

中国北方沙尘天气的气候条件

翟盘茂, 李晓燕

(国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 利用 1954~2000 年全国 700 多个测站的气象资料分析了近 50 年来我国沙尘暴和扬沙天气的季节变化和年际变化特征, 特别着重分析了大风、降水等气象要素对沙尘天气形成的影响。结果表明: 我国的沙尘天气受到多种气候要素的综合影响, 西北地区和内蒙古西部沙尘多发区的沙尘天气频数受气象条件影响最为显著; 风速、湿度在沙尘天气的季节变化中影响最大, 降水在沙尘天气的年际变化中影响最大。上一年夏季的降水对春季的沙尘天气具有一定的预报意义。

关 键 词: 沙尘天气; 气候背景; 大风; 湿度; 降水; 中国
中图分类号: P445.4

我国西邻中亚、北接蒙古国, 属亚洲沙尘天气多发区, 1954~2000 年近 50 年间全国大部地区都有沙尘天气发生, 是我国影响范围极大的灾害性天气。近年来, 许多学者致力于这方面的研究, 特别是在沙尘暴的分布和变化特征^[1-2]以及沙尘暴的典型个例分析^[3]方面取得诸多成果。本文主要从沙尘天气的季节和年际变化入手, 通过对与其关系较为密切的地面气象要素的分析, 找出沙尘天气变化的控制因素, 揭示气候条件对沙尘天气的影响, 为沙尘天气的预测工作提供较好的参考依据。

1 资料

本文采用资料为 1954~2000 年国家气象中心提供的 700 余测站的信息化资料。文中多年逐月及年平均值资料均为 1971~2000 年。

地面气象观测规范规定^[4], 沙尘天气分为 3 个不同的等级: 由于强风将地面大量尘沙吹起, 使空气很混浊, 水平能见度小于 1.0 km 为沙尘暴; 由于大风将地面沙尘吹起, 使空气相当混浊, 水平能见度在 1.0 km 至 10.0 km 以内为扬沙; 尘土、细纱均匀地浮在空中, 使能见度小于 10.0 km 为浮尘。考虑到三种不同强度的沙尘天气与气象要素关系有所不同的特点, 并兼顾到选取尽量多的样本, 本文的沙尘天气统计范围为沙尘暴和扬沙, 以下文章中的沙尘暴和扬沙均与上述规定相同, 而沙尘天气则指沙尘暴和扬沙二者之和。大风日数的统计按观测规范规定为瞬时风速达 17 m/s 以上日数。

2 沙尘天气的季节变化与气候背景

2.1 沙尘天气的季节变化特征

根据对近 50 年来 700 多个测站资料的统计, 全国有三分之二以上的测站出现过沙尘

收稿日期: 2003-02-20; 修訂日期: 2003-07-30

基金项目: 国家计委高技术应用部门发展项目: 沙尘暴天气监测、预警系统的研究 (SCB-04) [Foundation Item: "973" Project of the Committee of National Planning, No. SCB-04]

作者简介: 翟盘茂 (1962-), 男, 江苏宜兴人, 研究员, 研究方向为气候变化、气候诊断。E-mail: pmzhai@cma.gov.cn

天气,有二分之一以上的测站年平均沙尘日数在1天以上。从季节分布来看,我国大部地区的沙尘天气主要发生在春季,且有一半以上的测站4月份出现最多,但不同的地区沙尘天气的季节分布仍有所不同。本文选取了平均年沙尘天气在1天以上的部分站点(图1),图中数字为该站沙尘天气出现最多的月份。从图中显示的情况看,西北西部的大部地区沙尘天气5~6月最多,西北东部经华北到东北西部的广大地区及东北东部4月出现最多,东北中部和北部最多月为5月,青藏高原东部2~3月最多,秦岭、淮河以南地区沙尘天气发生次数少,出现时间也较为分散,最多月份从冬季到春季不等。全国大部地区夏到冬季沙尘天气发生较少,就北方地区而言,进入最少季节的时间从东向西推迟,东部一般为6~8月,中部地区为8~9月,西部最晚,要到11月以后才进入最少季节。

