

# 中国沙尘暴月际时空特征及沙尘的远程传输

韩永翔<sup>1,2\*</sup>,宋连春<sup>1</sup>,奚晓霞<sup>2</sup>,叶燕华<sup>1</sup> (1.中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020; 2.兰州大学地理科学系,甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 近 40 年(1961~2000 年)中国沙尘暴月际时空分布特征表明,中国沙尘暴主要发生在青藏高原和北方干旱半干旱地区。从近 40 年沙尘暴月平均发生频率看,12~3 月份,沙尘暴发生中心集中在青藏高原上,随时间推移,沙尘暴中心向北移动;4~6 月份主要集中在北方的干旱半干旱地区。中国大陆尤其是青藏高原沙尘暴的月际时空特征表明,它同高空西风急流的位置密切相关,沙尘暴中心从冬到春随西风急流的摆动而由南向北移动,500hPa 西风急流是沙尘远程传输的主要动力。

**关键词:** 青藏高原; 沙尘暴; 西风急流; 沙尘远程传输

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2005)S0-0013-04

**Monthly temporal-spatial character of sandstorms and long-distance dust transport in China.** HAN Yong-xiang<sup>1,2\*</sup>, SONG Lian-chun<sup>1</sup>, XI Xiao-xia<sup>2</sup>, YE Yan-hua<sup>1</sup> (1.Lanzhou Arid Meteorological Institute of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2.Geographical Department, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China). *China Environmental Science*, 2005,25(Suppl.) : 13~16

**Abstract :** The monthly spatial-temporal distribution character of sandstorms in late 40 years (1961~2000) in China showed that the sandstorms occurred mainly in Tibetan Plateau and the arid and semi-arid areas in northern China. View the monthly average occurring frequency in these years, the center of sandstorms occurrence was in the Tibetan Plateau and moved to north with time from December to March; and in arid and semi-arid areas in northern China from April to June. The monthly temporal-spatial character of sandstorm in China mainland especially Tibet Plateau showed that it was related closely with the position of high atmosphere westerly jet. The sandstorms center moved from the south to north with swaying of the westerly jet flow from winter to spring. The major power of long-distance dust transport was the westerly jet flow of 500hPa.

**Key words :** Tibet Plateau; sandstorm; westerly jet; long-distance dust transport

近年来日益增强的强沙尘暴天气经常席卷大半个中国,扬起的沙尘被西风环流携带沉积在日本、韩国、北太平洋地区,甚至到达北极。中外学者对沙尘暴的源区、形成的主要控制因素、高度等进行了深入的研究<sup>[1-5]</sup>。Rea 等<sup>[6]</sup>对太平洋深海沉积沙尘的研究,认为其沙尘来源于中国西部干旱荒漠化地区包括黄土高原和青藏高原。日本学者通过沙尘石英颗粒电子自旋共振测年(ESR)信号比较研究<sup>[5]</sup>,认为日本黄沙的大部分可能是西风从青藏高原地区携带而至。方小敏等<sup>[7]</sup>的研究表明,青藏高原黄土主要来自青藏高原中、西部的广大风蚀地区,中、高空西风和高原季风可能是主要的沙尘制造者和搬运载体;并通

过 2003 年 3 月 4 日拉萨沙尘天气过程中运移分析和遥感监测,证明青藏高原具备发生沙尘暴的所有条件,是中国和远东——太平洋地区一个重要的沙尘源地<sup>[4]</sup>。

作者通过分析我国 681 个站 1961~2000 年沙尘暴的各月时间分布规律,并与日本和韩国的黄沙各月时间分布进行对比,试图证明日本和韩国冬、春季观测到的黄沙大部分来源于青藏高原,并探讨了其远程传输的机理。

收稿日期: 2003-07-18

基金项目: 国家“973”项目(G2000048703);国家自然科学基金资助项目(40475031)

\* 责任作者, 副研究员, han-yx66@126.com

## 1 资料来源与处理

中国 681 个站资料均取自中国国家气象中心 1961~2000 年的原始气象记录报表及其信息化产品,其中青藏高原主体有 91 个站点,但主要集中在高原东部和南部,高原中西部基本没有资料。日本和韩国的有关资料取自文献[5,8]。

