

中国沙尘暴天气的新特征及成因分析*

张仁健^① 韩志伟^① 王明星^{①②} 张小曳^② P44 A

(^①中国科学院大气物理研究所大气边界层和大气化学国家重点实验室, 北京 100029;

^②中国科学院地球环境研究所, 西安 710054)

摘要 2000 ~ 2002 年, 中国北方地区频频发生沙尘暴天气, 给当地和广大下游地区工农业生产、交通运输、空气质量和人民的日常生活都带来了极大危害。沙尘暴天气呈现频次高、发生时间提前、发生期时间长、强度大、影响范围广等新特征。对气候变化和地理环境背景的分析研究表明, 近年来中国北方沙尘暴频繁爆发的原因主要是: 1) 近两年处于反厄尔尼诺(拉尼娜)事件的高峰期, 使东亚冬季风频繁, 导致大风天气频繁发生; 2) 在沙尘暴发生季节, 中国北方降水明显减少, 气温回升迅速且温度偏高于往年, 使解冻的地表土层疏松, 为沙尘暴的发生提供了丰富的沙源; 3) 近年来中国北方干旱加剧、土地荒漠化严重, 使原本广阔的戈壁沙漠面积更加扩大, 有利于沙尘暴天气的发生, 这与不合理的土地利用状况有关。

关键词 沙尘暴 特征 气候 成因

1 引言

沙尘天气是指强风从地面卷起大量沙尘, 使空气混浊、大气能见度降低的一种天气现象。根据沙尘天气的强度, 可以将它分为 3 个等级: 浮尘、扬沙和沙尘暴^[1]。近年来, 中国气象界在沙尘暴研究中将其再细分为强沙尘暴(能见度小于 0.2 km, 同时风速大于 9 级)和特强沙尘暴(能见度小于 0.05 km, 同时风速大于 10 级, 破坏力极大)^[2]。

沙尘暴直接影响着人类的生存环境, 危害极大。沙尘暴伴随的强风可以损毁建筑、树木, 造成人员伤亡, 刮断、刮倒通信电力设施, 引起火灾; 刮走农田表层沃土, 使农作物的根系外露, 甚至连苗刮走; 它以风沙流的形式将农田、渠道、房屋、道路、草场等淹埋; 还可造成机场关闭及引发各种交通事故。另外沙尘粒子不仅对精密仪器、建筑物等有严重的破坏性影响, 还有害于人们的眼睛和呼吸系统, 危害人们的身体健康。沙尘暴天气大大增加了大气中固态颗粒物的浓度, 严重影响了大气环境质量, 特别是城市空气质量^[3,4]。每年从我国西北地区向大气输送的沙尘估计有 800 Mt^[5], 占全球沙尘排放的 1/3 以上。沙尘气溶胶是大气气溶胶的一个重要来源, 不仅对当地的辐射能收支和地面温度有明显的影[6-8], 还可以输送到中国沿海地区甚至更远的广大下游地区^[9], 从而对东亚乃至太平洋地区的气候、辐射、降水分布、大气和生态环境等产生影响^[10-12]。

第一作者简介: 张仁健 男 35 岁 副研究员 气溶胶和大气化学专业 E-mail: zrz@mail.iap.ac.cn

* 国家重点基础研究项目(批准号: G1999043400)、中国科学院知识创新工程项目(批准号: KZCX2-305)和中国科学院“引进国外杰出人才”计划(全球环境变化-碳循环)项目共同资助

2002-02-01 收稿, 2002-04-20 收修稿

2000 ~ 2002 年,中国北方多次发生沙尘暴天气,给当地和广大下游地区工农业生产、交通运输、空气质量和人民的日常生活都带来了很大的危害,造成数十亿元的直接经济损失和成百的人员伤亡,引起了社会各界的广泛关注^[1,12]。

