

沈志超,任国玉,李娇,等.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[J].气象与环境学报,2013,29(1):47-54.

SHEN Zhi-chao,REN Guo-yu,LI Jiao,et al. Winter temperature variability and its relationship with atmospheric circulation anomalies in Northeast China[J]. Journal of Meteorology and Environment,2013,29(1):47-54.

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

沈志超^{1,2} 任国玉² 李娇^{1,3} 孙秀宝^{1,2}

(1. 南京信息工程大学大气科学学院,江苏 南京 210044; 2. 中国气象局气候研究开放实验室,国家气候中心,北京 100081; 3. 铁岭市气象局,辽宁 铁岭 112000)

摘要:利用1957—2010年冬季中国东北地区90个站气温资料,应用REOF和聚类分析方法将东北地区划分为南、北两个冬季气温变化子区,分析讨论其冬季气温变化趋势和冷暖异常特征,及其与主要环流指数之间的同期和滞后关系。使用向后去除变量选择法,选取最优预测因子,并建立了全区和各子区的回归统计模型。结果表明:中国东北地区冬季增温较明显,平均上升速率为 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,北部略高;与同期欧亚纬向环流指数之间存在着较显著相关;前期8月东太平洋副热带高压面积指数、前期10月亚洲区极涡面积指数和前期8月北半球极涡面积指数与中国东北地区冬季气温存在着显著相关,复相关系数为0.70,并且是回归方程最关键预测因子。在对冷、暖冬预测时,可以将选定时段和区域副热带高压和极涡面积指数作为重要的影响因素,且误报率较低。

关键词:东北地区;冬季气温;旋转主分量分析;环流指数;相关;预测

中图分类号:P468.0⁺21/P434 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-503X.2013.01.008

引言

中国东北地区位于北半球中高纬度地带,是全球陆地气候增暖最明显的区域之一,冬季地面气温升高速率明显高出中国平均值和全球平均值。王绍武^[1-2]指出,在近百年全球气候变暖的背景下,中国东北地区冬季升温趋势十分明显。任国玉等^[3]研究表明,中国现今增暖最明显的地区包括东北、华北、西北和青藏高原北部,最显著变暖季节在冬季。李春和方之芳^[4]指出,东北地区气温最大升温超过了 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。平均升高 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 以上。

在冬季总体气候变暖的背景下,影响东北地区的寒潮频数也显著下降,暖冬年份明显增多^[5]。但是,最近几年,冬季极端严寒事件又时有发生^[6]。影响东北冬季平均和极端气温变化的因素很复杂,除了台站附近观测环境变化引起的资料序列偏差和大气中温室气体浓度增加的可能影响外,气候系统内部的年际到年代以上尺度变异性显然也是不可忽视的。丁一汇等^[7]指出,对气候系统内部的过程与机理缺乏足够的认识,气候模式的可靠性还不高等。研究冬季温度变化有助于理解气候增暖本质,对于理解东北地区冬季气温的可预测性具有重要意义。

这方面的研究已有不少。孙凤华等^[8]指出,气候变暖增加了冬季气候变率,即增加气候异常事件的发生概率和强度,不仅引发暖冬事件,如在2004—2005年东北的冬季气温达到了偏冷标准,且没有得到准确的预报,因此,如何找出其影响因子和强信号来更好地预测也就显得更为重要。陈佩燕等^[9]指出,影响中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中国东部地区冬季温度异常有较好的相关关系,对预测中国东部地区冬季温度异常有一定的前兆意义^[10]。杨素英等^[11]指出,在对流层中层,亚洲极涡(特别是极涡面积)、贝加尔湖高压脊和东亚大槽是影响中国东北冬季气温异常的关键同期因子。已有研究一般集中在对海温^[12]、雪盖^[13]、海冰^[14-15]、高原热力异常^[16]、西伯利亚高压^[17]、北大西洋涛动(NAO)^[18]、北极涛动(AO)^[19]和极涡^[20-21]等因子的探讨。

本文利用近53 a东北地区90站冬季气温资料,在划分为南、北两个冬季气温变化子区的基础上,分析讨论东北地区冬季气温变化趋势和冷暖异常的时空特征,进一步研究这种时空变化与主要环流指数之

收稿日期:2011-10-14;修订日期:2011-12-11。

基金项目:国家科技支撑项目(2007BAC29B02,2007BAC03A01)资助。

作者简介:沈志超,男,1985年生,在读硕士研究生,主要从事短期气候预测及气候变化的研究,E-mail:szcsds@163.com。

间的同期和滞后关系,以及各环流因子对不同子区的作用情况,寻找最关键的预测因子和强信号,并探讨对东北冬季气温的可预报性。

1 资料与方法

1.1 资料来源

所用国家气象信息中心气象资料室整编的中国756个基本基准站地面月气温数据集资料。资料经过均一化处理。为使资料序列长度尽可能一致,选取1957年及以前建站的站点,排除了1957年以后建站的测站资料序列。观测资料序列长度为1957—2010年。其中黑龙江省泰来站只缺少1957年12月记录,用附近3个站当月资料对该站该月缺测值进行插补。全部入选台站数为90个(图1)。这些台站

