

文章编号:1000-694X(2008)05-0915-05

新疆沙尘暴的趋势和突变研究

李红军^{1,2}, 李军¹, 何清¹

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

摘要: 采用新疆 77 个站 1961—2005 年沙尘暴日数资料, 使用 Mann-Kendall 趋势统计检验方法、最大熵谱分析、突变的 *t* 检验等方法分析了南北疆沙尘暴变化的趋势、周期和突变以及与气候变化的关系。结果显示:①南疆和北疆 45 a 沙尘暴趋势是减少的, 南疆减小的趋势比北疆的强, 两者趋势值是 -0.25 和 -0.06, 都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验, 减少趋势中心分别位于南疆皮山、安得河附近和天山中段南北坡, 20 世纪 80 年代的减少趋势最大。②南疆和北疆低于 45 a 平均趋势值的年份大多集中在近 20 a; 南疆沙尘暴的周期分别为 2.9 a 和 2.8 a, 北疆为 3.4 a 和 2.3 a。准 3 a 周期变化是南疆和北疆所共有的特征。③南北疆年沙尘暴日数与气温和降水呈反相关关系, 与大风呈正相关关系, 与大风的相关性最高; 在南北疆, 沙尘暴与气温、降水的相关性显著水平不同。受南北疆大风和降水量出现突变以及平均气温趋势出现明显转变影响, 南北疆沙尘暴日数都在 1987 年出现突变。

关键词: 新疆; 沙尘暴; 趋势; 突变

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

20 世纪以来全球气候变暖, 尤其是后半叶增温异常突出, 灾害性天气气候现象频繁发生, 沙尘暴作为干旱、半干旱区春季发生频繁, 影响范围广, 危害严重的社会和环境灾害, 从 20 世纪 70 年代开始, 许多学者从不同领域研究了中国沙尘暴, 取得了一系列成果。在沙尘暴活动的时空分布研究方面认为, 20 世纪 50 年代以来中国沙尘暴呈减少趋势, 中国北方是扬沙和沙尘暴的主要影响区, 其中西北地区是多发区, 其分布与大风日数及降水量关系密切^[1-3], 沙尘灾害频发区风蚀面积和强度风蚀面积比例较大, 地表物质构成为细颗粒物质较多, 壤质和沙质土壤比例高, 人类活动压力很大, 地表覆盖与利用状况变化明显^[4]; 在沙尘暴天气成因方面研究表明, 沙尘暴发生与大气锋生过程及气旋的发生、发展过程以及高低空急流相互作用密切关联^[1,5]; 在气候成因方面的研究认为, 中国北方地区大风日数的增减是气候周期性变化的反映, 是反厄尔尼诺事件发展, 年代际前期气压场的位势高度和气压场分布有很大差异, 流场明显差异, 温度和降水的分布明显不同所致^[6-8]; 早期沙尘输送的数值模拟用静力平衡气象模式单向嵌套或耦合含相对简单的起沙方案的沙尘起沙模式基本研究了强沙尘暴的形成和输送过程^[9], 之后基于发展起来的起沙数学物理模型和

风蚀沙尘微物理过程, 以非静力平衡气象模式和多档沙尘粒径谱为主模拟了沙尘天气过程中沙尘浓度的空间分布和时间演变趋势以及用全球大气环流模式模拟获得了全球及中国矿物尘气溶胶的基本分布特征, 辐射强迫的大致范围^[10-12]; 起沙机制等方面的研究表明土壤粒子的跃移运动是粒子起沙的主要原因, 沙漠地区不同下垫面对空气加热差异和雷雨天气引起水平和垂直气流运动, 引起不同规模的起沙^[13-15]。新疆与中国其他地方相比, 气候干燥, 沙漠和荒漠面积广阔、又处于冷空气活动路径上, 因而沙尘暴多, 灾害强, 不少学者研究了 20 世纪以来新疆的沙尘暴天气气候变化特征, 普遍认为沙尘暴 70 年代最多, 80 年代以来减少^[16-17], 而新疆近 20 多年气候又出现了增暖变湿, 这种变化是否引起沙尘暴趋势的改变, 是否达到突变水平, 需进一步研究, 而在沙尘暴突变方面研究很少, 国内仅对中国北方沙尘天气整体突变有研究^[18], 不能完全反映新疆沙尘暴突变和趋势变化, 而且这种变化的分布以及与新疆近 20 a 来气候增暖变湿的联系尚需开展研究。笔者采用新疆 1961—2005 年沙尘暴日数资料, 定量的检验和判断 45 a 来沙尘暴趋势分布和突变时间, 并分析与新疆气候变化的关系, 揭示这一地区的沙尘暴趋势分布、突变规律。

