

中国沙尘暴时空变化特征及日本、 韩国黄沙的源地研究 *

宋连春^{1,2} 韩永翔^{2,3} 张 强² 奚晓霞³ 叶燕华²

1) (南京气象学院, 南京 210044)
2) (中国气象局兰州干旱气象研究所, 兰州 730020)
3) (兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘 要 利用 1961~2000 年中国 681 个站的气象实测资料, 分析了近 40 年我国沙尘暴月际时空分布特征。结果表明, 中国沙尘暴主要发生区域在青藏高原和北方干旱半干旱地区。12~3 月, 沙尘暴发生中心集中在青藏高原上, 并随时间推移中心向北推移; 4~6 月在北方的干旱半干旱地区, 其中 4 月是中国沙尘暴发生范围最大的月份; 对比中国沙尘暴和日韩黄沙天气的月际分布, 推测日韩两国冬季的黄沙大部分应该来源于青藏高原, 春季青藏高原也有一定的贡献。由于沙尘暴发生在相差悬殊的不同海拔高度上, 特别是在春季, 扬起的沙尘在低层随涡旋系统而高层随行星西风向下游传输, 可能是日韩观测到沙尘多层结构的重要原因之一。

关键词: 青藏高原; 沙尘暴; 黄沙; 远程传输; 多层结构

文章编号 1006-9895 (2004) 06-0820-08 **中图分类号** P445 **文献标识码** A

1 引言

近年来沙尘暴问题引起国际社会和科学界的广泛关注, 中、日、韩三国联合建立起了亚洲沙尘的地面观测网, 在沙尘暴的源区、形成的主要控制因素、高度等方面取得了明显进展, 亚洲沙尘向韩国、日本及太平洋的远程输送也被证实^[1~12], 但仍有许多重大的科学问题并没有得到很好的解释。如中国北方干旱和半干旱地区的沙尘暴是 4 月最多, 其次为 3 月和 5 月, 而下游的日本观测到的黄沙最多频次出现在 3 月, 其次为 4 月, 4 月天数要高于 2 月, 而且整个冬季均有较高的黄沙记录^[8,13,14]。日本、韩国的年降水量在 1000 mm 以上, 本土并不发生沙尘暴, 它监测到的黄沙应该主要来自上游邻近国——中国, 但它们在峰值出现的时间上不完全匹配, 暗示有另外的沙尘源地。同时, 日本和韩国用激光雷达观测到的沙尘气溶胶大多具有明显的双层结构, 一层出现在 0.5~2.5 km, 另一层出现在 4~8 km^[2,8,15], Iwasaka 等^[2]推测它们可能来自不同的源地。

另外的源地在什么地方? 随着古气候研究取得重大进展, 如 Rea 等^[16]对太平洋深海沉积粉尘的研究, 认为其粉尘来源于中国西部干旱荒漠化地区包括黄土高原和青

2003-07-24 收到, 2003-11-24 收到修改稿

* 科技部社会公益研究专项资金项目 2000DIA10031、国家重点基础研究发展规划项目 G2000048703 和国家自然科学基金资助项目 40075025 联合资助

高原。日本学者通过粉尘石英颗粒 ESR 信号比较研究^[13]，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^[17~20]通过青藏高原地质学的研究表明，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，而黄土是沙尘暴沉积的产物，这暗示青藏高原可能是一个重要的粉尘源地。

鉴于以前的研究重点主要集中在我国北方的沙漠地区，而青藏高原由于观测资料的严重缺乏，在沙尘暴研究方面基本处于空白状态。因此，了解青藏高原沙尘暴的发生规律具有重要的科学意义。本文通过分析中国 681 个站（其中青藏高原计有 91 个站）沙尘暴 1961~2000 年 40 年的各月时空分布规律，并与韩、日两国黄沙天气的各月分布进行对比，试图证明韩日两国冬季观测到的黄沙（KOSA）大部分来源于青藏高原，并探讨了其远程传输和双层结构形成的机理。

2 资料的来源及处理

中国 681 个站资料均取自中国气象局国家气象中心的原始气象记录报表及其信息化产品，资料年代为 1954~2000 年，其中满 40 年的站有 661 个，占 97.1%，并参考文献 [21] 做了处理。考虑到资料的一致性，本文最后采用了 1961~2000 年的资料，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。日本和韩国的有关资料取自文献 [13, 22]。