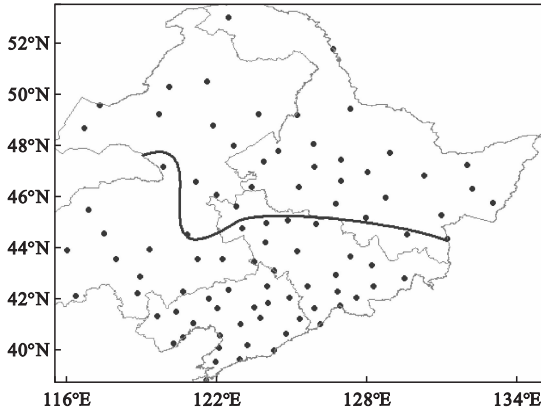


图1 中国东北90个气象站的位置与分区界限

Fig.1 The selected 90 weather stations in the northeast China in this paper and the boundary line of two subregions of the study area

空间分布基本均匀,可以满足东北地区冬季长期气候变化分析的需要。

定义冬季为当年12月和翌年1—2月。冬季年份用12月所在的年份表示,如1957年12月和1958年1—2月则记为1957年冬季,因此分析时期为1957—2009年共53个冬季。74项环流指数来源于国家气候中心气候系统诊断室。

1.2 分析方法

采用旋转经验正交分解(EOF)方法识别冬季平均气温变异的时空差异性^[22]。EOF分析方法是在分析气象要素的时空分布时,将资料序列分解成空间和时间两部分,且分解具有正交性。分解结果得到多个荷载分布场及相应的时间变化系数,主要空间模式反映气象要素的主要空间特征。EOF则是通过因子轴的转动,能够分解出要素场中不同地理区域变化的特征。

为了准确合理地分区,采用聚类分析方法,对已分的各区边界加以鉴定。Pearson相关系数聚类分析方法用来

衡量两个数据集合是否在一条线上。其计算公式:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sqrt{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N})}} \quad (1)$$

环流因子初选。用前一年1月至前一年11月的74项环流指数,计算了持续时间分别为1个月、2个月、3个月30种月季组合,共得到备选环流指数因子数2220(74×30)个。求其与东北各区冬季平均气温距平序列之间的相关,选取超过0.001显著性水平的相关因子。

向后去除变量选择方法。在回归分析中一种变量的选择过程中,将所有变量输入到方程中,然后按顺序移去。考虑将与因变量之间的部分相关性最小的变量第一个移去(部分相关:对于因变量与某个自变量,当已移去模型中的其他自变量对该自变量的线性效应之后,因变量与该自变量之间的相关性。当变量添加到方程时,它与R方的更改有关。可称为半部分相关)。如果它满足消除条件,则将其移去。移去第一个变量之后,考虑下一个将方程的剩余变量中具有最小的部分相关性的变量移去。直到方程中没有满足消除条件的变量,过程结束。这与逐步回归建立的回归方程不同^[24]。

网格面积加权法。在建立各区域平均时间序列时,采用Jones等^[23]提出的计算区域平均气候时间序列的方法。首先将东北整个区域按经纬度划分网格,网格尺寸为2°×2°,共40个网格。然后将每个网格中所有站点数据进行算术平均,得到各网格平均值。最后应用面积加权法计算所有网格点的平均值,获得各区冬季平均温度时间序列。计算全部网格面积加权平均值的公式:

$$Y_k = \frac{\sum_{i=1}^m (\cos\theta_i) \times Y_{ik}}{\sum_{i=1}^m (\cos\theta_i)} \quad (2)$$

式(2)中, Y_k 为第k年全国平均值, $i=1,2,\dots,m$, (m 为网格数), Y_{ik} 为第*i*个网格中第k年的平均值, θ_i 为第*i*个网格中心的纬度。

本文采用逐步回归、线性拟合等统计分析方法。其中多元回归方程采用F检验, $F_{0.01}(3,40)=4.31$ 。相关系数的显著性检验采用t检验^[22]。本文中 $N=53$,则 $r_{0.001}=0.44$, $r_{0.01}=0.35$, $r_{0.05}=0.27$ 。

1.3 区域划分结果

由于地理环境的差异,东北不同地区冬季气温变化有一定的差异。对东北冬季气温距平场进行EOF分解计算,可以较好地揭示出差异性。由表1

可知,前两个特征向量的方差贡献分别为46%和

表 1 中国东北冬季气温距平场 REOF 分解前 3 个特征向量的方差贡献和累计方差贡献

Table 1 Variance contribution and accumulated variance contribution of the first three eigenvectors of REOF components for winter temperature anomalies over the northeast China

旋转后特征向量序号	1	2	3
旋转后方差贡献	0.462	0.370	0.039
累计方差贡献	0.462	0.832	0.872

37%,前 3 个特征向量的累计方差贡献达到 87%。

图 2a 至图 2c 给出东北冬季气温距平 REOF 分解的前 3 个特征向量载荷的空间分布。第 1 特征向量均为正值,且由北向南逐渐增大,以辽宁省营口为大值中心,为 0.93。第 2 特征向量均为负值,但负值绝对值由北向南减小,黑龙江省黑河、齐齐哈尔一带为低值中心,为 -0.89。第 3 特征向量体现出东西部地区的差异变化,高值中心出现在大兴安岭以西,向东逐步减小。

