

近50年东北地区温度降水变化特征分析

吉奇¹ 宋冀凤¹ 刘辉²

(1. 本溪市气象局, 本溪 117000; 2. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130021)

摘要:以东北三省为研究区,利用1951~2000年东北地区110个气象站的观测资料,采用小波分析方法,对近50a温度、降水变化进行分析。结果表明:东北地区的年平均气温有15a的周期变化,15a周期变化中还有2~4a短波动;降水分为多、少、多3个阶段;年平均气温以0.6℃/10a的速率上升,春季气温上升最高,冬季次之;降水变化以0.27mm/a的速率递减,其中春季降水略有增加,夏、秋季降水均为减少趋势。

关键词:东北地区;温度;降水;特征分析

气候变化是指除在类似时期内所观测气候的自然变异之外,由于直接或间接的人类活动改变了地球大气的组成而造成的气候变化。它被认为是威胁世界环境、人类健康与福利和全球经济持续性的最危险的因素之一。我国东北地区气候变化有其特殊性。本文从时间尺度对东北地区温度与降水变化进行了分析,旨在探讨近50a东北地区温度和降水的变化特征。

1 资料与处理方法

1.1 资料

采用Visual FoxPro6软件,将1951~2000年的辽宁省、吉林省、黑龙江省气象局所提供的共110个气象站的旬平均气温和旬平均降水观测资料建成东北地区气象数据库。具有百年观测资料的长春站的气温、降水资料单独统计。将各站1~36旬气象资料整理成为春(3~5月)、夏(6~8月)、秋(9~11月)、冬(12~2月)四季温度和降水以及年平均气温和年降水序列,并将1951~1980年和1981~2000年分为2段进行统计,求近20a与前30a平均温度的差值。

利用SPSS软件对东北地区近50a来温度、降水变化进行回归分析,预测其变化趋势。应用小波分析方法从多个尺度分析气候变化的周期。

1.2 小波分析

设 $g(t)$ 为满足下列条件的任意函数

$$\int_R g(t) dt = 0 \quad (1)$$

$$\int \frac{|G(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (2)$$

式(2)中 $G(\omega)$ 是式(1) $g(t)$ 的频谱,称信号式(2) $f(t)$ 的小波变换为:

$$W_f(\tau, \alpha) = |\alpha|^{-1/2} \int_R f(t) \overline{g\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right)} dt \quad (3)$$

式(3)中 t 为时间参数,称为平移因子,反映了时间上相对于 t 的平移。

本文取墨西哥帽状(Marr)小波作为母波函数,其表达式:

$$g(t) = (1-t^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} \quad -\infty < t < \infty \quad (4)$$

在实数域,式(3)的离散表达式:

$$W_f(\tau, \alpha) = |\alpha|^{-1/2} \Delta t \sum_{i=1}^N f(i\Delta t) g\left(\frac{i\Delta t - \tau}{\alpha}\right) \quad (5)$$

式(5)中 Δt 为样本间隔, N 为样本量。本研究以式(4)和式(5)为计算公式,取尺度因子 $\alpha = 2^{0.2(j-1)}$ ($j = 11, 12, \dots, 36$)。

由式(5)可知,小波波幅 $W_f(\tau, \alpha)$ 随参数 t 和 α 变化,通过小波变换,将一维要素序列变成以 t 和 α 为坐标的二维图像,通过对二维图像的分析可得到关于要素的局域特征。

2 东北地区气候变化的特征分析

2.1 气温变化

2.1.1 气温变化趋势特征

2.1.1.1 年平均气温

王绍武^[1]指出我国气温变化趋势基本与北半球一致。从图1中可以看出,我国于20世纪初开始增温,到40年代达到最高,从1905年开始上升到1946年期间增温1.12℃。40年代中期以后我国气温开始下降,50年代后期,60年代初有短暂回升,但很快

