

文章编号: 1000-2022(2006)01-0082-06

北极海冰变化及其与中国秋季气温的相关分析

董新宁, 孙照渤

(南京信息工程大学 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 采用 Hadley 中心 1953 年 1 月—2003 年 2 月逐月 $1^\circ \times 1^\circ$ 海冰密集度资料和中国 1951 年 1 月—2001 年 2 月 160 站逐月气温资料, 对北极海冰的 4 个区域进行了研究, 并考察了主要影响区与我国秋季气温的关系。结果表明: 近 50 a 北极各区海冰在不同季节几乎都有显著的线性下降趋势, 欧洲部分减少最快; 海冰突变开始时间不同, 春夏季大约在 20 世纪 70 年代、秋冬季在 80 年代左右; 各区域海冰周期变化具有年代际特征, 同时又有显著的季节差异和地域特性。主要影响区海冰与我国秋季气温的显著相关区在河套、长江中游和新疆的部分地区。不同区域海冰的显著相关时段不同, 基本集中在海冰超前气温 1~2 a 的时间里。

关键词: 北极海冰; 秋季气温; DQ 指数; Mann-Kendall 法; 墨西哥帽小波分析; 相关分析

中图分类号: P461.6 **文献标识码:** A

Characteristics of Arctic Sea-Ice and Its Relation with Autumn Air Temperature in China

DONG Xin-ning SUN Zhao-bo

(Department of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

Abstract Variations of Arctic sea-ice in four sectors and their relations with autumn temperature in China are studied in this paper by use of the monthly $1^\circ \times 1^\circ$ sea-ice concentration data of Hadley center from January 1953 to February 2003 and the monthly temperature data at 160 stations in China. The results show that the sea-ice concentration of various seasons all exhibited a distinctive linear descending trend in four sectors in the last 50 years, and the decrease in sea-ice concentration was fastest in the European sector in spring and summer. The beginning time of the abrupt change of the sea-ice concentration for various seasons was different: it was 1970's for spring and summer concentrations while 1980's for fall and winter concentrations. The sea-ice concentration of various sectors displayed an interdecadal variation as well as distinctive seasonal and regional differences. The distinctive correlation areas between the sea-ice of sector and the autumn temperature in China lay in the Hetao area, the mid-reach of the Yangtze River and part of Xinjiang. The sea-ice in sectors and were significantly correlated with the 2-year and 1-year later autumn temperature in China respectively.

Key words Arctic sea-ice; autumn air temperature; DQ index; Mann-Kendall method; Mexican-hat wavelet

收稿日期: 2004-07-27 改回日期: 2005-06-03

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40331010)

作者简介: 董新宁 (1979-), 女, 陕西眉县人, 硕士, 研究方向: 短期气候异常及预测. E-mail: dxn98my@163.com.

analysis correlation analysis

0 引 言

北极地区是全球地气系统中巨大的冷源, 海冰作为全球气候系统中的重要成员, 其变化显著影响着北极冷空气的强度和范围。近年来, 随着温室效应进一步增强, 北半球中高纬显著升温, 北极海冰面积和厚度都发生了重要变化, 也对我国气候变化产生了深远影响。

Holloway 等^[1]利用洋面声波探测资料, 研究发现北极海冰在近 10 a 减少了将近一半; Gloersen 等^[2]认为 1978—1987 年北半球冰盖有小而显著的负趋势; arkinson 等^[3]指出 1978—1996 年以来, 北极海冰各季节均减少, 春季最大、秋季最小, 变化的区域性特征表现在欧洲沿岸减少最快; Maslanik 等^[4]的研究表明, 北极海冰在 1979 年以来面积的总变化趋势是负值, 尤其在夏季。在国内, 彭公炳等^[5]指出了北极海冰变化的几个不同阶段; 陈寅生等^[6]指出北极海冰覆盖面积的逐年变化存在准两年的低频振荡, 而 6 月北极海冰覆盖面积是否改变距平符号对我国后期的气温变化具有关键指示意义; 陈明轩等^[7-8]研究格陵兰海域海冰得出冬春季格陵兰岛两侧海冰呈明显的反位相变化, 并指出 6 月份中国气温及降水与这两个区域海冰关系最为密切的地方在长江以北至黄河中下游地区; 汪代维等^[9]指出北极海冰面积既有显著的季节变化, 又有较大的年际、年代际、甚至是趋势性变化特征; 赵玉春等^[10]指出北极春夏秋冬多数海区海冰逐渐减少, 而冬季的海冰变化趋势不大。