根据我国沙尘天气的地理分布和季节分布的特点,本文选取了北方10个较有代表性的测站(图2)分别作了1971~2000年30年平均沙尘天气日数的演变曲线(图3)。这些测站沙尘天气的季节变化反映出沙尘天气越频繁的地区其多发季节越长,频数最多的西北地区全年都有发生,而且从春季到夏季一直都很频繁,河套以东的北部地区主要发生在春季或春季到初夏。新疆、甘肃北部及河西走廊、内蒙古北部边境沿线秋季以后沙尘日数显著减少,秋末冬初进入最少季节。而东部的大部分地区则在夏初就明显减少,夏中或秋初以后很少有沙尘天气发生,东北地区东部则从夏初以后就很少出现。另外,甘肃、内蒙古及华北的测站在秋季沙尘日数再次

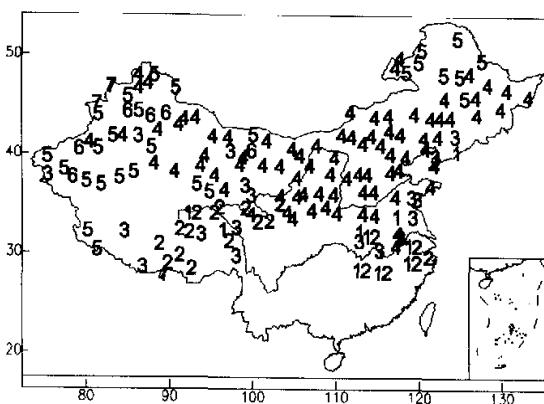


图1 中国北方沙尘天气日数最多的月份

Fig. 1 The most frequent month of duststorm days in northern China

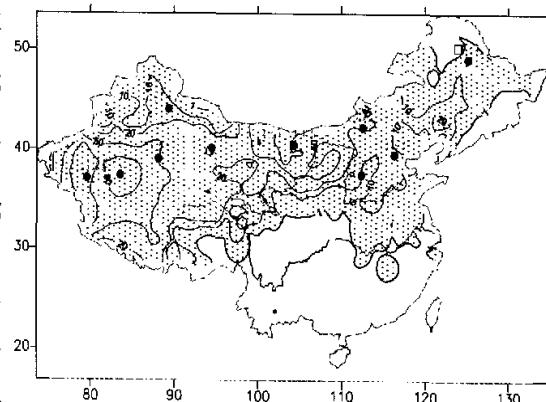


图2 中国北方年沙尘日数分布和10个代表站分布图

Fig. 2 Distribution of the number of duststorm days and 10 selected stations

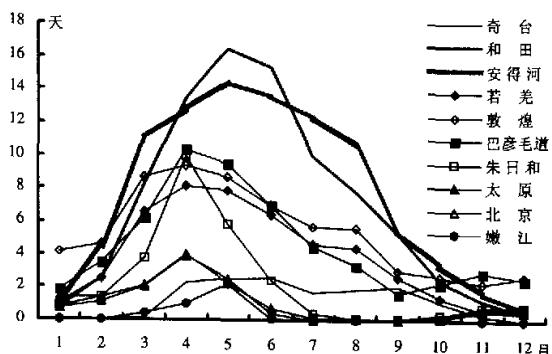


图3 中国北方沙尘日数的年变化特征

Fig. 3 Annual variation of duststorm days in northern China

表 1 各代表站月平均沙尘日数与相关气象要素相关系数

Tab. 1 Correlation coefficients between the monthly number of duststorm days and the related meteorological elements at the selected stations