又再次下降;70年代中期以后又开始回升,增温强烈且明显。

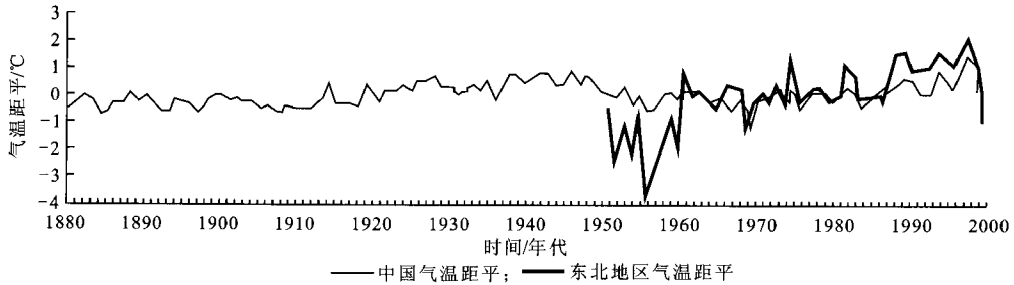


图1 1880~2000年中国与东北地区年平均气温距平

近50 a东北地区平均气温为 $5.68\text{ }^{\circ}\text{C}$,方差为 $1.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从年平均气温距平曲线可以看出,近50 a东北地区年平均气温是在波动中逐渐上升的,与全国变化趋势基本一致,但变化幅度相对较大。东北地区年平均气温与全国的年平均气温的相关系数为 0.67 ,说明东北地区与全国温度变化具有同步性。根据年平均气温距平曲线可以将近50 a温度变化划分为3个大变化周期:1951~1966年间,气温波动较大,1956年气温降到近50 a来的最低点,年平均气温距平为 $-3.65\text{ }^{\circ}\text{C}$,以后气温开始回升;1961年气温上升到50~60年代以来的最高点,距平值为 $0.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。1967~1986年间的气温变化相对较小,年平均气温为 $5.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,基本以上升趋势为主。1987~2000年也是一个明显的增温过程,温度上升趋势明显,1998年达到近50 a的最高值,距平值为 $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。可以认为东北地区气候持续变暖比较明显的时期是从1987年开始的,这较之全国的1984年,推迟约3 a。东北地区气候变暖的趋势是比较明显的,增温幅度为 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。东北地区20世纪50年代的低温期和90年代的高温期与全国的气温变化相一致,但是东北地区的变幅相对较大。

2.1.1.2 季平均气温

为了更深入地研究东北地区的温度变化,将资料整理为各个季节变化序列,从季节变化的角度分析东北地区的温度变化,进而与“暖冬”现象进行比较。东北地区春季温度与东北地区全年温度变化趋势相似,也是在波动中不断上升,但是东北地区春季温度变化幅度相对较大,1957年春季温度达到最低值,距平值为 $-3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$;1998年春季温度达到了近50 a来的最高值,距平值为 $3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最高气温与最低气温相差了 $7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明东北地区春季温度变化较剧烈,但是总体趋势是上升的,而且升温幅度大,为 $0.69\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,对年平均气温的升幅贡献率较大。

李辑等^[2]研究表明,近50 a东北夏季气温以普遍增温为基本特征。从东北地区的夏季气温距平曲线(图2)可以看出,东北地区的夏季气温变化相对较

小。表现在20世纪是以50~60年代气温变化幅度较大,在以后的年份里温度变化的幅度较小,变暖的趋势不如春季明显。

秋季气温距平曲线与年平均气温的变化趋势相近,相对夏季距平值波动幅度较大,但总体变化率较小,气温变化相对稳定,只是在1990年出现了一个相对高值,距平值为 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。秋季气温的总体变化趋势还是以上升为主,升温幅度为 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,为4个季节中升温最小的季节,对于年平均温度变化的影响最小。

