

文章编号:1004-4574(2005)02-0041-06

哈尔滨市沙尘暴发生规律与成因分析

张丽娟¹, 郑 红², 周 嘉¹, 谢远云¹, 郑 凯³, 苍蕴崎²

(1. 哈尔滨师范大学 地理系, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江省气象中心, 黑龙江 哈尔滨 150030;
3. 黑龙江省人工影响天气中心, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:通过对哈尔滨市 1954-2003 年沙尘暴、大风及降水等气象观测资料的分析认为, 哈尔滨市沙尘暴发生次数的年代变化明显, 沙尘暴的发生与大风风速、风向与降水均有显著的相关关系, 同时与大气稳定度有关, 也受下垫面性质的影响。通过对沙粒尺度的分析, 认为哈尔滨市沙尘暴的远距离沙源为内蒙古境内沙地、科尔沁沙地, 近距离沙源在松嫩平原和哈尔滨周边地区。

关键词:沙尘暴; 规律; 成因

中图分类号: P445⁺.4 文献标识码: A

Occurrence and cause of dust-storm in Harbin

ZHANG Li-juan¹, ZHENG Hong², ZHOU Jia¹, XIE Yuan-yun¹, ZHENG Kai³, CANG Yun-qi²

(1. Geographical Department, The Normal University of Harbin, Harbin 150080, China; 2. The Meteorological Bureau of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China; 3. Center of Artificial Weather of Heilongjiang Province, Harbin 150030, China)

Abstract: By studying the data of dust-storm, strong wind and precipitation in Harbin from 1954 to 1999, it can be known that the occurring time of the dust-storm in Harbin is different with decades, and it has correlation with the speed and the direction of strong-wind and precipitation; In the same time, the dust-storm is influenced by the atmospheric steady degree and the nature of the surface of the earth. Based on the analysis of sand particle, it is pointed out that the distant sand source of dust-storm hitting Harbin is the Nei Monggol and Gerqin deserts, and the near source is in Songnen plain and surroundings of Harbin.

Key words: dust-storm; regularity; cause

沙尘暴作为一种灾害性天气, 国内外就其发生的理论进行了深入研究, 尤其是针对区域性沙尘暴的发生规律和成因进行了广泛的探讨^[1-4]。黑龙江省作为我国北方地区, 也是受沙尘暴影响地区之一。本文利用哈尔滨市 1954-2000 年的沙尘暴多年观测资料, 对哈尔滨市沙尘暴的发生规律及成因进行了分析, 有关对哈尔滨市沙尘暴的发生规律及影响因子曾经有过研究, 但对哈尔滨市沙尘暴发生与大气稳定度、降水、沙源的关系尚属首次探讨。本研究的目的是为哈尔滨市沙尘暴的预测、预报及防治提供依据。

1 数据来源与测试方法

1.1 沙尘暴数据及气象要素数据

本文研究所用的沙尘暴、大风、降水数据来源于黑龙江省气象中心, 时间为 1954-2003 年; 数据内容为

收稿日期: 2004-10-19; 修订日期: 2005-01-06

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(G0213); 黑龙江省教育厅科技项目(10531075)

作者简介: 张丽娟(1965-), 女, 河北唐山人, 副教授, 博士研究生, 主要从事应用气象研究。

万方数据

每年发生的沙尘暴日数、次数,能见度等。沙尘暴资料的选择严格按照我国气象观测规范所定义的沙尘暴标准得出的。

1.2 沙尘沉降物粒度测量试验

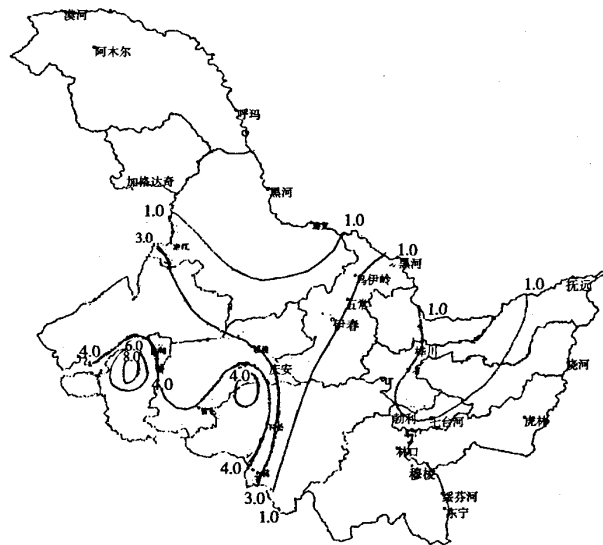
2003 年 3 月 20 日沙尘天气发生的当日,在哈尔滨师范大学教学主楼楼顶收集沙尘沉降物。

