

文章编号: 1000-2022(2001) 03-0315-08

近 45 a 冬季北大西洋涛动异常与我国气候的关系

王永波, 施能

(南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

摘要: 利用 1873 ~ 1995 年的北半球海平面气压月平均资料, 定义了北大西洋涛动指数。用近 45 a 资料研究了北大西洋涛动与我国冬、夏季气候变化的关系。指出, 北大西洋涛动异常变化与我国冬、夏季天气气候关系密切。强涛动年, 冬季我国是偏暖、多雨的气候特征; 夏季我国江淮之间地区气温明显偏低。还表明, 强涛动年冬季, 西太平洋副热带高压强度与西伯利亚高压及高空经向环流都明显偏弱, 大气环流具有弱 WA 遥相关型、弱的东亚冬季风特征, 对应的夏季环流特征与强东亚夏季风特征较接近。

关键词: 北大西洋涛动, 气候变化, 环流异常

中图分类号: P466 **文献标识码:** A

20 世纪 20 年代 Walker 以统计方法确定了全球大气三大涛动(南方涛动(SO)、北太平洋涛动(NPO)和北大西洋涛动(NAO))的存在。此后 Wallace 等^[1]给出了 NAO 与大西洋及周边地区同期气候异常联系的概念模型, 而 NAO 与我国天气气候的关系的研究还很少。事实上, 大气环流是一个互相影响、互相制约的整体。NAO 是北半球非常强的涛动。Rogers^[2]阐述了 NAO 与 SO 之间的联系, 海温与 NAO 的关系也已被证实^[3], 所以从长期天气过程演变角度看, NAO 对其后期的大气环流有举足轻重的作用。

国际 CLIVER 研究计划是未来 15 a 国际上一个极为重要的科学计划。它已将北大西洋涛动作为一个子计划或重点研究领域(NAO 属于 CLIVAR-DecCen-D1)。所以我们有必要对它加强研究。

NAO 反映的是地面气压的南北向跷跷板式变化, 它们在高空也有明显的反映, 即在对流层位势高度场上也有类似的南北向相关系数的分布形势, 即为 Wallace 等^[1]定义的 WA 遥相关型。施能^[4]用 1951/52 ~ 1992/93 年冬季的 500 hPa 季平均高度场资料研究了 WA 与我国气候变化的关系, 指出 20 世纪 80 年代开始的中国北方冬季变暖与 WA 遥相关强度的年代际变化有密切关系。

武炳义等^[5]研究了冬季 NAO 强度异常与东亚冬季风异常的关系, 得到许多有意义的结果。但是, 众所周知, 1980 年以后 NAO 突然转为明显的正位相, 而文献[5]并未包括近期资料,

收稿日期: 2000-05-30; 改回日期: 2001-04-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 49875019

第一作者简介: 王永波, 女, 1970 年 12 月生, 硕士, 工程师, 现在哈尔滨市气象局工作。

也没有研究冬季 NAO 与我国夏季天气的可能关系。本文研究了近 45 a (1951 ~ 1995 年) 冬季北大西洋涛动异常变化与我国冬、夏季气候变化的关系。

1 资料和方法

为了研究北大西洋涛动对北半球环流的影响, 首先选取一个适当的涛动指数(I_{NAO}) 来描述它的演变。关于 I_{NAO} 的定义方法, 最常用的是用两个代表站的海平面气压差值来计算。本文利用英国东安吉利大学气候研究室整编的北半球 1873 ~ 1995 年 123 a 的月平均海平面气压 (SLP) 资料, 分别计算了格陵兰附近和北大西洋区域各格点之间的相关系数, 选取其中两个较大的遥相关中心(65°N, 30°W)、(35°N, 30°W), 以这两点的标准化的海平面气压差值来计算, 并对差值再进行一次标准化处理, 得出了标准化的 I_{NAO} 序列。

