

文章编号: 1000-2022(2001) 04-0483-08

# 春季格陵兰海冰与夏季中国气温和降水的关系\*

陈明轩, 徐海明, 管兆勇

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

**摘要:** 采用英国 Hadley 中心的 GISST 海冰面积资料、NCEP/NCAR 再分析资料以及中国 160 站气温和降水资料, 分析了春季格陵兰海冰面积与夏季中国区域气温和降水的关系。初步研究表明, 春季格陵兰海冰面积变化和随后夏季我国黄河长江中下游之间地区气温以及 8 月份华北和西南地区降水呈明显正相关, 而和 6 月黄河中上游地区降水则具有明显的负相关。同时, 春季格陵兰海冰异常时期对应着北半球大气环流的明显变化, 表明海冰与我国气温及降水之间的联系具有一定的环流背景。

**关键词:** 格陵兰海冰, 夏季气温, 夏季降水, 大气环流

**中图分类号:** P461.2      **文献标识码:** A

在北半球高纬度海气相互作用中, 作为冷源的北极海冰有着突出的贡献。国内外不少气象学者研究了北极海冰对区域环流和天气的影响<sup>[1,2]</sup>, 发现极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。黄土松等<sup>[3]</sup>的研究甚至表明, 北极海冰异常在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。作为高纬度地区大气下垫面的海冰, 它的异常变化可以导致盐度突变层的灾变和温盐环流的突然变化<sup>[4]</sup>, 也可导致半球乃至全球大气环流的异常<sup>[5]</sup>。由于我国幅员辽阔, 夏季气温高低和降水分布极不均衡。不同地区不同时段, 影响气温和降水的因素和物理过程差异显著, 这给我国夏季气温和降水预报增加了难度。随着研究的不断深入, 人们对影响我国夏季气温和降水的机制有了进一步的认识, 并开始把注意力转向高纬度地区<sup>[5~7]</sup>。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相同的地方。Walsh 等<sup>[1]</sup>指出, 海冰研究应按地理位置细分为不同海区进行。本文初步研究了春季格陵兰海冰与夏季中国区域气温和降水的关系。

## 1 资料

月平均位势高度场资料取自 NCEP/NCAR 再分析资料集<sup>[8]</sup>; 中国 160 站月平均气温和降水取自国家气象中心; 月平均的极区海冰面积网格点(1°×1°)资料取自英国 Hadley 中心的 UK/GISST(Global Sea Ice and Sea Surface Temperature data set) 资料集<sup>[9]</sup>。参考他人<sup>[10,11]</sup>的

\* 国家重点基础研究发展规划项目“G1998040900( )”资助

收稿日期: 2000-12-14; 改回日期: 2001-06-04

第一作者简介: 陈明轩, 男, 1975 年 8 月生, 硕士, 现在北京市气象局工作。

1) Wang Jia, Ikeda Moto. Arctic sea ice oscillation: regional perspective. Submitted to Annals of Glaciology, final revision July 2000. (私人通信)

工作,将格陵兰海冰区的范围界定在(45°W ~ 15°E, 55° ~ 85°N),格陵兰海冰面积指数定义为每个月此范围内海冰面积的平均值。

## 2 春季格陵兰海冰与夏季中国气温和降水的关系

### 2.1 春季格陵兰海冰与夏季中国气温的关系

黄士松等<sup>[3]</sup>指出,北极各个区域海冰与后期中国气温存在显著关系,这种关系不论是在时间上还是在空间上都有很大的差别。陈寅生等<sup>[2]</sup>的工作表明,6月份北极冰盖面积变化对我国后期的气温变化具有一定的指示意义,且对我国后期气温的影响存在准两年的传递过程,在一个振荡周期中,对气温的正相关影响来自新疆、内蒙西部,然后在振荡的后半周期又被来自中缅边境的负相关影响所取代。格陵兰海位于我国的上游,因此格陵兰海冰异常以及冰气相互作用与我国区域气候特征必定有密切关系。下面就春季格陵兰海冰与夏季我国气温关系进行初步讨论。

