

文章编号: 1000-2022(2003) 05-0653-08

近 50 a 东北地区夏季气温异常的时空变化特征

杨素英, 王谦谦

(南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用国家气候中心整编的 1951—2000 年中国 160 个站月平均气温资料, 选出东北地区 20 个代表站, 在分析东北气温季节—年际变化特征的基础之上, 着重分析了东北夏季气温的年际、年代际变化的时空特征。发现: 夏季气温 20 世纪 50 年代中期之前略偏高, 50 年代中期以后至 70 年代最低, 80 年代开始缓慢回升, 90 年代增暖程度加大, 50 a 来有增暖的趋势; 气温异常存在 3 a、4 a、7 a 的年际周期和 16 a 的年代际周期; 东北地区夏季升温趋势与中国黄河以北地区是一致的, 而与黄河以南—江南地区是反位相的, 东北地区是我国夏季升温最显著的地区之一。

关键词: 东北地区; 夏季气温; 年代际; 年际

中图分类号: P468.21 **文献标识码:** A

20 世纪全球气候变暖, 使得公众对气候变化的关注与日俱增。各国气象工作者对这一现象给予了广泛的重视, 并进行了大量的研究, 我国也不例外。施能等^[1]的研究发现, 20 世纪以来中国绝大部分地区气候变暖, 在数十年尺度的冷暖背景下, 中国气候变化有明显的区域特征。因此对我国气温变化的研究不仅要着眼于它的总体变化特征, 而且要研究它的区域特征。由于我国幅员辽阔, 地形复杂, 因此气温变化有明显的地区性。

东北地区气温变化也有自身的特点。由于它地处欧亚大陆的东岸, 纬度较高, 受东亚副热带季风影响, 气候变率较大, 是气候灾害多发地区之一^[2]。又由于它是我国重要的商品粮基地, 大范围的夏季气温异常是制约东北地区粮食产量的重要因素。东北地区自解放以来到 80 年代初的夏季低温年, 均造成了粮食的大幅度减产, 给农业生产带来了重大损失。而 90 年代以来的夏季高温酷热又成为东北地区气候异常的又一突出表现。继 1994 年之后, 1997、1999 和 2000 年的酷暑难耐, 人们至今记忆犹新。因此对东北地区近 50 a 来夏季气温进行诊断研究, 对提高该地区气温预测水平、指导农业生产趋利弊害是很有意义的。本文在全国气温变化的背景下, 首先选出东北地区夏季气温异常一致性较好的的代表站, 在此基础之上, 了解东北地区气温的季节—年际变化特征, 着重分析了东北夏季气温的季节变化、年际变化、年代际变化等基本气候特征。

收稿日期: 2002-11-21; 改回日期: 2003-04-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40233037; 40175021)

作者简介: 杨素英(1975-), 女, 辽宁葫芦岛人, 硕士生, 研究方向: 短期气候预测。

1 资料和方法

本文利用国家气候中心整编的 1951 年 1 月—2000 年 10 月中国 160 个站共 50 a 月平均气温资料,用当年 6—8 月的平均气温代表当年夏季。使用的方法主要有:模糊聚类分析、一元线性回归、小波分析、二项式系数加权滑动平均法、合成分析、气候趋势系数。

1.1 峰态系数、偏态系数^[3]

气象研究中,对统计结果一般要进行统计检验,但是统计检验的前提是原始资料要符合正态分布,因此有必要对原始资料进行正态分布检验,若原始资料经过检验不遵从正态分布,则要将原始资料进行标准化处理,使之近似正态分布。峰态系数、偏态系数是检验样本是否遵循正态分布的两个统计量。对样本较少的子样而言,如果偏态系数和峰态系数通过了一定的显著性检验,可信遵从正态分布。偏态系数

$$g^1 = \frac{1}{6n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3, \quad (1)$$