文中冬季指 12、1、2 月, 夏季指 6、7、8 月。为了进行环流场的合成分析, 取 $I_{NAO} > 1.0$ 为强 I_{NAO} 年, $I_{NAO} < -1.0$ 为弱 I_{NAO} 年, 得到强 I_{NAO} 年 8 a, 依次为: 1983/84, 1988/89, 1972/73, 1994/95, 1993/94, 1953/54, 1992/93, 1982/83; 弱 I_{NAO} 年 11 a, 依次为: 1968/69, 1962/63, 1978/79, 1965/66, 1964/65, 1963/64, 1976/77, 1959/60, 1955/56, 1954/55, 1967/68。此外, 相关场的统计检验, 除了使用通常的 t 检验方法以外, 还对相关场的统计检验使用了蒙特卡洛实验^[6~7]。

2 近 45 a 冬季 I_{NAO} 异常变化与我国冬季气候及环流变化的关系

2.1 降水和气温

将 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与我国同期的降水和气温求相关(图略)。结果表明, I_{NAO} 与我国冬季降水呈大面积正相关, 160 个测站中正相关站 124 个, 其中有 26 个站相关达到 0.05 信度检验。高正相关区主要在河套以西的兰州、宁夏等地区以及我国华中的湖南、江西一带。表明冬季强 I_{NAO} 年, 我国大范围地区降水偏多的特征。 I_{NAO} 与我国冬季气温也呈大面积正相关, 160 个测站中正相关站 116 个, 其中信度达 0.05 以上测站 34 个。蒙特卡洛实验表明, 冬季 I_{NAO} 与我国冬季降水、气温场的相关中, 有如此多的测站达到了 0.05 的信度, 已经不是随机的了, 它们都已通过了蒙特卡洛试验。这表明, 冬季 I_{NAO} 与我国冬季降水、气温场有明显的关系。显著升温区在东北、华北东部和北部及西北地区。降温区在长江以南的东南地区, 但均未达到 0.05 的信度, 表明强 I_{NAO} 年, 对应我国东北、华北东部和北部及西北地区冬季温度偏高。

图 1 是区域平均的冬季降水、气温距平与 I_{NAO} 的时间演变曲线, 图中数值是相关系数。图 1a 是河套以西地区, 选用天水、岷县、兰州、中宁、银川、临夏、玛多 7 个站求降水平均(实线); 图 1b 是华东及华南地区, 选用杭州、黄山、九江、南昌、吉安、长沙、衡阳、彬县、零陵、曲江、桂林、柳州、榕江 13 个站求降水平均(实线); 图 1c 是东北、华北东部与北部地区, 选用基准站的前 30 个站及北京、天津、德州、邢台、青岛、济南、临沂 37 个站代表求温度平均(实线)。

通过区域平均可体现环流的大尺度特征。由图 1 看出, 冬季 I_{NAO} 与我国区域降水和气温平均值的年际变化之间有很好的对应关系。当冬季为强 I_{NAO} 年时, 我国冬季降水偏多, 特别是河套以西地区(图 1a) 和华东及华南地区(图 1b), 正相关分别达到了 0.49、0.44, 而我国东北、华北东部与北部地区(图 1c) 气温明显偏高, 正相关系数达到 0.40。