本文分析了近 3 年中国沙尘暴天气的新特征,结合天气气候状况和地理环境背景,对中国北方多发性沙尘暴天气过程的特征和成因进行了分析研究。

2 中国沙尘暴天气的新特征

近 50 年来中国华北地区一般沙尘天气发生的日数呈减少趋势,例如 20 世纪 50 年代北京平均沙尘暴日数、扬沙日数和浮尘日数分别是 90 年代的 8.5 倍、14.5 倍和 3.2 倍^[1],但另一方面,中国北方强沙尘暴天气却有加重趋势。强风沙灾害,10 世纪前平均每 100 年 1 次,20 世纪 50、60 年代发展到每两年 1 次,进入 90 年代,已发展到每 1 年 1 次以上^[1,2]。年均受旱灾面积由 20 世纪 50 年代 1.2 亿亩^[1]增加到 20 世纪 90 年代的 3.8 亿亩^[13,1]。

2000 年春季,中国北方特别是华北地区连续多次出现沙尘暴天气,其频率之高,范围之广,为历史同期所罕见。据统计,2000 年春季共出现 16 次大风、沙尘和沙尘暴天气。其中,2000 年 4 月 6 日的沙尘暴天气最为严重^[14]。卫星探测结果表明^[15]4 月 6 日的沙尘暴波及了中国的大部分地区:西北五省区、华北五省区、东北的吉林、辽宁以及华东地区的江苏、安徽、山东等;在北京上空有高浓度的沙尘覆盖,地面存在 20 m/s 的强烈西北风。

2001 年中国北方共出现了 19 次沙尘天气。沙尘暴天气不仅出现频次高、发生时间提前,而且发生期较长。

其中,第一次沙尘暴出现在世纪之交即 2000 年 12 月 31 日至 2001 年 1 月 1 日。在此次沙尘天气过程中,甘肃北部、内蒙古中、西部和蒙古国大部分地区出现了沙尘暴天气,大风浮尘天气还影响了中国北方大部分地区和部分华东地区。这次沙尘天气是近十几年来在北方严冬季节出现的最早最强的沙尘暴。此后 2 ~ 5 月,均有沙尘暴天气发生。即使是夏季,也时有沙尘暴发生,例如 6 月 14 日,一场强沙尘暴袭击了内蒙古呼和浩特地区,这表明 2001 年的沙尘暴天气的持续频发时间长达半年之久。从每次沙尘发生时间看,一般在 1 天左右,有的超过 4 天以上,如 2001 年 3 月 21 ~ 24 日北京连续 4 天发生沙尘天气,但是其强度不大。

在 2000 年 4 月 6 日沙尘暴期间,采用美国 PIXE 公司生产的单孔撞击式分级采样仪和其他方法观测到北京沙尘达到 3.9 mg/m^3 的惊人浓度^[16,17],这是北京 2000 年和 2001 年中最为严重的一次。其余几次沙尘天气强度相对较小,浓度在 $0.4 \sim 0.9 \text{ mg/m}^3$ 之间。采用同样方法,1980 年 4 月 18 日观测到北京的沙尘暴质量浓度只有 0.83 mg/m^3 ^[18]。2002 年 3 月 20 日北京发生严重沙尘暴天气,上午 9:15 左右,天空开始发黄,空气中开始弥漫土味;10:00 时大气能见度小于 1 000 m;11:00 时大气能见度仅为 200 m,天空呈现土红色;一直持续到 15:00 以后,沙尘有所减轻,能见度约为 800 m。我们采用日本 SIBATA 公司生产的 HV-1000F 型大流量采样仪观测发现这次沙尘期间沙尘浓度高达 12.06 mg/m^3 (观测时间 10:50 ~ 15:30),是 1996 年国家环保局颁布的 TSP 三级严重污染标准的 24 倍! 此次