收稿日期: 2007-10-25; 改回日期: 2007-12-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40775019); 新疆自治区攻关项目(200833119); 科技部行业专项(GYHY(QX)2007-6-8); 新疆气象局科技项目(200723 和 idm200702)共同资助

作者简介: 李红军(1971—), 副研究员, 博士研究生, 主要从事干旱、半干旱区气候变化和沙尘暴研究。Email: lihj@idm.cn

1 资料和方法

沙尘暴资料选用新疆气象局整编南疆38个站，北疆39个站气象数据。考虑到各站资料的完整性和可比较性，统一选用无缺测的1961—2005年沙尘暴日数记录。文中趋势线计算使用5点3阶平滑，趋势值和趋势显著性水平检验使用非参数Mann-Kendall趋势统计检验方法^[19]；沙尘暴周期变化分析使用了最大熵谱分析；沙尘暴、温度和降水的突变检验使用t检验方法^[20]。

2 沙尘暴变化趋势的时空分布

2.1 沙尘暴变化趋势的空间分布

图1显示了新疆沙尘暴变化趋势的空间分布，从图中能够看出除北疆东部、南疆东北部有弱的增多趋势外，新疆其他地区1961—2005年期间沙尘暴的变化趋势 ≤ 0 ，45 a的变化趋势是减少的，南疆沙尘暴减小的趋势值明显大于北疆的趋势值，统计表

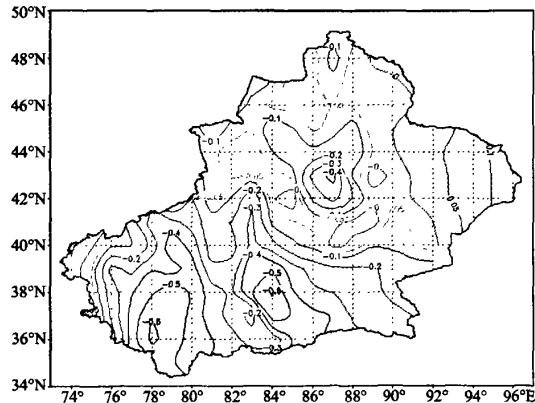


图1 新疆沙尘暴变化趋势分布

Fig. 1 Distribution of sandstorm variation trend in Xinjiang

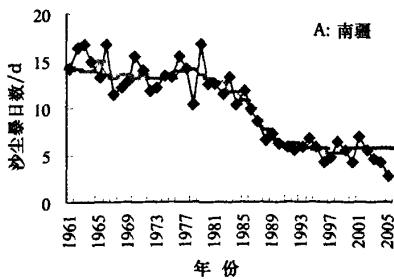


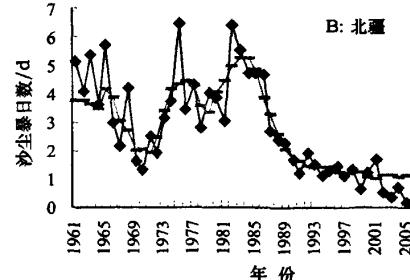
图2 新疆1961—2005年沙尘暴变化和趋势

Fig. 2 Yearly change and trend of sandstorms from 1961 to 2005 in Xinjiang

明南疆空间平均趋势值是-0.25，而北疆的仅-0.06，南疆沙尘暴变化趋势等值线较密集，表明其区域内各地间趋势变化较大，南疆的南部、东南部和北部的中部减小趋势大，有两个大的趋势中心，分别位于皮山和安得河附近。北疆的天山中段北坡是一负趋势大值中心区，从温泉-塔城-布尔津一线有较小的减小趋势，而北疆东部则呈微弱增长趋势。趋势变化显著性水平检验表明在南疆有33个站沙尘暴减少趋势显著，都通过了 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验；在北疆有33个站沙尘暴减少趋势显著，都通过了 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验，其余6个趋势不显著站多为微弱增长趋势。

