

河套地区春季扬沙天气影响因子的初步研究^{*}

柏晶瑜

(中国气象科学研究院, 北京, 100081; 南京气象学院, 南京, 210044)

于淑秋

(中国气象科学研究院, 北京, 100081)

摘 要

通过对河套地区扬沙日数、冷空气活动及固定地段土壤湿度的研究, 探讨了冷空气活动和土壤湿度对河套地区春季扬沙天气频次的影响。结果表明, 春季大范围的冷空气活动提供了重要的扰动能量; 同时, 强冷空气活动较大的风速, 为扬沙天气的出现提供了动力条件; 土壤湿度偏小、土壤干燥疏松也是河套地区扬沙频繁发生的重要原因。
关键词: 河套扬沙, 冷空气活动, 土壤湿度。

1 引 言

根据气象观测规范定义, 沙尘天气分为扬沙、沙尘暴和浮尘 3 类^[1]。在中国北方, 沙尘天气多发生的干旱和半干旱地区^[2], 受荒漠化影响和危害比较严重, 地表多为沙地和旱地, 特别是塔克拉玛干等大沙漠, 以及散布在黄河河套、青藏高原、蒙古高原的沙地为沙尘暴天气的出现提供了极为丰富的物质源, 大风过境, 容易形成沙尘天气。

针对中国北方沙尘暴的气候特征, 中外学者已经作了不少研究^[3~10], 但沙尘暴是小概率的极端天气气候事件, 样本事件较少, 容易受到零值下限的影响, 不利于应用一些优秀的近代统计学方法进行直接分析。相比之下, 和沙尘暴形成机理相近的扬沙由于样本事件的明显增多, 零值下限的影响显著减小^①。因此本文专门针对扬沙天气进行分析, 以期弥补目前沙尘暴研究中的不足。

扬沙是指由于风力较大, 将地面沙尘吹起, 使空气混浊, 水平能见度在 1~10 km。虽在强度上不及沙尘暴, 多为局地 and 近距离起沙, 但它们的动力和热力机制是相同的。研究表明^[11], 扬沙和沙尘暴天气的发生一般需要有两个条件: 足够强劲持久的风力

和地面丰富的松散干燥的沙尘, 即“风”和“沙尘”是形成沙尘天气过程的两个主要因素。

黄河河套地区属中纬度干旱和半干旱区, 内有乌兰布和、库布齐等沙漠和沙地, 同时又是影响中国的冷空气中路又称西北路径的必经之地^[12], 多大风天气, 是中国扬沙天气的主要多发中心之一^[2]。该区域也是影响中国东部地区最主要的沙尘源地之一^[13, 14], 因此, 本文着眼于河套地区扬沙天气的研究, 并探讨冷空气活动、土壤湿度等影响因子与扬沙“起沙”动力作用的相互联系及其区域特征。

2 春季中国北方扬沙天气资料和概况

文中所用资料包括: 1961~2001 年中国扬沙日数; 1980~2001 年中国北方 61 个农业气象站固定地段逐旬土壤湿度; 1961~2000 年河套地区 27 个站 14 时风速; 1960~2000 年中国 600 个站逐日气温; 1961~2000 年春季影响中国北方的冷空气活动过程资料。除冷空气活动过程资料来自国家气候中心气候业务产品外, 其他资料取自国家气象中心气象资料室, 所有资料均通过严格的质量检查, 资料的完整性和质量很好。

利用中国北方 281 个站的扬沙日数资料, 统计

^{*} 初稿时间: 2003 年 5 月 26 日; 修改稿时间: 2003 年 8 月 4 日。
资助课题: 国家 973 项目 (G1999045700) 和“我国沙尘暴检测—预报及影响评估准业务化系统”。
① 周自江等. 沙尘暴常规观测资料中的几个统计学问题. 待发表。

了35°N 以北地区 1961~ 2000 年春季扬沙出现的平均状况。结果表明, 春季河套地区的扬沙日数较多, 区域内大部分地区平均每年春季的扬沙天气在 15 次以上, 部分地区超过 30 次, 几乎与南疆盆地地区的扬沙日数相当。

