

文章编号:1005-8656(2006)增刊-0003-05

内蒙古春季沙尘暴分布特征和气候分析

丁晓华, 李纯彦, 陈廷芝

(内蒙古气候中心, 内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要:对内蒙古春季沙尘暴的时空分布特征以及沙尘暴与大风、气温、降水、冷空气活动的关系进行了统计分析。得出沙尘暴空间分布不均匀,在自西向东减少的同时,有 4 个中心;绝大多数测站自 70 年代中后期以来明显减少,只是近年来略有增加;大风与沙尘暴统计关系密切,但个例分析则不然,少数测站沙尘暴比大风更容易发生;降水抑制沙尘暴发生;近期增温有利于沙尘暴的发生;冷空气与沙尘暴的关系各地情况不一。

关键词:沙尘暴;大风;沙漠;气温;冷空气;降水

中国分类号:P425.5⁺⁵ 文献标识码:A

1 引言

春季内蒙古地区是全国沙尘暴多发中心之一,研究这一地区沙尘暴的分布特点和气候特征,对了解全国北方地区春季沙尘暴天气有着重要意义。本文利用相关系数、滑动相关系数、相关概率等方法对内蒙古地区 1961—2000 年春季沙尘暴进行了统计分析。

2 资料来源

本文所用沙尘暴(能见度<1km)日数,大风(瞬时风速>17m·s⁻¹)日数,气温资料取自内蒙古气象探测资料中心。依据气象观测规范规定,日界为 20 时,当某一次沙尘暴过程跨越 20 时,按两个日数统计。冷空气频数取自国家气候中心下发的物理特征量。

3 沙尘暴的时空分布特征

3.1 沙尘暴的空间分布

图 1 给出了内蒙古地区 1961—2000 年 3—5 月 106 个站沙尘暴平均日数的分布特征。由图 1 可以看出,沙尘暴的地理分布特点:就 40 年平均而言,在自西向东减少的同时,有 4 个中心。全区最大的中心位于内蒙古西部拐子湖,数值为 12(选为代表站),该站地处巴丹吉林沙漠之中;其次在内蒙古中西部偏南地区的乌海到鄂尔多斯市西部,中心数值为 9,代表站选鄂托克,该站地处毛乌素沙地西北边缘;第 3 个中心位于内蒙古中部偏北地区的西苏旗境内,中心数值为 7,代表站选朱日和,该站地处浑善达克沙地西南;第 4 个中心位于赤峰市的翁牛特旗到通辽市的奈曼旗一带,中心数值为 5。这 4 个中心除拐子湖在沙漠中外,其余均在沙漠(地)边缘的沙土地中。

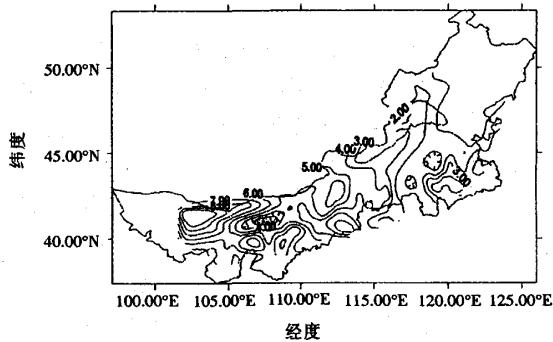


图 1 沙尘暴平均日数的分布图

3.2 沙尘暴的年代际变化、年际变化及日变化

统计全区各站 3—5 月沙尘暴日数各年代平均值,得出最大值出现在 1961—1970 年时段的有 50 个站,出现在 1971—1980 年时段的有 45 个站,出现在 1981—1990 年时段的有 7 个站,出现在 1991—2000 年时段的有 2 个站(索伦、浩尔吐),40 年无沙尘暴出现的有 2 个站(图里河、鄂伦春),由此可知,全区除索伦、浩尔吐 2 个站春季沙尘暴呈增加趋势

