

王娜,王冀,王琦,等. 陕西冬季气温变化特征及其成因[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 604-609. [WANG Na, WANG Ji, WANG Qi, et al. Variation Characteristics of Winter Temperature and Mechanism Analysis in Shaanxi Province During 1961-2012[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 604-609], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0604

## 陕西冬季气温变化特征及其成因

王娜<sup>1</sup>, 王冀<sup>2</sup>, 王琦<sup>1</sup>, 肖科丽<sup>3</sup>, 姚静<sup>4</sup>, 方建刚<sup>1</sup>

(1. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710014; 2. 北京市气候中心, 北京 100089;  
3. 陕西省气象学会, 陕西 西安 710016; 4. 陕西省气象台, 陕西 西安 710014)

**摘要:** 利用1961—2012年NCEP/NCAR再分析资料以及陕西月平均气温资料, 分析陕西冬季气温年际变化特征及其形成机制。结果表明: 陕西冬季气温主要呈全区一致的空间分布型, 低温年, 500 hPa高度场我国西部存在稳定的负距平, 垂直方向呈准正压结构, 西太平洋遥相关型(WP)与第一模态时间系数的相关性最显著。中高纬地区海温可能是影响陕西冬季气温的主要强迫因子, 西北太平洋海温负异常, 黑潮区、热带印度洋、北大西洋海温显著偏低, 有利于陕西冬季气温偏低, 且这些关键区海温的异常信号, 在前期夏、秋季已经表现明显, 对冬季气温预测有指示意义。

**关键词:** 冬季气温; 海表温度异常; 遥相关; 陕西

**文章编号:** 1006-7639(2016)-04-0604-06 DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-04-0604

**中图分类号:** P332

**文献标识码:** A

### 引言

气候变暖是当今人类社会面临的最主要的气候变化问题, 中国的气温变化与全球气温变化具有一致性, 冬季是增暖最明显的时期, 1951—2004年我国冬季气温增温率达 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ , 具有明显的区域特征<sup>[1-2]</sup>。1956—2005年我国暖冬事件共计发生13次, 其中85%的暖冬发生在1986年以后<sup>[3]</sup>。西北地区气温也呈上升趋势, 尤其是1990年代后, 上升速率明显增大, 其中冬季升温幅度高于其他季节, 近半个世纪以来气温升高了 $2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[4]</sup>。

引起中国冬季气温异常的环流因子很多, 李勇<sup>[5]</sup>、陈少勇<sup>[6]</sup>等分析了影响我国冬季温度的气候因子发现, 在年际尺度上, 西太平洋遥相关型(WP)和西伯利亚高压对中国冬季气温有显著影响, WP的影响主要存在于中国东部从东北南部至广东沿海一带大陆边缘区, 而西伯利亚高压的影响范围则大得多, 几乎涵盖了除黄河长江上游部分地区外的整个中国; 在年代际尺度上, 北极涛动和ENSO都与东亚冬季风有关联。朱艳峰等<sup>[7]</sup>研究发现, 西伯利亚高压与我国冬季气温的第一模态关系密切, 当它偏

强时, 我国大部分地区冬季气温偏低, 反之亦然。西伯利亚高压对北京、上海和我国冬季气温方差的解释率分别达41.0%、41.0%和43.6%, 能较好地解释我国近几十年冬季气温变化的低频特征<sup>[8]</sup>。陈佩燕等<sup>[9]</sup>分析了我国东部地区冬季温度异常的时空特征和变化规律, 探讨了全球海温异常与我国东部地区冬季温度异常的关系, 发现赤道印度洋、赤道东太平洋、黑潮区是影响我国东部地区冬季温度异常的关键海区; 前期夏、秋季赤道印度洋、赤道东太平洋海温异常与我国东部地区冬季温度异常有较好的相关关系。

中国西北地区是气候变化影响的敏感和脆弱地区, 桑建人等<sup>[10]</sup>分析了宁夏气温变化趋势及环流差异特征; 贺皓等<sup>[11]</sup>分析了陕西冷和暖冬季划分及其环流特征, 发现冷冬年500 hPa东亚大槽偏强, 地面蒙古高压强盛, 陕西处于蒙古高压底部, 冷空气不断侵袭, 形成持续低温。前人的工作对于陕西冬季气温年际和年代际特点的分析不够细致, 且对冬季气温异常缺乏机制分析。为此, 利用陕西1961—2012年冬季气温资料, 分析其时空变化特征, 探讨陕西冬季气温异常形成机理, 为该地区的低温事件预测提供支持。