2.2 沙尘暴年际演变趋势及时间分布

图2为南疆和北疆沙尘暴日数的年际变化曲线。分析结果表明：南疆45 a来沙尘暴变化趋势是明显地减少，趋势值-0.248，通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，沙尘暴年日数低于45 a平均值的有20 a，且都集中于1986—2005年之间，占总年份的44%，最少年份发生在2000年，为4.1次，最多年份是1966年和1979年，是16.7次，其变化分为3个阶段，在20世纪60—70年代处于多发时期，有微弱的减少趋势，80年代处于减少阶段，有强烈的减少趋势，90年代以来处于少发时期，减少趋势很弱。北疆45 a来沙尘暴变化趋势也是减少，趋势值-0.064，通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验，沙尘暴年日数低于45 a平均值的有24 a，且多集中于1987—2005年之间，占其中年份的79%，最少年份发生在2005年，为0.2次，最多年份是1975年，是6.5次，45 a变化趋势是：20世纪60—70年代初属减少趋势，70年代初至80年代中呈增多趋势，80年代初至90年代初呈强烈的减少趋势，90年代以来处于少发时期，减少趋势较弱。



从南疆和北疆 1961—2005 各时期沙尘暴趋势看(表 1):两者 45 a 都呈显著减少趋势,都通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验;两者年代际趋势变化相似,在 20 世纪 60 年代负趋势较大,都通过了 $\alpha = 0.05$ 显著性水平检验;70 年代转为弱的正趋势;80

年代南疆和北疆出现最强减少趋势值,分别为 -0.837 和 -0.458 ,都通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验;90 年代南疆和北疆负趋势值都不大,但都是持续性减少,都通过了 $\alpha = 0.05$ 显著性水平检验,21 世纪以来两者趋势都趋缓。

表 1 南疆和北疆 1961—2005 各时期沙尘暴趋势 β 值Table 1 β -values of sandstorm trend during different periods from 1961 to 2005 in south and north of Xinjiang

区域	1961—1970	1971—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2005	1961—2005
南疆	-0.112 **	0.02	-0.837 **	-0.073 *	-0.006	-0.248 **
北疆	-0.19 *	0.14	-0.458 **	-0.055 **	-0.004	-0.064 **

注:“*”和“**”分别代表通过了 $\alpha = 0.05$ 和 0.01 的显著性水平检验

3 沙尘暴变化的周期

使用最大熵谱(最大波数 $M = 22$, 波数 $L = 1, 2, \dots, 22$, 周期 $T = 2M/L$)分析南疆和北疆沙尘暴变化周期如图 3, 南疆主峰值波数大小为 $L=15$ 和 16 , 对

应的周期分别为 2.9 a 和 2.8 a ; 北疆两个主峰值波数大小依次为 $L=13$ 和 19 , 对应的周期分别为 3.4 a 和 2.3 a 。总体来看, 准 3 a 周期变化是南疆和北疆所共有的特征。这与文献[18]指出中国北方沙尘暴有 2.59 a 和 3.38 a 的显著周期有相近, 又有差