对河套地区 27 个站 1961~ 2000 年春季扬沙日数统计表明, 20 世纪 60 和 70 年代春季该地区扬沙日数较多, 80 和 90 年代扬沙日数比 60 和 70 年代明显减少。盐池是该地区春季扬沙日数的高频中心, 每年春季达平均 40 d, 而且它与河套其他 26 个站扬沙日数相关系数也较高(图略), 达到了 95% 的信度, 即盐池扬沙日数变化在河套地区具有一定代表性。因此本文还将重点分析河套地区盐池扬沙天气特征及其影响因子。

3 冷空气活动的影响

一般情况下, 中国的沙尘天气均由春季强冷空气活动造成^[13], 春季的冷空气活动可能是沙尘天气频繁的直接原因。研究指出^[15], 中国所有的沙尘天气都与冷空气爆发密切相关, 通过对 40 a 资料的统计, 41% 的沙尘天气出现与影响中国的中路(西北路)冷空气活动有关。

文中利用国家气候中心短期气候预测室提供的春季全国性和北方类冷空气活动过程, 研究了影响中国北方的冷空气活动对河套地区扬沙出现的影响。利用 1961~ 2000 年春季中国 600 个站百叶箱气温资料, 对河套地区春季扬沙日数与气温进行相关分析(图略), 两者为负相关, 即气温偏低, 冷空气活动较为频繁, 则扬沙日数就偏多, 也就是说, 冷空气活动及其大气边界层热力结构对扬沙起沙有重要的动力影响效应。

1961~ 2000 年河套地区春季扬沙日数与气温距平变化曲线表明(图 1), 扬沙日数距平与气温距平的变化趋势是相反的, 相关系数达到了 90% 的信

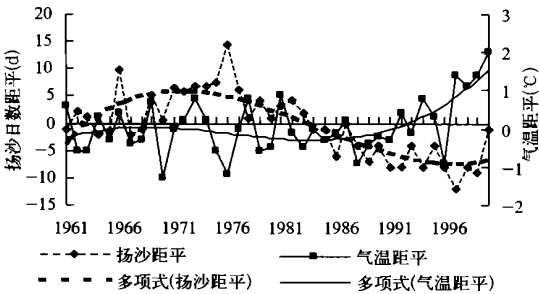


图 1 1961~ 2000 年春季河套地区扬沙日数与气温距平变化曲线

度, 即气温偏低, 扬沙出现的日数就相对偏多, 这与前面的相关分析的结果也是完全一致的。即春季冷空气活动异常为沙尘天气的发生、发展提供了重要的动力条件。

表 1 影响中国北方强冷空气活动频数与盐池局地

强降温、扬沙频数的相关关系			
月份	影响中国北方强冷空气活动频数	盐池强降温频数	盐池出现扬沙天气频数
3	24	17	20
4	22	20	22
5	13	12	9

这里还对影响中国北方的强冷空气活动与盐池扬沙日数进行了分析(表 1)。1961~ 2000 年春季影响中国北方的强冷空气活动过程共有 59 次, 其中仅有 2 次盐池地区无明显降温过程, 57 次均有降温(3 d 连续降温 5℃以上), 而且强降温为 49 次(3 d 连续降温 8~ 10℃), 可见影响中国北方的强冷空气活动对河套地区有显著影响。其中 51 次强冷空气活动过程中, 盐池有扬沙天气出现占 86.4%。

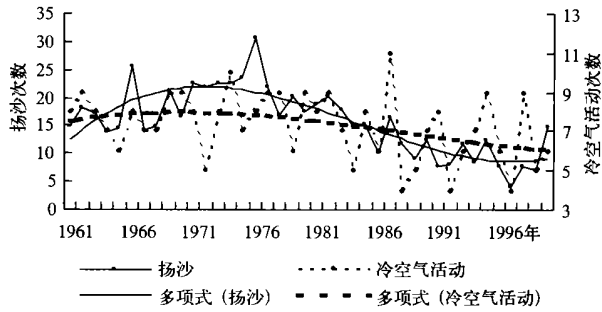


图 2 1961~ 2000 年春季影响中国北方冷空气活动次数与河套地区平均扬沙日数变化曲线

通过对春季影响中国北方冷空气活动次数和春季河套地区扬沙日数的分析(图 2)可以看到, 扬沙日数虽比冷空气活动次数变化幅度大, 但扬沙日数与冷空气活动都是呈下降的趋势, 20 世纪 60 和 70 年代冷空气活动总次数均近 80 次, 80 年代为 70 次, 90 年代为 64 次, 其中 1991~ 1997 年年平均仅为 6 次, 低于 40 a 的平均水平, 而且春季冷空气活动次数与河套地区的春季扬沙日数相关系数为 0.43, 达到 99% 的信度。

