

王林, 陈文, 冯瑞权, 等. 2011. 北太平洋涛动的季节演变及其与我国冬春气候异常的联系 [J]. 大气科学, 35 (3): . Wang Lin, Chen Wen, Fong Soikun, et al. 2011. The seasonal march of the North Pacific Oscillation and its association with the interannual variations of China's climate in boreal winter and spring [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (3): 393–402.

北太平洋涛动的季节演变及其与我国冬春气候异常的联系

王林¹ 陈文¹ 冯瑞权² 梁嘉静²

1 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100190

2 澳门地球物理暨气象局, 澳门

摘 要 本文利用 NCEP/NCAR 再分析资料 and 我国 160 站的观测资料, 首先定义了季节平均的北太平洋涛动 (NPO) 指数, 在此基础上分析了不同季节中 NPO 的时空变化特征, 特别对冬季和春季 NPO 与我国气温、降水异常的关系作了研究。结果表明, 作为北太平洋地区海平面气压 (SLP) 年际变化的第二模态, NPO 具有相当正压的结构, 在地面表现为阿留申群岛附近和夏威夷群岛西北部附近 SLP 场的反相变化, 在对流层中层的结构与西太平洋型遥相关类似。随着季节的变化, NPO 的两地面中心有一定的移动, 其中南部中心在东西方向的移动较明显, 而北部中心在南北方向的移动较明显。在年际变化的时间尺度上, 当 NPO 处于正 (负) 位相时, 东亚副热带急流轴向北 (南) 偏移, 并伴有急流出口区向下游东北 (东南) 方向的伸展。分析 NPO 与我国冬、春气候的关系表明, 当冬季 NPO 处于正 (负) 位相时, 东亚沿岸的北风有较显著的减弱 (加强), 异常的偏南 (北) 气流会带来暖湿 (干冷) 的空气, 从而导致我国东部的大部分地区显著升温 (降温), 同时江淮、长江以南地区以及西北部分地区的降水也有显著增加 (减少)。而在春季, 当 NPO 处于正 (负) 位相时, 受到华南地区异常西南 (东北) 气流以及东亚急流入口区异常次级环流引起的上升 (下沉) 运动的共同作用, 华北地区降水会显著增加 (减少), 而气温则略有下降 (升高)。进一步分析表明, 前期冬季的 NPO 与我国春季的气候异常间存在紧密的联系, 若冬季 NPO 处于正 (负) 位相, 则在随后的春季, 我国西南部地区和北方大范围地区的气温会显著偏高 (低), 而西北地区的降水会显著增加 (减少), 因此, 冬季 NPO 对我国春季气候异常有一定的预测意义。

关键词 北太平洋涛动 季节演变 气候异常 年际变化

文章编号 1006–9895 (2011) 03–0393–10

中图分类号 P461

文献标识码 A

The Seasonal March of the North Pacific Oscillation and Its Association with the Interannual Variations of China's Climate in Boreal Winter and Spring

WANG Lin¹, CHEN Wen¹, FONG Soikun², and LEONG Kacheng²

1 Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

2 Macau Geophysical and Meteorological Bureau, Macau, China

Abstract Based on the monthly mean NCEP/NCAR reanalysis dataset and the observed surface air temperature and precipitation from 160 China stations, the seasonal march of the North Pacific Oscillation (NPO) and its association with the interannual variations of China's climate in boreal winter and spring are investigated in this paper. By em-

收稿日期 2010–05–26, 2010–12–22 收修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX2-EW-QN204, 国家重点基础研究发展计划项目 2009CB421405, 国家自然科学基金资助项目 40905026、41025017

作者简介 王林, 男, 博士, 副研究员, 主要从事东亚冬季风和气候动力学方面的研究。E-mail: wanglin@mail.iap.ac.cn

ploying the Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis method, the NPO is identified as the second EOF mode of the monthly mean Sea Level Pressure (SLP) field over the North Pacific. The seasonal mean NPO indices are then defined as the average of the monthly mean indices for each season. Wavelet analysis reveals that the significant periods of the NPO indices are below 8 years for all the four seasons, indicating strong interannual variability and weak interdecadal variability of the NPO. Besides, the winter mean NPO index experiences significant linear trend towards its positive polarity. For all the seasons, NPO is featured with a large-scale meridional dipole in the SLP field over the North Pacific region and resembles the western Pacific pattern in the middle troposphere. The two surface centers are located around Aleutian Islands and the northwest of Hawaii, respectively. Their positions vary a little with season. Comparatively the south center experiences more zonal movement and the north center bears more meridional movement. Vertically the NPO is featured with an equivalent barotropic structure in summer and tilts a little westward with height for the rest three seasons. To put the NPO jet fluctuation in perspective, the positive phase of NPO is characterized by a northward shift and downstream extension of the East Asian jet stream especially in the jet exit region. The NPO variability is influential for the China's climate. Regression analysis indicate that during boreal winter the positive phase of NPO favors significant southerly anomalies along the coasts of East Asia, which may bring warm and moisture air from the south. Consequently, significant warming is observed over most areas of eastern China as well as the eastern part of the Tibetan Plateau. Meanwhile, more precipitation is observed over southeastern China, the Huaihe River valley, and several stations of northwestern China. During boreal spring, the influence of NPO is mainly confined to North China. More precipitation and weak cooling can be observed over this region in the positive phase of NPO. Such changes may be accounted for by the NPO-associated anomalous low-level wind convergence and the secondary circulation around the entrance of East Asian jet stream. In addition to the simultaneous influences, it is further found that the wintertime NPO is closely related to the temperature and precipitation of the following spring. If the NPO phase is positive in the preceding winter, significant warming will be observed over northern China and southwestern China in the following spring. Meanwhile, about 20% more-than-normal precipitation will be observed over southwestern China. Therefore, the wintertime NPO may act as a potential predictor for the climate of the following spring in China.

