

申红艳,李林,李红梅,等. 2015. 青海高原春季气温异常成因及低温过程诊断分析. 气象, 41(7):872-880.

# 青海高原春季气温异常成因及低温过程诊断分析<sup>\* 1</sup>

申红艳<sup>1,2</sup> 李 林<sup>2</sup> 李红梅<sup>1,2</sup> 张调风<sup>1,2</sup> 李万志<sup>1,2</sup>

1 青海省气候中心, 西宁 810001  
2 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001

**提 要:** 文章利用 1961—2012 年青海省气温观测数据、NCEP 月平均再分析资料集、国家气候中心 74 项环流特征量, 以及美国国家海洋局和大气管理局的 52 项气候指数, 分析探讨青海高原春季气温异常特征及其影响因子。结果表明: 青海高原春季气温呈显著上升趋势, 并具有明显的年代际变化特征; 北半球冬季欧亚 (EU) 遥相关型对次年春季青海高原气温异常具有很好的指示意义, 当符合 EU 型分布时, 青海春季气温易于偏低; 春季乌拉尔山高压脊、东亚大槽、北半球副热带高压和极涡、高原高度场对春季气温具有一定的影响; 同时, 春季气温对北印度洋的索马里—阿拉伯海—孟加拉湾地区、西北太平洋及赤道中太平洋海温异常具有很好的响应, 当上述关键海区海温偏冷 (暖) 时, 易引起冷 (暖) 春。青海春季的持续低温过程是导致春季气温偏低的直接原因, 造成低温过程频发的主要影响系统为贝加尔湖以南地区的低压明显发展时, 青海高原处于槽后脊前西北气流中, 高原高度场偏低, 受频繁性冷空气影响易出现持续性低温过程, 而相反该地区高压异常强盛时, 青海高原多盛行下沉气流, 以晴好天气为主, 不利于低温过程的出现。

**关键词:** 青海高原, 气温异常, 大气环流, 海温异常

**中图分类号:** P467      **文献标志码:** A      **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 07. 009

## Causes of Temperature Anomaly and Analysis on Low Temperature Process in Qinghai Plateau in Spring

SHEN Hongyan<sup>1,2</sup> LI Lin<sup>2</sup> LI Hongmei<sup>1,2</sup> ZHANG Tiaofeng<sup>1,2</sup> LI Wanzhi<sup>1,2</sup>

1 Qinghai Climate Centre, Xining 810001  
2 Qinghai Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, Xining 810001

**Abstract:** Using the temperature observation data in Qinghai, NCEP monthly mean reanalysis data, 74 pieces of circulation characteristics materials provided by National Climate Centre of China Meteorological Administration (CMA) and 52 pieces of climate indices from U. S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) from 1961 to 2012, temperature anomaly characteristic and its impact factor in spring Qinghai Plateau were studied. The results show that the spring temperature in Qinghai Plateau presents a remarkable increasing trend, having obvious interdecadal variation features. The winter Eurasian pattern (EU) teleconnection pattern in Northern Hemisphere has very good indicative meanings to the temperature amomaly in the next spring. When it is in the EU pattern, the sping temperature is prone to be lower. The Ural pressure ridge, East Asian trough, subtropical high and polar vortex indices in Northern Hemisphere and Plateau height field, all affect the spring temperature. At the same time, the spring temperature has good response to the SST in Somalia-Arabian Sea-Bay of Bengal of North Indian Ocean, Northwest Pacific and Equatorial Pacific. When the SST is colder (warmer), spring is colder (warmer). The continuous low temperature process is the direct cause for low temperatures in Qinghai in spring. The

<sup>\*</sup> 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201106049) 资助  
2014 年 6 月 18 日收稿; 2015 年 4 月 23 日收修定稿  
第一作者: 申红艳, 主要从事短期气候预测研究. Email: ishyshen@163. com

main impact system of frequent low temperature process is the low pressure in area south to Lake Baikal. As it develops significantly, Qinghai Plateau lies in the northwest airflow in front of ridge and behind trough then the plateau height field is lower. Thus, frequent cold airs tend to cause the persistent low temperature process. Otherwise, the situation is opposite.

**Key words:** Qinghai Plateau, temperature anomaly, atmospheric circulation, sea surface temperature anomaly

## 引言

温度变化是全球气候变化中重要的基础性问题,尤其近几十年来,随着人类活动的加剧,大气中CO<sub>2</sub>等温室气体不断增加,全球气候日趋增暖,因而以全球及各区域不同程度变暖为主的气候变化特征及其成因的研究曾是大气象科学的一个热点。然而,气候变化原因复杂,不同区域有其不同特征,形成原因也不尽相同,必然引起区域上的差异(丁一汇,1994;周淑贞等,2003)。1979和1998年我国两次高原科学考察促进了对高原天气系统、陆面过程以及能量收支的认识(陶诗言等,1998;李栋梁等,2003;李菲,2010)。近些年来高原气象学取得不少新进展,对高原机械和热力强迫影响东亚气候格局以及亚洲季风进程等的机制有了更深入的认识(Duan et al,2005)。

