

文章编号:1000-2022(2003)03-0296-12

## 宁夏春季沙尘暴与北极海冰之间的遥相关关系

杨建玲<sup>1</sup>, 何金海<sup>1</sup>, 赵光平<sup>2</sup>

(1. 南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044; 2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002)

**摘 要:**根据宁夏沙尘暴发生次数资料、北极海冰密集度资料和 NCEP/NCAR 再分析 500 hPa、850 hPa 高度场、风场资料, 得出了宁夏春季沙尘暴发生次数的变化规律及其与北极海冰面积之间的年代际和年际相关关系, 发现宁夏春季沙尘暴发生次数与欧亚大陆北部的喀拉海、巴伦支海和格陵兰海冰面积之间存在较显著的年代际、年际相关关系。通过合成和相关分析知, 宁夏春季沙尘暴偏多、偏少状况有明显不同的环流背景场, 秋季格陵兰海冰异常变化通过影响其后一段时间的大气环流背景场, 从而对宁夏沙尘暴产生影响。初步得出当格陵兰海秋季海冰面积增大(减小), 次年春季蒙古至西伯利亚一带 500 hPa、850 hPa 高压场降低(升高), 风场有明显的气旋性(反气旋性)特点, 在宁夏至新疆一带西风明显偏强(偏弱), 说明冷空气活动次数偏多(少), 对应宁夏春季沙尘暴发生次数偏多(少)。通过海冰将全球气候变暖和宁夏(我国北方)沙尘暴总减少趋势联系起来, 初次提出在环境总体恶化情况下, 我国沙尘暴发生次数总体趋于减少, 很可能是全球气候变暖所致。

**关键词:** 北极海冰; 宁夏; 沙尘暴; 遥相关

**中图分类号:** P461.6      **文献标识码:** A

我国西北地区是沙尘暴多发区, 沙尘暴发生的基本条件有三个: 一是大风, 二是沙源, 三是局地不稳定能量, 即沙尘暴是在特定的地理环境和气象条件下发生的<sup>[1]</sup>。近几十年来, 我国北方地区的环境和植被覆盖总体趋于恶化<sup>[2]</sup>, 而我国北方沙尘暴发生次数近几十年来总体呈减少趋势<sup>[3-4]</sup>, 单从地表状况来看, 似乎存在着矛盾。所以沙尘暴的减少原因必然与天气气候的异常变化有关。

近百年来全球气候逐渐变暖, 其后果之一是引起了北极海冰的消融。赵玉春等<sup>[5]</sup>的研究结果表明, 北极海冰面积总体呈减小趋势。黄土松等<sup>[6]</sup>认为北极海冰异常对区域气候影响方面具有与 El Nino 同等重要的作用, 在某些情况下, 其影响甚至可以超过后者。作为冷源的北极海冰, 在北半球高纬度的海气相互作用中, 有着突出的贡献, 极地海冰不仅具有明显的局地效应, 而且对区域大气具有显著作用。而以往有关沙尘暴的研究结果表明, 几乎每一次沙尘暴的发生都与极地南下冷空气形成的锋面系统相联系, 因此北极海冰的异常变化很可能影响我国西北

收稿日期: 2002-08-11; 改回日期: 2002-10-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40065002); 宁夏自然科学基金项目(A1017)

作者简介: 杨建玲(1973-), 女, 宁夏银川人, 硕士生, 现在宁夏气象科学研究所工作。

地区沙尘暴的发生。

尚可政等<sup>[7]</sup>研究了赤道太平洋海温与河西沙尘暴发生次数之间的遥相关关系,然而与极地冷空气活动密切相关的极地海冰的异常变化对沙尘暴影响的研究迄今却还是个空白。

本文将主要讨论两个方面的问题,一是在分析宁夏沙尘暴发生次数变化规律的基础上,研究宁夏春季沙尘暴发生次数与北极各海区海冰面积之间的年代际、年际关系;二是合成分析宁夏春季沙尘暴发生次数异常的环流背景场,研究格陵兰海秋季海冰面积变化影响次年春季环流场的特征,以寻求格陵兰海冰影响宁夏春季沙尘暴的可能途径。本文进一步通过海冰将全球气候变暖和宁夏(我国北方)沙尘暴总体减少的趋势联系起来,试图解释我国沙尘暴在环境总体逐渐恶化的情况下变化趋势减少的原因。

关于海冰与其他地方沙尘暴的关系及它们之间的物理、动力机制还需进一步研究。

1 资料和方法

本文研究主要使用了三种资料:第一种是选取宁夏具有代表性的 18 个站(银川、永宁、贺兰、惠农、平罗、陶乐、吴忠、青铜峡、灵武、中宁、中卫、兴仁、盐池、韦州、同心、固原、西吉、海原)1960—2000 年 41 a 沙尘暴月发生次数资料,这里每个站的一次沙尘暴是指某一天(以北京时间 20:00 为界)只要出现沙尘暴(由于强风将地面大量沙尘吹起,使空气很混浊,水平能见度小于 1 km 的天气现象),而不管该日有几个时段发生沙尘暴。第二种资料是 1968—2000 年北极(41°N 以北,纬度×经度= 3°×1°)月平均海冰密集度资料(海冰密集度的值为 0~1.0,0 表示网格点范围内无冰盖,0.1 表示网格点范围内有 10 %的冰盖,依次类推)。第三种资料是 NCEP/NCAR 再分析的 1960—2000 年月平均 500 hPa、850 hPa 高度场、风场资料。

采用的研究方法有:统计相关方法、lepage 突变检验法、合成分析及 *t* 统计检验法。这种 *t* 检验是用来检验两个总体均值差异性是否显著的方法,其公式为

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}。$$

式中 *x* 和 *y* 的样本量为 *n*<sub>1</sub> 和 *n*<sub>2</sub>,样本均值为 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ ,*s*<sub>1</sub><sup>2</sup> 和 *s*<sub>2</sub><sup>2</sup> 分别表示两个样本的方差。