Key words North Pacific Oscillation (NPO), seasonal march, climate anomalies, interannual variation

1 引言

北太平洋涛动 (North Pacific Oscillation, NPO) 是指北太平洋阿留申群岛附近和夏威夷群岛附近南北气压差反相变化的大气遥相关模态。作为最早被记载的全球三大涛动之一, NPO 的概念在 1924 年便已提出并受到西方学者的关注 (Walker, 1924; Walker and Bliss, 1932)。Kutzbach (1970) 和 Rogers (1979) 基于较长时间的观测资料, 通过 EOF 分析的方法发现北半球冬季海平面气压场 (SLP) 的第二个主分量即为 NPO; Wallace and Gutzler (1981) 利用点相关的方法指出 NPO 是北太平洋地区 SLP 场上最重要的遥相关型, 并基于气压差方法给出了 NPO 指数的定义。Rogers (1981) 利用温度差定义的 NPO 指数, 详细分析了北半球冬季与 NPO 相联系的大气环流和降水、温度场, 并指出北太平洋海表面温度和白令海的海冰

与 NPO 的变化有紧密联系。Hameed and Pittalwala (1991) 利用一个海气耦合模式, 成功模拟了与观测较为接近的 NPO 的变化。最近, Linkin and Nigam (2008) 利用 ERA40 再分析资料等多种数据, 详细分析了 NPO 成熟位相时的结构及其对北美冬季气候的影响。

我国学者对 NPO 的研究主要侧重于它与东亚地区气候间的联系。研究表明, 在年代际时间尺度上, NPO 与我国的夏季降水具有较为一致的变化 (Yan et al., 2005), 而且 NPO 的年代际变化与我国气候的年代际突变间存在密切的联系 (Li and Li, 2000; 郭冬和孙照渤, 2005); Wang et al. (2007) 详细分析了冬季 NPO 变率的年代际变化, 指出 NPO 的年际变化周期、空间结构及其与东亚冬季气候的关系都在 1976 年前后发生了显著的改变。在年际时间尺度上, 冬季 NPO 异常与东亚冬季风和我国冬季气候间存在密切的联系, 当 NPO

偏强(弱)时,东亚冬季风偏弱(强),我国气温普遍偏高(低),华南地区多(少)雨(郭冬和孙照渤, 2004)。此外,夏秋季节的 NPO 与同期西北太平洋的台风频次间也有较好的相关性(王会军等, 2007)。除了同期的联系外,赵振国和廖荃荪(1992)还发现前期冬季 NPO 的强度与我国夏季降水的分布有关,当前期冬季 NPO 偏强时,我国夏季雨带主要位于黄河流域及其以北地区,反之,雨带则主要位于黄河和长江之间;后来的一些研究(刘宗秀等, 2003; 张静等, 2007)也从不同角度考察了这种前期 NPO 与后期季节中我国气候之间的联系。

由以上的回顾可以发现,此前关于 NPO 的研究基本都是考察某一季节中(主要是冬季) NPO 的年际、年代际变化及其对大气环流和区域气候的影响,但对于 NPO 自身随季节的变化特征并没有涉及。此外,之前关于 NPO 与东亚气候的工作多数都集中在冬季,而对其他季节的情况研究较少。因此,本文将通过定义季节平均的 NPO 指数,首先对 NPO 的季节演变特征进行分析,并在此基础上着重分析冬季和春季 NPO 的年际变化异常与我国气温、降水之间的联系。

2 数据和方法

本文使用的大气环流资料为美国国家环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)发布的全球逐月再分析数据(Kalnay et al., 1996)。该资料水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直方向从 1000 hPa 到 10 hPa 共 17 个气压层,资料时段为 1948 年 1 月至今。文中还使用了中国气象局发布的全国 160 个台站的月平均降水和地面气温资料,资料时段为 1951 年 1 月至今。

以往研究中所使用的 NPO 指数的有很多种定义,主要包括用两点(Wallace and Gutzler, 1981)、两纬度(龚道溢, 2000; 龚道溢和王绍武, 1999; 周波涛等, 2008)或两区域平均(郭冬和孙照渤, 2004) SLP 之差来定义的方法,用两点间地面气温之差来定义的方法(Rogers, 1981),以及对北太平洋 SLP 场做 EOF 分解后用相应时间系数来定义的方法(Wang et al., 2007; Linkin and Nigam, 2008)。由于大气环流和大气遥相关都存在显著的季节变化,因此用固定区域或格点间 SLP 或地面

气温之差的方法来定义 NPO 指数会存在一定的问题。基于以上考虑,并参考 Thompson and Wallace (1998) 定义北极涛动时的做法,本文通过对北太平洋区域月平均的 SLP 场做 EOF 分解来得到 NPO 的空间模态和月平均的 NPO 指数。其中 EOF 的区域为 $(0^{\circ} \sim 85^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{W})$, 在做 EOF 时考虑了格点面积随纬度的变化(North et al., 1982b)。将 EOF 得到的月平均 NPO 指数作季节平均,便得到各个季节的 NPO 指数。在考察 NPO 对应的大气环流及其与我国气候的联系时,我们采用一元线性回归的方法,并采用 t 检验来验证其显著性。本研究所采用的时间段为 1948 年 1 月至 2009 年 12 月,季节的划分采取 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季, 12 月和次年 1~2 月为冬季。这样在计算季节平均的数据时,去掉 1948 年 1~2 月和 2009 年 3~12 月,便得到 1948~2008 年共计 61 年的季节平均数据。

3 北太平洋涛动的季节演变特征及其对应的大气环流异常

对 1948 年 1 月至 2009 年 12 月北太平洋地区的月平均 SLP 场做 EOF 分析,前两个模态分别解释了总方差的 28.9% 和 18.3%。按照 North et al. (1982a) 的标准,这两个模态可以同其他的模态区分开,并且是彼此可分的。图 1 给出了 SLP 场 EOF 分析第二模态(EOF2)的空间分布,可以看到,该模态表现为北太平洋地区 SLP 场南正北负

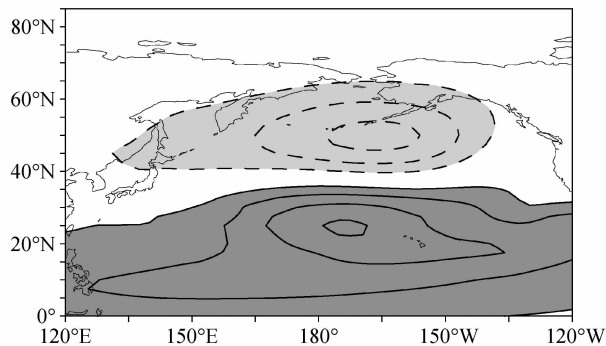


图1 1948 年 1 月至 2009 年 12 月北太平洋地区 $(0^{\circ} \sim 85^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{W})$ 逐月 SLP 场 EOF 分析的第二模态。深(浅)阴影: 正(负)值

