

沙尘暴发生的条件和影响因素

赵景波

(陕西师范大学地理系 西安 710062)

杜娟 黄春长

(中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室 西安 710054)

[摘要] 以历史时期沙尘暴活动的资料为依据,论证了沙尘暴生成条件和影响因素。特定时期的寒潮是沙尘暴发生的动力,它与处在特定状态的粉尘相结合是沙尘暴发生的必要条件。温度和降水量对沙尘暴的生成有重要影响。虽然沙尘暴的活动与冷空气活动有关,但最寒冷的冬季沙尘暴活动弱,温度适中的春季沙尘暴活动强。在沙尘来源区,沙尘暴主要活动期的温度比年均温高 $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。在沙尘堆积区,沙尘暴主要活动期的温度比当地年平均温低 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。降水少,沙尘暴活动强。然而沙尘暴主要不是形成于降水最少的冬季,而是主要形成于降水量较少的春季。沙尘暴活动期的降水量一般比同一地区年平均降水量低约30%。

关键词 沙尘暴 活动规律 生成条件 影响因素

中图分类号 P445+.4 **文献标识码** A **文章编号** 1001-4675(2002)01-0058-05

1 引言

人们早就注意到了沙尘活动与寒潮有关^[1],并认为沙尘暴发生在寒冷气候条件下^[2]。然而,实际上,沙尘暴活动最强的时期不是在最冷时期,而是在温度适中的3~4月份。是什么原因决定了沙尘暴的特定活动时期是值得研究的。过去对沙尘暴的研究主要是从气候条件入手的^[2],没有注意沙尘暴起源地区和堆积区各自的温度和降水条件等。要查明沙尘暴发生条件,全面研究沙尘暴发生条件和影响因素是必要的。沙尘暴的活动对人们的生活、生产和环境带来了不利影响,它的研究具有重要实际意义。本文将根据各种资料,全面剖析沙尘暴发生条件和影响因素。

2 历史时期以来沙尘暴活动规律

表1 各月沙尘暴统计资料

Tab.1 Statistical data of monthly dust storm

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
次数	25	79	114	130	64	16	11	11	11	6	11	16
%	5.1	16.0	23.1	26.1	13.6	3.2	2.2	2.2	2.2	1.2	2.2	3.2

据史料记载,历史时期中的沙尘暴是经常发生的,并且在不同季节出现的频率差异甚大,但是它的发生也有一定的规律性。据494例载有月份的沙尘暴记录统计(表1)可知,沙尘暴主要出现在2~5月份,占沙尘暴总数的78.3%;其中又以3~4月份最频繁,占沙尘暴总数的49.2%;2月份和5月份次之,分别占16%和13%;其它各月沙尘暴较少,不超过6%。如果按季节而论,可知沙尘暴主要出现在春季,占62.2%;次为冬季,主要出现在冬季末期,占24.3%;夏秋季节沙尘暴很少,共占13.2%。近年来的沙尘暴也是出现在春季,如甘肃河西走廊的沙尘暴与西安的沙尘暴主要出现在春季的4月份^[3]。由此可见,一年中沙尘暴的活动呈现出由弱到强再到弱的规律,其中3~4月份为沙尘暴活动的最频繁时期。

教育部人文社科重大项目(2000ZDXM770013)和国家自然科学基金项目(40071006)研究成果。

收稿日期:2001-05-30,修订日期:2001-08-17

3 沙尘暴发生的动力

沙尘暴是以风作为搬运动力的,因此经过或来自物源区的较频繁和较强的风是沙尘暴形成的必要条件之一。粉土物质来源于西北的沙漠及戈壁区,因此西北季风就成为粉土物质的搬运动力。我国北

方的西北风主要是由冷空气引起的,较强的风常是由强度大的冷空气(即寒潮)引起的。据统计,我国寒潮主要出现在11~4月份,也就是说主要出现在冬、春季和秋季末期,并且尤以春季的3~4月份为频繁,超过最寒冷的12~1月份(表2)。

