

文章编号: 1003 - 7578(2009)07 - 025 - 06

近 50 年东北地区的气候变化事实检测分析*

赵春雨¹, 任国玉², 张运福¹, 王颖¹

(1. 沈阳区域气候中心, 沈阳 110016; 2 国家气候中心, 北京 100081)

提 要:采用国家基准气候站和基本气象站的地面资料,系统地分析了中国东北地区 1956 年以来近地表主要气候要素演化的时间和空间特征。结果表明:东北近 50 a 来年平均气温变暖幅度约为 1.5^oC, 增温速率接近 0.3 / (10 a), 比北半球和全国同期平均增温速率明显偏高。气温变暖主要发生在最近的 20 余年。1956 年以来东北平均降水量呈略减少趋势, 降水变化的空间特征明显而相对稳定, 黑龙江的漠河、内蒙古的海拉尔、赤峰的个别地区呈略增加以外, 其他大部地区呈减少趋势, 尤其黑龙江东部、吉林西部以及辽宁东南部地区降水减少明显。在降水量减少的同时, 降水日数也同时减少。分析还发现, 近 50a 来东北平均的日照时数、平均风速、蒸发量、相对湿度等气候要素均呈显著下降趋势。各不同的气候要素都存在着年际和年代际变化振荡周期, 对这些气候要素进行了突变检测, 发现年平均气温在 1988 年发生了明显突变, 气温突变首先是以最低气温突变开始的, 说明气候变暖是以最低气温变暖开始的。降水量在 1961 年发生突变, 降水量由多减少; 降水日数在 1994 年发生了由多转少的突变; 日照时数突变发生在 1978 年, 之后日照时数呈变少趋势。

关键词:东北地区; 气候变化; 事实检测

中图分类号: P467

文献标识码: A

东北地区处于北半球的中高纬度, 也是我国纬度最高的地区, 同时也是我国气候变化最明显的地区。近年来针对东北地区气候变化的工作有不少研究, 孙凤华的研究认为东北近百年升温趋势明显, 降水呈减少趋势。近 44 年气候有暖干化趋势^[1-4]。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, 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^[5-7], 而针对东北夏季降水的时空分布及变化规律进行研究的也不少^[8-11]。这些工作对于认识东北气候变化规律, 非常重要。以往的研究大多是对气温和降水的单一气象要素, 而且所用资料的长度和台站数都不尽一致。文中将对东北地区的平均气温、最高气温、最低气温、降水量、0.1mm 降水日数、蒸发量、日照时数、平均风速、平均相对湿度等多个气象要素的气候变化进行全面地分析, 更清楚地认识东北地区气候变化的事实, 为应对气候变化提供科学的依据。

1 资料与方法

1.1 气候资料及处理方法

文中所用数据来自国家气候中心。1956 ~ 2005 年辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古东四盟范围内的常规地面气象资料, 包括平均气温、最高气

