

文章编号: 1000-0534(2007)05-1039-06

# 北京沙尘天气的变化特征及其沙尘源地分析

尹晓惠, 时少英, 张明英, 李 靖

(北京市气象局气象台, 北京 100089)

**摘 要:**通过对北京市沙尘天气的变化特征、出现沙尘天气的天气形势、移动路径、关键区域和地表特征的分析, 以及与降水量的相关分析, 研究了北京市沙尘天气的变化趋势及其沙尘源地的基本特征。结果表明, 近 56 年来, 北京市浮尘、扬沙和沙尘暴等天气现象均呈现出不规则的波动减少的变化态势; 进入北京的冷空气和沙尘主要有偏西、西北和偏北三条移动路径; 蒙古气旋加冷锋是北京产生沙尘天气的最主要天气系统; 影响北京的沙尘质点主要来源于我国内蒙古以及中蒙边境地区; 从地表特征来看, 北京市周边地区存在着大片的沙尘来源地。沙尘天气与降水量的相关分析表明, 沙尘源区的春季降水对当年北京市三种沙尘天气的影响突出, 而本地的降水更多的是仅仅影响当年的沙尘暴天气。要缓解北京市的沙尘天气灾害, 除了在北京及其周边地区植树造林、建立生态屏障外, 还要加强对沙尘源地的监测与管理, 坚持以草定畜、适度放牧, 严防植被破坏, 同时要及时预报沙尘天气的影响范围和持续时间, 把危害降到最低程度。

**关键词:**北京市; 沙尘暴; HYSPLIT-4 模型; 沙尘源地

**中图分类号:** P445<sup>+</sup>.4 **文献标识码:** A

## 1 引言

沙尘天气是在特定地理环境和大尺度环流背景下诱发的一种灾害性天气<sup>[1]</sup>, 它能给生态环境和人类生活造成巨大的损失<sup>[2-3]</sup>。因此, 沙尘天气的研究早已引起国内外科学工作者的高度重视<sup>[4]</sup>。尤其是近年来, 不同领域的专家分别从天气学、气候学、地理学、景观生态学、统计学、遥感科学、数值模拟等方面对沙尘天气的发生条件、沙尘源地、移动路径、传送机制、气候效应、发展趋势等方面进行了大量的分析<sup>[5-13]</sup>, 并对影响沙尘天气的气候背景及其对全球变化的影响进行了研究<sup>[14-17]</sup>。

北京地区自公元 440 年开始就有强沙尘暴的记录, 在历史上先后经过了北魏、辽金和明清时期等几个沙尘暴的频发期。相关研究表明, 北京市沙尘天气的发生与周围土地的开垦和森林植被的破坏有着直接的关系, 并且受内蒙古中西部等地区沙尘天气的影响较大<sup>[18]</sup>。新中国成立以来, 国家和政府投入了大量的人力、物力和财力, 采取了有力的退耕还林、植树种草、防风固沙等政策和措施, 并取

得了显著的成效, 使得沙尘天气对北京市各个方面的影响大大地减弱了<sup>[19]</sup>。然而, 近年来沙尘天气的发生较 20 世纪 90 年代以来又明显偏多。沙尘天气的这种活动规律究竟与什么气象因素有关? 通过对空气质点后向轨迹的计算和遥感卫星对北京市沙尘天气过程的监测, 找出其主要沙源地, 进而研究沙尘源地降水变化特征对北京市沙尘天气的影响。

## 2 数据来源与研究方法

本文所用的数据主要有 1951—2006 年北京市沙尘天气资料、2000—2005 年内蒙古二连浩特、锡林浩特、朱日和、化德、多伦、集宁, 以及北京市气象台等气象观测站的月降水资料和北京市沙尘天气发生时的遥感影像资料。本文首先分析了近 56 年来北京市沙尘天气的变化趋势、特征及其原因; 然后分别采用天气学、卫星影像、质点后向轨迹及地表特征等分析方法, 探讨北京市沙尘天气的移动路径及沙尘源地的主要天气形势; 最后采用皮尔森相关分析的研究方法, 分析 2000 年以来北京市沙尘天气的这种变化态势与本地和沙尘源地降水量变化

收稿日期: 2006-09-04; 改回日期: 2007-04-12

基金项目: 北京市气象局科研计划项目“沙尘数值模式的业务化应用”资助

作者简介: 尹晓惠(1976—), 女, 内蒙古牙克石人, 硕士, 主要从事天气预报及相关研究。E-mail: xiaohuiyin2000@yahoo.com.cn