收稿日期: 2015-10-22; 改回日期: 2015-11-23

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项“近百年全球陆地气候变化监测技术与应用”(201206024)资助

作者简介: 王娜(1984-), 女, 甘肃陇南人, 硕士, 高级工程师, 主要从事气候预测及气候变化方面的研究. E-mail: wangna\_na@163.com

### 1 资料与方法

利用 1961—2012 年美国国家环境预报中心 (NCEP/NCAR) 2.5° × 2.5° 的高度场、风场、海平面气压和 2.0° × 2.0° 的海表温度等月平均再分析资料,以及同时段陕西冬季气温资料(12 月—次年 2 月)。采用 EOF 分析、合成分析、高斯滤波、回归分析等统计方法,分析陕西冬季气温的时空分布特征及形成机理。

所用海表温度(以下简称海温)指数定义如下: Niño1 + 2、Niño3、Niño4 指数分别为 Niño1 + 2 区(90°W—80°W, 10°S—0°)、Niño3 区(150°W—90°W, 5°S—5°N)、Niño4 区(160°E—150°W, 5°S—5°N) 区域平均海温的距平值, Niño A 指数为(130°E—150°E, 25°N—35°N) 区域平均海温的距平值;大西洋多年代际振荡指数(AMON. US)为北大西洋区域(0°—70°N)月平均海表面温度距平;黑潮区海温指数为黑潮区(35°N, 140°E—150°E; 25°N—30°N, 125°E—150°E) 区域平均海温距平;热带印度洋全区一致海温模态(IOBW)为热带印度洋(20°S—20°N, 40°E—110°E) 区域平均海温距平。前夏和前秋分别为当年 6—8 月、9—11 月。

### 2 陕西冬季气温的时空特征

对 1961—2012 年陕西冬季气温进行 EOF 分解,得到第一模态的方差贡献为 87.1%,能反映陕西冬季气温的时空分布,为全区一致正值。陕北、关中的第一载荷向量值相对陕南较大,高值区位于陕北西部及关中北部区域,载荷值在 0.93 以上,尤其是关中北部区域在 0.95 以上,表明陕南冬季气温的变率较陕北、关中小,且陕北西部及关中北部区域冬季气温变率最大(图 1a)。第一模态的标准化时间系数在 1961—2012 年波动上升,11 a 滑动平均曲线在 1980 年代后期由负值转变为正值,总体呈上升趋势(图 1b),通过  $\alpha = 0.05$  的信度检验,这与全球气候变暖的背景相符合。

### 3 陕西冬季异常高(低)温年环流特征

选择异常高(低)温年分析陕西冬季气温异常的大气环流变化特征,参考前人做法<sup>[12-13]</sup>:冬季气温 EOF 分解的第一特征向量对应的时间系数减去高斯滤波后的结果进行标准化处理,得到年际尺度的时间序列。其值 > 1 为高温年, < -1 为低温年,从而得到陕西冬季气温异常偏高年为 1978、1965、1998、2006、1986、1964、1972、2008 年共 8 a,异常偏