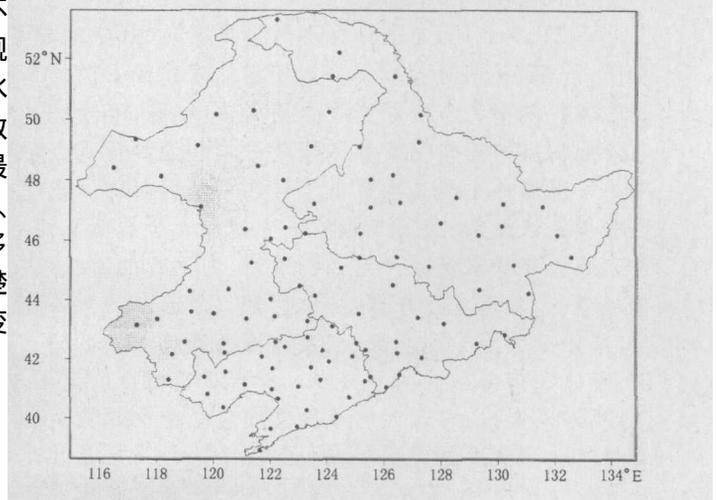


图 1 东北 103 个气象站分布

Fig 1 The 103 representative meteorological stations in Northeast China

* 收稿日期: 2008 - 5 - 6。

基金项目: 国家科技支撑计划课题 "气候变化的检测和预估技术研究 (课题编号: 2007BAC03A01) 资助。

作者简介: 赵春雨 (1968 -), 女, 辽宁抚顺人, 硕士, 高级工程师, 从事气候变化研究。 E - mail: springrain@cnscn@yahoo.com.cn

温、最低气温、降水量、0.1mm降水日数、蒸发量、日照时数、平均风速、平均相对湿度等 9 个气象要素的月平均值。站点选择是根据分布均匀、资料年代相对较长的原则(图 1),共选取了 1956 年及以前建站的 103 个站。气候值采用 1971~2000 年的 30 年气候标准值。

1.2 趋势系数

x_i 为样本量为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 的一元线性回归方程:

