

文章编号: 0375-5444 (2001) 03-0316-07

我国沙尘暴的时空分布规律 及其源地和移动路径

邱新法¹, 曾 燕², 缪启龙²

(1. 南京大学城市规划与资源学系, 南京, 210009; 2. 南京气象学院环境科学系, 南京, 210044)

摘要: 利用 1971~1996 年的地面气象记录月报和地面天气图资料, 系统分析了我国沙尘暴的年内变化趋势及其时空分布规律, 研究了沙尘暴的移动路径和源地。结果表明: 1971~1996 年, 除青海、内蒙古的部分地区及北京等地外, 我国各地沙尘暴发生的总次数呈明显的下降趋势; 根据沙尘暴的起源, 可将发生在我国的沙尘暴天气过程分为外源型和内源型沙尘暴 2 类; 外源型沙尘暴的移动路径主要包括北路和西路 2 条, 其中北路沙尘暴入侵我国的范围在西起新疆东部的哈密, 东至内蒙古锡林郭勒盟的中蒙边境, 西路沙尘暴入侵我国的范围在南疆和北疆的部分地区; 我国沙尘暴源地主要集中在南疆和北疆的沙漠及其周边地区, 甘肃河西走廊和内蒙古干燥沙漠及青海柴达木盆地等地。

关键词: 沙尘暴; 时空分布规律; 移动路径; 源地

中图分类号: P429 **文献标识码:** A

1 引言

沙尘暴是沙暴和尘暴两者兼有的总称^[1]。当局部区域能见度大于等于 50 m 且小于 200 m 时, 称为强沙尘暴; 达到最大强度 (瞬时最大风速大于等于 25 m/s, 能见度小于 50 m) 时, 称为特强沙尘暴^[2]。

沙尘暴是沙漠及其邻近地区特有的一种自然灾害, 是土地荒漠化程度的重要指标。如世界 4 大沙尘暴区 (中亚、北美、中非和澳大利亚), 无一不与严重的荒漠化区相联系^[3]。我国西北地区之所以成为中亚沙尘暴的重要部分, 原因也在此。沙尘暴的形成必须具备 2 个条件, 一是有足够强大而持续的风, 把大量沙尘、土粒吹入空中; 二是土质干燥松散、植被稀疏、地表裸露, 即风土地带最易形成沙尘暴。风沙土在我国分布很广, 东起黑龙江, 西至新疆 9 个省、区都有, 而土地荒漠化正每年以 1 560 km² 的速度迅速扩大^[4]。此外在蒙古南部、内蒙古北部至西部的戈壁滩都具有形成沙尘暴的条件, 只要遇到适宜的气象条件均可发生这种灾害。2000 年春季, 我国北方出现多次扬沙和沙尘暴天气, 仅 4 月份, 就出现了 18 个沙尘暴日, 共计 8 次沙尘暴天气过程。

收稿日期: 2000-09-29; 修订日期: 2001-04-02

基金项目: 国家重大基础研究发展规划项目 (G1999043505) [Foundation Item: National Key Developing Program for Basic Sciences, No. G1999043505]

作者简介: 邱新法 (1966-), 男, 浙江湖州人, 博士生, 主要研究方向为资源遥感与地理信息系统。

E-mail: Qiuxinf@sina.com.cn

国外对沙尘暴的研究起步较早。20 世纪 20 年代初 Hankin^[5]首先对印度的“*Andhi*”型沙尘暴的上升和下沉气流进行了研究。随后，Sutton^[6]对“*Haboob*”型沙尘暴也进行了分析。之后，Idso^[7]、Joseph^[8]先后对沙尘暴的气候特征、沙尘暴与雷暴中湿度场的差异，沙尘暴的平均风速及其发生发展的地理区域和频数等作了多方面的研究。80 年代以来，Brazeal^[9]对发生在美国亚利桑那州的沙尘暴天气类型作了统计分类。Jauregui^[10]对墨西哥城沙尘暴的时空分布也进行了系统研究。Ott, S. T. 和 A. Ott^[11]曾利用卫星和 GATE 资料对撒哈拉尘暴的爆发作过分析。