通过以下步骤测量沙尘粒度:

- (1)除去有机质及碳酸盐等。将样品 0.1g 低温烘干,加入 10~30mL 双氧水,摇匀并加热煮沸至无细小气泡为止;再加入 10mL 的 10% 盐酸,加热到不产生气泡。
- (2)颗粒沉降。在烧杯中加满蒸馏水,静置 24h,直至溶液清亮。
- (3)去清液。加入 0.05N 的分散剂六遍磷酸钠,摇匀置于超声波震荡器中震荡 15min。
- (4)用 Mastersize2000 激光粒度分析仪分析粒度。

2 哈尔滨市沙尘暴的时间分布特征

1954-2000 年哈尔滨市共发生沙尘暴 49 次,而黑龙江省按站平均,每站共发生沙尘暴 23 次,从黑龙江省沙尘暴地域分布图中可以看到(见图 1),哈尔滨市属于黑龙江省沙尘暴的高发区。



图中等值线为年平均沙尘暴发生次数,单位:次数/站

图 1 黑龙江省沙尘暴地域分布

Fig. 1 Regional distribution of dust-storm in Heilongjiang Province

2.1 哈尔滨市沙尘暴的年代分布特征

哈尔滨市沙尘暴发生具有明显的年代分布特征,如表 1。

表 1 哈尔滨市历年沙尘暴日数

Table 1 Days of dust-storm in Harbin City for years

年代	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	年总量	平均
1950	—	0	0	4	3	5	4	0	5	4	25	2.5
1960	8	5	2	0	1	1	1	1	0	0	19	1.9
1970	4	8	1	2	4	4	1	2	0	0	26	2.6
1980	0	0	0	3	0	0	1	0	1	0	5	0.5
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

由表 1 可见:

- (1) 每年至少有一次沙尘暴的年数占 48.9%。

万方数据

(2) 哈尔滨市的沙尘暴的年际变化有明显的持续性和阶段性。1953 - 1977 年共 25a 中,沙尘暴发生次数较多,有沙尘暴发生的年份占了 84.0%;1978 - 1999 年共 22a 中,沙尘暴发生的次数较少,一年中没有沙尘暴出现的年份占了 86.4%。

(3) 一年中,沙尘暴最多可出现 8d,最少为 0d,年变异系数为 3.71d,可见其年变化是很大的。

(4) 20 世纪 50 年代到 90 年代,哈尔滨市沙尘暴发生次数以 50 年代、70 年代为最多,60 年代次之,80 年代、90 年代较少。

2.2 哈尔滨市沙尘暴的季节分布特征

哈尔滨市沙尘暴的发生主要集中在春季,占了年总发生次数的 97.96%,极少数发生在夏季,秋季和冬季没有发生,如表 2。

表 2 哈尔滨市沙尘暴季节分布(1960 - 2000)

Table 2 Seasonal frequency of the dust-storm weather in Harbin City(1960 - 2000)

季节 月份	春 季			夏 季			秋 季		冬 季			
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
月总数/次	6	31	11	0	1	0	0	0	0	0	0	0
季节总次数/次	48			1			0		0			
季节分配百分率/%	97.96			0.24			0		0			

在春季发生的沙尘暴中,以 4 月为最多。如表 3 所示。表中列举了不同时段 30a 的沙尘暴春季发生的月平均次数。可见,在不同的时段内,哈尔滨市春季发生的沙尘暴均以 4 月为最多。

2.3 哈尔滨市沙尘暴的强度分布特征

为了分析哈尔滨市沙尘暴强度的变化,选择 14 时能见度为依据。以 300m 为分界,分析了大于 300m 和小于 300m 能见度所占的比例和平均能见度。如表 4。

表 3 哈尔滨市春季沙尘暴月平均次数

Table 3 Monthly average frequency of dust-storm in Harbin City

年份	3 月	4 月	5 月	合计
1961 - 1980	0.4	1.3	0.6	2.3
1961 - 1990	0.2	0.9	0.3	1.4
1971 - 2000	0.1	0.6	0.2	0.9
平均	0.2	0.9	0.4	1.5

