

王宏,赵岩,李宗涛,等. 2013. 河北冬季降水异常特征及其与环流和海温异常的关系. 气象, 39(9): 1197-1203.

河北冬季降水异常特征及其与 环流和海温异常的关系^{*}

王 宏¹ 赵 岩¹ 李宗涛² 王万筠³ 王蓉蓉⁴

1 承德市气象局,承德 067000

2 河北省气象局,石家庄 050021

3 塘沽区气象局,塘沽 300457

4 保定市气象局,保定 071000

提 要: 利用河北省及周边 73 个台站 1961—2009 年冬季降水资料、NCEP/NCAR 再分析资料、NOAA 太平洋海温等资料,应用奇异谱分解(SVD)等多种统计方法研究了河北冬季降水异常特征及其与环流和太平洋海表温度异常(SSTA)的关系。结果表明:河北冬季降水有一定的年代际变化和周期性,从 10 a 以下尺度看,冬季降水存在 8~10 和 2~3 a 的变化周期;冬季东亚地区 500 hPa 高度场从低纬到中高纬呈正、负、正的东亚—太平洋(EAP)遥相关型时,河北降水偏多,最明显的区域主要位于沧州和承德的东部;当北太平洋海温场为 PDO 正位相,赤道中太平洋 SSTA 为 El Nino 型时,河北省冬季多雨,邢台、邯郸及沧州一带表现更明显。

关键词: 降水异常,空间型态,500 hPa 高度场,太平洋海温异常,冬季

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.016

Winter Precipitation Anomalies in Hebei Province and the Relations with Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature

WANG Hong¹ ZHAO Yan¹ LI Zongtao² WANG Wanjun³ WANG Rongrong⁴

1 Chengde Meteorological Bureau of Hebei, Chengde 067000

2 Hebei Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021

3 Tanggu Meteorological Office of Tianjin, Tanggu 300457

4 Baoding Meteorological of Hebei, Baoding 071000

Abstract: Using winter precipitation data from 73 meteorological stations in Hebei Province during 1961—2009, NCEP/NCAR reanalysis data and NOAA SST data of the Pacific Ocean during the same period, features of precipitation anomalies in Hebei Province in winter and their relations with the atmospheric circulation and SSTA of the Pacific Ocean are analyzed with the Singular Value Decomposition (SVD) analysis method, and other statistical methods. The results indicate that winter precipitation in Hebei has the characteristics of interdecadal and periodic variations. In the scale within a decade, 8-to-10-year or 2-to-3-year periodic changes in winter have been found in the recent 49 years. When the 500 hPa height field over East Asia in winter shows the positive, negative and positive East Asia—Pacific (EAP) teleconnection pattern from low to high latitudes, Hebei receives more precipitation than normal and the most remarkable areas are in Cangzhou and the eastern part of Chengde. When the distribution pattern of SST of the North Pacific shows PDO positive phase and the central equatorial Pacific distribution of SSTA appears to be the pat-

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906016)和河北省气象局科研项目(11ky27)共同资助

2012年6月28日收稿; 2013年1月7日收修定稿

第一作者:王宏,主要从事天气预报、短期气候预测。Email:whlzlqgd@sina.com

tern of El Niño, the winter precipitation in Hebei becomes even more especially in Xingtai, Handan and Cangzhou.

Key words: precipitation anomaly, spatial pattern, 500 hPa height field, SSTA of the Pacific Ocean, winter

引 言

河北省地处华北平原东北部,由于受到气候因素、地表因素及社会因素等的共同影响,使得河北省成为一个受气象灾害影响严重的地区,主要灾害有旱灾、水灾、风灾、雹灾、雷电灾和冻灾(寒潮、霜冻)等多种气象灾害。而在这些气象灾害中尤其以旱涝灾害最为频繁、影响最大。