天气气候资料年代为 1961~2000 年，取自 NCEP/NCAR 的 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ （经纬度）再分析格点资料。

3 中国沙尘暴月际时空分布特征

从 1~12 月沙尘暴各月发生天数与空间分布图上，可以清楚地看到中国近 40 年沙尘暴主要集中在干旱、半干旱的北方地区和青藏高原主体上，长江以南和藏东南几乎没有沙尘暴的发生。考虑到本文的科学目的，为了突出青藏高原的沙尘暴特征，将沙尘暴发生区域分为二个大区：青藏高原主体区和北方干旱半干旱区。另外，文中只给出与本文密切相关的 2~5 月图 [图 1（见图版 I）]。

3.1 青藏高原主体区 40 年沙尘暴月际时空分布特征

从 12 月起，西藏高原有沙尘暴出现，主要集中在藏南的雅鲁藏布江上游河谷地区，中心在定日、日喀则附近，月平均发生天数为 3 天；1 月范围向北扩展，中心北移至拉萨以西的地区（ $30\sim 32^{\circ}\text{N}$ ， $87\sim 89^{\circ}\text{E}$ ），天数仍保持 3 天；2 月范围继续向北扩展，中心北移至纳木错湖以西的申扎，月平均发生天数上升到 4 天；3 月范围急剧向北、向东扩展，除藏东南的横断山区外，沙尘暴发生区域可能囊括了整个青藏高原主体，同时其北界到达了天山南部，沙尘暴发生中心可能北移至羌塘高原（冈底斯山脉以北和昆仑山以南的广大地区）和塔里木南部，因为从仅有的几个观测站点来看，其最大等值线——3 天线正好将羌塘高原和昆仑山包围起来，推测其月平均发生沙尘暴的天数不会小于 3 天。同时，由于中心的北移，从雅鲁藏布江河谷地区向北沙尘暴发生天数逐

渐减少。4~5 月除高原北部的柴达木盆地外,高原几乎没有观测站点观测到沙尘暴。

从上面的发生时空分布可以清楚地看到:青藏高原发生沙尘暴的时间主要集中在 12~3 月,2、3 月发生天数最多,在 4 天左右,范围也随时间的推移逐渐扩大,至 3 月范围达到最大,同时,沙尘暴发生的空间分布随时间的推移逐渐由南向北推移的规律十分明显。

3.2 北方干旱半干旱区 40 年沙尘暴月际时空分布特征

1 月沙尘暴仅在巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠的民勤和盐池等地有零星发生,月平均发生天数 1 天;2 月,除两大沙漠外,沙尘暴发生范围扩大到鄂尔多斯高原,但未连成一片,天数仍为 1 天;3 月,塔里木盆地也出现沙尘暴,北方干旱半干旱区已经连成一片,中心区域在民勤、盐池一带,天数上升为 2 天;4 月范围急剧扩大,囊括了整个北方干旱半干旱区所有地区,有两个高发中心,一个在塔里木盆地,月平均发生天数上升为 5~6 天,另一个中心在民勤、盐池一带,区域内月平均发生天数上升为 2~3 天,中心天数上升为 4~5 天;5 月沙尘暴发生范围基本维持与 4 月相同的格局,除塔里木盆地外,区域内月平均发生天数开始下降,同时以民勤、盐池为中心的沙尘暴发生中心北移到内蒙古西部和蒙古国接壤的巴丹吉林沙漠东北侧和阴山西北 ($41^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $102^{\circ}\sim 104^{\circ}\text{E}$),天数下降为 3~4 天;6 月沙尘暴发生范围急剧缩小,主要集中在塔里木盆地和巴丹吉林、腾格里两大沙漠,范围比 3 月大。同时沙尘暴发生中心仍位于塔里木盆地南部和内蒙古西部,天数下降为 3 天;7 月沙尘暴发生范围进一步缩小,范围与 3 月基本相同,区域内天数下降为 1~2 天,中心仍与 6 月相同,中心天数下降为 2 天;8 月沙尘暴发生范围进一步缩小,范围与 2 月基本相同,天数下降为 1 天,中心消失;9~12 月,基本没有沙尘暴的发生。

