



冬季各月北太平洋涛动的年际变化及其与我国降水异常的联系

李忠贤*, 何鹏

南京信息工程大学 气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044

* 联系人, E-mail: lizhongxian@nuist.edu.cn

2014-12-01 收稿, 2015-03-31 接受

国家自然科学基金资助项目(41575102); 江苏省高校自然科学研究面上项目(13KJB170013)

摘要 利用 ERA-Interim 的海平面气压(Sea Level Pressure, SLP)再分析资料和中国 160 站的降水观测资料, 分析了冬季各月(当年 12 月、次年 1 月和 2 月)北太平洋涛动(North Pacific Oscillation, NPO)的年际变化特征, 及其与我国同期降水异常之间的联系。结果表明: 1) 冬季各月 NPO 指数的年际变化较为显著, 但各月 NPO 指数年际变化之间的相关性较差, 1979—2012 年冬季 12 月与 1 月 NPO 指数年际变化之间的相关系数为 0.09, 而 1 月与 2 月 NPO 指数的相关系数仅为 -0.003, 均没有通过信度检验。2) 1 月和 12 月 NPO 指数年际变化与同期我国黄淮流域降水异常之间存在明显的正相关, 而 2 月 NPO 指数年际变化与同期我国华北降水异常之间为明显的负相关。3) 当 1 月(12 月) NPO 指数增加 1 个标准差时, 我国黄淮流域降水量比多年平均值增加约 50%(40%); 而当 2 月 NPO 指数增加 1 个标准差时, 我国华北降水量比多年平均值减少约 30%。

关键词

北太平洋涛动
年际变化
冬季
降水
环流特征

北太平洋涛动(North Pacific Oscillation, NPO)是指北太平洋大气环流异常年际变化的主要模态, 反映的是北太平洋区域海平面气压(Sea Level Pressure, SLP)在高纬和低纬之间的跷跷板变化特征(Rogers, 1981; 王会军等, 2007; 王林等, 2011; 李忠贤等, 2014)。NPO 的概念是美国天气预报员在 1916 年首次提出, 并且于 20 世纪 20 年代开始被西方学者所关注(Walker, 1924; Walker and Bliss, 1932)。一些学者通过经验正交函数(Empirical Orthogonal Function, EOF)分解方法对北太平洋 SLP 异常进行分析, 发现其第二模态表现为 NPO 的分布形态(Kutzbach, 1970; Roger, 1979)。Wallace and Gutzler(1981)利用单点相关的技术, 进一步证实了 NPO 的存在。研究指出 NPO 与其上空大气的太平洋—北美型(Pacific-North American pattern, PNA)和太平洋西部型(Western Pacific pattern, WP)遥相关型有密切联系, 而且 NPO 和 WP 遥相关型有非常

相似的垂直结构, 被认为是同一种大气环流异常模态分别在海平面气压场和空间高度场上的不同表达(Linkin and Nigam, 2008)。冬季 NPO 和 WP 的年际变化与太平洋风暴轴等存在密切联系(王娜和孙照渤, 2013; 袁凯等, 2015)。

冬季 NPO 作为冬季北半球太平洋地区大尺度大气环流的主要模态之一, 其年际变化与中国的气温及降水之间有着密切的关系(Wang et al., 2007)。郭冬和孙照渤(2004)指出在 NPO 指数偏强年, 东亚冬季风偏弱, 中国气温普遍偏高, 长江中下游地区降水偏少, 而华南降水偏多; 而在 NPO 指数偏弱年, 东亚冬季风偏强, 中国气温普遍偏低, 降水偏少。此外, 研究发现前期冬季 NPO 年际变化与中国春季和夏季降水分布存在紧密的联系(赵振国和廖荃荪, 1992; 张静等, 2007; 王林等, 2011; 周波涛和夏冬冬, 2013)。利用逐月平均 SLP 和地表气温资料, Walker and Bliss(1932)指出, 冬季 NPO 变化与北

引用格式: 李忠贤, 何鹏, 2016. 冬季各月北太平洋涛动的年际变化及其与我国降水异常的联系[J]. 大气科学学报, 39(5): 600-607.

Li Z X, He P, 2016. Interannual variation of the winter monthly North Pacific Oscillation and its association with precipitation in China [J]. Trans Atmos Sci, 39(5): 600-607. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20141203001. (in Chinese).

