

东北地区平均、最高、最低气温 时空变化特征及对比分析

孙凤华^{1,2} 杨修群² 路 爽³ 杨素英¹

(1 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110016)

(2 南京大学大气科学系, 南京 210093) (3 沈阳市气象局, 沈阳 110016)

摘 要 东北地区是我国受全球气候变暖影响增温最显著的地区之一, 有其独特的气候变化特点。利用东北地区建国以来较密集的气象观测资料, 运用 Yamamoto 检测、趋势系数、气候倾向率等方法分析了该区域近 44 a 来平均、最高、最低气温的时空变化特征和规律, 并初步探讨了这些变化的差异和可能影响因素。结果表明: 近 44 a 来, 东北地区平均气温存在明显的变暖倾向, 气候变暖趋势存在着季节性和地域性差异。冬季增温最强, 秋季增温最弱; 区域变化表现为在区域中心区域, 即吉林、黑龙江、内蒙古三省交界区增温趋势最明显, 辽宁中部和内蒙古东部的中心靠近边境区域为增温较弱的地区; 最低气温的增温率是最高气温的 2 倍左右。

关键词 中国东北 气温 季节变化 区域变化

分类号 P458 **文献标识码** A

引 言

现有研究成果已经表明东北地区既是气候敏感区也是生态环境的脆弱带^[1~5]。其气候变化既受到全球气候变暖的影响, 又具有本地区的地域性特点。自 50 年代以来, 全国陆续建立了较为密集的气象观测站网, 因此对近 50 a 来的气候变化有较多的研究^[6~7], 针对东北地区的气候研究也取得了一些研究成果, 如孙力等探讨了东北地区夏季旱涝的发生规律及影响机制研究等, 基本集中于对农业生产具有重大影响的夏季旱涝灾害、低温冷害等方面的研究^[8~11]。全球气候模式和对流辐射模式的模拟结果表明最高、最低气温的非对称变化可能源自 CO₂ 浓度的增加, 对陆地生态来说, 最高和最低温度的变化对环境和植物生理活动有着更重要的作用。因此, 在全球升温过程中的最高温度和最低温度的不对称增温越来越得到人们关注^[12~14]。目前, 对东北地区气温, 尤其是最高气温和最低气温的变化研究较少, 对这样一个气候敏感区在全球气候变暖背景下其气候变暖的幅度及季节和区域分布特征缺少较为全面、定量的结论。因此, 本研究对于加深对本区域气候变化的理解和分析气候变化的成因有非常重要的意义, 为进一步开展本地区的气候预测、气候变化影响等研究打好基础。归根结底, 人们更为关心的是气候变暖对人类带来的影响, 包括有利和不利影响, 以及如何适应这种变化^[15~18]。

1 资料和方法

1.1 气候资料及处理方法

本文所用数据均来自国家气象中心。1959~2001 年的辽宁、吉林、黑龙江三省及内蒙古东部范围内所

收稿日期: 2005-01-15; 修改稿日期: 2005-05-11

基金项目: 本文由辽宁省自然科学基金项目(编号: 20042041)资助

第一作者简介: 孙凤华(1963-), 女(汉), 辽宁抚顺, 副研究员, 学士, 现在中国气象局沈阳大气环境研究所, 主要从事区域气候变化和环境气象研究。E-mail: sfh3910839@sina.com

有气象站的月平均气温、月平均最高气温、月平均最低气温。区域内共有气象站 120 个。为提高数据的准确性和分析结果的可信性,使用原始观测数据经过两步筛选:一是各站建站年代参差不齐,本着使所建时间序列尽可能长、入选站点尽可能多的原则,选取 1959 年及以前建站的站点,排除 1960 年及更晚建站的测站,则共入选 93 个,剔除 27 个;二是在分析气温变化时尽可能减少城市热岛效应的影响,去掉城市常住人口 ≥ 50 万的气象观测站,共剔除 19 个,剩余 74 个气象站。

1.2 概念及方法简介

1.2.1 气候倾向率^[19]

趋势变化用一次线性回归方程表示

$$\hat{x} = a_0 + a_1 t$$

计算中 \hat{x} 中取极端气温 $\times 10$, t 为年。 a_1 即为气候倾向率。用于定量描述气候序列的趋势变化特征。

1.2.2 气候趋势系数^[20]