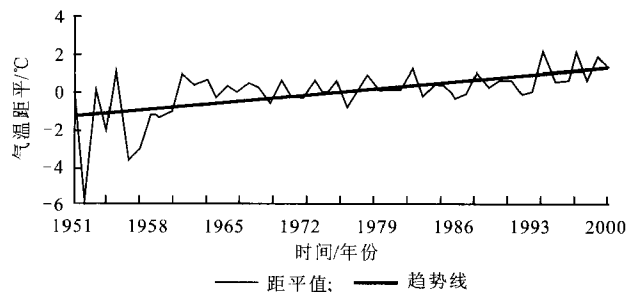


图2 1951~2000年东北地区夏季平均气温距平

从东北地区冬季气温距平图中可以看出,温度变化以上升趋势为主,增温幅度为 $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,冬季平均气温为 $-13.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。20世纪50~70年代变化幅度较大,并且在这一阶段出现近50 a的一个最低值,距平值为 $-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。70~80年代变化较为平稳。80年代以后,温度变化相对较为平稳,但是上升趋势明显。近50 a东北地区冬季的温度波动较为剧烈,不稳定的温度变化使东北地区的暖冬现象表现明显。但与春季的升温相比较,冬季的升温次之。

2.1.2 气温变化周期

在气象要素时间序列的演变规律中,周期性有很强的表现,如年变化现象。但是还存在其他的周期变化,对一时间序列 $x(t)$,若存在间隔一段时间 T 后有 $x(t+T)=x(t)$ 成立,则可以称该时间序列存在以 T 为周期的变化。如果其关系近似成立则可称为准周期波动。常见的周期变化是指序列呈规则的正弦波动和余弦波动。但是也可以是不规则的波动,当然这种不规则波动也可以看成由若干个规则波动叠加形成。检测出不同周期波动是气候成因

分析的重要方面,如果序列中含有的主要振动与大型气候因子(如太阳活动或太阳月亮共同作用或 ENSO 现象等)的振荡周期一致的话,则可认为它可能是局地气候变化的主要影响因子。

气候序列变化的结构通常用不同周期振动来表现,即从频域来进行分析,亦即所谓谱分析。另外,还可以用不同尺度的过滤器来放大或缩小某种尺度的变化,从而达到了解某种尺度的气候变化演变特征。这方面的分析工具是由各种过滤器和近年来发展起来的小波分析。本文将采用小波分析的方法对东北地区气温进行周期分析。

温度变化周期分析采用有较长观测记录的长春站的年平均气温距平作为分析的基础数据。根据计算,长春地区的年平均气温与东北地区的年平均气温相关系数为 0.89,所以用长春站的平均气温观测资料来代表东北地区的平均气温。对长春站年平均气温进行小波分析,其子波从 1 a 周期每间隔 1 a,直至 40 a 周期,共计算了 40 个子波的小波指数,如图 3 所示。小波指数中心值所对应的横坐标值为年份,而对应的纵坐标值即序列的变化周期。小波指数正值表示气温处于所对应的子波周期中的暖期,而负值则表示气温处于冷期。