表示分布形态偏离平均值的程度,负偏度表示右偏,即出现正异常的累计频次多于负异常,正偏度则相反。峰态系数

$$g^2 = \frac{n}{24} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 - 3 \right], \quad (2)$$

表示分布形态图形顶峰的凸平度,正值表示坡度偏陡,即气象要素值接近平均值的频次较常态偏多,负值则相反。 n 表示序列长度, S 表示均方差。

1.2 二项式系数加权平均法^[4]

气象上对序列作平滑处理常用的低通滤波方法为滑动平均法,滑动平均法最大的缺点是缩短了序列,无法使相应的项一一对应,带来分析上的困难。本文所使用的是一种新的平滑处理方法—二项式系数加权平均法。它的实质是一种非等权重函数平滑,即其脉冲响应函数在平滑区内按二项式系数分配权重。此种方法具有如下优点:

(1) 使用二项式系数加权平均后形成的序列,在长度上与原序列相同。

(2) 二项式系数加权平均法,其权以当前项为最大,向前向后逐渐减小,对于保存自身项及附近项特征,具有良好的效果。

(3) 使用二项式系数 n 项加权平均法,随着 n 的逐渐增大,其短周期的波动逐渐被平滑。使用多个 n 值进行加权平均,形成多条曲线,对于分析序列的变化趋势、周期等性质具有良好的作用,而且也非常直观。

(4) 这种滑动平均比较好地去掉高频变化部分,并能较好地反映较长周期的气候变化情况。

1.3 气候趋势系数和一元线性回归的说明^[5]

气候趋势系数用来判断气候因子在长期变化中的上升或下降趋势,是气象要素的时间序列与自然数序列之间的相关系数,虽然气候趋势系数和一元线性回归存在一定的联系,但两者都具有自身的优越性。由于气候趋势系数是相关系数,消除了均方差对线性回归系数的影响,因此可以做不同的站点或格点之间变化趋势强度的比较。而一元线性回归能直接描述气候要素的年际变化幅度,比前者更加直观清晰,它可以用来分析气候因子每年或每 10 a 的升降程度,因此本文将分别采用这两种方法,来分析东北夏季气温的气候特征。

2 东北区域代表站的选取

在以往的研究中,所选的东北地区要么是按地理范围直接进行划分^[6],要么是找到一个与东北地区^[7]气候相关很好的代表站来代表整个东北地区,这样所选的东北地区客观代表性不是很好,同时东北地区气候异常与华北地区有很大的相似性,本文为了既保证选取的东北地区代表站在气候异常上有别于华北地区,又保证区域内部各站在气候异常上具有一致性,首先利用模糊聚类方法^[8]对105°E以东,37°N以北(主要包括东北和华北地区)42个站点夏季气温序列进行分析。时间序列选取方案:将1951—2000年夏季(6—8月)平均气温标准化距平形成一个长度为50 a的时间序列。在分析中采用的数量指标是相关系数,用它来度量两个样本相似程度。

由图1($\lambda=27$,图中数值大小无意义,数值相同为一类)可见,博克图、海拉尔、阿尔山、嫩江、齐齐哈尔、佳木斯、鸡西、哈尔滨、牡丹江、乌兰浩特、通辽、长春、通化、沈阳、朝阳、营口、丹东、林东(数字为2)聚为一类,而同属东北行政区的呼玛、延吉、大连却不能聚为同一类(数值不同),说明这20个站点在夏季气温异常上具有一致性。另一方面还可以发现这20个站均在119°E以东,它们和119°E以西的华北地区明显不能聚为同类(数值不同),由此可知在夏季气温异常方面,这20个站点有别于华北地区,具有自身独立的特征,可以单独成为一个区。基于以上分析,综合考虑东北地区的自然区划,本文选取119°E以东的20个站(数字为2)作为东北地区的代表站。下文分析时提及的东北地区仅指以上20个站。