趋势系数能定量给出某种气象要素时间序列的升降程度,它定义为

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}}$$

为 n 年要素序列与自然数列的相关系数, x_i 为第 i 年要素值, \bar{x} 为样本均值。 $\bar{t} = (n+1)/2$ 。 r_{xt} 的正负反映了要素在 n 年内的线性增减趋势。用于定量描述气候趋势变化强弱的空间分布特征。

1.2.3 气候突变 Yamamoto 检测方法^[21]

这种方法通过气候信息与气候噪声之比来检验不同时段平均值的显著差异。定义: $S/N = |E[X_1] - E[X_2]| / (S_1 + S_2)$, $E[X_1]$ 、 $E[X_2]$ 和 S_1 、 S_2 分别代表两个不同时段平均值和标准差。做比较的时段 n_1 和 n_2 可根据需要设定,它们的取值影响 S/N 之比的显著水平,一般对一连续随机变量均匀分段,即 n 取等值。

2 平均气温变化特征

2.1 气候时间序列变化

以筛选出的 74 个气象观测站资料建立了近 44 a 来年和四季的平均气温时间序列。年序列取 1~12 月平均值,冬季用 12 月、1 月、2 月平均值代表,春季、夏季、秋季依次分别用 3~5 月、6~8 月、9~11 月平均值代表。

图 1 为近 44 a 年平均气温时间序列变化。图中虚线为实测值,细实线为 5 a 滑动平均值,粗实线为一元线性回归值。文中对所有的一元线性回归趋势拟和效果进行了检验,均通过了 0.05 的显著水平。总体上,气温存在明显的增加趋势,增温率为 $0.342^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ 。

气温的变化特征为:60 年代中期至 70 年代中期处于 44 a 来的最低温期;自 70 年代中期以来基本进入了持续性增温阶段。尤其在由 80 年代进入 90 年代之际出现了一次跳跃性增温;1959~1988 年年平均气温

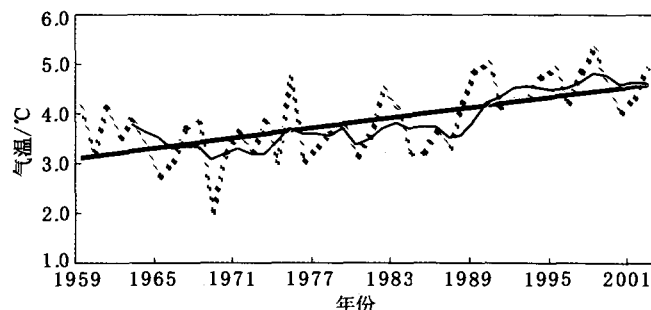


图 1 1959~2002 年年平均气温序列变化

—为一元线性回归趋势 —为 5 年滑动平均 ...实际值

Fig. 1 The annual average air temperature serial change from 1959 to 2002

为 3.5°C , 1989~2002 年年平均气温为 4.58°C 。多年年平均气温增加了 1.08°C , 增温幅度是相当大的, 以后则一直维持较高气温没有下降。可见, 东北地区 90 年代以来的增温非常显著, 是 44 a 以来的最高温期。

采用 Yamamoto 方法进行突变检测分析, n 取等值时, S/N 表达式代入 t 统计量表达式得到 $t > S/N \times \sqrt{n}$ 。在这里取 $n=10$, 则 $S/N > 1$ 时相当于 $|t| > S/N \times 10^{1/2} = 3.162 > t_{0.01} = 2.878$, 达到 $\alpha=0.01$ 的信度水平, 认为在基准点发生突变; $S/N > 2$ 时, $|t| > 6.324$, 超过 $\alpha=0.0001$ 的显著水平, 认为在基准点发生强突变。

Yamamoto 方法是以两段子序列的均值差的绝对值为气候变化的信号, 而它们的变率(用标准差 S_1 和 S_2 表示)则视为噪声。它是用检验两子序列均值的差异是否显著来判别突变的。

对近 44 a 平均气温序列, 以滑动方式计算出 S/N 值序列的变化见图 2, 两条直线分别为突变和强突变界。可以看出, 自 1959~2002 年共发生 2 次气温突变, 时段是 1972~1974 年和 1987~1989 年, 两个时期的 S/N 值分别超过了 1 和 2 的界线值。后者达到了强突变标准, 所做的突变检测分析证明了 80 年代后期的较强突变性增温。