国内对沙尘暴的研究始于 20 世纪 70 年代，徐国昌^[2]、高凤荣^[12]、陈敏连^[13]、王式功^[14]、徐建芬^[15]、常兆丰^[16]等先后对发生在我国西北地区的几次典型特强沙尘暴个例做了分析研究；王式功^[3]、杨东贞^[17]等分析了我国西北地区沙尘暴的时空分布特征；付有智^[18]等探讨了甘肃河西黑风暴的成因及其预报；沙拉买提^[19]分析了塔里木盆地及周边地区沙尘暴的历时分布特征；叶笃正等^[20]分析了我国华北沙尘天气的成因。

但上述对沙尘暴的研究，大部分局限于个例、局域性分析。本文利用 1971~1996 年的地面气象记录月报和地面天气图资料，借助地理信息系统，全面分析了我国沙尘暴发生的时空分布规律及其移动路径和源地。

2 资料来源

本文所用逐日沙尘暴天气资料取自 1971~1996 年《中国地面气象记录月报》(缺 1993、1994 年资料)；所统计的沙尘暴天气是根据我国的气象观测规范所定义的，即沙尘暴系指由于强风将地面大量沙尘吹起，使空气很混浊，水平能见度小于 1.0 km 的天气现象。

为了确定沙尘暴的移动路径和进行沙尘暴个例分析，本文查阅了当年和 1971~1996 年逐日《地面天气图》。在沙尘暴源地分析过程中，参考了《中国资源与环境数据库》(1:400 万)中的部分数据。文中空间数据分析和图形生成均借助 GeoMedia 完成。

3 沙尘暴发生的时空分布规律

3.1 沙尘暴发生趋势分析

《中国地面气象记录月报》中包括全国各地地面气象站的逐日地面气象要素和天气现象资料。收集整理各气象站逐日发生的沙尘暴天气，1971~1996 年(缺 1993、1994 年)24 年间共计 9117 个沙尘暴记录。为了进一步分析沙尘暴过程，本文将时间和空间上连续发生的沙尘暴天气归为 1 次沙尘暴天气过程，共得到 4147 次沙尘暴天气过程。从图 1 看出，1971~1996 年我国沙尘暴发生次数总体呈下降趋势，尤其是 1984 年之后沙尘暴次数明显减少。

分析各气象站逐年沙尘暴记录的变化规律，发现我国多数地区，1971~1996 年沙尘暴发生均呈明显下降趋势。青海省西北部的冷湖地区和东北部的海北州，近年来沙尘暴发生呈上升趋势；但在青海省西南部的托托河、青海省东南部的海南州和果洛州、内蒙古西部的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和毛乌素沙地、内蒙古东部的苏尼特右旗、二连浩特、阿巴嘎旗以及北京等地，近年来沙尘暴记录次数与 70、80 年代相当，无明显减弱趋势。据报道，近几年来这些地区随着经济不断发展，人为的不合理开发活动加剧，植被和地表结构受到

严重破坏，生态环境日益脆弱^[17]。从地面天气图查得，内蒙古阿拉善盟仅 1993 年就发生 4 月 22 日和 5 月 5 日 2 次特大沙尘暴。

3.2 沙尘暴的空间分布特征

分析 1971~1996 年各气象站沙尘暴记录总次数的空间分布发现，我国沙尘暴存在 2 个多发区：一是河西走廊、巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠、毛乌素沙地及其周边地区，尤其是紧靠腾格里沙漠的甘肃

民勤和宁夏盐池呈现了 2 个极大值；其次是塔克拉玛干大沙漠和柴达木盆地及其周边地区，尤其是塔克拉玛干沙漠西南沿的和田地区，是沙尘暴发生次数的高值区。

此外，地形因素，如大兴安岭、太行山、秦岭、天山等，对沙尘暴有明显的阻挡作用；我国非沙漠地区沙尘暴天气现象明显减少。这至少说明：良好的植被覆盖，充足的土壤水分对沙尘暴天气有抑制作用；沙尘暴的发源地应在沙漠及其周边地区。

3.3 沙尘暴的时间分布特征

统计全国 1971~1996 年各月沙尘暴记录情况，一年中 3、4 和 5 月沙尘暴发生次数偏高，尤其以 4 月份沙尘暴发生次数为全年最高。5 月以后沙尘暴发生次数急剧下降，9 月和 10 月为最低。春季沙尘暴发生频率高，除了与一年之中春季风速较大有关外，还与此时地面开冻融化、气温上升、降水稀少，使得裸露的沙土结构逐渐变得松散，一旦有较强的天气系统活动就很容易产生沙尘暴有关。夏季雨水相应增多，风力减弱，下垫面植被覆盖率增高，沙尘暴发生的机率也随之减小。秋季沙尘暴发生频率为全年最低。冬季地面冻结，一般来说大风难以将冻结成块的沙土吹离地面而形成沙尘暴，冬季沙尘暴发生的次数也较少。