我国大部分处于东亚季风区, 气候带脆弱, 气象灾害频发。秋季正是我国西部作物成熟、冬季作物播种的大忙时节, 也是长江中下游晚稻抽穗的季节, 秋季气温的异常将对国民生产造成重大影响。任国玉等^[11]对秋季气温、降水的空间分布做了分析; 谌芸等^[12]认为秋季气温有升高的趋势, 华北平原最显著; 北极海冰究竟能否对中高纬气候产生显著影响呢? 杨梅玉等^[13]的模式结果表明, 极冰边缘的异常完全可以改变中高纬某些地区的局地气候。本文将北极划分为 4 个区域, 运用统计方法^[14]分别研究其变化特征, 并考察了部分区域海冰与我国秋季气温的相关关系。

1 资料和方法

本文采用的资料是 Hadley 中心 1953 年 1 月—

2003 年 2 月逐月的 $1^\circ \times 1^\circ$ 海冰密集度资料, 0~9 分别表示海冰在单位面积内占十分之几; 中国国家气象局整理提供的 1951 年 1 月—2001 年 2 月全国 160 站逐月气温资料。

Q 指数是将海区中所有格点值求和所得的时间序列。由于海冰密集度资料和单位面积有关, 随着纬度的增加, $1^\circ \times 1^\circ$ 的单位面积在减少。为了消除这种资料带来的偏差, 本文在计算 Q 指数时, 采用纬度订正系数 $\alpha = \cos(\alpha\pi/180)$, 其中 α 是格点资料所在纬度。DQ 指数即为标准化的 Q 指数。

Mann-Kendall 法 (以下简称 MK 法) 是一种非参数统计检验法。对于样本容量为 n 的时间序列 x , 定义统计量 $S_k = \sum_{i=1}^n r_i$, $k = 2, 3, \dots, n$, S_k 是第 i 个样本大于第 j 个样本的个数的累计值 ($1 \leq j \leq i$)。在原序列随机独立的假设下, S_k 的标准化序列 $U(S_k)$ 在给定的显著性水平 α_0 下, $\alpha_1 < \alpha_0$ 时, 拒绝原假设, 认为序列存在一个长期的趋势变化。所有的 $U(S_k)$ ($1 \leq k \leq n$) 将组成一条曲线 UF , 对 x 序列的逆序列重复上述过程, 同时使 $ub_k = -uf_k$, $k = n, n-1, \dots, 1$; $ub_1 = 0$ 得到曲线 UB 。 UF 大 (小) 于 0 则表明序列呈上升 (下降) 趋势, 当 UF 超过临界线时, 表明上升 (下降) 的趋势显著。如果 UF 和 UB 曲线出现交点, 且交点在临界线之间, 这个交点即是突变点, 该点对应的时刻就是突变开始的时间。

2 北极海冰的统计特征

2.1 北极海冰分区

朱乾根等^[15]依据多年的统计分析指出, 影响我国的冷空气主要源地在新地岛两侧的洋面, 其次是冰岛以南洋面。其中来自欧洲的冷空气出现的次数最多, 来自亚洲北侧的冷空气强度较大, 本文将北极划分为以下 4 个区域, 对我国有重要影响的区域是 区 和 区:

区: ($40^\circ\text{W} \sim 0^\circ \sim 50^\circ\text{E}$) 格陵兰海、挪威海和巴伦支海; 区: ($50^\circ \sim 140^\circ\text{E}$) 喀拉海和拉普捷夫海; 区: ($140^\circ\text{E} \sim 180^\circ \sim 130^\circ\text{W}$) 东西伯利亚海、白令海、楚科奇海和波弗特海; 区: ($130^\circ \sim 40^\circ\text{W}$) 哈得孙湾、巴芬湾和戴维斯海峡。

2.2 北极海冰 Q 指数序列分析

北极海冰的时间变化尺度从数月到数年, 而以季节变化最为显著 (图 1), 冬夏季节间的差异尤甚,

春季和秋季分别是海冰消融期和增长期。从长期来看,季节变化叠加在一个长期的减少趋势上,使得该区域的海冰在近些年显著减少。由于海冰的缓变介质特性和季节差异大的特征,本文以下的研究侧重于从长期变化的角度来考察不同季节海冰的变化,以及与我国秋季气温的相关关系。