2 宁夏沙尘暴发生次数的年代际和年际变化规律

将宁夏 18 个站 1960—2000 年的沙尘暴发生次数分别按春季(3—5 月)和全年求和,为了便于比较,将资料进行标准化处理。由图 1 可以看出,宁夏近 41 a 春季和全年沙尘暴发生次数,总体都呈下降趋势,这与牛生杰等<sup>[8]</sup>的研究结果相吻合,也与全国沙尘暴总体呈减少的趋势相一致。值得注意的是它们均在 1984 年左右发生了明显的突变,1984 年之前大部分年份沙尘暴发生次数大于 41 a 的平均值,而在 1984 年以后,全部小于平均值。宁夏 18 个代表站春季沙尘暴发生次数 41 a 的平均值为 73 次,1984 年之前平均为 95 次,1984 年之后仅为 38 次,前者是后者的 2.5 倍。5 a 滑动平均线更明确地表示了这种年代际变化特点。为了检验突变的存在,作了春季沙尘暴发生次数序列的 lepage 统计量的突变检验,子序列长度取为 10 a。由图 2 知春季沙尘暴在 1984 年确实发生了较明显的突变,lepage 统计量在 1984 年有一个峰值,其值为 8.69,大于置信水平为 95 %的临界值 5.99。另外沙尘暴的发生还存在明显的偏多和偏少年,有明显的年际变化特征,而且具有周期性。因此可以说,宁夏春季沙尘暴发生次数的变化存在明显的年代际和年际变化特征。

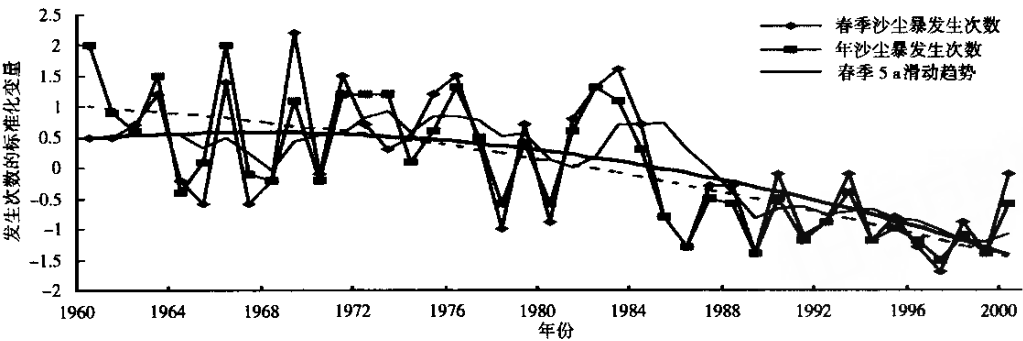


图 1 1960—2000 年宁夏春季、年沙尘暴发生次数(经标准化处理)的年际变化及其趋势(粗实线和粗虚线分别是春季和年的二次多项式拟合线)

Fig. 1 Interannual variations of spring and yearly standardized sandstorm frequency in Ningxia from 1960—2000 together with their trends (Thick real and dashed lines denote spring and yearly trends of sandstorm frequency derived from binomial fitting)

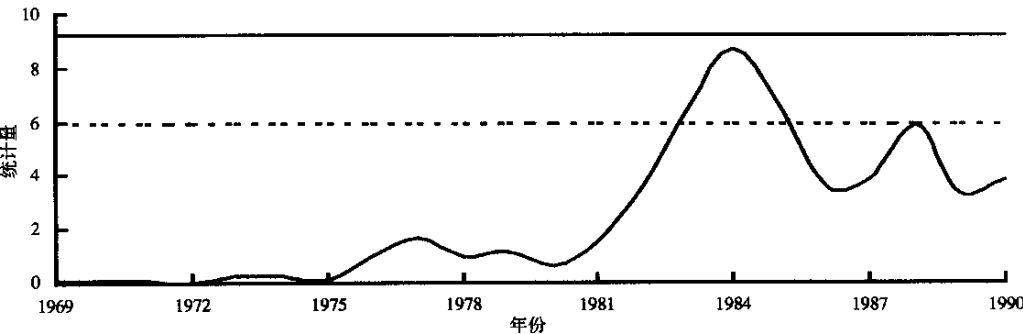


图 2 宁夏春季沙尘暴发生次数的 lepage 检验统计量  
(实直线和虚直线分别为置信水平为 99 %、95 % 的临界值)

Fig. 2 Lepage test statistics of spring sandstorm frequency in Ningxia  
(Real and dashed lines are critical values arriving at the confidence level of 99 % and 95 % respectively)

春季和全年沙尘暴的年际变化一致,相关系数高达 0.90,这是因为沙尘暴多发生于春季。春季总的沙尘暴占全年总数的 57.9 %,其中 4 月份是沙尘暴发生的高峰月份。9、10 月份沙尘暴发生最少(图略)。因此下面只以春季沙尘暴为例进行讨论。

### 3 宁夏春季沙尘暴发生次数与北极海冰面积之间的相关分析

由于地理位置的不同,不同区域的海冰与大气和海洋间的相互作用有许多不同的地方。Walsh<sup>[9]</sup>指出,海冰研究应按地理位置不同细分为不同海域进行。参考武炳义等<sup>[10]</sup>、彭公炳<sup>[11]</sup>的做法,将北极海冰分成 6 个不同的海区,A 海区:喀拉海和巴伦支海海区(20~100°E,41~82°N);B 海区:格陵兰海区(45°W~0°~20°E,41~84°N);C 海区:巴芬湾、戴维斯海峡(45~80°W,41~80°N);D 海区:白令海区(160°E~180°~150°W,41~65°N);E 海区:将整个北极(180°W~0°~180°E,41~84°N)范围的海冰作为一个整体来考虑;F 海区:欧亚大陆北部附近海域,即 A、B 海区合并起来(45°W~0°~100°E,41~84°N)。分 E、F 区的目的是为了研究北极和欧亚大陆北部海域海冰整体面积变化对沙尘暴发生次数的影响。