Fig. 1 The second EOF mode (EOF2) of the Sea Level Pressure (SLP) field over the North Pacific region $(0^{\circ} \sim 85^{\circ}\text{N}, 120^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{W})$ from Jan 1948 to Dec 2009 based on monthly mean data. Dark (light) shading: area with positive (negative) values

的反位相变化, 其正负中心分别位于 (25°N , 175°W) 和 (50°N , 165°W) 附近, 与此前研究中指出的 NPO 的两个活动中心位置 (Wallace and Gutzler, 1981) 比较接近, 并且与 Linkin and Nigam (2008) 利用 ERA40 再分析资料得到的成熟位相时 NPO 的结构非常相似, 因此, 可以认定这一模态即为 NPO。从 1948~2008 年四季的 NPO 指数中 (图 2) 可以看到, NPO 在各个季节均具有明显的年际变化特征, 其中冬季的年际变化幅度最强 (标准差为 0.9), 夏季最弱 (标准差为 0.33)。此外, 冬季的 NPO 指数还表现出超过 99% 信度的线性增

强趋势, 而其他季节的 NPO 指数的线性趋势则非常弱。

为了进一步考察 NPO 活动的时间变化特征, 我们对各季节的 NPO 指数进行了小波分析。结果表明, 在各个季节中 NPO 指数的显著周期均在 8 年以下, 即表现以年际变率为主的特征, 而年代际变化的分量比较弱 (图 3)。具体来看, NPO 在秋季中以 4~8 年周期为主, 在其余三个季节中则以 2~4 年周期为主, 而且无论在何种季节, NPO 年际变率的周期都存在显著的年代际变化。例如, 尽管

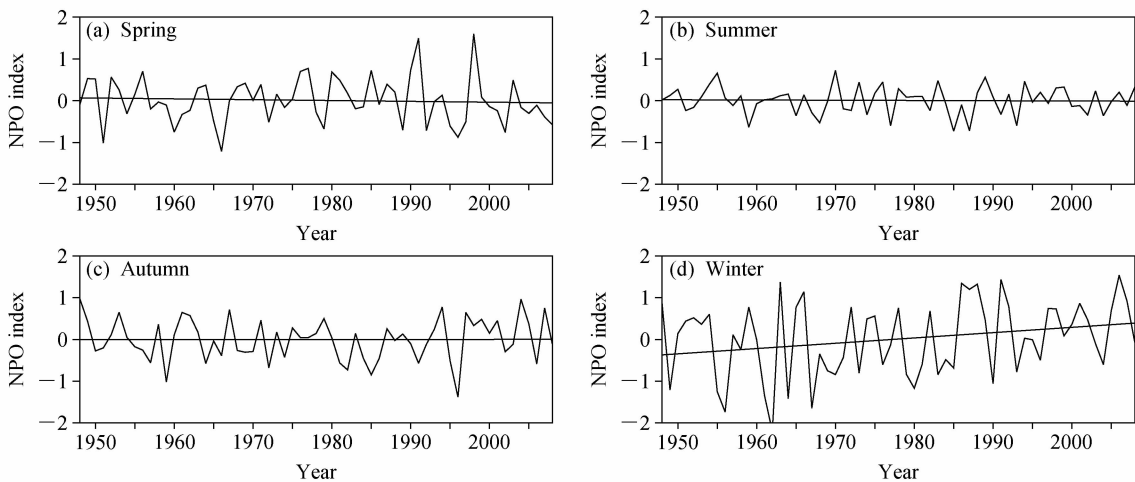


图 2 1948~2008 年季节平均的 NPO 指数及其线性趋势: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 2 The seasonal mean NPO index and its linear trend for the period 1948–2008: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

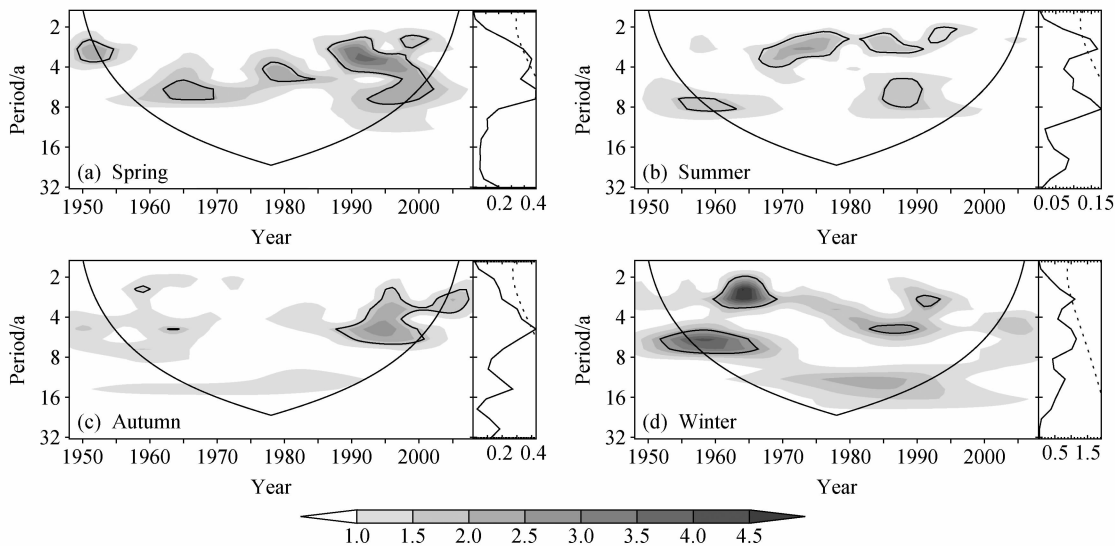


图 3 1948~2008 年季节平均 NPO 指数的 Morlet 小波分析: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季。各分图左侧为局地小波功率谱 (阴影), 右侧为全小波谱 (曲线); 左侧图中的闭合等值线和右侧图中的点线为 90% 显著性标准