形成降水异常的因子很多,其中大气环流和海温异常被公认为直接原因和最重要的大气外部强迫因素之一。卫捷等(2003;2004)对华北干旱期的大气环流异常特征和 1999 及 2000 年夏季华北严重干旱气候灾害及其物理成因进行了分析,认为华北夏季典型干旱年的前期(冬季和春季)及同期,北半球中高纬度 500 hPa 高度距平场出现 EU 型遥相关分布,华北地区长期处于大陆暖高压控制下。而在 1999 及 2000 年夏季华北严重干旱持续时期,欧亚 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 范围的纬度带也存在 EU 型静止波列。这个静止波列的遥相关强迫作用以及干旱灾害区域下垫面的正反馈作用是造成 1999 及 2000 年夏季持续性干旱最重要的物理因子;魏凤英等(1998;2003)以降水量为主,考虑底墒及蒸发状况,定义了华北地区站春、夏季干旱指数,并对华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号以及华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异进行了研究;孙淑清(1999)和张庆云(1999)研究了华北地区干旱的年代际变化及与东亚环流和海温异常的关系;郭其蕴(1992)从遥相关的角度分析了华北旱涝与印度夏季风的联系。杨修群等(2005)研究了华北降水的年代际变化特征及相关的海气异常型。最近几年研究人员(高辉等,2008;孙冷等,2012;王遵娅等,2012)分别对 2007 年、2011 年 8 月及夏季我国的气候异常特征进行了深入分析,得出许多有意义的结论。

虽然许多气象学家对华北地区降水量做了大量的研究,但是这些研究基本上是针对夏季降水量的(宫德吉,1997;朱平盛等,1997;孙安健等,2000;何有海等,2003)。对华北地区冬季降水异常的研究却

极少,针对河北的研究更是少之又少,而且在众多研究华北地区旱涝的文献中一般只选取河北省的几个站点,这不能准确代表河北旱涝的真实状况。事实上华北(河北)冬季干旱也是一个严重的问题,冬季降水的多少对华北地区影响很大,冬季干旱致使地下水位急剧下降,井水干枯,人畜饮水困难,森林草原火险等级维持在最高级别,极易发生火灾。冬季干旱对农业影响也非常严重,使得受灾地区失、欠墒严重,冬春连旱造成土地难以下种,并且冬季降水量的多少对夏季乃至全年干旱都有重大影响。本文应用 Z 指数的方法,探讨河北冬季降水异常的时间变化特征,分析形成冬季旱涝的大气、海洋等因子的影响,从而为减轻该区域旱涝灾害损失、合理利用水资源,同时为政府和决策部门制作农业生产计划、采取防灾减灾措施提供科学依据。

1 资料和方法

本文所用资料主要包括河北省序列较长的 71 个台站及北京、天津站的 1960 年 12 月至 2009 年 12 月逐月的降水资料。NCEP/NCAR 再分析资料中东北半球 500 hPa 逐月平均高度场格点资料,网格距均为 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$;NOAA 逐月太平洋海表温度资料,网格距 $2.0^{\circ}\times 2.0^{\circ}$;所用资料均做了中心化处理(中心化处理就是将原始资料减去其均值)。由于海温的线性趋势较强,处理资料时将太平洋海温资料做了去趋势化处理(去趋势化处理就是对资料进行线性趋势计算,再将原资料减去其线性趋势)。并且由于高度场和海温的南北跨度大,相隔同一经度,距离相差较大,因此高度场和海温资料又乘上了纬度的余旋。以上资料时间均为 1960 年 12 月至 2009 年 12 月。研究方法:合成分析、SVD(魏凤英,2007)、蒙特卡罗统计检验(施能,1996;施能等,1997)等统计方法。

SVD 分析的同性相关系数是指同一个场各个空间或时间点的距平序列与模态时间系数之间的相关性,表征模态时间系数对该场距平序列的代表性。当同性相关系数大时,说明模态时间系数对该距平

序列代表性好;当同性相关系数小时,代表性差或没有代表性.而异性相关系数是指左场(或右场)距平序列与右场(或左场)模态时间系数之间的相关性,其值的大小反映了左场(或右场)距平序列受控于右场(或左场)模态时间系数的程度(施能,1995;张万诚等,2002;钱永甫等,2004)。

2 冬季典型旱涝年份的确定

为了进行合成分析,选用能客观反映河北旱涝的降水 Z 指数来表征河北冬季旱涝程度。Z 指数的转换公式(Kife,1978)为:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$$