进一步统计表明，北方地区沙尘暴的有 2 个多发区：南疆塔里木盆地和甘肃河西走廊，发生频率最高的月份均在 3 月至 5 月；发生频率最低的月份略有差异，河西走廊为 9 月，南疆地区为 12 月；北疆地区沙尘暴发生频率最高在 5 月，其次是 4 月和 6 月，最低是 1 月。从统计的结果来看，3 个区域均是春季沙尘暴发生频率最高，夏季次之，新疆冬季发生频率最低，甘肃河西走廊则是秋季最低。

4 沙尘暴移动路径分析

《地面天气图》是本文查阅的另一重要资料，与《中国地面气象记录月报》相比，《地面天气图》中包含的我国气象台站数相对较少，而且查阅也较困难。但它具有独特的优势：

(1) 时间重复率高。当年逐日可提供 4 张地面天气图，其他年份逐日可提供 2 张地面天气图，这为研究天气现象的动态变化提供了极大的方便。

(2) 包含邻近其他国家的有关气象信息。这有助于在更广的空间范围内研究沙尘暴天气现象的发生、发展、移动路径和演变趋势。

根据《中国地面气象记录月报》，统计 1971~1996 年发生在我国的逐次沙尘暴天气过

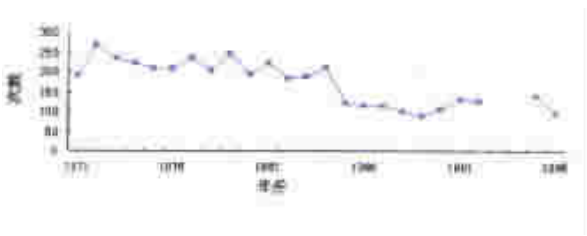


图 1 中国沙尘暴发生次数年际变化曲线图 (1971~1996 年)
Fig. 1 Annual variation curve of sand-dust storms in China (1971~1996)

程，得到具有 10 个（含 10 个）以上气象记录、影响范围较大的沙尘暴天气过程共 96 次，查阅相应时期的《地面天气图》，并绘制逐次沙尘暴天气过程动态演变图，确定其移动路径，发现入侵我国的沙尘暴天气过程其移动路径主要包括 2 条（图 2）：

- (1) 北路：泰米尔半岛→西伯利亚中、西部→蒙古地区→新疆东部及内蒙古地区→华北地区
- (2) 西路：西北欧→西西伯利亚→新疆西部地区→河西走廊、柴达木盆地→河套地区、内蒙古东部

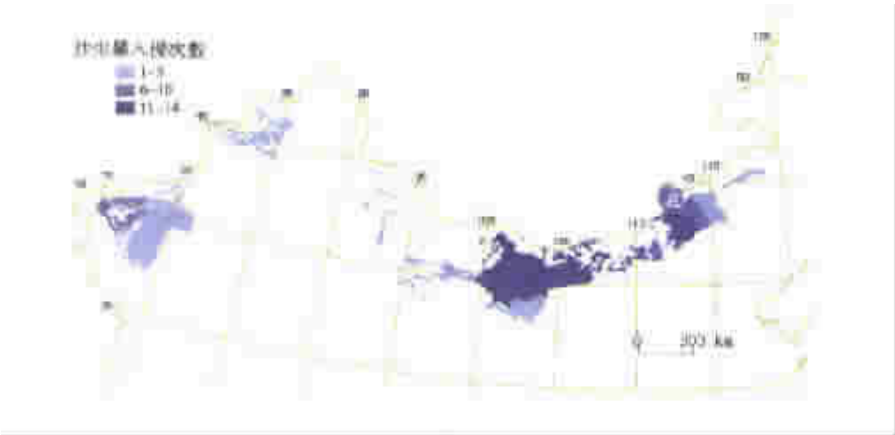


图 2 沙尘暴进入中国的入侵地点及次数分布图（1971~1996 年）

Fig.2 Spatial distribution of sand-dust storm intruding areas in China and times (1971~1996)