分别将各海区 1968—2000 年 33 a 的海冰密集度资料按年、春、夏、秋、冬 5 个不同时段分别求和,组成 30 个 33 a 的时间序列,作为北极海冰面积指数的基本资料。再将宁夏 18 个站 1968—2000 年共 33 a 春季沙尘暴发生次数求和,组成 1 个 33 a 的时间序列,作为沙尘暴发生次数序列资料。

首先计算宁夏春季沙尘暴发生次数与 6 个不同海区同期春季以及前一年全年、春、夏、秋、冬 6 个时段海冰面积指数之间的相关系数。由表 1 可以看出:宁夏春季沙尘暴与北极海冰面积之间的相关系数几乎全部为正,但是不同海区不同时段相关系数大小之间有较大差异。从海区来看,与巴芬湾、戴维斯海峡和白令海海冰面积之间的相关系数较小,相关系数绝大部分达不到置信水平为 95 % 的临界值 0.349,而与 A、B、E 海区海冰面积之间的正相系数较大,绝大多数相关系数大于置信水平为 99 % 的临界值 0.448。从时间上看宁夏春季沙尘暴与同期海冰面积的相关系数并不是最大,相关系数相对较大的是与前一年秋季的海冰,为 0.673 2,其次是前一全年,其他则一般按时间往前推(前一年冬、夏、春),相关系数依次减小。

表 1 宁夏春季沙尘暴发生次数与北极海冰面积指数之间的相关系数  
Table 1 Correlation coefficients between spring sandstorm frequency in Ningxia and sea-ice area index in different regions in Arctic

海冰时段	A 海区	B 海区	C 海区	D 海区	E 海区	F 海区
当年春	0.352 2	0.503 0	0.314 9	0.419 8	0.526 9	0.465 2
前一年	0.543 2	0.579 7	0.251 3	0.240 5	0.535 3	0.587 4
前一年春	0.349 5	0.450 3	0.225 9	0.151 4	0.463 5	0.442 2
前一年夏	0.489 2	0.552 0	0.283 2	0.325 2	0.466 4	0.540 4
前一年秋	0.562 9	0.673 2	0.256 8	0.166 1	0.623 3	0.641 5
前一年冬	0.469 6	0.583 7	0.173 3	0.319 2	0.502 9	0.548 8

然而这种一致的正相关和特定海区持续的高相关系数并不一定能够说明沙尘暴和海冰之间的年际变化关系,因为沙尘暴在 1960—2000 年之间的总体变化呈明显的负趋势,在计算相关系数时包含了年代际趋势,若海冰的年代际变化也呈较明显的负趋势时,无论年际变化关系如何,如上所计算的相关系数一定是较大的正相关。事实正是如此,相关系数较大海区(如 E、F 海区)海冰面积总体呈减少趋势,而且与宁夏春季沙尘暴发生次数总趋势一致。因此说,宁夏春季沙尘暴与 A、B、E 海区海冰面积的年代际变化呈一致的减少趋势,有较好的年代际变化关系。

那么,宁夏春季沙尘暴发生次数与北极各海区海冰之间的年际变化关系究竟如何呢?为此,在计算相关系数时应采用年际变率的方法去除趋势项,即将原序列求年际变率,得到年际变率的时间序列,再求年际变率序列的相关系数,计算内容和表 1 相同,得到年际变率的相关系数(表 2 中只列出部分有相关系数通过置信水平为 95 % 检验的时段)。可以看到,年际变化的相关系数有正有负,而且大部分比较小,只有较少数通过了显著性检验,其中与前一年秋季格陵兰海冰的相关系数最大,为 0.471。

因此,宁夏春季沙尘暴发生次数与北极海冰在年代际和年际变化趋势上都有密切关系。从以往对沙尘暴的研究发现,几乎每一次沙尘暴的发生都与极地冷空气南下形成的锋面系统相联系<sup>[12]</sup>,而极地海冰作为冷源,其异常变化必然引起其上极地气团的性质及其活动变化,因此地地处极地冷空气南下通道上的沙尘暴多发区之一——宁夏地区,其沙尘暴发生次数与极地海冰

面积变化之间有密切关系是合理的。

表 2 宁夏春季沙尘暴发生次数年际变率与北极海冰面积指数年际变率之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between interannual variability of spring sandstorm frequency in Ningxia and that of Arctic sea-ice area index

海冰时段	A 海区	B 海区	C 海区	D 海区	E 海区	F 海区
前一年春	-0.255 1	-0.371 3	0.237 7	-0.160 8	-0.182 5	-0.360 0
前一年秋	0.278 2	0.471 0	0.274 4	-0.247 2	0.366 5	0.383 6

## 4 宁夏春季沙尘暴发生次数异常的大尺度环流背景场特征

宁夏春季沙尘暴发生次数的异常变化必然有其异常的环流背景,为了突出其主要特点,应对其异常情况的环流背景进行合成分析。因为宁夏春季沙尘暴的发生同时具有明显的年代际和年际变化特点,因此合成分析时,对与年代际和年际变化相关联的大气环流形势分别进行讨论。

### 4.1 与沙尘暴年代际异常变化相联系的大气环流特征

以 1984 年为界,将宁夏春季沙尘暴突变前 1960—1984 年和突变后 1985—2000 年分别作为沙尘暴偏多和偏少阶段,研究其所对应的 500 hPa、850 hPa 高度场和风场特征。