低年为 1967、2007、1976、1963、1999、1995、2004 年共 7 a。

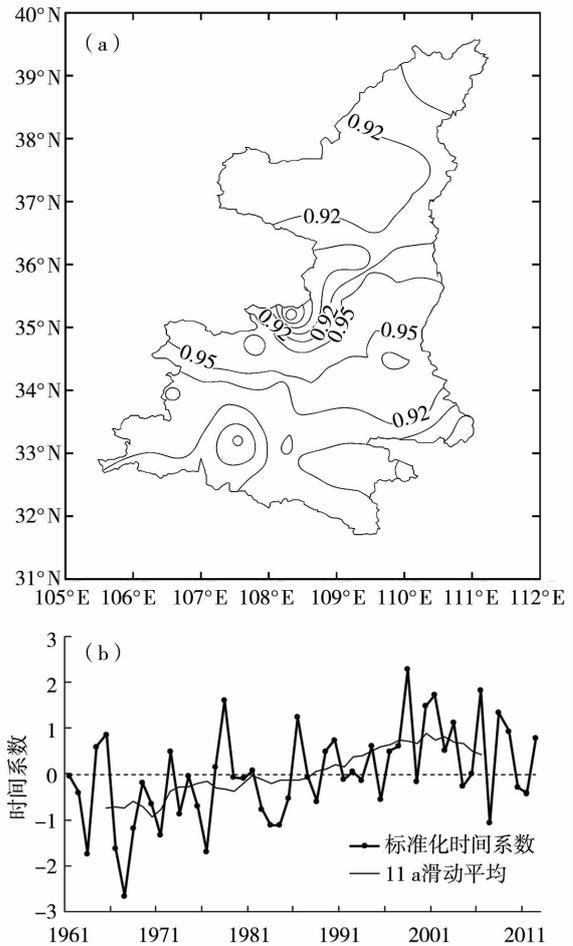


图 1 1961—2012 年陕西冬季气温的 EOF 分析第一空间模态(a)及其时间系数(b)

Fig. 1 The first spatial pattern (a) and corresponding time coefficient (b) of winter temperature by using EOF analysis in Shaanxi during 1961 - 2012

#### 3.1 大气环流异常

冬季气温偏低年,850 hPa 高度场乌拉尔山到新西伯利亚岛存在明显的正距平中心,中心值为 40 gpm,中纬度欧亚大陆至中太平洋为大范围的负距平,中心值为 -40 gpm,我国西部存在一稳定的负距平,中心值为 -20 gpm(图 2a);气温偏高年正好相反。中高层(500 hPa、200 hPa)也存在这种分布特点(图 2b、图 2c),并随着高度升高而增强,说明环流影响系统稳定深厚,这与王冀等<sup>[14]</sup>研究一致。

对陕西冬季气温 EOF 第一特征向量(以下简称为 EOF1)对应的时间序列与海平面气压场、500 hPa 位势高度场以及 500 hPa 风场的关系进行回归分析(图 3)。当陕西冬季气温一致偏低时,欧亚大陆中

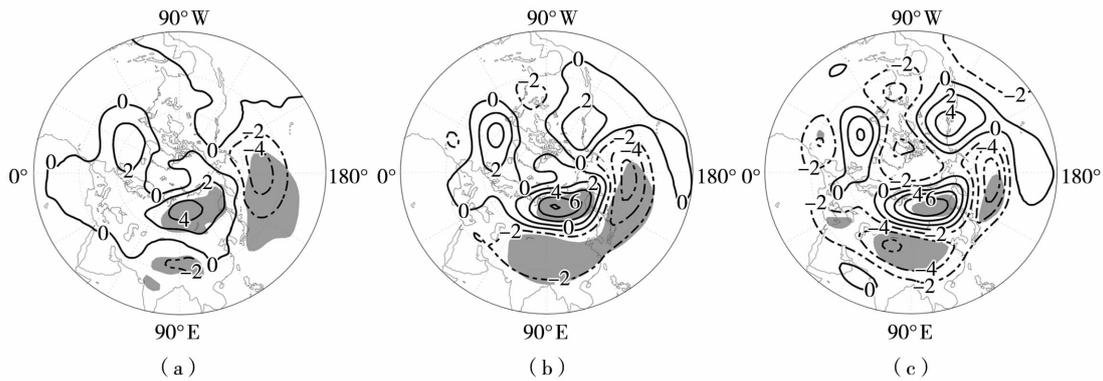


图2 1961—2012年陕西冬季气温典型偏低与偏高年的850 hPa(a)、500 hPa(b)和200 hPa(c)位势高度差值场(单位:dagpm)(阴影区通过95%的信度检验,以下相同)

Fig. 2 The differences of the composite geopotential height on 850 hPa (a), 500 hPa (b) and 200 hPa (c) between the low and high winter temperature years in Shaanxi during 1961 – 2012 (Unit:dagpm) (the shaded passing 95% confidence level, the same as below)