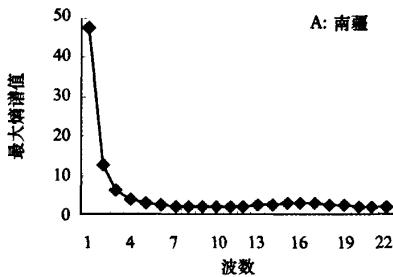


图 3 南疆和北疆 1961—2005 沙尘暴最大熵谱分析

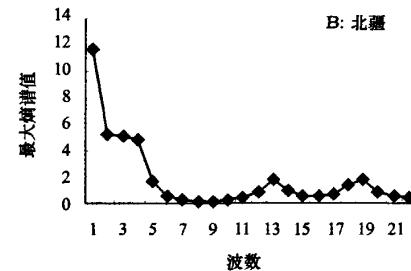


Fig. 3 The maximum entropy spectrum of sandstorm in the south and north of Xinjiang during 1961—2005

异。

4 沙尘暴年日数的突变

45 a 南北疆年沙尘暴日数都出现了大幅度减少, 这种减少是否达到突变水平则需进一步分析。由南北疆沙尘暴突变可见(图 4):南疆沙尘暴 1961—2005 年始终处于负趋势, 1980 年以后减小的趋势达到 $\alpha =$

0.01 的显著水平, 其中 1987 年 t 分布统计值达到最小, 为 -8.1 , 是南疆沙尘暴减少突变点。北疆 1961—1981 年沙尘暴由少转多, 1974—1976 年增多趋势达到 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平, 但未达到 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平, 1975 年是增多突变点, 1982—1996 年沙尘暴由多转少, 1985 年以后减小的趋势达到 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平, 沙尘暴减少突变点出现在 1987 年。

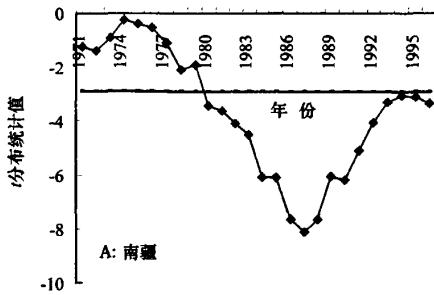


图 4 南疆和北疆沙尘暴的突变

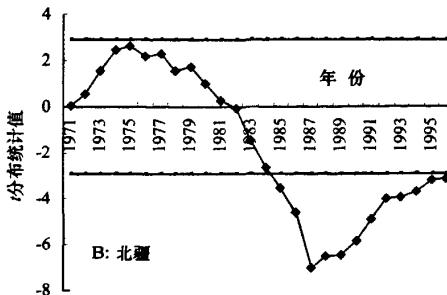


Fig. 4 The abrupt changes of sandstorm in south and north of Xinjiang

5 沙尘暴与气候变化的关系

新疆近20多年气候增暖变湿，沙尘暴变化与这些气候变化是相联系的，由表2知，南北疆从1961—1985年到1986—2005年时期气温分别升高了5.2%和15%，降水分别增加了31.9%和21.1%，沙尘暴减少了57%和61.5%。气候增暖变湿引起沙尘暴减少的原因是：气候变暖，则代表入侵的冷空气强度和次数减弱、减少，导致引发沙尘暴的风速减小、次数减少（大风日数减少即是证明），则沙尘暴减少；降水增多，有利于地表植被生长，土壤湿度增加，也导致沙尘暴减少。从表3知，在南疆和北疆，年沙尘暴日数与气温和降水呈反相关关系，与大风呈正相关关系；在南疆，沙尘暴与气温、降水和大风的相关都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，与大风的相关性最高，与降水的相关性最小；在北疆，沙尘暴与降水和大风的相关都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，与气温的相关未通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，与大风的相关性最高。

表2 南疆和北疆1961—2005年不同时段年平均沙尘暴日数、气温、降水和大风日数

Table 2 Mean annual sandstorm days, temperature, precipitation and gale days during 1961—1985 and 1986—2005 in Xinjiang

名称	沙尘暴/d	气温/℃	降水/mm	大风/d
南疆 1961—1985	13.5	9.6	68.6	17.4
南疆 1986—2005	5.8	10.1	90.5	9.3
北疆 1961—1985	3.9	6.0	182.5	37.9
北疆 1986—2005	1.5	6.9	221.0	23.7