由偏多阶段北半球 500 hPa 高度距平场(图略)可以看出,有三个正变高中心,分别位于格陵兰、东西伯利亚和阿留申群岛及其以南地区,主要负中心位于亚洲的蒙古、贝加尔湖至西西伯利亚、北美加拿大、北大西洋和地中海地区,另外在低纬度较宽广范围内为负变高区域。850 hPa 与 500 hPa 形势相似,只是正负变高的强度和范围略有差别,位于亚洲的变高中心范围更大一些。偏少阶段与偏多阶段的形势基本相反。为了判断上述两种状态差异的显著性,对它们做了统计显著性差异  $t$  检验。在偏多阶段减偏少阶段高度场差值  $t$  检验图(图 3a、b)上,500 hPa 上亚洲的蒙古、贝加尔湖、北美加拿大、北大西洋、地中海和低纬度的较大范围为通过置信水平为 95 % 检验的负差异区,850 hPa 的差异显著区与 500 hPa 的相比,位于亚洲蒙古、贝加尔湖一带的负差异区范围更大一些,而北美加拿大地区的范围缩小了,欧洲南部的负差异显著区和低纬度的大范围负差异显著区连成一片。

对应偏多阶段 500 hPa 风场距平图(图略),在影响我国天气的上游关键区蒙古、贝加尔湖和西西伯利亚一带,有一明显的花生状闭合气旋性环流,在威海附近有一范围较小的反气旋性环流,宁夏地区正好位于气旋性环流底部和反气旋性环流顶部西风异常偏强区,偏少阶段与偏多阶段的形势基本相反。偏多阶段 850 hPa 风场距平图上(图略),以蒙古为中心的闭合气旋性环流非常明显,宁夏位于气旋性环流底部的西风异常偏强区内,在蒙古至西西伯利亚一带,为一  $\Omega$  状的气旋性环流形势,偏少阶段与偏多阶段的形势也基本是相反的。500 hPa、850 hPa 风场偏多阶段减偏少阶段的差值图(图 3c、d)清楚地表明了上述风场的环流特点。由偏多阶段减偏少阶段的纬向风、经向风差值  $t$  检验图(图 3e-h)可以看出,超过置信水平为 95 % 检验的区域,500 hPa 上分布比较分散,范围较小,850 hPa 上大片的纬向风和经向风的差异显著区域连在一起。特别值得注意的是,850 hPa 纬向风差值  $t$  检验图上,在宁夏、甘肃、青海至新疆一带的我国西北地区,有通过置信水平为 95 % 的西风异常。因为沙尘暴发生的必要条件之一就是大风,所以这种西风异常的特点是非常重要的。

万方数据

因此说,宁夏春季沙尘暴偏多阶段和偏少阶段的大气环流背景场确实存在明显差异。沙尘



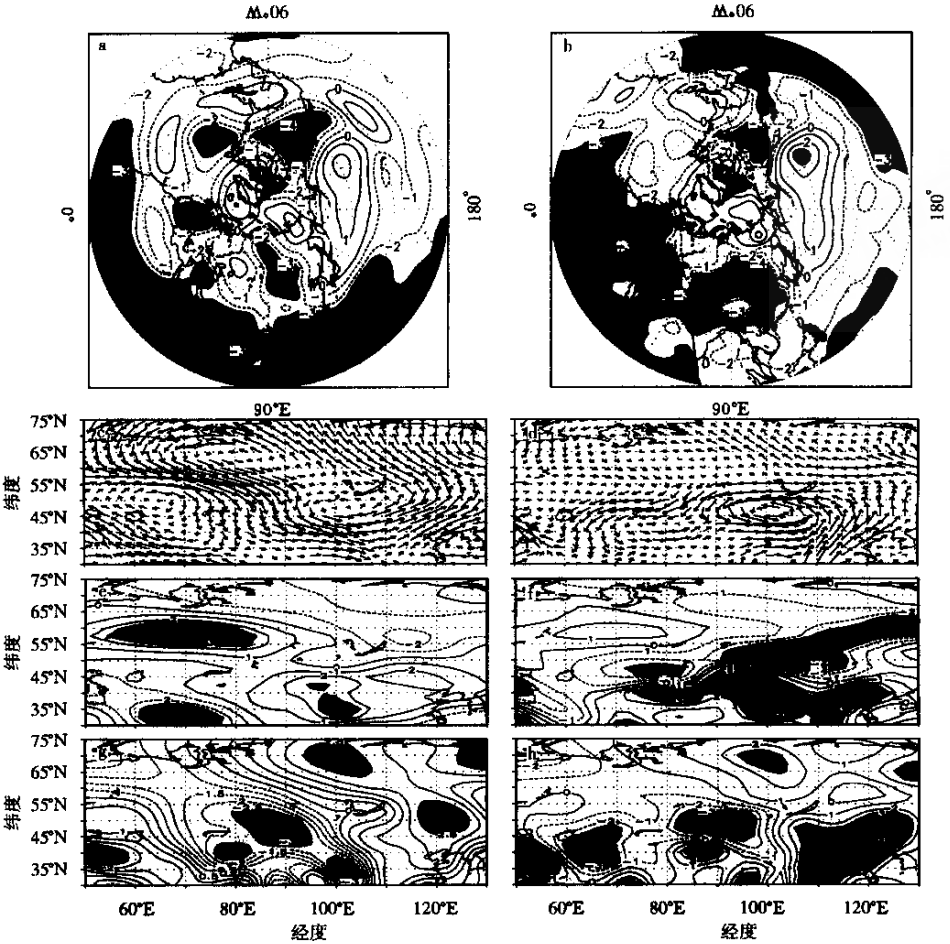


图 3 宁夏春季沙尘暴发生次数偏多阶段(1960—1984 年)减偏少阶段(1985—2000 年)高度场和风场  
差值图(阴影区通过置信水平为 95 %的  $t$  检验)

a. 500 hPa 高度场;b. 850 hPa 高度场;c. 500 hPa 水平风场;d. 850 hPa 水平风场  
e. 500 hPa 纬向风;f. 850 hPa 纬向风;g. 500 hPa 经向风;h. 850 hPa 经向风