	奇台	和田	安得河	若羌	敦煌	巴彦毛道	朱日和	太原	北京	嫩江
大风日数	.98	.92	.90	.93	.96	.92	.85	.94	.83	.94
平均风速	.96	.96	.94	.99	.87	.97	.75	.94	.91	.78
相对湿度	-.96	-.79	-.86	-.92	-.87	-.88	-.85	-.74	-.69	-.82
蒸发量	.91	.89	.89	.76	.61	.54	.35	.36	.31	.59
降水量	.89	.76	.57	.29	.25	-.02	-.28	-.40	-.43	-.16
积雪日数	-.91	-.60	-.65	-.55	-.40	-.41	-.23	-.05	.05	-.33
地温	.91	.79	.84	.66	.44	.39	.11	-.06	-.16	.25

加粗的相关系数值信度显著性水平达 0.01 以上

出现明显增加, 敦煌、巴彦毛道甚至明显多于和田、安得河同期日数, 这一特点与蒙古国沙尘暴的季节演变特征非常一致, 表明这些地区的沙尘天气与蒙古沙尘暴的紧密联系。

2.2 气候条件分析

以上沙尘天气的季节分布特征与气象要素有着十分密切的关系, 是受到多种气候条件及地理条件综合影响的结果。但不同的地区起沙不同, 沙源区多为本地起沙, 而非沙源区沙尘多为途经沙源区的天气系统携带而来, 所以与气象要素的关系也有所差异。从表 1 可以看出, 上述 10 个测站的沙尘日数与大风日数和平均风速都有着非常一致的正相关关系, 与相对湿度有着密切的反相关关系, 其相关系数均已通过了 0.01 的信度检验, 西部 4 个测站的沙尘日数还与蒸发量和地表温度有着显著的正相关关系。分析不同地区与各类气象要素的关系, 显示出如下特点:

2.2.1 大风条件的影响 对于同一测站来说, 大风日数与沙尘天气的季节变化表现出很好的一致性(图 4), 即大风多的季节沙尘天气也多, 说明大风在沙尘天气的生成中起着极其重要的作用。但是比较不同的测站, 就会发现大风和沙尘天气并不是完全成正比的关系, 大风多的地区沙尘天气并不一定多。表 2 中可以看到, 年沙尘日数以安得河、和田最多, 以下依次是敦煌、巴彦毛道、若羌、朱日和、奇台, 北京、太原、嫩江, 而大风日数则依次为朱日和、巴彦毛道、若羌、嫩江、北京、太原、奇台、敦煌、安得河、和田。西部沙尘天气最多的地区大风日数反而最少, 这些地区的大风日数不仅远远少于一般的沙尘日数, 而且显著少于沙尘暴日数。而东部沙尘天气较少的太原、嫩江等地大风日数却远远超过了一些沙尘天气多的地区。由此可见, 沙尘天气频繁的地区因为

表 2 各代表站沙尘天气相关要素统计

Tab. 2 Statistics of duststorm related elements at the selected stations

站名	沙尘暴和扬沙				年沙尘暴日数 (天)	年大风日数 (天)
	年日数 (天)	最多季 %	占全年 %	最多月 占全年 %		
奇台	14.6	夏	42	6	18	2.7
和田	84.1	春	45	5	20	3.6
安得河	91.2	春	42	5	16	5.6
若羌	46.3	春	49	4	17	26.9
敦煌	64.2	春	42	4	14	13.5
巴彦毛道	55.5	春	47	4	19	54.6
朱日和	26.4	春	73	4	38	85.4
太原	12.3	春	68	4	32	22.0
北京	13.9	春	60	4	29	22.4
嫩江	3.9	春	92	5	56	26.2

沙源充足，风力只要达到一定的程度就可形成很强的沙尘天气，大风并非是形成沙尘暴的唯一条件。沙尘天气少的地区也不是因为大风少，而是由于缺乏沙源条件及受到当地长期形成的气候环境的制约，虽大风频繁但没有来自沙源地区的沙尘经过一般也不会起沙。