2.2 气候序列季节变化

以上分析得出了研究区域平均气温变化趋势。但在总体趋势下, 这种变化还存在着季节差异。平均气温的春季、夏季、秋季、冬季的一元线性回归拟合方程分别为

$$\text{春季: } y = 0.0398x + 4.4314$$

$$\text{夏季: } y = 0.0239x + 19.832$$

$$\text{秋季: } y = 0.0178x + 4.1122$$

$$\text{冬季: } y = 0.0547x - 15.95$$

近 44 a 来, 一年四季均为增温趋势。四季中以冬季增温最为明显, 气候倾向率为 0.547; 秋季增温最弱, 气候倾向率为 0.178, 前者约是后者的 3 倍。春季和夏季的增温强度低于冬季, 分别为 2、3 位。

2.3 气候变化的区域分布特征

图 3 为近 44 a 气温趋势系数分布, 全区域趋势系数均为正值, 即全区域都表现为增温趋势, 但增温强弱存在明显的地区差异。在研究区域的中心部位, 即吉林、黑龙江、内蒙古三省交界区增温趋势最明显, 强中心趋势系数值达到 0.6 以上。辽宁中部和内蒙古东部的中心靠近边境区域为增温较弱的地区, 弱中心趋势系数在 0.46 以下。强增温区对应着科尔沁沙地附近和盐渍化土地东扩区, 这种变暖的趋势可能会对区域中部平原的干旱少雨地区(生态脆弱区)的生态环境更为不利。

3 最高气温、最低气温变化特征

3.1 时间序列的年、季变化特征

图 4(a~b) 分别为逐年最高气温(T_M)和最低气温(T_m)1959~2002 年序列变化, 虚线为实测值曲线, 粗实线为一元回归趋势, 细实线为多项式拟合曲线。从年变化趋势来看, 近 44 a 最高气温和最低气温均有明显的增温趋势, 但为曲线式上升。两者的多项式拟合曲线较为类似: 1960 年左右为一相对高温期, 1959~1969 年为降温趋势, 都是在 1970 年左右达到最小值。进入 70 年代至今基本为持续性增温过程, 近期为 44 a 来的最高峰, 增温十分明显。

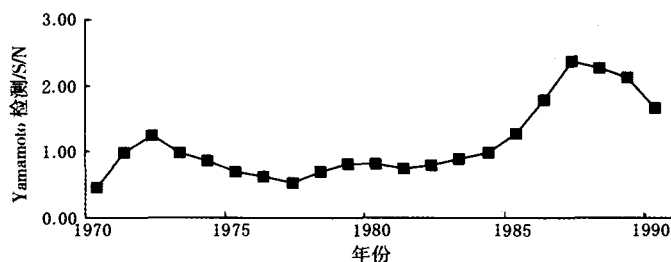


图 2 1959~2002 年年平均气温 Yamamoto 检测

Fig. 2 The Yamamoto test of annual average air temperature from 1959 to 2002

年及不同季节最高、最低温度的增温强弱用趋势系数的大小反映(见表 1)。可见,最高气温与最低气温的增温幅度不同,年和各个季节最低气温的增温幅度均明显高于最高气温, T_m 的增温较强, T_M 的增温较弱。 T_m 的年趋势系数为 0.73, T_M 为 0.42, 两者相差近 1 倍。这就意味着夜间气温有较强的增温, 白天有较弱的增温, 说明温度日较差在逐渐减小。

共同点是每个季节的 T_m 的增温都明显强于同一季节 T_M 的增温, 所有季节 T_m 和 T_M 的趋势系数都为正值, 即近 44 a 来最高气温和最低气温在所有的季节都有变暖趋势。不同点是各个季节的增温的强度不同,