## 2 中国沙尘暴月际时空分布特征

将各站点月沙尘暴发生天数小于 2d 的站点滤去,可勾画出月沙尘暴发生天数最多的沙尘暴发生范围,见图 1。

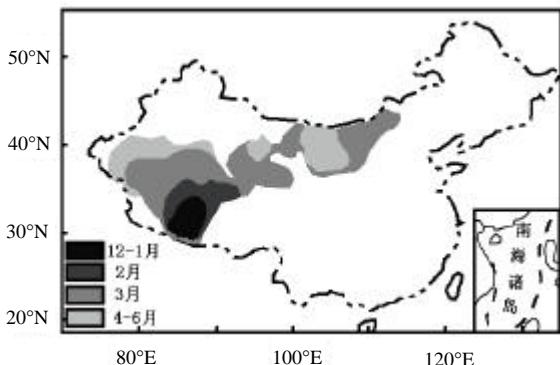


图 1 中国沙尘暴发生中心月空间分布

Fig.1 Monthly spatial distribution of sandstorms center in China

由图 1 可见,12 月~2 月份,沙尘暴发生中心主要集中在青藏高原的南部,2 月份范围达到最大,天数为 4d/月。3 月份中心主要集中在青藏高原的羌塘高原上,天数为 3d 以上,塔里木盆地南部、北方的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠及鄂尔多斯高原也有沙尘暴发生,但天数仅为 2d/月。4 月份沙尘暴发生中心主要集中在北方干旱半干旱地区,天数均为 4~5d,是中国沙尘暴发生范围最大的月份。5 月份主要集中在塔里木盆地并扩展到准噶尔盆地,中心在塔里木盆地,天数上升为 5~6d,但甘肃、青海以北地区的沙尘暴范围缩小,中心移至巴丹吉林沙漠东北侧和阴山西北部,天数下降为 3~4d。同时,在 11~5 月份柴达木盆地均有沙尘暴的发生,但天数基本保持在 2d/月。6

万方数据

月份,主要集中在塔里木盆地西南部,天数下降为 5d,甘肃、青海以北地区的沙尘暴主要集中在内蒙古的拐子湖一带,天数下降为 3d。7 月份的分布范围比 6 月份缩小,天数也下降到了 3d 以下。

青藏高原发生沙尘暴的时间主要集中在 12~3 月,其中 2、3 月发生的天数最多,在 4d 左右,范围也随时间的推移逐渐扩大,至 3 月达到最大。沙尘暴发生的空间分布随时间逐渐由南向北推移的规律十分明显。沙尘暴发生的时间与塔里木盆地和北方干旱半干旱区有非常明显的区别。

## 3 中国沙尘暴时空分布与日本和韩国黄沙时空分布的关系

日本观测到的黄沙最大值出现在 3 月份,其次为 4 月份,4 月份次数要高于 2 月份<sup>[5]</sup>。实际上日本和韩国在不同地点也有不同的变化<sup>[5,8]</sup>,图 2 可见其站点的位置。随着纬度的增高,日本 3 石垣岛、长崎、屋代岛和韩国汉城的黄沙月分布最高记录由最南部 24°N 的 3 月份逐渐过渡到北部 37°N 的 4~5 月份。石垣岛最大值出现在 3 月份,其次为 4 月份;长崎最大值出现在 4 月份,其次为 3 月份和 5 月份;屋代岛最大值出现在 4 月份,其次为 5 月份;汉城公元 936~1392 年的月际分布是 3 月份最大,4、2、5 月份次之,1392~1910 年的月际分布是 4 月份最大,5 月份次之,其次分别为 3 月、2 月份。上述 4 站在整个冬季均有黄沙记录。

对比中国与日本、韩国的沙尘月际时空分布,基本可以确定其来源。日本、韩国 4 站在 11~2 月份的黄沙应该来自于青藏高原的南部和柴达木盆地;3 月份的黄沙主要来自于青藏高原的羌塘高原、塔里木盆地南部、柴达木盆地和北方的巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠及鄂尔多斯高原均有贡献,但作用相对次之;4 月份主要来自于塔里木盆地及北方的干旱半干旱地区;5 月份主要来自于塔里木盆地和巴丹吉林沙漠东北侧和阴山西北部;6~7 月份,主要集中在塔里木盆地西南部和内蒙古的拐子湖一带的狭窄地区。可见青藏高原是一个重要的沙尘远程传输源区。