前 2 个特征量中心特征值的绝对值均在 0.8 以

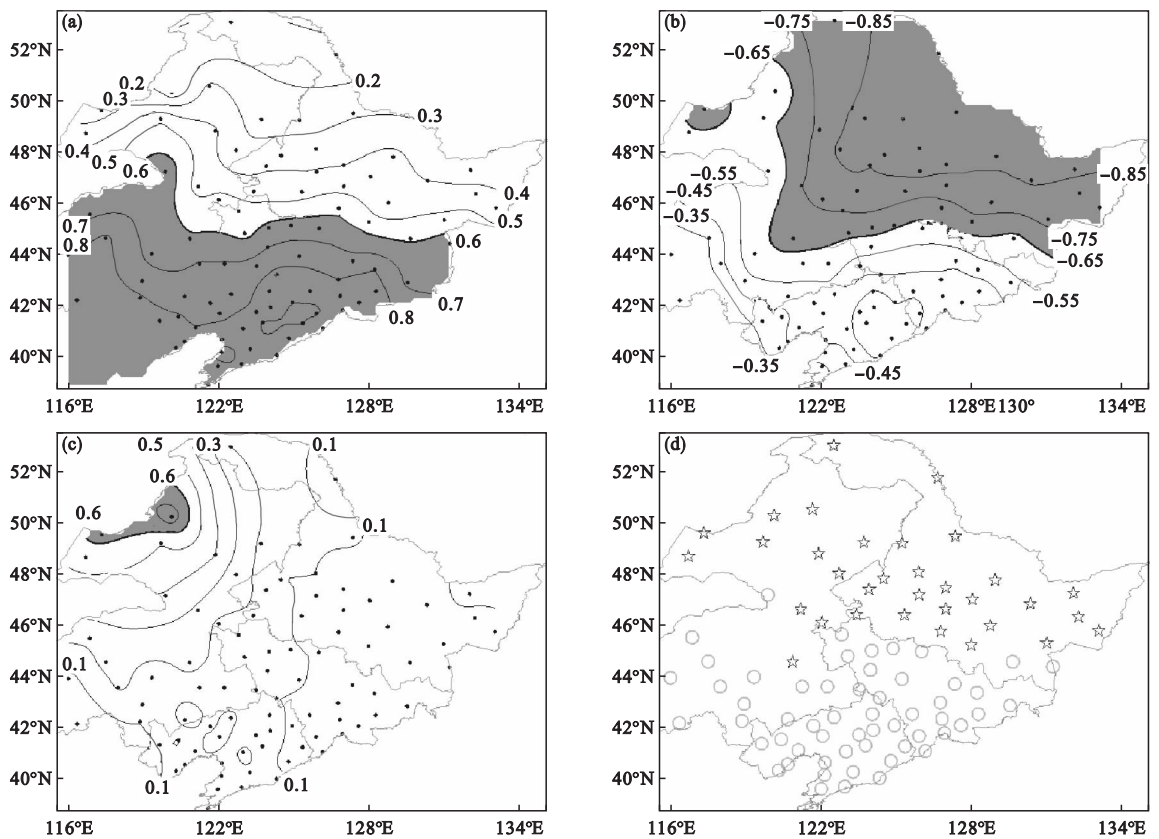


图 2 中国东北冬季气温距平 REOF 的第 1(a)、第 2(b)、第 3(c) 特征量分布和聚类分析(d)

Fig. 2 The distributions of the first (a), second (b) and third (c) eigenvectors of REOF components for winter temperature anomalies in northeast China and its cluster analysis (d)

上,构成以中国辽宁、黑龙江省为中心的 2 个主要的局地变化区域。第 3 个特征量的中心出现在蒙古国境内,中国境内只有两个站的特征值超过 0.6,其方差贡献很小,不作为单独分区依据。

根据以上分析结果,将东北地区划分出以辽宁西南和黑龙江北部为中心的两个局地变化区域(图 2 阴影区),第 1 特征向量 0.6 的载荷线与第 2 特征向量 0.65 的载荷线比较接近,为此使用聚类分析方法,发现使用第 1 特征向量 0.6 的载荷线分区更接近聚类分析。最终确定如图 1 所示的东北南区 and 北区 2 个子区。北区共有 35 个站,南区有 55 个站。

2 结果分析

2.1 冬季气温主要特征及异常年的划分

采用网格面积加权法得到各区域时间序列,用 5 点滑动平均和一元线性趋势分析全区以及各分区温度变化趋势(图 3)。从图 3 可以看出,1957—2009 年东北冬季气温上升趋势非常明显,全区升温趋势为 0.45 °C/10 a,北区为 0.47 °C/10 a,南区为 0.44 °C/10 a;与文献[25]中国 1951—2001 年冬季温度上升趋势,增温速率高为 0.36 °C/10 a 比较吻合。近 53 a 东北冬季平均气温上升了约 2.43 °C。增温主要是自 1980 年代开始。1980 年代以前,气温