以往有关高原的研究大多将其视为外源强迫来分析影响大气环流和东亚天气气候异常的事实和机理,而涉及高原地区区域性天气气候异常方面多侧重变化事实的研究,对其成因的探讨尚不多见。了解和掌握气候系统关键异常信号及其气候影响机理,分析气候异常的成因,对气候异常特征进行诊断分析(高辉等,2008;贾小龙等,2011;司东等,2014a;王遵娅等,2013;沈志超等,2013),有利于加深对气候异常形成机制或机理的认识,同时为气候预测提供参考(司东等,2014b)。青海高原地处青藏高原的东北隅,地形、地表特征异常复杂,由气温异常引起的极端气候事件尤为频发,对青海农牧业生产具有严重影响,因而气候诊断、预测是当地气候业务服务工作的重要组成部分。本文利用台站观测资料、NCEP再分析数据集和环流指数,分析青海高原春季气温异常特征、与大气环流的关系及对海温异常的响应,探讨青海高原春季气温异常特征、机理及低

温过程的形成机制,以期通过上述研究,对认识青海高原春季气温异常机制和预测该地区的春季低温事件提供科学、可靠的参考依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

研究所用资料包括:(1) 站点资料为青海高原上34个台站1961—2012年逐月(3—5月)气温观测资料。(2) 高度场、风场和海温场资料源于美国环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的月平均再分析资料集,高度场和风场的网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,海温场为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。(3) 环流因子数据为国家气候中心气候系统诊断预测室提供的74项环流特征量和美国国家海洋局和大气管理局(NOAA)提供的52项气候指数。

### 1.2 方法说明

气候基准值取1981—2010年,统计分析方法主要采用EOF、高斯滤波、合成分析和相关分析等。

## 2 青海高原春季气温变化特征

### 2.1 春季气温时间演变特征

图1a和1b分别给出了1961—2012年青海高原春季气温距平变化曲线及其M-K突变检验曲线,青海春季气温呈显著上升趋势,上升速率为 $0.26^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,通过了0.001显著性水平检验。同时,也体现出很明显的年代际变化特征,20世纪60年代至90年代中期,春季气温多为负距平,处于偏低的阶段,在此之后春季气温持续偏高,处于回暖时期,经M-K突变检验发现,青海省春季气温于1996

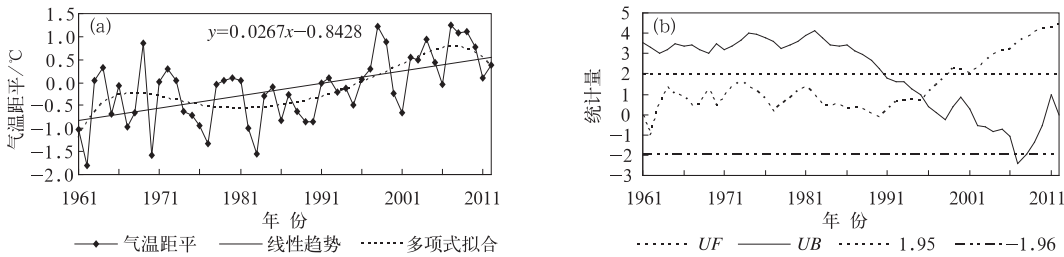


图 1 1961—2012 年青海高原春季气温距平变化(a)及其 M-K 突变检验曲线(b)

Fig.1 Temperature anomaly variation in spring (a) and M-K mutation test curve (b) from 1961 to 2012

年出现明显突变转折。

2.2 青海春季气温变化的主要模态分析

对 1961—2012 年青海省 34 站的春季气温距平场进行 EOF 展开,得到主要空间模态及各模态对应的时间变化特征,前三个模态的解释方差分别为 70.7%、10.4% 和 5.1%,经 North 检验,前三个模态均相互独立,因而前三个模态对应的空间型可以充分体现青海高原春季气温的空间变化特征。

图 2a~2c 是分解后的前三个模态的空间分布及对应的时间系数。从第一模态空间分布(图 2a)来看,荷载值均为正值,表现出全区一致性的分布特点,表明青海春季平均气温变化在空间上有很好的-一致性,体现出本地春季气温易受大尺度天气系统影响。相应的时间系数具有明显的年际变化特征,小波分析显示其具有显著的准 3 和 6 a 的周期,同时也具有明显的年代际变化特征,20 世纪 90 年代

中期以前以负位相为主,气温偏低,1996 年转为正位相,气温偏高,与上节 M-K 突变检验结果一致。

第二模态空间场体现出南北反位相振荡形势,柴达木盆地—祁连山—东部农业区一带为正值区,而南部牧区为负值区,反映出青海北部易受北方干冷空气控制,而南部受西南暖湿气流影响为主,也体现出地形及海拔高度影响下的青海春季气温的差异。对应时间系数也具有明显的年际振荡特征,变化周期为 4、9 和 19 a,相比年代际变化,年际变化更加显著,也可说明青海春季气温南北反相特征的年际间交替较为频繁。

第三模态型为东西反相型,显示出西风气流遇到青藏高原阻碍被迫分支,沿高原绕行,在高原西侧发生分支,易在青藏高原西北侧(即青海西部)形成暖平流,而东北侧(青海东部)形成冷平流,因而出现东西反相之形势。从时间序列变化来看,具有很明显的年代际变化特征,20 世纪 80 年代之前呈现一