1) 1 亩 = 666.6 m^2

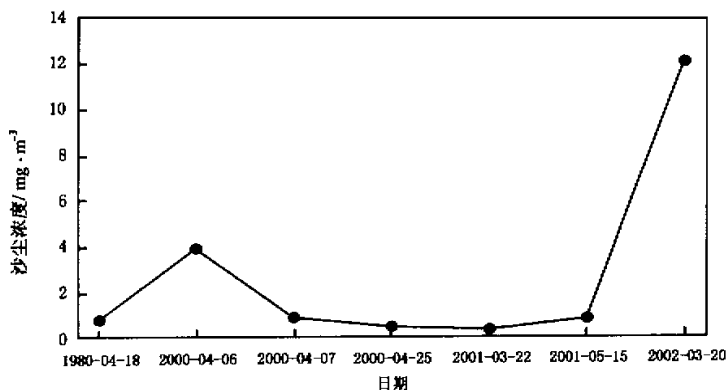


图 1 2000 ~ 2002 年北京观测的沙尘天气质量浓度

Fig. 1 Mass concentration of dust in Beijing in 2000 ~ 2002

沙尘暴天气是 10 年来发生在北京的强度最大的沙尘暴天气。图 1 给出了 2000 ~ 2002 年观测的北京沙尘天气质量浓度。

由此看来,2000 ~ 2002 年中国北方的沙尘天气明显呈现出频次高、发生时间提前、持续时间长、强度大、影响范围广等新特征。

3 成因分析

近两年来,我国沙尘天气表现出的新特征与气候变化、天气形势、土地状况以及人类活动等有着密切的关系^[19~21]。

3.1 气候变化

中国气象局根据对公元 300 年以来的气象资料分析^[22],中国历史上曾出现 5 次沙尘天气的频发期。这 5 次时间分别为:1060 ~ 1090 年,1160 ~ 1270 年,1470 ~ 1560 年,1610 ~ 1700 年和 1820 ~ 1890 年。这 5 次沙尘频发期的时间间隔为 50 年至 100 年左右,每个频发期持续时间为 30 至 110 年,最近的两次频发期(1610 ~ 1700 年和 1820 ~ 1890 年)的时间间隔约为 120 年。按照这个规律,目前中国很可能正进入第 6 个沙尘频发期。

近 40 年来的气象记录表明,中国北方春季大风日数的增减与沙尘暴日数的增减是一致的^[23],东亚季风有明显的 10 ~ 50 年尺度的变化。亚洲冬季风与厄尔尼诺事件有密切关系,在厄尔尼诺年,冬春季大风天气较少,而在反厄尔尼诺年,大风天气出现频繁^[24]。20 世纪在 70 年代,反厄尔尼诺事件占优势,中国北方寒潮大风天气出现很频繁;在 80 ~ 90 年代,厄尔尼诺事件占优势,寒潮大风天气出现相对较少。2000 年正处于 20 世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后的反厄尔尼诺事件的高峰期^[1],这一大范围的海洋—大气过程,其变化速度和强度均超过往年,造成近年来中国北方冬、春季寒潮大风的频繁出现,为沙尘暴的频繁发生提供了动力学条件。

3.2 天气形势

沙尘暴发生的物理机理相当复杂,必须具备下面 3 个条件,即沙源、强风和大气层结的不稳定,三者缺一不可。其中,强风是不可少的动力条件;不稳定大气有利于强对流的发生和发展^[25]。

沙尘天气的出现与高空大气环流形势密切相关。对于中国而言,在 500 hPa 高空环流形势图上,亚洲东部沿海地区是一稳定的深槽区,亚洲西部是一个稳定的高压脊,中国北方正处于脊前槽后的西北气流下,这股强劲的西北气流将俄罗斯新地岛附近的寒冷空气源源不断地向东南方向输送,这是中国北方出现沙尘天气时典型的高空环流形势。

以 2000 年 4 月 6 日 8:00 的东亚地区地面和 500 hPa 的高空天气图为例(图 2)。在北纬 37°以北,亚洲大陆的上空,天气系统呈现两槽一脊型,在北纬 37°以南,均为西风气流。8:00 时,西部的西北-东南走向脊区位于巴尔喀什湖东北部附近,西部南-北走向大槽位于大兴安岭西南侧至华北平原北侧,东部大槽位于日本海东岸,两槽之间(东北地区)还存在一弱脊区。此时,与 500 hPa 高空西部大槽对应,在近地面自贝加尔湖东南侧向东南方向,经蒙古国中东部、中国境内内蒙古高原、太行山北侧至大兴安岭西南侧存在一向南渐强的西北气流带,其最大风速达 40 m/s;内蒙古以西的西北地区为偏东气流。