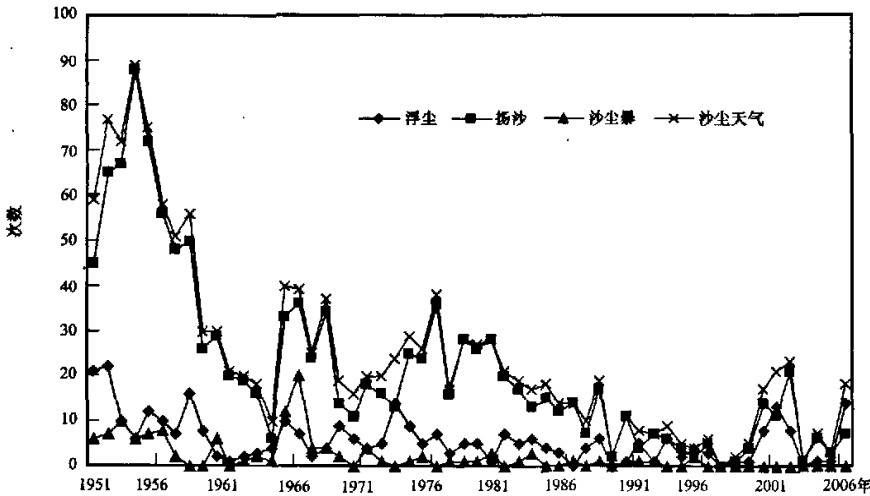


图 1 北京市沙尘天气的逐年变化

Fig. 1 The year-to-year changes of dust weather in Beijing

的相关关系。

3 沙尘天气的时序变化特征分析

图 1 为 1951 年以来北京市沙尘天气的年际变化曲线。由图 1 可知，近 56 年来，北京市浮尘、扬沙和沙尘暴等天气现象均呈现出不规则的波动减少的变化态势。在 20 世纪 50 年代各种沙尘天气发生最为频繁，年平均达到了 63 次，在 1954 年出现最高值，达到了 89 次；此后沙尘天气的年平均发生次数逐渐降低，2000 年以来又显著增加，年平均发生 12.9 次(表 1)。

表 1 北京市沙尘天气的年代际变化趋势  
Table 1 The trend of interdecadal changes of dust weather in Beijing

年代	类型				
	浮尘	扬沙	沙尘暴	沙尘天气	平均
1951—1959	112	517	46	567	630
1960—1969	44	231	52	259	25.9
1970—1979	63	213	11	245	24.5
1980—1989	36	145	9	162	16.2
1990—1999	24	44	5	57	5.7
2000—2006	45	63	0	90	12.9

在三种沙尘天气中，就发生次数而言，扬沙天气发生次数最多，其次为浮尘天气，沙尘暴天气相对最少；就变化趋势而言，近几十年来扬沙和沙尘暴天气减少趋势明显，而浮尘天气变化相对不大。

扬沙天气在 20 世纪 80 年代以前平均每年发生 33 次，2000 年以后减少到平均每年仅发生 9 次，而沙尘暴近几年来在北京已很难见到。在这 56 年中，浮尘出现的天数虽然也有起伏，但总体上变化不大，离散系数为 0.85，远远小于扬沙(0.90)和沙尘暴(1.67)。造成这种变化的主要原因是沙尘暴和扬沙与近源及本地沙尘源关系更密切，多年来北京市及其周边地区持续不断地进行绿化和防沙固沙工程，使本地和近源的沙尘源大量减少；浮尘的沙尘源绝大部分是远源沙尘，主要来自蒙古国及我国北方的沙漠和荒漠区，几十年来这些远源沙尘相对较为稳定。

4 影响北京沙尘天气的源地分析

4.1 沙尘源地的遥感影像分析

通过对卫星遥感图像中沙尘高浓度区的走向分析，可以推断出进入北京的沙尘主要有三条移动路径：一是由内蒙古浑善达克沙地一带，经河北黑河河谷影响北京的偏北路径；二是由内蒙古朱日和一带，经张家口、河北洋河河谷而影响北京的西北路径；三是由河北桑干河地区，沿永定河谷而影响北京的偏西路径(图 2)。追踪沙尘路径的源头及其移动轨迹，可以发现内蒙古的阿拉善盟、巴彦淖尔盟、乌兰察布盟和锡林郭勒盟，河北北部，黄土高原连同蒙古国地区等地是影响北京最主要的沙尘源地。此外，北京周边地区的沙化土地和本地的裸露地面、建筑工地扬沙等也在一定程度上加剧了北京