在较小的范围内上下波动,而从20世纪80年代初

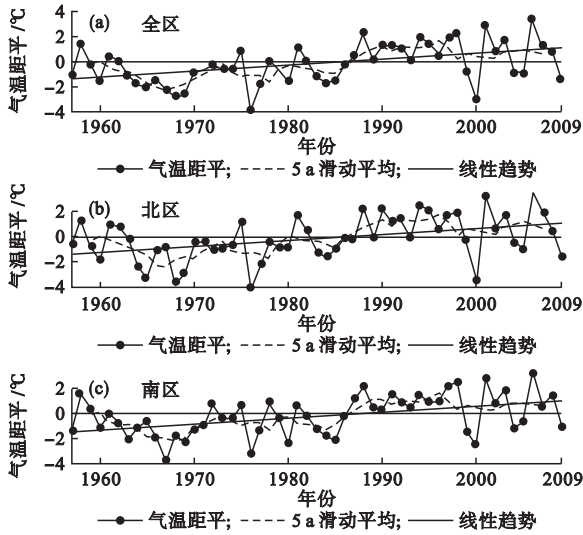


图3 1957—2009年全区(a)和北区(b)及南区(c)气温距平变化趋势

Fig. 3 The trends of air temperature anomalies in the study area (a), the north subregion (b) and the south subregion (c) from 1957 to 2009

开始,气温呈不断上升趋势。

从偏暖年份看,20世纪80年代中期以后的年份也明显增多。80年代以前,没有距平超过1个标准差的暖年;而以后却出现了8个距平超过1个标准差的偏暖年份,而且温暖程度也越来越大。记录中最暖的2006年温度距平值为2.3倍标准差。最近20 a为东北冬季最暖,其中2006年冬季最暖。

图4给出了东北地区冬季气温的线性倾向率的

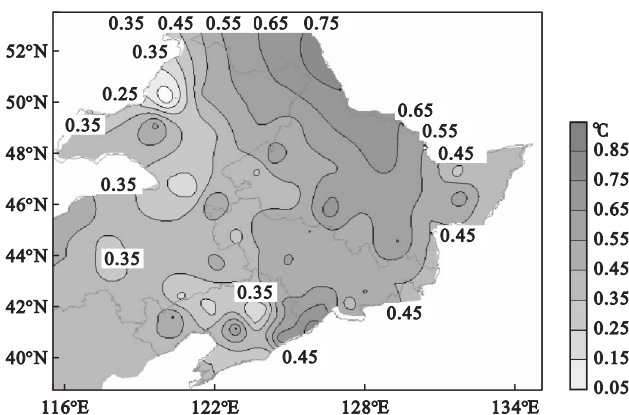


图4 中国东北冬季气温线性倾向率的等值线分布

Fig. 4 Contour distribution of liner tendency ratio of winter air temperature over the northeast China

等值线分布。1957—2009年黑龙江省东北部地区增长趋势最为显著,达到 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,而西部增长相对较慢,东北地区气温平均升高了 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (或)以上。与王绍武^[2]中国1951—2001年年平均气温变化趋势,东北最大升温达到了 $0.8/10\text{ a}$ 和李春等^[4]指出东北地区气温最大升温超过了 $0.7/10\text{ a}$,

平均升高 $0.5/10\text{ a}$ 或以上,比较一致。

为减少区域平均时人为因素的影响,使用全区、南、北子区 EOF 第1特征向量对应的时间系数标准化值为对应区域冬季平均气温距平序列,用来反映冬季平均气温的冷暖异常变化。考虑到所用资料为53 a,冷暖冬年的气候概率不宜过大,也不宜太小,以冬季平均气温距平大于(小于) $1.0(-1.0)$ 倍标准差作为确定冬季冷暖的标准。

表2表明,东北南、北两子区的冷、暖冬年有较

表2 中国东北各子区异常冷暖冬年

Table 2 Abnormal cold and warm winter years in the different regions of the northeast China

北区		南区		全区	
冷冬年	暖冬年	冷冬年	暖冬年	冷冬年	暖冬年
1964	1988	1966	1958	1967	1988
1965	1990	1967	1988	1968	1991
1968	1994	1969	1991	1969	1994
1969	1995	1976	1994	1976	1997
1976	1997	1980	1997	1980	1998
1977	1998	1984	1998	1985	2001
2000	2001	1985	2001	2000	2003
-	2003	2000	2003	-	2006
-	2006	-	2006	-	-
-	2007	-	2008	-	-

大的不同。1957—2009年两者共同的冷冬年只有3 a,暖冬年有7 a,共同异常冷暖冬年份约占全部年份的50%。冷冬年集中发生在20世纪60—70年代,暖冬年集中发生在90年代以后,且暖冬年发生强度和频率有显著增加趋势,冷冬年发生强度和频率则显著减小。这一结果与前人研究获得的东北地区冬季气候明显变暖的结论完全一致^[5]。