Fig. 3 The local wavelet power spectra (left shading) and the global wavelet spectra (right curve) for the seasonal mean NPO index based on Morlet wavelet for the period 1948–2008: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter. Contours in the local wavelet power spec-

对于 61 年总体而言, 春季 NPO 的显著周期在 4 年以下, 但对于 1960~1985 年这一时期 NPO 却是以 4~8 年周期的变化为主, 而只有在 1960 年以前和

1985 年之后 4 年以下的周期才占主导 (图 3a)。

图 4 是各季节中 NPO 对应的 SLP 场和 500 hPa 位势高度场异常。可以看到, 在各个季节

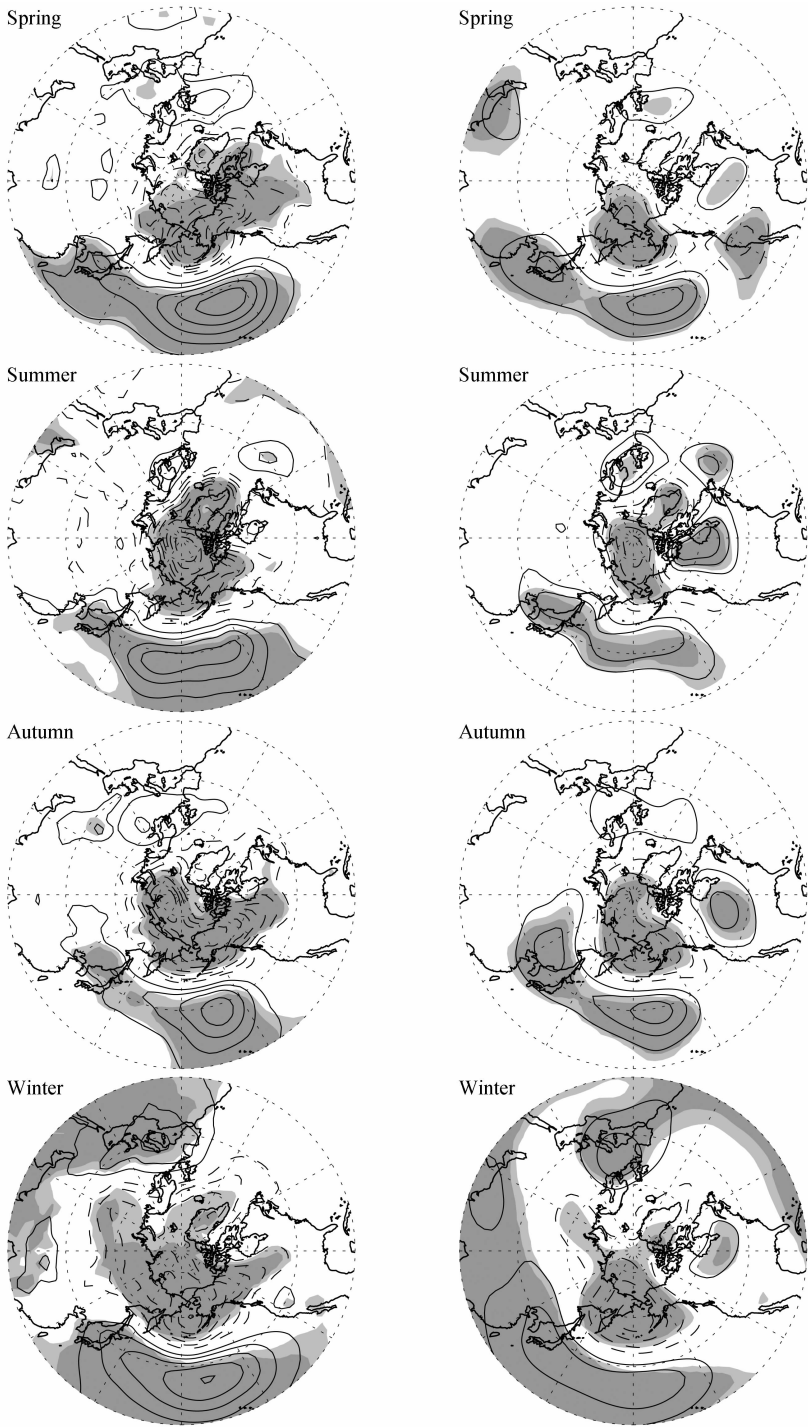


图 4 1948~2008 年各季节中 NPO 指数对同期 SLP 场 (左侧, 等值线间隔 0.5 hPa) 和 500 hPa 位势高度场 (右侧, 等值线间隔 10 gpm) 的回归图。深、浅阴影: 通过 99%、95% 信度检验

Fig. 4 The simultaneous regression (contour) /correlation (shading) of SLP (left column) and 500-hPa geopotential height (right column) on the seasonal mean NPO index for the period 1948 - 2008. Contours intervals are 0.5 hPa for SLP and 10 gpm for 500-hPa geopotential height. The light and dark shadings indicate the 95% and 99% confidence levels, respectively

中, NPO 的正位相都表现为北太平洋地区 SLP 场上一个北负南正的偶极子结构, 但偶极子两个中心的位置随季节存在一定的变化。总体来看, 该模态的位置在冬季略偏南, 而在夏季略偏北。对于南部的正中心而言, 其位置随季节有较为显著的东西方向移动, 但南北方向移动较小; 相反, 北部的负中心随季节有显著的南北方向移动, 但东西方向的移动相对较小(表 1)。从 SLP 场上 NPO 信号的空间分布来看, 春秋季时 NPO 的显著信号只出现在北太平洋区域, 而冬夏季时 NPO 除了与北太平洋的 SLP 有超过显著性的关联以外, 还与印度洋周边以及北大西洋的部分区域有显著的联系, 这种联系在冬季表现得最明显(图 4)。在 500 hPa 位势高度场上, NPO 基本表现为一个类似西太平洋型(Wallace and Gutzler, 1981)的环流异常。在垂直结构上, 通过比较 SLP 场和 500 hPa 位势高度场可以发现, NPO

在夏季表现出标准的正压结构, 两中心随高度没有明显的西倾, 但南部中心随高度增加有一定的向北倾斜; 在其余三个季节中, NPO 的两个中心随高度略有西倾, 但基本仍表现为相当正压结构(图 4)。