美、亚洲和南美地区的气温与降水有非常明显的影响。Linkin and Nigam (2008) 的分析表明,冬季 NPO 变异对太平洋西北部和北美地区冬季气候具有重要影响。

迄今为止,学界主要针对季节平均(特别是冬季)NPO 的年际、年代际变化及其与全球大气环流和气候异常的关系作了大量工作。然而,有关不同月份 NPO 的年际变化及其气候影响的研究尚不多见。本文主要利用观测资料,初步分析冬季各月 NPO 的年际变化及其与我国降水的联系。

1 资料和方法

本文使用的资料有:

1) 欧洲中期天气预报中心逐月 SLP、500 hPa 高度场与 850 hPa 风场资料(Dee et al., 2011), 水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 时段为 1979 年 1 月—2013 年 12 月。

2) 国家气候中心提供的全国 160 站逐月降水量资料, 时间段为 1951 年 1 月—2013 年 10 月。

上述资料本文选用时段均为 1979 年 12 月—2013 年 2 月。文中冬季是指当年 12 月到次年 2 月(如:1979 年冬季表示 1979 年 12 月、1980 年 1 月与 1980 年 2 月, 下不赘述)。

参照 Furtado et al. (2012) 定义 NPO 指数的方法, 将冬季各月 NPO 北部中心 ($180^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{W}$, $55^{\circ} \sim 72.5^{\circ} \text{N}$) 各格点上 SLP 距平 (SLP Anomaly, SLPA) 的区域平均值与 NPO 南部中心 ($175^{\circ} \text{E} \sim 147.5^{\circ} \text{W}$, $15^{\circ} \sim 27.5^{\circ} \text{N}$) 各格点上 SLPA 的区域平均值之差定义为当前月份的 NPO 指数。

本文采用的方法主要有相关分析、一元线性回

归分析和 Morlet 小波分析 (Torrence and Compo, 1998) 等统计方法。

2 冬季各月北太平洋涛动的年际变化特征

图 1 给出了 1979—2012 年冬季各月 NPO 指数的变化曲线。从图 1 可以看出, 冬季各月 NPO 指数均具有明显的年际变化, 而 2 月份 NPO 指数还存在年代际变化。此外, 冬季 NPO 指数的季节内变化也较为明显, 其中 1979—2012 年共 34 个冬季中各月 NPO 指数正、负符号不一致的年份共有 23 个, 约占总年份的 68%。

为了分析冬季各月 NPO 指数变化的时间尺度特征, 对冬季各月 NPO 指数进行小波分析 (图 2)。可见, 冬季各月 NPO 指数的年际变化特征较为显著。12 月 NPO 指数主要表现为 2~4 a 的周期变化 (图 2a); 1 月 NPO 指数变化在 20 世纪 80 年代至 90 年代以 2~4 a 的周期为主, 在 21 世纪初以后主要以 4~8 a 的周期为主 (图 2b); 2 月 NPO 指数变化在 20 世纪 80 年代表现为 2~4 a 的显著周期, 20 世纪 90 年代至 21 世纪初存在 16 a 左右的周期变化, 但未通过信度检验。

对冬季各月 NPO 指数进行了年代际时间尺度分量滤波, 提取出了各月 NPO 指数年际变化分量。如图 3 所示, 冬季各月 NPO 指数的正、负位相年份差异显著。计算表明, 12 月 NPO 指数与 1 月 NPO 指数年际变化之间的相关系数为 0.09, 1 月与 2 月 NPO 指数的相关系数为 -0.003, 均没有通过信度检验。

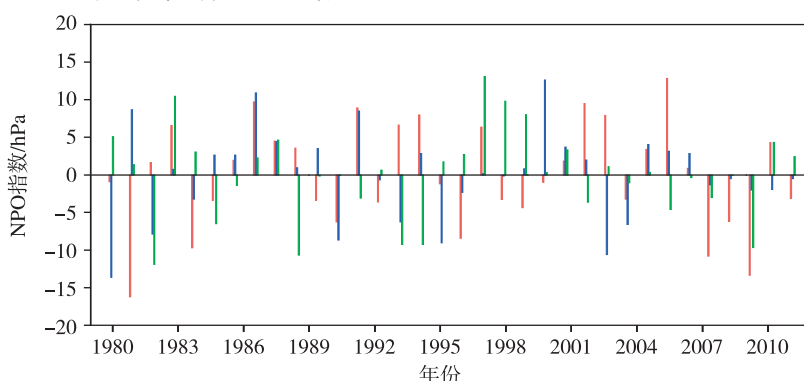


图 1 1979—2012 年冬季 12 月 (红色柱状线)、1 月 (蓝色柱状线) 和 2 月 (绿色柱状线) NPO 指数变化 (单位: hPa)

Fig.1 December (red bars), January (blue bars) and February (green bars) NPO index in winter during 1979—2012 (units: hPa)