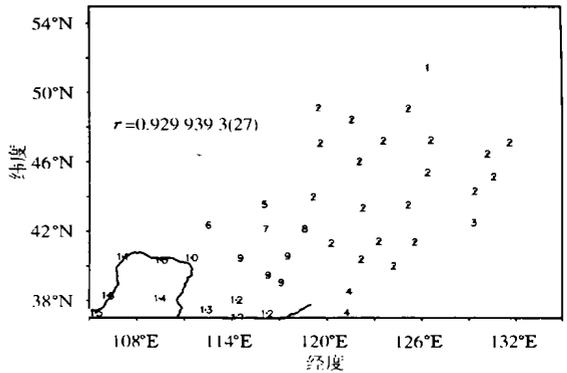


图1 我国105°E以东,37°N以北地区(共42个站)夏季气温的模糊聚类分析

Fig. 1 The fuzzy cluster analysis of summer temperature in the east of 105°E and north of 37°N area of China (including 42 stations)

说明这20个站点在夏季气温异常上具有一致性。另一方面还可以发现这20个站均在119°E以东,它们和119°E以西的华北地区明显不能聚为同类(数值不同),由此可知在夏季气温异常方面,这20个站点有别于华北地区,具有自身独立的特征,可以单独成为一个区。基于以上分析,综合考虑东北地区的自然区划,本文选取119°E以东的20个站(数字为2)作为东北地区的代表站。下文分析时提及的东北地区仅指以上20个站。

3 东北地区气温的季节—年际变化特征

3.1 东北地区气温异常的季节差异

为了更好地了解并突出东北地区气温的季节差异,计算了东北地区(区域平均后)各季平均气温1951—2000年的变异系数、标准差、峰态系数和偏态系数^[3]。变异系数(标准差与平均值之比)比标准差更能突出不同季节气温的年际变化程度(表1)。四季中,春季变异系数最大,秋季次之,冬季再次之,夏季最小,说明春、秋季气温年际变化大,冬季次之,夏季气温的年际变化最小。为了考察各季气温是否近似正态分布,本文计算了四季的偏态系数和峰态系数,四季的偏态系数中,冬季为负偏度,偏态系数 $|g_1| < 0.65$,表明冬季气温遵从正态分布;而夏季、秋季和春季为正偏度,不遵从正态分布。峰态系数中,除了夏季以外,其他三季峰态系数均遵从正态分布($|g_2| < 1.23$)。综上可知,冬季气温近似正态分布,而其他三季不近似正态分布。由此可见,在对东北地区夏季气温异常进行分析时,必须对原始资料进行标准化处理。

表 1 东北地区各季气温 1951—2000 年的平均值、标准差、变异系数、峰态系数和偏态系数

Table 1 Mean value, standard deviation, variation coefficient, kurtosis coefficient, and bias coefficient of seasonal temperature in Northeast China

项目	春季	夏季	秋季	冬季
平均值/℃	5.2	20.6	4.7	-14.9
标准差/℃	1.2	0.6	0.8	1.5
变异系数/%	23.0	3.1	17.4	-10.1
偏态系数 g_1	0.7	2.7	0.9	-0.3
峰态系数 g_2	-0.5	2.0	-0.01	-0.9

3.2 气温异常的月际—年际变化特征

图 2 表征了东北地区气温异常的季和年际变化。图中变量是各月气温与该月 50 a 平均气温之差, 阴影区为正距平区, 其余为负距平区。图中显示, 从强度和频次上看气温异常, 以冬、春季最大, 秋季次之, 夏季最小。以 80 年代中期为界, 之前各月气温以负异常为主, 之后则以正异常为主, 说明在这前后东北各季气温的变化趋势发生了明显的转变。由图还可以看出, 4 个季节中夏季的增暖主要发生在 90 年代以后。因此对东北地区夏季气温, 特别是近十几年来夏季气温异常进行研究是很有意义的。以下将着重分析东北地区夏季气温的年际和年代际变化的时空特征。