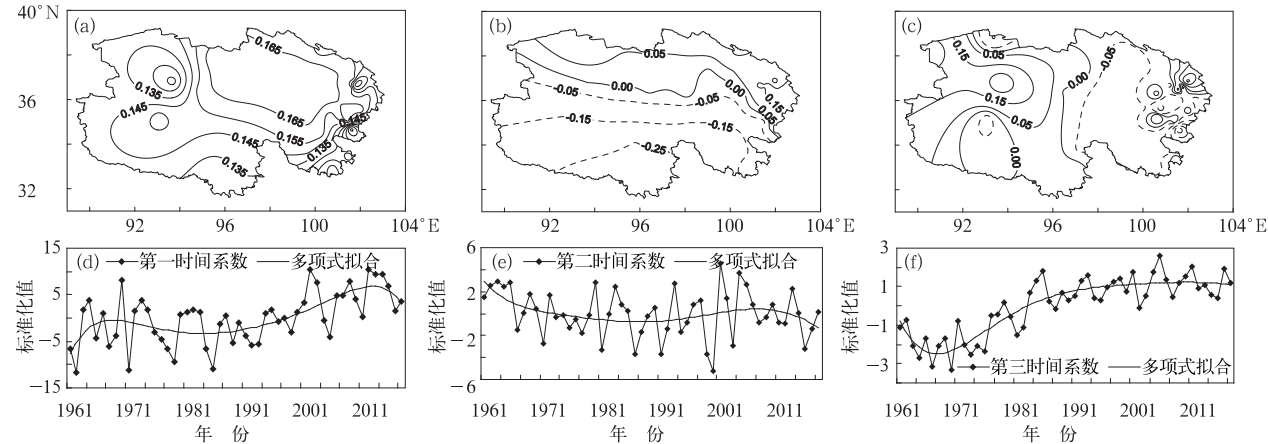


图 2 青海高原春季 EOF 分解前三模态载荷向量(a, b, c)和时间系数(d, e, f)

(a, d)第一模态,(b, e)第二模态,(c, f)第三模态

Fig.2 The first (a, d), second (b, e), third (c, f) loading vector field of temperature in spring by EOF analysis (a, b, c) and the related time series (d, e, f) in Qinghai

致的负位相特征,其后调整为正位相,并持续维持。

第一模态对应的时间系数与青海省平均气温时间序列的相关系数达 0.999,远远超过 0.001 的显著性水平检验,说明气温一致变化是全省春季气温的主要特征,这一特征占春季气温变化总方差的 70%。为进一步研究青海春季气温的年际变化特征,将第一模态所对应的时间系数减去高斯滤波的低频分量的结果并进行标准化,得到年际尺度的标准化时间序列(图略),定义大于 1.0(小于-1.0)为气温偏高(低)温,最终得到第一模态所对应的偏高(低)年为 1963、1964、1969、1972、1998、1999(1962、1967、1970、1977、1983、2001、2006)年共 6(7)年。

3 春季气温异常的环流背景场特征

3.1 前期大气环流特征

图 3 为青海冷、暖春年前期冬季(前一年 12 月至当年 2 月)500 hPa 高度距平及差值  $t$  检验图。图 3c 可以看出,前期冬季存在 3 个差值显著中心,分别位于西欧、西伯利亚—北极地区,我国东北—西北太平洋地区。冷春年前期冬季(图 3a),欧亚中高

纬地区自西向东呈现“— + —”的波列分布,自北向南为“— +”型,而整个中国大陆为负距平所覆盖,中心正好位于差值显著中心,以上分布形势非常符合北半球冬季 EU 遥相关型的特征(孙照渤等, 2010),在西欧上空为负距平中心,西伯利亚则为正距平,中国东北和日本一带为负中心。而暖春年的前期冬季(图 3b),环流形势场的配置正好与上述相反。因而前期冬季 EU 遥相关型对青海春季气温异常具有很好的指示意义。

3.2 同期大气环流特征

图 4 给出了青海冷、暖春年同期 500 hPa 高度距平场及差值  $t$  检验图。冷春年(图 4a),欧亚大陆中高纬高度场自西向东呈现“— + —”的波列型分布,为“两槽一脊”分布型,乌拉尔山附近为异常正距平中心,贝加尔湖—中国为明显的负距平区域,并向东扩展至西北太平洋区域,利于东亚大槽偏东偏深,此种分布形势一则利于乌拉尔山地区阻塞高压频发,高压脊前的偏北气流引导北方的干冷空气南下影响青海高原,另一方面利于贝加尔湖附近的气旋性环流引导蒙古等地的冷空气影响中国北方地区,两者共同作用使冷空气更强劲地影响包括青海在内

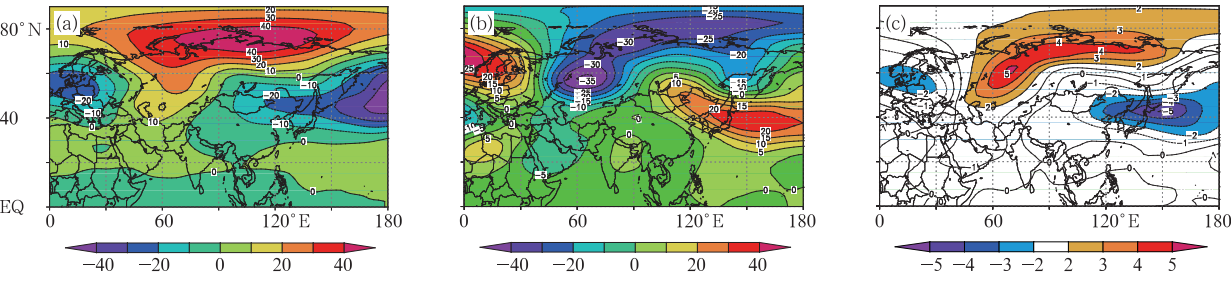


图 3 青海冷春年(a)、暖春年(b)前期冬季 500 hPa 高度距平(单位:hPa)合成及差值  $t$  检验分布图(c)  
(阴影区为通过  $\alpha=0.05$  显著性水平检验)