表2 1951~1976年寒潮统计资料

Tab.2 Statistical data of cold wave from 1951 to 1976

月 份	10	11	12	1	2	3	4	5
次 数	3	29	16	17	22	27	20	1
%	2.2	21.5	11.9	12.6	16.2	20.0	14.8	0.7

3~4月份蒙古高压气流开始衰退,强度减弱,暖气团渐渐侵入我国北方。这时寒潮反较1月份和12月份为频繁的原因主要是由于季风环流的演变而造成的。大规模的季风环流系统基本上具有两种比较稳定的形态,即冬季形态和夏季形态^[4],这两种大气环流形态在一年中交替出现。冬季形态通过较短的春季形态转变为夏季形态,夏季形态又通过秋季的过渡阶段转变为冬季形态,每一年都要发生这种大气环流形式的转变。从多年平均状况来看,两次环流形式的转变,主要出现在6月份和10月份^[4],有时出现在5月份和9月份。由于春季是过渡季节,为季风环流的调整时期,冷暖空气相互消长,更替频繁,天气系统移动较快,冷空气活动次数多,寒潮出现频繁,所以春季风的频率高,为沙尘暴的活动提供了有利的动力条件。冬季冷空气在我国大部分地区居绝对优势地位,由于冷空气下沉,天气形势稳定,造成1月份和12月份的冷空气活动较3~4月份少,故风的频率也就低于3~4月份。秋季亦为大气环流调整的时期。但因秋季初期气温较高,冷空气活动次数少,仅在秋季末期的11月份,由

于冷空气频繁南下,寒潮方出现高峰。夏季冷空气退居高纬度区,我国很少受其影响,一般没有寒潮侵袭,所以西北风也很少出现。

由此可见,春季的3~4月份西北风的频率高,冬季和秋季末期也较高,而秋季早、中期和夏季西北风的频率低。这正是春季沙尘暴活动最为频繁的一个重要条件。

以风速大小而论,春季风速大,夏季、秋季和冬季风速小^[5]。这是一个值得注意的特点。不论是华北地区还是东北地区,不论是沙漠地区还是非沙漠地区,都是以春季风速为最大。春季风速大是由于这时气温开始回升所引起的。春季不仅平均风速大,而且能够携带大量粉土物质的大风也突出地集中在这一时期。在其它季节里,类似的情况相当少。如华北春季常有20m/s的六级大风,大风起处,黄尘滚滚,遮天蔽日,形成沙暴天气。华北每年有5~15天沙暴日,多数集中在春季(表3)。在青藏高原、内蒙和新疆等地区,≥8级的大风也是以春季的4月份为最多^[5]。风速日变化也表明,最大风速出现在空气不稳定的时期。

表3 黄河流域沙暴日^[5]

Tab.3 Statistical data of dust storm days from 1951 to 1976

地 名	北 京	天 津	石 家 庄	太 原	开 封	济 南	西 安	兰 州
沙暴日								
全 年	3.3	3.0	17.0	4.5	27.0	1.3	31.5	10.7
最多月份	3	4	4	4	4	4.7	3	5

现代沙尘暴发生动力的分析也表明其活动主要是冷空气活动引起的。如1983年4月27日在陕北和宁夏发生的沙尘暴是来自西伯利亚的冷空气向南侵入造成的。2000年在西北地区春季频繁发生