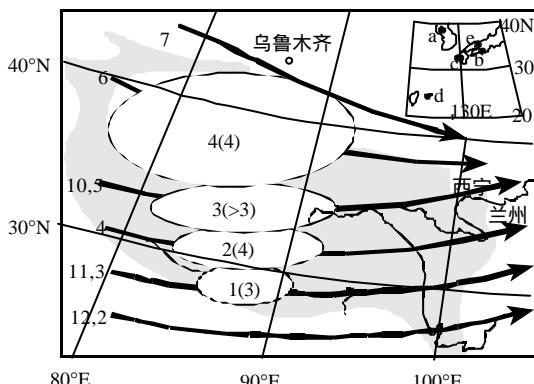


图 2 中国沙尘暴、西风急流月际时空分布

Fig.2 Monthly tempo-spatial distribution of sandstorms and westerly jet in China

黑色带箭头的实线为西风急流,实线顶端的数字为月份;空心圆为沙尘暴中心位置,里面的数字代表月(月发生次数);右上角小图中黑点为日本,韩国黄沙观测点,a.汉城  
b.屋代 c.长崎岛 d.石垣岛 e.冈山

研究表明<sup>[1]</sup>,沉积在日本和韩国及北太平洋的春季沙尘主要被 500hPa(5.5km)的西风急流所携带,沙尘暴必须具有一定的强度才能上升到西风急流区,而 4 月份中国沙尘暴主要发生在海拔 1000~2000m 的北方地区,致使一些较弱的沙尘暴过程不能被日本和韩国观测的黄沙所记录。3 月份沙尘暴主要发生在平均海拔 4500m 以上的青藏高原,当西风系统移过高原时,高原主体上本身垂直上升运动就非常强大,可以很容易地将细粒沙尘物质扬升到西风急流区,这可能是日本黄沙最大值出现在 3 月份的真正原因。

#### 4 中国沙尘暴远程传输的动力和沙尘的远程沉降区域

青藏高原沙尘暴的发生主要集中在 12 月~次年 3 月,随着季节的推移由南向北移动,12~4 月份,沙尘暴发生中心从藏南的雅鲁藏布江上游河谷地区依次逐渐向北扩展到羌塘高原南部、羌塘高原及塔里木盆地南部。这种季节性摆动与副热带西风急流的位置变化密切相关,当西风急流随季节推移从南向北进入青藏高原时,受高原巨大地形的影响,绕高原的南支气流由强逐渐变

弱,北支气流由弱逐渐变强,加上高原内部复杂的地形从而使高原内部风场的辐合中心也由南向北推移,青藏高原沙尘暴的发生中心也随西风急流季节性北移相应北移。

从图 2 可见,12~2 月份,西风急流大致在喜马拉雅山脉南边,绕高原的南支气流较强,爬越高原的西风主要集中在高原南部的雅鲁藏布江上游及其支流河谷,它们与南部西南气流(沿雅鲁藏布江下游向上游逆行的河谷东风或南风及与绕珠穆朗玛峰两边隘口进入高原的西南气流)在定日、日喀则附近的河谷地带形成强大的辐合上升气流,形成沙尘暴天气。随着急流的北移,沙尘暴中心也由日喀则相应北移到申扎附近;3 月份西风急流位于喜马拉雅山脉和冈底斯山脉之间的雅鲁藏布江一线,正对青藏高原,高原主体上主要有以下几股大的气流组成:沿雅鲁藏布江上游及其支流河谷的西风;沿狮泉河——改则——纳木错的西风;从柴达木盆地吹来的西北风受藏东南近于南北向排列的横断山的影响而转向的东北风;南部西南气流。这几股气流分别从各个方向在柴达木盆地南部和羌塘高原的纳木错湖一带形成强大的辐合上升气流,形成沙尘暴天气。沙尘暴发生中心也北移至羌塘高原。同时由于急流中心北移,雅鲁藏布江河谷地区的高原沙尘暴发生次数也逐渐减少。4 月份急流北移至冈底斯山和昆仑山之间的藏北羌塘高原南部,绕高原的南支气流较弱,沿雅鲁藏布江河谷的西风和南部西南气流不能爬越高原,冈底斯山脉以南的高原沙尘暴不再发生。同时,由于北支气流较强,沙尘暴发生区域向北扩展到了天山北部的古尔班通古特沙漠,中心北移至塔里木盆地南部。5 月份急流北移到羌塘高原北部和昆仑山一线,绕高原的冷干南支气流被来自孟加拉湾的暖湿西南气流代替,高原由东南向西北逐渐进入雨季,除柴达木盆地外,高原几乎没有沙尘暴发生。沙尘暴发生区域的北界仍维持在古尔班通古特沙漠一线,中心仍在塔里木盆地南部,是塔里木盆地发生沙尘暴最多的月份;6~8 月份急流北移到天山北部——巴尔喀什湖一带,绕高原的北支气流空前强大,但由

于处于暖气团控制下,而且基本处于降水最大月(雨季),沙尘暴发生受到抑制,极端干旱的塔里木盆地南部仍有沙尘暴发生,但逐渐减弱;9~12月份,西风急流南撤,10月份南撤到5月份的位置,11月份南撤到3月份的位置,但由于刚过雨季,加上寒冬来临,地面空气层结比较稳定,不易发生沙尘暴.