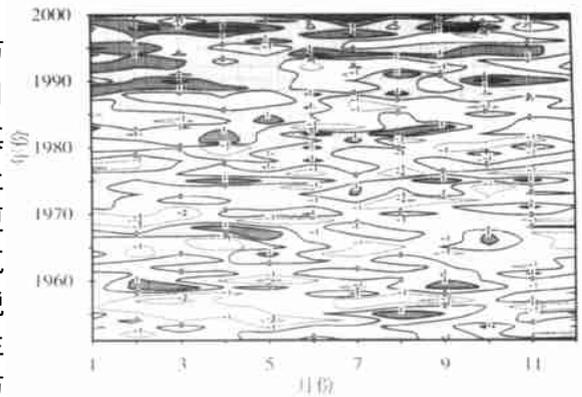


图 2 东北地区气温异常的月际—年际变化 (阴影区为正距平, 单位: ℃)

Fig. 2 The seasonal and inter-annual variation of temperature anomaly in Northeast China (the shaded area means positive, units: ℃)

4 东北地区夏季气温异常的时间变化特征

4.1 年代际变化特征

为了更好地研究近 50 a 来东北夏季气温异常的年代际变化趋势, 本文采用二项式系数加权平均法^[4]对该区域 50 a 的夏季气温标准化距平(1951—2000 年)的时间序列作 11 a 滑动平均。从图 3 虚线可以看出东北夏季气温总体上呈波动上升状态, 并依据此线划分近 50 a 来东北夏季气温变化的冷暖期。从图可以看出, 50 年代初为正常略偏暖, 1956—1978 年是持续时间较长的偏冷期, 负距平年占 65.2%, 冷期振幅逐年减小, 1979 年以后至 90 年代初呈正常波动状态, 90 年代初至今则为持续偏暖, 波动振幅逐年增大, 正距平年占 82.0%, 为 50 a 来夏季最暖期, 其中 1999、2000 年连续 2 a 气温异常偏高。由表 2 看出: 东北地区夏季 60 年代最冷, 70 年代次之, 80 年代开始变暖, 90 年代最暖。

总的说来, 东北夏季在增温, 但这只是一种定性的认识, 那么这种增暖的幅度如何呢? 因此, 本文下面对东北地区的气温作一元线性回归^[3]。为了比较四季的差异, 也对其他三季的气温作了分析(表 3)。由表 3 可知, 1) 4 个季节气温的回归系数都为正值, 说明四季都有增暖的变

化趋势, 其中冬季增暖最快, 春季的增暖虽不如冬季迅速, 但也很快, 夏季再次, 秋季最小。2) 4 个季节气温增幅均通过了 0.05 的显著性水平检验 ($r_{0.05} = 0.27$)。综上可知, 东北地区夏季增暖虽然比较显著, 但幅度不如冬季和春季。

4.2 年际变化特征

图 3(折线) 给出了东北地区夏季气温的年际变化特征, 本文定义气温标准化距平小于 -0.8 为凉夏年, 大于 0.8 为热夏年, 在 -0.8 ~ 0.8 之间的年份为正常年。以这个标准得到了 9 个凉夏年, 分别是: 1956、1957、1961、1969、1972、1976、1983、1992 和 1993 年; 7 个热夏年, 分别是: 1955、1982、1988、1994、1997、1999 和 2000 年。由图 3 可以看出, 凉夏年集中在 50 年代中期至 70 年代这个大冷期中, 占 2/3, 1956、1957 年连续出现凉夏年, 其中 1976 年的夏季低温最为严重; 而在 80 年代以后, 特别是 90 年代热夏事件发生相当频繁, 占 4/7, 其中 1999、2000 年连续出现夏季异常高温, 说明 90 年代东北地区的夏季增暖非常显著。