表 4 哈尔滨市沙尘暴强度变化

Table 4 Intensity change of dust-storm in Harbin City

能见度/m	≥300	<300	平均能见度
20 世纪 60 年代	41.20	58.80	27.76
20 世纪 70 年代	17.40	82.60	22.23
20 世纪 80 年代	0	100	14.17

从表中可看出,能见度小于 300m 的沙尘暴逐渐增多,平均能见度随年代增加而减少,20 世纪 80 年代最少。可见,哈尔滨市沙尘暴的强度随着年代变化在增加。

3 哈尔滨市沙尘暴发生的成因分析

3.1 哈尔滨市沙尘暴发生与大风的关系

大风的标准有两个:(1)在气候统计中,以瞬时风速达到或超过 17.0m/s,或目测估计阵风(即瞬时风)风力达到或超过 8 级时,定为有大风出现。(2)在天气预报中,以一天 4 次定时观测时,2min 平均风速 ≥ 11m/s(6 级)定为有大风出现。在此次研究中,采用的是第 2 个标准

3.1.1 与大风日数的关系

哈尔滨市春季大风日数的年际变化具有明显的阶段性和持续性,20 世纪 50 年代大风日数呈增加趋势,年均均在 10d 左右;到 70 年代大风日数明显增加,为大风日数的较多阶段,并达到大风日数的最高值;80 年代后明显减少,且年均低于 6d,90 年代最少,年均

低于 2d^[6]。如表 5、图 2。可见,哈尔滨市沙尘暴发生与春季大风发生次数多少在时段上是吻合的,说明沙尘暴与大风日数密切相关,类似结论在其他区域性沙尘暴成因研究中有过多次报道^[7,8]。

万方数据

表 5 哈尔滨市春季大风(11m/s)年代分布

Table 5 Decadal distribution of spring's strong wind(11 m/s)in Harbin City

年份	大风年均值/d	趋势	沙尘暴年均次数/次
1956 - 1969	10.8	较多	1.9
1970 - 1980	19.4	特多	2.5
1981 - 1989	4.6	较少	0.5
1991 - 2000	0.6	特少	0

3.1.2 与风速、风向的耦合关系

为了进一步确定沙尘暴与大风的关系,绘制了11m/s和13m/s大风与沙尘暴的年变化曲线,如图2。可见,哈尔滨市沙尘暴的年分布与11m/s和13m/s大风分布曲线均比较相似,和11m/s大风日数更较吻合。经计算,沙尘暴与11m/s和13m/s大风日数的相关系数为0.374和0.359,均通过0.05信度检验,呈显著性相关,沙尘暴与11m/s/大风日数的相关更为显著(图2)。

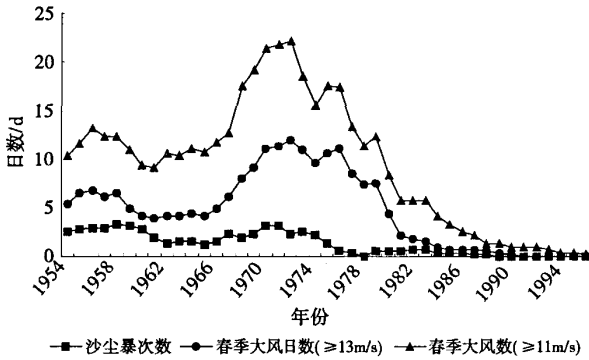


图2 哈尔滨春季大风与沙尘暴年分布滑动平均曲线
Fig.2 Sliding average of yearly distribution for spring's strong wind and dust - storm in Harbin

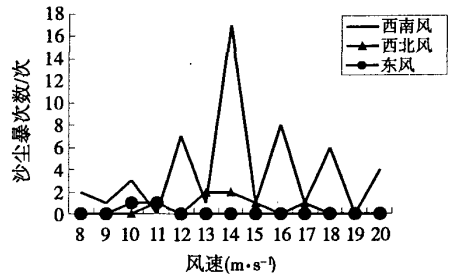


图3 哈尔滨沙尘暴随风向、风速的分布
Fig.3 Frequency variation of sand-storm in Harbin with speed and direction of strong-wind