Fig. 3 Composition of 500 hPa height anomaly (unit: hPa) in early winter and  $t$ -test values in cold (a) and warm (b) spring years of Qinghai and their differences (c)  
(Shaded areas have passed the  $\alpha=0.05$  significance level)

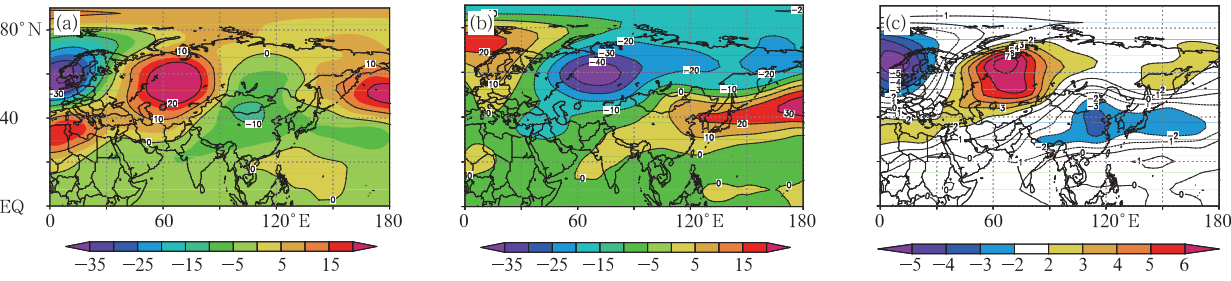


图 4 同图 3,但为同期 500 hPa

Fig. 4 The same as Fig. 3, but for the corresponding period of spring at 500 hPa



中国北方地区,造成气温偏低。

暖春年(图 4b),欧亚中高纬自西北—东南向呈现“+ - +”的分布,属于“两脊一槽”的分布型,在西欧—巴伦支海以西地区为正距平,乌拉尔山—西伯利亚地区均为大范围的负距平所控制,乌拉尔山为负异常中心,并向南扩展至南亚地区,利于形成偏西偏深的低压槽,易于引导暖湿气流北上,自北向南为“- +”分布型,极地至亚洲中高纬均为负距平,中国大部分地区为正距平,青海高原也主要受高值系统控制,冷空气难以南下,气温易于偏高。综上所述,青海春季冷、暖年 500 hPa 高度场存在明显的差异,这种差异是否存在统计学意义,从差值  $t$  检验的结果来看,两种状态确实存在显著差异,图 4c 阴影区为差异显著区,分别位于西欧、乌拉尔山、青藏高原及以东地区,表明上述区域是可能影响青海春季气温异常的主要关键系统所在地,其中乌拉尔山高压脊及东亚大槽的强弱直接影响了青海春季冷暖。

从春季气温与对流层中层 500 hPa 纬向风场的相关图(图略)可以看出,欧亚地区自北向南为“- + -”的分布格局,高纬地区为负相关区,中心位于新地岛,表明新地岛西风强度增强时,引导高纬地区的冷空气南下,进而导致青海春季气温偏低;而中纬度自我国西北—贝加尔湖地区为大范围的正相关区,体现中纬度地区盛行纬向西风气流时,青海气温偏高;对于低纬度地区,呈现负相关性,高值中心位于南海—菲律宾地区,反映当该地区东风气流强劲时,有利于引导来自海洋的暖湿气流,进而造成气温偏高。与经向风场的相关(图略)体现在欧洲地区为显著负中心,而在巴尔喀什湖—贝加尔湖为显著正相关区域,反映当西欧—新地岛经向环流增强时,青海气温易于偏低,而我国北部的中纬度地区盛行南风分量时,青海气温则易于偏高。同时以上特征在

对流层上层 200 hPa 纬向、经向风场上(图略)也有相同的特征,体现了自高层向中层的传播特征。

3.3 春季气温异常对海温异常的响应

在此分析青海春季气温异常同海温的联系,寻找海温关键区和影响时段,将青海春季气温与前期秋、冬季及同期海温分别求相关。从相关图(图 5)可看出,与秋、冬季海温相关显著区域分别位于大西洋及北印度洋海域,且均为正相关,秋季在大西洋地区更显著。与前期冬季相关最显著区域位于北印度洋,另外在我国东南沿海地区也表现出显著的正相关关系,体现为以上区域海温在春季前期呈现正位相特征时,青海春季气温易于偏暖,反之,易偏冷;与春季同期海温相关显著区域主要位于北印度洋的索马里—阿拉伯海—孟加拉湾地区、西北太平洋及赤道中太平洋,当上述海区海温偏高时,对应热带对流活动较旺盛,来自于西南及东南向的暖湿气流易于抵达青海,引起春季气温偏高。分析逐月相关结果显示,前期秋、冬季至同期春季,在北印度洋、赤道中太平洋和北大西洋均持续维持正相关关系,而且在北印度洋海区比较显著,表明北印度洋海温的变化与青海春季气温异常有更为密切的联系。已有的研究(丁一汇,1991;季飞等,2011)指出,印度洋海温异常冷暖,通过影响沃克环流的强弱,来影响西南季风的强弱,闫晓勇等(2004)也提出当索马里海域海温偏高(偏低),西南季风偏强(偏弱),均与本文分析结论相一致。晏红明等(2000;2003)通过印度洋海温异常对亚洲季风区天气气候影响的数值试验也表明印度洋感热加热,并激发出深对流潜热加热,从而以罗斯贝波的形式,不断向偏北方向传播,并以特定的环流形势影响高原地区。

