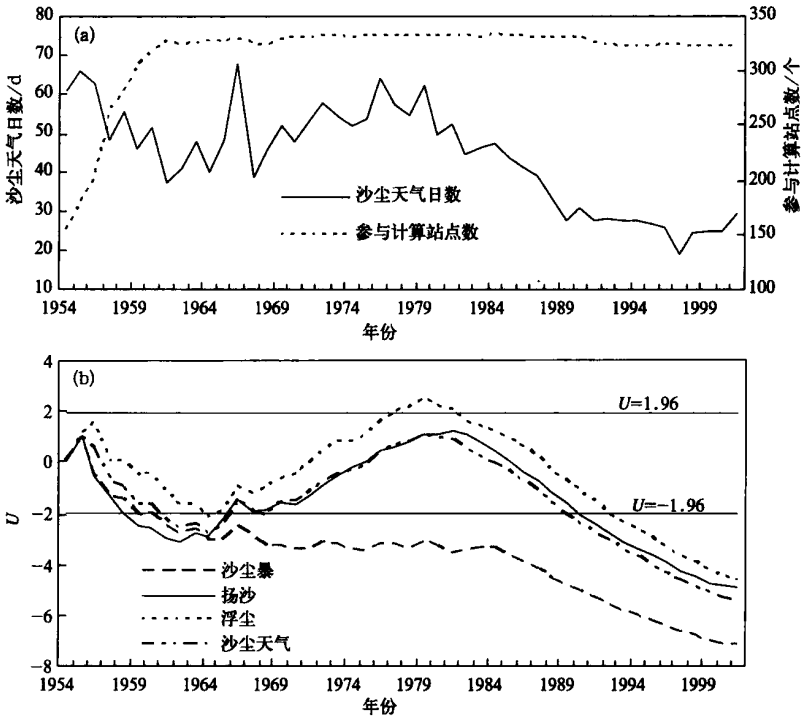


图 2 1954~2001 年我国北方平均沙尘天气年发生日数的变化
(a) 沙尘天气年发生日数,(b) 北方平均沙尘暴、扬沙、浮尘和沙尘天气
总日数演变趋势 MK 检验

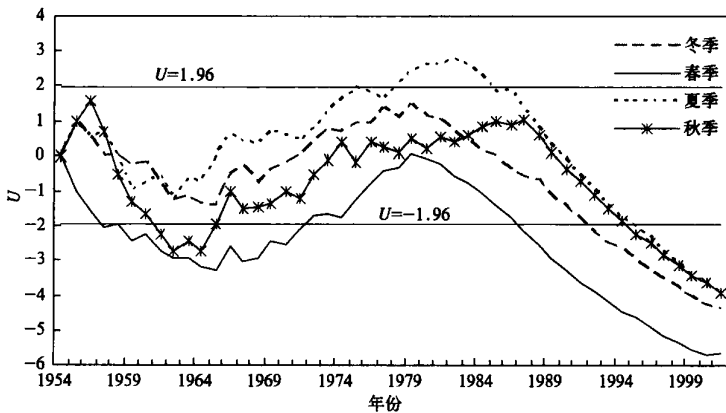


图 3 1954~2001 年我国北方各季平均沙尘日数演变趋势的 MK 检验

3.2 近 50 年北方气候要素的时间演变分析

对 1954~2001 年北方平均的平均风速以及日平均风速 ≥ 5 m/s 天数、气温、降水量、相对湿度、干燥度的 MK 检验发现(图略),风速两要素的演变趋势与沙尘日数的演变非常相似,在经历了 20 世纪 60 年代末 70 年代初到 80 年代中期的增长后,开始呈现下降趋势,且在 80 年代末 90 年代初开始超过了 0.05 显著水平。温度的演变趋势则不同,从 50 年代中期开始到 80 年代初一直呈不同程度的降低趋势,80 年代初之后一直呈增长趋势,并且从 90 年代初开始呈 0.05 水平上的显著增长趋势。而北方平均的降水量、相对湿度和干燥度则呈现减少趋势:降水量的减少趋势在 60 年代中期到 80 年代中后期超过了 0.05 显著性水平;相对湿度的减少趋势在 50、60 年代的个别年份以及 70 年代末到 90 年代初也超过了 0.05 显著性水平。