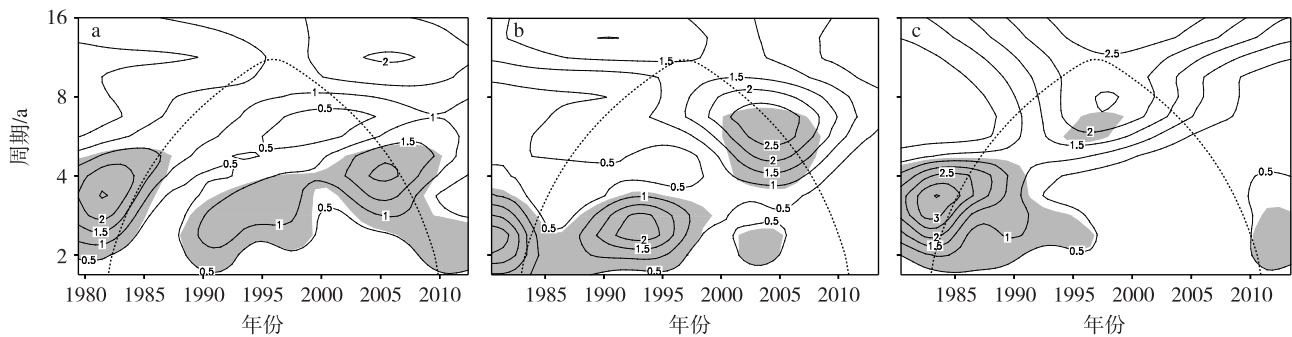


图 2 1979—2012 年冬季各月 NPO 指数的 Morlet 小波分析(阴影区通过了 95% 的置信度检验) a.12 月;b.1 月;c.2 月
Fig.2 The local wavelet power spectra for the winter monthly NPO index, based on the Morlet wavelet for the period 1979—2012(shading indicates the 95% confidence level): (a) December; (b) January; (c) February

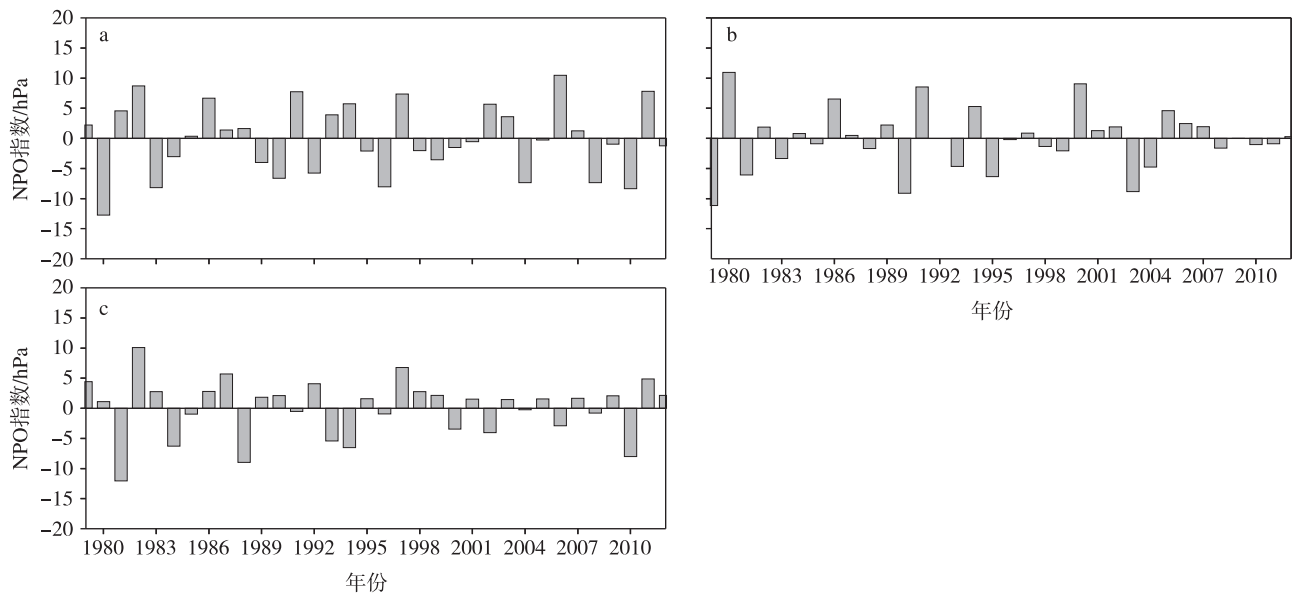


图 3 1979—2012 年冬季各月 NPO 指数的年际变化(单位:hPa) a.12 月;b.1 月;c.2 月
Fig.3 Interannual variations of the winter monthly NPO index during 1979—2012 (units: hPa): (a) December; (b) January; (c) February

