

近 50 年首都圈沙尘暴的变化趋势及其与气温、降水和风的关系

陈玉福¹, 唐海萍²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 利用首都圈地区 11 个基本和基准气象台站近 50 年的观测资料, 给出了这 11 个台站自建站至 2000 年沙尘暴发生日数的年际变化序列, 并分析了其与气温、降水和风的关系。结果表明: 首都圈沙尘暴具有很大的时空差异, 西北部沙尘暴日数明显多于东南部。沙尘暴发生日数的年际波动很大, 同一站点最多年份与最少年份相差几十倍。二连浩特、阿巴嘎旗、锡林浩特、丰宁、张家口、怀来和北京等 7 个气象站自建站至 2000 年的沙尘暴日数呈显著的下降趋势, 其余 4 个气象站没有显著的上升或下降趋势。首都圈地区沙尘暴季节性显著, 多集中在春季。与沙尘暴日数相关性最强的是起沙风日数, 有 6 个站点的沙尘暴日数同起沙风日数呈显著的正相关; 其次是气温, 有 3~4 个站点的沙尘暴日数与年均温、冬季均温和春季均温呈显著负相关; 降水量与沙尘暴日数的相关性最弱, 只有朱日和 1 个站点与春季降水量呈显著负相关。另外有 4 个站点的沙尘暴日数与气温、降水和风均没有显著的相关关系。根据上述研究结果就首都圈沙尘暴的时空变异性及其与气候因素的关系等问题进行了讨论。

关键词: 沙尘暴; 气温; 降水; 风; 首都圈

中图分类号: X14 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)01-0032-06

Dust Storms Trend in the Capital Circle of China over the Past 50 Years and Its Correlation with Temperature, Precipitation and Wind

CHEN Yu-fu¹, TANG Hai-ping²

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The trends of number of dust storm days of the selected 11 meteorological stations from their established year to 2000 as well as their correlations with temperature, precipitation and wind are revealed. The number of dust storm days of the Capital Circle of China is distinctly variable in space and time. The numbers of dust storm days of the western area are far more than those of the eastern area. The interannual variability of number of dust storm days is remarkable. The number of dust storm days of the following 7 stations, Eriianhaote, Abaga, Xilinhaote, Fengning, Zhangjiakou, Huailai and Beijing, declined along the past decades, but those of the other four stations had no significant upward or downward trends. There is a marked seasonality of the number of dust storm days, and the maximum was in April. The correlation between number of dust storm days and number of days of mean wind velocity > 5 m/s, which is critical wind velocity to entrain sand into the air, was strongest among the three climatic factor. There were significant positive correlations between the number of dust storm days and number of days of mean wind velocity > 5 m/s in 6 stations. The second strongest climatic factor correlated with the number of dust storm days is temperature. There are significant negative correlations between the number of dust storm days and mean annual temperature, mean winter temperature, mean spring temperature in 3 or 4 stations. The correlation between the number of dust storm days and precipitation is weakest. Only one station, Zhurihe, shows significant negative correlation between the number of dust storm days and spring rainfall. There are 4 stations whose number of dust storm days don't significantly correlate with the climate. In the end, the spatial-temporal variability of dust storms and its relation with climate in the Capital Circle of China were discussed thoroughly.

Key words: dust storms; temperature, precipitation; wind; Capital Circle of China

沙尘暴(指水平能见度小于 1 km 的风沙天气)是起源于沙漠及其邻近地区,且影响全球环境的气候现象^[1~3]。一次沙尘天气过程的影响范围可达数千 km²^[4]。沙尘暴对环境的影响是多方面的,尽管它对全球环境演变和生态系统有很大的贡献,但它对人类而言无疑是一种灾害,这种灾害自古已有,绵延至今^[5,6]。

中国北方地区即为世界沙尘暴多发区之一^[1],近 10 年我国政府和科学工作者对这一问题给予了高度重视^[2]。在以往的研究中,人们较为关注沙尘

收稿日期: 2004-02-15; 修订日期: 2004-04-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40201006); 国家科技攻关项目(FS2000-007)

作者简介: 陈玉福(1968~), 博士, 副研究员, 研究领域为景观生态学。E-mail: chenyf@igsnr.ac.cn

暴的个例分析^[7~11]和全国尺度上的时空特征^[12~14],而对区域尺度上的时空特征及影响沙尘暴发生频率的气候因素研究较少.然而,地理区域不同,其沙尘暴和气候特点也各有不同,因此,特定的区域和气候背景对于认识沙尘暴的发生规律是非常重要的,因为沙尘暴本质上是发生在特定区域的一种自然现象^[3].