因前期海温对气温预测具有很好的指示意义,

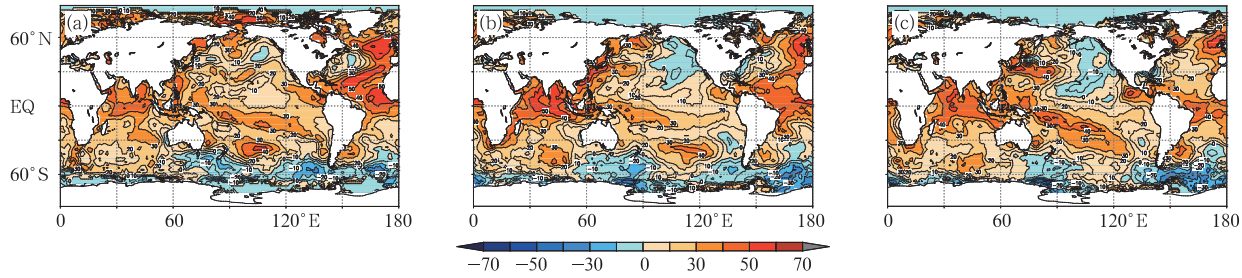


图 5 青海春季气温与前期秋季(a)、冬季(b)和同期(c)海温的相关分布图(单位:  $10^{-2}$ )  
Fig. 5 Correlation between temperature in spring and the sea surface temperature in early autumn (a), winter (b), and the corresponding period of spring (c) in Qinghai (unit:  $10^{-2}$ )

选取海温影响时段和关键区,进一步分析海温与春季气温的联系。选择相关性较好的前一年 10 月、12 月及当年 1 月为影响时段,关键区分别为我国东南沿海( $16^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$ ),印度洋( $12^{\circ}\text{S}\sim 24^{\circ}\text{N}$ 、 $45^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ ),大西洋( $14^{\circ}\text{S}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $10^{\circ}\sim 80^{\circ}\text{W}$ ),计算 10 月大西洋区域平均海温距平为大西洋海温指数(SST\_A),12 月太平洋区域平均海温距平为太平洋海温指数(SST\_P),1 月印度洋区域平均海温距平为印度洋海温指数(SST\_I),图 6 为青海春季气温与各海温指数的时间序列演变曲线图,春季气温与大西洋海温指数、太平洋海温指数和印度洋海温指数的相关系数分别为 0.541、0.556 和 0.561,均通过了 0.01 的显著性水平检验,SST\_P 与

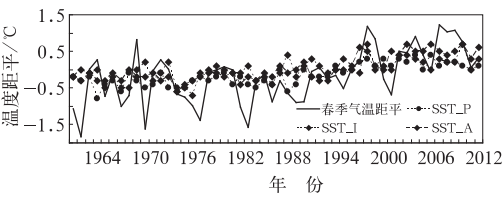


图 6 青海春季气温距平与 SST\_A, SST\_P, SST\_I 的逐年演变曲线  
Fig. 6 Departure variation of spring temperature anomaly and yearly evolution of SST\_A, SST\_P and SST\_I

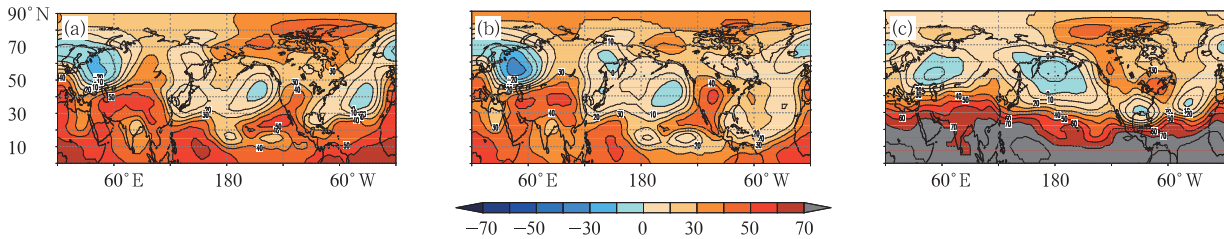


图 7 10 月 SST\_A (a)、12 月 SST\_P (b)、1 月 SST\_I (c) 与春季 500 hPa 高度场的相关分布图(单位:  $10^{-2}$ )  
Fig. 7 Correlation between SST\_A in October (a), SST\_P in December (b), SST\_I in January (c) and 500 hPa height in spring (unit:  $10^{-2}$ )