3 冬季各月北太平洋涛动年际变化与我国降水异常的关系

图 4 为冬季各月 NPO 指数年际变化与同期我国降水距平百分率的回归系数分布。对比图 4a、b、c 可见,冬季不同月份 NPO 指数年际变化与同期降水异常之间的联系存在较为明显的差异。从图 4a 可见,当 12 月 NPO 处于正(负)位相时,我国降水异常增加(减少)比较明显的区域位于华北、黄淮和东南沿海地区,尤其是黄淮流域,而我国东北地区的降水异常偏少(多);当 12 月 NPO 指数增加(减少)1 个标准差时,我国黄淮流域降水量比同期多年平均值增加(减少)40%左右。如图 4b 所示,当 1 月 NPO 处于正(负)位相时,我国黄淮流域降水异常出现明显的增加(减少);当 1 月 NPO 指数增加(减

少)1 个标准差时,我国黄淮流域降水量比同期多年平均值增加(减少)50%左右。图 4c 表明,当 2 月 NPO 指数增加(减少)1 个标准差时,我国华北地区降水量比同期多年平均值减少(增加)30%左右。

4 冬季各月北太平洋涛动年际变化与东亚大气环流异常的关系

图 5 为 1979—2012 年冬季各月 NPO 指数的年际变化与同期 SLP 场和 500 hPa 位势高度距平场的回归系数分布。图 5a 表明,当 12 月 NPO 处于正(负)位相时,东亚地区的 SLPA 场异常偏高(低),同时在其上空 500 hPa 高度场上也有正(负)位势高度异常变化,主要位于我国东北、朝鲜半岛和日本地区(图 5d),这有利于该地区异常反气旋(气旋)的形成,而且异常环流场通过了 95% 的置信度检

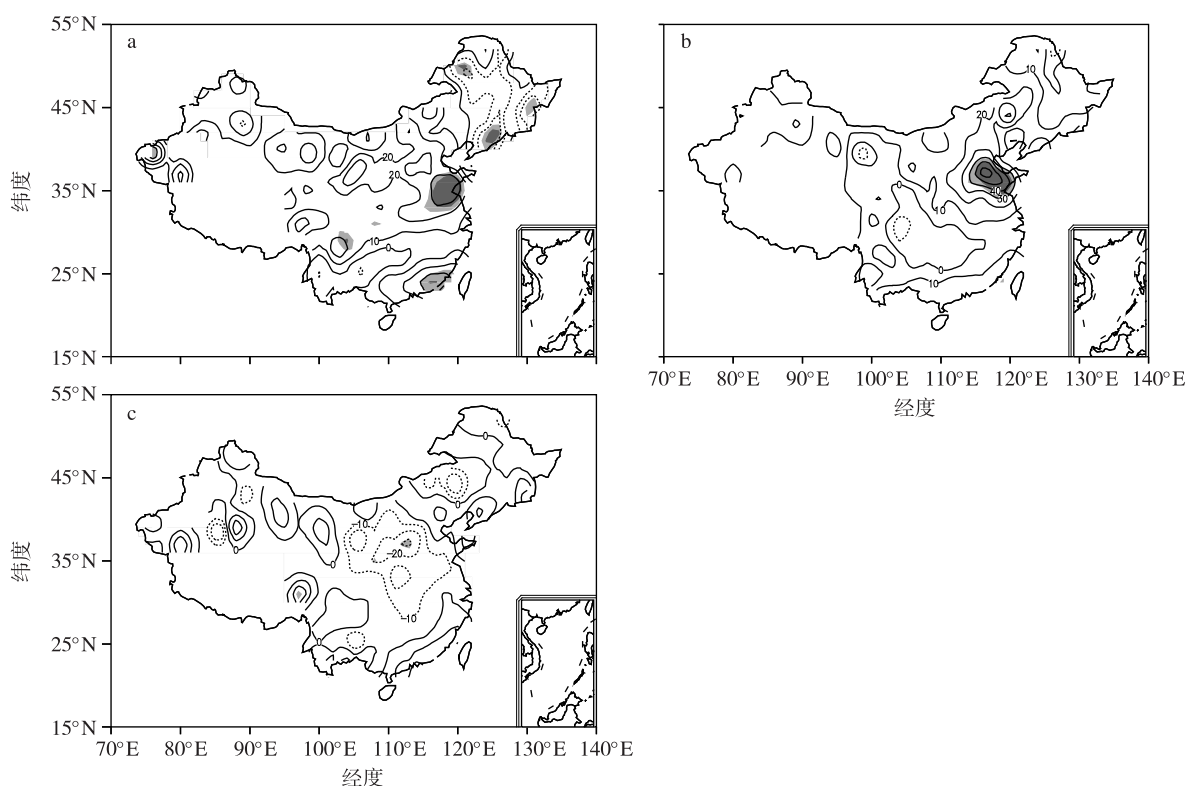


图4 1979—2012年冬季各月NPO年际变化指数与同期中国160站降水百分率的回归系数分布(浅、深阴影区分别通过了90%和95%的置信度检验;单位:%) a.12月;b.1月;c.2月