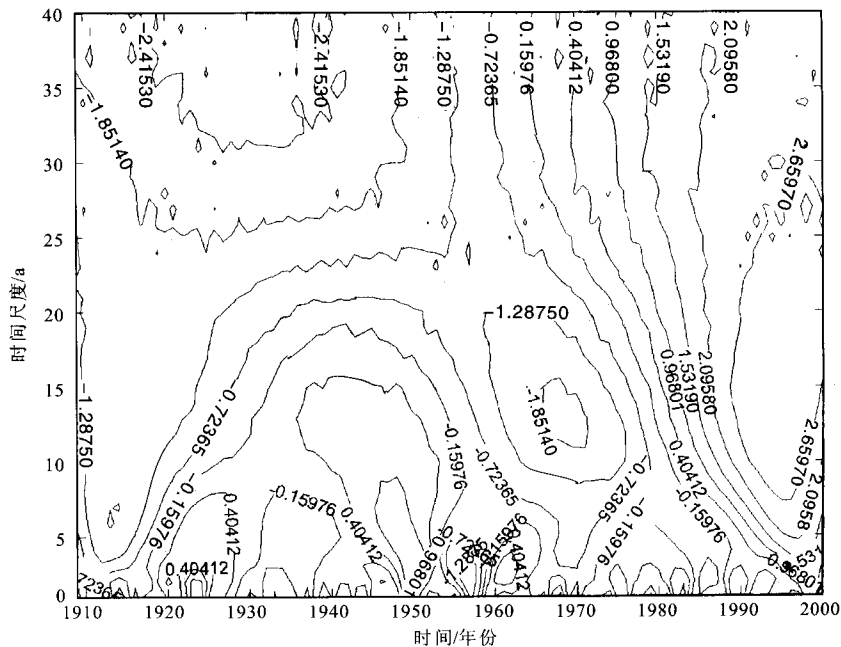


图3 1910~2000年东北地区年平均气温小波指数分布

由图3可以看出,东北地区年平均气温有大约 15 a 的振动周期。而在这 15 a 周期中还包含着更短的 2~4 a 的周期,并具有很好的自相似结构,这表明气候振荡存在着一定的规律性。小波分析能反映局部变化特征,可以看出每一时刻在各周期中所处的位置,能更好地分析序列随时间的变化情况。在 15 a 变化周期中,1910~1920 年,年平均气温处于冷阶段,20 年代初—60 年代初处于暖期,60 年代初—70 年代进入冷阶段,70 年代末—90 年代为暖阶段。

2.2 降水变化

据陈家其等^[3]对中国 500 a 旱涝历史资料的研究,认为在气候变暖时期,黄河中游为易旱区。中纬度大陆内部特别是中国东北地区是气候变化的敏感地区之一。全球气候的变暖,必然要导致全球大气环境和海平面气压场的调整,从而造成全球范围内降水量的重新分配。气候模式的模拟结果表明:降水对全球气候变暖的响应表现在热带地区,全年降水量将增加,而在中纬度地区,冬季降水量将增加,

但夏季降水量将减少^[4]。有迹象表明全球变暖将导致冬季风减弱,夏季风增强。因此,目前的多雨区降水量有可能增加,对我国而言,雨区进一步向西北和向北扩展。以东亚季风控制为主的我国东北地区,在全球变化下是怎样响应全球变化的,它们的降水又是怎样变化的? 分析结果如下。

2.2.1 降水变化特征

2.2.1.1 年平均降水

东北地区年平均降水量为 614.9 mm,均方差为 80.9 mm。年内降水分配不均,夏季降水占全年降水的 63.4%,春、秋、冬季占全年降水的 36.6%。东北地区降水量近 50 a 来的变化为“稳中有降”,平均降水量减少 0.27 mm/a。从降水量年际变化曲线(图 4)可以看出,东北地区降水的年际变化滞后于全国的变化。通过对比可以看出,东北地区是全国的少雨区,降水不足,干旱时有发生。从降水 5 a 滑动平均曲线分析,东北地区降水可以分为 3 个大阶段,1950~1966 年为多雨时期,降水较为丰富。在这个

时段内有一个低值年,1952年为近50a的最低值。

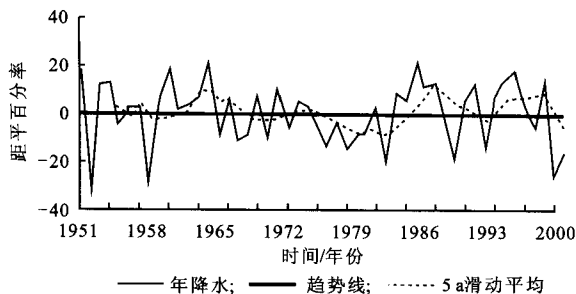


图 4 1951~2000 年东北地区年降水距平百分率

1967~1987 年为一个少雨时期,在这个时段内降水的年际波动幅度不大。1988~2000 年为多雨时期,这段时间降水的年际波动相对较大。从表 1 还可以看出,东北地区有 4 个多雨年代分别为 50,60,80 年代和 90 年代,而 70 年代则为少雨时期。

表 1 20 世纪 50~90 年代东北地区年季降水距平变化 mm

年代	50	60	70	80	90
全年	1.11	0.25	-4.58	2.10	0.21
春季	-2.22	-4.38	-0.90	6.84	0.68
夏季	-0.81	4.87	-7.43	3.16	0.20
秋季	8.27	-7.41	3.60	-2.67	-1.78
冬季	0.07	-16.93	-0.77	0.24	-16.20

2.2.1.2 季平均降水

东北地区春季平均降水量为 89.42 mm,而全国春季平均降水量为 265.4 mm,是东北地区的 3 倍,相比之下东北地区春季降水明显不足,春旱时有发生。从表(略)可以看出,春季降水在各个时段内分配也不均衡,时多时少。根据春季降水距平曲线图 5