外,其余绝大多数测站春季沙尘暴多发期集中在 60、70 年代,80、90 年代明显减少。

在 1961—1970 年 10 年平均图上(图略),有 4 个较为明显的中心分别位于鄂尔多斯市的杭锦旗到包头一带(中心值为 15)、赤峰市的翁牛特旗到通辽市的奈曼旗一带(中心值为 14)、乌兰察布市的四子王旗(中心值为 13)、阿盟的额济纳旗(中心值为 12)。与多年平均有所不同,虽然 4 个中心位置变化不大,但强度变化明显,尤其是赤峰市的翁牛特旗到通辽市的奈曼旗一带的中心数值 60 年代为 14 天,而 40 年的平均只有 5 天,显然 60 年代这里沙尘暴很频繁,中西部偏南和中部偏北地区中心数值也比 40 年平均值多 6 天。总之,60 年代沙尘暴日数多,

而且各中心数值差异小,即全区自西向东春季沙尘暴出现频数相差甚少。1971—1980 年平均情况是 4 个较为明显的中心位置与 40 年平均位置重合,中心数值也是在自西向东减少,只是强度仍比多年平均值大,由西向东分别是 16、14、11、7 天,说明 70 年代内蒙古东部沙尘暴已经开始明显减少。1981—1990 年平均图上有 3 个中心,分别在拐子湖(14 天)、乌海到鄂托克(8 天)、西苏到朱日和一带(6 天)。这一期间位置、强度已接近多年平均状况。1991—2000 年平均图上也有 3 个中心,分别在拐子湖(9 天)、鄂托克(6 天)、朱日和(6 天)。这一时段强度有所减弱。各代表站沙尘暴、大风年代际变化见表 1。

表 1 3 个代表站及托克托各年代春季沙尘暴、大风平均出现日数/天

年份	1961—2000	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000
拐子湖	沙尘暴	12	11	16	14
	大风	22	18	29	24
鄂托克	沙尘暴	7	5	8	8
	大风	16	20	15	18
朱日和	沙尘暴	6	4	8	6
	大风	32	26	36	37
托克托	沙尘暴	5	12	6	1
	大风	3	8	2	0

进一步分析 3 个代表站春季沙尘暴逐年变化情况,拐子湖以 1976 年为界,之前呈上升趋势,之后呈下降趋势,1998 年开始又有所上升,朱日和、鄂托克各年代均有较大的极值出现,因此反映在各年代平均值上变化不大,3 个代表站还有一个共同点,即 1998 年开始又略有上升。

统计 106 站历年 3、4、5 各月沙尘暴出现频数,得出绝大多数测站沙尘暴集中在 4 月(93 个站),占 88%;集中在 3 月的只有 2 个站,位于赤峰市区及南部;集中在 5 月的有 11 个站,其中呼伦贝尔市有 5 个站,阿盟 3 个站,巴彦淖尔市 2 个站,兴安盟 1 个站,均位于内蒙古偏北地区,这样一种分布与春季气温由南向北逐渐增暖有关。从 3、4、5 各月 40 年平均值分布图(图略)可看出:各月与季分布相一致,即在自西向东减少的同时,有 4 个中心,位置、相对强度也与季的基本吻合。3 个代表站 3、4、5 各月平均出现频数:拐子湖、鄂托克、朱日和 3 月分别为 2.5、1.7、1.1 天,4 月分别为 4.8、2.6、3.2 天,5 月分别