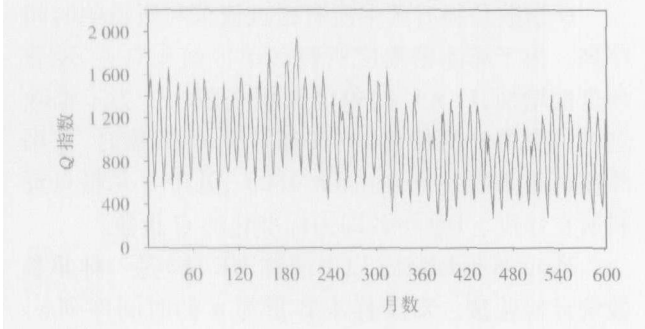


图 1 区海冰 Q 指数序列

Fig 1 Time serial of Q index in sector

2 3 北极各区域线性倾向估计分析

近年来北极海冰变化的总体特征是减少的,同时又具有明显的季节差异和地域特征。

从表 1 可以看出,近 50 a 4 个区域的海冰几乎都呈现显著的负趋势,这与总体的下降趋势是一致的。比较各区域, 区的负趋势最强, 区次之, 区最弱, 即格陵兰岛东侧的欧洲部分的海冰减少最快, 亚洲大陆北侧部分的海冰, 北美东北侧的海冰减少的幅度最小; 从季节变化来看, 夏秋季减少的最显著, 冬春季海冰的减少则比较小, 冬季部分区域甚至出现了海冰增加的趋势, 可见北极海冰减少集中在夏半年。

2 4 北极各区域海冰 MK 突变分析

彭公炳等^[5]分析 24 a 的海冰资料认为, 北极海冰的变化经历了几个主要的阶段: 50 年代海冰较少, 60 年代大为增加, 70 年代又减少, 进入 70 年代末海冰减少的很快。近 20 a 随着全球变暖的进一步加剧, 尤其是进入 90 年代中后期, 北极海冰在总

体减少的背景下, 其变化仍呈现出较大的地区和季节差异。

由图 2 中 UF 曲线可见, 区春季海冰在整个研究时段几乎都是减少的趋势, 60 年代末有增加趋势但不显著, 80 年代初期以来这种减少的趋势大大超过了 0.05 的临界线 ($u_{0.05} = \pm 1.96$), 甚至超过了 0.01 的显著性水平 ($u_{0.01} = \pm 2.56$), 这表明北极区春季海冰在近 30 a 的减少趋势十分显著。根据 UF 和 UB 的交点位置, 确定北极区春季海冰 70 年代中期发生突变, 开始的时间是 1975 年。

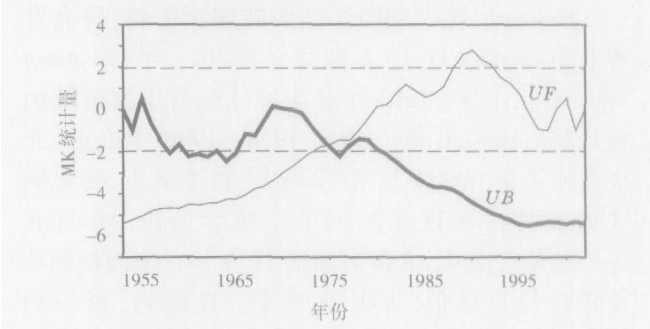


图 2 区春季海冰 DQ 指数的 MK 突变分析
(虚线: 95% 的置信水平)

Fig 2 Abnupt change analysis of DQ index of sector
by using the Mann-Kendall method
(dashed line the 95% confidence level)

总结 4 个区域的 MK 结果发现, 春季海冰除了区在 70 年代有增加外, 其他区域都呈减少的趋势; 夏季北极海冰则是从 70 年代由增长期进入减少期; 除了区秋季海冰持续减少外, 其余 3 区都是在 80 年代才进入减少期; 冬季海冰的变化最为复杂, 各区差异很大: 区 60—80 年代增加, 随后减少。

区 60 年代前增加, 70 年代中后期海冰减少的趋势变得显著。区 80 年代有所增加, 80 年代末开始减少。区 70 年代前减少, 80 年代起有增加, 但是不显著。秋冬季突变开始的时间集中在 80 年代。可见北极海冰近 30 a 的变化更趋复杂化, 季节差异

表 1 区各季节海冰 DQ 指数的线性倾向估计值

Table 1 Linear tendencies corresponding correlation coefficients of four season's DQ indices in the four regions of Arctic sea-ice