哈尔滨春季风主要有偏南风、西北风和东风。在3-5月,风向为偏南风(S-W-SW)时,出现沙尘暴的天气占85.7%;风向为西北风(W-N)时,出现沙尘暴的天气占11.1%;出现东风(NNE-SSE)时,出现沙尘暴的天气占3.2%。可见,出现西南大风时,沙尘暴出现的几率最大。同时,还发现:在西南风的条件下,定时观测2分钟平均风速达到8m/s(5级风)时,有时因阵风较大,可以出现沙尘暴;在东风条件下,需达到10m/s(5级风)可以出现沙尘暴;而在西北风条件下,则需达到11m/s(6级风)才可出现沙尘暴(见图3)。

从图3可以进一步看出,虽然大风或强风是沙尘暴发生的必要条件,但并非风速越大,沙尘暴出现的就越多,沙尘暴与风速并不成正比关系,同时也与风向有关。从图2可看出,当风速为14m/s,风向为西南风时,出现沙尘暴的几率最高。原因有几点:(1)与气流本身性质有关。因为在西南风条件下,气温高,相对湿度小,而在东风和西北风的条件下,气温较低,相对湿度较大的缘故;(2)与形成哈尔滨市沙尘暴的沙源有关;(3)在植被和沙源不变的条件下,沙尘暴的形成除与强风有关外,也受与大气稳定度、前期土壤湿度决定。

3.2 哈尔滨市沙尘暴发生与沙源的关系

为了确定哈尔滨市沙尘暴的沙源地,我们在2002年3月20日哈尔滨市遭遇沙尘天气时,收集沙样进行分析,结果见图4。

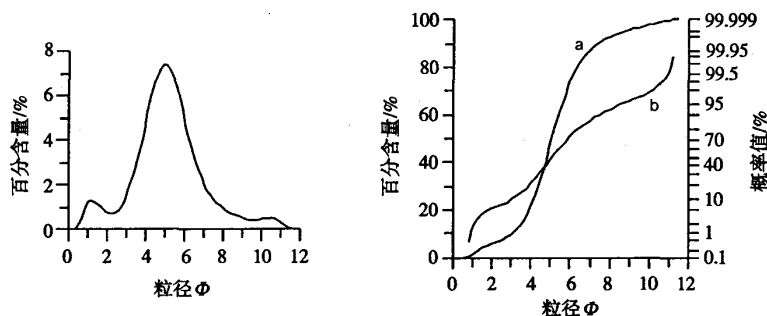


图4 哈尔滨2002年3月20日沙沉降粒度分布的频率曲线(左)和累积频率曲线(右a)及概率累积曲线(右b)
Fig.4 Frequency, accumulative frequency and probabilistic accumulation curves for granulation distribution of sand dropped from dust-strom in Harbin on March 3, 2002

从沉降物粒度分布特征的曲线(图4)可以看到,左侧是沉降物粒度分布的频率曲线,为一条头短而尾细长的3峰型接近对称的尖锐曲线;右侧为沉降物粒度的累积频率曲线和概率累积曲线,这3条曲线所放映的

特征是一致的,即:粒度分布曲线众数值向粗粒径一侧变化时较迅速,向细粒径一侧变化时有一明显缓和段。说明沙尘天气不仅带来大量粗颗粒物,还有相当量的细颗粒物。

哈尔滨沙尘沉降物以粉砂($4 \sim 63 \mu\text{m}$)为主,占 71.18%,砂粒组分($>63 \mu\text{m}$)占 21.7%,粘土($<4 \mu\text{m}$)组含量最少,仅占 7.13%。沉降物粒度为多峰态分布,29.16~34.67 μm 粒级的粗粉砂组成第 1 主峰,含量约占 7.4%,420.45~500 μm 粒级的中砂组组成第 2 主峰,含量约占 1.29%,而 0.69~0.82 μm 粒级的细粘土组分形成第 3 主峰,含量约占 0.52%。沉降物的平均粒径为 28.4 μm ,分选系数为 1.81,偏态为 0.044,峰态为 1.494,粉粘比为 7:3。

与已有的关于长春、双疗、通辽等地沙尘暴粒度特征对比^[12]:这些地区的粒度分布曲线呈现出双峰型,峰值出现在 15~35 μm 沙尘粒度,是以粉砂为主,中值粒径约为 10~20 μm ;以及与戴国荣、张宁、庄国顺等研究^[12-14]对比,哈尔滨 2002 年 3 月 20 日的沙尘沉降物的粒度是迄今为止有见报道中最粗的。