根据上面研究, 强 I_{NAO} 年我国冬季呈偏暖、多雨特征。下面分析 NAO 与北半球地面、高空环流及冬季大气活动中心强度异常的关系。

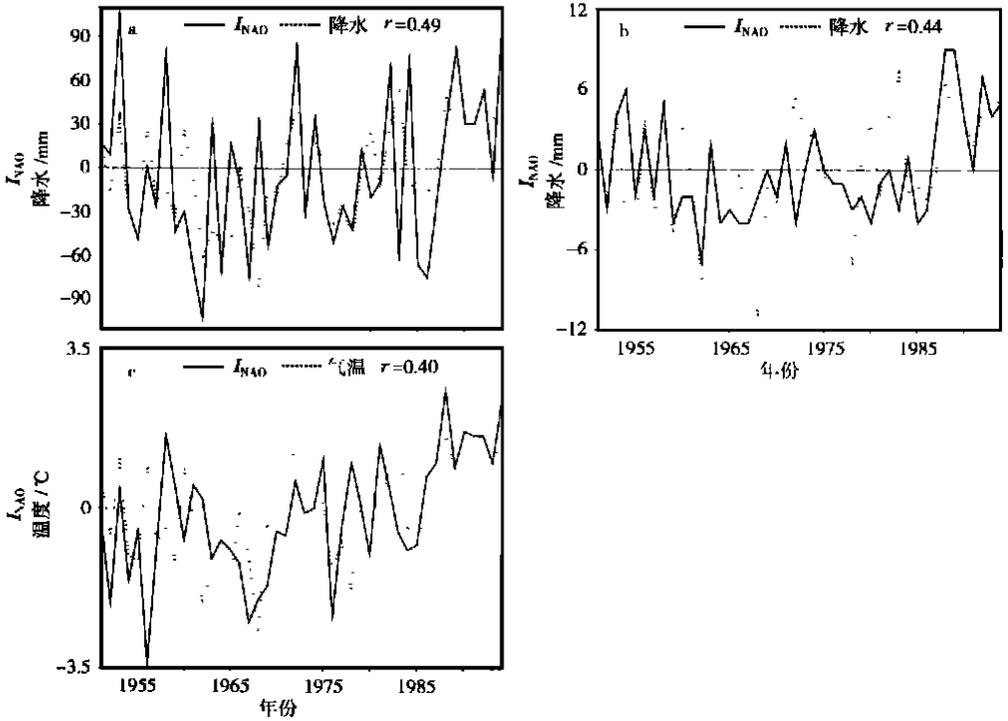


图 1 冬季 I_{NAO} (虚线) 与区域平均降水(a, b) 和气温(c) 距平(实线) 曲线
(a 中 I_{NAO} 扩大 30 倍; b 中 I_{NAO} 扩大 4 倍;)

Fig. 1 The departure curves of I_{NAO} (dashed line), area-averaged rainfall(a, b) and area-averaged temperature(c) in winter(solid line)

2. 2 强、弱 I_{NAO} 年的海平面气压场异常

2. 2. 1 强、弱 I_{NAO} 年的 SLP 特征

图 2 是 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与 SLP 的相关系数分布及强弱 I_{NAO} 年 SLP 的 t 统计量图。由图 2 看出, 近 45 a 冬季 I_{NAO} 与同期 SLP 相关显著, 这张图本身就是 NAO 的体现。图上冰岛地区为显著负相关, 最大负相关中心位于冰岛和斯瓦尔巴德群岛之间, 位置偏北, 环绕北极的高纬度地区以及欧洲东北部、亚洲大陆的大部分地区、阿留申群岛是负相关区, 在贝加尔湖及以南有显著的负相关中心。而显著的正相关中心位于地中海, 北美大陆西部以及西北太平洋, 尤以地中海区域相关最高。说明冬季强 I_{NAO} 年, 西伯利亚高压明显偏弱, 阿留申低压偏强, 东亚冬季风偏弱, 亚洲经向环流偏弱。由此可见, 冬季 I_{NAO} 异常变化对北半球环流异常影响显著。

另外图 2b 可以看出, I_{NAO} 异常时, SLP 确实存在显著差异。NAO 异常变化对北欧的影响较大, 而在亚洲大陆, 主要影响西伯利亚高压。朱乾根等^[8] 研究指出, 冬季西伯利亚高压强度与中国气温有明显的负相关。因此, 上述环流形势与强 I_{NAO} 年我国暖冬、多雨的天气是一致的。

2. 2. 2 I_{NAO} 与北半球冬季大气活动中心及东亚环流指数的关系

北半球冬季大气活动中心表现为阿留申低压、冰岛低压、大西洋高压、太平洋高压和西伯利亚高压、北美高压。本文根据多年平均图上的大气活动中心的位置选取如下范围的海平面气压平均值代表各大气活动中心的强度: (1) 阿留申低压: 40 ~ 55 N, 160 E ~ 160 W; (2) 冰岛低压: 55 ~ 65 N, 50 ~ 20 W; (3) 西伯利亚高压: 40 ~ 55 N, 90 ~ 110 E; (4) 北大西洋高压: 30