从上述高低空流场形势分析看到,蒙古国高空较强的西北气流带和与之相配合的地面西北风,都有利于沙尘向东南方向的输送。随着高空和地面系统的东移,输送带也逐渐东移。这种天气形势和流场分布在近两年沙尘天气特别是沙尘暴期间经常出现,容易造成沙尘向华北平原以及广大下游地区的远距离输送。

3.3 降水和温度状况

2000 年春季,中国北方大部分沙尘天气频发地区降水比往年同期偏少 50%~70%。2000 年 2~3 月降水稀少,中国北方大部分地区月降水量小于 10 mm,其中南疆、内蒙古西部和东部、甘肃西部、青海西北部、华北平原南部和黄淮大部分地区无降水。与往年同期相比,西北地区大部分、内蒙古大部分以及东北部分地区偏少 50%~90%。4 月中国北方大部分地区降水在 50 mm 以下,其中南疆、内蒙古中部偏西地区无降水^[14]。

2000 年春季气温回升较快,北方大部分地区特别是 2 月中旬后,各旬平均气温比往年偏高 1°~3℃;3 月平均气温仍高于往年同期 1°~2℃;4 月冷空气活动频繁,温度起伏较大,但与往年同期相比,西北大部分地区、华北、东北西部、黄淮流域等地区月平均气温仍偏高 1°~2℃。内蒙古中西部地区在 1999 年春、夏、秋 3 季连旱,冬季是 20 年来平均气温最低的一年。干燥低温的天气使冻土层厚,而开春后温度回升迅速,解冻后松土层厚,其提供了大量的沙源,当遇到大风,浮土就会随风而起,形成浮尘、扬尘甚至沙尘暴天气。

2000 年 12 月河西走廊地区、内蒙古地区、河套地区和华北大部分等地区的月平均温度显著偏高 2°~4℃,降水比往年同期少 50%。华北、河套地区基本无雨雪,导致这些地区表层土壤干燥疏松,容易起尘,这是 2000 年 12 月 31 日中国北方很早就发生沙尘暴天气的主要原因。