周秀骥等^[13]研究指出沙尘暴的形成是沙粒运动动力学问题。沙尘暴动力学模型包括起沙与传输动力机制, 即沙尘的吹扬、沙粒的起动是沙尘暴动力模型的关键问题之一。沙粒的起动亦与边界层湍流运

动相关, 这些边界层动力作用可来自冷空气锋面附近动力抬升及其地面水平强风场的动力。

由此可见, 近地层风速是扬沙或沙尘暴起沙重要动力条件。通过相关分析, 春季影响中国北方的冷空气活动次数与河套地区春季的平均风速相关系数为 0.53, 达到 99.9% 的信度。研究结果表明^[14],

沙尘暴或扬沙发生时间大多集中在中午至傍晚, 夜间至午前相对较少。因此这里重点分析 14 时风速与扬沙天气的关系。统计结果表明, 河套地区春季扬沙日数与该地区春季 14 时平均风速的相关系数为 0.5, 达到了 99.9% 的信度。可见, 河套地区 14 时风速变化与扬沙天气相关密切。

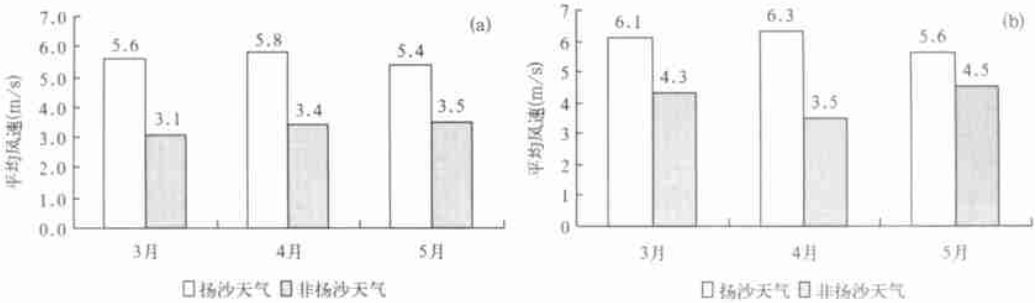


图3 1961~2000年春季盐池不同情况14时平均风速比较
(a. 平均风速比较, b. 强冷空气活动平均风速比较)

通过对盐池 1961~2000 年春季扬沙天气(包含强冷空气活动)与非扬沙天气的 14 时的风速分别进行统计, 发现扬沙天气的平均风速高于非扬沙天气的平均风速(图 3a), 两者平均风速相差 2.3 m/s, 而有强冷空气活动的扬沙天气 14 时平均风速为 6.0 m/s(图 3b), 比扬沙天气 14 时平均风速高 0.4 m/s, 有强冷空气活动非扬沙天气 14 时平均风速为 4.1 m/s。这表明, 强冷空气活动为扬沙天气的出现提供了更为有利的动力条件。但并非所有的强冷空气活动均有扬沙天气出现, 这一方面与风速有关, 另一方面也与下垫面状况有密切联系(见 4 节)。

冷空气活动不是局地的, 而是大范围的。研究表明^[12]: 冷空气入侵中国的中路路径(西北路)是冷空气从中高纬度地区经蒙古国到达中国河套附近南下, 直达长江中下游及江南地区。

这里选取河套地区扬沙偏多年, 共 5 a(1966, 1969, 1973, 1976, 1978 年)。分析 4 月的 850 hPa 经向风距平扰动场, 该扰动场呈类似“波列”特征(图 4), 此“波列”路径恰与春季冷空气中路路径基本相吻合。这一结果表明大范围冷空气活动对河套地区有重要影响, 有利于该地区沙尘起动动力机制的形成。