青藏高原的东部地区与高原存在4000m的巨大落差,在高原东侧以东地区700hPa以下形成“湍流脱体面”,其上为行星西风,其下为冬季风<sup>[9]</sup>.青藏高原发生沙尘暴时,携带沙尘粒子的低层的行星西风落地在四川盆地以东地区,我国东部海域及下游地区的韩国、日本正是青藏高原沙尘的主要沉降地区.高层西风携带的高原沙尘则在这些地区上空越过,传输到遥远的太平洋地区甚至北美,高原成为高效的沙尘远程传输源地.

春季沙尘暴的源地不但有青藏高原,还有西北的沙漠和戈壁地区.当西风急流调整时,西风槽引导北方冷空气南下,在低层形成切断低压东移南下,并导致西北的沙漠和戈壁地区形成沙尘暴.当切断低压遇到巨大的青藏高原时,被迫绕高原并携带低层沙尘东移越过黄海及韩国、日本,它们基本都在行星西风边界层之下<sup>[5]</sup>.

日本和韩国初春黄沙常存在双层结构,低层在4000m以下,而在4000m以上也常出现一层黄沙层,为高空远程传输而来,Iwasaka等<sup>[3]</sup>推测2层的黄沙来源于不同的地区.观测表明,塔里木盆地沙尘扬升的最大高度在4000m以下,在这些地区被扬到西风急流区的细粒物质的比例应该很小,它们与青藏高原扬起的沙尘一起随行星西风向下游传输,由于沙尘在不同海拔高度上进行远程传输,就在观测站点形成沙尘的多层结构.

## 5 结论

5.1 中国沙尘暴主要发生在青藏高原和北方干旱半干旱地区.12~3月份,沙尘暴发生中心集中在青藏高原,并随时间向北推移.4~6月份主要发生在北方的干旱半干旱地区,其中4月份中国沙

尘暴发生范围最大,随后范围和强度逐渐缩小和减弱.7~11月份,中国境内基本没有沙尘暴发生.

### 5.2 青藏高原是重要的沙尘远程传输源地.

5.3 青藏高原沙尘暴同高空西风急流的位置密切相关,沙尘暴中心从冬到春随西风急流的摆动而由南向北移动,500hPa西风急流是沙尘远程传输的主要动力.

## 参考文献:

- [1] Duce R A, Unni C K, Ray B J, et al. Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: temporal variability [J]. *Science*, 1980, 209:1522-1524.
- [2] Jaffe D A, Snow J, Cooper O. The 2001 Asian dust events: transport and impact on surface aerosol concentrations in the U.S. [J]. *EOS*, 2003, 84(46):501-516.
- [3] Iwasaka Y, Yamato M, Imazu R, et al. Transport of Asian dust (KOSA) particles; Importance of weak KOSA events on the geochemical cycle of soil particles [J]. *Tellus, Ser. B*, 1988, 40: 494-503.
- [4] 方小敏,韩永翔,马金辉,等.青藏高原沙尘特征与高原黄土堆积——以2003-3-4拉萨沙尘天气过程为例 [J]. *科学通报*, 2004, 49(11):468-474.
- [5] Ono Y, Naruse T, Ikeya M, et al. Origin and derived courses of eolian dust quartz deposited during marine isotope stage 2 in East Asia, suggested by ESR signal intensity [J]. *Global and Planetary Change*, 1998, 18:129-135.
- [6] Rea D K, Snoeckx H, Joseph L H. Late Cenozoic Aeolian deposition in the northern Pacific: Asian drying, Tibet uplift, and cooling of the northern hemisphere [J]. *Palaeoceanography*, 1998, 13:215-224.
- [7] 方小敏,陈富斌,施雅风,等.甘孜黄土与青藏高原冰冻圈演化 [J]. *科学通报*, 1996, 41(20):1865-1867.
- [8] Chun Youngsin, Boo Kyungon, Kim Jiyoung, et al. Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea [J]. *J. Geophys. Res.*, 2001, 106(16):18461-18469.
- [9] 汤懋苍,高晓清,张林源,等.青藏高原对西部环境演变的作用[A].秦大河.中国西部环境演变评估——中国西部环境特征及演变 [M].北京:科学出版社,2002.157-160.

**作者简介:** 韩永翔(1966-),男,甘肃民勤人,副研究员,博士,主要从事全球气候变化研究.发表论文30余篇.