已有的研究表明,自有气象观测记录以来,首都圈一直是我国强沙尘暴中心之一^[16].但关于该区沙尘暴在空间和时间上的变化特征及其与气候因素的关系,尚缺乏清晰和深刻的认识.本文利用首都圈地区 11 个基本和基准气象台站近 50a 的观测资料,探讨了该区沙尘暴的变化趋势及其与气温、降水和风的关系,以期澄清关于首都圈沙尘暴的一些模糊认识,加深对沙尘暴的时空特征和成因机制的理解.

1 研究区域与研究方法

在本研究中,首都圈是指国家科技部“十五”科技攻关计划中划定的影响首都的主要沙尘源区,包括北京市、河北省张家口市、承德市和内蒙古自治区锡林郭勒盟的部分地区,共 47 个县、旗、市,总面积约为 23 万 km²(图 1).

本文所用的数据是由国家气象局气候资料中心提供的近 50 年来的相关气候观测资料,包括首都圈

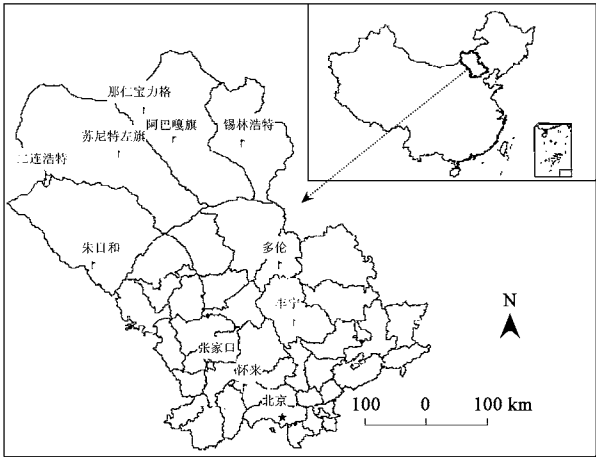


图 1 首都圈 11 个基本和基准气象台站位置
Fig. 1 Location map of the 11 basic and benchmark meteorological stations of the Capital Circle of China

范围内的二连浩特、那仁宝力格、阿巴嘎旗、苏尼特左旗、朱日和、锡林浩特、多伦、丰宁、张家口、怀来和北京共 11 个基本站和基准站自建站至 2000 年的沙尘暴记录(月日数),日平均风速以及 1961~2000 年月降水和月均温.这 11 个气象台站信息和地理位置见表 1 和图 1,从表 1 中可以看出,数据记录时间最长的是北京站,完整年记录为 1951~2000 年,共 50a,最短的是那仁宝力格,完整年记录为 1958~2000 年,共 43a.

表 1 首都圈 11 个基本和基准气象台站信息

Table 1 Information of the 11 basic and benchmark meteorological stations in the Capital Circle in China							
区站号	站名	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m	观测年限	台站类型	备注
53068	二连浩特	111.97	43.65	964.7	1955-10~2000-12	基本站	
53083	那仁宝力格	114.15	44.62	1181.6	1957-12~2000-12	基本站	
53192	阿巴嘎旗	114.95	44.02	1126.1	1952-06~2000-12	基准站	1992 年改基准站
53195	苏尼特左旗	113.63	43.87	1036.7	1955-12~2000-12	基本站	
53276	朱日和	112.9	42.4	1150.8	1952-05~2000-12	基准站	1987 年改基准站
54102	锡林浩特	116.07	43.95	989.5	1952-06~2000-12	基本站	
54208	多伦	116.47	42.18	1245.4	1952-06~2000-12	基准站	1991 年改基准站
54308	丰宁	116.63	41.22	661.2	1956-01~2000-12	基准站	1993 年改基准站
54401	张家口	114.88	40.78	724.2	1956-01~2000-12	基本站	
54405	怀来	115.5	40.4	536.8	1954-01~2000-12	基本站	
54511	北京	116.47	39.8	31.3	1951-01~2000-12	基本站	