的沙尘暴也是冷空气活动的结果。即使有时西风气流也起搬运沙尘的作用,但沙尘的扬起也与冷空气的活动有关。

4 沙尘暴的物质来源及所处状态

仅具备搬运动力而无搬运物,则不会有沙尘暴发生,所以具备大量为风搬运的粉土物质且这种物质处于干燥状态同样是沙尘暴发生的重要条件。

现今我国西北戈壁和沙漠广泛分布,物理风化盛行,风化作用产生了大量碎屑物质,为风力搬运提供了丰富的物质来源。只要粉土物质处在易搬运的干燥疏松状态下,在有大风经过时,必然会将粉土物质带走。但如果粉土物质湿度较大或呈固结状态,那么即使具备搬运介质也难以将其带走。大小相同的颗粒含水越少,起动风速越小,越利于风的搬运;含水越多,起动风速越大,越不利于风的搬运。在春季,降水量较少,气温较高^[3],蒸发作用较强,加之这时植被稀疏,地表裸露,固结作用弱,表土层处于干燥疏松状态。在夏季,降水量较多,表土层湿度大,并且这时为植物的生长期,植被对土层有保护作用,粉土物质不同程度地被固结。在秋季,降水量较丰富,气温低,蒸发作用弱,相对湿度大,碎屑颗粒的粘滞性和团聚作用强,粉土物质不如春季干燥疏松。在冬季,降水量虽少,但因气温过低,蒸发锐减,相对湿度大,不利于风的搬运。另一方面,我国北方冬季温度多在 0℃ 以下,这时地表处于冻结状态或为雪层覆盖,也将对粉土物质的搬运产生不利影响。以陕西为例,延安 12 月份为 -3.2℃,1 月份为 -5℃,2 月份为 -1.9℃;定边 12 月份为 -2.5℃,1 月份为 -9.4℃,2 月份为 -5.4℃;榆林 12 月份为 -8.4℃,1 月份为 -10.3℃,2 月份为 -8.4℃。陕西冬季温度尚在 0℃ 以下,那么西北沙漠和戈壁区的温度则要更低。显然,在地表处于冻结状态时,粉土物质不能飞扬到空中,风的搬运也就受到了限制。据测定,陕西土壤冻结期从 10 月下旬开始,由北向南逐渐推迟;解冻期始于 2 月,从南向北至 4 月上旬结束^[6]。由此可见,解冻期正是沙尘暴发生的高潮期。这表明了冻结作用对沙尘暴是有影响的。雪层覆盖对表土起到了保护作用,因而粉尘的搬运受到了限制。虽然粉土物质来源区气候干旱,但在冬季也有少量积雪,在少数沙漠区可见到较厚的积雪。如我国第二大沙漠古尔班通古特沙漠年降雪量为 70~150mm,稳定积雪日数一般在 100~160 天之间,最大积雪厚度 20cm 以上^[7]。

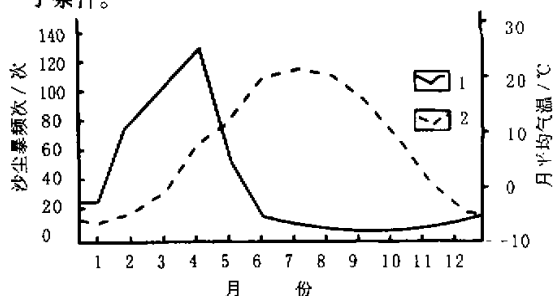
据上述得出,春季粉尘处于干燥疏松状态,这就

是春季沙尘暴出现高峰的主要原因之一。

5 温度对沙尘暴的影响

根据历史时期以来沙尘暴活动的规律,沙尘暴的活动以春季的 3~4 月份最频繁,这与气温的变化有着密切的关系(图 1)。从春季的 3 月份起,气温开始明显回升,而且回升的速度快,例如华北地区每 3~4 天就升高 1℃^[4]。而温度的快速回升导致下层大气强烈受热。根据判别大气稳定度的公式 $a = T_i - T/T_g$ 可知,当空气团的温度比周围空气高时,即 $T_i > T$ 时空气团将受到向上的加速度而使其上升,空气变得不稳定,而当空气团的温度比周围空气温度低时,即 $T_i < T$ 时,空气团将受到向下的加速度而使其下沉,则空气趋于稳定;当 $T_i = T$ 时,垂直运动将不会发展。因此,春季的升温,使下层的空气获得加速度而上升,造在空气不稳定,这将促使对流作用及湍流作用的加强,从而有利于风速的加大,造成春季风速大,夏秋季节和冬季风速小。这种较大的风速为沙尘暴活动提供了有利的条件。