进一步对北方各站的温度、降水和干燥度进行单站线性演变趋势分析(图略),从温度变化看,北方绝大部分地区均呈不同程度的上升,并且大部分站可通过显著水平为 0.05 的相关检验。升温最显著的地区包括西北地区中部和北疆地区、内蒙古中部和东北北部。年降水量变化的空间特征也非常明显。西北大部、内蒙古西部和东北北部等地区年降水量呈增加趋势,而研究区域的东南部地区年降水量一般呈现减少趋势。年降水量线性倾向率零值线从黑龙江黑河沿中蒙边界向西南,经贺兰山、乌鞘岭至青海东南部。此线的西北,绝大部分地区降水增加;此线的东南,绝大部分地区降水减少。其中新疆一些地区的增加和华北一些台站的减少通过了 0.05 的信度检验。干燥度变化趋势与年降水量变化相似,但西北有更少的台站通过检验,而东南部有更多的台站通过了信度检验。

3.3 北方沙尘天气年发生日数与气候要素的关系

相关分析发现,北方平均的沙尘天气年发生日数与风速(平均风速和日平均风速 ≥ 5 m/s 天数)之间呈高相关,相关系数达到 0.8 以上,说明风速对沙尘天气的发生和传播起决定性作用,即动力条件是沙尘天气过程发生和传播的决定性因素。与平均温度之间存在显著负相关,相关系数达到 -0.58。这种比较显著的负相关可能揭示了温度的一种间接影响,即北方较明显的升温导致地面气压梯度减小,从而使平均风速和大风日数减少,沙尘天气的发生频率也降低。与干燥度的相关系数仅为 0.18,即源区相对干旱的年份更利于沙尘天气的发生,但这个关系并不显著。相似的关系存在于沙尘暴与各气象要素之间,沙尘暴年发生日数与沙尘源区平均风速之间存在显著正相关(相关系数为 0.73),与平均温度之间存在显著负相关(相关系数为 -0.49),沙尘暴日数与干燥度之间呈正相关(相关系数为 0.24),即源区相对干旱的年份更易于发生沙尘暴,但这个关系不是很显著。而多数年份的沙尘暴发生日数与前一年的干燥度之间有着更好的对应关系(相关系数为 0.31),通过了 0.05 显著水平检验,说明沙尘源区前期的干湿状况对沙尘暴的产生有一定影响。

然而,分析结果显示,沙尘天气年发生日数与年降水量和平均相对湿度的相关并不显著。这一结果的出现可能与我们定义的源区范围偏东有关,使得东南部降水量明显减少区域包括在源区气候要素统计范围内,在一定程度上弱化了源区平均降水量波动和趋势变化信号。实际上,在过去的 50 年,作为沙尘主要源区的中国西北地区和蒙古国降水量均呈较明显增加趋势^[20],这和我国北方沙尘日数整体减少趋势是对应的。

北方几个主要的沙尘源区(塔克拉玛干沙漠、吉尔班通古特沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙漠和浑善达克沙漠)及其附近的沙尘发生日数与降水量之间存在负相关(图4a),部分站点可通过0.05显著水平的检验,说明降水量增加对本地沙尘天气的发生起到了较明显的抑制作用,并进而导致其下游沙尘天气影响区与降水量之间呈现正相关。除东北和西北小部分地区外,北方大部分地区沙尘天气年发生日数与平均相对湿度之间存在负相关(图4b),且这种相关在0.05水平上显著。即各地沙尘发生日数随着本地相对湿度的增大而减少。这说明北方大部分地区相对湿度的增加对本地沙尘天气的发生起到了较明显的抑制作用。北方大多数台站沙尘发生日数与本站平均风速和日平均风速 ≥ 5 m/s天数之间存在显著正相关(图4c,d),说明风这一气候要素在沙尘天气发生过程中起主导作用。另外,从图4c中还可以看到,在吐鲁番盆地及其附近存在小范围负相关区,这可能与地形影响有关。除西北北部、新疆西部边缘、巴颜喀拉山附近以及东北西北部等小范围区域外,北方大部分地区单站沙尘天气年发生日数与平均温度之间存在较显著的负相关(图4e),揭示了温度升高导致地面气压梯度降低,进而使风速减小,沙尘天气减少的因果关系。各站干燥度与沙尘日数在主要的几个沙尘源区呈正相关(图4f),与降水基本相反,