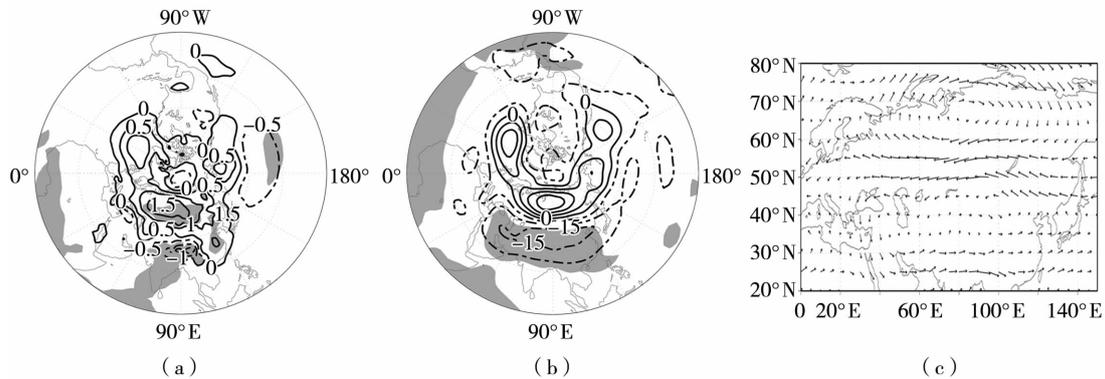


图3 1961—2012年陕西冬季气温 EOF1 对应的时间序列与海平面气压场(a)、500 hPa 位势高度场(b)及500 hPa 风场(c)的回归分析

Fig. 3 The regression of sea level pressure (a), 500 hPa geopotential height field (b), 500 hPa wind vector field (c) on EOF1 time series of winter mean temperature in Shaanxi during 1961 – 2012

纬度气压下降而高纬度上升,冷气团向中纬度地区活动(图3a)。500 hPa 高度场上北太平洋以及欧洲南部地区高度场降低,亚洲大槽、北美大槽均加强,亚洲呈“北 + 南 -”的分布特征,西伯利亚高压偏强,东亚大槽明显加强,鄂霍次克海为正距平,日本岛及以南区域为负距平,为典型的太平洋西部型(WP)负位相,陕西冬季气温 EOF1 时间系数与 WP 之间相关系数达 0.53,通过 99% 的信度检验(图 3b);500 hPa 风场上乌拉尔山以东被反气旋式环流控制,陕西及北方大部被气旋性环流控制(图 3c)。

### 3.2 影响陕西冬季气温的遥相关型

从前文的分析可知,陕西冬季气温 EOF1 模态对应的环流异常维持机制可能与遥相关有关,故而

选取北极涛动(AO)、太平洋北型型(PNA)、北大西洋涛动(NAO)、太平洋西部型(WP)、欧亚遥相关(EU)与陕西冬季气温 EOF1 的时间系数求相关。表 1 为陕西冬季气温 EOF1 时间系数与冬季和前秋遥相关指数的相关系数。发现同期冬季相关系数均明显高于秋季,但只有 WP 与陕西冬季气温 EOF1 的相关系数(0.53)通过 99% 的信度检验。当 WP 型呈“南 + 北 -”(正异常),在 50°N 附近、120°E—150°W 之间为强西风差值区,此时不利于中高纬冷空气南下,东亚冬季风偏弱<sup>[15]</sup>,有利于陕西气温偏高。可见,陕西冬季气温与同期 WP 遥相关指数有显著的正相关关系,WP 对于陕西冬季气温有预测意义。

表1 各遥相关指数与陕西冬季气温 EOF1 时间序列的相关系数

Tab.1 The correlation coefficients between the indices of tele-connection patterns and the EOF1 times series of winter temperature in Shaanxi

	北极涛动 (AO)	太平洋 北美型 (PNA)	北大西 洋涛动 (NAO)	太平洋 西部型 (WP)	欧亚 遥相关 (EU)
前秋	0.02	0.03	-0.01	0.11	-0.14
冬季	0.07	0.06	0.08	0.53*	-0.05

注: \* 表示通过 99% 的信度检验

### 3.3 EOF1 模态对应的海温特征

将陕西冬季气温 EOF1 时间序列与前夏、前秋、冬季的海温做相关分析来研究海温分布的时间发展(图4)。同期冬季,赤道中东太平洋的海温偏高,在中国东部沿海至南部沿海也出现显著的正相关,中心值 > 0.5;印度洋全区呈一致的正相关,尤其是印度洋北部至印度尼西亚群岛呈显著正相关,局部 > 0.5, 40°E—60°E 南印度洋也呈显著正相关 (> 0.4);北大西洋呈正相关,中心值 > 0.5 的区域位于其南部。且西北太平洋、赤道中东太平洋、印度洋北部和南部、北大西洋的 SST 信号在前夏、前秋均已出现。