另一方面,对流作用及湍流作用的加强除了有利于风速加大之外,伴随着空气的上下交换,粉土物质也被带到了较高层的大气中,为远距离搬运提供了条件。



1. 历史时期沙尘暴活动曲线, 2. 西安年均温度曲线。

图 1 沙尘暴活动与年均气温的关系

Fig.1 Correlation between frequency of dust storm and mean annual temperature

据位于风尘堆积区的陕西黄土高原的资料分析,沙尘暴发生时期的月平均气温与同一地区的年平均气温接近(表 4)。如西安、延安地区 2~5 月份沙尘暴活动期月平均气温为 11.5℃ 和 7.6℃,而这两个地区的年平均气温为 13.3℃ 和 8.1℃,沙尘暴活动期的月平均气温比年平均气温分别低 1.8℃ 和 0.7℃。若气温过低,地表土层易冻结或被雪覆盖,

粉土物质难以移动;若气温过高,又缺乏粉尘的搬运动力—冷空气,二者都不利于沙尘暴的形成。这也说明了沙尘暴的发生受气温影响,它在堆积区主要不是出现在最冷的季节,而是在气温仅比一个地区年平均气温低 1℃~2℃ 的冷暖过渡的时期。据甘

肃和新疆气象资料来看,沙尘起源区沙尘暴主要发生期(4 月)温度略低于当地年平均温度(表 5)。4 月份较高的温度导致蒸发加强,造成相对湿度最低^[5],利于沙尘的吹扬。

表 4 一些地区的月平均气温(℃)

Tab.4 Mean monthly temperature(℃) in some areas

地 区	2 月	3 月	4 月	5 月	2~5 月平均	年平均
西安	3	8	14	19.2	11.5	13.30
延安	-2	4.5	11.2	16.8	7.6	9.3
洛川	-2	4	9	13	8.5	9.2
榆林	-4	2.7	10.1	16.7	6.3	8.1

表 5 西北一些地区的气温(℃)

Tab.5 Temperature(℃) in some areas of northwest China

地区	1 月	4 月	7 月	10 月	年平均
酒泉	-8.8	10.7	23.5	8.7	8.3
民勤	-9.7	10.0	23.9	7.3	7.9
和田	-5.6	15.8	25.0	11.1	11.6
库车	-9.2	14.9	26.8	11.6	10.8
若羌	-9.7	15.9	28.2	10.8	11.6
塔城	-12.7	8.5	23.8	6.5	5.9

表 6 一些地区的月平均降水量(mm)

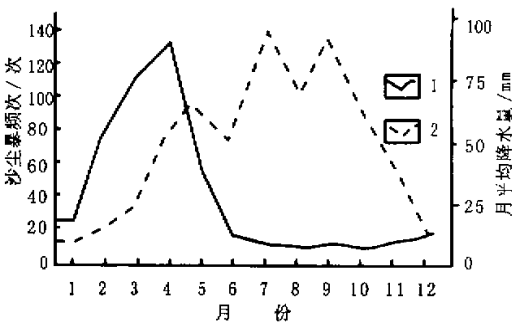
Tab.6 Mean monthly rainfall(mm) in some areas

地 区	2 月	3 月	4 月	5 月	2~5 月平均	年平均
西安	10	24	52	63	37.3	50.3
延安	5	18	37	50	27.5	47.7
洛川	9	24	50	53	22.0	51.9
榆林	30	8	28	30	24.0	36.5

6 降水量对沙尘暴的影响

沙尘暴除受温度影响外,还受降水量的显著影响。一般来说,降水量越少,地表土层越干燥,越有利于沙尘暴的活动。然而,沙尘暴并非多出现在降水量最少的 12~1 月份,而是多出现在降水量相对较少的春季 3~4 月份(图 2)。陕西黄土高原资料表明沙尘暴活动期的 2~5 月份平均降雨量比该地区全年月平均降雨量显著低,一般低 30% 左右以上(表 6),例如西安低 25.8%,延安低 42.3%,洛川低 57.6%,榆林低 34.2%。沙尘暴频繁发生的春季,降水量较少,气温较高,且蒸发作用强,加之这时植被稀疏,地表裸露,固结作用弱,表土层处于干燥疏松状态,为沙尘暴活动提供了丰富的物质来源—粉尘。而在冬季,降水量虽少,但气温过低,蒸发极弱,相对湿度大,不利于风的搬运。黄土高原温湿期红

色古土壤大量发育也表明降水多不利于沙尘暴的发生^[7~9]。



1. 历史时期沙尘暴活动曲线,2. 西安年均降水量.