Fig.4 The simultaneous regression coefficients of the winter monthly NPO index and precipitation anomaly percentage in China during 1979—2012 (light and dark shading indicates the 90% and 95% confidence levels, respectively; units: %): (a) December; (b) January; (c) February

验;与12月的情况较为类似,当1月NPO处于正(负)位相时,东亚地区SLP和500 hPa偏高(低)(图5b,e),当2月NPO处于正(负)位相时,我国西北和内蒙古地区的SLP场偏高(低)(图5c),而我国东北地区500 hPa高度场偏低(高)(图5f),这有利于我国华北地区出现异常的偏北(南)气流。

图6为1979—2012年冬季各月NPO指数年际变化与同期850 hPa风场距平的回归系数分布。由图6a可见,当12月NPO处于正(负)位相时,我国东北地区为异常反气旋(气旋)式的风场距平,我国华北、黄淮地区位于异常反气旋(气旋)的南边缘,将有利于(不利于)来自西太平洋的暖湿水汽向华北和黄淮地区输送,从而使得华北、黄淮地区降水异常偏多(少);由图6b所示,当1月NPO处于正位相时,长江流域以北地区有异常偏南气流向华北南部和黄淮地区输送,使得该区域的降水增加,反之亦然;图6c表明,2月NPO处于正(负)位相时,我国华北地区受到异常偏北(南)气流的影响,这种异常风场将加强(减弱)东亚冬季风,这一环流形势不利于(有利于)来自南边海洋的暖湿气流向我国华

北地区输送,从而导致我国华北地区降水减少(增加)。

5 结论与讨论

本文利用1979年1月至2013年12月ERA-Interim逐月的SLP再分析资料和中国160站的降水观测资料,分析了冬季各月NPO的年际变化特征,及其我国同期降水之间的联系,得到如下结论:

1)冬季各月NPO指数年际变化的相关性较弱,其中12月与1月NPO指数年际变化之间的相关系数为0.09,而1月与2月NPO指数的相关系数仅为-0.003,均未通过信度检验。

2)冬季各月NPO年际变化与我国降水异常存在紧密的联系。当12月NPO指数增加(减少)1个标准差时,我国黄淮流域降水量比多年平均值增加(减少)40%左右;当1月NPO指数增加(减少)1个标准差时,我国黄淮流域降水量比同期多年平均值增加(减少)50%左右;当2月NPO指数增加(减少)1个标准差时,我国华北地区降水量比多年平均值减少(增加)30%左右。