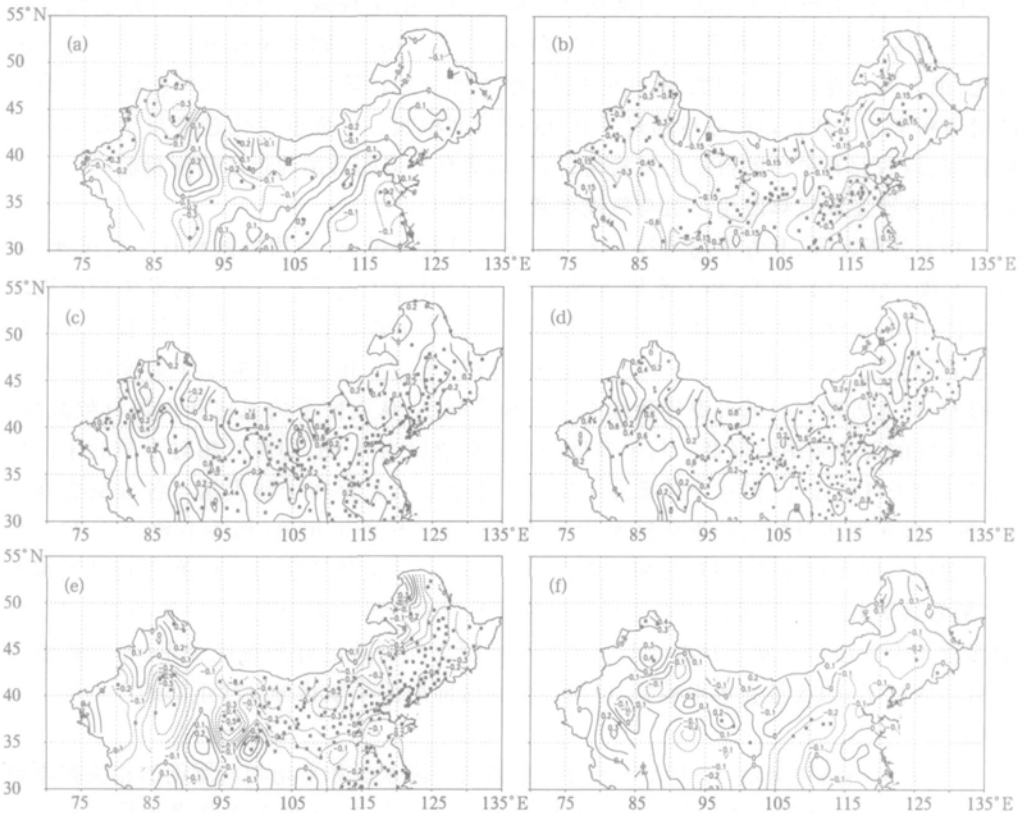


图4 我国北方各站年沙尘天气发生日数与各气候要素的关系及相关检验结果

(a) 降水量, (b) 平均相对湿度, (c) 平均风速, (d) 日平均风速 ≥ 5 m/s 天数, (e) 平均温度, (f) 干燥度
(黑点标注的为显著水平达0.05的站点)

虽然这种关系仅少数站点通过了0.05显著水平的检验,但也在一定程度上说明沙尘源区干燥度的降低对沙尘天气的发生有显著的抑制作用。

利用1954~2001年NCEP/NCAR再分析资料分析冬季1000 hPa高度场中区域 $45^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$, $85^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ 和区域 $35^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$, $85^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ 之间的差值和春季1000 hPa高度场中区域 $45^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$, $80^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 和区域 $35^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$, $80^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 之间的平均位势高度差值(图5)发现,冬、春季分别在20世纪50年代中期至60年代后期和50年代中期至60年代初期波动上升,之后均呈波动下降的趋势。这说明自60年代开始冬季和春季气压梯度波动减小,这也验证了以上的推断,气压梯度减小可部分解释风速减小、沙尘天气减少的原因。