4 中国沙尘暴时空分布与日本黄沙时空分布的关系

通过上面的分析,发现沙尘暴发生天数同范围基本成正比,所以本文将各站点月沙尘暴发生天数小于 2 天的站点滤去,并勾画出月沙尘暴发生天数最多的沙尘暴发生范围,制作了中国沙尘暴时间与空间分布综合示意图(图 2)。从图 2 中可以清楚地看到:12~2 月,沙尘暴发生中心主要集中在青藏高原的南部,2 月范围达到最大,天数为 4 天/月。3 月中心主要集中在青藏高原的羌塘高原上,天数为 3 天以上,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 2 天/月。4 月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 4~5 天,是中国沙尘暴发生范围最大的月份。5 月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 5~6 天,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 3~4 天。同时,在 11~5 月柴达木盆地均有沙尘暴的发生,但天数基本保持在 2 天/月。6 月,主要集中在塔里木盆地西南部,天数下降为 5 天,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 3 天。7 月的分布范围比 6 月缩小,天数也下降到了 3 天以下。

日本观测的黄沙最多频次出现在 3 月,其次为 4 月,4 月天数要高于 2 月的黄沙记录^[8,13,14],这仅是一般概念性的结论。实际上,日本和韩国在不同地点也有不同的变

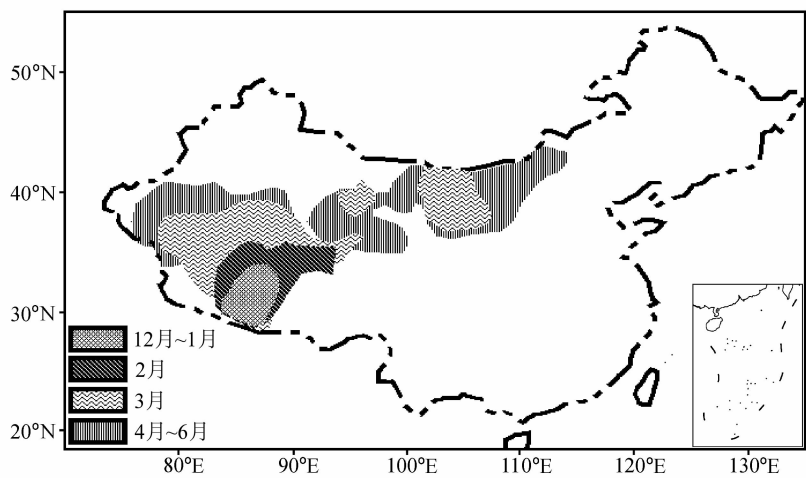


图 2 中国沙尘暴时空分布综合示意图

化,从图 3 中可以看出,随着纬度的增高,日本 3 站 (Ishigakiis、Nagasaki、Yashiro) 和韩国汉城黄沙月分布最高记录由最南部 24°N 的 3 月逐渐过渡到北部 37°N 的 4~5 月。Ishigakiis (石垣岛) 最大值出现在 3 月,其次为 4 月;而 Nagasaki (长崎) 最大值出现在 4 月,其次为 3 月和 5 月;汉城的阴历记录转换为公历后表明:自公元 936~1392 年记录的月际分布是 3 月最大,4、2、5 月分别次之,1392~1910 年的月际分布