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

变量 x_i 与变量 t_i 的相关系数 r 称为趋势系数。趋势系数表示变量与时间的密切程度,是一个无量纲量,它消去了气象要素的均方差对线性回归系数数值大小的影响,从而可以在不同地理位置的不同气象要素之间比较长期趋势变化的大小。但气象要素的变化可能是它们自然变动,只有当计算的趋势系数达到或超过统计的显著性标准时,这种长期变化才可能认为是超过自然变率的一种气候异常变化。所以对计算的趋势系数还需进行统计检验,文中采用了 t 检验^[12]。

1.3 Mann - Kendall 方法

气候突变现象及其理论研究是近代气候学的一个新兴的研究领域。文中采用研究气候均值突变的 Mann - Kendall 方法进行各要素的突变检测。对于平稳随机序列 X_i , ($1 \leq i \leq N$), 构造统计量:

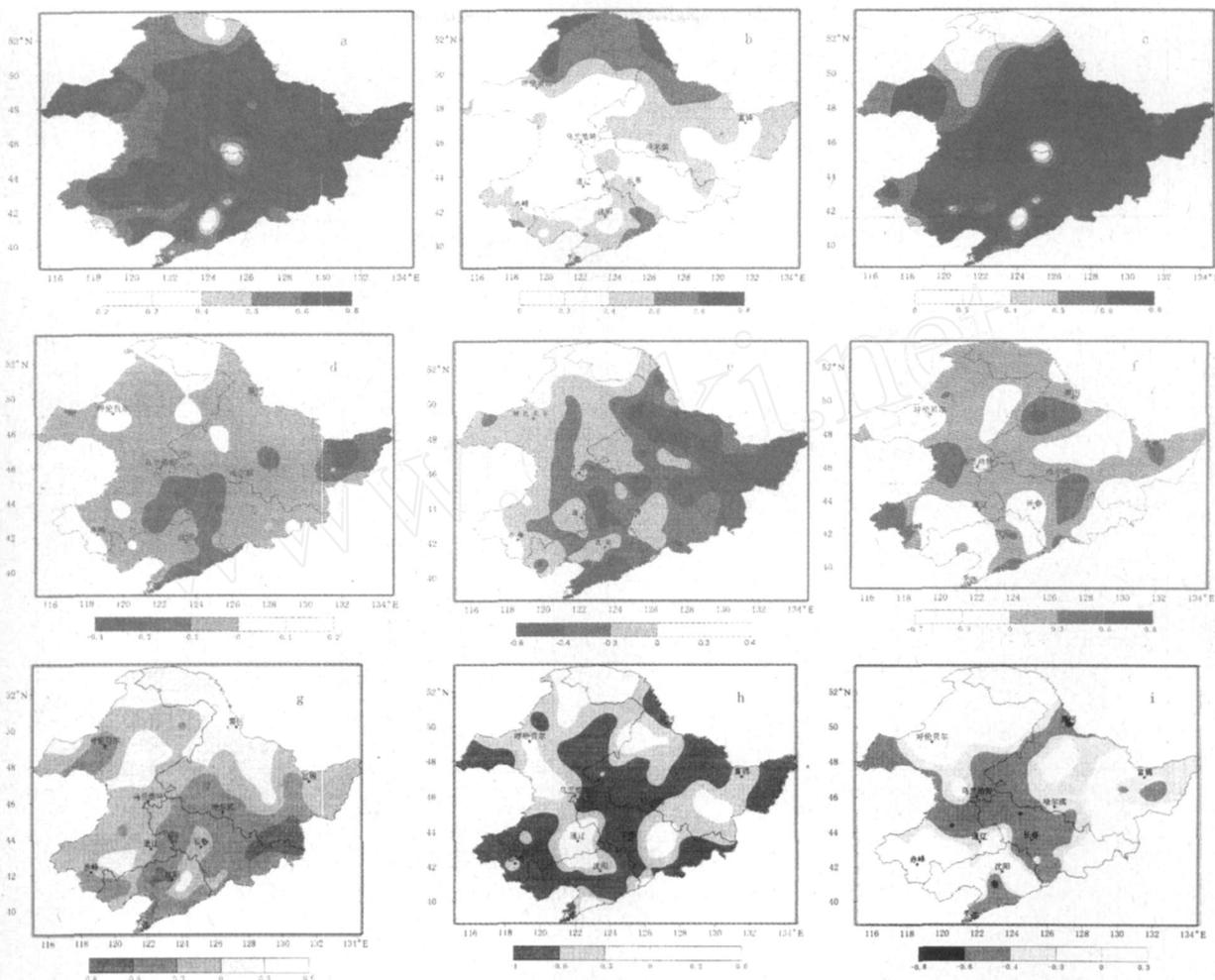
$$U(d_k) = \frac{d_k - E(d_k)}{(\text{Var}(d_k))^{1/2}}$$