首先,计算了春季(3~5月)格陵兰海冰面积与随后5~9月中国160个观测站气温的月一月交叉相关(图略),发现春季各月的海冰与夏季(6~8月)气温的显著相关较稳定,也就是说正/负相关区稳定在某些区域。图1是春季格陵兰海冰面积指数与夏季中国气温相关分布。由图可见,在黄河中下游以南长江以北地区,存在大范围的正相关区,显著相关区占据了黄河以南长江以北从渭河流域、汉水流域直到淮河上游的广大地区。而在东南沿海,则为负相关区,显著相关区出现在福建沿海和珠江三角洲地区。另外,在华北北部及东北地区的广大区域也为负的相关区,但是相关不显著。从图上可以看出,几乎以长江、黄河为界,黄河下游以北和长江以南的夏季气温与春季格陵兰海冰呈负相关,而两河流域之间广大地区的气温则与海冰呈正相关。

为进一步说明春季格陵兰海冰与夏季两河流域之间气温的密切关系,从年际变化考虑,选取显著正相关区域内的菏泽、安阳、郑州、信阳、南阳、西安、汉中、西峰镇、天水等9个站的夏季平均气温来代表该区域的夏季温度,研究它与春季格陵兰海冰的变化趋势(图2)。由图2可见,黄河中下游以南长江以北地区夏季气温与春季格陵兰海冰的年际变化几乎呈相同的趋势,特别是从20世纪60年代末开始,这种趋势相当明显。它们之间的相关达到了0.448,远远超过了99%的置信水平。选取中国东南沿海的杭州、福州、广州、温州等11个站的夏季平均气温来代表东南沿海夏季气温平均值,作类似于图2的处理,可以看出其与春季格陵兰海冰具有相反的年际变化趋势(图略)。以上分析表明,春季格陵兰海冰对随后夏季我国内陆两河流域之间和东南沿海地区气温的影响几乎是扮演着完全相反的角色。因此,春季格陵兰海冰对于我国夏季区域气温趋势预报具有一定的指示意义。

### 2.2 春季格陵兰海冰与夏季中国降水的关系

影响我国夏季降水的因素很多,其中包括西太平洋暖池以及我国南海海温、西太平洋副热带高压、黑潮区海温、中东太平洋海温,还有人们最近开始注意的中高纬大气环流异常及其下垫面热力状况改变等。而中高纬大气环流异常和下垫面热力状况变化与极区海冰存在紧密联系<sup>[11]</sup>。数值试验<sup>[5]</sup>表明,北极海冰面积偏大,我国东部地区降水量有所减少。但是正如2.1节所述,不同地区海冰与我国降水关系同样存在时间和空间上的显著差异,极区海冰对我国夏季降水的影响应分开考虑。武炳义等<sup>[6]</sup>的研究指出,冬季喀啦海、巴伦支海海冰可以影响8月份海河、辽河流域降水;而冬季巴芬湾、戴维斯海峡海冰对7月黄河中上游流域降水有影响,海冰与降水呈相反的变化趋势。柏晶瑜等<sup>[7]</sup>最近研究了北极海冰与我国华北地区降水的关系,指出

新地岛附近(包括巴伦支海)为华北地区旱涝异常年海冰面积指数距平反位相最为显著区,该区域冬季海冰分布状况与随后华北地区夏季降水反相关。由于降水的复杂多变,在此初步探讨一下春季格陵兰海冰与夏季我国区域降水的关系。

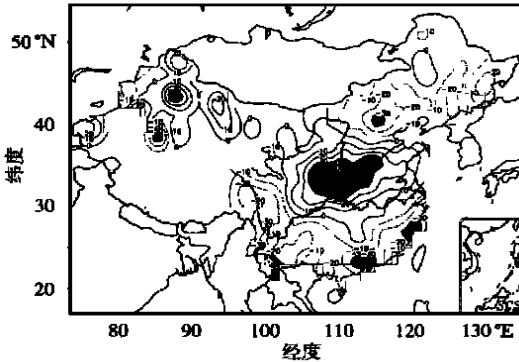


图 1 春季格陵兰海冰面积与夏季中国气温相关分布(图中相关系数已放大 100 倍,阴影区达到 95 % 置信水平)