式中, $\varphi_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ 和 $C_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / \sigma^3$ 分别为标准化变量和偏度系数。

根据 73 站冬季降水资料,对各站 1961—2009 年逐年冬季降水量进行 Z 指数转换,组成各站 1961—2009 年逐年冬季 Z 指数序列,然后进行逐年 73 站 Z 指数平均,组成河北区域 1961—2009 年逐年冬季平均 Z 指数序列,然后根据各级旱涝指标(鞠笑生等,1997),定义平均 Z 指数序列中重涝、大涝年份:1967、1969、1979、1987、1989、1998 和 2008 年为冬季典型湿润年,定义重旱、大旱年份:1961、1971、1981、1991、2001 和 2002 年为冬季典型干旱年。

3 河北冬季降水异常的时间变化特征

3.1 冬季降水异常的年代际变化特征

对河北区域 73 站的冬季 Z 指数进行 EOF 分析,前 5 个特征向量的累积方差贡献率达到 86% 以上,第一特征向量(图 1a)的方差贡献率为 73.3%,其空间变化幅度最大中心位于河北省东北部的唐山。第一特征向量对应的时间系数能反映河北作为一个整体的区域干旱指数随时间的变化特征。图 1b 是冬季 Z 指数 EOF 分析第一特征向量对应时间系数及其 4 次多项式拟合曲线,可以看出河北省冬季降水指数有明显的年代际变化,冬季时间系数在 20 世纪 60 年代到 70 年代中期呈下降趋势,70 年代末

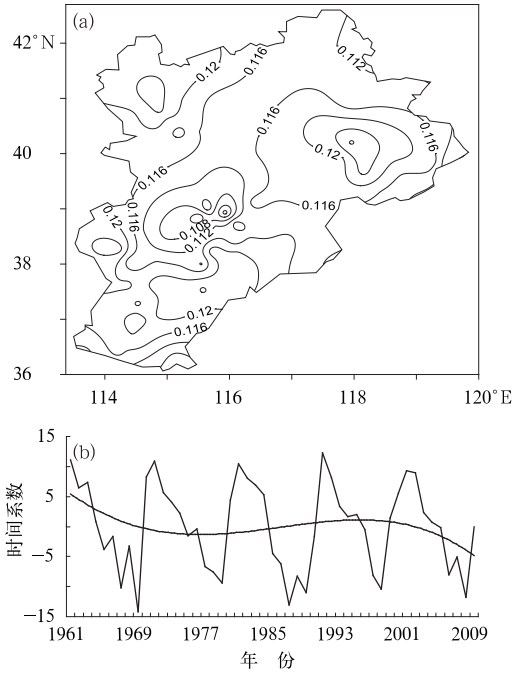


图 1 冬季 Z 指数 EOF 分析第一特征向量(a)及对应时间系数(b)变化图
Fig. 1 The variation of EOF-1 (a) and its time coefficient (b) for winter Z index

期到 90 年代中期呈上升趋势,之后处于下降趋势。

3.2 冬季降水异常的周期性

对研究区域 73 站的冬季 Z 指数 EOF 分析第一特征向量对应的时间系数做 Morlet 小波变换分析(图 2)。由图 2 可见,近 49 年河北冬季 Z 指数存在

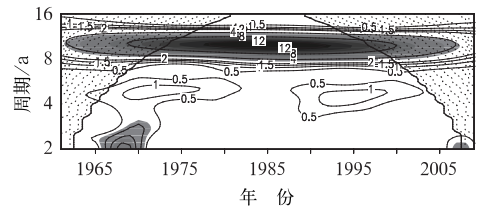


图 2 1961—2009 年冬季 Z 指数的小波变换功率谱
(阴影部分表示通过 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验,点阴影区是小波变换受边界影响的区域)
Fig. 2 Power spectrum analysis of the Morlet wavelet transform for winter Z index during 1961—2009

(Shaded areas passed the test at $\alpha=0.10$ significance level; dotted areas represent the zone influenced by boundaries in wavelet transform)