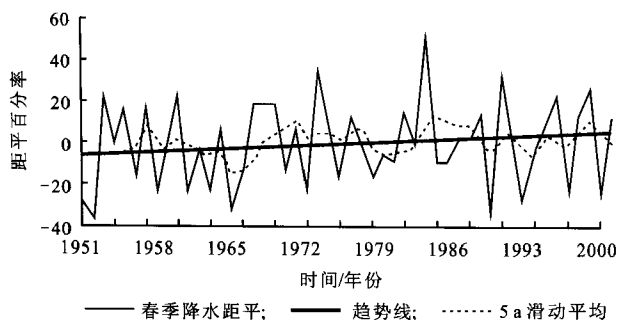


图 5 1951~2000 年春季降水距平百分率

可以看出,春季降水年际变幅很大,但是近 50 a 来呈上升趋势,增幅为 0.18 mm/a。根据春季降水 5 a 滑动平均曲线,按干、湿状况分为 7 个时期。其中多雨偏湿期为 1957~1960,1967~1977,1983~1988 年和 1997~2000 年;少雨偏干期为 1961~1966,1978~1982 年和 1989~1996 年。

东北地区夏季平均降水量为 389.5 mm,而这一时期全国平均降水量为 471.6 mm,相差了 82.1 mm,与全国平均水平相差不多。夏季为东北

地区主要降水季节,占全年降水的 60% 以上。夏季降水年际波动较大,波动变化与年降水量曲线相似,且降水量呈减少趋势,为 -0.28 mm/a 。

东北地区秋季平均降水量为 112.3 mm,而全国秋季平均降水为 187.7 mm,相差了 75.4 mm,秋季降水年际波动较大。根据 5 a 滑动平均曲线(图略)可划分为 6 个干、湿阶段。其中多雨偏湿期为 1957~1963,1970~1976 年和 1988~1996 年;少雨偏干期为 1964~1969,1977~1987 年和 1997~2000 年。秋季降水总变化趋势为减少,为 -0.23 mm/a 。

东北大部分地区冬季都是以固体形式降水。冬季平均降水量为 18.3 mm,年际间变化明显。从 5 a 滑动平均曲线(图略)可以把冬季降水划分为几个阶段,1957~1962 年和 1978~1994 年为降水偏多期,1963~1977 年和 1995~2000 年为降水偏少期。冬季降水呈逐年减少趋势,但减少的幅度不大。

2.2.2 降水变化周期

降水变化周期分析采用有较长观测记录的长春站的年降水距平作为分析的基础数据。根据计算,长春地区的多年降水与东北地区的降水相关系数为 0.56,可用长春站的降水观测资料来代表东北地区的降水量。对长春站多年降水进行小波分析,其子波从 1 a 周期每间隔 1 a 直至 40 a 周期,共计算了 40 个子波的小波指数,如图 6 所示。小波指数正值表示降水处于所对应的子波周期中的降水偏多期,而负值则表示降水处于降水偏少期。

由图 6 可以看出,东北地区降水存在着约 40 a 的周期,1910 年—20 世纪 50 年代初这段时间为降水相对偏多期,50 年代初—2000 年为降水相对偏少期;在 40 a 的长周期变化中,包含 5 a 的振动周期;在 5 a 的振动周期中包含 2~3 a 的振动周期。

3 结论

(1)年平均气温趋于升高,各季变化不一。通过对近 50 a 东北地区气温统计资料所建立起来的时间序列分析得出:近 50 a 东北地区年平均气温为 $5.68 \text{ }^\circ\text{C}$,年平均气温以 $0.60 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 速率上升,特别是自 20 世纪 80 年代以来温度上升明显。春季温度上升速率为 $0.69 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$,高于年平均气温的上升;冬季次之,为 $0.61 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$,与年平均气温上升速率接近,夏季和秋季温度上升速率分别为 $0.50 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 和 $0.40 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 。