Fig. 1 The correlation of spring Greenland sea-ice extent and summer surface air temperature in China

(Correlation coefficient is enlarged 100 times, 95 % significant level extent is shaded)

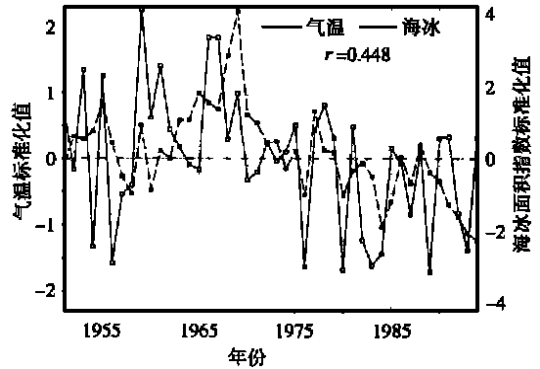


图 2 春季格陵兰海冰面积和夏季黄河中下游以南长江以北地区气温年际变化

Fig. 2 Interannual variations of spring Greenland sea-ice extent and summer surface air temperature over the area which is south of the mid-low reaches of Huanghe River and north of the Yangtze River

首先进行了春季海冰与随后 5 ~ 9 月中国降水量的月-月交叉相关分析(图略),发现春季各月海冰与每月降水的相关差别较大(这也说明了中国夏季降水的区域性和复杂性),但是对于夏季各月的降水来说,春季的海冰与其相关却较稳定,这主要是因为海冰具有较大持续性的缘故<sup>[1,11]</sup>。同时发现,海冰与 6 月和 8 月降水关系较密切。因此,接下来主要分析春季平均的格陵兰海冰与夏季 6 月和 8 月中国降水的关系。

图 3 是春季格陵兰海冰与 6 月中国降水相关分布。由图可见几乎以长江为界,江南为正相关区,江北为负相关区,尤其在长江以北至黄河中上游地区,存在大范围负相关显著区。王绍武等<sup>[12]</sup>指出,对位于北半球中纬度的黄河中上游夏季旱涝来说,最直接的影响应该来自于前期格陵兰的海冰。从相关分析得出,春季格陵兰海冰面积偏大(偏小),则 6 月我国江南前汛期降水偏多(偏少),而长江以北特别是黄河中上游地区降水明显偏少(偏多)。

为了进一步考察黄河中上游地区 6 月降水与春季格陵兰海冰的密切关系,选取显著相关区内的南阳、西安、汉中、天水、岷县、西峰镇、兰州、临夏、西宁 9 个站的 6 月份平均降水代表 6 月份黄河中上游地区降水量,来研究它与春季格陵兰海冰的年际变化。图 4 给出了降水与海冰面积经标准化后的年际变化曲线。图 4 表明,二者存在反相变化趋势,特别是在 20 世纪 60 年代之后,这种变化十分明显。二者的相关达到 -0.432,远远超过了 99 % 的置信水平。因此,春季格陵兰海冰变化可以预示夏季 6 月黄河中上游降水的多寡,这对于这一偏干旱地区夏粮的收成具有十分重要的指示意义。

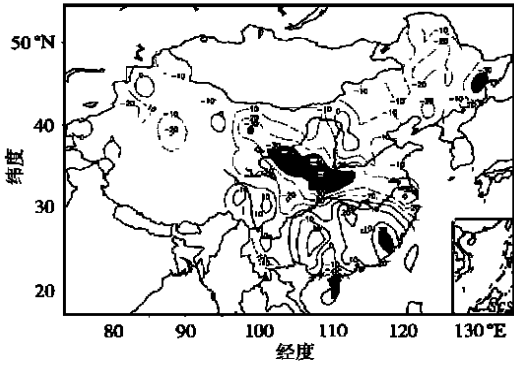


图 3 春季格陵兰海冰面积与 6 月中国降水相关分布 (图中相关系数已放大 100 倍, 阴影区达到 95 % 置信水平)