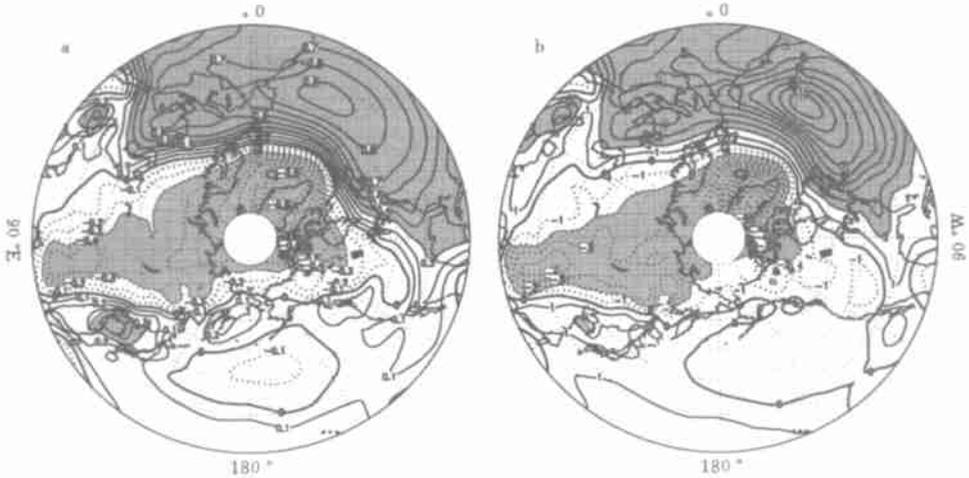


图2 1951/52~1994/95年冬季 I_{NAO} 与 SLP 的相关系数分布(a)
及强、弱 I_{NAO} 年 SLP 的 t 统计量图(b)
(阴影区为 0.05 信度区)

Fig.2 Correlation coefficient between I_{NAO} and SLP(a)
and t -test in SLP between strong and weak I_{NAO} (b)

in winter from 1951/52 to 1994/95 (Shaded areas for above 0.05 confidence level)

~45°N, 20°W~10°E; (5) 北美高压: 40°~60°N, 90°~120°W; (6) 北太平洋高压: 20°~30°N, 120°~170°E。

表1给出 I_{NAO} 与6个大气活动中心强度和东亚经、纬向环流指数的相关系数。由表1可知, I_{NAO} 与冰岛低压的相关系数为-0.77; 与北大西洋高压的相关系数为0.82, 这与本文研究的北大西洋涛动相吻合。此外, 由表1还可看出, I_{NAO} 与西伯利亚高压相关系数为-0.31, 与纬向环流指数相关系数为0.66, 与经向环流指数相关为-0.33, 这与强 I_{NAO} 年西伯利亚高压偏弱、纬向环流加强、经向环流减弱一致。但是 I_{NAO} 与阿留申低压和北美高压的相关并不大, 为弱的负相关; 与北太平洋高压为弱的正相关。

表1 I_{NAO} 与北半球冬季大气活动中心及经、纬向环流指数的相关(1951/52~1994/95)

Table 1 The correlation between I_{NAO} , and centers of atmospheric action

in the Northern Hemisphere and meridional, zonal circulation indices from 1951/52 to 1994/95

阿留申低压	冰岛低压	西伯利亚高压	北大西洋高压	北美高压	北太平洋高压	纬向环流指数	经向环流指数
-0.04	-0.77	-0.31	0.82	-0.28	0.13	0.66	-0.33