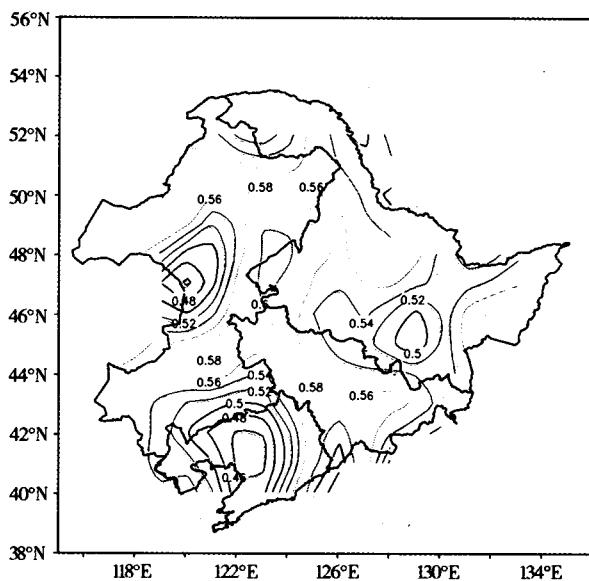


图 3 1959~2002 年年平均气温趋势系数分布

Fig. 3 The trends coefficient distribution of annual average air temperature from 1959 to 2002

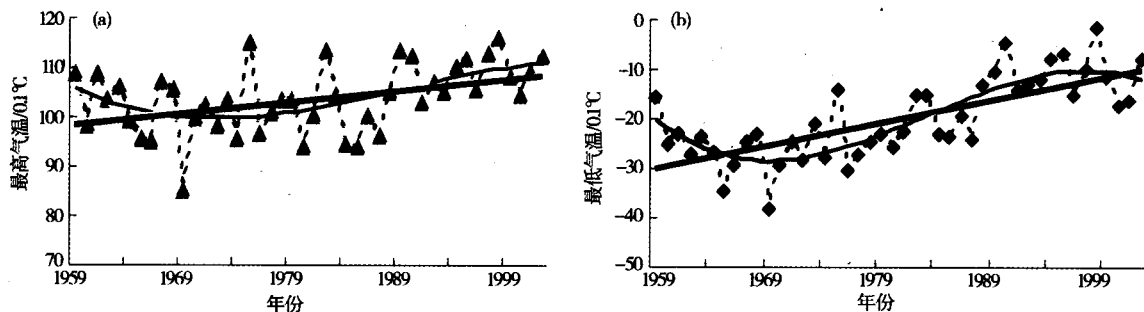


图 4 1959~2002 年东北地区逐年极端气温序列变化

...▲...最高温度 ...◆...最低气温 ——多项式(拟合曲线)

(a) 最高气温 (b) 最低气温

Fig. 4 The maximum and minimum temperature change of year by year in 1959~2002

表 1 东北地区年和四季最高气温和最低气温趋势系数

Table 1 The trends coefficient of maximum and minimum temperature in Northeast area

	最高气温	最低气温	趋势系数之差(T_m-T_M)
年	0.42	0.73	0.31
春季	0.28	0.58	0.30
夏季	0.28	0.60	0.32
秋季	0.08	0.41	0.33
冬季	0.34	0.63	0.29

两者都是冬季增温最强,春、夏季次之,秋季最弱。最低气温以冬季增温最强,趋势系数达到 0.63。其下面依次为春季、夏季,趋势系数为 0.58~0.60。增温最弱的秋季为 0.41;最高气温增温趋势也表现为冬季最强,趋势系数为 0.34。春季和夏季次之,趋势系数均为 0.28。秋季增温也最弱,趋势系数只有 0.08,只有微弱的增温。

3.2 增温的区域和季节分布特征

图 5(a~b)分别为 1959~2002 年最高气温和最低气温趋势系数区域分布图,两者增温趋势强弱的地域分布并不一致。

最高气温的增温强弱分布基本为南部、北部强,中部弱的分布型。最高气温的强增温区位于内蒙古的最北端,靠近边境地区,中心趋势系数最高值达到 0.55 以上。区域中部横贯东西为一弱增温带,中心趋势系数最低值在 0.25 以下。最低气温增温强弱的分布基本与最高气温呈相反分布型。区域中心增温最强,中心趋势系数为 0.75;东南和西北为 2 个弱增温区,中心趋势系数在 0.5 以下。在整个区域内,最低气温的增温强度普遍高于最高气温,趋势系数一般高出 0.2~0.25 左右。最高气温和最低气温的这种不一致分布型造成区域中心的气温日较差缩小更加明显。