Fig.3 The correlation of spring Greenland sea ice extent and June precipitation in China

(Correlation coefficient is enlarged 100 times, 95 % significant level extent is shaded)

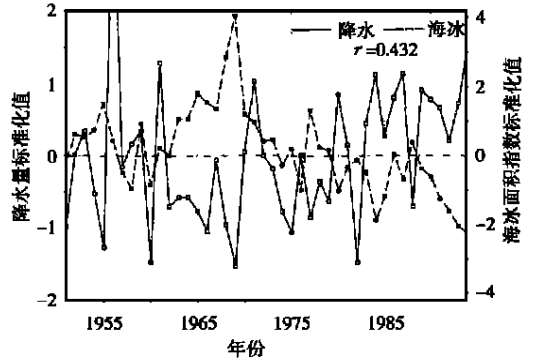


图 4 春季格陵兰海冰面积和 6 月黄河中上游地区降水年际变化

Fig.4 Interannual variations of spring Greenland sea ice extent and June precipitation in the mid-up valleys of Huanghe River

将春季格陵兰海冰与 8 月中国降水求相关 (图 5), 可以看出, 除在东南沿海为小范围的负相关区外, 在华北北部经黄河、长江中游直到我国西南地区则均为正相关区, 特别是在华北北部和西南地区东部等地存在置信水平达到 95 % 的显著正相关区。因此, 春季格陵兰海冰偏多 (偏少), 8 月在河北北部、京津地区、辽宁西部以及湖南西部、贵州等地降水显著偏多 (偏少)。

比较图 3 和图 5 可以看出, 春季格陵兰海冰与我国夏季 6 月份和 8 月份降水的相关关系在形势上存在很大差异, 这主要是由 6 月和 8 月我国降水的分布完全不同所造成的。

选取北京、张家口、承德、朝阳、赤峰、多伦 6 站和酉阳、遵义、芷江、贵阳、榕江、桂林、柳州 7 站 8 月平均降水来分别代表我国华北北部地区和西南东部地区 8 月的降水, 发现这两个地区 8 月降水与春季格陵兰海冰的年际变化趋势较一致 (图略), 两地区降水与海冰的相关分别

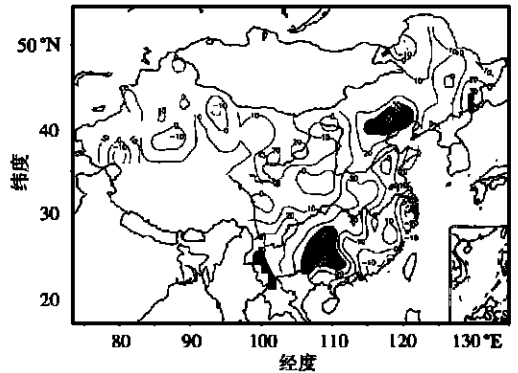


图 5 春季格陵兰海冰面积与 8 月份中国降水相关分布 (图中相关系数已放大 100 倍, 阴影区达到 95 % 置信水平)

Fig.5 The correlation of spring Greenland sea ice extent and August precipitation in China

(Correlation coefficient is enlarged 100 times, 95 % significant level extent is shaded)

达到 0.326 和 0.357, 均超过了 95 % 的置信水平。根据黄荣辉等<sup>[13]</sup>的分析, 我国华北地区从 60 年代后期开始夏季降水明显减少, 有干旱化的趋势。而自 60 年代末开始, 春季格陵兰海冰

面积有明显缩减的趋势(参看图 2 和图 4 的虚线)。因此, 春季格陵兰海冰可以看作是夏季华北北部降水趋势的预测因子之一。

### 3 春季格陵兰海冰影响我国夏季气温和降水的大尺度环流分析

春季格陵兰海冰对我国夏季气温和降水的影响首先必然表现在大尺度环流的变化上。以下从大尺度环流背景的变化去初步考虑海冰这种慢变介质对后期夏季我国天气气候的可能影响过程。