2.2 冬季平均气温与环流指数的相关性

2.2.1 与同期和前期环流指数的关系

用东北各子区冬季平均气温距平序列与同期经向纬向环流指数进行相关,发现中国东北冬季气温和欧亚纬向环流指数、亚洲纬向环流指数呈正相关。其中与欧亚纬向环流指数相关最强,南区相关系数最高为0.69,显著性水平 $\alpha < 0.001$ (表3),因此,欧

表3 中国东北冬季气温与环流指数的相关关系

Table 3 The correlation coefficient between winter air temperature and circulation index over the northeast China

项目	北区	南区	全区	显著性水平 α
欧亚纬向环流指数 (IZ, 0° — 150°E)	0.555	0.691	0.668	0.001
亚洲纬向环流指数 (IZ, 60° — 150°E)	0.435	0.648	0.594	0.01
东亚槽位置(CW)	0.354	0.367	0.377	0.01
东亚槽强度(CQ)	0.464	0.289	0.368	0.05

亚纬向环流的强弱是影响冬季中国东北地区气温高低的重要因子,其中对南部影响最为显著。在异常发展的纬向型环流控制下,东亚大槽偏浅,西风带波动振幅不大且快速东移,高空西风气流强盛,中国东北地区冬季气温异常偏高。

图5给出了欧亚纬向环流指数与中国东北90

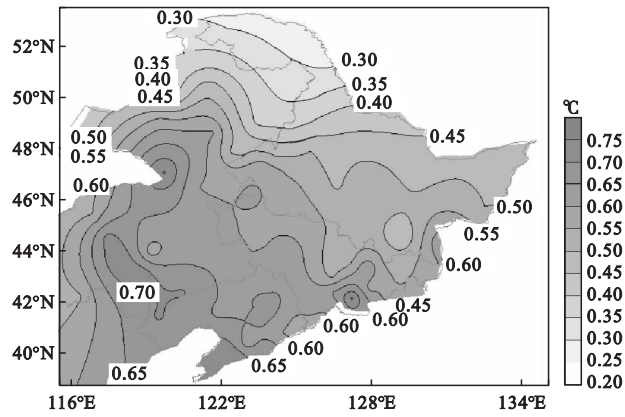


图5 欧亚纬向环流指数与中国东北 90 站冬季气温同期相关系数分布

Fig. 5 The distribution of correlation coefficient between the simultaneous Eura-Asian zonal circulation index and winter air temperature from 90 weather stations over the northeast China

站冬季平均气温的同期相关系数。同样可以看出,大部分站点具有显著的正相关,南部地区相关系数高达 0.75,北部地区相关较低,但多数台站也通过了 $\alpha < 0.01$ 的显著性水平检验,表明东北地区冬季平均气温与欧亚纬向环流指数有较高的正相关性。

用前一年 1 月至前一年 11 月的 74 项环流指数,计算持续时间分别为 1 个月、2 个月、3 个月 30 种月季组合,共得到备选环流指数因子数 2220 (74×30) 个。求其与东北各区冬季平均气温距平序列之间相关发现,东北冬季气温与前期 10 个副热带高压面积指数呈现较显著正相关关系(表 4),与前期 5 个极涡面积指数呈现较显著负相关关系(表 5)。相关性在不同区域存在较大差异以及较大的月季差别。

其中前期 8 月东太平洋副热带高压面积指数、前期 7—8 月北美大西洋副热带高压面积指数与中国东北冬季气温相关最好,超过 0.55 (显著性水平 $\alpha < 0.001$)。前期夏季 6—8 月北半球副热带高压面积指数、北美大西洋副热带高压面积指数、北美副热带高压面积指数和太平洋副热带高压面积指数相关均较好,最大相关系数超过 0.5 (显著性水平 $\alpha < 0.001$)。总体来说,中国东北北区相关性好于南

表 4 中国东北冬季气温与前期夏季副热带高压指数的相关关系

Table 4 The correlation coefficient between winter air temperature and summer subtropical high index over the northeast China

副热带高压指数	前期夏季 6—8 月			前期 7—8 月			前期 8 月			显著性水平 α
	北区	南区	全区	北区	南区	全区	北区	南区	全区	
北半球副热带高压面积指数(5°E—360°)	0.505	0.481	0.511	0.538	0.502	0.537	0.556	0.477	0.528	0.001
北非副热带高压面积指数(20°W—60°E)	0.214	0.312	0.287	0.247	0.321	0.306	0.303	0.310	0.320	0.050
北非大西洋副热带高压面积指数(110°W—60°E)	0.448	0.465	0.478	0.478	0.486	0.503	0.494	0.433	0.475	0.010
西太平洋副热带高压面积指数(110°E—180°)	0.456	0.415	0.449	0.464	0.402	0.444	0.427	0.343	0.391	0.050
东太平洋副热带高压面积指数(175°W—115°W)	0.472	0.416	0.456	0.514	0.458	0.499	0.553	0.476	0.526	0.001
北美副热带高压面积指数(110°W—60°W)	0.544	0.500	0.539	0.560	0.529	0.563	0.536	0.446	0.500	0.001
大西洋副热带高压面积指数(55°W—25°W)	0.428	0.410	0.433	0.519	0.459	0.502	0.426	0.328	0.379	0.010
南海副热带高压面积指数(100°E—120°E)	0.362	0.401	0.403	0.413	0.444	0.451	0.385	0.401	0.412	0.010
北美大西洋副热带高压面积指数(110°W—20°W)	0.541	0.502	0.538	0.583	0.541	0.580	0.560	0.456	0.515	0.001
太平洋副热带高压面积指数(110°E—115°W)	0.483	0.432	0.471	0.512	0.451	0.494	0.535	0.448	0.501	0.001