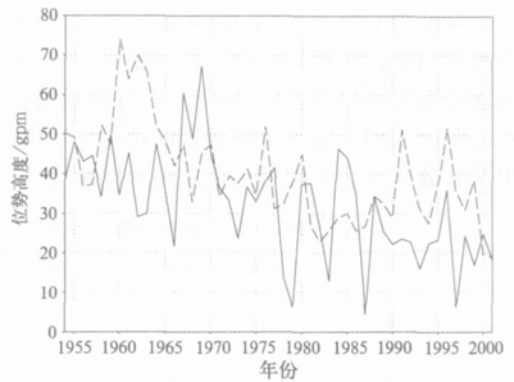


图5 1954~2001年冬、春两季1000 hPa区域平均位势高度差值年际变化
(实线:冬季,区域 $45^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$, $85^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ 平均与区域 $35^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$, $85^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ 平均之差;
虚线:春季,区域 $45^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$, $80^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 平均与区域 $35^{\circ} \sim 45^{\circ} \text{N}$, $80^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 平均之差)

由3.1节的分析发现,1997年沙尘天气日数开始有所回升,对比沙尘日数和各气候要素时间序列发现(图略),平均风速和日平均风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 天数的时间演变与沙尘日数变化有很好的对应关系,而多数年份沙尘日数的增加(减少)则滞后于干燥度的增加(减小)1~2年。沙尘日数1997年后的回升与对应的平均风速和风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 天数1997年之后的增加以及干燥度1996年之后的增加有着良好的对应关系。因此,平均风速和大风日数的增加以及前期干燥程度的增加是1997年以后沙尘日数增加的重要原因。

3.4 北方沙尘天气季节发生日数与气候要素的关系

分析北方各季节沙尘源区的平均温度、降水量、相对湿度、平均风速和日平均风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 天数与北方平均沙尘天气发生日数之间的相关关系(表1)发现,各季平均沙尘天气日数与源区平均气温之间呈0.05水平上的显著负相关;与降水量的相关并不显著,但在冬季出现了正相关,这可能缘于冬季气温的升高,部分固体降水消融,从而导致地面蒸发增加、土壤松软,更易于起沙;与源区相对湿度的关系也呈负相关,这一关系冬季和春季并不显著,而夏季和秋季在0.05水平上是显著的;与源区平均风速之间存在正相关,相关系数均在0.01显著水平以上,并且与日平均风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 天数之间也存在较高的正相关,且该相关也在0.01水平上显著。

表1 北方各季平均沙尘天气日数与各气候要素相关关系

	平均温度	降水量	平均相对湿度	平均风速	春季日平均风速 $\geq 5 \text{ m/s}$ 天数
冬季	-0.38	0.14	-0.09	0.88	-
春季	-0.48	-0.10	-0.04	0.80	0.78
夏季	-0.30	-0.15	-0.32	0.81	-
秋季	-0.53	-0.10	-0.30	0.75	-

对沙尘暴的分析(表 2)发现,各季平均沙尘暴发生频数与源区平均风速之间也存在正相关,相关系数均在 0.01 显著水平以上;春季沙尘暴与日平均风速 ≥ 5 m/s 有效起沙风速天数之间也存在较高正相关,且该相关在 0.01 水平上是显著的。各季沙尘暴发生日数与源区平均气温均呈较显著的负相关。但是,与年沙尘暴日数相似,北方平均的各季沙尘暴日数与源区平均降水量和相对湿度之间的关系并不明显,相关系数甚至为正值。

表 2 北方各季平均沙尘暴发生日数与各气候要素相关关系

	平均温度	降水量	平均相对湿度	平均风速	春季日平均风速 ≥ 5 m/s 天数
冬季	-0.38	0.24	-0.03	0.86	-
春季	-0.46	0.07	0.07	0.66	0.62
夏季	-0.30	-0.09	-0.23	0.66	-
秋季	-0.34	-0.01	-0.19	0.57	-