2001 年春季和 2002 年 3 月 20 日中国北方的气候背景与 2000 年相似,降水稀少,气温

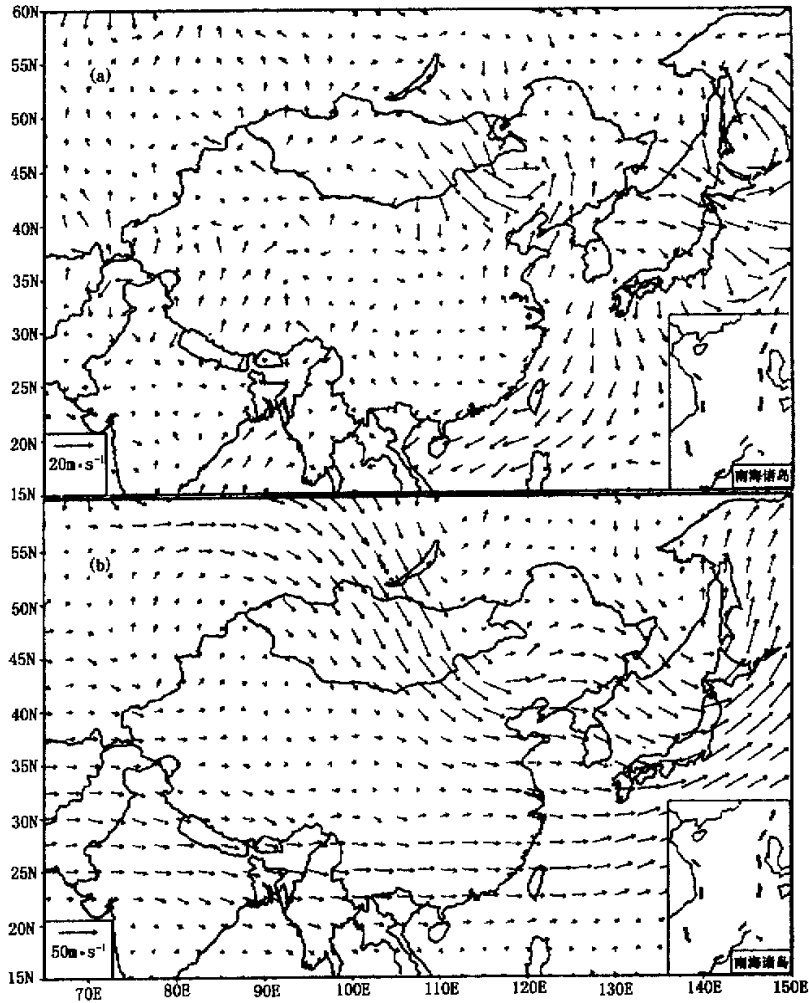


图2 2000年4月6日8:00(北京时间)地面风场(a)和500hPa高空风场(b)

Fig.2 Surface wind field (a) and 500hPa wind field (b) at 8:00, April 6, 2000

偏高,所以易造成多发性的沙尘天气。

3.4 土壤植被状况

大风、沙尘天气的发生、发展离不开丰富的沙尘源。中国北方与蒙古国境内戈壁沙漠众多,仅中国北方就有古尔班通古特沙漠、塔克拉玛干沙漠、柴达木盆地沙漠、腾格里沙漠、黄河河套的毛乌素沙漠和浑善达克沙漠等^[25,26],总面积达数百万平方公里的沙漠戈壁是中国沙尘暴天气发生的主要源区。

在全球气候变暖的影响下,中国北方地区干旱和暖冬现象日益严重,加之不合理的人类生产活动(滥垦、滥牧、滥伐以及水资源的不合理利用等),造成了大面积植被破坏、水土流失、土壤沙化和盐碱化。据统计^[14],1949~1994年中国共有66.6万公顷耕地沦为沙丘或沙地,每年平均减少耕地1.7万顷。中国北方退化、沙化、碱化的草地面积达1.35亿公顷,约占草地总面积的1/3,并且仍以每年433.3万公顷的速度增加。根据最新资料^[27,28],中国北方大部分地区退化的草地面积均超过这些地区草地总面积的60%,其中宁夏、陕西、山西三省区的退化草地面积达到90%以上。

中国北方土地地表覆盖状况急剧恶化,荒漠化现象越来越严重。一旦遇到强反厄尔尼诺年引起的大风天气,就可造成大面积沙尘暴天气的频频发生^[11]。

4 结论

综上所述,2000~2002年初,中国北方沙尘暴天气呈现频次高、发生时间提前、持续时间长、强度大、影响范围广等新特征。其主要原因有:

(1) 2000年和2001年正处于20世纪最强的一次厄尔尼诺事件以后的反厄尔尼诺(拉尼娜)事件的高峰期,造成中国北方冬春季大风天气频繁出现。

(2) 中国北方沙尘天气的频繁出现与高空大气环流形势密切相关,这种环流形势有利于沙尘向中国东部广大的下游地区(包括亚洲东部以及东南部分地区)输送。

(3) 2000年2月以来,中国北方大部分地区降水量与往年同期相比明显偏少。与此同时,北方大部分地区气温较往年同期偏高,且回升迅速,使土壤解冻时间提早,土壤干燥疏松,为沙尘暴天气的发生提供了丰富的沙源。