本研究所用的统计方法是线性回归和 Spearman 秩相关分析,首先将年沙尘暴日数与时间进行线性回归,经统计检验,得出沙尘暴的变化趋势;然后,将年沙尘暴日数与年降水量、冬季降水量(上年 11 月至当年 2 月)、春季降水量(3~5 月)、年均温、冬季均温(上年 11 月至当年 2 月)、春季均温(3~5 月)和年起沙风日数(指平均风速 > 5 m/s 的日

数)^[17]进行 Spearman 秩相关分析,检验它们之间的相关性.另外,为了进一步分析和探讨沙尘暴发生日数同起沙风日数的关系,还对起沙风日数随时间的变化趋势进行了线性回归分析.

2 结果分析

2.1 自建站至 2000 年沙尘暴的变化趋势

图 2 是二连浩特、那仁宝力格、阿巴嘎旗、苏尼特左旗、朱日和、锡林浩特、多伦、丰宁、张家口、怀来和北京等 11 个气象台站自建站至 2000 年逐年的沙尘暴日数。从图 2 可以看出,各气象站沙尘暴的年际波动很大,最多的年份与最少的年份相差几十倍。对

沙尘暴日数随时间变化的线性趋势的统计检验表明,具有显著性下降趋势的有二连浩特、阿巴嘎旗、锡林浩特、丰宁、张家口、怀来和北京等 7 个气象站,其余 4 个气象站的沙尘暴没有显著的上升或下降趋势。