对各季节北方各站进行单站要素相关分析发现(图略),相关分布与年时间尺度上分析的结果非常相似,北方大部分地区沙尘天气日数与降水、相对湿度和气温呈负相关,与平均风速呈正相关。

另外,春季是沙尘天气的多发季节,北方春季平均的沙尘天气日数约占全年总日数的 47%。由表 1 可知,春季沙尘日数的多少与当季的降水、相对湿度和气温呈负相关,与平均风速呈正相关。同时,我们也不能忽略前期降水的累积效应。在几个主要沙源区,冬季多为固体降水,春天融化,因此冬季降水的多寡对春季沙尘天气的发生也应有不可忽视的作用。如图 6 所示,春季沙尘日数与冬春两季降水量总和的负相关关系比与春季的相关更好,这一特征在西北地区尤为明显。这也验证了以上的分析,即冬季降水多寡对春季沙尘日数有着不可忽视的影响。

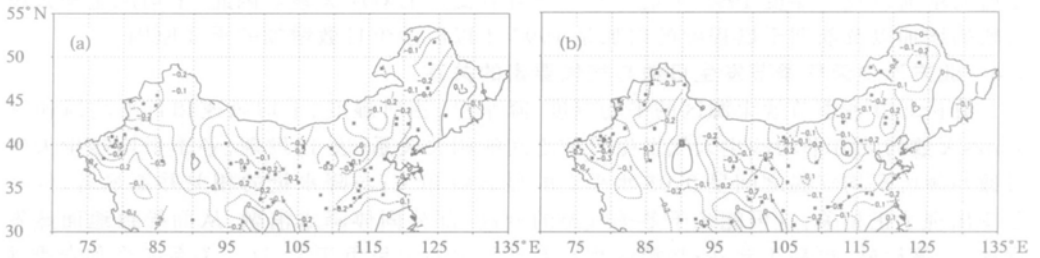


图 6 我国北方各站春季沙尘日数与春季降水(a)和冬春两季降水总量(b)的相关关系
(黑点标注的为显著水平达 0.05 的站点)

4 结论与讨论

以上分析表明:

(1) 1954~2001 年我国北方平均沙尘天气发生日数在年、季序列均呈波动下降的趋势,沙尘暴所占比例有所降低,而浮尘和扬沙的比例有上升趋势;1997 年之后沙尘天气发生日数的上升与平均风速的增加及前期干燥程度的增加有关。

(2) 沙尘源区的气候要素对北方沙尘发生日数有较明显的影响,其中风是影响较大的因子,平均风速和大风频率增加(减少)均有(不)利于沙尘天气的形成;气温与沙尘日数呈显著的反相关关系,即北方温度升高似乎通过大气环流间接地抑制了沙尘天气的发生;降水增加对沙尘天气的发生也起一定抑制作用,尤其春季和前冬沙尘源区降水多寡对沙尘天气的发生有着重要的影响;北方沙尘天气频数与沙尘源区的相对湿度或干燥指数也存在较明显的相关关系。

(3) 通过 NCEP/NCAR 再分析资料分析 1000 hPa 高度场发现,冬春气压梯度的减小可能是导致风速减小,进而导致沙尘日数减少的因素之一。

与其他一些研究结果相似^[21~22],本研究发现近 50 年来,我国北方的气候处于明显变暖过程中,尤以西北、华北和东北地区变暖最为明显,华北地区出现了大范围的旱化趋势,而西北则出现明显变湿迹象^[23]。近半个世纪,包括我国北方在内的北半球中高纬度地区明显变暖,且欧亚大陆高纬度比中低纬度增温明显,其结果将可能进一步改变中纬度大气的温压结构和对流层中上层平均西风环流特征,减弱温带气旋锋生作用^[24];另外,将导致冬春季寒潮势力减弱,这和冬季地面西伯利亚高压平均强度减弱^[25]、我国北方地区的气压梯度减弱(图 5)、春季温带气旋数量下降^[15]以及我国北方冬春季节气压梯度的减小对应。北方特别是沙尘源区平均风速和大风日数的长期下降就是上述温压场和环流变化的直接反映,并进而导致北方沙尘天气生成所必需的起沙动力条件的弱化。气压梯度,尤其冬春季节气压梯度的减小是导致风速减小,进而导致沙尘日数减小的关键间接因素。