进一步分析对陕西冬季气温影响显著的海温指数(表2),结果表明, Niño1+2、Niño3、Niño4、Niño A、AMON. US、黑潮区海温、IOBW 等指数与 EOF1 时间系数均呈正相关关系,其中,与当季的 Niño A、AMON. US、黑潮区海温、IOBW 指数相关性显著,而与前秋和前夏的 AMON. US、黑潮区海温、IOBW 指数相关性显著,且前秋的相关性较前夏更强。表明西北太平洋、黑潮区、赤道印度洋、北大西洋海温是影响陕西冬季气温异常的关键海区,且这种影响在前夏、前秋就已有表现,且随着时间的逼近,前秋关键海区海温异常对冬季气温异常的影响较前夏强。陕西冬季气温偏低时,西北太平洋海温负异常,黑潮区、热带印度洋、北大西洋海温显著偏低,进而引起东亚冬季风明显偏强。而与 ENSO 指数相关不明显,说明 ENSO 对陕西冬季气温影响不显著,这与李勇等<sup>[5]</sup>研究结论一致。

表2 陕西冬季气温 EOF1 时间系数与海温指数相关系数

Tab.2 The correlation coefficients between the EOF1 time series of winter temperature and in Shaanxi SST indexes

	Niño1+2	Niño3	Niño4	Niño A	AMON. US	黑潮区海温	IOBW
冬季	0.22	0.21	0.24	0.47*	0.34*	0.47*	0.49*
前秋	0.19	0.24	0.26	0.27	0.41*	0.32*	0.38*
前夏	0.14	0.13	0.20	0.26	0.38*	0.31*	0.29*

注: \* 表示通过 95% 信度检验

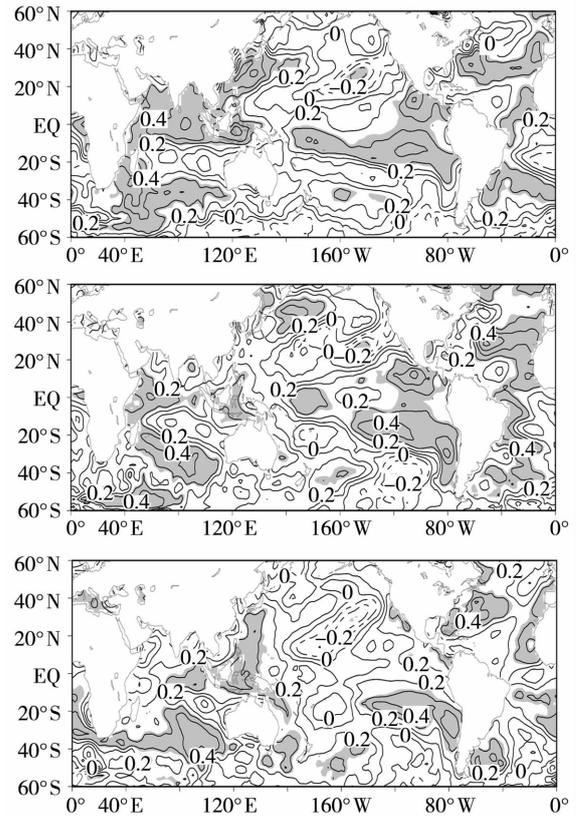


图4 1961—2012 年陕西冬季气温 EOF1 时间系数与同期冬季(上)、前秋(中)、前夏(下)海温场的相关系数分布

Fig.4 The correlation coefficients between the EOF1 time series of winter temperature in Shaanxi and sea surface temperature (SST) of winter (the top), previous autumn (the middle) and summer (the bottom) during 1961 - 2012

陕西位于中高纬度并远离热带海洋,受中高纬地区的海温影响较大, Niño A、AMON. US、黑潮区海温都为中高纬度海温指数,海温分布对中高纬大气环流的作用不可忽视。陈少勇<sup>[6,17]</sup>、王冀<sup>[14]</sup>、秦正坤<sup>[16]</sup>等研究发现,海温影响气温的可能机理是西北太平洋海温异常升高,使乌拉尔山高压脊和阿拉斯加脊减弱,东亚大槽减弱向东移动,纬向环流加强,高纬度冷空气不易南下,导致我国东部大部分地区冬季气温偏暖,反之亦然。冬季黑潮区海温对东亚