2.2.2 湿度条件的影响

相对湿度与沙尘天气在季节变化上呈非常一致的反相关关系(图4)。春季是绝大多数地区沙尘天气的多发季节，这一时期的湿度也都处于一年中最低水平。夏季开始后随着降水的迅速增加，河套以东地区的湿度显著增大，沙尘天气发生次数锐减，这些地区相对湿度与降水的关系最为密切，最大值出现在降水最大的夏季。河套以西的地区夏季降水虽然使干燥程度有所缓和，但由于这些地区降水量较少，而夏季蒸发量的增大使得相对湿度仍处于非常低的水平，这些地区相对湿度的最大值出现在蒸发量最小的冬季，湿度的这一季节变化特征正好与该地区沙尘天气春夏持续为多发季节，而冬季发生最少的特点相吻合。另外，分析中还发现西南地区沙尘天气多发季节为冬季到春季中期，其相对湿度最低值也恰恰出现在这一时段。上述特征表明湿度条件对沙尘天气的形成有着重要的影响。

2.2.3 地表温度与积雪的影响 地表温度的变化在沙尘天气的季节变化中也起到一定的作用，特别是在西部地区的测站二者具有十分显著的相关性。这些地区大部在2月底以前地表温度就上升到了0℃以上，11月初以后降至0℃以下，沙尘天气也从3月份迅速增加，新疆北部地表升至0℃以上时间较晚，要到3月，而这一地区沙尘天气的频数也是4月份才突增。虽然积雪和沙尘天气没有显示出明显的相关关系，但在西部地区也体现出一定的作用。由于冬季地表低于0℃，土壤冻结，并常有积雪覆盖，不利于沙尘形成，而春季土壤解冻，土质疏松，同时春季地表升温快，大气处于不稳定状态，垂直运动加强，加上风速在这期间明显增大，特别有利于沙尘天气形成。沙尘天气与地温的这种相关关系越往东越不明显，在东部沙尘天气频数低的地区可以说完全消失了这种关系。

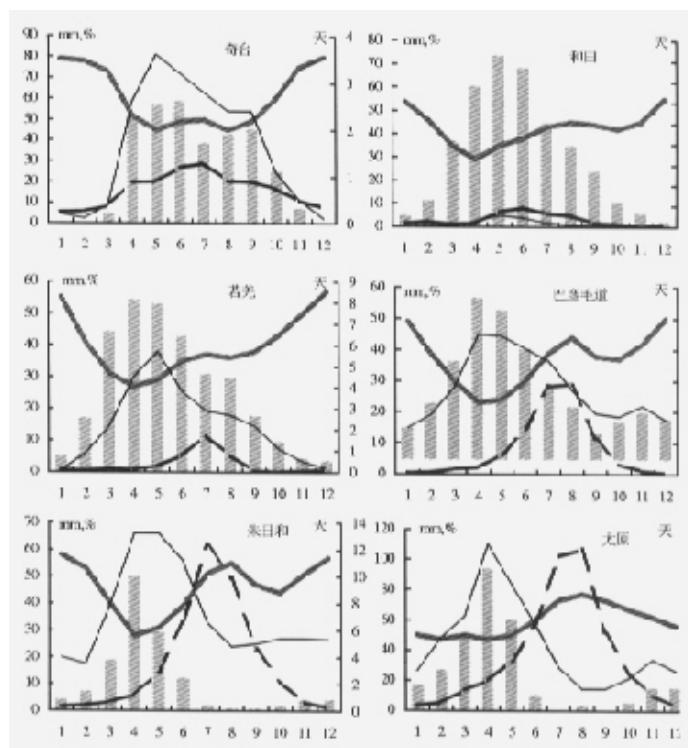


图4 中国北方沙尘日数(直柱, 天)、大风日数(细实线, 天)、降水量(粗虚线, mm)、相对湿度图(粗实线, %)年变化特征

Fig. 4 Annual variations of the number of duststorm days (bars), the number of high wind days (thin solid line), precipitation (mm, thick solid line) and relative humidity (% thick solid line)