显著的8~10 a周期变化。另外,20世纪60年代中后期到70年代初,2~3 a周期的年际变化显著。

4 河北冬季降水异常的同期大气环流场和太平洋海温场异常特征分析

4.1 大气环流场特征

4.1.1 500 hPa 高度场

图3是冬季典型干旱与湿润年500 hPa平均位势高度距平场的合成。冬季典型干旱年(图3a),500 hPa平均位势高度场的负距平中心主要位于日本海到北太平洋西部附近;正距平的中心则位于乌拉尔山的西南部、东西伯利亚。典型湿润年(图3b)基本与干旱年相反,正距平的中心位于北太平洋,而负距平的中心区则位于中西伯利亚。不同的是旱年冬季在青藏高原东部为正距平区,进一步说明高原距平的异常变化与河北冬季干旱有密切的联系。对照常年平均图可知:冬季当欧洲东部大槽加强时,贝加尔湖西部高脊和东亚大槽加强,河北省处于脊前槽后的西北气流控制下,出现冬旱;反之则降水偏多,冬季湿润。

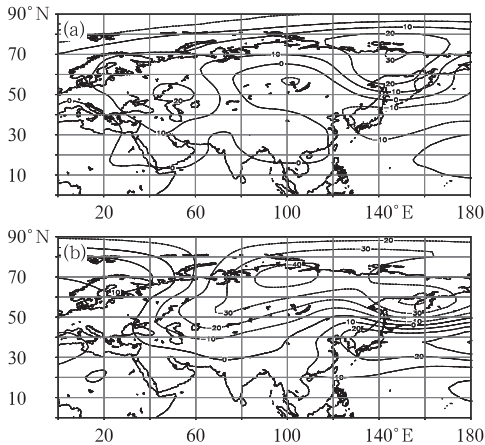


图3 冬季典型干旱年(a)和湿润年(b)500 hPa平均位势高度距平合成(单位:gpm)

Fig. 3 The composition graphs of 500 hPa mean geopotential height anomaly in typical winter drought (a) and wet (b) years (unit: gpm)

4.1.2 850 hPa 风场

图4给出了冬季典型干旱和湿润年份850 hPa风矢量距平合成分布。冬季典型干旱年(图4a),贝加尔湖地区出现一个明显的气旋式环流距平,华北

北部地区出现明显的偏北风距平,而以日本海及其东部西太平洋为中心,从鄂霍次克海到我国东北及东部海上存在异常的反气旋式环流,江淮流域的西风距平阻碍了中南半岛北上的暖湿气流,因此暖湿气流不易输送到河北地区,造成该地区降水偏少,河北出现冬旱。冬季典型湿润年(图4b),我国中西部存在弱的气旋式环流异常,日本海存在反气旋式环流异常;偏南风距平从江南向华北南部伸展,与从我国东部沿海向西北方伸展的东南风距平在河北相遇合并加强,河北处于偏南风距平中,冬季降水偏多,气候湿润。

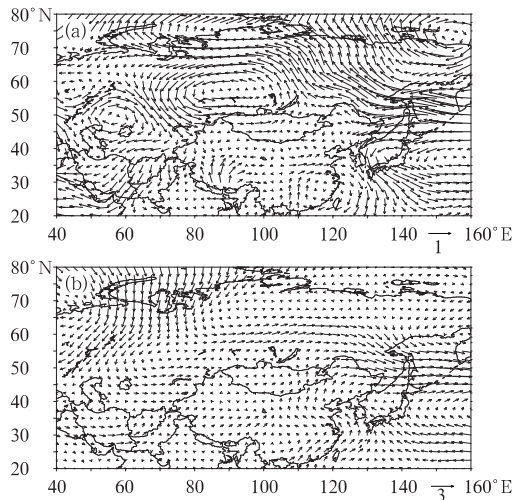


图4 冬季典型干旱年(a)和湿润年(b)850 hPa风矢量距平合成(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 4 The composition graphs of 850 hPa wind vector anomaly in typical winter drought (a) and wet (b) years (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