为 5.1、2.3、1.7 天。

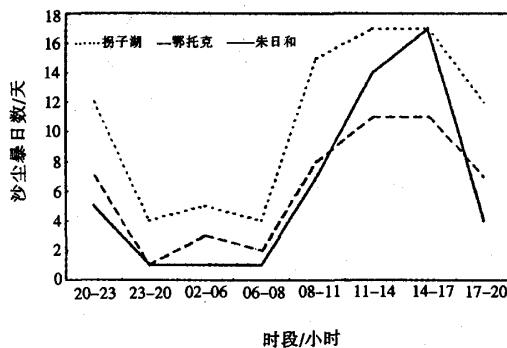


图 2 3 个代表站 3—5 月沙尘暴日变化曲线

为了分析沙尘暴的日变化和沙尘暴发生时大风、气温、降水等要素的变化,对 3 个代表站 1975、1976、1977 年和 1998、1999、2000 年,共 6 年(前一时段为沙尘暴高发期,后一时段为近期)3—5 月沙尘暴个例(1 天中出现 2 次及以上的选时段最长的,下同)逐一统计,得出 1 天中 08—17 时是沙尘暴相对多发时段,极大(小)值出现在 11—17(23—08)时

段,即中午到下午为多发时段,午夜到清晨为少发时段。如图 2。

4 沙尘暴与大风的关系

4.1 沙尘暴中心与大风中心的分布

图 3 给出了内蒙古地区 1961—2000 年 3—5 月大风日数的分布特点;由图 3 可知,大风易发区在锡盟,尤其是中西部有较大范围的 30 天以上中心,对应沙尘暴日数最多只有 7 天,全区沙尘暴最大中心的拐子湖大风只有 22 天,而在阿盟东南部、乌海、巴彦淖尔市南部以及托克托县更是大风少于沙尘暴日数,从图 1、图 3 比较得出,大风中心并非沙尘暴中心。

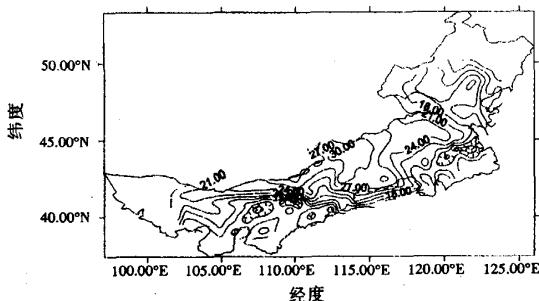


图 3 大风日数的分布特点

4.2 沙尘暴与大风的多年统计关系

比较表 1 中朱日和站沙尘暴与大风多年平均值可知,该站的沙尘暴与大风相比出现日数很少,相差(32—6=26)26 天,即在绝大多数大风日中无沙尘暴天气出现,但在呼和浩特市的托克托站正好相反,沙尘暴日数明显多于大风日数。就 40 年平均而言,全区 106 个站 3—5 月大风日数少于沙尘暴日数的有 4 个站,它们是巴彦淖尔市的磴口、临河及乌海和呼和浩特市的托克托县,更多测站则是大风日数程度不同的多于沙尘暴日数。从 3 个代表站沙尘暴、大风日数 40 年变化曲线(图略)看,两曲线走向较一致,相关系数分别是拐子湖 0.72,鄂托克 0.34,朱日和 0.57,相关系数均通过 0.05 信度的检验,拐子

湖、朱日和通过 0.01 信度的检验,可谓相关显著。鉴于相关系数只能整体反映两变量之间的关系,而不能具体描述这种关系随时间的变化,特计算了 3 个代表站沙尘暴和大风的 10 年滑动相关系数(如图 4),以观察相关系数随时间的变化,进而确定沙尘暴和大风随时间变化的关系。

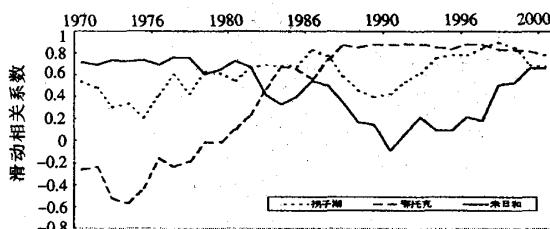


图 4 3 个代表站沙尘暴和大风 10 年滑动相关系数曲线

从图 4 中可看出:拐子湖沙尘暴和大风相关一直很好,因此 40 年相关系数最大(0.72),鄂托克前旗相关不稳定,且有明显的反相关关系,即大风多的年份沙尘暴少,反之亦然,因此虽然后期正相关显著,还是造成 40 年相关系数较差(0.34),朱日和只有中间一段相关较差,但基本在正相关中,因此 40 年相关系数较好(0.57)。通过这一分析得出,鄂托克、朱日和两站的沙尘暴和大风关系时好时坏,但近年来 3 个代表站沙尘暴和大风均处于很高的正相关时段。