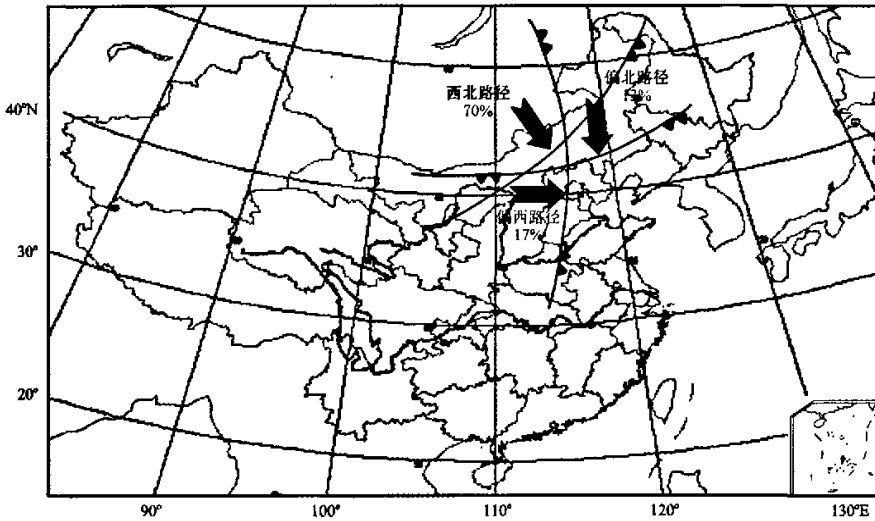


图2 北京市沙尘天气的移动路径与主要沙尘源地

Fig. 2 The main sand-dust source areas and moving routes of dust weather in Beijing

市的沙尘天气灾害。

#### 4.2 沙尘天气形势分析

在2000—2006年间,北京市共出现了72次沙尘天气过程,我们从中选取了30次影响较大的沙尘天气过程,以分析沙尘天气发生时的天气形势。结果发现,在这30次沙尘天气过程中,蒙古气旋配合冷锋是北京产生沙尘天气的最主要天气形势,总计出现了23次,并且气旋中心的位置多出现在蒙古国到内蒙古中、东部地区;其它7次沙尘天气过程是由单独活动的冷锋所造成的。在冷空气冲击北京的偏西、西北和偏北三条路径中,西北路径次数最多,达到了21次,并且表现为东北西南向的冷锋;偏西路径有5次,表现为南北向的冷锋;偏北路径最少,只有4次,表现为东西向的冷锋。然而,无论哪一种冷空气的移动路径,在到达北京之前都经由 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ ,  $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 这一区域,并且在这一区域内产生沙尘天气。因此,这一区域是北京市能否产生沙尘天气的关键区。

#### 4.3 沙尘源地的质点后向轨迹分析

HYSPPLIT-4模型是由美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的空气资源实验室和澳大利亚气象局在过去20年间联合研发的一种用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的专业模型<sup>[20]</sup>。该模型具有处理多种气象要素输入场、多种物理过程和不同类型污染物排放源功能的较为完整的输送、扩散和沉降模式,已经被广泛地应用于多种污染物

在各个地区的传输和扩散的研究中,并且也能较好地数值模拟世界各地的沙尘暴事件<sup>[21-22]</sup>。本文主要利用该模型的轨迹计算部分,对2000年以来北京市的沙尘天气过程进行后向气流轨迹分析,以追踪北京市沙尘天气移动扩散的路径特征。模型的数学表达式为

$$P(t+\Delta t) = P(t) + 0.5[V(P, t) + V(P', t+\Delta t)]\Delta t, \quad (1)$$

$$P'(t+\Delta t) = P'(t) + V(P, t)\Delta t, \quad (2)$$

式中,  $\Delta t$  为可变时间步长,  $\Delta t < 0.75$  格距/ $U_{\max}$  ( $U_{\max}$  为最大风速), 即一个时间步长内沙尘质点的移动不超过0.75个格距。