(4) 人类活动对土地和水资源的不合理利用造成了大面积植被破坏和荒漠化,导致地表裸露土质松散,为沙尘暴的发生提供了更丰富的沙源,加剧了沙尘暴天气的发生。

参 考 文 献

- 1 叶笃正,丑纪范,刘纪远等.关于中国华北地区沙尘天气的成因与治理对策.地理学报,2000,55(5):513~521
- 2 钱正安,贺慧霞,覃章等.中国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计分析.见:方宗义,朱福康,江吉喜等主编.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997.1~10
- 3 杨东贞,于晓岚,颜鹏等.“93.5.5黑风”沙尘气溶胶的分析.见:方宗义,朱福康,江吉喜等主编.中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997.103~110
- 4 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.中国沙漠,1999,19(4):354~358
- 5 Zhang Xiaoye, Arimoto R, An Z S. Dust emission from Chinese deserts linked to variation in atmospheric circulation. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102: 28 041~28 047
- 6 沈志宝,魏丽.黑河地区大气沙尘对地面辐射能收支的影响.高原气象,1999,18(1):1~8
- 7 魏丽,沈志宝.大气沙尘辐射特性的卫星观测.高原气象,1998,17(4):347~355
- 8 沈志宝,魏丽.中国西北大气沙尘对地气系统和大气辐射加热的影响.高原气象,1999,18(3):425~435
- 9 蔡晨曦,蒋维楣,黄世鸿等.我国东南沿海两次沙尘的化学特征及其源地探讨.高原气象,2000,19(2):179~186
- 10 Tegen I, Fung I. Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99: 22 897~22 914
- 11 王明星,张仁健.大气气溶胶研究的前沿问题.气候与环境研究,2001,6(1):119~124
- 12 张仁健,王明星.沙尘暴的气象分析.科学中国人,2001,77(5):12~13

- 13 周自江. 近45年中国扬沙和沙尘暴天气. 第四纪研究, 2001, 21(1): 9 ~ 17
- 14 杨民, 蔡玉琴, 王式功等. 2000年春季中国北方沙尘暴天气气候成因研究. 中国沙漠, 2001, 21(增刊): 6 ~ 11
- 15 方宗义, 张运刚, 郑新江等. 用气象卫星遥感监测沙尘暴的方法和初步结果. 第四纪研究, 2001, 21(1): 48 ~ 55
- 16 张仁德, 王明星, 浦一芬等. 2000年春季北京特大沙尘暴物理化学特性的分析. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 259 ~ 266
- 17 庄国顺, 郭敬华, 袁慧等. 2000年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响. 科学通报, 2001, 46(3): 191 ~ 197
- 18 王明星, 温彻斯特 J W, 开希尔 T A 等. 北京一次尘暴的化学成分及其谱分布. 科学通报, 1982, 27: 419 ~ 422
- 19 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. 环境科学, 1994, 14(5): 60 ~ 64
- 20 张小曳. 亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积. 第四纪研究, 2001, 21(1): 29 ~ 40
- 21 邱新发, 曹燕, 廖启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源区和移动路径. 地理学报, 2001, 56(3): 316 ~ 322
- 22 张德二. 我国自历史时期以来降尘的天气气候学初步分析. 中国科学, 1984, 3: 278 ~ 288
- 23 尚可政, 孙肇辉, 王式功等. 甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析. 中国沙漠, 1998, 18(3): 239 ~ 243
- 24 徐启运, 胡敬松. 中国西北地区沙尘暴天气的时间分布特征分析. 见: 方宗义, 朱福康, 江吉喜等主编. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997. 11 ~ 16
- 25 胡隐樵, 光田宁. 强沙尘暴微气象特征和局地触发机制. 大气科学, 1997, 21(5): 581 ~ 589
- 26 钱正安, 胡隐樵, 龚乃虎等. "93.5.5"特强沙尘暴的调查报告及其分析. 见: 方宗义, 朱福康, 江吉喜等主编. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997. 37 ~ 43
- 27 夏训诚, 杨根生著. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 27 ~ 31
- 28 刘淑珍, 柴宗新, 范建容. 中国土地荒漠化分类系统探讨. 中国沙漠, 2000, 20(1): 35 ~ 39

DUST STORM WEATHER IN CHINA: NEW CHARACTERISTICS AND ORIGINS

Zhang Renjian^① Han Zhiwei^① Wang Mingxing^{①②} Zhang Xiaoye^②

(^①LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029;

^②Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710054)

Abstract

From 2000 to 2002, dust storm weather occurred frequently in northern China, resulting in bad influence on traffic, atmospheric environment quality and people's daily life in areas through which it flowed. Such dust storm weather has the new characteristics below: higher frequency, stronger intensity, larger influence areas, earlier occurring time, and longer lasting time. Analyses on the meteorological, climatic and environmental conditions show that the dust storm weather can originate from three elements. First, the anti-El Nino (La Nina) event is at its top period in recent two years, which can result in a high frequency of strong wind. Second, compared with the same period in ordinary year, precipitation is less and temperature is higher. Finally, desertification in northern China is stronger than before because of improper use of land, which can provide more dust sources.

Key words dust storm, characteristics, climate, origin