上述 96 次沙尘暴天气过程来自北路的沙尘暴沿着西起新疆东部的哈密，东至内蒙古锡林郭勒盟的中蒙边境入侵我国；西路沙尘暴入侵地点集中在南疆塔里木盆地西北侧的喀什至阿克苏一线和北疆伊宁至克拉玛依一线（图 2）。统计表明，入侵我国的沙尘暴天气过程中，西路沙尘暴影响范围较大；而北路沙尘暴次数较多，北路沙尘暴天气过程次数是西路的 2 倍，约为 2：1。

如上所述，《地面天气图》的时间重复率高，但气象站点较少；《中国地面气象记录月报》中气象站点有所增加，但天气现象部分每天只有一个记录，时间重复率偏低。结合这两方面资料，参考各地地形和沙尘暴发生当时各气象站的主导风向，逐一确定上述影响范围较大的 96 次沙尘暴天气过程在我国境内的移动路径（图 3）。

5 沙尘暴源地分析

沙尘暴源地的分析无疑对研究沙尘暴起源及其防治具有重大意义。本文认为：所谓的沙尘暴源地是指一次沙尘暴天气过程，第一天发生沙尘暴的所有地区中，处于最上风方向的地区。由此可见，上述影响范围较大的沙尘暴天气过程（即含 10 个以上气象记录的沙尘暴天气过程），其源地均在我国境外，属外源型沙尘暴天气过程。

纵观 1971~1996 年发生在我国的所有沙尘暴天气过程，大部分沙尘暴过程影响范围较

小,在《中国地面气象记录月报》中只有少数几条气象记录。统计表明,具有10个(含10个)以上气象记录、影响范围较大的沙尘暴天气过程只占1971~1996年所有沙尘暴气象记录总数的15%左右;而少于或等于5个气象记录、影响范围较小的局部沙尘暴天气过程占1971~1996年所有沙尘暴气象记录总数的70%左右。

因为局部沙尘暴天气过程的移动性较小,所以,其源地应在我国境内,属内源型沙尘暴过程。为了研究我国沙尘暴源地,本文在排除了所有外源型沙尘暴天气过程的基础上,逐次确定内源型沙尘暴过程的源地,考虑到沙尘暴

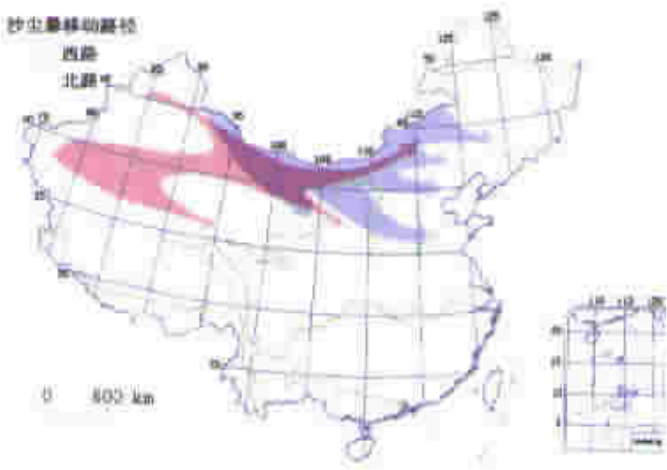


图3 中国北方沙尘暴移动路径示意图

Fig. 3 Sketch of sand-dust storm movement in northern China

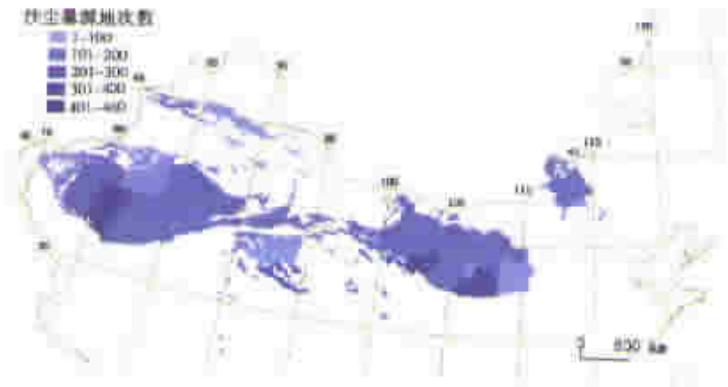


图4 中国沙尘暴发生源地空间分布图(1971~1996年)