4.3 沙尘暴与其发生时段内最大风速的关系

为进一步研究沙尘暴与大风的关系,特查阅了 3 个代表站 6 年 3—5 月各个沙尘暴个例发生时段内最大风速,统计得出:最大风速达到大风标准的沙尘暴个例占总沙尘暴个例的比例并不大,相关概率拐子湖、鄂托克、朱日和分别为 19/86、16/50 和 30/52,只有朱日和站超过了 50%,拐子湖则只有 22%,可谓很小,3 个代表站平均为 65/188=35%,由此推断沙尘暴发生时段内的最大风速达到大风的也只略多于 1/3,而更多的(约 2/3)沙尘暴在发生时段内无大风出现。

5 沙尘暴与沙漠(地)的关系

表 2

3 个代表站各个沙尘暴发生时段内最大风速对应的风向

	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	...	...	E	ENE	...	...	Σ
拐子湖	0	2	8	21	32	3	...	...	14	4	...	...	86
鄂托克	6	13	6	17	5	0	...	...	0	0	...	...	50
朱日和	0	0	7	16	15	8	...	...	0	0	...	...	52

为了讨论沙漠(地)对沙尘暴的影响,表 2 给出了 3 个代表站 6 年 3—5 月各个沙尘暴发生时段内最大风速对应的风向,拐子湖出现频率最高的前 3 种风向分别是西风、西西北风和东风,占总数的 78%;鄂托克出现频率最高的风向分别是西西北风、北西北风和西北风、北风,占总数的 82%;朱日和出现频率最高的 3 种风向分别是西西北风、西风和西南风,占总数的 75%。由此看出地处毛乌素沙地西北边缘的鄂托克当沙尘暴出现时,风从测站吹向沙地,即沙地处于下风方,也就是说,毛乌素沙地不应成为该站沙尘暴的直接沙源,同理,地处浑善达克沙地西南的朱日和,当沙尘暴出现时,没有风从沙地吹向测站,只有风从测站吹向沙地,即浑善达克沙地也不应成为该站沙尘暴的直接沙源,而地处巴丹吉林沙漠之中的拐子湖就不存在这个问题。

6 沙尘暴与冷空气活动

本文在讨论沙尘暴与冷空气的关系时,计算了 3 个代表站春季沙尘暴与冷空气的相关系数,从 40 年相关系数得出拐子湖沙尘暴与冷空气相关系数为 0.138,鄂托克为 0.416,朱日和为 -0.060,3 个代表站中只有鄂托克相关显著,通过 0.01 信度的检验,即冷空气活动频繁的年份沙尘暴多。而其余两站沙尘暴与冷空气活动无明显相关关系。另外,从表 2 中还可以得出,当有西北风、西西北风时,3 站沙尘暴出现频数相近;尤其是西北风,3 站分别为 8、6、7 次,由此可以推测当冷锋后西北风、西西北风时,内蒙古中西部地区大范围有沙尘暴天气。在北、北西北风向中,鄂托克站明显多于其余两测站,尤其是北风,拐子湖与朱日河均无沙尘暴天气出现,这说明当冷锋后吹偏北风时,只造成中西部偏南地区的沙尘暴天气。在西、西南西风中,鄂托克站明显少于其余两测站,这说明该站沙尘暴主要是受冷空气影响所致,其余两站则不然。气旋、地面高压底部(偏东风)等天气系统也可造成沙尘暴天气。通过以上分析得知,拐子湖的东风,朱日河的西南风均在前 3 位中,这与两站所处地势有关,朱日河西高东低,对西来低压系统有加强作用,所以西西南频数颇高,拐子湖东高西低,高压系统在东移过程中有加强作用,所以除偏西风以外,东风(高压底部)频数也很高,而鄂托克则不然,以冷空气活动为主。