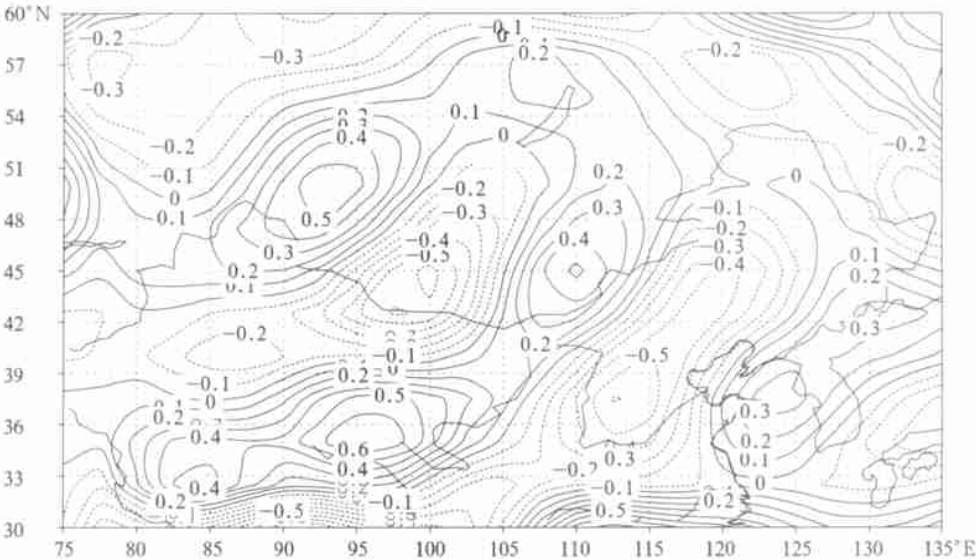


图4 河套扬沙偏多年4月850 hPa经向风距平扰动场

不仅如此, 河套地区春季扬沙日数序列与 850 hPa 相对湿度及经向水汽输送场的相关分析也表明, 蒙古国西部为“干空气”或“干空气输送”高相关区; 而且, 河套地区扬沙日数与 850 hPa 经向风场在蒙古国西部呈负高相关区, 即该地区偏北风活动对河套地区扬沙出现有重要影响。同时, 中高纬度地区动能及冷空气活动与河套扬沙日数呈显著正相关, 其描述出春季中高纬度地区向河套地区扰动动能的输送及其转化, 满足了扬沙天气动力条件, 也是春季河套地区扬沙频繁出现的重要成因之一。

4 土壤湿度的影响

沙尘的吹扬与地表土壤特征、植被和地表风应力有关。天气系统、地形走向、地表覆被状况和降水分布等都对扬沙的地理分布有着显著影响。野外风洞试验^[16]表明, 起动临界摩擦速度与下垫面土壤特征有很大关系, 对不同土壤特征和下垫面特征, 起动摩擦速度可在 20~ 150 cm/s 之间变化。那么, 河套地区在风力满足的条件下, 下垫面状况的影响又如何呢?

利用中国北方 61 个农业气象站 1980~ 2001 年

固定地段旬 0~ 10 cm 土壤湿度资料, 分析土壤湿度的变化对扬沙天气出现的影响。土壤湿度^[17]即土壤的干湿程度。土壤湿度用土壤重量含水百分率表示, 即

$$\text{土壤重量含水百分率} = (\text{土壤含水量}(\text{g}) / \text{干土重量}(\text{g})) \times 100\%。$$

虽然不同站点土壤湿度的变化很大, 但盐池与河套地区其他农业站(固原除外)春季土壤湿度的相关系数均达到了 90% 的信度, 即河套地区土壤湿度变化趋势是一致的, 该站春季平均土壤湿度为 3.9% (g/g)。下面来看一下 1990~ 2001 年盐池春季月扬沙日数与土壤湿度距平变化情况(图 5a), 盐池扬沙日数与土壤湿度的变化趋势是相反的; 而且扬沙日数与土壤湿度相关系数为 -0.48, 即土壤湿度偏低, 土壤较为干燥, 扬沙出现的日数就相对偏多。

对 1992~ 2001 年 5 月盐池干土层厚度与同期扬沙频次的分析(图 5b)可以看到, 干土层较厚, 扬沙频次也相对较多, 这与文献[2]和[13]研究结果是一致的, 干燥疏松的土壤, 其下垫面的临界摩擦速度明显小于紧土层下垫面, 容易被风吹起形成沙尘天气。