以上对不同区域各种气象要素的分析表明:

(1) 对于同一地区来说, 沙尘天气多的季节大风也多, 而相对湿度则小。沙尘日数的峰值基本对应大风日数的峰值和相对湿度的谷值, 大风和湿度是影响沙尘天气形成的主要气候因子。

(2) 在沙尘天气较少的冬季, 地表温度低, 大气层结稳定, 对流活动非常弱, 不利于沙尘天气的形成, 同时地面土层冻结并有积雪覆盖不易起沙。3月前后, 地温从0℃以下向0℃以上转换, 沙尘天气也从较少的冬季向较多的春季过渡, 表明地温、积雪等要素对沙尘天气的形成起着或多或少的抑制作用。

(3) 对于不同的地区来说, 各要素的作用又具有不同的特点, 一般来说, 沙尘越多的地区降水越少, 湿度越小。而大风则恰恰相反, 沙尘最多的西北南部、西北中部大风日数反而最少, 说明沙尘天气形成的关键是当地的下垫面条件和长期形成的气候环境。

3 沙尘天气的年际变化与气候要素的关系

3.1 春季沙尘日数与气象要素的关系

根据多数地区沙尘天气在春季出现最多的特点, 本文在分析了近50年来春季沙尘天气年际变化及其与多种地面气象要素关系的基础上筛选了降水、湿度、风速等要素, 从表3的相关系数可以看出, 在选取的测站中大多数测站的沙尘日数与同期风速和湿度相关显著, 与同期降水也有较好的相关性, 少数地区与同期温度有较好的反相关关系。但上述这些关系一为同期相关, 没有明显的滞后影响; 二是多为东部地区测站, 预报参考意义不大, 所以本文把重点放在了降水分析上。分析中发现前期降水与沙尘日数之间存在着很好的相关关系。

从本文所选10个代表站的春季沙尘天气和前一年夏季到当年春季各个季节及各不同时段的相关系数来看, 除秋季和冬季外, 夏季、春季、夏季到冬季、夏季到春季都有二分之一左右的测站显示出较显著的反相关关系, 尤以夏季的降水与沙尘天气的关系特别值得引起关注。与夏季降水相关系数信度在0.1以上的站点有奇台、和田、安得河、巴彦毛道、朱日和、嫩江6个, 范羌也显示出较明显的反相关。这些测站多为西北地区及内蒙古西部沙尘天气多发区, 这些地区的沙尘天气频数和强度对全国有着重要影响。

3.2 近50年春季沙尘天气日数与夏季降水量的演变趋势

根据我国沙尘天气多发生在春季的特点, 本文分析了10个代表站近50年来春季沙尘日数的演变趋势, 发现其中9个站都呈下降趋势, 只有朱日和站略呈上升趋势。图5是其中6个站的情况, 图中细直线为春季沙尘天气日数的变化趋势线。上述特征与一些学者认为近50年来我国大部分地区的沙尘天气呈减少趋势, 内蒙古小部分地区呈增长趋

表3 中国北方1954-2000年春季沙尘日数与相关要素的相关系数

Tab. 3 Correlation between spring duststorms and different meteorological elements of different seasons

	奇台	和田	安得河	若羌	敦煌	巴彦毛道	朱日和	太原	北京	嫩江
降水量(上年夏)	-31	-32	-27	-21	-02	-25	-48	-14	.11	-45
降水量(上年秋)	-12	.08	-02	.04	.11	.05	.00	.00	.01	-.07
降水量(当年冬)	-29	-11	-08	.28	.00	-.21	-.33	.11	.00	.06
降水量(当年春)	-17	-.05	-.15	-.23	-.31	-.35	-.36	-.30	-.23	-.22
降水量(上年夏-当年冬)	-36	-26	-26	-.16	.01	-.21	-.49	-.12	.11	-.46
降水量(上年夏-当年春)	-40	-.22	-.28	-.21	-.09	-.29	-.56	-.22	.06	-.50
气温(当年春)	-.04	.04	.01	-.17	-.13	-.29	.04	-.03	-.46	-.02
风速(当年春)	.10	.54	.53	.04	.67	.52	.36	.41	.21	.17
湿度(当年春)	-.31	-.04	-.20	-.36	-.36	-.34	-.40	-.43	-.02	-.32