另外,还对四个季节的趋势系数区域分布进行了分析(图略)。上面讨论了最低气温和最高气温增温趋势的区域差异。此外,增温强弱还存在着季节差异。最低气温各季增温趋势地域分布形势比较类似,在内蒙古、吉林和黑龙江三省交界处有一明显的增温区,几乎一年四季均存在,范围较大且非常稳定,以夏、春季强度较强,冬、秋季较弱,趋势系数中心值依次为 0.70、0.65、0.55、0.45。弱增温区基本维持在辽东半岛地区。这说明各季节最低气温增温趋势存在地域差异。总体来说,冬季全区普遍增温明显,没有很剧烈的增温区,地域差异较小。而夏季增温强弱地域差异明显。

最高气温增温强弱分布较复杂,总体来说地域分布差异较小,等值线稀疏。四季节的分布特点是:最高气温的强增温区大致分布在内蒙古靠近边境一带,春季、冬季面积较大、较强,夏季、秋季面积较小、较弱。春季的弱增温区位于吉林省东部和黑龙江东南部;夏季在继续维持原有的弱增温区基础上,辽宁西部有又增加一个,面积和强度与之类似;秋季除面积较小的强增温区外,趋势系数没有太大差异;冬季弱增温区则移至全区的中心部位,且面积较大。

最低气温的趋势系数在各个季节都远大于对应季节最高气温的趋势系数。最低气温的年平均趋势系数在 0.5~0.8 之间,而最高气温的年平均趋势系数在 0.3~0.6 之间。冬季,在区域中心部位(内蒙古、吉林和黑龙江三省交界处)存在最低气温趋势系数的高值中心和最高气温趋势系数的低值中心,即在这个区域冬季

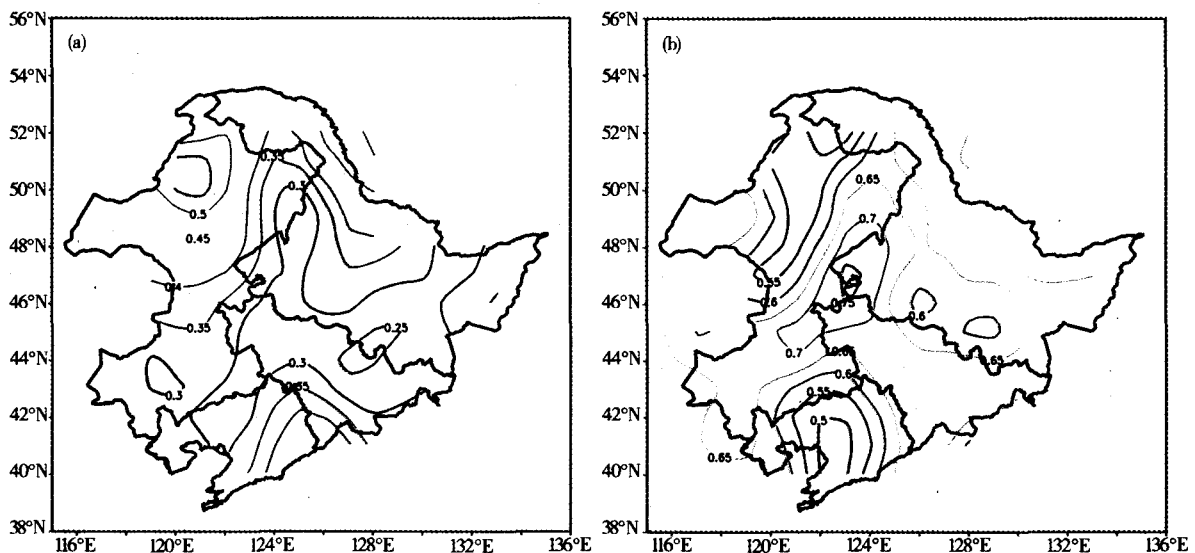


图 5 东北地区 1959~2002 年最高(a)、最低(b)气温趋势系数分布

Fig. 5 The distribution of the coefficients of extreme temperature trends in Northeast China between 1959~2002