Fig. 4 Spatial distribution of sand-dust storm source areas in China (1971~1996)

起源于沙漠和沙地,将各气象站所在行政区成为沙尘暴源地的次数分布图与我国沙漠及沙地分布图进行空间叠加,最终得到我国沙尘暴发生源地的空间分布(图4)。

从图4中可以看出:沙尘暴起源于沙漠及其边缘地区,主要集中在南疆的塔克拉玛干沙漠及其周边地区、北疆的准噶尔盆地南沿、甘肃河西走廊和内蒙古干燥沙漠及青海柴达木盆地等地。有理由相信,只有这些地区的生态环境得到改善,才可以有效地减少我国沙尘暴的发生。

致谢:南京大学城市规划与资源学系冯学智教授为本文提出了有益的建议;南京气象学院环境科学系黄辉、杨晓春、曹艳艳、王艳秋等同学参加了本文资料整理工作。在此一并表示感谢。

参考文献(References)：

[1] Zhao Xingliang. Damages and countermeasures of catastrophic sandstorm occurred in Gansu province [J]. *J. Desert Research*, 1993, **13**(3):1-7. (In Chinese) [赵兴梁. 甘肃特大沙尘暴的危害与对策[J]. 中国沙漠,1993,**13**(3):1-7.]

[2] Xu Guochang, Cheng Minlian, Wu Guoxiong. On a extraordinary heavy sandstorm on April 22nd in Gansu province [J]. *Acta of Meteorologica Sinica*, 1979, **37**(4):26-35. (In Chinese) [徐国昌,陈敏连,吴国雄. 甘肃省“4·22”特大沙尘暴分析[J]. 气象学报, 1979,**37**(4):26-35.]

[3] Wang Shigong, Dong Guangrong, Yang Debao et al. Study on sand-dust storms over the desert region in north China [J]. *J. Natural Disasters*, 1996,**5**(2):86-94. (In Chinese) [王式功,董光荣,杨德保等. 中国北方地区沙尘暴变化趋势初探[J]. 自然灾害学报,1996,**5**(2):86-94.]

[4] Quan Hao. Study on sandstorms and aerosol transport roads in northwest China[J]. *Environment Science*, 1993,**14**(5):60-64. (In Chinese) [全浩. 关于中国西北地区沙尘暴及其黄沙气溶胶高空传输路线的探讨[J]. 环境科学,1993,**14**(5):60-64.]

[5] Hankin E H. On dust raising winds and descending currents[J]. *India Met. Memoirs*, 1921, 22; part VI.

[6] Sutton L J. Haboobs[J]. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 1925, 51: 25-30.

[7] Idso S B, R S Ingram and J M Pritchard. "An American Haboob"[J]. *Bull. AMS*, 1972, 53:930—935.

[8] Joseph P V, Raipal D K, Deka S N. "Andhi", the convective dust storms of Northwest India[J]. *Mausam*, 1980, 31:431-442.

[9] Brazel A J and W C Nicking. The relationship of weather types to dust storm generation in Arizona[J]. *J. Climatology*, 1986, **6**(3): 255-275.

[10] Jauregui E. The dust storms of Mexico City[J]. *Inter. J. Climatology*, 1989, **9**(2):169-180.

[11] Ott S T and A Ott. Analysis of a Trans-Atlantic Saharan dust outbreak based on satellite and GATE data[J]. *Mon. Wea. Rev.*, 1991,**119**(8):1832-1850.

[12] Gao Fengrong, Li Yun. Analysis of a sandstorm occurred on May 19 in Gansu province [J]. *Gansu Meteorology*, 1989,**7**(1):13-17. (In Chinese) [高凤荣,李云. 甘肃河西“5·19”黑风分析[J]. 甘肃气象,1989,**7**(1):13-17.]

[13] Chen Minlian, Guo Qingtai, Xu Jianfeng et al. Research on characteristics of sandstorm weather [J]. *Gansu Meteorology*, 1993,**11**(3):16-27. (In Chinese) [陈敏连,郭清台,徐建芬等. 黑风暴天气的研究和探讨[J]. 甘肃气象,1993,**11**(3):16-27.]