Fig. 3 Height and wind differences between period with more (1960—1984)  
and less (1985—2000) spring sandstorm in Ningxia  
(Areas exceeding  $t$ -test confidence level of 95 % are shaded)

a. 500 hPa height;b. 850 hPa height;c. 500 hPa horizontal wind;d. 850 hPa horizontal wind;e. 500 hPa  
zonal wind;f. 850 hPa zonal wind;g. 500 hPa meridional wind;h. 850 hPa meridional wind

暴偏多(少)阶段,在关键区蒙古、贝加尔湖、西西伯利亚一带,500 hPa、850 hPa 高度场偏低(高),风场有明显的气旋(反气旋)环流。说明在沙尘暴偏多(少)阶段,关键区内极地南下的冷空气、气旋活动次数偏多(少),这种大气环流的异常是造成宁夏沙尘暴年代际异常的环流背景场。全林生等<sup>[13]</sup>的研究表明,中国北方春季的沙尘暴天气频次与春季 850 hPa 上的气旋活动次数呈非常显著的正相关关系。本文的分析结果与全林生等<sup>[13]</sup>的研究结果相吻合。

4.2 与沙尘暴年代际异常变化相关联的大气环流特征

若在 1960—2000 年的 41 a 中按同一个标准划分沙尘暴偏多年、偏少年,就会使选出的偏

多年集中在 1984 年以前,偏少年集中在 1984 年之后。这样分析时,实际并没有能够分离出年际变化并真正对年际变化进行说明,因为其中还混杂了年代际变化的特点。为了避免这种情况,在沙尘暴发生突变前 1960—1984 年 25 a 中进行分析(1984 年以后的时间段太短,不便进行分析),因为在该时间段内沙尘暴的变化趋势是平稳的。计算该时间段的平均值及其均方差,将大于和小于平均值 0.5 个均方差的年份分别作为沙尘暴偏多年和偏少年,得到 8 个偏多年是 1963、1966、1969、1971、1975、1976、1982、1983 年,7 个偏少年是:1964、1965、1967、1968、1970、1978、1980 年。分析内容同 4.1。

由 500 hPa、850 hPa 高度场的差异性  $t$  检验图可以看出,偏多、偏少年(图 4a、b)与偏多、偏少阶段(图 3a、b)的形势相比有不同之处。图 3 中低纬度的大范围负差异显著区在图 4 中没有,北美加拿大的负差异中心向西移动大约 15 个经度。但在影响关键区内的形势是相似的,即在蒙古、贝加尔湖至西伯利亚一带是通过置信水平为 95 % 检验的负差异区,只是负差异的区域范围和强度都有减小。850 hPa 上的差异性特点比 500 hPa 的明显一些。

对应 500 hPa、850 hPa 风场距平图(图略),在上述影响关键区内,偏多年有气旋性环流,偏少年有反气旋性环流。由偏多年减偏少年的差值图(图 4c、d)及纬向风和经向风差值  $t$  检验图(图略)可以看出,这种气旋性、反气旋性差异与偏多、偏少阶段相比,虽然差异性大小以及通过置信水平为 95 % 检验的区域范围也有减小,但形势是相似的。

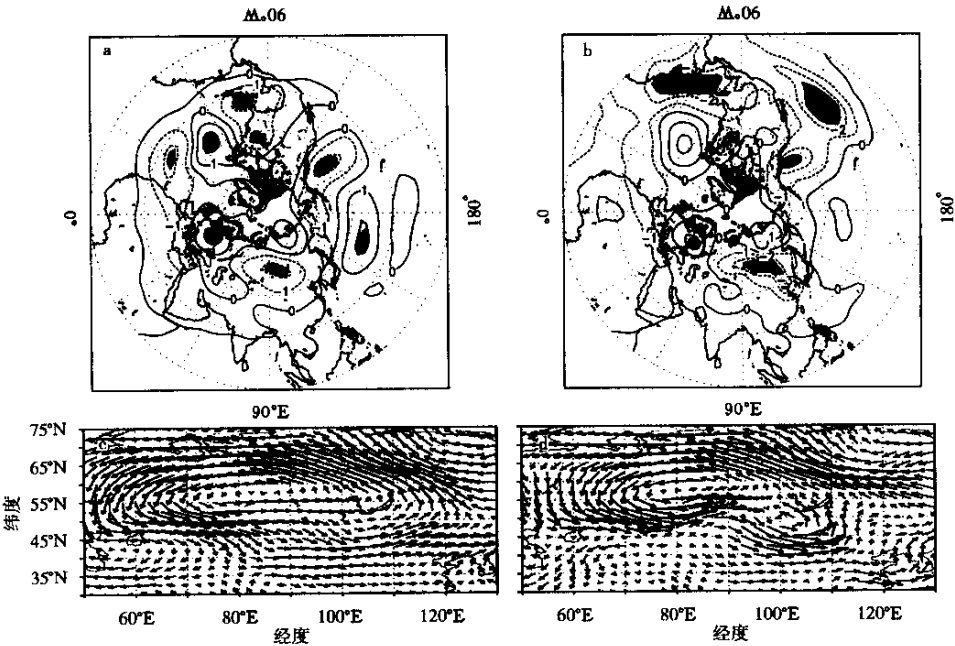


图 4 宁夏春季沙尘暴发生次数偏多年减偏少年位势高度、风场差值分布  
(阴影区通过置信水平为 95 % 的  $t$  检验)

a. 500 hPa 高度场;b. 850 hPa 高度场;c. 500 hPa 水平风场;d. 850 hPa 水平风场

Fig. 4 Height and wind differences between years with more and less spring sandstorm in Ningxia (Areas exceeding  $t$ -test confidence level of 95 % are shaded)

a. 500 hPa height;b. 850 hPa height;c. 500 hPa horizontal wind;d. 850 hPa horizontal wind

综上所述,在影响关键区内,与宁夏春季沙尘暴年代际变化相关联的偏多与偏少阶段,以

及与年际变化相关联的偏多与偏少年,它们各自之间都存在明显不同的环流背景场,而偏多阶段与偏多年、偏少阶段与偏少年各自之间的环流背景场比较相似。因此说宁夏春季沙尘暴发生次数的异常变化,有其明显不同的环流背景场。当影响关键区的环流背景场发生异常变化时,宁夏沙尘暴发生次数就会发生相应的异常变化。