图3为利用HYSPPLIT-4模型模拟得到的沙尘质点后向轨迹集成图,图中的黑色方框区为本文拟选出的影响北京沙尘天气的关键区。由图3可知,影响北京的沙尘质点主要来源于我国内蒙古及中蒙边境地区,并且主要以偏西或偏北路径影响北京地区。在72次沙尘天气过程中,除了2006年4月21日受冷锋前部的偏南气流影响而造成北京市的沙尘天气外,其余的沙尘质点皆途经此关键区,这与天气学方法分析的结果遥感影像所反映的沙尘源地基本一致。由此可知,该区域内的气候、植被、地表特征等已成为影响北京市沙尘天气多少的关键因素。

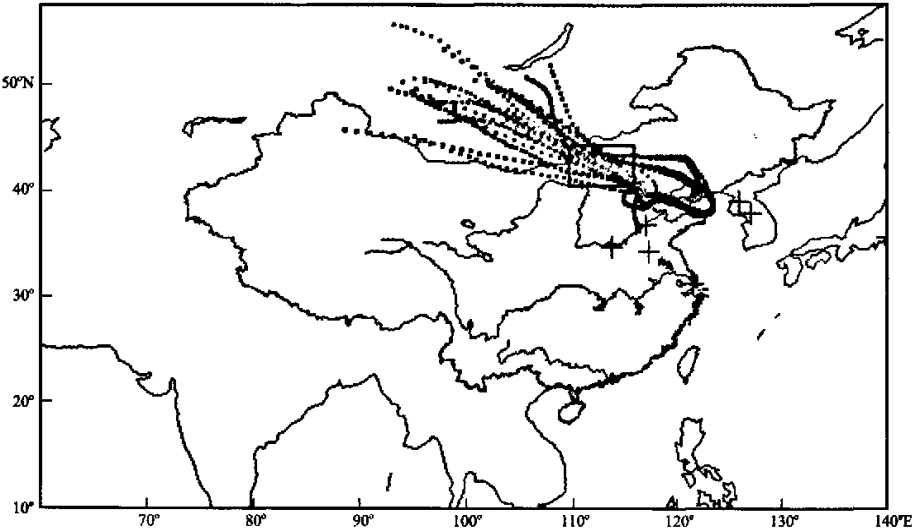


图 3 2000—2006 年北京市沙尘天气的质点后向轨迹集成

Fig. 3 The backward tracks of the dust particles of dust weather in Beijing from 2000 to 2006

4.4 沙尘源地的地表特征分析

北京地区位于华北地区东北部，地处燕山山脉以南、太行山脉以东，没有大面积沙漠存在，因此，其本身并不具备发生大规模沙尘暴天气的“物质基础”。然而，在北京市的周边地区却存在着大面积辽阔、稀疏植被区。如北京东有科尔沁沙地，西北有浑善达克沙地，西有毛乌素沙地、库布齐沙漠、乌兰布和沙漠等。更有甚者，周边的河北省沙漠化非常严重，沙漠化土地达到了  $272 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，

占据了河北省土地面积的 14.5%，北京实际上被沙漠和沙漠化的土地所包围<sup>[23]</sup>。从地表植被特征来看，内蒙中部经山西到北京的西北部大部分地区，多年平均干土层较厚，植被覆盖程度较差，它为偏西或西北路径的沙尘暴提供了大量稳定的沙尘来源，因此影响北京地区的沙尘多经偏西或西北路径；而河北东北部到北京的东部和东北部地区，多年平均干土层很薄，并且多为植被覆盖程度较好的区域，这也是北京地区偏东或偏北路径的沙尘天气

表 2 2000 年以来北京市沙尘天气变化与沙尘源地降水量的相关关系

Table 2 The correlations between the change of dust weather in Beijing and the precipitation and the sand-dust source areas since 2000

站点	与当年春季降水量的相关系数	与前一年降水量的相关系数				
		全年	春季	夏季	秋季	冬季
二连浩特	-0.618	-0.484	-0.363	-0.597	0.011	-0.474
锡林浩特	-0.448	-0.451	-0.190	-0.545	-0.174	0.317
朱日和	-0.780 *	-0.197	-0.032	-0.210	-0.189	-0.420
化德	-0.873 *	-0.521	-0.266	-0.605	-0.336	-0.746 *
多伦	-0.873 *	-0.235	-0.369	0.347	-0.546	-0.476
集宁	-0.886 *	-0.746 *	-0.294	-0.744 *	-0.519	-0.790 *
六站平均	-0.862 *	-0.497	-0.292	-0.559	-0.402	-0.620
北京观象台	-0.838 *	-0.098	0.276	0.310	-0.494	0.260