4.2 太平洋海温场特征

图5给出了冬季典型干旱和湿润年份太平洋SSTA合成分布。冬季典型干旱年(图5a)赤道东太平洋海温偏低,最低中心位于Nino3区东部海域,而典型湿润年(图5b)该区域成为正距平中心;冬季典型湿润年,西北太平洋海盆的南部和东北部各有一个正负距平的中心存在,中心值为 0.2°C 。而冬季典型干旱年在西北太平洋海盆的北部及东北太平洋海盆也各有一个正、负距平中心存在,但正距平中心值较典型湿润年高。可见冬季典型干旱、湿润年份赤道及北太平洋海温存在明显差异。

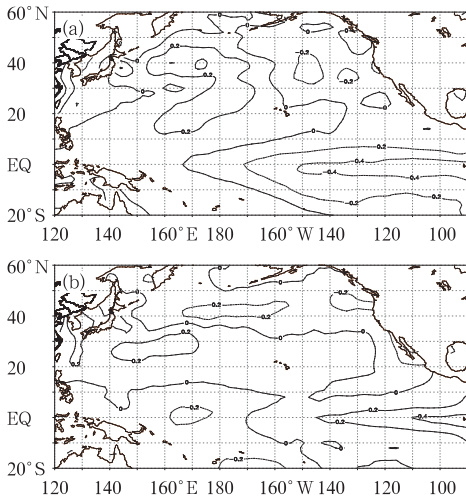


图 5 冬季典型干旱年(a)和典型湿润年(b)太平洋海温距平场合成(单位: $^{\circ}\text{C}$)
 Fig. 5 The composition graphs of SSTA of the Pacific Ocean in typical winter drought (a) and wet (b) years (unit: $^{\circ}\text{C}$)

5 冬季降水异常与同期 500 hPa 高度场和太平洋海温场异常的耦合关系

5.1 500 hPa 高度场异常型态与河北冬季降水异常的关系

以河北区域 73 个台站 1961—2009 年冬季的 Z 指数为左场,同期东北半球 500 hPa 位势高度场为右场,进行 SVD 分析。结果表明第一对模态的协方差贡献率达 84% 以上,并且经蒙特卡罗统计检验,第一对模态通过了 0.01 的显著性水平检验,相应的模态相关系数为 0.49。

从图 6a 分析看,500 hPa 平均高度场异性相关系数第一模态的负相关区范围大于正相关区范围。负相关区位于欧洲东部到亚洲中高纬的广大区域,负值中心位于鄂霍次克海(关键区 1),中心区域的