季节	区	区	区	区
春季	-0.031 0(-0.712 0)	-0.003 5(-0.429 3)	-0.000 8(-0.061 8) ¹⁾	-0.001 6(-0.210 1) ¹⁾
夏季	-0.026 4(-0.787 0)	-0.020 5(-0.766 6)	-0.011 2(-0.689 6)	-0.009 4(-0.741 7)
秋季	-0.018 0(-0.650 7)	-0.008 4(-0.415 7)	-0.009 7(-0.579 9)	-0.003 6(-0.385 2)
冬季	-0.021 1(-0.558 4)	-0.002 4(-0.376 9)	0.004 1(0.380 8)	0.000 1(0.014 2) ¹⁾

注: 括号内为倾向值对应的相关系数; 上角标 1) 表示该倾向值及其对应的相关系数没有通过 95% 的置信水平检验。

比空间差异更突出。

2 5 北极各区域小波分析

本文应用墨西哥帽小波分析区域海冰发现, 北极海冰的周期分布具有一定的区域性。由图 3 可见, 1968—2000 年的 32 a 中, 周期约为 9 a 时, 小波系数出现极值, 表明 区春季海冰在 1968—2000 年间存在 9~10 a 的周期; 区夏季(图略) 12 a 的主周期出现在 1953—1958 年间, 该区域秋季海冰(图略)从 80 年代至今都存在 6 a 左右的周期, 冬季海冰(图略)的 10 a 周期则在近 50 a 中一直存在。这与赵玉春等^[9]指出的巴伦支海和喀拉海的 8 a 左右的周期基本具有相当的尺度。

表 2 给出了其余 3 个区域的周期分析结果, 可见北极海冰的周期变化是以年代际变化为其主要特征, 70 年代以来较短周期出现频率增多, 另外冬春季海冰的周期变化多, 特征比夏秋季节的海冰复杂。

3 北极 区、 区海冰与我国秋季气温的相关分析

影响我国的冷空气大多来自欧亚大陆北侧的洋面, 即本文的北极海冰 区和 区, 同时考虑到秋季 10—11 月是寒潮和冷空气活动最频繁的季节, 也是冷空气对生产活动可能造成最大危害的时期, 本文考察了重要影响区海冰超前我国秋季气温 30 个月、27 个月、……、3 个月、0 个月时, 两者间的相关关系。

区海冰与秋季气温同期时(图 4a), 正相关显著的区域在黄河中下游以及重庆, 负相关区包括新疆中东部的部分、青藏高原东侧的小部分和湖北东北部; 海冰超前气温 3 个月时(图略), 河套附近的相关中心减弱缩小, 重庆的中心开始增强; 超前时段增加到 6 个月时(图 4b), 黄河流域和新疆的正负中心范围都大大缩小, 强度进一步减弱, 重庆的正相关中心西移; 海冰超前气温 9 个月时(图略), 黄河流

表 2 区各季节小波分析结果

Table 2 Results of the Mexico-hat wavelet analysis of sea-ice for sectors in various seasons a

区域	春季	夏季	秋季	冬季
区	24 9(1970—1995年) 5(1988—2003年)	11(1953—1979年) 5(1990—2003年)	10(1953—1970年) 5(1985—2003年)	10 5(1993—2003年)
区	24 6(1994—2003年)	26 10	10(1960—1990年)	11(1968—2003年) 6(1985—2003年)
区	11(1953—1980年)	7(1960—1980年)	7(1953—1985年)	19 9(1978—1986年)