5 格陵兰海冰变化影响宁夏春季沙尘暴的可能途径

由前面的分析知,宁夏春季沙尘暴与北极部分海区海冰面积之间存在密切关系,这里选取与宁夏春季沙尘暴发生次数年代际和年际变化相关都比较显著的秋季格陵兰海冰,进一步研究它与沙尘暴的变化关系以及对沙尘暴影响的可能途径。

由图 5 可以看出,宁夏春季沙尘暴和前一年秋季格陵兰海冰面积总体变化都呈减少趋势,且总趋势非常一致,二次多项式的趋势线几乎重合,在没有去除趋势项之前,两者的相关系数高达 0.673 2。在 1984 年以前和 1992 年以后这两个时段内沙尘暴和海冰都呈一致的稳定偏多和偏少状态,在 1985—1991 年海冰处于由偏多阶段向偏少阶段转变的振荡时期。在 70 年代中后期到 80 年代中后期(1978—1987 年)和整个 90 年代(1991—1999 年),宁夏春季沙尘暴发生次数和前一年秋季格陵兰海冰面积的距平符号完全一致。两者的年际变化趋势在大部分时段内也是一致的,32 a 中有 22 a 变化趋势一致,二者的距平符号相同率达 78.1 %,32 a 中有 25 a 距平符号相同,只有 4 a 是明显相反的。年际变率的相关系数为 0.471,由图 6 可以看出,两者的年际变率在大部分时段相一致,特别是 80、90 年代相关更好。沙尘暴和海冰的年代际和

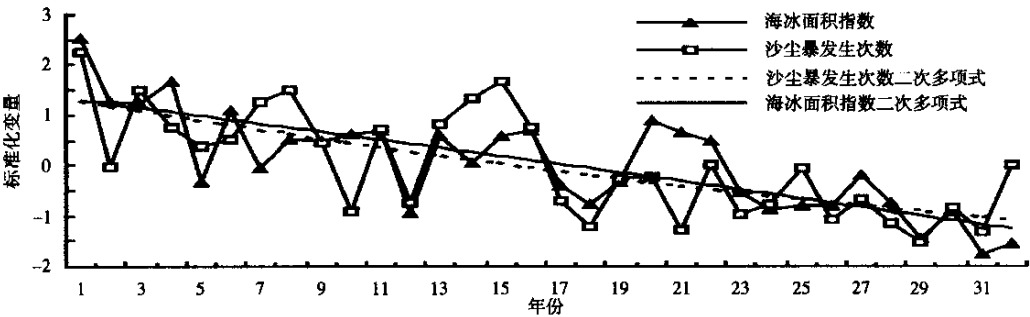


图 5 宁夏春季沙尘暴发生次数(1969—2000 年)和前一年秋季格陵兰海冰面积指数(1968—1999 年)年际变化及其趋势

Fig. 5 Interannual variations and trends of frequency of spring sandstorm in Ningxia during 1969—2000 and sea-ice area index in preceding autumn in Greenland Sea (1968—1999) together with their tendencies

年际变化关系都很明显。

方之芳<sup>[14]</sup>、蒋全荣等<sup>[15]</sup>的研究结果表明极地海冰的异常对 500 hPa 的大气环流有着重要影响,可以激发 500 hPa 遥相关型。方之芳<sup>[14]</sup>认为这种遥相关型可以看成二维 Rossby 波列,具有相当正压结构,在西风带中沿着固定的波导自高纬向低纬分布,从而对影响地区的大气环流和天气产生影响。Walsh 等<sup>[16]</sup>研究了北极海冰变化对 SLP 和温度等要素的影响,发现海冰异常对其后一段时间的气象要素场有明显的影 响。陈明轩等<sup>[17]</sup>的研究也表明,海冰作为慢变介质,会稳定地影响其后一段时间的环流和天气形势。由上文分析知宁夏春季沙尘暴发生次数的异常变化有其不同的环流背景,而北极海冰对宁夏沙尘暴的影响首先必须表现在大尺度环流的变化上,因此,选取与宁夏沙尘暴发生次数相关系数最大的格陵兰海区,从大尺度环



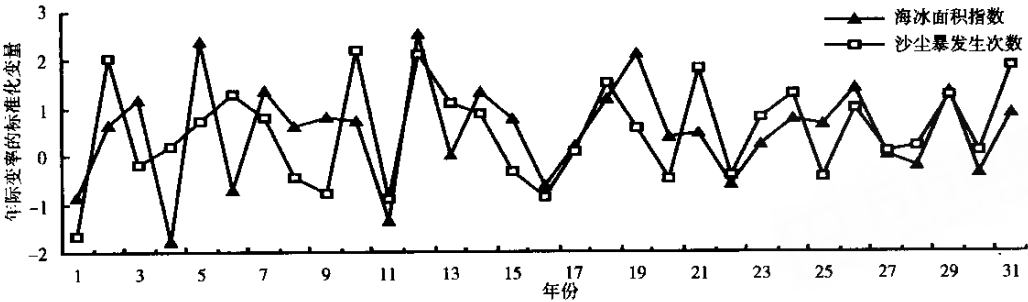


图 6 宁夏春季沙尘暴发生次数变率(1970—2000 年)和前一年秋季格陵兰海冰面积指数变率(1969—1999 年)年际变化

Fig. 6 Interannual variations of frequency of spring sandstorm in Ningxia during 1970—2000 and sea-ice area index in preceding autumn in Greenland Sea (1969—1999) after eliminating the trends 流背景的变化去考虑海冰对沙尘暴的影响,以寻求海冰异常变化对沙尘暴影响的可能途径。