与 SLP 场和位势高度场上南北向的偶极子结构相对应, NPO 在风场上也有显著的信号。由图 5 可以看到, 无论在哪个季节, 当 NPO 处于正位相时, 200 hPa 急流轴的南北两侧都会分别表现出显著的东风和西风异常(图 5)。虽然这一纬向风异常的位置随季节存在一定的变化, 但在各季节中其异常中心的经度基本都位于急流核的下游地区, 也就是说风场的变化在急流的出口区更加明显(图 5), 这说明在各个季节中 NPO 的变化均表现为东亚副热带急流的南北移动, 并且还在一定程度上反映了副热带急流向下游地区的伸展。这一变化特征与北大西洋涛动(NAO)非常相似。

表 1 各季节中 SLP 场上 NPO 两中心的位置
Table 1 The locations for the two centers of NPO during four seasons

	春	夏	秋	冬
北部中心	(60°N, 170°W)	(85°N, 160°W)	(67.5°N, 140°W)	(60°N, 170°W)
南部中心	(35°N, 160°W)	(35°N, 170°E)	(37.5°N, 162.5°W)	(35°N, 170°W)

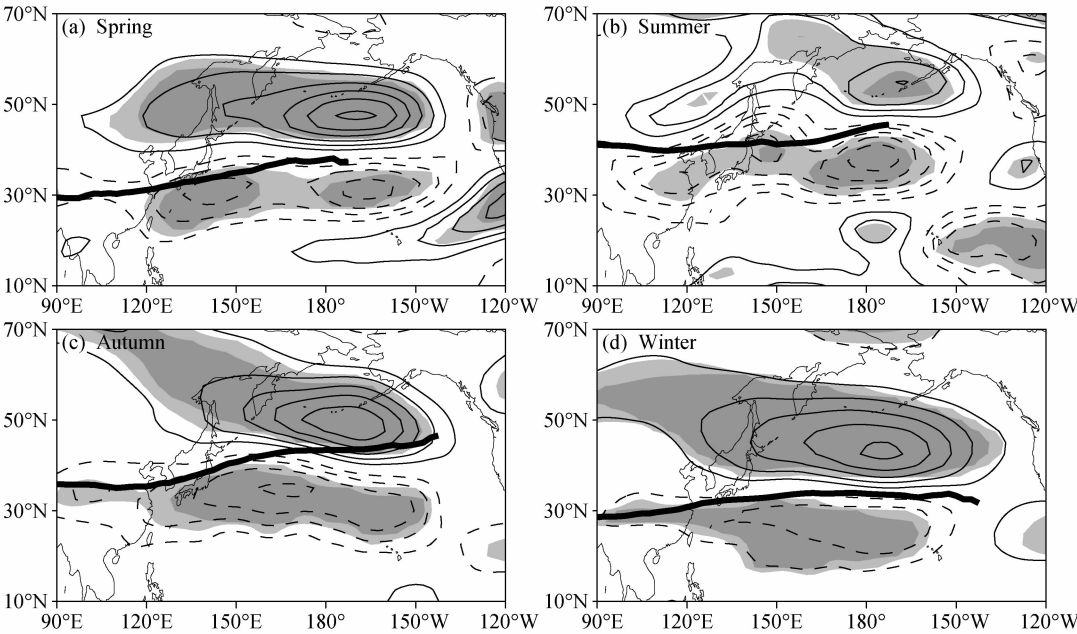


图 5 1948~2008 年各季节中 NPO 指数对同期 200 hPa 纬向风场的回归: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季。粗线: 200 hPa 急流轴的位置; 等值线间隔: 1 m/s; 深、浅阴影: 通过 99%、95% 信度检验

Fig. 5 The simultaneous regression (contour) /correlation (shading) of 200-hPa zonal wind on the seasonal mean NPO index for the period 1948–2008: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter. Contours intervals are 1m/s. The thick line indicates the location of the maximum zonal wind speed. The light and dark shadings indicate the 95% and 99% confidence levels, respectively

4 北太平洋涛动与我国冬春气温、降水的关系

图 6 给出了冬春季节 NPO 指数对我国气温和降水的回归图。由图 6 可见, 当冬季 NPO 处于正位相时, 每对应 NPO 一个标准差的变化, 我国东部的大部分地区会有 0.2°C 以上的显著升温, 其中内蒙古中部地区升温最强, 在 0.8°C 以上 (图 6a), 这与郭冬和孙照渤 (2004) 的结论是一致的。比较特殊的是 (30°N , 105°E) 附近的四川盆地东南部地区, 与周围地区不同, 这一区域的气温与 NPO 关系很弱且不显著 (图 6a)。此前研究曾指出, 这一区域的冬季气温变化受东亚冬季风的影响也较小, 而且与周围地区存在较大差异, 并进一步指出这种差异可能与该地区的地形分布有关 (Wang and Chen, 2010)。因此, 我们推测这一区域对 NPO 响应与周围地区不一致, 极可能也是受到局地地形的影响。对降水而言, 当冬季 NPO 为正位相时, 江

淮及其以南地区的冬季降水会显著增加, 其中增加最显著的区域位于淮河流域, 但降水量增加最多的区域位于东南沿海地区, 均在 15 mm 以上 (图 6b)。此外, 从宁夏沿河西走廊一直到新疆北部地区的降水也有显著的增加, 只是由于该区域平均降水量较小, 因此增加的绝对降水量比较小。通过分析东亚沿岸的低层风场可知, 当冬季 NPO 处于正位相时, 东亚沿岸受到异常反气旋的控制, 其中显著的南风异常主要出现在我国东南沿海以及包括朝鲜半岛、日本大部在内的西北太平洋区域 (图 7a)。这种风场异常会削弱东亚冬季风, 并且增加向我国东南沿海的水汽输送, 因而引起我国东部的升温 and 降水增加。

在春季, NPO 主要影响华北平原及其周边区域的气温和降水。当 NPO 处于正位相时, 每对应 NPO 一个标准差的变化, 华北平原地区会有 0.4°C 以上的较为显著的降温 (图 6c), 同时该区域的降水普遍会有 15 mm 以上的显著增加 (图 6d)。分析