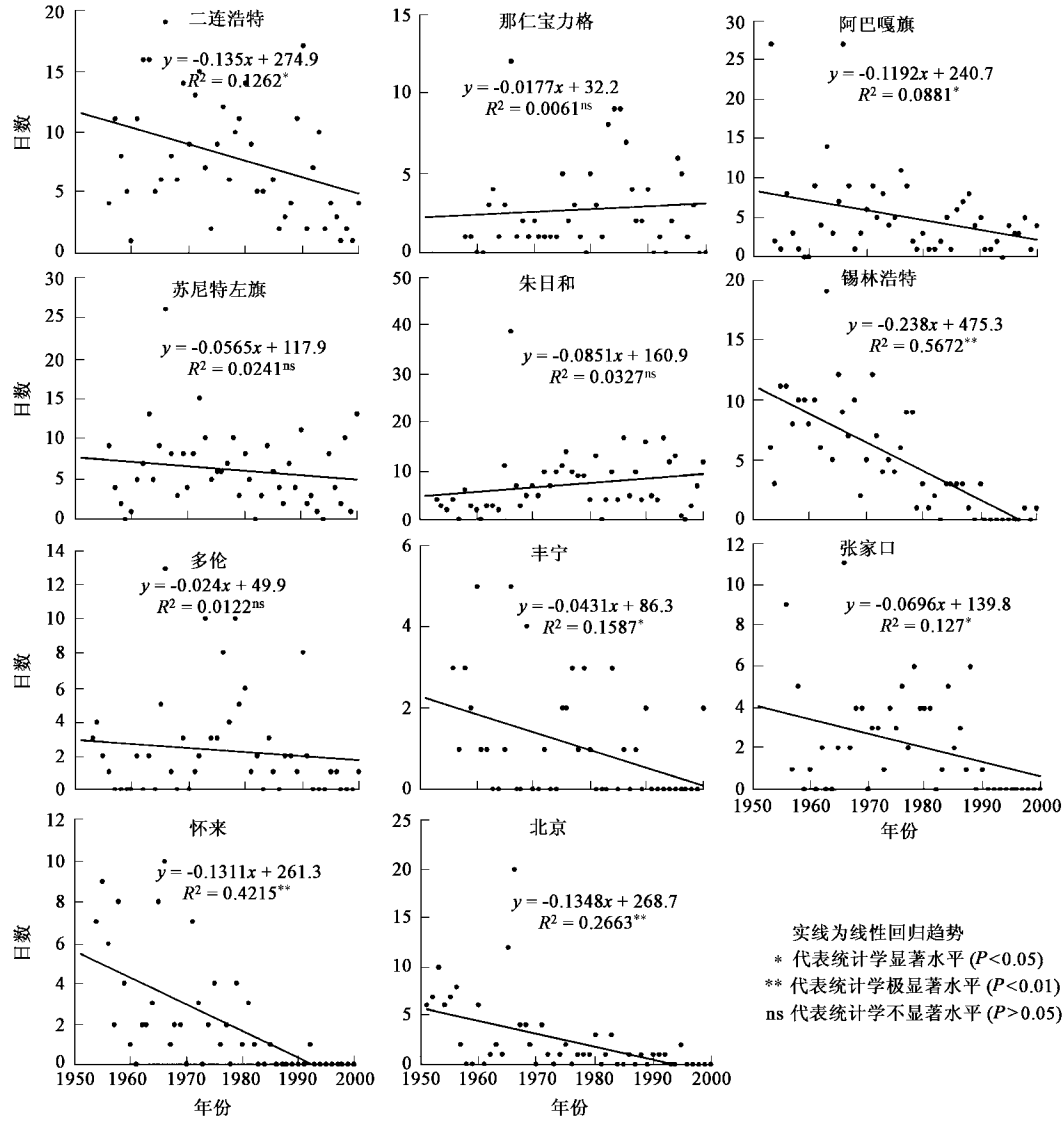


图 2 首都圈 11 个气象台站自建站至 2000 年沙尘暴的变化趋势

Fig.2 The trends of the number of dust storm days of the 11 basic and benchmark meteorological stations of the Capital Circle of China from their established year to 2000

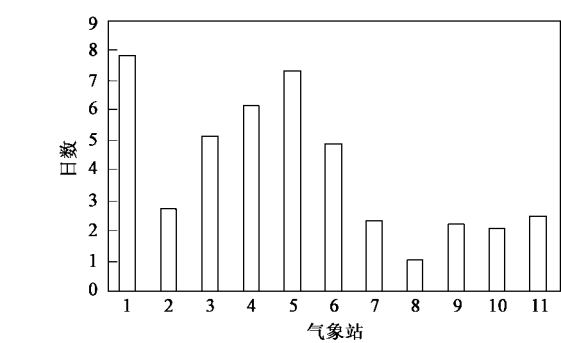
这 11 个气象台站自建站至 2000 年年平均沙尘暴日数见图 3,从图 3 可以看出,各气象站年沙尘暴日数具有很大的差异,西北部站点明显多于东南部站点,其中最多的是二连浩特和朱日和,最少的是丰宁、怀来和北京。

各气象站沙尘暴的发生均具有显著的季节性,集中在春季,出现日数最多的是 3、4、5 月,尤以 4 月

为最高峰(图 4)。

2.2 自建站至 2000 年起沙风日数的变化趋势

图 5 给出了各气象站自建站至 2000 年起沙风日数的变化趋势。从图 5 可以看出,除了朱日和,其他 10 个站点的起沙风日数均呈显著的下降趋势,其中,张家口、怀来、那仁宝力格等地在近几十年内起沙风日数急剧下降。



1. 二连浩特 2. 那仁宝力格 3. 阿巴嘎旗 4. 苏尼特左旗
5. 朱日和 6. 锡林浩特 7. 多伦 8. 丰宁
9. 张家口 10. 怀来 11. 北京

图3 首都圈 11 个气象台站沙尘暴年平均日数
Fig.3 Mean annual numbers of dust storm days of the 11
basic and benchmark meteorological stations of the
Capital Circle of China