Walsh 等<sup>[1]</sup>研究了北极海冰变化对 SLP(海平面气压)和温度等要素的影响。其结果表明, 海冰异常对其后的 1~3 个月的气象要素场有明显影响, 这种影响可持续 4 个月之久。我们通过以季节为尺度的交叉相关分析也表明(图略), 春季格陵兰海冰异常能够明显影响 3 个月后的 SLP 和对流层低层 850 hPa 温度的变化。因此, 海冰作为慢变介质<sup>[1]</sup>, 会稳定地影响其后一段时间的环流和天气形势。同时, 影响天气气候的因子很多, 海冰只是其中之一, 而且海冰的影响也不是线性的。所以, 在研究海冰异常所对应的环流变化时, 应对海冰极端异常年的天气形势进行合成分析, 以突出主要大气信号的响应变化。在此, 从春季格陵兰海冰变化序列中, 取标准化的海冰面积指数值大于 1 的年份为多冰年, 而小于 -1 的年份为少冰年。由于其他要素资料时间的限制, 并考虑到海冰资料的可信度以及分布的均匀性, 在此仅取 1965、1966、1967、1968、1969、1977 年共 6 个多冰年, 取 1984、1985、1991、1992、1993、1994 共 6 个少冰年。在后文的诊断研究中均以此作为格陵兰春季多/少冰的年份。

首先, 对多/少冰年春季 500 hPa 位势高度场进行距平合成(图略), 发现多/少冰年春季 500 hPa 位势高度存在明显差异: 海冰异常偏多时, 格陵兰南部、地中海和北太平洋高纬地区位势高度上升, 而在北大西洋西部、西亚、北欧、东亚大部及北太平洋中纬度地区位势高度明显下降; 在海冰异常偏少时, 形势则基本相反。但是, 这并不能判断上述两种状态是否存在显著性差异, 或者即便存在差异, 也并不能判断出在哪些区域差异最为显著, 因此有必要对这两种状态的差异进行统计显著性检验。图 6 是春季格陵兰海冰在两种异常情况下的同期 500 hPa 位势高度差异(多冰减少冰)的显著性检验。图 6 表明, 在北太平洋地区和格陵兰南部是显著正差异区, 而在北大西洋西部、欧洲东北部、亚洲西南部等地是显著负差异区。结合 Wallace 等<sup>[14]</sup>的研究, 可以看出春季格陵兰海冰异常明显对应着大气环流遥相关型的变化(尽管春季这些遥相关型稍有减弱): 海冰异常增大(减小), PNA 型遥相关减弱(加强), WA 型遥相关偏弱(偏强), WP 型遥相关也减弱(加强)。大气环流的这种变化必然影响其后一段时间内的天气气候状况。

到了夏季, 从春季格陵兰海冰异常年的 500 hPa 位势高度距平合成分布(图略)可以看出: 多冰年在格陵兰北极区、格陵兰海区及北欧和北大西洋西部等地位势高度明显上升, 而在北美地区及从地中海经亚洲大陆到北太平洋地区位势高度则明显下降; 在少冰年时, 基本上是相反的趋势。为了检验这种海冰异常时夏季 500 hPa 环流差异性的空间分布, 对差值场进行统计显著性检验(图 7)。从图可以看出, 格陵兰北部北极中心区及欧洲是正的差异显著区, 而在北太平洋地区、墨西哥湾地区、北大西洋低纬地区、地中海、贝加尔湖北部以及东亚地区, 则均是负的差异显著区, 特别是在我国大陆地区, 差异远远超过了 99% 置信水平。可见, 春季格陵兰海冰异常确实与夏季东亚地区环流异常存在密切关系: 在多(少)冰年时, 高度场显著下降(上升)。