(2)年降水呈减少趋势,各季变化幅度差异较大。对近 50 a 东北地区降水资料所建立起来的时间序列分析得出:近 50 a 东北地区平均降水量为 614.9 mm,夏季降水占全年降水的 63.4%,降水变化为“稳中有降”,以 0.27 mm/a 的速率递减。其中春季降水略有增加,为 0.18 mm/a 。夏、秋季降水均有不同程度的减少,其速率分别为 -0.28 mm/a 和

-0.23 mm/a, 冬季变化不大。

(3) 温度和降水长周期变化中有短周期波动。

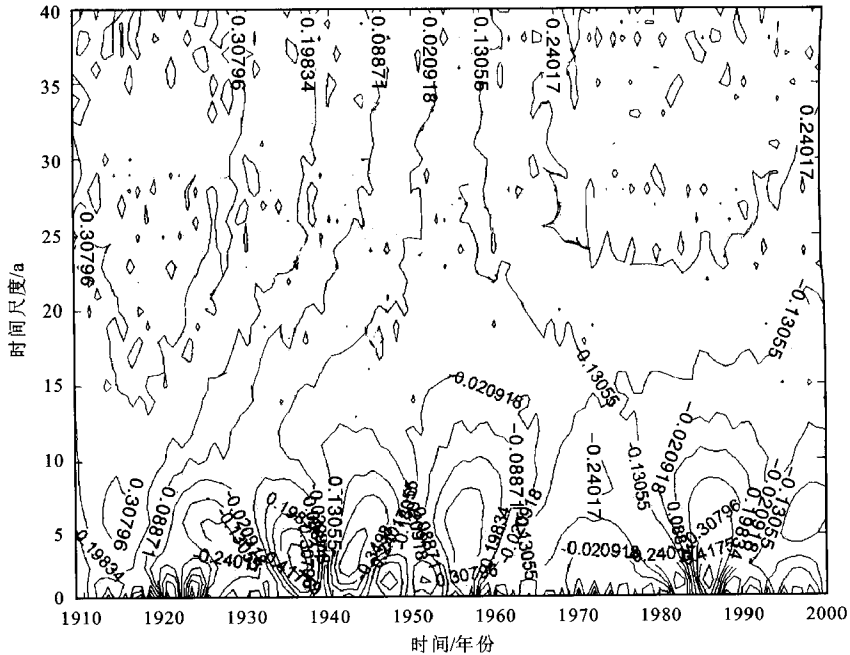


图 6 1910~2000 年东北地区年平均降水量小波指数分布

利用小波分析方法对上述建立起来的年平均气温和年降水时间序列进行周期分析发现:年平均气温存在 15 a 的振动周期。而在这 15 a 周期中还包含着更短的 2~4 a 的周期,并具有很好的自相似结构,表明气候振荡存在着一定的规律性。而降水序列存在着 40 a 长周期变化。在 40 a 长周期变化中还包含着 5 a 振动周期,在 5 a 振动周期中还有 2~3 a 短波动。

参考文献

- [1] 王绍武. 近百年来我国及全球气温变化趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 11-13.
- [2] 李辑, 龚强. 东北地区夏季气温变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(1): 6-10.
- [3] 陈家其, 施能. 全球变暖下我国旱涝灾害可能情景的初步研究[J]. 地理科学, 1995, 15(3): 201-207.
- [4] 张利平. 气候变暖及对我国的社会影响[J]. 自然杂志, 2000, 22(1): 44-48.

Characteristics of temperature and precipitation in Northeast China from 1951 to 2000

JI Qi¹ SONG Jifeng¹ LIU Hui²

(1. Benxi Meteorological Bureau, Benxi 117000; 2. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130021)

Abstract: Based on the observational data of 110 meteorological stations from 1951 to 2000 in Northwest China, the changes of temperature and precipitation were analyzed with wavelet analysis. The results indicated that the change period of annual mean temperature was 15 years in Northeast China, which also had a short period with 2~4 years. The precipitation in Northeast China during recent 50 years could be divided into three stages. The annual average temperature increased with an extent of 0.6 °C per ten years. The increase of temperature was highest in spring, followed in winter. The precipitation decreased with an extent of 0.27 mm per year. While the precipitation increased slightly in spring, it decreased in summer and autumn.

Key words: Northeast China; Temperature; Precipitation; Characteristics