同时,尽管过去 50 年我国华北大部分地区降水出现减少趋势,但这些旱化地区可能并不是北方沙尘天气的主要物质源地。主要的沙尘源区当包括内蒙古西部、新疆、甘肃和青海西部以及蒙古国西南部等地区。这些地区地表水分条件的改善不仅增大了起沙难度,而且也通过大气的温压场结构影响起沙的动力条件。

参 考 文 献

- 1 徐国昌,陈敏连,吴国雄. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报,1979,37(4):26~35.
- 2 胡金明,崔海亭,唐志尧. 中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响. 自然灾害学报,1999,8(4):49~56.
- 3 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.
- 4 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.
- 5 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.
- 6 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气. 第四纪研究,2001,21(1):9~17.
- 7 周自江,王锡稳,牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究. 应用气象学报,2002,13(2):193~200.
- 8 周秀骥,徐祥德,颜鹏,等. 2000 年春季沙尘暴动力学特征. 中国科学(D 辑),2002,32(4):327~334.
- 9 夏训诚,杨根生. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治. 北京:中国环境科学出版社,1996.
- 10 钱正安,贺慧霞,瞿章,等. 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征. 中国沙尘暴研究. 北京:气象出版社,1997.1~10.
- 11 王式功,杨德保,金炯,等. 我国西北地区沙尘暴时空分布及其成因分析. 中国科协第二届青年学术年会论文集(资源与环境科学分册). 北京:中国科学技术出版社,1995.364~370.
- 12 王社教. 历史时期我国沙尘天气时空分布特点及成因研究. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2001,30(3):81~87.
- 13 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. 地理学报,2001,56(4):477~485.

- 14 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.
- 15 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. 地理学报, 2000, 55(5): 513 ~ 521.
- 16 陆均天,邹旭皓,王锦贵,等. 近3年我国沙尘天气较频繁发生的原因分析. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 107 ~ 113.
- 17 申元村,杨勤业,景可,等. 我国的沙尘暴. 尘暴灾害及其防治. 中国减灾, 2001, 11(2): 28 ~ 30.
- 18 欧阳海,郑步忠,王雪娥,等. 农业气候学. 北京:气象出版社, 1990. 286.
- 19 Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *Int J Climatol*, 1996, 16: 361 ~ 377.
- 20 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京:气象出版社, 1999. 468.
- 21 陈隆勋,朱文琴. 中国近45年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 257 ~ 271.
- 22 任国玉,吴虹,陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322 ~ 330.
- 23 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152 ~ 164.
- 24 Qian Weihong, Quan Lingshen, Shi Shaoyin. Variation of the dust storm in China and its climatic control. *J Climate*, 2002, 15: 1216 ~ 1229.
- 25 龚道溢,王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究. 地理学报, 1999, 54(2): 125 ~ 133.

VARIATION OF DUST WEATHER AND ITS CLIMATIC ATTRIBUTION ANALYSIS IN NORTHERN PART OF CHINA

Zhang Li¹⁾²⁾³⁾ Ding Yihui²⁾ Ren Guoyu²⁾

¹⁾ (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (National Climate Center, Beijing 100081)

³⁾ (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

Based on the surface observations from 1954 to 2001, the tendency of dust weather frequency is presented by Mann-Kendall method, and the relationships of the frequency to wind, relative humidity, air temperature and dryness index are analyzed. The Geopotential height in 1000 hPa from NCEP/NCAR reanalysis data is used to study the pressure gradient change in winter and spring from 1954 to 2001. Results show that the direct natural causes of dust weather frequency change in the recent 50 years include the decrease of daily mean wind speed, the decrease of number of days with daily mean wind speed higher than 5.0 m/s, the increase of precipitation in the same spring and last winter, and the improved condition of atmosphere and soil moisture in some potential dust resource areas. Results also show that decrease of pressure gradient in winter and spring influences dust weather frequency by affecting wind speed indirectly.

Key words: Dust weather Wind speed Precipitation Temperature Climate change