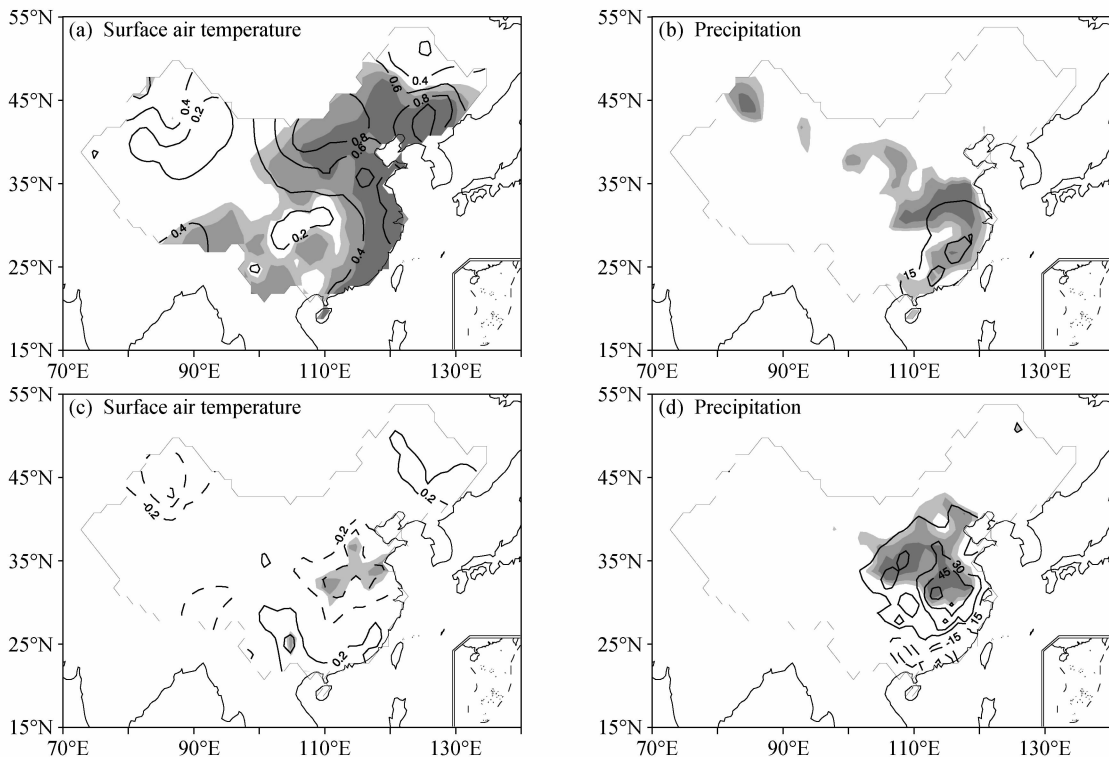


图 6 1951~2008 年 NPO 指数对同期 160 站 (a、c) 气温 (等值线间隔: 0.2°C) 和 (b、d) 降水 (等值线间隔: 15 mm) 的回归: (a、b) 冬季; (c、d) 春季。深、中、浅阴影: 通过 99%、95%、90% 信度检验

Fig. 6 The simultaneous regression (contour) / correlation (shading) of winter mean (a) surface air temperature and (b) precipitation on the winter mean NPO index for the period 1951–2008. (c) and (d) are the same as (a) and (b), but for spring mean. Contours intervals are 0.2°C in (a) and (c), and 15 mm in (b) and (d). The light, middle, and dark shadings indicate the 90%, 95% and 99% confidence levels, respectively

东亚沿岸的低层风场可知, 春季 NPO 对应的风场异常与冬季相似, 只是南风通过显著性检验的区域较冬季有所减少, 主要集中在包括黄海、朝鲜半岛和日本西部的区域内, 同时, 异常反气旋更加向西南方向伸展, 在我国江南表现为西南风异常 (图 7b)。这一环流形势有利于水汽在长江以北地区辐合, 从而引起降水增加。另一方面, 已有研究指出, 急流的变化会引起其入口区的次级环流发生变化, 从而在异常西风入口区的南侧产生上升运动, 利于降水增加 (Harrold, 1973; Wang, et al., 2009)。由于 NPO 正位相对应了东亚急流的北移 (图 5a), 而华北平原恰好位于春季东亚急流的入口区附近, 因此这也是 NPO 引起华北春季降水变化的

的一个原因。

此前一些工作曾研究过冬季 NPO 对夏季东亚气候的可能影响 (赵振国和廖荃荪, 1992; 刘宗秀等, 2003; 张静等, 2007), 这里我们将对冬季 NPO 与随后春季我国气候间的联系进行初步的探讨。图 8 是前期冬季 NPO 指数与随后春季我国气温、降水场的回归图, 由图可见, 若前期冬季 NPO 处于正位相, 则在随后的春季中, 包括长江下游、黄淮、华北以及东北在内的我国北方大范围地区以及青藏高原东部和云南的气温会有 0.2°C 以上的显著偏高 (图 8a), 而从宁夏沿河西走廊一直到新疆北部的西北地区的降水均有 20% 以上的显著增加 (图 8b)。其中异常温度场的分布与冬季的情形比较类似 (图 6a),

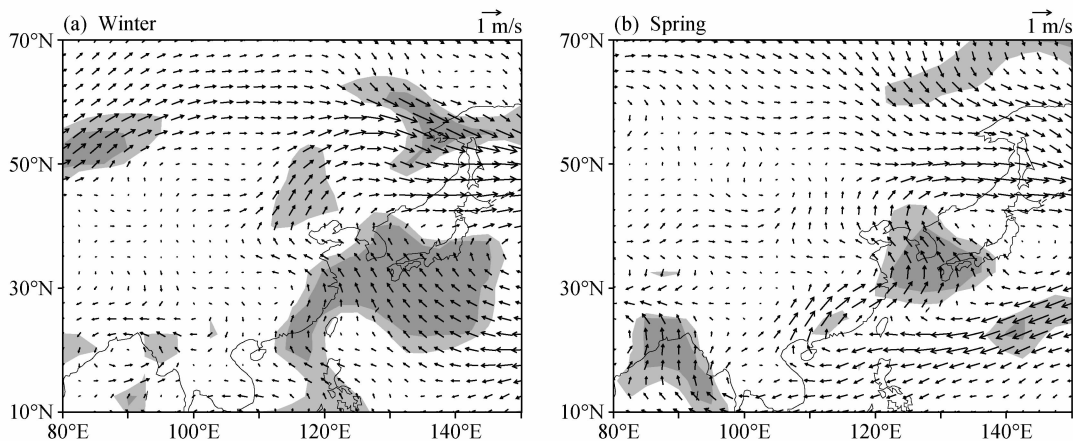


图 7 1951~2008 年 (a) 冬季和 (b) 春季 NPO 指数对同期 850 hPa 风场的回归图。深、浅阴影: 经向风场通过 99%、95% 信度检验