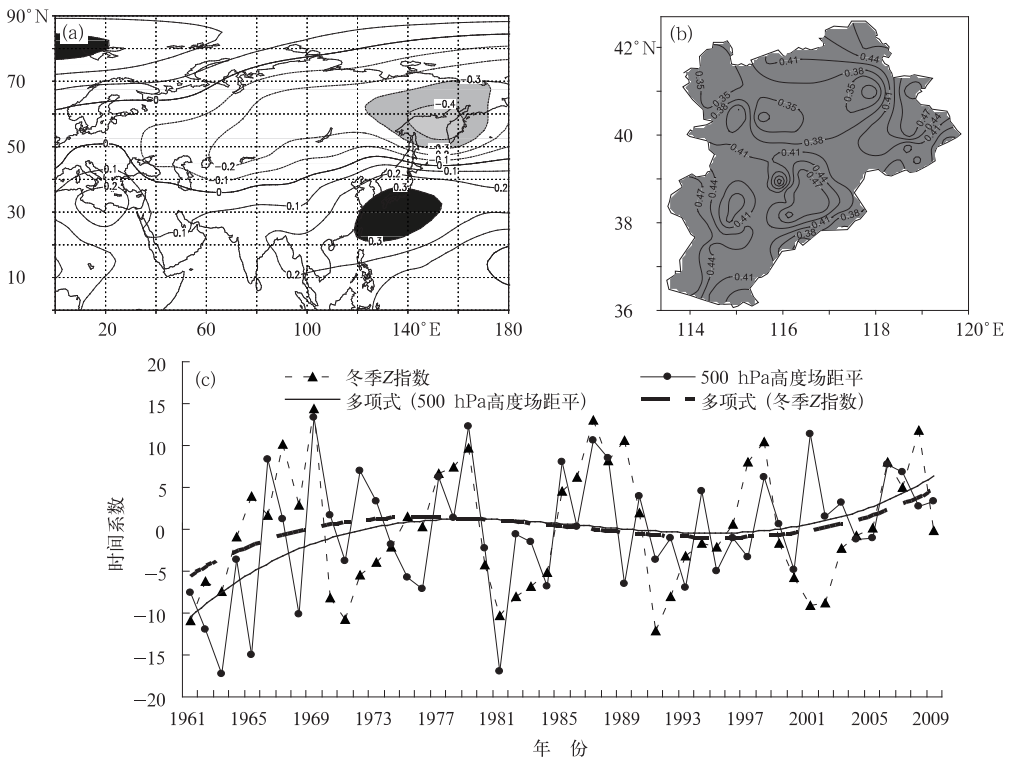


图 6 冬季 Z 指数与 500 hPa 平均高度距平场 SVD 分析第一对模态的异性相关系数及时间系数变化图(阴影区为通过 0.05 的显著性水平检验)

(a) 500 hPa 高度场, (b) Z 指数, (c) 时间系数(高度场对应时间系数缩小 100 倍)
 Fig. 6 Heterogeneous correlative coefficients for the first mode of SVD analysis of Z index and 500 hPa mean height anomaly fields in winter (Shaded areas passed the 0.05 significance level test)
 (a) 500 hPa height anomaly (unit: gpm), (b) Z index, (c) time coefficients
 (Time coefficient of height field is reduced by 100 times)

相关系数为-0.4,通过 0.005 显著性水平检验。正相关区位于新地岛以西的洋面及我国东部到北太平洋,正值中心主要位于斯瓦尔巴群岛及日本岛(关键区 2),中心区域的相关系数为 0.3,通过 0.05 显著性水平检验。该型最显著的特点是,东亚地区从低纬到中高纬呈正、负、正的东亚-太平洋(EAP)遥相关型分布。对应的冬季 Z 指数第一模态异性相关系数场分布结构:全省一致的正相关,均通过 0.05 的显著性水平检验(图 6b),大值区出现在河北省东部的沧州及承德的东部。这对空间型表明:当冬季关键区 1 内的平均高度场为负距平,关键区 2 的平均高度场为正距平时,全省冬季降水偏多,河北省的沧州及承德的东部表现最明显;反之,亦然。

从对应的时间系数(图 6c)演变看,二者为显著正相关。时间系数为正时,关键区 1 内的冬季 500 hPa 平均高度为负距平,关键区 2 内的冬季 500 hPa 平均高度为正距平,河北冬季整体湿润,河北省的沧州及承德的东部表现最明显;反之出现冬旱。从曲线多项式拟合看,时间系数年代际的变化

明显,20 世纪 60 年代、80 年代中后期至 90 年代末期,时间系数处于负值区,在此期间关键区 1 内的冬季 500 hPa 平均高度出现正异常,关键区 2 内的冬季 500 hPa 平均高度出现负异常,河北冬季整体干旱;20 世纪 70 年代初至 80 年代初期、21 世纪初以来,时间系数处于正值区,在此期间关键区 500 hPa 平均高度出现相反变化,河北冬季整体湿润。

5.2 河北冬季降水异常与太平洋海温场异常的可能联系

以 1961—2009 年河北及周边 73 站冬季 Z 指数为左场,同期北太平洋(20°S~60°N,120°E~90°W) SSTA 场为右场,进行 SVD 分析。SVD 分析结果表明第一模态的协方差贡献率达 69%,并且通过了 0.01 的蒙特卡罗显著性检验,相应的模态相关系数为 0.57。为了更好地揭示北太平洋海温对河北冬季降水的控制作用,海温场采用同性相关系数,冬季 Z 指数场采用异性相关系数。