引起哈尔滨沙尘暴的主要风向有偏南风、西北风和东风。根据风沙动力学原理^[15],以及哈尔滨市沙尘暴发生时的降尘物粒度呈多峰态分布特征,其形成原因可能是远距离搬运细颗粒和近距离搬运粗颗粒的混合^[9,10],哈尔滨市沙尘暴的发生源地有近距离沙源和远距离沙源。引起哈尔滨沙尘暴的主要风向有偏南风、西北风和东风,因此可以推断,引起哈尔滨沙尘暴的沙源地有:偏南风远距离沙源地有内蒙古西部、科尔沁沙地、松嫩平原沙化地;近距离沙源地为哈尔滨周边地区;西北风远距离沙源地呼伦贝尔沙地、内蒙古沙地、松嫩平原沙化地,近距离沙源地为哈尔滨周边地区;东风无远距离沙源地,只有近距离沙源地为哈尔滨周边地区。由于呼伦贝尔沙地距离哈尔滨市较远,又有大兴安岭的阻隔很难进入我省;而科尔沁沙地,位于哈尔滨市西南方向,三山的开口处,随风进入方便,且面积广阔,可为哈尔滨市沙尘天气的发生提供丰富的物质来源,这是偏南风是引起哈尔滨沙尘暴主要风向的重要原因,相应的西北风则占较少比例,而东风因只有近距离沙源地,因此由于东风引起沙尘暴的次数最少。

而且因为哈尔滨的沙尘沉降物的粒度是迄今为止有见报道中最粗的,来自近距离沙源的沉降物的比例较大。哈尔滨 2002 年 3 月 20 日的风速为 13.35m/s,风向为南南西,参照相关的研究成果,在风速为 13.35 m/s 时,29.16~34.67 μm 粒级的沙粒运行最大距离接近 450km,悬浮高度大约为 1000m,当日 500hPa 高空的风速为 30m/s,高空运移最大距离近 600km,由此进一步证明,哈尔滨市沙尘暴的发生源地有远距离沙源为科尔沁沙地;由于沙粒中还有 0.52% 的细小沙粒,从高空形势看,哈尔滨位于蒙古气旋的前部,因此不排除有来自内蒙古、新疆盆地的沙粒。

3.3 哈尔滨市沙尘暴发生与大气稳定度的关系

胡隐樵等^[6]总结了沙尘暴发生的必要条件,除了强风和沙源外,还有局地不稳定大气。孙继明等^[7]分析了 1996 年 4 月 29 日在吉兰泰站出现了一次局地性的沙尘暴天气,进一步证实了这一结论。哈尔滨市有沙尘暴出现,说明具有沙源,春季冷空气活动频繁,容易出现强风,但并非有强风就一定出现沙尘暴天气,说明沙尘暴的发生同样也受其它因素的影响。我们选择了两个天气形势相似的个例进行了分析比较。如表 6 所示。

表 6 沙尘暴发生与大气稳定度关系
Table 6 Relation between dust-storm and atmospheric stability

个例	天气状况	$R_i/(10^{-2}\text{℃} \cdot \text{m}^{-1})$	
		08	20
1	1961 年 4 月 11 日,风向 SSW,风速 14m/s,当日及前日无降水,有沙尘暴	-0.83	-0.22
2	1960 年 4 月 27 日,风向 SSW,风速 14m/s,当日无降水,前一日有 0.1mm 降水,无沙尘暴	-0.31	0.11

从表 6 可看出,在相似天气条件下,能否发生沙尘暴与大气稳定度有关,1961 年 4 月 11 日两个探空时间的 R_i 均大于相应的 1960 年 4 月 27 日的 R_i 。进一步说明,大气稳定度的状况是沙尘暴发生的影响因子之一。

3.4 哈尔滨市沙尘暴发生与地表状况的关系

分析得出,虽然沙尘暴的分布趋势与大风的分布趋势在时段上比较吻合,但从表 7 可以看出,沙尘暴发

生次数与风速并不成正比。而且从哈尔滨 1961 ~ 1990 年 3a 3 - 5 月平均大风日数和沙尘暴月平均日数分布(见表 7)可看出,5 月大风日数虽多,而沙尘暴次数却少,可见沙尘暴发生次数与大风日数也不是单纯的线性关系,且 5 月沙尘暴绝大多数在 5 月上旬。由此可推出,沙尘暴的出现除与大风有关外,与下垫面综合状况有关。