注：采用皮尔森相关分析(Pearson Correlation)和双尾检验(Sig. (2-tailed))方法，其中\*表示通过 0.05 显著性水平检验；\*\*表示通过 0.01 显著性水平检验

较少的重要原因<sup>[24]</sup>。

## 5 沙尘天气变化趋势与降水量的相关分析

由于降水量的多寡是决定沙尘源地植被覆盖程度的最重要气象因子,因此,沙尘源地的降水量对沙尘天气的产生可能产生重要的影响。选择内蒙古的二连浩特、锡林浩特、朱日和、化德、多伦和集宁6个气象观测站代表沙尘源地,分析2000年以来北京市气象台沙尘天气的发生频次与当地和沙尘源地气候因子的相关关系,结果如表2所示。

由表2可知,首先,北京市的沙尘天气出现频率与当年沙尘源地及本地的春季降水量呈现出显著的负相关关系,这是因为沙尘天气主要发生在春季,若春季降水量的增多,则地表植被的返青早和生长好。此外,沙尘源地地表含水量高对细微颗粒也有一定的黏附作用,这在一定程度上抑制了沙尘的扬起,减少了沙尘的来源。其次,北京市的沙尘天气与沙尘源地当年春季和前一年冬季降水量的相关性较好,这主要是因为当年春季和前一年冬季的降水量是决定地表植被和沙尘来源的最重要气象因素,降水多则植被覆盖好,沙尘扬起的可能性就小,反之,沙尘扬起的可能性就大。再者,北京市的沙尘天气与沙尘发生地当年春季的关系最为密切,这主要是因为北京市本地的沙尘源对沙尘天气主要是起到加强作用。如果沙尘暴在移动过程中不再加强的话,北京市一般只会出现浮尘天气;如果出现的是扬沙或沙尘暴天气,则肯定有相当一部分沙尘来自于北京市本地及其周边。这也是近年来随着北京市本地及其周围地区加强了生态建设的力度,沙尘暴天气很少的重要原因之一。

## 6 结论

通过对北京市沙尘天气的变化特征、沙尘天气形势、移动路径、关键区域和地表特征,以及与降水量的相关分析,得出以下结论:

(1) 近56年来,北京市浮尘、扬沙和沙尘暴等天气现象均呈现出不规则的波动减少的变化态势。其中,扬沙天气发生次数最多,浮尘天气次之,沙尘暴天气相对最少;就变化趋势而言,近几十年来扬沙和沙尘暴天气减少趋势最为明显,而浮尘天气变化相对不大。

(2) 进入北京的冷空气和沙尘主要有偏西、西北和偏北三条移动路径,以西北路径为主;蒙古

气旋配合冷锋是北京产生沙尘天气的最主要天气形势;影响北京的沙尘质点主要沿偏西或偏北路径移动,并且主要来源于我国内蒙古以及中蒙边境地区;从地表特征来看,北京市周边地区存在着大片的沙尘来源地。

(3) 沙尘天气与降水量的相关分析表明,沙尘源区的春季降水对当年北京市三种沙尘天气的影响均较为突出,而本地降水更多的是仅仅影响当年的沙尘暴天气;仅仅在北京市区及其周边植树种草,提高绿化覆盖率并不能真正缓解北京市的沙尘天气灾害。除了在北京北部的京津周边地区、内蒙古浑善达克中西部地区、河套地区等建立以植树造林为主的生态屏障外,还要在干旱年份加强预防和保护,坚持以草定畜、适度放牧,严防植被破坏,同时要积极做好准备,及时预报沙尘天气的影响范围和持续时间,才能把危害降到最低。