春季高度场与 1 月 SST\_I 指数的相关分布表明,在中低纬地区为显著的正相关,高相关区域达 0.7 以上,当印度洋关键海区海温异常偏暖时,有利于该海区大气辐合上升,激发出附近地区 500 hPa 正的差值环流,使得伊朗高压偏强,高原高度场偏高,由于海陆温差加大,导致高纬地区高度场偏低,不利于冷空气南下,从而形成暖春。李建等(2007)研究指出,大气环流对  $30^{\circ}\text{N}$  以南海温的响应主要在低纬洋面,而在中高纬的陆地很弱,本文关注的大西洋和太平洋海温关键区因偏北,因而对应 500 hPa

春季气温距平符号一致率 29/52, SST\_I 与春季气温距平符号一致率为 37/52, SST\_A 与春季气温距平符号一致率为 33/52,表明前期各海区海温均对青海春季气温具有很高的指示意义,尤其当三个海区同时偏暖(冷)或者平均距平  $>0.5$  ( $<0.5$ ) 时,青海春季气温易于偏暖(冷),印度洋海温异常与青海春季气温异常的相关性更好一些,表明前期印度洋海温对青海春季气温具有较明确的指示意义。

海温主要通过对大气环流的外源强迫作用造成环流异常,从而影响天气气候,在此分别用 SST\_A, SST\_P, SST\_I 与春季 500 hPa 高度场求相关,由图 7 可以看出,前期 10 月 SST\_A 与次年春季 500 hPa 高度场的相关分布在乌拉尔山地区为负相关区,贝加尔湖以南为正相关区,高相关区域位于  $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $60^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ,在青藏高原地区尤其显著,相关系数高于 0.5,说明前期 10 月大西洋海温关键区偏暖,对应春季乌拉尔山高压偏弱、东亚槽偏弱、高原高度场偏高,容易引起青海春季气温偏暖。前期 12 月 SST\_P 与春季高度场的相关同 SST\_A 的较一致,体现当太平洋海温偏暖时,西太平洋副热带高压(以下简称副高)偏强、偏西,高原高度场偏高,气温偏暖。

高度场显著相关区域有所北扩。综合以上分析,反映了海温的外源强迫确实可以通过高层类似波列的高度异常而传播到下游地区,对下游地区气候产生一系列影响。

综合以上分析,青海春季气温异常对同期北印度洋的阿拉伯海和孟加拉湾地区、西北太平洋及赤道中太平洋海温具有很好的响应,反映当北印度洋、西北太平洋及赤道太平洋海温偏高时,对应热带对流活动较旺盛,来自于西南及东南向的暖湿气流易于抵达青海,引起春季气温偏高。前期大西洋(10

月)、太平洋(12月)和印度洋(1月)海温与青海春季气温相关性较好,尤其当三个海区同时偏暖(冷)或者平均距平 $>0.5$ ( $<0.5$ )时,青海春季气温偏暖(冷)更加明显,印度洋海温异常与青海春季气温异常的相关性最高,表明前期印度洋海温对青海春季气温具有较明确的预测指示意义。因此,海温异常的热力强迫作用,通过环流场激发出指向高原的异常波列,来影响到高原温度的变化。

3.4 青海春季气温与海气特征因子的关系分析

以下进一步分析春季气温与环流特征因子及海温指数的相关关系,以期能更深入认识影响青海春季气温异常的机理。表1给出与青海春季气温相关性较高且具有物理意义的气候因子,可以看出,反映副高和海温的因子占多数,其次是表示极涡的因子,

这是因为海温是引起全球大气环流异常的主要外源强迫,而副高和极涡是影响我国天气气候变化的两个主要的大气环流实体,并且它们对气候的影响是相互作用、相互配合,并非孤立的。海温的变化会直接引起副高系统的异常,尤其太平洋暖池区是全球空气对流最强烈的地区,且活动持久,是气候异常的源地之一,太平洋暖池的变化制约着亚洲、太平洋区域,甚至全球气候和重大自然灾害的形成与变化(龚志强等,2013)。副高很大程度上反映了中低纬大气环流的变化,极涡主要体现的是中高纬的环流特征。结合表1的统计结果,极涡指数与青海春季气温为负相关,而其余各类指数均为明显的正相关关系。综合以上研究结果,初步建立了青海春季气温异常的诊断模型(图8),当欧洲区、北美区甚至北半球极涡异常南扩偏强,加之太平洋暖池区和印度洋海温

表 1 青海春季气温与环流特征因子的相关系数对照表

Table 1 List of correlation coefficients between temperature in spring and circulation characteristic factors

气候指数 相关系数	北半球极涡面积指数 -0.275		大西洋欧洲区极涡强度指数 -0.360			北美区极涡面积指数 -0.364	
气候指数	北非副高 面积指数 (20°E~60°W)	北非大西洋 北美副高 面积指数	北美副高 面积数	北半球副高 强度指数	北非副高 强度指数	北非大西洋北美 副高强度指数	北美副高 强度指数
相关系数	0.453	0.404	0.369	0.344	0.457	0.415	0.365
气候指数	青藏高原 A 指数	东大西洋型 指数(EA)	NI nO W 指数	NI nO A 指数	NI nO B 指数	西半球暖池 指数(WHP)	热带印度洋 全区一致海温 模态(IOBW)
相关系数	0.597	0.413	0.295	0.331	0.426	0.320	0.411