2.3 强、弱 I_{NAO} 年的 500 hPa 环流异常

2.3.1 强、弱 I_{NAO} 年冬季的 500 hPa 环流特征

图3是冬季 I_{NAO} 与500 hPa 高度场的相关系数分布及强、弱 I_{NAO} 年500 hPa t 统计量图。由图3a可见, 冬季 I_{NAO} 与同期500 hPa 高度场之间有显著相关。其中正相关区域主要位于西半球的中高纬度带和东半球贝加尔湖地区的中高纬度带, 显著相关中心位于北大西洋和贝加尔湖, 中心值分别为0.8、0.4, 超过了0.01的显著相关信度检验。负相关区域主要在格陵兰, 冰岛和东欧及北太平洋。

图3b的形势与图3a相似, 表现为在东亚、美洲西部及西欧为高压脊, 在亚欧中高纬呈西

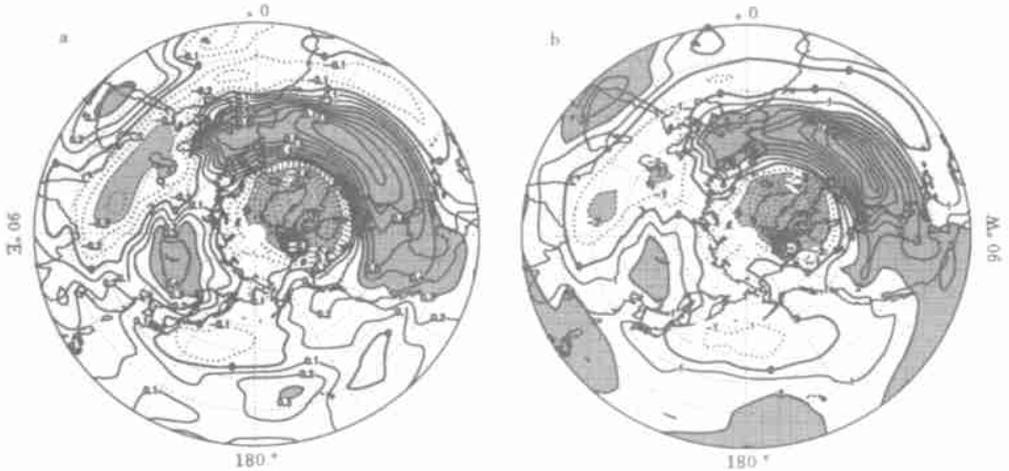


图 3 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与 500 hPa 高度场的相关系数分布 (a) 及强、弱 I_{NAO} 年 500 hPa 的 t 统计量图 (b) (阴影区为 0.05 信度区)

Fig. 3 Correlation coefficient between I_{NAO} and 500 hPa height (a) and t -test in 500 hPa height between strong and weak I_{NAO} (b) in winter from 1951/52 to 1994/95 (Shaded areas for above 0.05 confidence level)

低东高型, 贝加尔湖为正值区, 黑海、里海、伊朗高原至西藏高原为大片负区。可以看出, 在亚洲上空极涡明显偏弱。从而使南下影响我国的极区冷空气势力较弱, 东亚大槽减弱, 亚欧经向环流减弱, 纬向环流加强, 进一步证明强 I_{NAO} 年 500 hPa 环流形势与我国的暖冬天气是一致的。

2. 3. 2 I_{NAO} 与冬亚大气环流遥相关型

Wallace 等^[1]指出冬季大气环流存在 5 个遥相关型。施能^[4]计算出 1951/52 ~ 1992/93 年这 5 个遥相关型的强度。这里利用文献[4]的计算方法, 计算了 1951/52 ~ 1994/95 年这 5 个遥相关型的强度, 并计算了冬季 I_{NAO} 与它们之间的相关。结果发现, I_{NAO} 与西大西洋型 (WA) 显著负相关, 相关系数为 -0.66, 超过 0.001 信度。这说明, 强 I_{NAO} 年大气环流具有弱 WA 型。施能^[4]指出 WA 遥相关型异常减弱可使中国东北、华北、西北冬季变暖, 西北地区降水略有增加。为了进一步证实该结果, 计算了冬季 WA 遥相关型与中国冬季降水和气温的相关系数(图略), 与本文 2.1 节和文献[4]所得结果基本一致。