## 参考文献

- [1] 陈晓光,张存杰,董安祥. 甘肃省沙尘暴过程的划分及统计分析[J]. 高原气象, 2004, 23(3): 374-381
- [2] 周自江,章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954—2002年)[J]. 科学通报, 2003, 48(11): 1224-1228
- [3] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 关于我国华北沙尘暴的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 513-521
- [4] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349-356
- [5] Weihong Qian, XuTang, Linsheng Quan. Regional characteristics of dust storms in China [J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(29): 4895-4907
- [6] 董安祥,白虎志,陆登荣,等. 河西走廊强和特强沙尘暴变化趋势的初步研究[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 422-425
- [7] 李栋梁,钟海玲,魏丽,等. 中国北方年沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 337-345
- [8] 丁瑞强,王式功,尚可政,等. 中国春季沙尘暴的趋势变化及年代际变化[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 660-666
- [9] 钟海玲,李栋梁. 中国北方4月沙尘暴与西风环流的关系[J]. 高原气象, 2005, 24(1): 104-111
- [10] 李艳春,赵光平,胡文东,等. 宁夏中北部沙尘暴过程中气象要素变化特征及成因分析[J]. 高原气象, 2005, 24(2): 212-217
- [11] 尤莉,王萃丽,吴学宏,等. 内蒙古阿拉善地区沙尘暴的气候特征分析[J]. 高原气象, 2004, 23(3): 382-386
- [12] 王建鹏,沈桐立,刘小英,等. 西北地区一次沙尘暴过程的诊断分析及地形影响的模拟试验[J]. 高原气象, 2006, 25(2): 259-267
- [13] 陈楠,陈晓光,赵光平. 宁夏不同强度沙尘暴环流差异特征的对比分析[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 680-686

- [14] Shigong Wang, Jinyan Wang, Zijiang Zhou. Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39: 509–520
- [15] 王劲松, 李耀辉, 康凤琴, 等. “4. 12”沙尘暴天气的数值模拟及诊断分析[J]. *高原气象*, 2004, 23(1): 89–96
- [16] 尤凤春, 史印山, 付桂琴, 等. 河北省沙尘暴天气成因分析[J]. *高原气象*, 2005, 24(4): 642–647
- [17] Xunming Wang, Zhibao Dong, Jiawu Zhang. Modern dust storms in China: An overview[J]. *J Arid Environments*, 2004, 58: 559–574
- [18] 刘晓春, 曾燕, 邱新法, 等. 影响北京地区的沙尘暴[J]. *南京气象学院学报*, 2002, 25(1): 118–123
- [19] 陈广庭. 北京强沙尘暴史和周围生态环境变化[J]. *中国沙漠*, 2002, 22(3): 210–213
- [20] Draxler R R, G D Hess. Description of the HYSPLIT\_4 modeling system [R]. NOAA Technical memorandum ERL ARL–224, 1997
- [21] Draxler R R, G D Hess. An overview of HYSPLIT\_4 modeling system for trajectories, dispersion and deposition[J]. *Aust Met Mag*, 1998, 47(2): 295–308
- [22] Roland R Draxler. Forecasting dust storms using Hysplit [C]. *Sino-US Workshop on Dust storms and their effects on Human Health. North Carolina: Raleigh*, 2002: 25–26
- [23] 杨连云, 赵巍, 唐丙元. 河北的生态环境[J]. *经济论坛*, 2003, 15: 6–9
- [24] 张书余, 姚树然, 王云秀, 等. 环北京沙尘暴沙尘源区的地表特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(增刊): 296–299

## Change Characteristic of Beijing Dust Weather and Its Sand-Dust Source Areas

YIN Xiao-hui, SHI Shao-ying, ZHANG Ming-ying, Li Jing

(Observatory of Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Using the meteorological method, remote sensing method, geographical method, statistical method and HYSPLIT-4 model, the changing trend of dust weather, basic characteristics of sand-dust source areas and the correlation between the frequency of dust weather and the precipitation in Beijing and the sand-dust source areas are studied. The results showed that floating dust, raising dust and sandstorm weathers have an irregular fluctuant decreasing tendency in past 55 years. The cold air and dust entered into Beijing city have mainly three types routes from west, northwest and north routes. Mongolian cyclone along with cold front was the main weather situation that brings the dust weather of Beijing. The sand and dust particles mainly came from Inner Mongolia and the border between China and Mongolia. Besides, there are extensive sand-dust source areas surrounding the central districts and suburbs of Beijing. The correlative analysis showed that precipitation of the sand-dust source areas related closely to the frequency of dust weather of Beijing in spring, and local precipitation exerts an influence on the sandstorm weather mostly. In order to alleviate the calamity of dust weather of Beijing, people should plant trees to set up an outside ecological protective screen in the surrounding areas, strengthen the supervision on sand-dust source areas and predict the coverage and duration of possible dust weathers well in advance time.

**Key words:** Beijing; Sandstorm; HYSPLIT-4 model; Sand-dust source areas