温度日较差减小最为显著。

由以上分析,最高、最低气温的增温趋势在空间上也存在着非对称分布。东北整个区域内都存在着冬季夜间的明显增温,寒冷气候会有所改善,且以区域中心部位改善最为明显。

4 结 论

(1)东北地区近 44 a 来在整个区域的所有季节均存在增温趋势,且增温强弱存在区域、季节变化。区域分布为区域中心增温较强,南部、北部较弱;季节变化为冬季最强,秋季最弱,前者是后者的 3 倍左右。

(2)最高、最低气温均为增温趋势,以最低气温增温更明显。两者增温的强弱在时间和空间上均表现出不一致性。

参 考 文 献

- 1 Houghton J, Ding Y, et al. . Climate Change: Scientific Basis. In: IPCC TAR Working Group 1. Cambridge University Press, 2001.
- 2 丁一汇,戴晓苏. 中国百年来的温度变化. 气象, 1994, 20(12), 19~26
- 3 王绍武,叶瑾琳,龚道溢,等. 近百年中国年气温序列的建立. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392~401
- 4 廉毅,高枫亭,任红玲,等. 20 世纪 90 年代中国东北地区荒漠化的发展与区域气候变化. 气象学报, 2001, 59(6): 730~736
- 5 郑祚芳,陈家华,祁文. 湖北省近 50 a 气候变化特征分析. 气象科学, 2002, 22(3): 279~286
- 6 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近 45 a 来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 257~271
- 7 董谢琼,段旭. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势. 气象科学, 1998, 18(3): 239~247
- 8 孙力,安刚,丁立. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究. 地理科学, 2002, 22(3): 311~316
- 9 孙力,安刚. 北太平洋海温异常对中国东北地区旱涝的影响. 气象学报, 2003, 61(3): 346~353
- 10 王敬方,吴国雄. 持续性东北冷夏的变化规律及相关特征. 大气科学, 1997, 21(5): 523~532
- 11 符淙斌. 北半球冬春积雪面积与我国东北地区夏季低温的关系. 气象学报, 1980, 38(2): 187~192.
- 12 屠其璞. CO₂ 浓度增加对我国的气候变化趋势的影响. 气象科学, 1990, 10(1): 1~7
- 13 Cao H X, Mitchell J B F, Lavery J R. Simulated diurnal range and variability of surface temperature in a global climate, model for present and doubled CO₂ climates. J. Climate, 1992, 5(9): 920~943
- 14 何卷雄,丁裕国,姜爱军. 江苏省月平均最高、最低气温周期振动的谱特征. 气象科学, 2002, 22(2): 159~166
- 15 商兆堂,王肖成,杨力,等. 气候变暖对盐城市小麦生产的影响及其对策. 气象科学, 1999, 19(1): 92~98
- 16 徐文铎,邹春静,卜军. 全球变暖对中国东北植被的影响及对策. 地理科学, 1996, 16(1): 26~36
- 17 王石立,庄立伟,王馥棠. 近 20 a 气候变暖对东北农业生产水热条件影响的研究. 应用气象学报, 2003, 14(2): 152~164
- 18 张耀存. 干旱半干旱地区植被气候效应的数值研究. 气象科学, 1994, 14(2): 99~105
- 19 Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: recent trend and an update to 1978. Journal of Climate, 1988, 1: 654~660
- 20 施能,陈家其,屠其璞. 中国近 100 a 来 4 个年代际的气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431~439
- 21 Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. Climatic jump, a hypothesis in climate diagnosis. J. Met. Soc. Japan, 1985, 63: 157~160

THE CONTRAST ANALYSIS ON THE AVERAGE AND EXTREMUM TEMPERATURE TREND IN NORTHEAST CHINA

Sun Fenghua^{1,2} Yang Xiuqun² Lu Shuang³ Yang Suying¹

(1Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016)

(2Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

(3Shenyang Meteorological Bureau, Shenyang 110016)

Abstract Northeast lies on the highest latitude in China. Its warming trends is one of the most remarkable area of climate change under the background of global warming, and has particular climate change. The data of denser station in Northeast China since the establishment are employed to analyse the climate change of the average and extremum temperature during recent 44 years with Yamamoto check method. Climate trend coefficients, etc. the possible effects of this change are discussed preliminarily. The results show that warming trend exists under the area. The warming trends have the season difference and region difference. It behaves stronger in winter and weaker in autumn. The increment of minimum temperature is twice of that of maximum.

Key words Northeast China Temperature Season difference Region difference