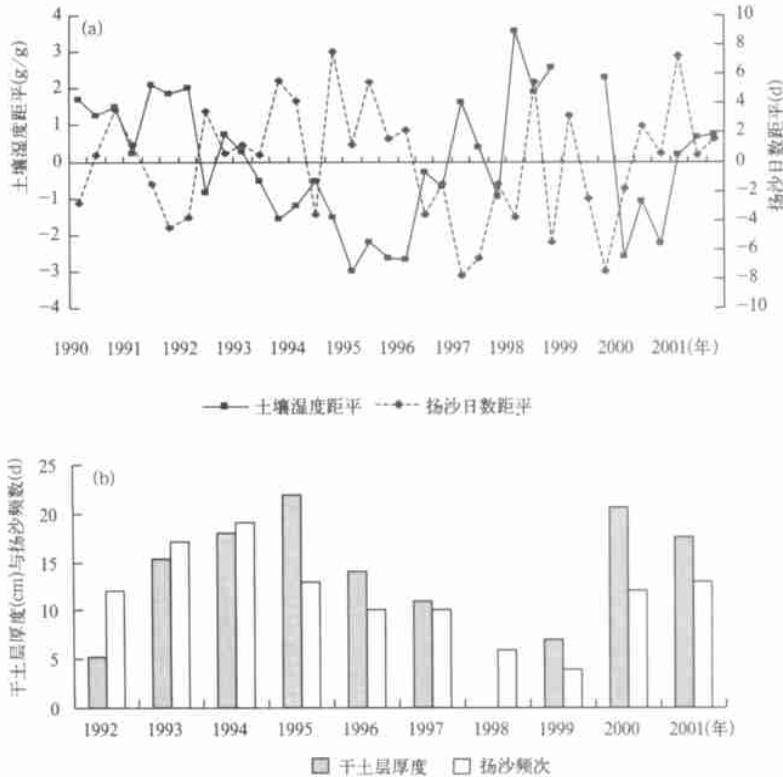


图 5 盐池下垫面变化与扬沙日数

(a. 1990~ 2001 年春季盐池扬沙日数与土壤湿度距平变化,
b. 1992~ 2001 年 5 月盐池干土层厚度与扬沙日数变化)

前一节中分析表明,强冷空气活动有利于扬沙天气出现,风速是重要的影响因子之一,但下垫面影响也十分重要。比如,盐池 1993 年 3 月中旬一次降温过程,风速超过 7.0 m/s,无沙尘天气,其土壤湿度为 4.6 % (g/g)。由于土壤湿度资料相对较短,本文比较了 1961~ 2000 年春季盐池 14 时风速不低于 6.0 m/s 而无扬沙,同时当日有降水的日数分布情况(表 2),其中降水日数占 32.5%。即春季降水,也就是土壤干湿程度对扬沙天气的出现有一定的影响。

表 2 1961~ 2000 年春季盐池 14 时风速 ≥ 6.0 m/s
总日数与降水日数

月份	14 时风速 ≥ 6.0 m/s 总日数	降水日数	降水日数 / 总日数
3	80	24	30%
4	70	26	37%
5	81	25	31%

土壤湿度的偏低一方面与河套地区的春季降水较少有关,同时也与这一地区的植被稀少,地表裸露有关。伴随冷空气活动,从中高纬度地区(高相关区)向河套地区的“干空气输送”,不仅为扬沙天气的出现提供了动力条件,而且“干空气”的远距离输送,通过改变河套地区土壤水分的蒸发状况,使地表土