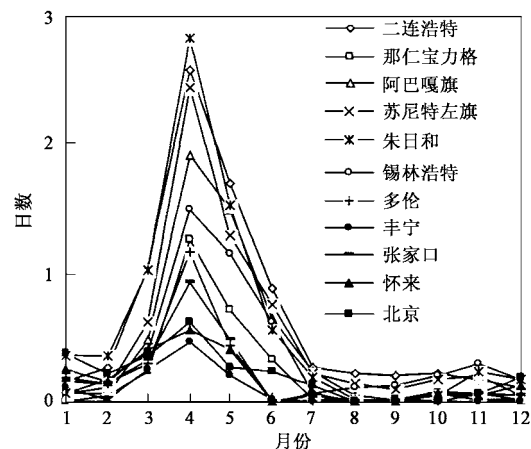


图4 首都圈 11 个气象台站沙尘暴的月平均日数
Fig.4 Mean month numbers of dust storm days of the 11
basic and benchmark meteorological stations of the
Capital Circle of China

2.3 沙尘暴与气温、降水和风的相关性

表 2 是各站沙尘暴与气温、降水和起沙风日数的相关分析结果,其中,二连浩特、阿巴嘎旗、锡林浩特、张家口、怀来和北京等 6 个台站的沙尘暴日数与起沙风日数呈显著的正相关;锡林浩特、张家口、怀来和北京等 4 个台站的沙尘暴日数与年均温呈显著的负相关;锡林浩特、怀来和北京等 3 个台站的沙尘

暴日数与冬季均温呈显著的负相关;张家口、怀来和北京等 3 个台站的沙尘暴日数与春季均温呈显著的负相关;但除了朱日和的沙尘暴日数与春季降水量呈显著负相关外,所有气象站的沙尘暴日数与年降水量和冬季降水量均没有显著的相关关系。那仁宝力格、苏尼特左旗、多伦和丰宁等 4 个站点的沙尘暴日数与上述各气象因子均没有显著的相关性。

表 2 首都圈 11 个气象台站年沙尘暴日数同气温、降水和风的 Spearman 相关分析
Table 2 Spearman correlation between the number of dust storm days and temperature, precipitation and wind in 11
meteorological stations of the Capital Circle of China

站点	年均温	冬季均温	春季均温	年降水量	冬季降水量	春季降水量	起沙风日数
	/℃	/℃	/℃	/mm	/mm	/mm	/d
二连浩特	-0.233	-0.095	-0.205	-0.060	-0.116	-0.208	0.564 ²⁾
那仁宝力格	0.018	0.125	-0.047	-0.028	-0.126	-0.186	0.066
阿巴嘎旗	0.033	0.142	-0.044	-0.004	-0.304	0.061	0.504 ²⁾
苏尼特左旗	0.034	0.201	0.077	0.094	-0.155	0.020	0.288
朱日和	0.027	0.191	-0.091	-0.135	-0.137	-0.422 ²⁾	-0.020
锡林浩特	-0.458 ²⁾	-0.443 ²⁾	-0.207	-0.103	-0.191	0.128	0.545 ²⁾
多伦	0.002	0.213	-0.188	-0.213	-0.181	0.194	0.307
丰宁	-0.165	-0.112	-0.168	-0.226	0.086	-0.054	0.142
张家口	-0.469 ²⁾	-0.279	-0.445 ²⁾	-0.005	0.127	-0.151	0.373 ¹⁾
怀来	-0.509 ²⁾	-0.413 ²⁾	-0.407 ²⁾	-0.017	-0.106	-0.201	0.606 ²⁾
北京	-0.357 ¹⁾	-0.453 ²⁾	-0.360 ¹⁾	-0.138	-0.164	-0.033	0.492 ²⁾

1) 代表统计学显著水平 ($p < 0.05$) 2) 代表统计学极显著水平 ($p < 0.01$)

3 讨论与结论

沙尘暴发生在特定的地理区域,其频率和强度的地区间差异是其突出的特点。在首都圈约 23 万 km^2 的范围内,这种地区间差异就很明显,首都圈西北部内蒙古高原的二连浩特、朱日和等地的沙尘暴