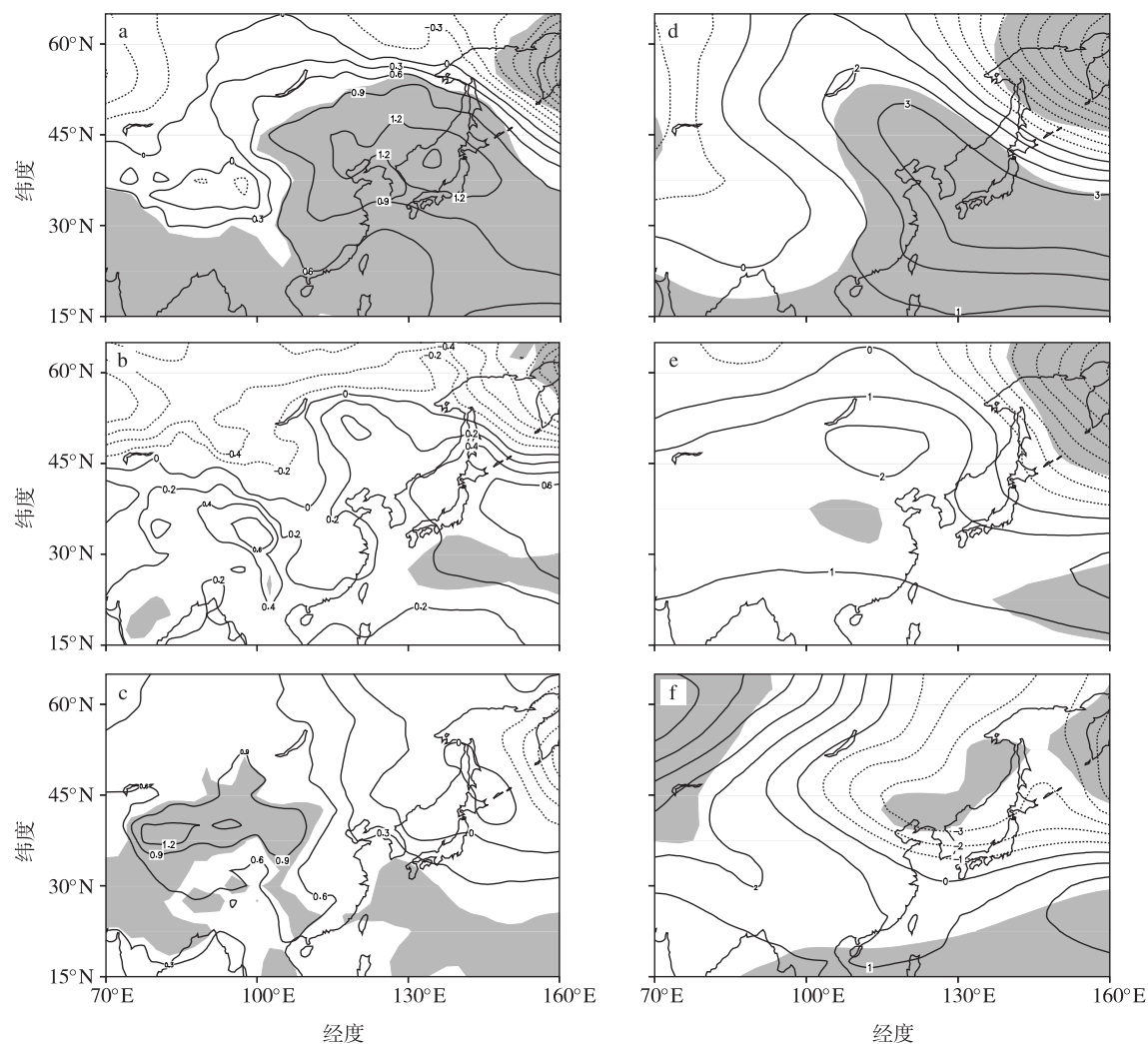


图 5 1979—2012 年冬季各月标准化 NPO 指数的年际变化与同期 SLPA 场(a,b,c;单位:hPa)和同期 500 hPa 位势高度距平场(d,e,f;单位:gpm)的回归系数分布(阴影区通过了 95%的置信度检验) a,d.12 月;b,e.1 月;c,f.2 月

Fig.5 The simultaneous regression coefficients of (a—c)SLP anomaly(units:hPa) and (d—f)500 hPa geopotential height anomalies(units:gpm) on the interannual variations of the winter monthly NPO normalized index during 1979—2012 (shadings indicate the 95% confidence level):(a,d)December;(b,e)January;(c,f)February

3)冬季各月 NPO 年际变化与东亚地区大气环流异常关系密切。当 12 月 NPO 处于正(负)位相时,整个东亚地区的 SLP 场异常偏高(低),同时在其上空 500 hPa 高度场上也有正(负)位势高度异常变化,这有利于该地区异常反气旋(气旋)式的风场距平。受其影响,我国黄淮流域降水出现增加(减少);1 月 NPO 与东亚大气环流的联系和 12 月较为类似;当 2 月 NPO 处于正(负)位相时,在我国西北、内蒙古地区的 SLP 场异常偏高(低),我国东北地区 500 hPa 高度场偏低(高),这将使得我国华

北地区出现异常的偏北(南)气流,导致 2 月华北地区降水出现减少(增加)。

本文的研究表明,冬季 NPO 不仅存在明显的年际变化,还存在明显的季节内(月平均时间尺度)变化。但是冬季不同月份 NPO 变化的相关系数偏小,这可能与冬季不同月份天气尺度的北太平洋风暴轴活动和各月东亚副热带急流变化等有关(任雪娟等,2007;Linkin and Nigam,2008;王林等,2011),今后有必要对此进行深入研究。