Fig. 7 The simultaneous regression of 850-hPa wind field on the (a) winter and (b) spring mean NPO index for the period 1951–2008. The light and dark shadings indicate the 95% and 99% confidence levels for the meridional wind field, respectively

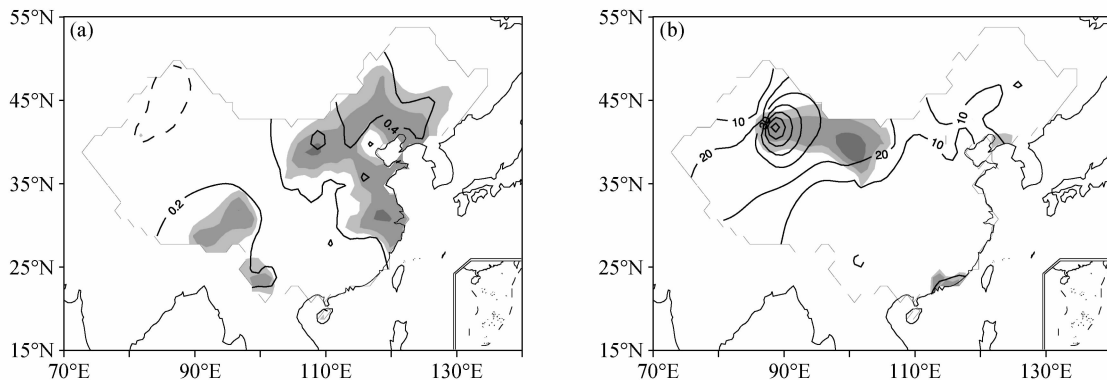


图 8 1951~2008 年冬季 NPO 指数对随后春季 160 站 (a) 气温 (等值线间隔: 0.2°C) 和 (b) 降水距平百分率 (等值线间隔: 10%) 的回归。深、中、浅阴影: 通过 99%、95% 和 90% 信度检验

Fig. 8 The regression (contour)/correlation (shading) of spring mean (a) surface air temperature and (b) precipitation percentage anomaly on the preceding winter mean NPO index for the period 1951–2008. Contours intervals are 0.2°C in (a) and 10% in (b). The light, middle, and dark shadings indicate the 90%, 95% and 99% confidence levels, respectively

只是气温变化的强度有所减弱,通过显著性检验的区域也有所减少。降水场的分布与冬季(图 6b)也有一定的相似性,但主要的显著区域出现在西北地区(图 8b)。由此可见,前期冬季的 NPO 与我国长江下游、华北、东北和青藏高原东部地区的春季气温以及西北地区的春季降水间存在较为紧密的联系,因而可以作为这些地区春季气温、降水变化的潜在预报因子。

5 结论

本文利用 NCEP/NCAR 再分析资料 and 我国 160 站的观测资料,通过 EOF 方法定义了季节平均的 NPO 指数,并在此基础上对不同季节中 NPO 年际变化的时间、空间特征进行了分析,最后考察了冬季和春季 NPO 与我国气温、降水的关系。结果表明,NPO 是北太平洋地区 SLP 场年际变化的第二模态,在地面表现为阿留申群岛和夏威夷群岛西北部附近南北气压差的反相变化,而在对流层中层表现为类似西太平洋型遥相关的结构。随着季节的变化 NPO 两个中心的位置有一定的移动,冬季略有南移,而夏季略有北移,其中南部中心在东西方向的移动较明显,而北部中心在南北方向的移动较明显。垂直结构上,NPO 在夏季为正压结构,而在其余三个季节中随高度略有西倾。在风场上 NPO 的变化对应了东亚副热带急流的南北移动,并在一定程度上反映了副热带急流向下游地区的伸展,这与 NAO 的变化特征非常相似。在时间变化上,各季节中 NPO 均表现出显著的年际变率,但年代际变率比较弱。具体来看,秋季 NPO 的显著周期为 4~8 年,其余三个季节为 2~4 年。此外,NPO 指数还在冬季表现出显著的线性增强趋势。

当冬季 NPO 处于正位相时,东亚沿岸的北风有较显著的减弱,异常的偏南气流会带来暖湿的空气,从而导致我国东部的大部分地区显著升温,同时江淮、长江以南地区以及西北部分地区的降水也有显著增加。春季 NPO 对我国气温降水的影响主要局限在华北平原及其周边区域,当 NPO 处于正位相时,该地区降水会有显著的增加,而气温则略有下降,其中降水的增加可能受到华南地区异常西南气流以及东亚急流入口区异常次级环流引起的上升运动的共同作用。进一步考察冬季 NPO 与随后春季气候的关系发现,若前期的冬季 NPO 处于正

位相,则在随后的春季中,包括长江下游、黄淮、华北以及东北在内的我国北方大范围地区以及青藏高原东部和云南的气温会显著偏高,而从宁夏到新疆北部的西北地区的降水会有显著增加。这说明前期冬季的 NPO 与我国春季气候间存在紧密的联系,因而可以作为这些地区春季气温、降水变化的潜在预报因子。

在讨论 NPO 与我国气温降水的关系时,本文主要考虑了冬季和春季的情形,事实上,NPO 对我国气候的影响不止局限在冬春两季。例如,秋季的 NPO 就对我国东北和华北北部的气温有显著的影响(图略),限于篇幅本文对此不再展开讨论。另一方面,在前期 NPO 与后期我国气候的联系上,本文只从统计角度考虑了冬季 NPO 与随后春季气温、降水的关系,其具体的物理机制还需进一步研究才能确定。