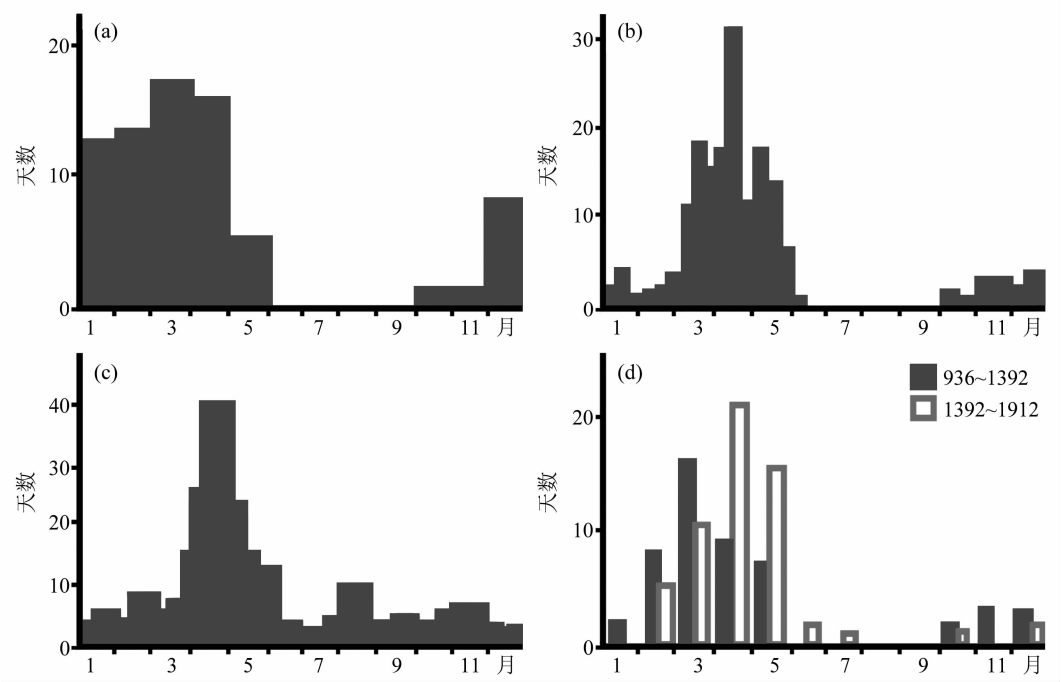


图 3 日本三站和韩国汉城黄沙月分布图 (引自文献 [13, 22])

(a) 石垣岛 [Ishigaki-jima (24°24'N, 124°12'E)], 1960~1981 年; (b) 长崎 [Nagasaki (32°48'N, 129°55'E)], 1914~1975 年; (c) 屋代岛 [Yashiro-jima (33°55'N, 132°20'E)], 1990~1993 年; (d) 汉城 [Seoul (37°33'N, 126°58'E)]

是 4 月最大, 5 月次之, 其次分别为 3 月、2 月。同时上述 4 站在整个冬季均有黄沙记录。

对比中国沙尘暴与日、韩两国的黄沙月际时空分布, 基本可以确定其来源。日、韩 4 站在 11~2 月的黄沙应该来自青藏高原的南部和柴达木盆地; 3 月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 月主要来自于塔里木盆地及北方的干旱半干旱地区; 5 月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, 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。从上面的分析中可以清楚地看到青藏高原是一个重要的沙尘源区。

但上述的分析并没有完全解决有时日本黄沙最大值出现在 3 月这一事实, 因为在中国沙尘暴发生范围最大的月份是 4 月, 估计这与沙尘的远程传输有关。国内外的研究表明^[1,2,4,8], 沉积在日本、韩国及北太平洋的春季亚洲粉尘主要被 500 hPa (5.5 km) 的西风急流所携带, 这就要求沙尘暴必须具有一定的强度才能上升到西风急流区, 而 4 月沙尘暴主要发生在海拔 1000~2000 m 的北方地区, 致使一些较弱的沙尘暴过程不能被日韩观测的黄沙所记录。3 月沙尘暴主要发生在平均海拔高度 4500 m 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, 高原可以很容易地将细粒粉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 月这一事实的真正原因。

5 中国沙尘暴的远程传输和日本黄沙多层结构的形成

早在 20 世纪 80 年代初期, Duce 等^[1]就认为来源于亚洲的春季粉尘主要被 500 hPa 的西风急流所携带沉积在北太平洋, 而最近基于亚洲沙尘网进行的全方位沙尘暴的观测资料分析表明^[4,8]: 500 hPa 西风槽/脊形成的涡旋(常演变为切断低压)东移是沙尘远程传输的主要动力, 同时激光偏振雷达观测的沙尘垂直结构清楚地显示黄沙常具有多层结构。如 1998 年 4 月中旬的一次强沙尘暴过程中就具有两层结构, 在低层, 合肥(中国)和汉城(韩国)出现在 4.5 km 以下, 日本则出现在 3 km 以下, 另外在 6~10 km 对流层上部有一个薄的黄沙层与卷云相混^[8]。