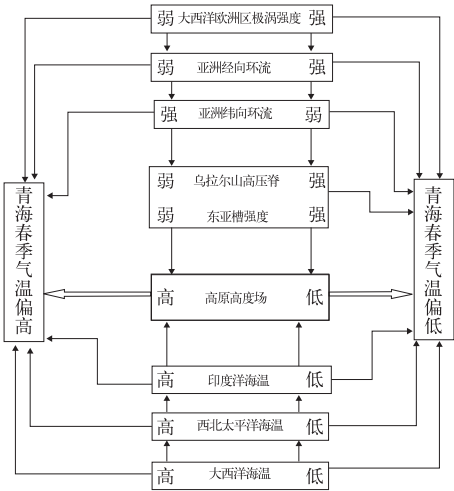


图 8 春季气温异常诊断模型

Fig. 8 Diagnostic model of temperature anomalies in spring

偏低,极涡和海洋的共同作用会使北非、大西洋、北美乃至北半球副高显著收缩并减弱,影响高原上空

的高度场偏低;同时若影响关键区海温异常偏冷时,对应热带对流活动受到抑制,同样可使高原高度场偏低,进而造成青海高原春季气温偏低,反之亦然。

4 春季低温过程的诊断分析

4.1 青海春季持续低温过程变化特征

青海春季的持续低温过程是导致春季气温异常的直接原因,所以了解持续低温过程的演变特征是很有必要的,在此定义至少连续3d的日最低气温小于气候平均值的第十个百分位值的过程为一次持续性低温过程。

青海省持续低温过程变化总体呈线性下降趋势,线性趋势为 $-0.47$ 次 $\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ,并显著通过0.001的显著性检验(图9a),低温过程较多的年份为1961、1962、1970和1983年。从年代际变化



(图 9b)来看,表现出逐年代减少的趋势,20 世纪 60 年代为低温过程最为频发的阶段,全省平均 27.2 次,进入 90 年代,低温过程大幅减少,这与春季气温

突变时期非常一致,可见,春季持续性低温过程的多寡可直接决定气温异常特征。

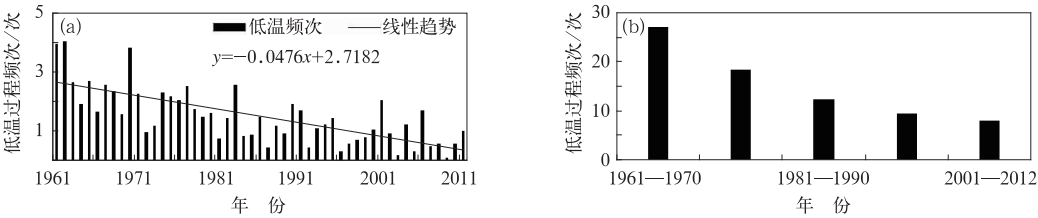


图 9 青海高原春季持续低温过程频次年际(a)及年代际(b)变化曲线

Fig. 9 Annual (a) and decadal (b) variation curves of persistent low temperature process over Qinghai Plateau in spring

从各年代持续低温过程的区域分布(图略)情况可以看出,20 世纪 60 年代低温过程高发地区主要出现在柴达木盆地,平均每年单站可出现 3~6 次过程,70 年代相比 60 年代明显减少,但高值地区依然包括柴达木盆地,同时青海的东部农业区也较为频发,每年平均 2~3 次,进入 80 年代后地区间差异不明显,尤其是近 20 年期间,平均单站不足 1 次,体现出由于气候转暖,青海大部分地区极少出现持续性低温过程。

4.2 影响持续性低温过程的环流形势分析

从春季低温过程频次与同期 500 hPa 高度场的相关图(图 10)中可以看到在贝加尔湖以南的大片地区为显著的负相关区,高相关中心位于中国大陆,数值可达 0.5 以上,通过 0.001 的显著性水平检验。表明当上述地区低压明显发展时,来自贝加尔湖的冷空气会频繁影响青海高原地区,造成低温过程频发,其中 1962 年为特别典型的年份,极涡出现在欧亚上空,欧亚中高纬呈现两槽一脊分布型,乌拉尔山地区为明显高压脊控制,中西伯利亚—贝加尔湖至以南地区为明显的负距平区域,青海高原处于脊前西北气流中,高原高度场偏低,受频繁性冷空气影响易于出现持续性低温过程,青海省 38 站共出现 151 次低温过程;相反贝加尔湖及以南地区高压异常强盛时,青海高原多盛行下沉气流,以晴好天气为主,不利于出现低温过程的出现,以 2009 年为代表性年份,形势场分布(图略)基本与 1962 年相反,欧洲东部至亚洲西部为一宽广的低槽区,贝加尔湖—中国大陆被高压脊控制,高原高度场偏高,加之东亚冬季风偏弱、夏季风偏强,西太平洋暖池区热带对流活动

偏强(艾婉秀等,2010),青海高原整个春季仅出现三次区域性低温过程。

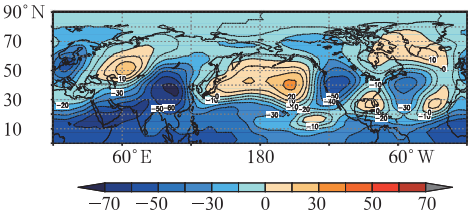


图 10 青海高原春季低温过程频次与 500 hPa 高度场的相关分布图(单位:10<sup>-2</sup>)

Fig. 10 Correlation between frequency of low temperature process in Qinghai Plateau and the 500 hPa height in spring (unit: 10<sup>-2</sup>)