日数远高于东南部坝下和华北平原的张家口、怀来和北京等地。由此可见,沙尘暴的发生频率是与特定区域相联系的,笼统地讲沙尘暴是自然的或是人为的,是上升还是下降,往往很难把事情说清楚。因此,要阐明沙尘暴的变化趋势和成因,必须遵循它的时空差异,明确研究的地理区域和时间尺度。例如,从

全球尺度来看,最强和最大的沙尘暴源地位于远离人烟的大沙漠,沙尘暴的发生受控于纯自然过程,几乎不受人类活动的影响^[3].而在一些局部地区,如

中国的黄土高原、北方农牧交错带和首都圈地区等地,人类活动对沙尘暴发生的频度和强度,却有着很大的影响^[16, 18].

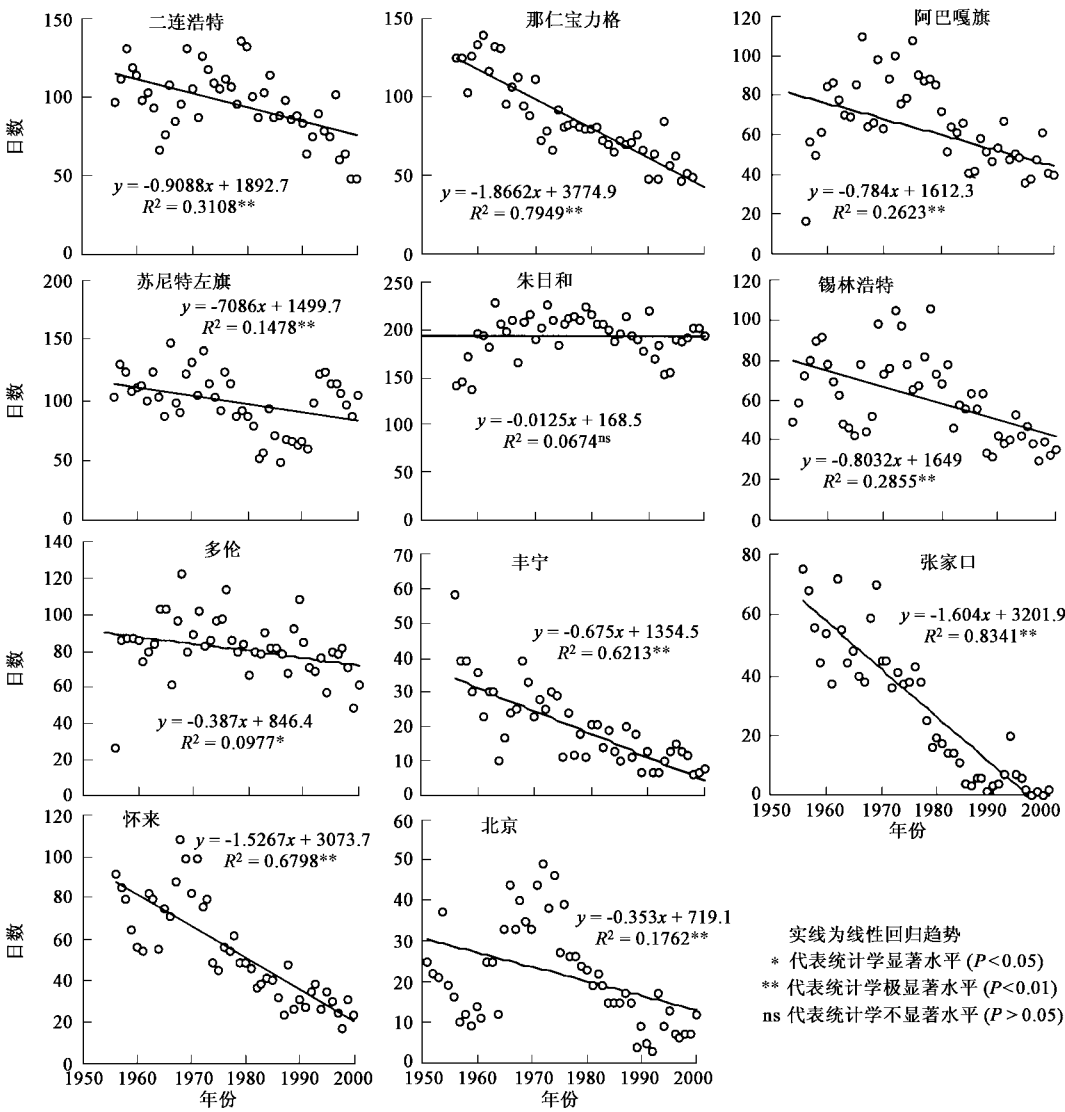


图5 首都圈11个气象台自建站至2000年平均风速>5 m/s的日数

Fig. 5 Mean annual numbers of days of wind velocity > 5 m/s of the 11 basic and benchmark meteorological stations of the Capital Circle of China

从首都圈的这11个气象站近50年的沙尘暴变化情况看,该区沙尘暴没有增加的趋势,多数站点呈下降趋势,这与全国大部分地区同期的变化趋势是相似的^[14, 19, 20].这种下降趋势可能得益于该区起沙风日数的显著性减少,如沙尘暴日数显著减少的二连浩特、阿巴嘎旗、锡林浩特、丰宁、张家口、怀来和北京等站的起沙风日数都有极显著的减少.但那仁宝力格、苏尼特左旗和多伦等站的起沙风日数也呈显著的下降趋势,而它们的沙尘暴日数却没有因此而减少.究其原因,气候因素只是沙尘暴发生的必