7 沙尘暴与气温的关系

7.1 沙尘暴与气温的多年统计关系

计算了 3 个代表站春季沙尘暴与同期气温的

40 年相关系数,结果是各站情况不同,拐子湖负相关,且相关显著,相关系数为 -0.427,通过 0.01 信度的检验,即 40 年总体来看,春季气温高对应沙尘暴少,反之亦然,10 年滑动相关系数也基本上一致,只是近期出现了正相关;鄂托克 40 年相关系数为 0.082;朱日和相关系数为 -0.112。从 3 个代表站春季沙尘暴与气温的相关系数看,只有拐子湖站气温与沙尘暴呈负相关,其余两站无明显关系。

7.2 沙尘暴与日最高气温的关系

对 3 个代表站 6 年各个沙尘暴与前 1 天或当天最高气温变化逐一统计,发现沙尘暴发生日的当天或前 1 天最高气温呈上升趋势,相关概率拐子湖为 $57/86 = 66\%$,鄂托克为 $42/50 = 81\%$,朱日和为 $46/52 = 88\%$ 。

8 沙尘暴与降水的关系

8.1 沙尘暴与降水的多年统计关系

3 个代表站春季沙尘暴与同期降水均为负相关,且相关较显著,相关系数分别是拐子湖 -0.394、鄂托克 -0.273、朱日和 -0.318,均通过 0.10 信度的检验,其中拐子湖和朱日和通过 0.05 信度的检验。从 10 年滑动相关系数看,3 个站除少数几年为正相关外,其余均为负相关。

8.2 沙尘暴与前 3 天降水量的关系

统计了 3 个代表站 6 年各个沙尘暴日与前 3 天降水量 $\geq 2 \text{ mm}$ 的个例,得出拐子湖、鄂托克无一个例,朱日和也只有 3 例,即沙尘暴发生前 3 天基本无降水。归纳沙尘暴与降水的关系,降水不利于沙尘暴发生。

9 结果分析

综合分析沙漠(地)、风速、风向、冷空气活动、降水及气温对沙尘暴形成的影响,得出降水对沙尘暴起明显的抑制作用,多年统计相关和个例分析均说明这一点。气温与沙尘暴的关系从多年统计关系看各地情况不一,但个例分析一致说明沙尘暴发生的前一天或当天升温对沙尘暴贡献很大。气温和降水对沙尘暴的贡献是:前期干暖使土壤表层疏松从而有利于沙尘暴形成。这与文献^[1]结论一致。冷空气活动对沙尘暴的作用因地而宜,3 个代表站中只有鄂托克呈显著正相关,而风向的分析结果也说明了只有该站偏北风对沙尘暴贡献突出。这一结果与文献^[2]结论相近。大风与沙尘暴的关系较为复杂,从 40 年相关系数看,3 个代表站均为显著的正相关,但从大风与沙尘暴空间分布看,

(下转第 24 页)

条件较好,尤其是 700hPa 水汽通量较好,是形成冰雹的又一个重要条件。

4 713 雷达回波分析

8月22日夜间在巴彦淖尔市东部的一个雨情点出现小阵雨,雨量为 2.5mm,雷达没有观测到对流云回波。

25 日不是移入性云团造成的降雹,而是在天气条件成熟的情况下,受地形影响或因地面加热而在本地产生的对流单体造成的降雹。从下午 16 时 31 分开始到夜间 20 时 42 分,巴彦淖尔市阴山山脉以南,出现 3 块降雹云团简称 A、B、C(图略)。16 时 31 分雷达在测站东部大余太附近观测到第 1 块降雹云回波单体 A,有 2 个强回波中心分别为 40dBZ、35dBZ,16 时 46 分两个强回波中心合并加强为 45dBZ,17 时 07 分强回波面积进一步扩大,形成结构紧密的圆形状回波,中心增强到 50dBZ。对应地面大余太牧场出现了降雹,冰雹最大直径 10mm,受灾面积 20hm² 左右。18 时 39 分观测到文更与乌加河之间出现第 2 块对流单体 B,对流单体位于阴山山脉,在高空偏北气流的引导下,向东南偏南方向移动,下山后加强。19 时 07 分对流单体移到乌加河