表 7 哈尔滨沙尘暴日数与大风日数月分布

Table 7 Monthly distribution of dust-storm days and fresh gale days in Harbin

月 份	3 月	4 月	5 月
大风日数/d	33	79	87
沙尘暴次数/次	2	9	3

3.5 与降水的关系

分析可知,沙尘暴多($\geq 3d$)的年份,春季月平均降水量 $< 20mm$;而当月降水量 $\geq 40mm$ 时,即使大风日数较多($\geq 3d$),也没有沙尘暴天气发生。

由以上的分析可知:

- (1)当 4 月大风日数 $\geq 4d$,同时,4 月降水量 $< 20mm$ 时,沙尘暴出现 2d 或以上的年份占 64%。
- (2)当 4 月大风日数 $\leq 3d$ 时,无论 4 月降水量多少,沙尘暴不出现或仅出现 1 天的几率占 90%。
- (3)当 4 月雨量 $\geq 40mm$ 时,不论 4 月大风日数多少,不出现沙尘暴的年份占 60%。

4 结果与讨论

(1)哈尔滨市沙尘暴发生次数以 20 世纪 50 年代、70 年代为最多,60 年代次之,80 年代、90 年代较少。沙尘暴的年际变化有明显的持续性和阶段性。

(2)哈尔滨市沙尘暴的年际变化持续性和阶段性与大风日数的连续性和阶段性相吻合。 $\geq 11m/s$ (6 级)以上的大风与沙尘暴关系密切。同时沙尘暴的发生也与风向有关。

(3)哈尔滨的沙尘沉降物的粒度是迄今为止有见报道中最粗的,来自近距离沙源的沉降物的比例较大。引起哈尔滨沙尘暴的远距离沙源地有内蒙古西部、科尔沁沙地、松嫩平原沙化地和哈尔滨周边地区,其中以松嫩平原沙化地、哈尔滨周边地区为主要沙源。

(4)大气稳定度的状况是沙尘暴发生的影响因子之一。同时与下垫面性质有关。本文在此方面未作深入研究,对于沙尘暴与下垫面性质之间的定量关系,应是今后工作的重点。

参考文献:

[1] 邱新法,曾燕,廖启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报,2001(3):316-322.

[2] 张养才,何维勋,李世奎. 中国农业气象灾害[M]. 北京:气象出版社,1991.414-438.

[3] 潘耀忠,范一大,史培军,等. 近 50 年来中国沙尘暴空间分异格局及季相分布-初步研究[J]. 自然灾害学报,2003,12(1):1-8.

[4] 张丽娟,郑红,华德尊,等. 黑龙江省沙尘天气发生规律及环境因子分析[J]. 农业环境保护,2002,21(6):556-558.

[5] 张丽娟,郑红,郑凯. 黑龙江讲省沙尘暴发生规律研究[J]. 自然灾害学报,2004,23(4):49-55.

[6] 胡隐樵,高由禧,王介民,等. 黑河实验(HEIFE)的一些研究成果[J]. 高原气象,1994,13(3):225-236.

[7] 孙继明,肖稳安,牛生杰,杨有林,等. 沙漠地区沙尘天气近地层湍流输送特征分析[J]. 南京气象学院学报,2002,25(4):489-495.

[8] 张晓龙,张艳芳,赵景波. 近年来中国沙尘暴发生特点、成因及其防治对策[J]. 干旱区资源与环境,2001,15(3):32.

[9] 王赞红,夏正楷. 北京 2002 年 3 月 20 ~ 21 日尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征[J]. 第四纪研究,2004,24(1):95-99.

[10] McTainsh G H, Mckling W G, Lynch A W. Dust deposition and particle size in Mali West Africa[J]. Catena,1997,29:301-322.]

[11] 介冬梅,胡克,霍新疆,等. 东北地区 2002 年春季沙尘暴的物质特征和成因分析[J]. 环境科学,2004,25(2):28-31.

[12] 戴雪荣,师育新,薛振. 兰州现代特大沙尘暴沉积物粒度特征及其意义[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1995,31(4):168-174.

[13] 张宁,陆荫. 沙尘暴降尘的化学组份和粒径分布特征[J]. 甘肃环境与监测,1998,11(1):3-7.

[14] 庄国顺,郭敬华,袁蕙,等. 2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径及其对全球环境的影响[J]. 科学通报,2001,46(3):191-197.