参考文献

1 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979. 21~ 27
2 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
3 Littmann T. Dust storm frequency in Asia: Climatic control and variability. Int J Climat, 1991, 11: 393~ 412.
4 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. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 86~ 94
5 徐启运, 胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征. 应用气象学报, 1996, 7(4): 479~ 482
6 杨东贞, 房秀梅, 李兴生. 我国北方沙尘暴变化趋势的分析. 应用气象学报, 1998, 9(3): 352~ 358
7 张德二, 陆风. 我国北方的冬季沙尘暴. 第四纪研究, 1999, 19(5): 441~ 447
8 牛生杰, 孙继明, 桑建人. 贺兰山地区沙尘暴发生次数的变化趋势. 中国沙漠, 2000, 20(1): 55~ 58
9 牛生杰, 章澄昌. 贺兰山地区沙尘暴若干问题的观测研究. 气象学报, 2001, 59(2): 196~ 205
10 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
11 方宗义, 朱福康, 江吉喜等. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997: 1~ 158
12 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1981. 168~ 169
13 周秀骥, 徐祥德, 顾鹏等. 2000 年春季沙尘暴动力学特征, 中国科学(D 辑), 2002, 32(4): 327~ 334
14 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴气候特征研究. 应用气象学报, 2002, 13(2): 193~ 200
15 Jimin Sun, M ingyng Zhang, Tungsheng Liu. Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960~ 1999: Relations to source area and climate. Geophys Res, 2001, 106(10): 10325~ 10333
16 Gillette D A, Adams J, Endo A, et al. Threshold velocities for input of soil particles into air by desert soils. J Geophys Res, 1980, 85: 5621~ 5630
17 《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典. 北京: 气象出版社, 1994. 634pp

壤湿度降低,导致该地区沙尘起动的临界摩擦速度减小,从而有利于扬沙天气的出现。

5 小结与讨论

上述分析表明:
(1) 春季冷空气活动对河套地区局地扬沙影响十分显著,大范围的冷空气活动为该地区提供了重要的扰动能量转化,满足其动力条件;
(2) 春季河套扬沙的出现与地面风速关系密切,相关系数达 0.5 以上,冷空气活动时较高的风速也为春季河套地区扬沙出现提供了有利的动力条件;
(3) 春季河套地区土壤湿度偏小,干土层较厚,土壤干燥疏松,有利于沙尘起动的临界摩擦速度降低,是河套地区扬沙频繁发生的重要原因;同时伴随冷空气活动的“干空气”输送,更加剧了河套地表土壤湿度降低,有利于河套扬沙天气的发生。

扬沙天气出现的原因十分复杂,这里只是探讨了冷空气活动、土壤湿度对河套地区扬沙天气出现的影响,其他原因还需进一步研究。

致谢: 本文在资料统计过程中得到了中国国家气象中心周自江先生和宋文玲女士的大力帮助,谨此表示感谢!

PRELIMINARY RESEARCH ON EFFECT FACTORS OF BLOWING-SAND WEATHER IN SPRING IN MID-REACHES OF THE HUANGHE RIVER

Bai Jingyu

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081; Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Yu Shuqiu

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Study is undertaken of cold air activities and soil moistures effected on the during blowing-sand frequency (referred as BSF hereinafter) in terms of nationwide blowing-sand frequency during 1961—2001, 61 stations soil moisture during 1980—2001, 14:00 (BT) wind speed of 27 stations in Mid-Reaches of the Huanghe River during 1961—2000, nationwide 600 stations daily temperature during 1960—2000, cold air activities (referred as CAA hereinafter) which affected the north China in spring during 1961—2000. Evidence shows that the cold air activities make for outbreaks of blowing-sand in spring, and also lower soil moistures result in outbreaks of blowing-sand.

Mid-reaches of the Huanghe River(referred as MRHR hereinafter) locate in the northwest route of cold air outbreaks, the outbreaks along this route cause dust storms in spring frequently. Results suggest that lower temperature, higher BSF in spring, i. e. , air temperature is one of factors in favor of the blowing-sand outbreaks. Yanchi is one station in the target region, its meteorological elements are in highly relationship with the other target stations. In spring, 59 strong cold air activities in north China result in 51 blowing-sand outbreaks in Yanchi. Curves of BSF of MRHR and CAA in the north China indicate that the former with high amplitude has the same tendency of CAA, less CAA during 1980s and 1990s is one cause in decrease of BSF in spring. High wind speed is one signature of CAA, which mainly contributes to blowing-sand outbreaks. It is well known that the land surface is much important to blowing-sand outbreaks. MRHR belongs to mid-latitude arid/semi-arid area, lower soil moisture in spring due to the less precipitation and less vegetation. Outcome indicates that higher BSF is in relation with the lower moisture, as well as the thicker dry soil depth which is in favor of blowing-sand outbreaks.

In general, frequent cold air activities and lower soil moisture in spring exert notable impacts on high blowing-sand frequency in MRHR.

Key words: Mid-reaches of the Huanghe River, Blowing-sand frequency, Cold air activities, Soil moisture.