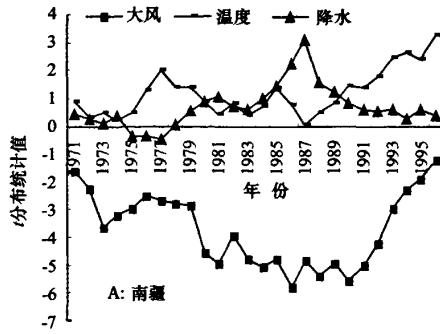


图5 南疆和北疆的温度、降水和大风的突变

Fig. 5 Abrupt changes of temperature, precipitation and gale in south and north of Xinjiang

6 结论

1) 南疆和北疆45 a沙尘暴趋势是减少的，南疆减少的趋势比北疆的强，两者平均趋势值分别是-0.25和-0.06，减少趋势中心分别位于南疆皮山

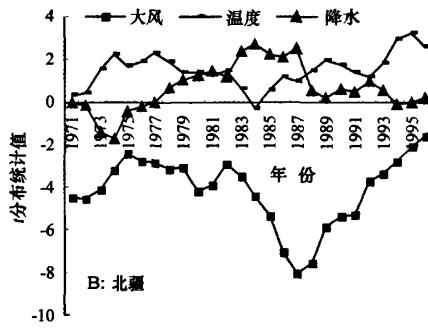
表3 南疆和北疆沙尘暴与气温、降水、大风的相关系数

Table 3 Correlations coefficients between sandstorm and temperature, precipitation and gale in south and north of Xinjiang

名称	气温	降水	大风
南疆	-0.475 **	-0.46 **	0.896 **
北疆	-0.225	-0.514 **	0.705 **

沙尘暴与气候不仅在相关上存在密切联系，而且在突变上存在密切联系。图5是南疆和北疆年平均温度、降水量和大风日数的突变，由图可见，南疆大风日数和降水量都在1987年出现突变，且都超过了 $\alpha=0.01$ 的显著水平，虽然年平均温度超过了 $\alpha=0.01$ 的显著水平的突变点出现在1996年，但在1987年气温增多趋势出现了明显地由减小到增大的转变，联系到图1南疆沙尘暴日数突变点也出现在1987年，可知沙尘暴突变与大风日数和降水量的突变相符合。大风日数减少的趋势和降水增多的趋势都由强转弱，但两者趋势都仍未出现正负相位的转变，气温增高的趋势加强，这说明三者现阶段的趋势仍将持续，沙尘暴减少趋势也将持续。

北疆大风日数、降水量和温度的突变出现在1987年、1987年和1995年，达到显著水平分别为 $\alpha=0.01$ 、0.05和0.01，而温度趋势由减弱变为增强的转折点是1984年，联系到图1北疆沙尘暴突变出现在1987年，可知在大风日数、降水量突变当年和温度趋势出现明显转折后影响到沙尘暴出现了突变。



和安得河附近，天山中段南北坡是一负趋势大值中心区。

2) 南疆和北疆45 a来沙尘暴变化平均趋势值的年份大多集中在近20 a，两者平均趋势值都通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验；南疆沙尘暴的周期分