* 加粗的相关系数值信度显著性水平达0.1以上

势^[5-6]的研究结果相一致。

与春季沙尘天气相对应,近50年来河套以西的西北地区7个代表站夏季降水量呈明显增多趋势,东部沙尘天气减少的2个测站的夏季降水量呈减少趋势或变化不明显,表明东部沙尘天气的减少与降水关系不十分密切,这些地区的沙尘一般来自西北和北部南下冷空气活动,受当地气候变化的影响相对较小。内蒙古朱日和站与其它大部地区差别较大,各时段降水均呈下降趋势,与该站的沙尘日

数呈上升趋势相吻合,这也从另一个侧面反映了前期降水与沙尘天气之间的密切关系。图5显示了其中6个代表站夏季降水量的演变趋势(粗直线)。

3.3 前一年夏季降水对春季沙尘天气的影响

表3中10个代表站资料反映出多数测站前一年夏季的降水量与春季沙尘天气日数呈显著的反相关特征,西北部及内蒙古北部的测站尤为明显。图5是奇台、和田、若羌、巴彦毛道、朱日和、太原6个测站春季沙尘天气与前一年夏季降水的逐年演变曲线,图中显示出二者在年际变化上有较明显的一致性,沙尘天气随降水的增加而减少,反之亦然,沙尘日数的峰值常对应降水量的谷值,而谷值又常对应降水量的峰值,表明了沙尘天气与前一年夏季降水量具有较好的反相关关系,而且这种关系在沙源区影响更为显著。其它地区沙尘天气一般不是在本地产生,而是来自上游沙源区,所以夏季的降水影响不如西北部和中北部。以上关系表明夏季降水对第二年沙尘天气的预报有一定的意义。

4 小结与讨论

通过以上各气象要素对沙尘天气季节变化和年际变化影响的分析,可得出以下结论:

(1) 我国的沙尘天气受到多种气候要素的综合影响,其中风速、湿度在沙尘天气的季节变化尤其是对西北部地区影响很大,而地表温度和积雪对沙尘频数的季节变化有一定

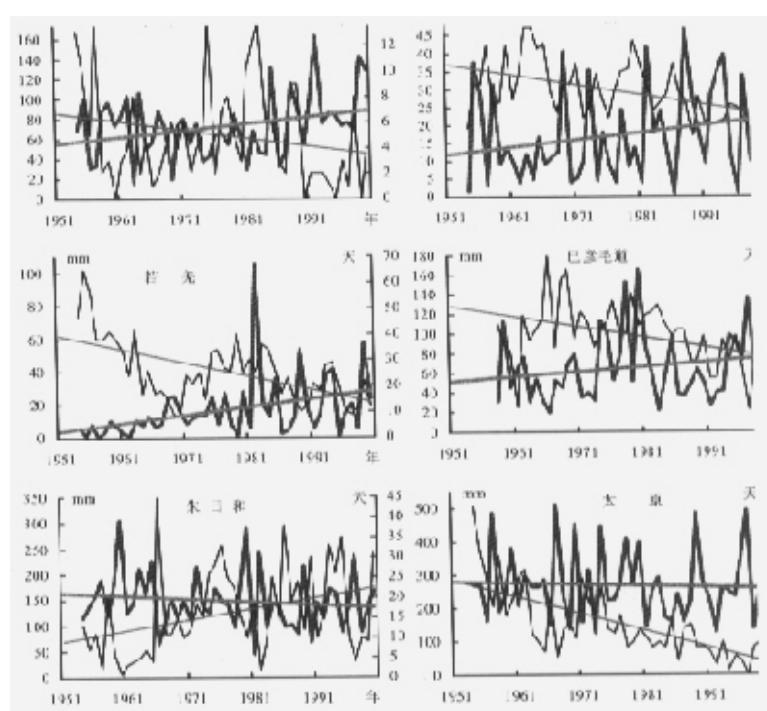


图5 中国北方春季沙尘日数(天, 细实线)与前一年夏季降水量(mm, 粗实线)的年变曲线及沙尘日数趋势(细直线)、降水量趋势(粗直线)