低温过程与对流层中层风场的关系(图略)中可以发现,在中国大陆的西北部地区即上游地区盛行偏东(西)风,而中国大陆为偏西(东)风控制,反映了欧亚为经(纬)向型环流控制,青海高原低温过程偏多(少);同时当中亚以西地区受偏北(南)风控制,而以南地区为偏南(北)风,青海高原低温过程亦偏多(少)。与海温的相关关系(图略)体现出当印度洋及赤道太平洋地区海温为冷(暖)水位相、北大西洋海温自北向南呈现出“— + —”的三极子型异常分布时,青海春季低温过程偏多(少),反映了海温异常通过对大气环流的反馈作用进而影响到局地气温异常。

5 结 论

北半球冬季 EU 遥相关型对次年春季青海高原



气温异常具有很好的指示意义,当符合 EU 型分布时,青海春季气温易于偏低;在冷春年同期,欧亚大陆中高纬高度场为“两槽一脊”的分布型,乌拉尔山附近为异常的正距平中心,贝加尔湖—中国为明显的负距平区域,并且负距平向东扩展至西北太平洋地区,有利于东亚大槽偏东偏深,一方面有利于乌拉尔山地区阻塞高压频发,高压脊前的偏北气流引导北方的干冷空气南下影响青海地区,另一方面利于贝加尔湖附近的气旋性环流引导蒙古等地的冷空气影响中国北方地区,因而使得冷空气更为强烈地影响包括青海在内的中国北方地区,造成青海高原春季气温偏低。青海春季气温异常对北印度洋的索马里—阿拉伯海—孟加拉湾地区、西北太平洋及赤道中太平洋海温异常具有很好的响应,反映当上述海区海温偏暖时,对应热带对流活动较旺盛,来自于西南及东南向的暖湿气流易于抵达青海,引起春季气温偏高;反之则气温偏低。当欧洲区、北美区甚至北半球极涡异常南扩偏强,加之太平洋暖池区和印度洋海温偏低,极涡和海洋的共同作用会使北非、大西洋、北美乃至北半球副高显著收缩并减弱,影响到高原上空的高度场偏低,进而造成青海高原气温偏低。

青海春季的持续低温过程是导致春季气温异常的直接原因,而造成低温过程频发的主要原因是贝加尔湖以南地区的低压明显发展时,青海高原处于脊前西北气流中,高原高度场偏低,受频繁性冷空气影响易于出现持续性低温过程,而相反该地区高压异常强盛时,青海高原多盛行下沉气流,以晴好天气为主,不利于出现低温过程的出现。

参考文献

艾婉秀,孙林海,宋文玲. 2010. 2009 年海洋和大气环流异常对中国气候的影响. 气象,36(4):101-105.

丁一汇. 1991. 东亚寒潮冷空气的传播和行星尺度作用. 应用气象学报,2(2):124-132.

高辉,王永光. 2008. 2007 年海温和大气环流异常对我国气候的影响. 气象,34(4):107-112.

龚志强,王晓娟,封国林,等. 2013. 欧亚阻高区域高度场异常配置对中国冬季区域性极端低温事件的影响. 大气科学,37(5):311-324.

季飞,支蓉,龚志强,等. 2011. 全球环流系统关联性的时空演化特征研究. 气象学报,69(6):1038-1045.

贾小龙,陈丽娟,龚振淞,等. 2011. 2010 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象,37(4):446-453.

李栋梁,魏丽,蔡英,等. 2003. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望. 冰川冻土,25(2):135-142.

李菲,李辑,管兆勇,等. 2010. 我国东北夏季气温年代际变化特征及与太平洋海温异常关系的研究. 气象与环境学报,26(3):19-24.

李建,周天军,字如聪. 2007. 利用大气环流模式模拟北大西洋海温异常强迫响应. 大气科学,31(4):561-570.

孙照渤,陈海山,谭桂容,等. 2010. 短期气候预测基础. 北京:气象出版社,69-71.

沈志超,任国玉,李娇,等. 2013. 中国东北地区冬季气温变化特征及其与大气环流异常的关系. 气象与环境学报,29(1):47-54.

司东,李清泉,柳艳菊,等. 2014a. 2013/2014 年东亚冬季风异常偏弱的可能成因. 气象,40(7):891-897.

司东,袁媛,崔童,等. 2014b. 2013 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象,40(4):494-501.

陶诗言,陈联寿,徐祥德,等. 1998. 第二次青藏高原大气科学试验研究进展(二). 北京:气象出版社,396.

王遵娅,周兵,王艳姣,等. 2013. 2013 年春季我国气候异常特征及其可能原因. 气象,39(10):1374-1378.

晏红明,肖子牛. 2000. 印度洋海温异常对亚洲季风区天气影响的数值模拟研究. 热带气象学报,12(1):18-27.

晏红明,肖子牛,王灵. 2003. 孟加拉湾季风活动与云南 5 月降雨量. 高原气象,22(6):624-630.

闫晓勇,张铭. 2004. 印度洋偶极子对东亚季风区天气气候的影响. 气候与环境研究,9(3):435-444.

周淑贞,张如一,张超,等. 2003. 气象学与气候学. 北京:高等教育出版社,184.

Duan Anmin,Wu Guoxiong. 2005. Role of the Tibetan Plateau thermal forcing in the summer climate patterns over subtropical Asia. Climate Dynamics,24(3):793-807.