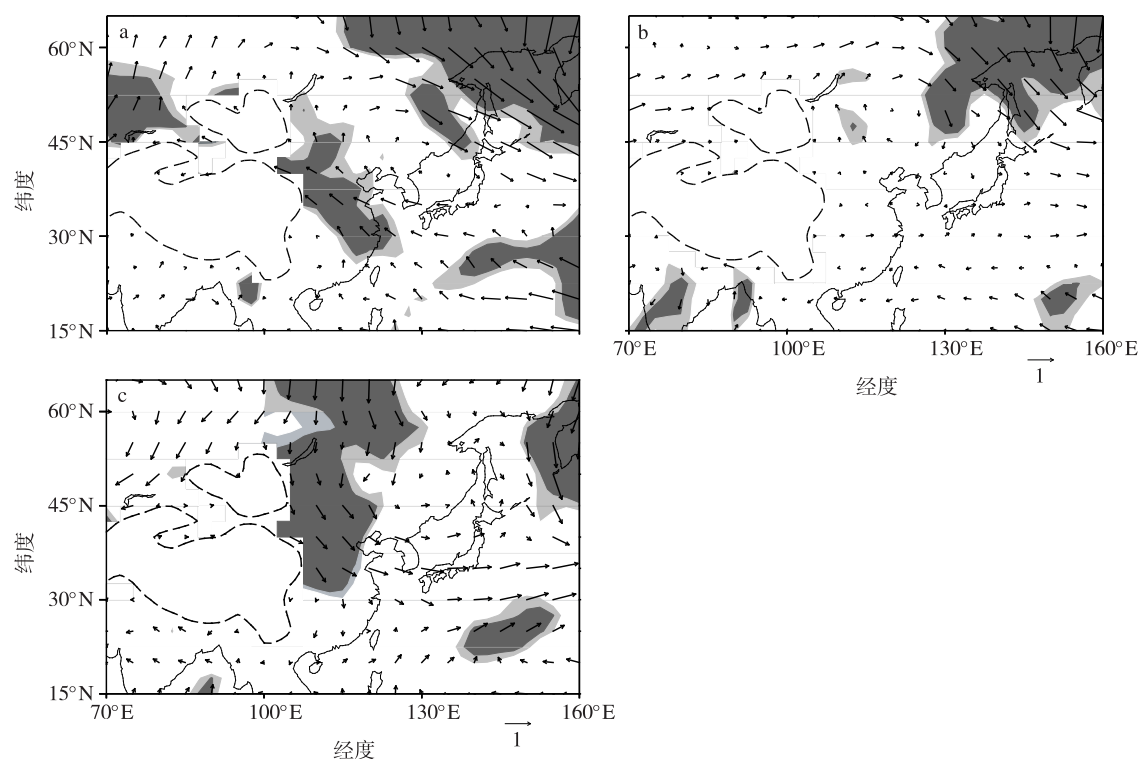


图6 1979—2012年冬季各月标准化NPO指数的年际变化与同期850 hPa风场距平的回归系数分布(浅、深阴影区表示经向风场分别通过了90%和95%的置信度检验;单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) a.12月;b.1月;c.2月

Fig.6 The simultaneous regression coefficients of 850 hPa wind anomalies on the winter monthly NPO normalized index during 1979—2012 (light and dark shading indicates the 90% and 95% confidence levels for the meridional wind fields, respectively; units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$): (a) December; (b) January; (c) February

参考文献 (References)

- Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 137(656): 553-597.
- Furtado J C, Lorenzo E D, Anderson B T, et al., 2012. Linkage between the North Pacific Oscillation and central tropical Pacific SSTs at low frequencies [J]. *Climate Dyn*, 39(12): 2833-2846.
- 郭冬, 孙照渤, 2004. 冬季北太平洋涛动异常与东亚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 D, Sun Z B, 2004. Relationships of winter North Pacific Oscillation anomalies with the East Asian winter monsoon and the weather and climate in China [J]. *J Nanjing Inst Meteor*, 27(4): 461-470. (in Chinese).
- 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.
- 李忠贤, 何鹏, 倪东鸿, 等, 2014. 阵风效应对冬季北太平洋涛动年际变化模拟效果的影响 [J]. *大气科学学报*, 37(2): 155-162. Li Z X, He P, Ni D H, et al., 2014. Impact of wind gustiness effect on simulation of interannual variation of North Pacific Oscillation in winter [J]. *Trans Atmos Sci*, 37(2): 155-162. (in Chinese).
- 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.
- 任雪娟, 杨修群, 韩博, 等, 2007. 北太平洋风暴轴的变异特征及其与中纬度海气耦合关系分析 [J]. *地球物理学报*, 50(1): 92-100. Ren X J, Yang X Q, Han B, et al., 2007. Storm track variations in the North Pacific in winter season and the coupled pattern with the mid-latitude atmosphere-ocean system [J]. *Chinese J Geophys*, 50(1): 92-100. (in Chinese).
- Rogers J C, 1979. The North Pacific Oscillation and eigenvectors of Northern Hemisphere atmospheric circulation during winter [D]. Boulder: Colorado University.
- Rogers J C, 1981. The North Pacific Oscillation [J]. *Int J Climatol*, 1(1): 39-57.
- Torrence C, Compo G P, 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 79(1): 61-78.
- Walker G T, 1924. Correlation in seasonal variations of weather IX. A future study of world weather [J]. *Memoirs of the India Meteorological Department*, 24(4): 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: 地球科学*, 37(7):966-973. Wang H J, Sun J Q, Fan K, 2007. Relationships between the North Pacific Oscillation and the typhoon/hurricane frequencies[J]. *Science China: Earth Sciences*, 37(7):966-973. (in Chinese).
- Wang L, Chen W, Huang R H, 2007. Change in the variability of North Pacific Oscillation around 1975/1976 and its relationship with East Asian winter climate[J]. *J Geophys Res*, 112(D11), D1110. doi:10.1029/2006JD008054.
- 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):393-402. Wang L, Chen W, Feng R Q, 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]. *Chin J Atmos Sci*, 35(3):393-402. (in Chinese).
- 王娜, 孙照渤, 2014. 冬季北太平洋风暴轴的年际型态及其与大气环流的关系[J]. *大气科学学报*, 37(2):175-187. Wang N, Sun Z B, 2014. Interannual patterns of winter North Pacific storm track and its relationship with atmospheric circulation[J]. *Trans Atmos Sci*, 37(2):175-187. (in Chinese).
- 袁凯, 朱伟军, 陈懿妮, 2015. 北太平洋东部风暴轴的变化特征及其与大气环流和 SST 异常的关系[J]. *大气科学学报*, 38(1):66-75. Yuan K, Zhu W J, Chen Y N, 2015. Characteristics of eastern storm track variations over the North Pacific and its relationship with the atmospheric circulation and SST anomaly[J]. *Trans Atmos Sci*, 38(1):66-75. (in Chinese).
- 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 J, Zhu W J, Li Z X, 2007. Relationship between winter North Pacific Oscillations and summer precipitation anomalies in the Huaihe River basin[J]. *J Nanjing Inst Meteor*, 30(4):546-550. (in Chinese).
- 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 Z G, Liao Q S, 1992. The relationship between the summer rainfall in China and the Northern Pacific Oscillation in winter[J]. *Meteor Mon*, 18(2):11-16. (in Chinese).
- 周波涛, 夏冬冬, 2013. 淮河流域夏季降水与前冬北太平洋涛动联系的年代际变化[J]. *中国科学: 地球科学*, 43(4):547-555. Zhou B T, Xia D D, 2013. Interdecadal change of the connection between winter North Pacific Oscillation and summer precipitation in the Huaihe River valley[J]. *Science China: Earth Sciences*, 43(4):547-555. (in Chinese).