表 5 中国东北冬季气温与前期极涡指数的相关关系

Table 5 The correlation coefficient between winter air temperature and polar vortex index over the northeast China

极涡指数	前期 8 月			前期 10 月		
	北区	南区	全区	北区	南区	全区
亚洲区极涡面积指数(1 区, 60°E—150°E)	-0.413	-0.358	-0.395	-0.533	-0.485	-0.525
太平洋区极涡面积指数(2 区, 150°E—120°W)	-0.428	-0.350	-0.396	-0.337	-0.310	-0.334
北美区极涡面积指数(3 区, 120°W—30°W)	-0.294	-0.208	-0.250	-0.095	-0.063	-0.078
大西洋欧洲区极涡面积指数(4 区, 30°W—60°E)	-0.302	-0.296	-0.311	-0.129	-0.078	-0.100
北半球极涡面积指数(5 区, 0°—360°)	-0.535	-0.456	-0.506	-0.375	-0.313	-0.351

区,7—8月好于夏季。8月东太平洋副热带高压面积指数相关性达到最高。

中国东北冬季气温与前期10月亚洲区极涡面积指数、前期8月北半球极涡面积指数相关最好,最大相关系数绝对值均超过0.5,显著性水平达到 $\alpha < 0.001$,其中中国东北北区相关性又好于南区。中国东北冬季气温与前期其他区域极涡面积指数相关性一般不高,仅与前期8月太平洋区极涡面积指数呈现较显著的负相关关系。

2.2.2 主要前期影响因子的选取与预测

根据以上冬季气温与前期副热带高压和极涡面积指数的相关分析结果,选取超过0.001显著性水平的相关因子,并用多元回归方法计算最优预测因子,得到关键因子:前期8月东太平洋副热带高压面积指数(175°—115°W) X_1 ,前期10月亚洲区极涡面积指数(1区,60°E—150°E) X_2 ,前期8月北半球极涡面积指数(5区,0°—360°) X_3 ,建立中国东北回归预测方程。

全区: $Y = 0.243X_1 - 0.301X_2 - 0.323X_3$ $R = 0.67$
 $F = 13.33$

北区: $Y = 0.267X_1 - 0.290X_2 - 0.346X_3$ $R = 0.70$
 $F = 15.52$

南区: $Y = 0.242X_1 - 0.292X_2 - 0.225X_3$ $R = 0.61$
 $F = 9.69$

以上各式均通过了显著性水平为0.01的 F 检验, $F \gg F_{0.01}(3, 40) = 4.31$ 。复相关系数分别为0.67、0.70、0.61。北区和全区冬季平均气温与所选取的前期环流因子复相关系数较高。

图6给出关键因子多元回归值(图6中折线)与

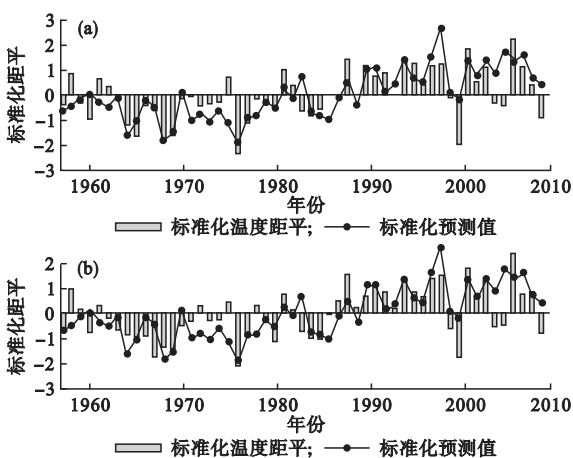


图6 标准化多元回归预测值与中国东北北区(a)和全区(b)冬季气温标准化距平的比较

Fig. 6 Comparison of standardized predicted values by multi-variable regression and standardized anomalies of winter air temperature in the north subregion(a) and the whole study area(b)

冬季平均气温距平序列的关系。可见,两者对应关系较好。

表6分别列出各个区域冷冬年、暖冬年及对应

表6 中国东北冷暖冬年及对应的预测值

Table 6 The cold and warm winter years and their corresponding forecast values over the northeast China