要条件之一,并不是唯一决定因素,沙尘暴的发生还取决于地面沙尘源状况^[3, 21].首都圈内具有不同沙尘释放能力的地表覆盖类型对沙尘暴有很大的贡献^[15].因而,沙尘暴变化趋势的地区间差异可能反映了不同地区间荒漠化态势的差异.目前有一些研究表明,首都圈内局部地区20世纪70年代后的荒漠化土地面积呈不断增加的趋势^[22, 23],但关于首都圈内其他很多地区在近几十年里的荒漠化动态还了解甚少,因此,要弄清首都圈沙尘暴发生日数的变化与土地荒漠化之间的关系,还有赖于该区荒漠化

研究的深入开展.另外,尽管首都圈多数站点在过去几十年沙尘暴发生日数的总体趋势是下降的,但这并不意味着此后该区的沙尘暴发生日数也是下降的,实际上,2000 年开始,首都圈沙尘暴发生频率和强度明显增大,引起了广泛关注^[15, 24].

起沙风日数与沙尘暴日数具有很大的相关性,这是容易理解的,因为风是产生沙尘暴的直接动力因素,而气温和降水是沙尘暴产生的背景因素,它们对沙尘暴的影响是间接的.气温与沙尘暴的发生存在着正反 2 种关系,从气温对地面沙尘源状况的影响作用看,升温会增加土壤水分的蒸发散失,造成更加干燥的地表,有利于沙尘暴的形成;而从沙尘暴发生的天气特征来看,由于沙尘暴多伴随冷空气活动^[2, 11],造成降温也成为沙尘暴产生的有利条件.气温对沙尘暴的正反 2 种作用使得多数站点的沙尘暴日数与气温之间表现出不相关,少数站点呈负相关.从本研究的结果看,多数站点的沙尘暴日数与降水量(包括年降水量、冬季降水量和春季降水量)不具有显著的相关性,这与从整个中国北方地区所得的结论相类似^[13].这是由于研究沙尘暴的区域集中在干旱区和半干旱区,而不包括没有沙尘暴的湿润地区,只根据沙尘暴发生区内气象站点的观测资料并不能真正反映降水同沙尘暴的实质关系.另外,由于沙尘暴移动快速,许多气象站观测到的沙尘暴属于异地起源的类型,一个地区沙尘暴的多寡还受其邻近地区的影响,而不仅仅与本地的气候背景和下垫面状况有关,这样,沙尘暴的这种异地起源的特征会减弱其发生日数同本地气候因素之间的相关性.因此,要正确认识气温和降水量等气候背景因素与沙尘暴的关系还需要大量的风沙物理学的实验研究.