[14] Wang Shigong, Yang Debao, Zhou Yusu et al. Analysis on the formative causes of sand-dust storms in the northwest China during 3-12 April 1994[J]. *J. Desert Research*, 1995, **15**(4):332-338. (In Chinese) [王式功,杨德保,周玉素等. 我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨[J]. 中国沙漠,1995,**15**(4):332-338.]

[15] Xu Jianfeng, Niu Zhiming, Chen Weiming et al. Study of sand and dust storm weather in northwest China on April 5, 1994 [J]. *J. Desert Research*, 1996,**16**(3):281-286. (In Chinese) [徐建芬,牛志敏,陈伟民等. 我国西北地区 4.5 沙尘暴天气研究[J]. 中国沙漠,1996,**16**(3):281-286.]

[16] Chang Zhaofen, Liu Hujun, Ji Yongfu. Investigation and analysis to the latest strong sand-dust storm occurred in Hexi Corridor [J]. *J. Desert Research*, 1997,**17**(4):442-446. (In Chinese) [常兆丰,刘虎俊,纪永福. 河西走廊最近一次强沙尘暴的调查分析[J]. 中国沙漠,1997,**17**(4):442-446.]

[17] Yang Dongzhen, Fang Xiumei, Li Xingsheng. Analysis on the variation trend of sandstorm in northern China[J]. *Quart. J. Applied Meteorology*, 1998,**9**(3):352-358. (In Chinese) [杨东贞,房秀梅,李兴生. 我国北方沙尘暴变化趋势的分析[J]. 应用气象学报, 1998,**9**(3):352-358.]

[18] Fu Youzhi, Liu Kunxun, Ding Rong et al. Causes and predictions of sandstorm in Gansu Province [J]. *Gansu Meteorology*, 1993,**11**(3):40-42. (In Chinese) [付有智,刘坤训,丁荣等. 甘肃河西黑风成因及预报[J]. 甘肃气象,1993,**11**(3):40-42.]

[19] Shalamaiti. The characteristic of distribution of sandstorm in a period of time in the Tarim Basin [J]. *Arid zone research*, 1996,**13**(3):21-27. (In Chinese) [沙拉买提. 塔里木盆地沙尘暴的历时分布特征[J]. 干旱区研究,1996,**13**(3):21-27.]

[20] Ye Duzheng, Chou Jifan, Liu Ji yuan et al. Causes of sand-stormy weather in northern China and contral measures [J]. *Acta Geographica Sinica*. 2000, **55**(5) 513-520 (In Chinese)[叶笃正,丑纪范,刘纪远等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报,2000. **55**(5) 513-520.]

Temporal-spatial Distribution as well as Tracks and Source Areas of Sand-Dust Storms in China

QIU Xin-fa¹, ZENG Yan², MIAO Qi-long²

(1. *Urban & Resource Department, Nanjing University, Nanjing 210093, China*; 2. *Department of Environmental Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044, China*)

Abstract: Sand-dust storm is a special natural disaster that frequently occurs in deserts and their surrounding areas. With the data published on Surface Meteorological Monthly Bulletin and Surface Chart during 1971 ~ 1996, the temporal-spatial distribution and annual variation of sand-dust storms are analyzed on the basis of the case study of atmospheric process. Furthermore, the tracks and source areas of sand-dust storms are determined assisted with GIS. The results show: Except parts of Qinghai Province, Inner Mongolia and Beijing, the sand-dust storms decrease greatly both in time and space in recent decades in China. Sand-dust storms occur most frequently in spring, especially in April. According to their source areas, the sand-dust storms are classified into two types, i. e. the inner-source and outer-source sand-dust storms. Most of the outer-source sand-dust storms move along the north and west tracks. For the north-track outer-source sand-dust storms, they always intrude into China across the Sino-Mongolian boundary from Hami, a city in the eastern part of Xinjiang, to Xilin Gol, a county in Inner Mongolia, while the west-track ones intrude into China both from southern Xinjiang and northern Xinjiang. The source areas of inner-source sand-dust storms are the Taklimakan Desert and its surrounding areas in southern Xinjiang, southern part of the Junggar Basin in northern Xinjiang, Hexi Corridor in the west of Gansu Province, the dry deserts of Inner Mongolia and the Qaidam Basin in Qinghai.

Key words: Sand-dust storm; temporal-spatial distribution; tracks; source areas