3 冬季 I_{NAO} 与我国夏季气候异常的关系

3.1 降水和气温

将 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与夏季降水求相关(图略)。计算结果为, 160 个测站中正、负相关站各为 80 个。显著正相关区位于我国河套西部, 但范围很小, 负相关区位于内蒙中部、华北西部。可见, 冬季 I_{NAO} 异常时, 我国夏季降水的响应较冬季明显偏弱。

将 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与我国夏季气温求相关(图 4a), 结果为, 160 个测站中正相关站 79 个, 达到 0.05 信度的测站为 16 个。江淮之间负相关显著, 长江以南地区为弱的正相关区, 表明冬季强 I_{NAO} 年我国夏季江淮之间地区的气温明显偏低。

图 4b 给出冬季 I_{NAO} 与夏季江淮之间 7 站(徐州、蚌埠、安阳、郑州、南阳、信阳、阜阳)平均气温的距平时间曲线。由图看出, 冬季 I_{NAO} 的年际变化(虚线)与该区域夏季气温平均值之间负

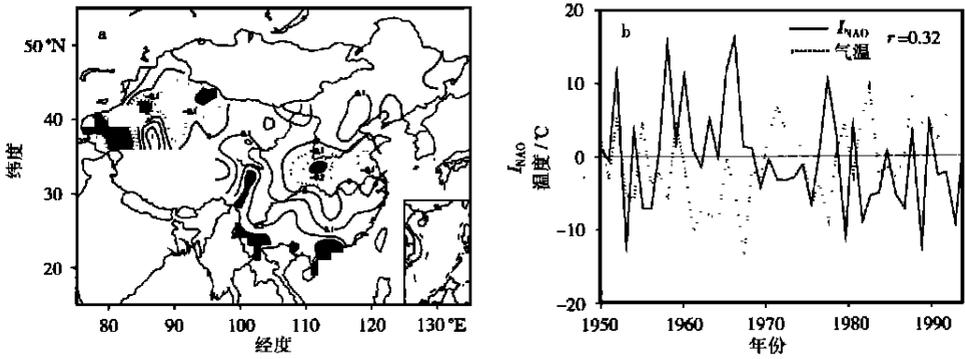


图 4 冬季 I_{NAO} 与我国夏季气温相关分布 (a)

及 I_{NAO} (虚线) 与夏季江淮之间 7 站气温距平 (实线) 曲线 (b)

Fig. 4 The correlation between winter I_{NAO} and summer temperature in China (a) and the departure curves of winter I_{NAO} (dashed line) and summer temperature averaged in the band between the Yangtze and Huaihe River (solid line) (b)

相关非常明显, 相关系数为 -0.32 , 表明当冬季为强 I_{NAO} 年时, 该区域夏季气温明显偏低。

分析图 4 可知, 冬季 I_{NAO} 与我国夏季气温、降水的相关有明显的区域特征。对整个降水、气温场做蒙特卡洛检验, 结果表明场的相关特征刚达到 0.10 的信度。所以, 从整体上讲冬季 I_{NAO} 与我国夏季天气的关系并不很密切。

3.2 冬季强、弱 I_{NAO} 年对应的夏季 SLP 异常

图 5 是 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与夏季 SLP 的相关系数分布及冬季强、弱 I_{NAO} 年时夏季 SLP 的 t 统计量图。由图 5a 看出, 和同期冬季相比, 相关明显减弱。北太平洋海域、东亚大陆西部为正相关, 东亚大陆东部、格陵兰到冰岛、北美为负相关区, 其中北美最显著。图 5b