参考文献:

- [1] Goudie A S. Dust storms in space and time [J]. *Progress in Physical Geography*, 1983, **7**: 502 ~ 530.
- [2] 王式功,董光荣,陈惠忠,等.沙尘暴研究的进展[J]. *中国沙漠*, 2000, **20** (4): 349 ~ 356.
- [3] Prospero J M, Ginoux P, Torres O, *et al.* Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the nimbus 7 total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product [J]. *Reviews of Geophysics*, 2002, **40** (1): 1 ~ 31.
- [4] 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.
- [5] Zhang Deer. Analysis of dust rain in the historical times of China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1984, **27**: 294 ~ 297.
- [6] Griffin D W, Kellogg C A, Shinn E A. Dust in the wind: Long range transport of dust in the atmosphere and its implications for global public and ecosystem health [J]. *Global Change & Human Health*, 2001, **2** (1): 20 ~ 33.
- [7] 徐国昌.甘肃“4.22”特大沙尘暴分析. *气象学报* [J], 1979, **37** (4): 26 ~ 35.
- [8] 杨东贞,王超.1990 年春季两次沙尘暴特征分析[J]. *应用气象学报*, 1995, **6** (1): 18 ~ 26.
- [9] 江吉喜.一次特大沙尘暴成因的卫星云图分析[J]. *应用气象学报*, 1995, **6** (2): 177 ~ 184.
- [10] Zhuang Guoshun, Guo Jinghua, Yuan Hui, *et al.* The compositions, sources, and size distribution of the dust storm from China in spring of 2000 and its impact on the global environment [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **46**: 895 ~ 901.
- [11] Zhou Xiuji, Xu Xiangde, Yan Peng, *et al.* Dynamic characteristics of spring sandstorms in 2000 [J]. *Science in China (Series D)*, 2002, **45** (10): 921 ~ 930.
- [12] 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[J]. *地理学报*, 2001, **56** (3): 316 ~ 322.
- [13] 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[J]. *地理学报*, 2001, **56** (4): 477 ~ 485.
- [14] 王式功,王金艳,周自江,等.中国沙尘天气的区域特征[J]. *地理学报*, 2003, **58** (2): 193 ~ 200.
- [15] 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**: 513 ~ 521.
- [16] Zhou Zijiang, Zhang Guocai. Typical severe dust storms in north China from 1954 to 2002 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, **48** (11): 1224 ~ 1228.
- [17] 朱震达,刘恕,邱醒民.中国的沙漠化及其治理[M]. 北京:科学出版社,1989.
- [18] Dong Z, Wang X, Liu L. Wind erosion in arid and semiarid China: an overview [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **55**: 439 ~ 444.
- [19] 周自江.近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气[J]. *第四纪研究*, 2001, **21** (1): 9 ~ 17.
- [20] 周自江,王锡稳,牛若芸.近 47 年中国沙尘暴气候特征研究[J]. *应用气象学报*, 2002, **13** (2): 193 ~ 200.
- [21] Littmann T. Dust storm frequency in Asia: Climatic control and variability [J]. *International Journal of Climatology*, 1991, **11**: 393 ~ 412.
- [22] 朱震达,王涛.从若干典型地区的研究对近十余年来中国土地沙漠化演变趋势的分析[J]. *地理学报*, 1990, **45** (4): 430 ~ 440.
- [23] 王涛,吴薇,王熙章.沙质荒漠化的遥感监测与评估——以中国北方沙质荒漠化区内的实践为例[J]. *第四纪研究*, 1998, **18**(2): 108 ~ 118.
- [24] 张仁健,韩志伟,王明星,等.中国沙尘暴天气的新特征及成因分析[J]. *第四纪研究*, 2002, **22** (4): 374 ~ 380.