北区				全区			
冷年	预测值	暖年	预测值	冷年	预测值	暖年	预测值
1964*	-1.6268	1988	0.5448	1967	-0.4332	1988	0.5292
1965*	-1.1224	1990*	1.0328	1968*	-1.8564	1991*	1.1225
1968*	-1.8578	1994*	1.3950	1969*	-1.5474	1994*	1.4078
1969*	-1.5153	1995	0.6905	1976*	-1.9021	1997*	1.5904
1976*	-1.8682	1997*	1.5459	1980	-0.5676	1998*	2.6322
1977#	-0.9383	1998*	2.6359	1985#	-0.8696	2001*	1.3906
2000	-0.1575	2001*	1.4347	2000	-0.2344	2003*	1.3657
-	-	2003*	1.3843	-	-	2006*	1.4102
-	-	2006*	1.3911	-	-	-	-
-	-	2007*	1.5750	-	-	-	-

注:*为大于(小于)1.0(-1.0);#为接近1.0(-1.0)的模型预测值。根据大于(小于)1.0(-1.0)倍标准差作为确定冬季冷暖的标准,1957—2009年,北区80%的暖冬年和80%冷冬年可以预测出,全区87%的暖冬年能够预测出来,而冷冬年仅有50%能预测出来。因此,本文所建立的统计预测模型对东北地区冷、暖冬年具有一定预测能力,尤其是暖冬年,误报率较低。

图7给出利用后10 a独立样本资料计算获得的

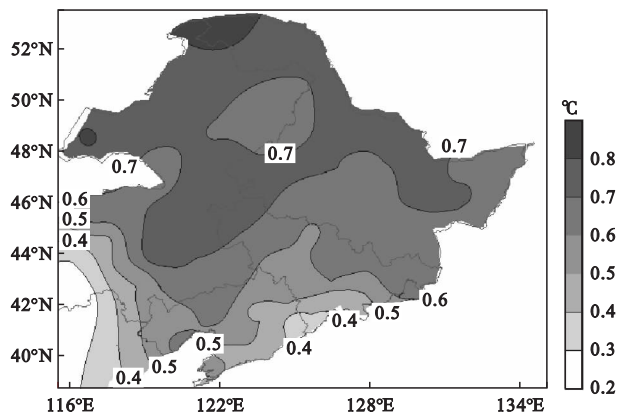


图7 冷暖冬年模型预报值与观测值相关系数空间分布
Fig. 7 The spatial distribution of correlation coefficient between forecast values and observational values

of cold and warm winter years

各站预测值与实际观测值之间的相关系数分布情况。平均相关系数 $r = 0.61$,大部分区域在0.60以上,北区大部超过0.70。由于10 a独立样本试验容量不大,有相当大的随机性。仅有的2000年和2009年两个冷冬年均成功地预测出来,2001年和2006年两个暖冬预测出一个。除了2005年,距平超过0.5

倍标准差的冷暖年份趋势均报对。说明其具有一定的预测能力。

2.3 冷暖冬年同期环流异常特征与成因

合成冷、暖冬年的同期 500 hPa 高度场和海平面气压距平场(图略)。在暖冬年,欧亚大陆的中纬度地区是大面积的正距平,欧亚大陆的高纬度地区为负距平。这种北低南高的位势高度距平场的配置使得欧亚纬向环流占优势,极涡在亚洲的活动范围减小,强度减弱。西风带波动振幅不大且快速东移,高空西风气流强盛,气流北侧靠近高纬度地面气压为负距平。在气流南侧气压为正距平。距平场的上述特征,抑制了冷暖气团的经向交换,加上高纬度空气持续冷却,中纬度增温稳定维持,最终在高纬度出现气温负距平,中纬度出现气温正距平,中国东北地区出现暖冬年。冷冬年的位势高度距平场分布与暖冬年基本呈现出相反分布,欧亚大陆的中纬度地区为负距平控制,高纬度表现为正距平,使得冷冬年在中高纬度地区盛行经向环流。在这样的环流形势背景下,极地的冷空气在西风带的偏北气流引导下,源源不断地向南入侵,造成中纬度的中国东北地区气温异常偏低,出现冷冬年。

从表4—表5可以看出,极涡与东北气温呈显著负相关,副热带高压与东北气温呈正相关关系,如果8月和10月极涡面积显著收缩,通常后期冬季中国的大部分地区气温上升;反之,若当年8月和10月的极涡面积显著扩展,那么冬季中国东北地区气温有下降趋势;尤其是当前期亚洲区极涡面积扩大(缩小),冬季气温显著下降(上升)。从夏季同期500 hPa高度距平场可以看出,当极涡面积异常偏大(偏小),反映副热带高压的588线主体也偏小(偏大)、偏南(偏北),即北半球副热带高压面积偏小(偏大)。

3 结论与讨论

(1)根据REOF分析,东北地区气温分布可分为两个区域:以辽宁渤海湾为中心的南部地区,以黑龙江北部为中心的北部地区。

(2)各分区冬季气温变化的特征,表现为一致的上升趋势,上升的幅度以北部地区为最大,其次是南部地区,西部地区温度上升最缓慢。冷冬年发生在20世纪80年代以前,暖冬年发生在90年代以后,南北区冷暖差异较明显。