注: 表中数字是周期, 括号中时间是该周期存在的时段, 无括号则该周期始终存在。

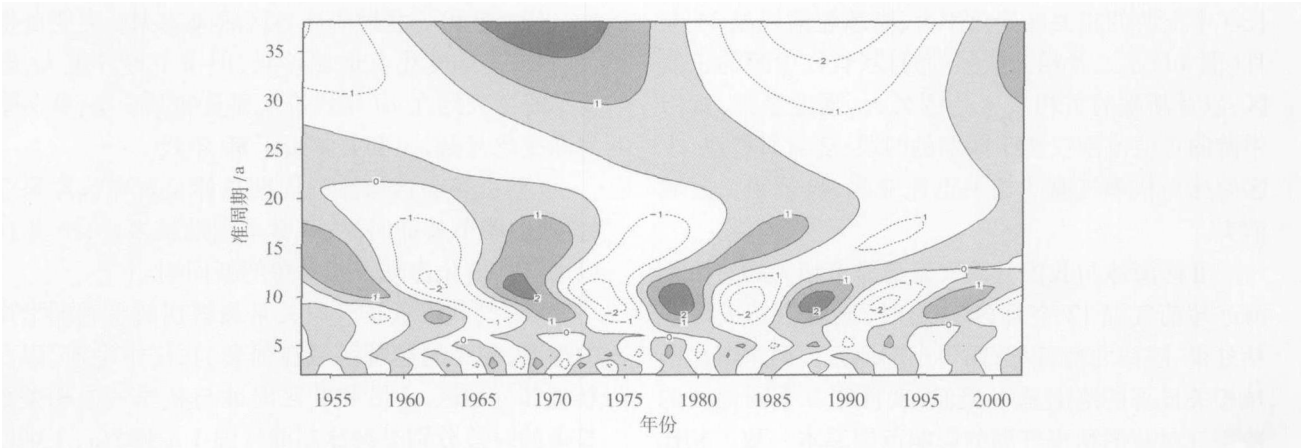


图 3 区春季海冰小波系数

Fig 3 Distribution of the Mexico-hat wavelet transform coefficient of sea-ice for sector in spring

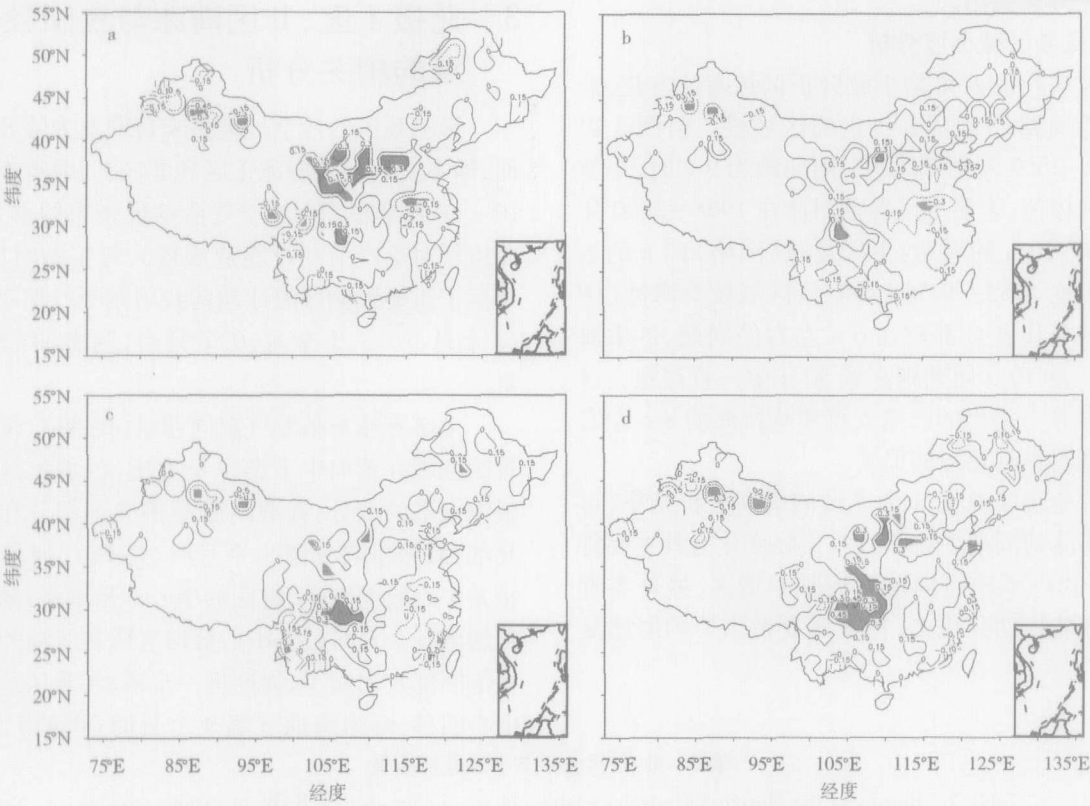


图 4 区海冰超前我国秋季气温不同时段的相关分布 (阴影区通过了 95 % 置信水平检验)
a 同期; b 超前 6 月; c 超前 1 a d 超前 2 a

Fig 4 Correlations between the DQ index of sector and the autumn air temperature of China
(shaded areas pass the 95% confidence level)
a 0-month; b 6-month; c 1 a; d 2 a