由于青藏高原资料的严重短缺, 上述研究主要集中在中国西北的沙漠和戈壁地区, 这就使一个重要的源区——青藏高原被遗漏。而平均海拔 4500 m 以上的青藏高原粉尘物质是最容易被扬升到西风急流区的, 是沙尘远程传输的一个重要的组成部分。当加入青藏高原后, 中国沙尘暴的远程传输就更加完整, 并且日本黄沙多层结构的形成也就是顺理成章的事情了。

冬季的沙尘暴主要发生在青藏高原上, 当高原发生沙尘暴时, 粗粒物质被强大的西风吹起堆积在高原的东南部, 而细粒物质则由于粒度的不同被扬升到不同高度的西风急流区, 由西风急流东移携带传往下游地区。由于在高原的东部地区与青藏高原存在约 4000 m 的巨大落差, 从而在高原东侧以东地区 700 hPa 以下形成“湍流脱体面”, 其上为行星西风, 其下为冬季风^[23]。本文又通过对 NECP 再分析资料计算了 1961~2000 年 1~4 月沿北纬 30°N 1000~400 hPa 的流线分布(图 4), 从中可以看出在 700 hPa 以下, 四川盆地的有较为强大的上升运动, 从高原流下的西风气流只能在四川盆地

上空越过，高度从西向东逐渐降低，表明此“湍流脱体面”在 40 年中长期存在。因此，高原上最低层的行星西风落地也应该在四川盆地以东地区，我国东部海域及下游地区的韩国、日本正是青藏高原粉尘的主要沉降地区之一。而高层西风所携带的高原粉尘则在这些地区上空越过，传输到更遥远的太平洋地区甚至北美。

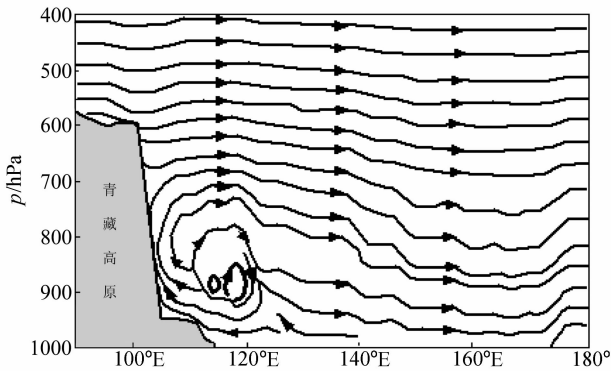


图 4 1961~2000 年 1~4 月 30°N 剖面垂直流线图

当春季发生沙尘暴时，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，在低层常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天气。当切断低压遇到巨大的青藏高原时，被迫绕高原而行并携带低层沙尘东移越过黄海及韩国、日本。在这些地区观测到的低层沙尘已经被许多研究所证实，有意思的是它们基本都在行星西风边界层之下^[2,5,8]。观测事实^[7,13,24,25]表明，如塔里木盆地沙尘扬升的最大高度在 4000 m 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，这样就在观测站点形成沙尘的多层结构。由于高层风速较低层大，所以高层沙尘常先于低层沙尘到达观测站点，这也被观测事实所证明。如 2003 年 4 月 9 日，青藏高原北部、塔里木盆地、巴丹吉林沙漠及腾格里沙漠均先后出现了沙尘暴天气，其中在青藏高原长江、黄河源区发生了特大沙尘暴天气过程，4 月 10 日 12 时 MODIS 卫星观测到了这次过程 [图 5 (见图版 D)]，从图中可以清楚地看到长江、黄河源区的沙尘向下游传输的情形。其中扎陵、鄂陵两湖至兰州的黄河主流和干流河谷中均被浮尘笼罩，布尔汗布达山和阿尼玛卿山顶（主峰玛卿岗日海拔 6282 m）有大片的黄色沙尘沉