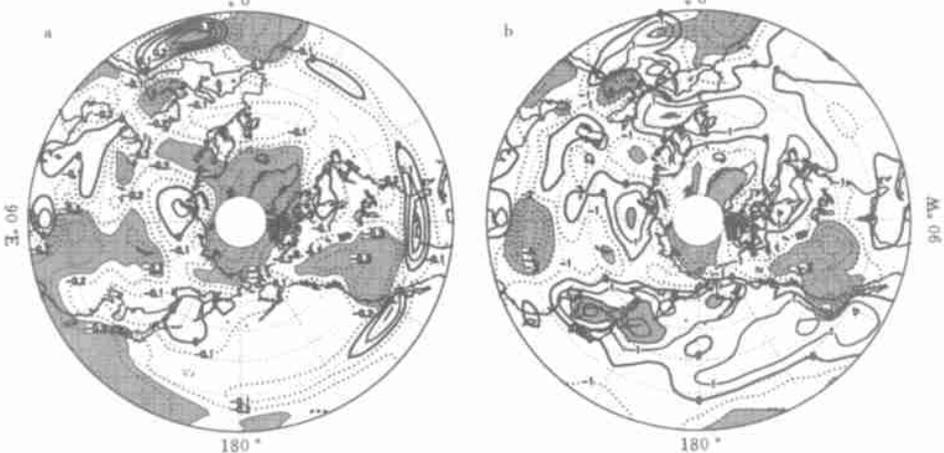


图 5 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与夏季 SLP 的相关系数分布 (a)

及强弱 I_{NAO} 年 SLP 的 t 统计量图 (b)

(浅阴影区为 0.05 信度区)

Fig. 5 Correlation coefficient between winter I_{NAO} and summer SLP (a) and t -test in summer SLP between strong and weak winter I_{NAO} (b) from 1951/52 to 1994/95 (Shaded areas for above 0.05 confidence level)

上, 与我国天气直接有关的东亚地区环流特征是西伯利亚为正值区, 贝加尔湖为负值区, 北太平洋海域为大范围正值区, 我国大陆为负值区。这种气压场的分布形势更接近强夏季风的环流特征。所以冬季 I_{NAO} 异常对我国夏季气候的预测有一定的指示意义。

3.3 冬季强、弱 I_{NAO} 年对应的夏季 500 hPa 异常

图 6 是 1951/52 ~ 1994/95 年冬季 I_{NAO} 与夏季 500 hPa 高度场的相关系数分布及冬季强、弱 I_{NAO} 年时夏季 500 hPa 的 t 统计量图。由图 6a 看出, 冬季 I_{NAO} 与夏季 500 hPa 的相关在东亚大陆西部为负相关区, 鄂霍茨克海、西伯利亚为正相关区。图 6b 上, 鄂霍茨克海、西伯利亚为正值区, 东亚大陆西部为负值区。这种环流分布形势, 使得冬季强 I_{NAO} 年时, 夏季 500 hPa 高度场上在鄂霍茨克海多发生阻塞形势, 与 SLP 异常形势相对应。这种环流异常分布特征可以很好地解释冬季 I_{NAO} 异常时我国夏季气温和降水的异常。图 6 的显著相关区经过蒙特卡洛检验, 达到了 0.10 的显著性标准, 表明, 从整体上讲冬季 I_{NAO} 与我国 500 hPa 高度场在整体上有关系。