图 2 沙尘暴活动与降水量的关系

Fig.2 Correlation between frequency of dust storm and mean annual rainfall

除温度与降水影响沙尘暴的活动之外,人类活动对其也有影响。人类活动破坏了植被,土层裸露,导致了沙尘暴中悬浮物浓度增加。人类活动产生的 CO_2 使气温升高,蒸发加强,土层干燥,促使了沙尘暴形成。然而气温升高会引起蒙古高压缩小,而不会促使其频繁向南侵入。因此,近年沙尘暴动力加强不是人为作用引起的,而是蒙古高压自然变化。人类活动的结果是使寒潮中从无沙尘到有沙尘,从沙尘少到沙尘多。

7 结论

(1)沙尘暴的形成必须具备两个条件:一要有频繁、强大的经过或来自物源区的西北风,二要有干燥松散的粉土物质。春季3~4月份通常具备这两个条件,这是3~4月份沙尘暴活动频率大的原因。

(2)温度对沙尘暴有重要影响,低温不利于沙尘暴的形成,适中的温度有利于沙尘暴的生成。在沙尘起源区,沙尘暴主要发生期的温度略高于当地的年平均温度。在沙尘堆积区,沙尘暴主要发生期的温度略低于当地年均温度。温度主要是通过加强蒸发,减小土层湿度和增强湍流作用而促使沙尘暴形成的。

(3)降水对沙尘暴也有重要影响。降水少利于沙尘

暴的生成,降水多不利于沙尘暴的生成。沙尘暴活动最强的月份不是在降水最少的月份,这主要是降水量最少的月份温度最低造成的。沙尘暴发生期的降水量通常比月降水量显著少。

(4)人类活动对沙尘暴的影响主要是增加了沙尘暴中的粉尘物质,对动力来源没有影响。近年来,沙尘暴的搬运动力增强主要是冷空气活动的自然变化。

参考文献

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 303~320.
- [2] 张德二. 历史时期“雨土”现象剖析[J]. 科学通报, 1984, 24(3): 294~297.
- [3] 王式功, 杨民, 祁斌, 等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 354~358.
- [4] 周淑贞. 气象学与气候学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981. 110~112.
- [5] 朱炳海. 中国气候[J]. 北京: 科学出版社, 1963. 190~206.
- [6] 聂树人. 陕西自然地理[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1981. 110~112.
- [7] 朱震达. 中国沙漠概论[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [8] 赵景波. 黄土中古土壤旋积类型[J]. 地理学报, 1995, 50(1): 45~50.
- [9] 赵景波. 陕西黄土高原500KaBP的古土壤与气候带迁移[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 323~331.

Formation Conditions and Affecting Factors of Sand-dust Storm

ZHAO Jingbo DU Juan HUANG Chunchang

(Department of Geography Shanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

(State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710054, China)

Abstract On the basis of the material of sand-dust storm occurrence in historical periods, the formation conditions and affecting factors of sand-dust storm is discussed. Cold wave in certain periods is the formation motive force, and combining with the sand and dust in particular state is the necessary conditions of sand-dust storm occurrence. Temperature and precipitation affect greatly the formation of sand-dust storm. Although formation of sand-dust storm is related to the moverment of cold wave, its moverment is weak in the cold winter with the lowest temperature and strong in the spring with moderate temperature. The temperature in main activity periods of sand-dust storm is 2°C higher than the average annual temperature in its origin areas, and $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ lower than the average annual temperature in its deposition areas. If precipitation is a little, moverment of sand-dust storm is strong. However, sand-dust storm does not occur mainly in winter with the least precipitation but occurs mainly in spring with less precipitation. The precipitation in activity periods of sand-dust storm is about 30% less than the average annual precipitation in the areas.

Key words sand-dust storm, activity law, formation conditions, affecting factors.