参考文献 (References)

- 龚道溢,王绍武. 1999. 大气环流因子对北半球气温变化影响的研究 [J]. 地理研究, 18 (1): 31 - 38. Gong Daoyi, Wang Shaowu. 1999. Influence of atmospheric oscillations on northern hemispheric temperature [J]. Geographical Research (in Chinese), 18 (1): 31 - 38.
- 龚道溢. 2000. 大尺度大气环流变化及其对北半球冬季温度的影响 [J]. 地学前沿, 7 (增刊): 203 - 208. Gong Daoyi. 2000. Large-scale atmospheric circulation and its influence on winter temperature in the Northern Hemisphere [J]. Earth Science Frontiers (in Chinese), 7 (Suppl.): 203 - 208.
- 郭冬,孙照渤. 2004. 冬季北太平洋涛动异常与东亚冬季风和我国天气气候的关系 [J]. 南京气象学院学报, 27 (4): 461 - 470. Guo Dong, Sun Zhaobo. 2004. Relationships of winter North Pacific Oscillation anomalies with the East Asian winter monsoon and the weather and climate in China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 27 (4): 461 - 470.
- 郭冬,孙照渤. 2005. 冬季 NPO 突变前后大气环流和我国天气气候的变化 [J]. 南京气象学院学报, 28 (2): 180 - 188. Guo Dong, Sun Zhaobo. 2005. Changes of general circulation and weather and climate in China before and after the wintertime North Pacific Oscillation jump [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 28 (2): 180 - 188.
- Hameed S, Pittalwala I. 1991. The North Pacific Oscilla-

- tion: Observations compared with simulations in a general circulation model [J]. *Climate Dynamics*, 6 (2): 113–122.
- Harrold T W. 1973. Mechanisms influencing the distribution of precipitation within baroclinic disturbances [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 99 (1): 232–251.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77 (3): 437–471.
- Kutzbach J E. 1970. Large-scale features of monthly mean Northern Hemisphere anomaly maps of sea-level pressure [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 98 (9): 708–716.
- Li C Y, Li G L. 2000. The NPO/NAO and interdecadal climate variation in China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 17 (4): 555–561.
- Linkin M E, Nigam S. 2008. The North Pacific Oscillation – West Pacific teleconnection pattern: Mature-phase structure and winter impacts [J]. *J. Climate*, 21 (9): 1979–1997.
- 刘宗秀, 廉毅, 沈柏竹, 等. 2003. 北太平洋涛动区 500 hPa 高度场季节变化特征及其对中国东北区降水的影响 [J]. *应用气象学报*, 14 (5): 553–561. Liu Zongxiu, Lian Yi, Shen Baizhu, et al. 2003. Seasonal variation features of 500 hPa height in North Pacific Oscillation region and its effect on precipitation in Northeast China [J]. *Journal of Applied Meteorological Sciences (in Chinese)*, 14 (5): 553–561.
- North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. 1982a. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 110 (7): 699–706.
- North G R, Moeng F J, Bell T L, et al. 1982b. The latitude dependence of the variance of zonally averaged quantities [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 110 (5): 319–326.
- Rogers J C. 1979. The North Pacific Oscillation and eigenvectors of Northern Hemisphere atmospheric circulation during winter [D]. Ph. D. dissertation, Boulder: Colorado University, 177 pp.
- Rogers J C. 1981. The North Pacific Oscillation [J]. *Int. J. Climatol.*, 1 (1): 39–57.
- Thompson D W J, Wallace J M. 1998. The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 25 (9): 1297–1300, doi: 10.1029/98GL00950.
- Walker G T. 1924. Correlation in seasonal variations of weather. IX. A future study of world weather [J]. *Memoirs of the Indian Meteorological Department*, 24 (9): 275–332.
- Walker G T, Bliss E W. 1932. World weather V [J]. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4 (36): 53–84.
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 109 (4): 784–812.
- 王会军, 孙建奇, 范可. 2007. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究 [J]. *中国科学 (D)*, 37 (7): 966–973.
- Wang Huijun, Sun Jianqi, Fan Ke. 2007. Relationships between the North Pacific Oscillation and the typhoon/hurricane frequencies [J]. *Science in China (D) (in Chinese)*, 37 (7): 966–973.
- Wang L, Chen W, Huang R H. 2007. Changes in the variability of North Pacific Oscillation around 1975/1976 and its relationship with East Asian winter climate [J]. *J. Geophys. Res.*, 112, D11110, doi: 10.1029/2006JD008054.
- Wang L, Chen W, Zhou W, et al. 2009. Interannual variations of East Asian trough axis at 500 hPa and its association with the East Asian winter monsoon pathway [J]. *J. Climate*, 22 (3): 600–614.
- Wang L, Chen W. 2010. How well do existing indices measure the strength of the East Asian winter monsoon? [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 27 (4): 855–870. doi: 10.1007/s00376-00009-09094-00373.
- Yan H S, Wan Y X, Cheng J G. 2005. Interannual and interdecadal variations in atmospheric circulation factors and rainfall in China and their relationship [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 19 (2): 253–261.
- 张静, 朱伟军, 李忠贤. 2007. 北太平洋涛动与淮河流域夏季降水异常的关系 [J]. *南京气象学院学报*, 30 (4): 546–550. Zhang Jing, Zhu Weijun, Li Zhongxian. 2007. Relationship between winter North Pacific Oscillations and summer precipitation anomalies in the Huaihe River basin [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 30 (4): 546–550.
- 赵振国, 廖荃荪. 1992. 冬季北太平洋涛动和我国夏季降水 [J]. *气象*, 18 (2): 11–16. Zhao Zhenguo, Liao Qiansun. 1992. The relationship between the summer rainfall in China and the Northern Pacific Oscillation in winter [J]. *Meteorological Monthly (in Chinese)*, 18 (2): 11–16.
- 周波涛, 王会军, 崔绚. 2008. Hadley 环流与北太平洋涛动的显著关系 [J]. *地球物理学报*, 51 (4): 999–1006. Zhou Botao, Wang Huijun, Cui Xuan. 2008. Significant relationship between Hadley circulation and North Pacific Oscillation [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 51 (4): 999–1006.