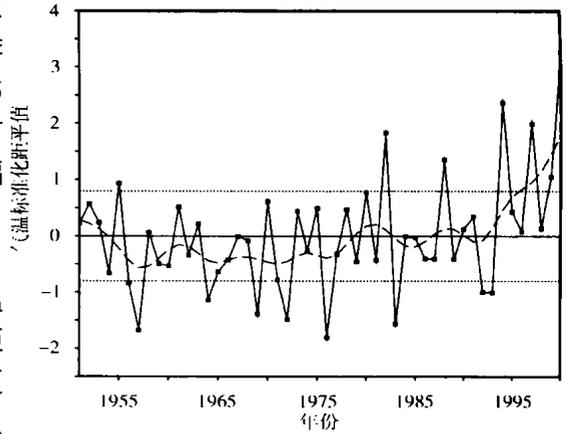


图 3 东北地区夏季气温的标准化时间序列及 11 a 平滑平均曲线(虚线)

Fig.3 Sequences of summer temperature standard departure(solid line) and 11-year running average(dotted line) in Northeast China

表 2 东北地区夏季气温各年代的平均值、距平值和距平增值

Table 2 Mean value, departure value and increased departure value of summer temperature of Northeast China in the recent five decades

	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代
平均值	20.52	20.45	20.49	20.73	20.94
距平值	-0.15	-0.22	-0.18	0.05	0.27
距平增值		-0.07	0.04	0.23	0.22

表 3 东北地区春、夏、秋、冬 4 个季节气温的一元线性回归

Table 3 Linear trend estimates of spring, summer, autumn and winter mean temperature in Northeast China

	春季	夏季	秋季	冬季
回归系数 $b/(^{\circ}\text{C}/(10\text{ a}))$	0.327	0.235	0.205	0.347
相关系数 r	0.470	0.340	0.300	0.570

4.3 东北地区夏季气温异常的周期振荡特征

本文对东北地区 50 a 夏季(6—8 月) 气温的标准化距平时间序列运用 Morlet 小波分析方法^[9] 进行分析, 得到了不同时间尺度的变化特征。图 4 为东北地区夏季(6—8 月) 气温时间序列的 Morlet 小波变换系数模平方的时频分布。图 4 发现东北夏季气温存在明显的年际变化和年代际变化, 其中存在 3 a、4 a、7 a 的主要年际周期和以 16 a 为中心的年代际周期。3 a 左右的年际周期强信号发生在 80 年代中期以后, 次强信号发生在 50 年代; 年际变化的 4 a 周期振

荡集中发生在 60、70 年代; 7 a 的年际周期则出现在 60 年代至 80 年代; 同时以 16 a 为中心的年代际周期, 近 50 a 始终存在, 但在 80 年代以后该信号异常显著。由前面的分析可知, 50 年代中期以前为小的暖期, 80 年代中期以后为大的暖期, 由此可见, 3 a 左右的周期振荡与东北地区夏季特别是 80 年代中期以后的夏季气温异常偏高可能有密切关系。

5 东北地区夏季气温的空间分布特征

5.1 凉、热夏年同期全国气温距平的合成分析

东北处于凉夏年时(图 5a), 除云南西部和华南部分地区略偏暖外, 我国绝大部分地区偏冷, 偏冷强度北强南弱, 最冷区在华北、内蒙中东部及东北; 东北处于热夏年时(图 5b), 除长江中上游、江南、华南东部地区和云南西部地区偏冷外, 其他地区均偏暖, 偏暖强度北强南弱, 异常暖中心在东北、华北和内蒙中东部, 冷中心在江南地区。通过以上的分析可知, 东北地区夏季气温异常与华北、内蒙中东部地区呈同位相变化特征非常明显, 而且在幅度上很接近。