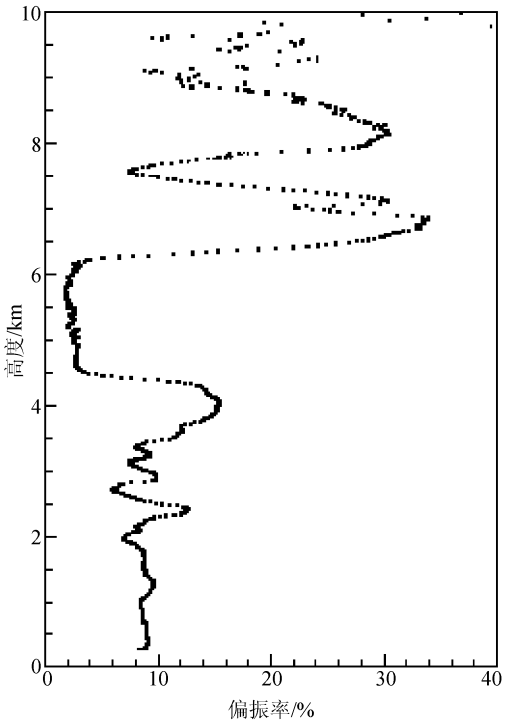


图 6 2003 年 4 月 11 日本本州冈山激光雷达观测的沙尘多层结构（引自文献 [26]）

积,可以推断这场沙尘暴伸展高度至少在 5500 m 以上,进入了西风急流区。而仅 1 天,即 4 月 11 日 12 时 30 分(北京时)在日本本州冈山(Okayama)就观测到了高层的黄沙气溶胶,4000 m 和 7000 m 的高度上黄沙气溶胶层非常明显(图 6),随后低层气溶胶出现,黄沙气溶胶的双层结构变得非常明显^[26]。

6 结 语

(1) 中国沙尘暴主要发生区域在青藏高原和北方干旱半干旱地区。12~3 月,沙尘暴发生中心集中在青藏高原上,并随时间推移中心向北推移。4~6 月主要发生在北方的干旱半干旱地区,其中 4 月是中国沙尘暴发生范围最大的月份,随后范围和强度逐渐缩小和减弱。7~11 月,中国基本无沙尘暴的发生。

(2) 日、韩两国冬季的黄沙大部分应该来源于青藏高原;春季的黄沙不但来源于中国北方干旱半干旱地区,而且青藏高原的羌塘高原也有一定的贡献。

(3) 500 hPa 西风急流槽/脊形成的涡旋东移是沙尘远程传输的主要动力。由于沙尘暴发生在相差悬殊的不同海拔高度上,特别在春季,扬起的沙尘在低层随涡旋系统而高层随行星西风向下游传输,是日、韩两国观测到沙尘多层结构的重要原因之一。

(4) 青藏高原主体虽然有 91 个站点参与了计算,但主要集中在高原东部和南部,高原中西部资料较少,有待于进一步补充和研究。同时日、韩两国黄沙多层结构的形成仍处于推测性质,也有待于资料的证实。

参 考 文 献

- 1 Duce, R. A., C. K. Unni, B. J. Ray et al., Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific; Temporal variability, *Science*, 1980, **209**, 1522~1524.
- 2 Iwasaka, Y., M. Yamato, R. Imazu et al., Transport of Asian Dust (KOSA) particles; Importance of weak KOSA events on the geochemical cycle of soil particles, *Tellus* (Ser. B), 1988, **40**, 494~503.
- 3 Nakajima, T., M. Tanaka, M. Yamano et al., Aerosol optical characteristics in the yellow sand events observed in May, 1982 at Nagasaki, Part II, Models, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1989, **67**, 269~291.
- 4 Gao, Y., R. Arimoto, M. Y. Zhou et al., Relationships between the dust concentrations over eastern Asia and the remote North Pacific, *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**, 9867~9872.
- 5 张小曳、沈志宝、张光宇等,青藏高原远源西风粉尘与黄土堆积,中国科学(D辑),1996, **26**(2), 147~154.
- 6 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,地理学报,2000, **55**(5), 513~521.
- 7 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.
- 8 Toshiyuki Murayama, Nobuo Sugimoto, Itsushi Uno et al., Ground-based network observation of Asian dust events of April 1998 in East Asia, *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**(16), 18345~18359.
- 9 邱新法、曾燕、缪启龙,我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径,地理学报,2001, **56**(3), 316~322.
- 10 全林生、时少英、朱亚芬等,中国沙尘天气变化的时空特征及其气候原因,地理学报,2001, **56**(4), 477~485.
- 11 周秀骥、徐祥德、颜鹏等,2000年春季沙尘暴动力学特征,中国科学(D辑),2002, **32**(4), 327~334.
- 12 王式功、王金艳、周自江等,中国沙尘天气的区域特征,地理学报,2003, **58**(2), 193~200.
- 13 Ono, Y., T. Naruse, M. Ikeya et al., Origin and derived courses of colian dust quartz deposited during marine

isotope stage 2 in East Asia, suggested by ESR signal intensity, *Global and Planetary Change*, 1998, **18**, 129~135.