首先对秋季格陵兰海冰面积与次年春季北半球 500 hPa、850 hPa 高度场进行相关分析。由图 7 可以看出,在 500 hPa 上有三个区域相关系数通过置信水平为 95 % 的检验,其中较大的一个区域位于我国上游的西伯利亚地区,中心区域相关系数达置信水平为 99 % 的检验。从我国北方经蒙古、贝加尔湖、西伯利亚新地岛以南的较大范围内负相关系数较大。在影响关键区内 850 hPa 与 500 hPa 相关形势相似,只是 850 hPa 上相关显著的范围更大,整个亚洲几乎都是负相关,最大负相关区位于蒙古、贝加尔湖一带。将相关系数图 7a、b 与图 3a、b 和图 4a、b 相比较,发现在影响关键区内形势非常相似,尤其是与图 3a、b 较相似,这似乎说明海冰面积异常变化影响环流场异常,从而影响沙尘暴的异常,而且对年代际变化的异常影响似乎更大。

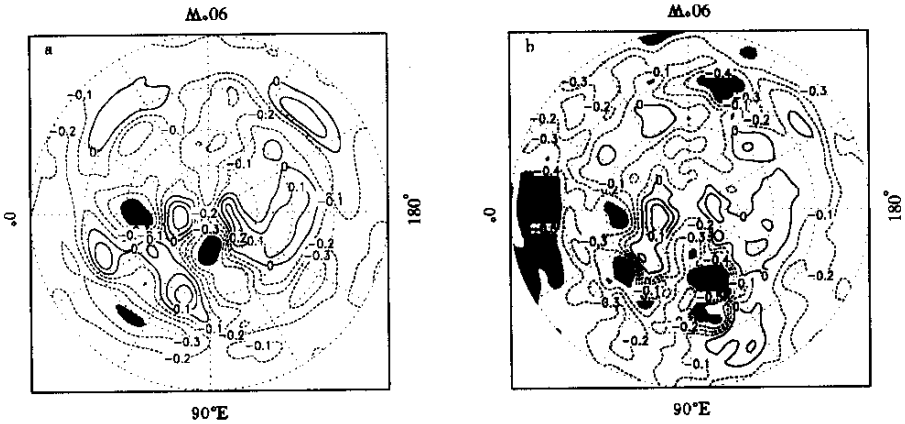


图 7 秋季格陵兰海冰面积指数与次年春季北半球 500 hPa(a)、850 hPa(b) 高度场相关(阴影区通过置信水平为 95 % 的  $t$  检验)

Fig. 7 Correlation of Greenland sea-ice area index in autumn with NH 500 hPa(a)、850 hPa(b) height fields in the following spring  
(The shaded shows the areas exceeding  $t$ -test confidence level of 95 %)

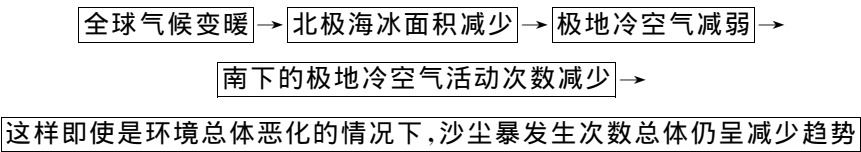
由于这种相关分析包含了年代际趋势变化,因此并不一定能够说明海冰与高度场的年际相关关系(因为实际上海冰有明显的负趋势,而高度场也有正趋势变化),但是能够大致分辨出相关较显著的区域。从 500 hPa、850 hPa 上分别选出通过置信水平为 95 % 检验的相关显著区

A 区( $70^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ ,  $55^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ )和 B 区( $90^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{E}$ ,  $40^{\circ}\sim 65^{\circ}\text{N}$ ),并将这两块区域内的春季高度场分别求和,组成两个 33 a 的时间序列  $I_a$ 、 $I_b$  作为高度场的指数序列,分别研究  $I_a$ 、 $I_b$  与前一年秋季格陵兰海冰面积之间的相关关系。在没有去除年代际变化之前,海冰与  $I_a$ 、 $I_b$  的相关系数分别为  $-0.476$  和  $-0.555\ 2$ 。去除年代际变化趋势后的年际变率相关系数分别为  $-0.392$  和  $-0.339\ 7$ ,即年际变化也是显著的负相关。因此认为,格陵兰秋季海冰面积的变化确实与次年春季影响关键区的高度场有显著负相关关系。即当秋季格陵兰海冰面积增大(减小)时,影响我国北方天气的上游关键区蒙古、贝加尔湖、西伯利亚一带  $500\text{ hPa}$ 、 $850\text{ hPa}$  高度场降低(升高),这正好与宁夏沙尘暴偏多(少)状况的环流背景场一致。因此可以说格陵兰海冰面积的异常变化通过影响其后一段时间的大气环流背景场而对宁夏春季的沙尘暴产生影响,海冰和沙尘暴之间的联系具有一定的环流背景。

## 6 宁夏(我国北方)沙尘暴发生次数总体呈减少趋势的可能原因

我国北方沙尘暴发生次数总的来说呈减少趋势,宁夏沙尘暴总的变化趋势与全国一致。朱震达<sup>[2]</sup>的研究表明,20 世纪以来,随着人口压力的增大,人为活动的频繁,我国各个地带的荒漠化土地在原有的基础上进一步扩大,以我国北方地区为例,50 年代到 70 年代中期平均每年增加荒漠化土地  $1\ 560\text{ km}^2$ ,年增长率为  $1.01\%$ ,70 年代中期到 80 年代中期平均每年增加  $2\ 100\text{ km}^2$ ,年增长率为  $1.47\%$ ,到了 90 年代其年扩大面积达  $2\ 460\text{ km}^2$ ,荒漠化程度进一步加重。因此我国北方地区环境和植被覆盖总体上趋于恶化,单从地表状况分析,我国沙尘暴总的来说应该是增加的,但事实却相反,原因究竟是什么呢?本文的研究表明:欧亚大陆北部海域海冰面积变化与沙尘暴发生次数之间存在着较好的年代际和年际相关关系。海冰与沙尘暴的年代际减少趋势一致,北极海冰面积的变化通过影响其后一段时间的大气环流,从而影响宁夏乃至我国北方地区沙尘暴的发生。因此,认为沙尘暴减少的原因至少部分与北极海冰面积的变化有关。而近百年来全球气候的逐渐变暖,其后果之一是引起极地海冰消融、海冰面积减少,所以可以认为宁夏(我国北方)沙尘暴发生次数总体呈减少趋势极可能是全球气候变暖所致。当然,全球气候变暖的效应是复杂的,对沙尘暴的影响也是多方面的,需要更深入细致地研究。