冬季风有负反馈作用,即冷水位相有利于东亚冬季风的偏强。曲金华等<sup>[18]</sup>认为北大西洋海温异常通过激发欧亚波列影响欧亚上空的大气环流,进而影响中国冬季温度。李崇银<sup>[19]</sup>、谭言科<sup>[20]</sup>等认为印度洋海温与 ENSO 变化有着一定的关系,但陕西冬季气温与 ENSO 关系不明显,这可能由于中国处于 ENSO 的上游地区,其赤道中东太平洋海温不能直接影响东亚冬季风环流,而是通过影响、改变 Walker-Hadley 环流来影响冬季风。分析发现赤道印度洋海温与陕西冬季气温有显著的相关性,但印度洋海温影响陕西冬季气温机理比较复杂,需要进一步研究。

## 4 结 论

(1)1961—2012 年陕西冬季气温主要呈全区一致的空间分布型,陕南冬季气温的变率较陕北、关中小,且陕北西部区域及关中北部区域冬季气温的变率最大。

(2)陕西冬季气温偏低时,海平面气压场出现中纬度低压和高纬度高压的形势,且冷空气从西向东传播,导致西伯利亚高压的发展,东亚大槽偏强,我国西部 500 hPa 高度场上存在稳定的负距平,陕西易受冷空气影响。冬季气温 EOF1 时间序列与同期遥相关指数的相关性高于前期秋季,其中 EOF1 与同期冬季 WP 指数显著相关,当 WP 指数处于负位相时,且东亚地区盛行经向风,有利于中高纬冷空气南下,东亚冬季风偏强,陕西易出现一致低温。

(3)陕西受中高纬地区的海温影响较大。西北太平洋海温负异常,黑潮区、热带印度洋、北大西洋海温显著偏低,有利于陕西冬季气温偏低,并且这些关键区海温的异常信号,在前期夏、秋季已经出现,对冬季气温预测有指示意义。

### 参考文献

- [1] 任国玉,徐铭志,初子莹,等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):717-727.
- [2] 康丽华,陈文,王林,等. 我国冬季气温的年际变化及其与大气环流和海温异常的关系[J]. 气候与环境研究,2009,14(1):45-53.
- [3] 王凌,张强,陈峪,等. 1956-2005 年中国暖冬和冬季温度变化[J]. 气候变化研究进展,2007,3(1):26-30.
- [4] 西北区域气候变化评估报告编写委员会. 西北区域气候变化评估报告决策者摘要及执行摘要 2012[M]. 北京:气象出版社,2013. 21-25.
- [5] 李勇,陆日宇,何金海. 影响我国冬季温度的若干气候因子[J]. 大气科学,2007,31(3):505-514.
- [6] 陈少勇,张燕霞,夏权,等. 中国东部冬季气温异常与海表温度异常的关系分析[J]. 高原气象,2009,28(5):1181-1188.
- [7] 朱艳峰,谭桂容,王永光. 中国冬季气温变化的空间模式及其与大尺度环流异常的联系[J]. 气候变化研究进展,2007,3(5):266-270.
- [8] 龚道溢,王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J]. 地理学报,1999,54(2):125-133.
- [9] 陈佩燕,倪允琪,殷永红. 近 50 年来全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究[J]. 热带气象学报,2001,17(4):371-380.
- [10] 桑建人,陈楠,杨侃,等. 宁夏气温变化趋势及环流差异特征分析[J]. 南京气象学院学报,2007,30(1):128-133.
- [11] 贺皓,罗慧,高红燕,等. 陕西冷暖冬年的标准及平均环流特征分析[J]. 高原气象,2007,26(4):759-764.
- [12] 陆日宇. 华北汛期降水量变化中年代际和年际尺度的分离[J]. 大气科学,2002,26(5):611-624.
- [13] 蔡佳熙,管兆勇. 长江流域夏季气温变化型及其成因:年际变化与遥相关[J]. 气象学报,2011,69(1):99-111.
- [14] 王冀,申红艳,张英娟,等. 青海地区冬季气温年际变化及其成因分析[J]. 地理科学,2015,35(1):99-106.
- [15] 李勇,陆日宇,何金海. 太平洋西部遥相关型与赤道中东太平洋海温的关联性和独立性[J]. 自然科学进展,2006,16(8):1051-1055.
- [16] 秦正坤,孙照渤. 冬季风异常对西北太平洋海温影响的区域性特征[J]. 大气科学,2006,30(2):257-267.
- [17] 陈少勇,夏权,白登元,等. 中国东部冬季气温异常的主模态与大气环流的关系[J]. 气象科学,2010,30(1):27-33.
- [18] 曲金华,江志红,谭桂容,等. 冬季北大西洋海温年际、年代际变化与中国气温的关系[J]. 地理科学,2006,26(5):557-563.
- [19] 李崇银,穆明权,潘静. 印度洋海温偶极子与太平洋海温异常[J]. 科学通报,2001,46(20):1747-1751.
- [20] 谭言科,张人禾,何金海,等. 热带印度洋海温的年际变化与 ENSO[J]. 大气科学,2004,28(6):831-840.