从图 7a 海温场的空间分布型看出,海温场大致

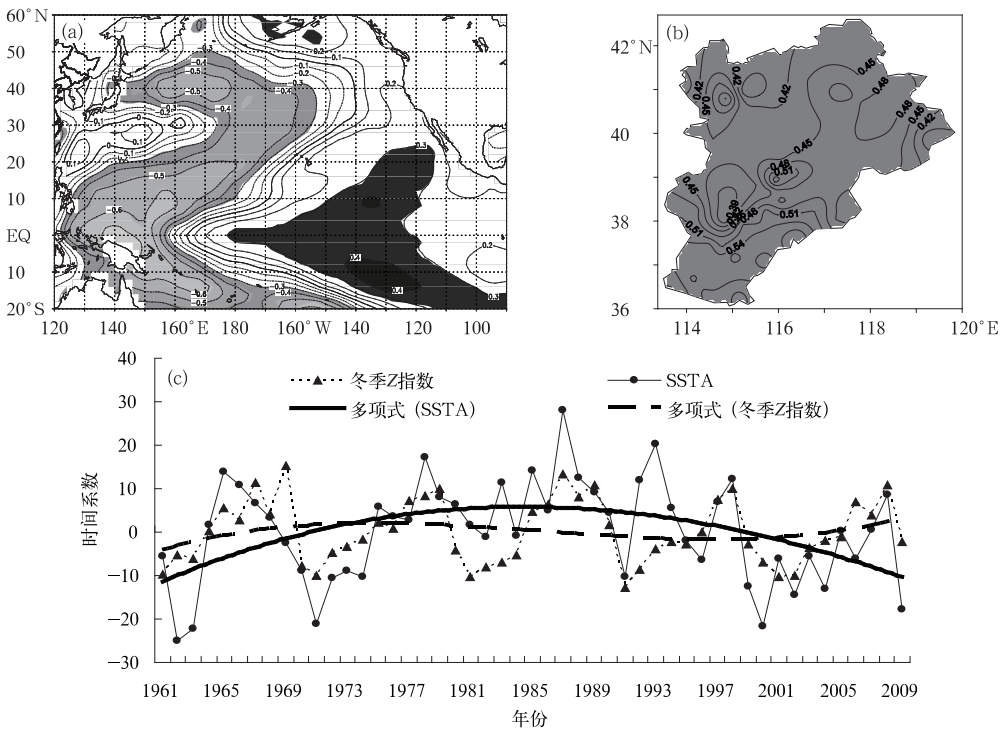


图 7 冬季 Z 指数与同期太平洋海温距平场 SVD 分析第一模态的分布
(阴影区表示通过 0.05 的显著性水平检验)

(a) 海温场采用同性相关系数输出, (b) Z 指数场采用异性相关系数输出, (c) 时间系数

Fig. 7 The first mode in the SVD expansion between Z index and SSTA over the Pacific Ocean in winter
(Shaded areas passed the 0.05 significance level test)

(a) SSTA in winter is expanded for homogeneous correlation pattern, (b) Z index in winter is expanded for heterogeneous correlation pattern, (c) the time coefficient

呈现西北—东南反相的分布型态,负相关区(关键区1)位于西北太平洋、赤道西太平洋及其向东南方向延伸到大洋洲中部的广大海域,中心区域的相关系数为 -0.7 ,通过 0.001 显著性水平检验。北太平洋的分布型态类似PDO遥相关型分布。其他海域为正相关区(关键区2),中心区域的相关系数为 0.4 ,通过 0.005 显著性水平检验。赤道太平洋的分布型态类似El Niño模态。冬季Z指数的空间分布型:全省一致的正相关(图7b),高值区位于邢台、邯郸、沧州一带,相关系数高于 0.54 ,其相关系数通过 0.001 的显著性水平检验。这对空间型表明:当冬季关键区1内的海温偏低,关键区2内的海温偏高时,全省冬季Z指数偏大,降水偏多,河北省的邢台、邯郸、沧州一带表现更明显;反之,亦然。

从相应的时间系数变化(图7c)看,在20世纪60年代初至90年代初为显著正相关。当时间系数为正时,日本东部 40°N 、 $150^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 附近海域及大洋洲的西部海温异常偏低,冬季河北降水易偏多,河北省的邢台、邯郸、沧州一带表现更明显;反之冬季降水易偏少。

6 结 论

(1) 河北冬季降水存在明显的年代际变化和周期变化。从 10 a 以下尺度看,近49年河北省冬季降水存在 $8\sim 10$ 和 $2\sim 3\text{ a}$ 的变化周期。