14 杨青、何清, 日本在沙尘暴方面的研究进展, 新疆气象, 2002, **25** (3), 1~4.

15 刘毅、任丽新、周乐义等, 一次黄沙输送过程的数值模拟研究, 大气科学, 1998, **22** (6), 905~912.

16 Rea, D. K., H. Snoeckx, and L. H. Joseph, Late Cenozoic Aeolian deposition in the northern Pacific: Asian drying, Tibet uplift, and cooling of the Northern Hemisphere, *Palaeoceanography*, 1998, **13**, 215~224.

17 Fang Xiaomin, The origin and provenance of the Malan loess along the eastern margin of the Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and its adjacent area, *Sci. China (Series B)*, 1995, **38** (7), 876~887.

18 方小敏、陈富斌、施雅风等, 甘孜黄土与青藏高原冰冻圈演化, 科学通报, 1996, **41** (20), 1865~1867.

19 方小敏、李吉均、Van der Voo R, 西秦岭黄土的形成时代及与物源区关系探讨, 科学通报, 1999, **44** (7), 779~782.

20 Fang Xiaomin, Li Jijun, and Van der Voo R., Paleomagnetic/rock-magnetic and grain size evidence for intensified Asian atmospheric circulation since 800 kyr, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1999, **165**, 129~144.

21 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.

22 Youngsin Chun, Kyung-On Boo, Jiyoung Kim et al., Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea, *J. Geophys. Res.*, 2001, **106** (16), 18461~18469.

23 汤懋苍、高晓清、张林源等, 青藏高原对西部环境演变的作用, 秦大河编: 中国西部环境演变评估—中国西部环境特征及演变, 北京: 科学出版社, 2002, 157~160.

24 方小敏、吕连清、杨胜利等, 昆仑山黄土与中国西部沙漠发育和高原隆升, 中国科学 (D 辑), 2001, **31**, 177~184.

25 牛生杰、章澄昌, 贺兰山地区沙尘暴沙尘起动和垂直输送物理因子的综合研究, 气象学报, 2002, **60** (2), 194~204.

26 <http://info.nies.go.jp:8094/AsiaNet/fuku-u/home/fuku-u/index.html>.

Monthly Temporal-Spatial Distribution of Sandstorms in China as Well as the Origin of Kosa in Japan and Korea

Song Lianchun^{1,2)}, Han Yongxiang^{2,3)}, Zhang Qiang², Xi Xiaoxia³, and Ye Yanhua²

- 1) (Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)
- 2) (Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020)
- 3) (Department of Geography, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

Abstract Based on the available observation data from 681 meteorological stations in China during 1961—2000, the monthly temporal-spatial distribution of sandstorms indicates that sandstorms occur most frequently in the Tibetan Plateau (Qinghai-Xizang Plateau) and the arid and semi-arid areas in northern China. The center of sandstorms is in the Tibetan Plateau and gradually moves northward from December to March, however the center is in northern China during April to June and the most areas of sandstorms happen in April. Contrast of the monthly temporal-spatial distributions of sandstorms among China, Japan, and Korea shows that, in winter and spring, the majority of KOSA (yellow sand) in Japan, and Korea derive from the Tibetan Plateau and northern China respectively. And part of KOSA comes from the Qiangtang Plateau in spring as well. Sandstorms occur in different altitudes between the Tibetan Plateau and northern China, especially in springtime, the dust is transported by the vortex system in lower levels and by the planet westerlies in upper levels, which is one of the main causes of multi-layer structure of KOSA in Japan and Korea.