上面初步讨论了春季格陵兰海冰异常时北半球春季和夏季 500 hPa 高度场的变化形势。

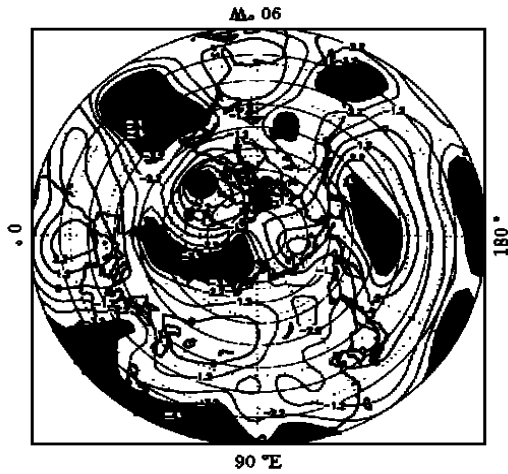


图 6 春季格陵兰海冰极端异常时期  
北半球 500 hPa 位势高度差异  
(异常偏高减异常偏低)的显著性检验  
(阴影区达到 99 % 置信水平)

Fig. 6 Statistical significant test of spring  
NH 500 hPa geopotential height  
difference between Greenland extreme  
more and less sea ice springs  
(99 % significant level extent is shaded)

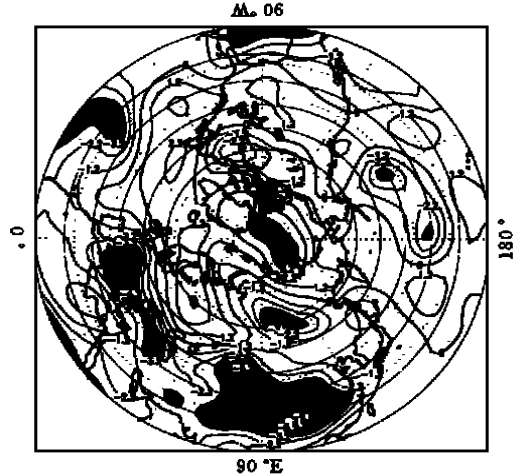


图 7 春季格陵兰海冰极端异常时  
夏季北半球 500 hPa 位势高度差异  
(异常偏高减异常偏低)的显著性检验  
(阴影区达到 99 % 置信水平)

Fig. 7 Statistical significant test of summer  
NH 500 hPa geopotential height  
difference between Greenland extreme  
more and less sea ice springs  
(99 % significant level extent is shaded)

可以看出, 500 hPa 环流在多/少冰年春、夏季存在明显差异, 尤其是春季大气环流遥相关型的变化和夏季东亚高度场的异常, 可能是海冰影响夏季中国气温及降水变化的主要原因之一。研究表明<sup>[15]</sup>, 海冰的高反照率(大约 80 % 左右)影响了它周围环境的辐射收支, 同时海冰面积的增大也缩减了海洋向大气的感热输送, 同时还抑制了海水的蒸发, 不利于对流层低层云的形成; 海冰面积增大和伴随的海水盐度降低将导致负的 SST 异常, 也会减小海洋对大气的热量输送。因此, 局地的地面气温和 SLP 由于海冰的持续异常而首先发生明显变化, 并进而对半球乃至全球后期的大气环流和天气气候产生重要影响<sup>[1]</sup>。方之芳等<sup>[16]</sup>指出, 极冰可以激发北半球大气产生遥相关型, 这种遥相关型可以看作二维 Rossby 波, 具有相当正压结构, 并沿一定的波导传播, 从而影响北美的环流和天气。我们通过数值试验(另文给出)也发现, 春季格陵兰海冰极端异常时, 从格陵兰到低纬地区有一正负相间的波列出现。由于这一波列向下游的传播, 使得北半球中低纬包括东亚地区后期的天气气候产生明显异常。

## 4 小 结

- (1) 春季格陵兰海冰面积与夏季我国黄河中下游以南长江以北地区气温具有明显正相关, 而与东南沿海等地气温则呈反相关。
- (2) 春季格陵兰海冰与夏季各月中国降水关系差别较大。海冰与 6 月长江以北黄河中上游地区降水显著反相关, 而与 8 月华北北部和西南地区东部降水呈正相关。
- (3) 春季格陵兰海冰异常明显对应着同期北半球大气环流遥相关型的变化: 海冰面积异常增大(减小), PNA 型遥相关、WA 型遥相关以及 WP 型遥相关均出现不同程度的减弱(加强)。