(2) 冬季当欧洲东部大槽加强时,贝加尔湖西部高脊和东亚大槽加强,亚洲中高纬环流倾向度加大,河北省处于脊前槽后的西北气流控制下,出现冬旱;反之则降水偏多,冬季湿润。

(3) 当华北北部地区出现明显的偏北风距平,江淮流域的西风距平阻碍了中南半岛北上的暖湿气流时,河北冬季干旱;而典型雨涝年,偏南风距平从江南向华东南部伸展,与向西北方伸展的东南风距平在河北相遇加强,河北处于偏南风距平控制中,冬季降水偏多。

(4) 冬季东亚地区 500 hPa 高度场从低纬到中高纬呈正、负、正的东亚—太平洋(EAP)遥相关型时,河北降水偏多,最明显的区域主要位于河北省的沧州和承德的东部;当北太平洋SSTA为PDO模态,赤道中太平洋SSTA为El Niño型时,河北省冬季多雨,邢台、邯郸、沧州一带表现更明显。

参考文献

- 高辉,王永光. 2008. 2007年海温和大气环流异常及对我国气候的影响. 气象, 34(4): 107-112.
- 宫德吉. 1997. 华北干旱和半干旱地区的水环境现状和水资源应用问题. 气候与环境研究, 2(2): 193-198.
- 郭其蕴. 1992. 中国华北旱涝与印度夏季风降水的遥相关分析. 地理学报, 47(5): 394-402.
- 何有海,程志强,关翠华. 2003. 华北地区夏季降雨量与南海海温长期变化的关系. 热带海洋学报, 22(1): 1-8.
- 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等. 1997. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究. 应用气象学报, 8(1): 26-32.
- 钱永甫,周宁芳,毕云. 2004. 高层大气温度和高度场异常对我国地面气温和降水的影响. 高原气象, 23(4): 417-428.
- 施能. 1995. 气象科研与预报中的多元分析方法. 北京: 气象出版社, 229-237.
- 施能. 1996. 气候诊断研究中SVD显著性检验的方法. 气象科技, (4): 5-6.
- 施能,魏凤英,封国林,等. 1997. 气象场相关分析及合成分析中蒙特卡洛检验方法及应用. 南京气象学院学报, 20(3): 355-358.
- 孙安健,高波. 2000. 华北地区夏季严重旱涝特征诊断分析. 大气科学, 24(3): 393-402.
- 孙冷,任福民,王遵娅,等. 2012. 2011年8月气候异常及成因分析. 气象, 38(5): 615-622.
- 孙淑清. 1999. 近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未趋势的探讨. 高原气象, 18(4): 541-551.
- 王遵娅,任福民,孙冷,等. 2012. 2011年夏季气候异常及主要异常事件成因分析. 气象, 38(4): 448-455.
- 卫捷,张庆云,陶诗言. 2003. 近20年华北地区干旱期大气环流异常特征. 应用气象学报, 14(2): 140-150.
- 卫捷,张庆云,陶诗言. 2004. 1999及2000年夏季华北严重干旱的物理成因分析. 大气科学, 28(1): 126-135.
- 魏凤英. 2004. 华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异. 自然灾害学报, 13(2): 32-38.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 160-169.
- 魏凤英,曹鸿兴. 1998. 华北干旱异常的地域特征. 应用气象学报, 9(2): 205-211.
- 魏凤英,张京江. 2003. 华北地区干旱的气候背景及其前兆强信号. 气象学报, 61(3): 354-363.
- 杨修群,谢倩,朱益民,等. 2005. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型. 地球物理学报, 48(4): 789-797.
- 张庆云. 1999. 1880年以来华北降水及水资源的变化. 高原气象, 18(4): 486-495.
- 张万诚,解明恩. 2002. 奇异值分解方法对降水的预测试验. 高原气象, 21(1): 102-107.
- 朱平盛,张苏平. 1997. 华北夏季旱涝的前期环流异常及其与北太平洋海温的关系. 应用气象学报, 8(4): 437-443.
- Kife G W. 1978. Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Colorado: Water Resources Publication.