5.2 夏季气温趋势系数的空间分布

为了了解近 50 a 来东北夏季气温变化趋势的空间结构特征, 计算了夏季气温的气候趋势系数^[1]。由图 6a 可知: 东北地区夏季普遍增暖, 增

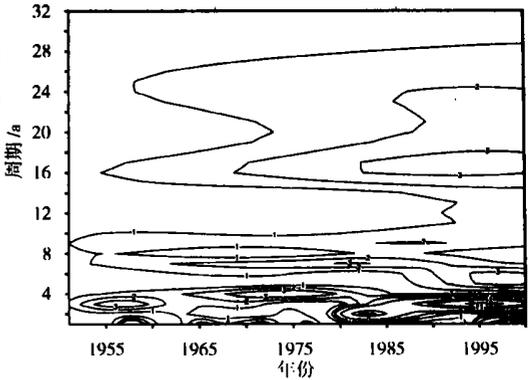


图 4 东北地区夏季气温的 Morlet 小波分析 (模的平方)

Fig.4 Analysis of Morlet-wavelet of summer temperature in Northeast China (mode square)

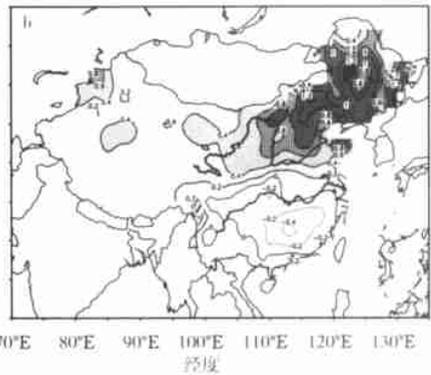
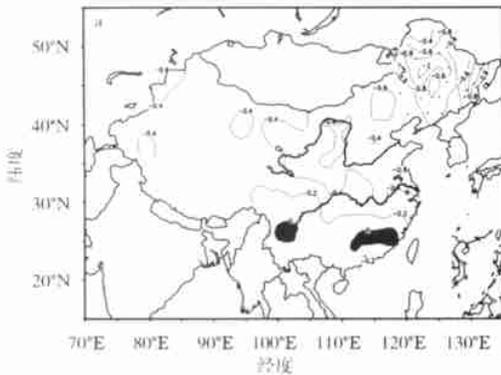


图 5 东北地区凉、热夏年同期全国气温距平场的合成 (阴影区为正值, 单位: $^{\circ}\text{C}$)
a. 凉夏年; b. 热夏年

Fig.5 The composite anomalies of summer temperature in the whole china (the shaded areas are positive, units: $^{\circ}\text{C}$)

a. cool summer years in Northeast China; b. hot summer years in Northeast China

暖强度呈东部、西北部强, 中南部弱的分布特征。辽宁—通辽—博克图一带增暖趋势较弱, 最弱中心在博克图附近; 增暖最强中心在海拉尔和阿尔山附近。这种分布特征型可能与大兴安岭、渤海和黄海的影响有关^[2]。由图 6b 可以发现我国黄河以北地区有变暖的趋势, 而黄河以南至江南地区则有变冷的趋势, 增暖最强区在华北北部、内蒙中东部、东北东部和西北部等小部分

地区, 变冷最明显的地区在汉水中上游地区。由此说明东北地区夏季增暖趋势与我国黄河以北特别是华北、内蒙中东部地区一致性非常好, 且与汉水中上游的反位相关系也很好。综上所述, 东北地区是近半个世纪来我国夏季气温增暖最显著的地区之一。