海冰与夏季东亚环流异常也存在密切关系: 在多(少)冰年时, 500 hPa 高度场明显下降(上升)。

当然, 以上结果都是初步的, 有关格陵兰海冰对我国夏季气温和降水的影响及其物理机制比较复杂, 还需作大量深入而细致的研究。

## 参考文献:

- [1] Walsh J E, Johnson C M. Interannual atmospheric variability and associated fluctuations in arctic sea ice extent[J]. *J Geophys Res*, 1979, 84(c11): 6915 ~ 6928
- [2] 陈寅生, 陈隆勋. 北极冰盖对我国气温和降水的影响[J]. *南京气象学院学报*. 1994, 17(1): 51 ~ 57
- [3] 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试验研究[J]. *海洋学报*. 1992, 14(6): 32 ~ 46
- [4] Mysak L A, Manak D K, Marsden R S. Sea-ice anomalies observed in the Greenland and Labrador Seas during 1901 ~ 1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle[J]. *Climate Dynamics*, 1990, 5(2): 111 ~ 133
- [5] 吴尚森, 梁建茵, 纪志萍. 极地海冰异常对我国夏季大气环流和降水影响的数值试验研究[J]. *热带气象学报*, 1996, 12(2): 105 ~ 111
- [6] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极海冰长期变化对华北降水的可能影响[J]. *高原气象*, 1999, 18(4): 590 ~ 594
- [7] 柏晶瑜, 徐祥德, 苗秋菊. 北极海冰“强信号”影响域[J]. *气象学报*, 2000, 58(4): 485 ~ 491
- [8] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(3): 437 ~ 471
- [9] Rayner N A, Horton E B, Parker D E, et al. Version 2. 2 of the global sea ice and sea surface temperature(GISST) data set, 1903 ~ 1994[C]. *Climate Research Tech Note(CRTN)*, Hadley Center, 1996
- [10] Parkinson C L, Cavalieri D J. Arctic Sea Ice 1973 ~ 1987: seasonal, regional, and interannual variability[J]. *J Geophys Res*, 1989, 94(c11): 14499 ~ 14523
- [11] 彭公炳, 李 倩, 钱步东. 气候与冰雪覆盖[M]. 北京: 气象出版社, 1992
- [12] 王绍武, 林本达. 气候预测与模拟研究[M]. 北京: 气象出版社, 1993. 255 ~ 256
- [13] 黄荣辉, 梁幼林, 宋连春. 近 40 年我国夏季旱涝变化及其成因初探[A]. 见: 黄荣辉主编. 气候变化若干问题研究[C]. 北京: 气象出版社, 1992. 14 ~ 29
- [14] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter[J]. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(4): 784 ~ 812
- [15] Power S B, Mysak L A. On the interannual variability of Arctic sea-level pressure and sea ice[J]. *Atmos-Ocean*, 1992, 30(4): 551 ~ 577
- [16] 方之芳, 谭友邦, 隋学海. 夏季北极海冰激发的 500 hPa 遥相关型[J]. *大气科学*, 1991, 15(1): 53 ~ 60

# RELATIONSHIP OF SPRING GREENLAND SEA ICE WITH SUMMER SURFACE AIR TEMPERATURE AND RAINFALL IN CHINA

Chen Mingxuan, Xu Haiming, Guan Zhaoyong

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

**Abstract:** Based on GISST sea ice extent data set of Hadley center, UK and NCEP/NCAR re-analysis data as well as surface air temperature and rainfall data from 160 stations in China, the relationship among spring sea ice extent change in Greenland and regional surface air temperature as well as rainfall during summer in China is investigated. Results indicate that spring Greenland sea ice extent is positively correlated with surface air temperature in between the mid-low reaches of Huanghe River and the Yangtze River during summer as well as rainfall in North China and Southwest China in August, whereas is negatively correlated with precipitation around mid-up valleys of Huanghe River in June. In addition, remarkable changes of NH general circulation associated with spring Greenland sea ice anomalies make clear that the relationship between sea ice and surface air temperature as well as rainfall in China has corresponding background of general circulation change.

**Key words:** Greenland sea ice, summer surface air temperature, summer rainfall, general circulation