别为 2.9 a 和 2.8 a, 北疆为 3.4 a 和 2.3 a。总体来看, 准 3 a 周期变化是南疆和北疆所共有的特征。

3) 南北疆沙尘暴日数都在 1987 年出现减少突变, 这是受南北疆大风日数和降水量 1987 年出现突变以及南北疆平均气温趋势分别在 1987 年和 1984 年出现明显转变影响所致。南北疆年沙尘暴日数与气温和降水呈反相关关系, 与大风呈正相关关系, 与大风的相关性最高; 在南疆, 沙尘暴与气温、降水和大风的相关都超过 $\alpha=0.01$ 的显著水平, 与降水的相关性最小; 在北疆, 沙尘暴与降水和大风的相关超过 $\alpha=0.01$ 的显著水平, 与气温的相关未达到显著水平。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 常生华, 李广, 侯扶江. 我国沙尘暴发生日数的空间分布格局[J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 384—388.
- [3] 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.
- [4] 张增祥, 周全斌, 刘斌, 等. 中国北方沙尘灾害特点及其下垫面状况的遥感监测[J]. 遥感学报, 2001, 5(5): 377—383.
- [5] 屠妮妮, 嫣梅燕, 赵琳娜. 引发强沙尘暴的蒙古气旋的动力特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 520—527.
- [6] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等. 关于中国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 513—521.
- [7] 王金艳, 王式功, 马艳, 等. 我国北方春季沙尘暴与气候因子之关系[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 296—300.
- [8] 康社娟, 王会军. 中国北方沙尘暴气候形势的年代际变化[J]. 中国科学:D 辑, 2005, 35(11): 1096—1102.
- [9] 刘春涛, 程麟生. 黑风暴沙尘形成与输送参数化及中尺度数值试验[J]. 气象学报, 1997, 55(6): 726—738.
- [10] Ginoux P, Chin M, Tegen I, et al. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model[J]. J Geophys Res, 2001, 106(17): 20255—20273.
- [11] 程丛兰, 王迎春, 刘伟东, 等. 与动力场相耦合的区域沙尘分档模式及个例模拟[J]. 科学通报, 2004, 49(19): 2007—2013.
- [12] 张小玲, 程丛兰, 谢璞, 等. 连续强沙尘天气的发展和时空演变机制的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 137—146.
- [13] 拜格诺. 风沙和荒漠沙丘物理学[M]. 钱宁等译. 北京: 科学出版社, 1959: 28—85.
- [14] Shao Yaping. Physics and Modelling of Wind Erosion [M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000: 139—142.
- [15] Dieter Jakel. 中国和北非沙漠地区沙尘运动的原因剖析[J]. 第四纪研究, 2001, 21(2): 171—182.
- [16] 李晋昌, 薛治宝, 王训明, 等. 塔里木盆地沙尘天气的季节变化及成因分析[M]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 142—148.
- [17] 魏文寿, 张璞, 高卫东, 等. 新疆沙尘暴源区的气候与荒漠环境变化[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 483—487.
- [18] 丁瑞强, 王式功, 尚可政, 等. 近 45a 我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 306—310.
- [19] 陈亚宁, 徐宗学. 全球气候变化对新疆塔里木河流域水资源的可能性影响[J]. 中国科学, D 辑, 2004, 34(11): 1047—1053.
- [20] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(1): 111—119.

Study on Sandstorm Trend and Abrupt Change in Xinjiang

LI Hong-jun^{1,2}, LI Jun¹, HE Qin¹

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: The trend, periods and abrupt change of sandstorm variation and the correlations between sandstorm variation and climate change were analyzed based on annual sandstorm days of 77 stations in Xingjian from 1961 to 2005 and with methods of Mann-Kendall trend test, maximum entropy spectrum and abrupt t-test. The results indicate: ①The sandstorm frequency trend is decreased in Xingjian since 1961, the average trends are -0.25 and -0.06 in south and north of Xinjiang respectively, the decreased trend in south of Xinjiang is stronger than that in north of Xinjiang. The centers of decreased trend locate in Pishan, Andehe and both sides of middle Tianshan Mountains; the maximum decreased trend is in 1980's. ②The years when the trend is smaller than the average are mostly in recent 20 years; The sandstorm change periods are 2.9 years and 2.8 years in south of Xinjiang and 3.4 years and 2.3 years in north of Xinjiang; the quasi-periods of 3 years is common in Xinjiang. ③The correlation is negative between sandstorm and temperature, precipitation, whereas positive between sandstorm and gale, and the positive correlation is closely high. The correlation significance level is different between sandstorm and temperature, precipitation in south and north of Xinjiang. As effect of gale and precipitation abrupt in 1987 and obvious temperature change during 1980's, the sandstorm frequency variation experienced abrupt changes in 1987 both in south and north of Xinjiang.

Keywords: Xinjiang; sandstorm; trend; abrupt change