Fig. 5 Variation of spring duststorms (days, thin line), summer (-1) precipitation (mm, thick solid line), and their linear trends

的影响。

(2) 从沙尘形成的气候条件来看,当地长期以来形成的气候特征最为重要,长期的气候和特有的地理环境制约了下垫面条件,但是当地气候条件的年际变化的影响仍不可忽视。

(3) 沙尘天气多发的西北部和内蒙古北部沙尘天气受气象条件影响最为显著,而其余地区受气象条件影响明显减小,其原因是这些地区的沙尘主要来自多发区,沙尘天气发生的多少在很大程度上并不取决于当地的条件。所以沙尘天气的预测必须首先抓住沙尘多发区。

(4) 降水在沙尘天气的年际变化中影响最大,上一年夏季的降水对沙尘天气的形成起着重要作用,特别是在沙尘天气多发区,二者具有显著的反相关关系,不仅在多年演变趋势上呈明显的反相一致性,而且在逐年变化上也显示出非常密切的关系,可以作为一个因子应用于沙尘天气的预测。

参考文献 (References)

- [1] Wang Xiwen, Sun Landong, Ji Lanzhi et al. Variations of dust storms in Gansu. *Meteorological Technology and Science*, 2002, 30(3): 158-162. [王锡稳, 孙兰东, 齐兰芝等. 甘肃沙尘天气变动趋势. 气象科技, 2002, 30(3): 158-162.]
- [2] Zhang De'er, Lu Feng. Winter sandstorm events in extensive northern China. *Quaternary Sciences*, 1999, 19(5): 441-447. [张德二, 陆风. 我国北方的冬季沙尘暴. 第四纪研究, 1999, 19 (5): 441-447.]
- [3] Fang Zongyi, Zhu Fukang, Jiang Jixi et al. Research of Dust-storm in China. Beijing: Meteorological Press, 1997. 1-74. [方宗义, 朱福康, 江吉喜等. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997. 1-74.]
- [4] Central Meteorological Bureau. *Surface Meteorological Observation Practice*. Beijing: Meteorological Press, 1979. 21-27. [中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979. 21-27.]
- [5] Yang Dongzhen, Fang Xiumei, Li Xingsheng. Analysis on the variation trend of sandstorms in northern China. *Quart. J. Applied Meteorology*, 1998, 9(3): 352-358. [杨东贞, 房秀梅, 李兴生. 我国北方沙尘暴变化趋势的分析. 应用气象学报, 1998, 9(3): 352-358.]
- [6] Zhou Zijiang. Blowing-sand and sandstorm in China in recent 45 years. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(1): 9-17. [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.]

On Climate Background of Duststorms over Northern China

ZHAI Panmao, LI Xiaoyan

(National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on duststorm observations during 1954-2000 from around 700 meteorological stations, this paper analyzed seasonal and inter-annual variation features. The impacts of strong wind and precipitation on the duststorms were especially emphasized. The results show that the frequency of China's duststorms is influenced by many climate factors. In NW China and northern Inner Mongolia, the main duststorm regions, the influences of climate conditions are most obvious. Wind speed and humidity are the most important controls for the seasonal cycle of duststorm frequency, and precipitation is one of the most dominant factors impacting inter-annual variability. The good correlation between the summer rainfall and duststorm frequency of next spring suggests some climate predictability.

Key words: duststorms; climate background; strong wind; humidity; precipitation; northern China