综上所述,设想有下面这样一种关系,但还需进一步的证明。



## 7 结论与讨论

(1)宁夏沙尘暴发生次数和北极海冰面积有明显的年代际、年际变化特点,总体都呈减少趋势。

(2)宁夏沙尘暴的发生次数与欧亚大陆北部的喀拉海、巴伦支海和格陵兰海冰面积之间存在显著的年代际和年际相关关系,与整个北极海冰面积的相关性也比较高。

(3)格陵兰海冰面积的变化通过影响其后一段时间的大气环流,从而影响宁夏乃至我国北方地区沙尘暴的发生,海冰和沙尘暴之间的联系具有一定的环流背景。当秋季格陵兰海冰面积增大(减小)时,次年春季蒙古至西伯利亚一带  $500\text{ hPa}$ 、 $850\text{ hPa}$  高压场降低(升高),对应风场有明显的气旋性(反气旋性)特点,在宁夏及甘肃、青海至新疆一带西风明显偏强(偏弱),说明

冷空气活动次数偏多(少),对应宁夏春季沙尘暴发生次数偏多(少)。这为沙尘暴的短期气候预测提出了新的思路,并可以进一步研究我国其他地方沙尘暴与北极不同海域海冰的相关关系。

(4)我国沙尘暴发生次数在环境总体恶化的情况下反而呈下降趋势极可能是由于全球气候变暖所致。

本文只是研究它们之间的统计关系,并未深入探讨它们的物理过程和动力机制,这些工作有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等.我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[C].中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997:1-10.

[2] 朱震达.中国沙漠、沙漠化、荒漠化及其治理的对策[M].北京:中国环境科学出版社,1999:659-660.

[3] 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[J].自然灾害学报,1996,5(2):86-94.

[4] 杨东贞,房秀梅,李兴生.我国北方沙尘暴变化趋势的分析[J].应用气象学报,1998,9(3):352-358.

[5] 赵玉春,孙照渤,王叶红.南、北极海冰的长期变化趋势及其与大气环流的联系[J].南京气象学院学报,2001,24(1):119-126.

[6] 黄土松,杨修群,谢倩.北极海冰对大气环流与气候影响的观测分析和数值实验研究[J].海洋学报,1992,14(6):32-46.

[7] 尚可政,孙黎辉,王式功,等.甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关关系[J].中国沙漠,1998,18(3):239-243.

[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[J].中国沙漠,2000,20(1):55-58.

[9] Walsh J E. The role of sea ice in climate variability[J]. Atmosphere-Ocean,1998,23(3):551-577.

[10] 武炳义,高登义,黄荣辉.冬春季节北极海冰的年际和年代际变化[J].气候与环境研究,2000,5(3):249-258.

[11] 彭公炳.气候与冰雪覆盖[M].北京:气象出版社,1992:19-27.

[12] 方宗义.中国沙尘暴研究[M].北京:气象出版社,1997:1-330.

[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] 方之芳.夏季北极海冰激发的 500 hPa 遥相关[J].大气科学,1991,15(1):53-60.

[15] 蒋全荣,王春红,徐桂玉,等.北极 I 区海冰面积变化及其与大气遥相关型的联系[J].气象学报,1996,54(2):241-246.

[16] Walsh J E,Johnson C M. Interannual atmospheric variability and associated fluctuations in Arctic sea ice extent[J]. J Geophy Res,1979,84(c11):6 915-6 928.

[17] 陈明轩,徐海明,管兆勇.春季格陵兰海冰与夏季中国气温和降水的关系[J].南京气象学院学报,2001,24(4):483-490.

# Telecorrelation of Arctic Sea-Ice with Spring Sandstorm in Ningxia

YANG Jian-ling<sup>1</sup>, HE Jin-hai<sup>1</sup>, ZHAO Guang-ping<sup>2</sup>

(1. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044, China; 2. Key Lab for Preventing and Alleviating Meteorological Disaster, Ningxia Institute of Meteorology, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** Based on sandstorm records in Ningxia, Arctic sea-ice concentration data and 500, 850 hPa height and wind fields from NCEP/NCAR reanalysis dataset, the variations of sandstorm are investigated. It is found that there are significant interannual and interdecadal correlations between the spring sandstorm frequency and the sea-ice area indices of Kara, Barents and Greenland seas, which locate on the north of Eurasian continent. By using composite and correlation analysis, it is concluded that the circulation backgrounds between more and less spring sandstorm are evidently different, and the anomalies of autumn Greenland sea-ice can affect the occurrence of sandstorm in the following spring in Ningxia through impacting the atmospheric circulation background. When autumn Greenland sea-ice area increases (decreases), 500 and 850 hPa height fields from Mongolia to Siberian will become lower (higher) and the wind fields in following spring will exhibit cyclonic (anticyclonic) anomalies, and west winds from Ningxia to Xingjiang will be significantly stronger (weaker), which suggest the activities of cold air are active (inactive). As a result, the occurrence of spring sandstorm in Ningxia are more (less). It is possible to link the decreasing trend of sandstorm in Ningxia (North China) and the global warming through sea-ice, and it is concluded that the decreasing trend of sandstorm in China could be caused by the global warming.

**Key words:** Arctic sea-ice; Ningxia; sandstorm; telecorrelation