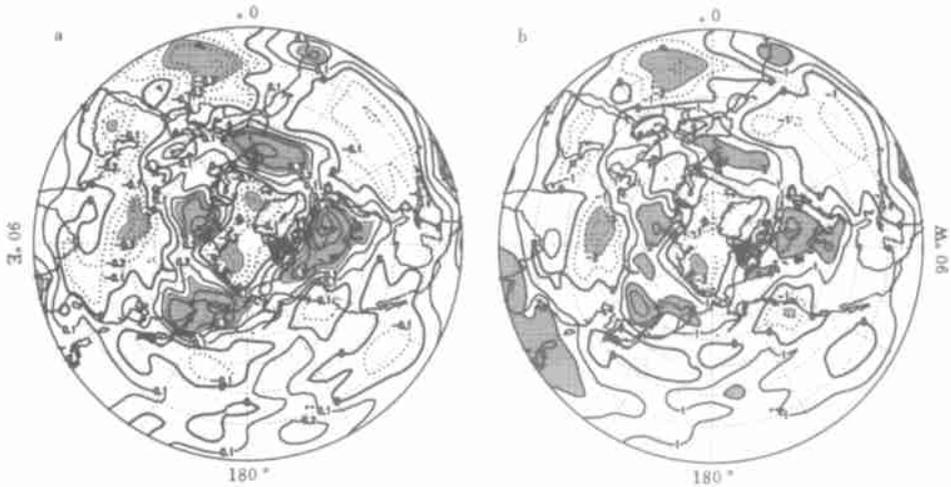


图 6 冬季 I_{NAO} 与夏季 500 hPa 高度场的相关系数分布(a)
及强、弱 I_{NAO} 年 500 hPa 的 t 统计量图(b)
(浅阴影区为 0.05 信度区)

Fig. 6 Correlation coefficient between winter I_{NAO} and summer 500 hPa height (a) and t -test in summer 500 hPa height between strong and weak winter I_{NAO} (b) from 1951/52 to 1994/95
(Shaded areas for above 0.05 confidence level)

4 结 论

(1) 冬季强 I_{NAO} 年, 我国冬季 40°N 以南大范围降水偏多, 其中长江及以南的东部沿海地区降水明显偏多; 而我国夏季降水具有区域性分布特征, 河套西北降水偏多。弱 I_{NAO} 年则相反。

(2) 冬季强 I_{NAO} 年, 我国冬季东北东部、华北北部、西北地区易出现暖冬; 而夏季我国江淮之间地区气温明显偏低。

(3) 冬季强 I_{NAO} 年, 西太平洋副热带高压强度明显偏弱, 阿留申低压偏强, 对应东亚地面西伯利亚高压偏弱, 高空经向环流减弱。

(4) 冬季强 I_{NAO} 年对应 500 hPa 为弱的 WA 遥相关型。

(5) 冬季强 I_{NAO} 年, 对应的是弱东亚冬季风特征。

(6) 冬季强 I_{NAO} 年对应的夏季环流特征与强东亚夏季风特征较接近。

参考文献:

- [1] 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
- [2] Rogers J C. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere[J]. Mon Wea Rev, 1984, 112(10): 1999 ~ 2015
- [3] Bjerknes J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature[J]. Tellus, 1966, 18(4): 820 ~ 829
- [4] 施能. 北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系[J]. 气象学报, 1996, 54(6): 675 ~ 683
- [5] 武炳义, 黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风[J]. 大气科学, 1999, 22(6): 641 ~ 651
- [6] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques[J]. Mon Wea Rev, 1983, 111(1): 46 ~ 59
- [7] 施能, 魏凤英, 封国林. 气象场相关分析及合成分析中的蒙特卡洛检验[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(3): 355 ~ 359
- [8] 朱乾根, 施能, 吴朝辉, 等. 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系[J]. 气象学报, 1997, 55(6): 750 ~ 757

RELATION OF NORTH ATLANTIC OSCILLATION ANOMALY TO CHINA CLIMATE DURING 1951 ~ 1995

WANG Yong-bo, SHI Neng

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: By the use of 1873 ~ 1995 monthly mean Northern sea level pressure defined is the north Atlantic oscillation index (I_{NAO}). Studies of the relation of the winter I_{NAO} to the climate of winter and summer over China by using the data for the last 45 years show that the winter I_{NAO} anomaly bears a close relation to the mainland weather/climate of winter and summer. When a strong I_{NAO} occurs China will experience an extensive high temperature and more rainfall in winter, and the summer temperature will be markedly lower in the band between the Yangtze and Huaihe River. Besides, the Northern surface and 500 hPa winter and summer circulation features for the years of the strong and weak I_{NAO} are studied and the results indicate that for strong I_{NAO} years, the subtropical high and Siberian high as well as meridional circulation intensity in winter are greatly reduced in vigor with a weak WA teleconnection pattern and feeble east Asian winter monsoon. But the east Asian monsoon will be stronger in the following summer.

Key words: north Atlantic oscillation; climate change; circulation anomaly