Key words: Tibetan Plateau; sandstorm; KOSA; long-distance transport; multi-layered structure

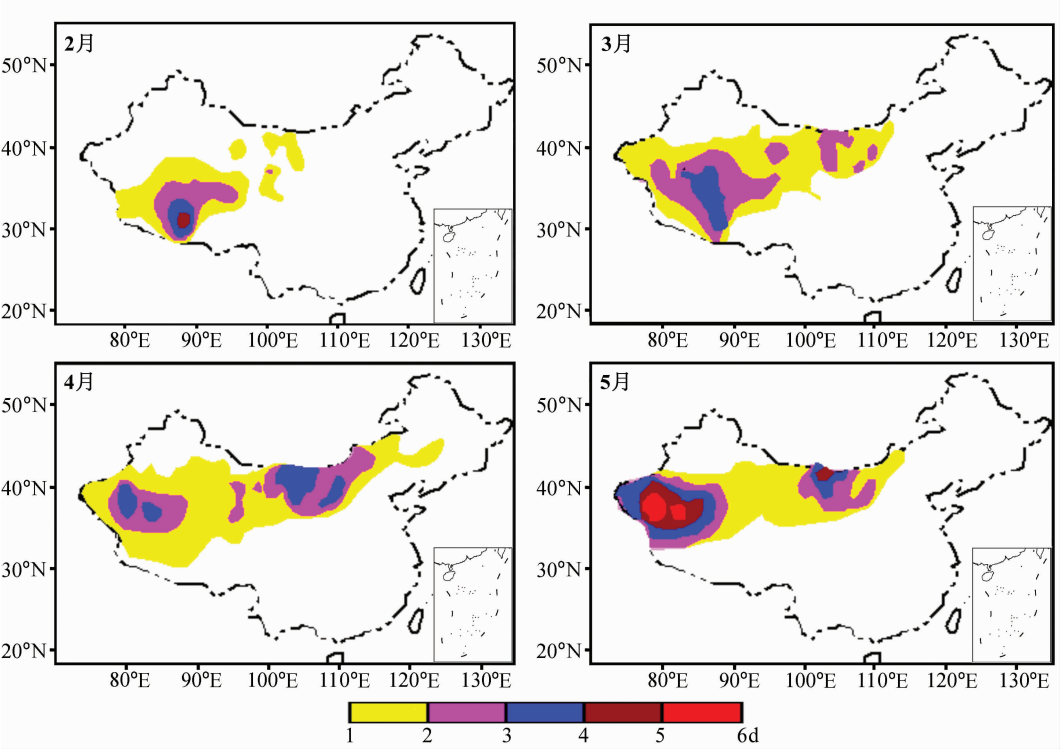


图 1 中国沙尘暴各月时间分布与空间分布图

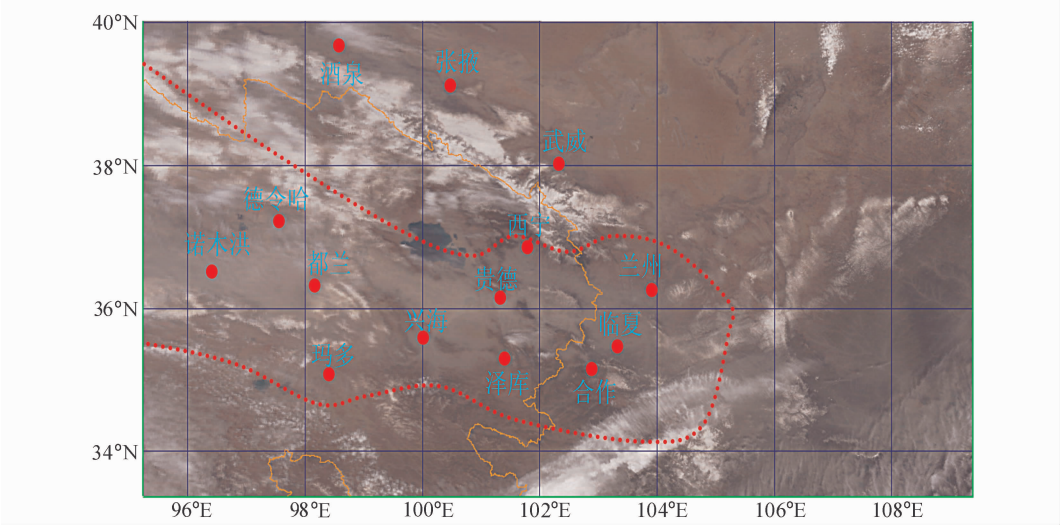


图 5 2003 年 4 月 10 日 12 时 MODIS 观测的青藏高原北部沙尘向下游传输的图片