域的相关区消失,长江流域的继续增强;海冰超前一年时(图 4c),重庆的正相关继续增强,新疆的小中心减弱,黄河流域出现小的弱相关区,另外东北和福建出现了小的相关区;海冰分别超前气温 15、18 和 21 个月时(图略),河套和新疆的相关区逐渐扩大,长江中上游的相关区变化不大;海冰超前气温 24 个月(图 4d)是二者相关最强的时段,长江中游的正值区,以及新疆的负相关区范围最大、强度最强,黄河中游的正值范围仅次于同期的时段;随后时段里,区海冰与秋季气温的相关迅速变弱,显著相关区域消失。

区海冰与我国秋季气温最显著相关的时段是海冰超前气温 12 个月(图略)时,显著的相关区包括甘肃、陕西北部,以及四川东部地区。两个海冰区域相关显著的范围基本类似,来自北方不同地区的冷空气对我国秋季气温的影响范围基本一致。相比而言,区的相关特征持续性不如区,表明区海冰对我国秋季气温的有效影响时间更长。

4 结 论

- (1) 北极海冰各区域显示出总体基本一致的线性减少趋势,时域上夏秋季减少最快,空间域上格陵兰岛东侧的海冰减少迅速,其次是亚洲北岸的海冰。
 - (2) 近 50 a 北极海冰各区域海冰 MK 突变分析表明,海冰的变化有地域差异,但季节差异更大,春夏季海冰大约在 70 年代进入显著的减少期,秋冬季海冰变化复杂,突变大体始于 80 年代。
 - (3) 北极各区海冰的周期总体呈现年代际尺度的变化,季节特征明显,冬春季周期较多样,70 年代以来海冰变化出现了相对短的新周期。
 - (4) 与我国秋季气温关系最密切的是欧洲沿岸的海冰,相关的显著区域在河套、长江中上游,以及新疆部分地区,区和区海冰与秋季气温相关最显著的时段分别是海冰超前气温 1 a 和 2 a,区海冰的持续性影响更显著。
- 本文对北极海冰划分区域,分别运用不同方法描述了其统计特征,最后做了区和区海冰与我

国秋季气温的相关关系,得到了气温落后海冰时,二者相关最显著的时段和区域。但是北极 区和 区海冰对于上述区域秋季气温的影响机理比较复杂,有待于进一步研究。

参考文献:

[1] Holloway G, Sou T. Has Arctic sea ice rapidly thinned? [J]. J Climate, 2002, 60(15): 1691-1701.

[2] Gloersen P, Parkinson C L, Cavalieri D J et al. Spatial distribution of trends and seasonality in the hemisphere sea ice cover[J]. J Geophys Res, 1999, 104(c9): 20827-20835.

[3] Claire L P, Donald J C, Gloersen P, et al. Arctic sea ice extents, areas and trends [J]. J Geophys Res, 1999, 104(c9): 20837-20856.

[4] Maslanik J A, Serreze M C, Barry R G. Recent decreases in arctic summer ice cover and linkages to atmospheric circulation anomalies [J]. J Geophys Res, 1996, 23(67): 1677-1680.

[5] 彭公炳,李 晴,钱步东. 气候与冰雪覆盖 [M]. 北京: 气象出版社, 1992. 73-81.

[6] 陈寅生,陈隆勋. 北极海冰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.

[7] 陈明轩,管兆勇,徐海明. 冬春季格陵兰海冰变化与初夏中国气温-降水关系的初步分析 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 22(1): 6-13.

[8] 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.

[9] 汪代维,杨修群. 北极海冰变化的时间和空间型 [J]. 气象学报, 2002, 60(2): 129-138.

[10] 赵玉春,孙照渤,倪东鸿. 南、北极海冰的时空演变特征 [J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(3): 330-337.

[11] 任国玉,吴 虹,陈正虹. 我国降水变化趋势的空间特征 [J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330.

[12] 谌 芸,施 能. 我国秋季降水、温度的时空分布特征及气候变化 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(5): 622-630.

[13] 杨梅玉,刘屹岷,李 冀. 极冰气候效应的数值试验 [J]. 气象学报, 1998, 56(4): 476-484.

[14] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999. 43-114.

[15] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法 [M]. 北京: 气象出版社, 1992. 379-380.