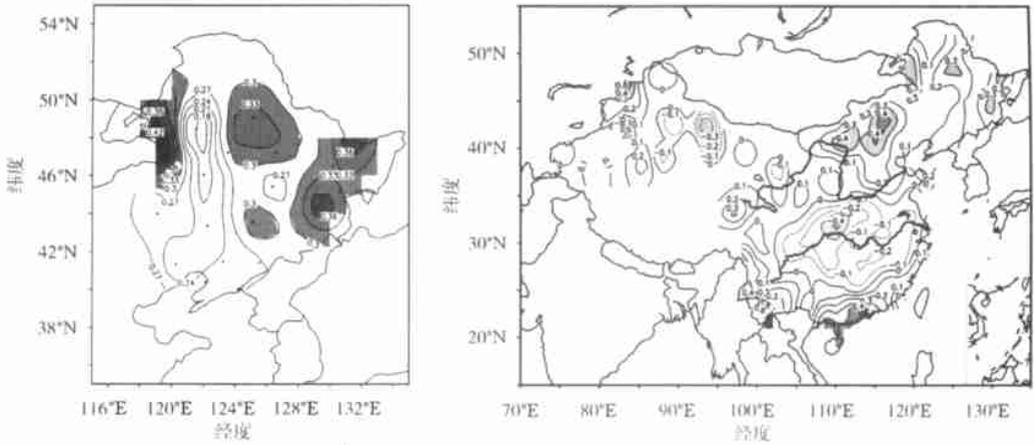


图 6 全国及东北地区夏季气温趋势系数的空间分布

- a. 东北 20 站(阴影区为趋势系数不小于 0.3 的区域);
b. 全国 160 站(阴影区表示达到 95 % 置信水平的区域)

Fig. 6 Spatial distribution of summer temperature trend coefficients in China and in Northeast China

- a. 20 stations of Northeast China(the shaded trend coefficients are not smaller than 0.3);
b. 160 stations of China

(shaded areas denote where the temperature trend is significant to a confidence level more than 0.05)

6 结 论

(1) 东北夏季气温 20 世纪 50 年代中期之前略偏高, 60 年代到 70 年代处于冷期, 60 年代达到低谷, 90 年代以后处于暖期, 并达到 50 a 最高峰。

(2) 东北夏季气温异常存在 3 a、4 a 和 7 a 的年际周期及以 16 a 为中心的年代际周期。

(3) 东北夏季气温随时间变化而增暖的趋势显著, 达 $0.235\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$, 增暖幅度东部、西北部强, 中南部弱。

(4) 东北地区夏季增暖趋势与中国黄河以北地区是一致的, 与黄河以南至江南地区是相反的, 东北地区是增暖最显著的地区之一。

参考文献:

- [1] 施 能, 陈家其. 中国近百年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [2] 周 琳. 东北气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 1-5; 35-36.
- [3] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 19-20; 43-44.
- [4] 丁裕国, 江志红. 气象数据时间序列信号处理[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 194-201.
- [5] 白爱娟, 施 能. 陕西省近 50 a 气候变化特征及其与东亚季风的的关系[D]. 南京气象学院大气科学系, 2002: 11-12.
- [6] 陈隆勋, 朱文琴. 近 45 年我国气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271.
- [7] 刘 实, 王 宁. 前期 ENSO 事件对东北地区夏季气温的影响[J]. 热带气象学报, 2001, 17(3): 314-319.
- [8] 施 能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 1995: 312-338.
- [9] 邓自旺, 尤卫红. 子波变换在全球气候多时间尺度变化分析中的应用[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(4): 505-510.

Spatial/Temporal Variations of summer Temperature in Northeast China in recent 50 years

YANG Su-ying, WANG Qian-qian

(Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: The monthly mean temperature data at 160 stations in China during 1951—2000 are used, and among which 20 stations are selected as representative stations of Northeast China. On the basis of the analysis of seasonal and inter-annual variations, the inter-annual and inter-decadal variations of summer temperature in Northeast China are emphatically studied in this paper. It is found that summer temperature in Northeast China is slightly warmer before 1956, is the lowest in 1956—1970's, slowly began to rise in 1980's, got much warmer in 1990's. The warming trend is obvious in the recent 50 years, with a warming rate of 0.235 °C/10 a. The summer temperature anomaly shows the three-year, four-year, seven-year and sixteen-year periodic variations in Northeast China. The warming trend is similar with that in North China, but it is opposite to that in areas south of the Huanghe River. The rising of summer temperature in Northeast China is one of the most prominent in China.

Key words: Northeast China; summer temperature; inter-annual; inter-decadal