Interannual variation of the winter monthly North Pacific Oscillation and its association with precipitation in China

LI Zhongxian, HE Peng

Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change(ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

The North Pacific Oscillation(NPO) is one of the most prominent large-scale patterns of atmospheric low-frequency variability in the northern extratropics. It plays an important role in modulating atmospheric circulation and climate over the East Asian region. Based on the ERA-Interim sea level pressure data, along with the observed precipitation data of 160 stations in China provided by the National Climate Center, spanning from January 1979 to December 2013, the interannual variation of the winter monthly(December, January and February) NPO and its association with simultaneous precipitation in China and atmospheric circulation over East Asia are investigated in this paper through use of correlation analysis, linear regression analysis and Morlet wavelet analysis.

The results show that the monthly NPO has a significant interannual variation in wintertime. The index of the monthly NPO has a 2—4 yr period. Importantly, however, the correlations among the interannual variation of the winter monthly NPO indices are weak. During 1979—2012, the correlation coefficients between the NPO index in December and that in January is 0.09, while between January and February it is only -0.003, without passing the reliability test at the 95% confidence level.

Additionally, it is shown that the interannual variation of the NPO impacts evidently upon the precipitation a-

nomalies over East China. Significant positive correlation is found between the interannual variations of the NPO and the precipitation over the Huanghuai River valleys in December and January. However, the interannual variation of the NPO in February relates negatively to the precipitation over North China in February. The precipitation over the Huanghuai River valleys increases by about 50% (40%) compared with its climatology as the NPO index increases by one standard deviation in January (December). Meanwhile, when the NPO index increases by one standard deviation in February, the precipitation over North China decreases by about 30%.

Furthermore, the monthly NPO is closely associated with anomalous East Asian atmospheric circulation, which leads to anomalous precipitation over East China. When the NPO index is positive in December and January, the simultaneous sea level pressure and 500 hPa geopotential height anomalies are positive over East Asia. As a result, the precipitation over the Huanghuai River valleys increases in December and January. When the NPO index is negative in December and January, the simultaneous sea level pressure and 500 hPa geopotential height anomalies are negative over East Asia. Accordingly, the precipitation over the Huanghuai River valleys decreases in December and January. When the NPO index is positive in February, the sea level pressure anomalies are positive over northwestern China and Inner Mongolia and the 500 hPa geopotential height anomalies are negative over northeastern China, which leads to a decrease in precipitation over North China in February. Lastly, when the NPO index is negative in February, the sea level pressure anomalies are negative over northwestern China and Inner Mongolia and the 500 hPa geopotential height anomalies are positive over northeastern China, resulting in increased precipitation over North China in February.

North Pacific Oscillation; interannual variation; winter; precipitation; circulation features

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20141203001

(责任编辑:孙宁)