(上接第 6 页) 大风中心远非沙尘暴中心,而从个例分析看,也只有地处大风区的朱日和,在沙尘暴发生时段内最大风速达到大风标准的个例略超过半数,其余两个代表站则不然,多数未达到大风标准。大风与沙尘暴的关系可以这样叙述,大风多的年份沙尘暴相对较多,但沙尘暴发生时段内并不一定多大风出现,最后关于沙漠(地)与沙尘暴的关系,从全区 4 个沙尘暴中心所处位置看,最大中心位于沙漠中,其余 3 个中心均位于沙漠(地)边缘,而从鄂托克、朱日和两站沙尘暴发生时段内主要风向分布来看,由于沙漠(地)位于测站下风方,这就排除了沙尘暴的沙源来自于邻近沙漠(地)可能。

10 讨论

沙漠(地)对沙尘暴的直接贡献并非是沙源,而是由于沙漠热容量小,在春季气温快速升高的过程中,极易形成局地显著增温,进而形成热力不稳定,当其达到一定程度或有动力不稳定移近时,形成沙尘暴天气,造成大气斜压性加大,进而使垂直环流加强,在垂直环流的上升支附近出现沙尘暴。

附近时形成了具有“V”形缺口的回波单体,强中心达 55dBZ。地面出现强降雹,受灾地方属牧区,大约 200 多只羊被打死。19 时 53 分雷达观测到阴山山脉之上出现第 3 块对流单体 C,同样受高空风作用向南移动,下山后逐渐加强,20 时 17 分当移到降雹区四支乡附近时,回波同样出现了“V”形缺口,强回波中心达 55dBZ,使 666.67hm² 农田受灾。

5 结论

(1) 在相似的大尺度环流背景下,可以激发不同的中小天气尺度系统,产生不同的天气状况。

(2) 在高空 500hPa 形势、地面形势、不稳定层结相似的情况下,低层 700hPa 形成的切变辐合是冰雹天气发生的主要原因。

(3) 高低层的散度、涡度、垂直速度等物理量场数值的大小及在空间上的配置与冰雹天气的发生有比较好的指示作用。

参考文献:

- [1] 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,2000: 107~108,441~452.
- [2] 张新荣,王锡稳,程鹏,等.一次区域性冰雹天气过程分析[J].干旱气象,2004,22(4):64~69.

11 结论

(1) 春季沙尘暴 40 年平均日数分布不均匀,由西向东减少的同时有 4 个中心。这种趋势各年代也基本一致。

(2) 全区春季沙尘暴出现频率最高的月份在 4 月,最低在 3 月;1 天中 11—17 时是多发时段。

(3) 70 年代中后期沙尘暴逐渐减少,但 1998 年以来又略有上升。

(4) 大风、冷空气对沙尘暴的贡献各地情况不一,但有一点是共同的,大风、冷空气活动不是沙尘暴发生的必要条件。

(5) 春季降水对沙尘暴起抑制作用,而近期的高温少雨有利于沙尘暴的爆发。

参考文献:

- [1] 雷向杰,杜维稳,袁君健,等.陕西省沙尘暴时空分布、成因及防御对策分析.沙尘暴监测预警服务研究[M].北京:气象出版社,2002:220~224.
- [2] 孙军,李泽椿.西北地区沙尘暴预报方法的研究[J].气象,2001,27(1):19~24.