(3)用前一年1月至前一年11月的74项环流指数,分别计算了持续时间为1个月、2个月、3个月30种月季组合,共2220个备选因子数。选取超过0.001显著性水平的相关因子,建立“最优”回归方

程,得到两个极涡面积指数和一个副热带高压面积指数为中国东北冬季气温的最优预测因子;冷、暖冬年预测可以将选定时段和区域的极涡和副热带高压面积指数作为一个重要的影响因素,且误报率较低。

参考文献

- [1] 王绍武. 现代气候学研究进展[M]. 北京:气象出版社,2001:80-87.
- [2] 王绍武,蔡静宁,朱锦红,等. 中国气候变化的研究[J]. 气候与环境研究,2002,(2):137-145.
- [3] 任国玉,初子莹,周雅清. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究,2005(4):701-716.
- [4] 李春,方之芳. 北极涛动与东北冬季温度的联系[J]. 高原气象,2005,24(6):927-934.
- [5] 陈峪,任国玉,王凌,等. 近56年我国暖冬气候事件变化[J]. 应用气象学报,2009,20(5):539-545.
- [6] 周雅清,任国玉. 中国大陆1956—2008年极端气温事件变化特征分析[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):405-417.
- [7] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.
- [8] 孙凤华,袁天翔. 东北冬季气温异常与全球前期海温的关系及可预测性分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(35):17806-17809.
- [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] 张卫青,钱永甫. 全球海气相互作用关键区及区内气候特征分析[J]. 热带气象学报,2001,17(1):23-33.
- [11] 杨素英,王谦谦,孙凤华. 中国东北南部冬季气温异常及其大气环流特征变化[J]. 应用气象学报,2005(3):334-344.
- [12] 侯伟芬,王谦谦,刘燕. 江南地区夏季气温异常与全球海温异常的相关关系[J]. 南京气象学院学报,2004,27(4):539-544.
- [13] 王光宇,曾群柱. 北半球雪盖与我国夏季气温的相关分析[J]. 冰川冻土,1994,16(1):49-52.
- [14] 陈寅生,陈隆勋. 北极冰盖对我国气温和降水的影响[J]. 南京气象学院学报,1994,17(1):51-57.
- [15] 陈明轩,管兆勇,徐海明. 冬春季格陵兰海冰变化与初夏中国气温、降水关系的初步分析[J]. 高原气象,2003,22(1):7-13.
- [16] 许利,毕云,钱永甫. 青藏、伊朗高原春夏季高层热力异常与我国夏季气温的关系[J]. 高原气象,2004,23(3):323-329.
- [17] 龚道溢,朱锦红,王绍武. 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析[J]. 高原气象,2002,21(1):8-14.
- [18] 王永波,施能. 夏季北大西洋涛动异常与我国天气气

- 候的关系[J]. 气象科学, 2001, 21(3): 271-278.
- [19] 何春, 何金海. 冬季北极涛动和华北冬季气温变化关系研究[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 1-7.
- [20] Bretherton C S, Smith C, Wallace J M. An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data[J]. *Journal of Climate*, 5(6): 541-560.
- [21] Wallace J M, Smith C, Bretherton C S. Singular value decomposition of wintertime sea surface temperature and 500-mb height anomalies[J]. *Journal of Climate*, 1992, 5(6): 561-576. 17806-17809.
- [22] 魏凤英. 现在气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 128-134.
- [23] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations[J]. *International Journal of Climatology*, 1996, 16(4): 361-377.
- [24] 阮桂海. SPSS 实用教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000: 143-146.
- [25] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. *气象学报*, 2005, 63(6): 942-956.
- [26] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 146-165.

Winter temperature variability and its relationship with atmospheric circulation anomalies in Northeast China

SHEN Zhi-chao^{1,2} REN Guo-yu² LI Jiao^{1,3} SUN Xiu-bao^{1,2}

(1. College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081, China; 3. Tieling Meteorological Service, Tieling 112000, China)

Abstract: Based on air temperature data from 90 metrological stations in winter from 1957 to 2010 in the northeast China, the study area was divided into the south and north subregions in terms of winter air temperature using methods of a rotated empirical orthogonal function (REOF) and a cluster analysis. The variation trends of winter air temperature and warm and cold winter were analyzed, and their relationships with main circulation indexes were discussed. The optimum forecast factor was selected by a back-method, and regression models were built in the whole study area and two subregions. The results indicate that winter air temperature increases obviously in the northeast China, and the ratio reaches 0.45 °C/10 a, especially in the north area. The correlation between winter air temperature and the simultaneous Euro-Asian zonal circulation indexes is significant. The subtropical high area index in August in the east Pacific Ocean, polar vortex area index in October in the Asia area and polar vortex area index in August in the north hemisphere are in the significantly positive correlations with winter air temperature, and their multiple correlation coefficients all reach 0.70. The above three factors are the key forecast factors in regression equations. If the subtropical high and polar area indexes are used as the important influencing factors when it forecast cold winter and warm winter, the forecast effect is good.

Key words: Northeast China; Winter air temperature; Rotated empirical orthogonal function (REOF); Circulation index; Correlation; Forecast