## Variation Characteristics of Winter Temperature and Mechanism Analysis in Shaanxi Province During 1961 – 2012

WANG Na<sup>1</sup>, WANG Ji<sup>2</sup>, WANG Qi<sup>1</sup>, XIAO KeLi<sup>3</sup>, YAO Jing<sup>4</sup>, FANG Jiangan<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014, China; 2. Beijing Municipal Climate Centre, Beijing 100089, China; 3. Shaanxi Meteorological Society, Xi'an 710016, China; 4. Shaanxi Meteorological Observatory, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** Based on the monthly mean temperature in winter (from December to next February) in Shaanxi Province and NCEP reanalysis data from 1961 to 2012, the annual variation of temperature in winter in Shaanxi and its mechanisms were analyzed by using EOF analysis, synthetic analysis, gaussian filtering, regression analysis, etc. The results showed the dominant spatial mode of winter temperature anomaly in Shaanxi during 1961 – 2012 was consistent in the whole area. During the cold winter in Shaanxi, there was a stable negative anomaly in western China on 500 hPa height field and a quasi – barotropic structure in vertical direction. The correlation between the West Pacific Pattern index (WP) and time coefficient of the EOF1 of winter temperature was the most significant. The sea surface temperature (SST) in middle and high latitudes might be a major forcing factor of affecting winter temperature in Shaanxi. When the sea surface temperature anomaly (SSTA) in the Northwestern Pacific was negative, and SST was significantly low in Kuroshio, tropical Indian Ocean and the North Atlantic, it was advantageous to low winter temperature in Shaanxi Province. The abnormal signals of SST in these key areas had obviously emerged in the previous summer and autumn, it had indicative significance for winter temperature prediction in Shaanxi.

**Key words:** winter temperature; sea surface temperature anomalies; teleconnection; Shaanxi Province

## 欢迎订阅 2016 年《干旱气象》

《干旱气象》由中国气象局兰州干旱气象研究所、中国气象学会干旱气象学委员会主办,是我国干旱气象领域科学研究的学术性期刊,反映有关干旱气象监测、预测和评估的最新研究成果,充分展示干旱气象领域整体的研究和应用水平。期刊主要刊载干旱气象及相关领域有一定创造性的学术论文、研究综述、简评,国内外干旱气象发展动态综合评述、学术争鸣以及相关学术活动。具体包括:国内外重大干旱事件分析、全球及干旱区气候变化、干旱气象灾害评估及对策研究、水文、生态与环境、农业与气象、可再生能源开发与利用、地理信息与遥感技术的应用等。本刊还免费刊载干旱气象研究成果、研究报告、学术活动、会议消息等。《干旱气象》已被《中国学术期刊(光盘版 CAJ-CD)》、万方数据-数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中国科技论文统计源期刊、重庆维普中文科技期刊数据库、教育阅读网、台湾华谊线上图书馆等全文收录。

《干旱气象》内容丰富、信息量大、研读性强,适合广大气象科研业务工作者、各相关专业技术人员、大专院校师生阅读。

《干旱气象》为双月刊,国内外公开发行。2016 年正刊 6 期,每期定价 36 元,全年 216 元。欢迎广大读者订阅,并可以随时邮局款汇购买,款到开正式发票。

编辑部地址:甘肃省兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部

邮政编码:730020 联系电话:0931-2402270 电子信箱:ghs\_ghqx@sina.com

银行汇款:兰州市工商银行拱星墩分理处 户 名:中国气象局兰州干旱气象研究所

帐 号:2703001509026401376

邮 汇:兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部