式中: $d_k = M_i$, M_i 是 1 至 i 之间小于 X_i 的样本数,即 $M_i = \{X_j: j < i \text{ 且 } X_j < X_i\}$ 。 $E(d_k)$ 为均值, $\text{Var}(d_k)$ 为方差。

在原序列随机平稳假设下, d_k 的分布渐进正态, $U(d_k)$ 则为标准正态分布。其概率 α 可以通过计算或查表获得。给定显著水平 α_0 。若 $\alpha > \alpha_0$, 则接受序列无变化的原假设;若 $\alpha < \alpha_0$, 则拒绝原假设。把 $U(d_k)$ 沿时间轴绘成曲线 C_1 。而后将序列反向,计算出 $U(d_k)$, 绘成曲线 C_2 , 若 C_1 与 C_2 交叉点位于置信区内, 则此点即为突变点的开始。当 C_1 存在明显的变化趋势、超过置信线时, 或是突变增加, 或是突变减少。

2 各气象要素的变化倾向

图 2(a-i) 为东北地区各气候要素近 50 年的趋势系数。图 a 为年平均气温的趋势系数分布图, 可以看出, 近 50 年东北各地年平均气温均表现为一致的增暖趋势, 且大部分地区变暖趋势非常明显。表明东北区域气候变化与全球变暖。图 2(b) 和图 2(c) 分别为最高气温和最低气温的趋势系数分布图。可以看出最低气温的变暖幅度和区域较平均气温和最高气温更大, 最低气温的增温趋势和图 a 基本相同, 表明年平均气温增温主要是由最低气温的增加引起的。东北大部地区最高气温的增温趋势明显小于最低气温, 但在黑龙江北部, 最高气温的上升趋势大于最低气温。从年降水量的趋势系数分布图(图 2d) 可以看出, 东北地区年降水量除黑龙江的漠河、内蒙古的海拉尔、赤峰的个别地区呈略增加以外, 其他大部地区呈减少趋势, 尤其黑龙江东部、吉林西部以及辽宁东南部地区降水减少明显。从图 e 降水日数分布图可以看出, 降水日数除东北北部、内蒙赤峰西部略增加以外, 其他大部地区降水日数均为减少趋势, 尤其东北东部、辽宁东南部地区明显减少。降水日数减少的范围与降水量大致相同, 但减少趋势大于降水量。从图 2(f) 可以看出, 东北大部地区蒸发量呈增加趋势, 但东北南部、辽宁东部、吉林东部和西南部以及内蒙的海拉尔地区蒸发量为明显减少趋势。比较降水量和蒸发量的趋势系数分布图可以看出, 东北大部地区在降水减少的同时, 蒸发量有增加的趋势, 但是在东北南部、辽宁东部、吉林东部和西南部以及内蒙的海拉尔地区在降水减少的同时, 蒸发量也为明显减少趋势, 而在黑龙江北部降水微弱增加的地区, 蒸发量呈明显的增加趋势, 这可能和气候变暖有关。从图 2(g) 年日照时数趋势分布图可看出, 东北大部地区日照时数呈减少趋势, 但东北北部地区日照时数为增加趋势。从图 2(h) 看出, 平均风速除内蒙古的通辽等个别地区略增大以外, 东北大部地区年平均风速呈减小趋势, 尤其松辽平原、辽宁西部及内蒙的赤峰地区年平均风速减小非常明显。从图 i 可看出, 年平均相对湿度东北中部大部地区以及辽宁东南部沿海地区减小较明显, 其他地区年平均相对湿度呈略增大趋势。



(a) 年平均气温, (b) 年平均最高气温, (c) 年平均最低气温,
 (d) 年降水量, (e) 年降水日数, (f) 年蒸发量, (g) 年日照时数, (h) 年平均风速, (i) 年平均相对湿度

图 2 1956 - 2005 年东北地区各气象要素趋势

Fig 2 Tendency of climate parameters of Northeast China from 1956 to 2005

3 各气象要素的年际和年代际变化

对东北区 103 个测站下面给出各要素序列 1956 - 2005 年的历史变化曲线图,分析各要素的年际和年代际变化。近 50 年东北地区年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温均呈明显上升趋势,气候趋势倾向率分别为 $0.3 / 10a$ 、 $0.2 / 10a$ 、 $0.4 / 10a$,最低气温的变暖速率大于最高气温,说明东北气候变暖以夜间增温为主。气温自 1988 年以来变暖,最近 20 年为近 50 年来最暖的时期。近 50 年东北年降水量呈略减少趋势,减少速率为 $15mm / 10a$,在降水量减少的同时降水日数也在减少,减少速率为 $2d / 10a$ 。降水量具有年代际变化特点,1950 年代中期 - 1960 年代中期、1980 年代中期 - 1990 年代中期为降水偏多时期;1960 年代中期以后至 1980 年代初期、1990 年代末期以来为降水偏少期。气温升高、降水减少,说明近 50 年东北地区气候向暖干化发展。近 50 年东北地区年蒸发量呈减少趋势,减少速率为 $4mm / 10a$,这可能和气温升高有关。近 50 年东北地区年日照时数减少速率为 $30h / 10a$;年平均风速减少速率为 $1m / s / 10a$,尤其 90 年代以来平均风速明显减少;年平均相对湿度也呈减少趋势,减少速率为 $3\% / 10a$ (表 1,图 3)。

表 1 东北地区各气候要素气候变化倾向率

Tab 1 Trends of climate change in Northeast China

要素	气温 ($^{\circ}C$)	最高气温 ($^{\circ}C$)	最低气温 ($^{\circ}C$)	降水量 (mm)	降水日数 (d)	蒸发量 (mm)	日照时数 (h)	风速 (m/s)	相对湿度 (%)
倾向率	0.3	0.2	0.4	-15	-2	-4	-30	-1	-3%

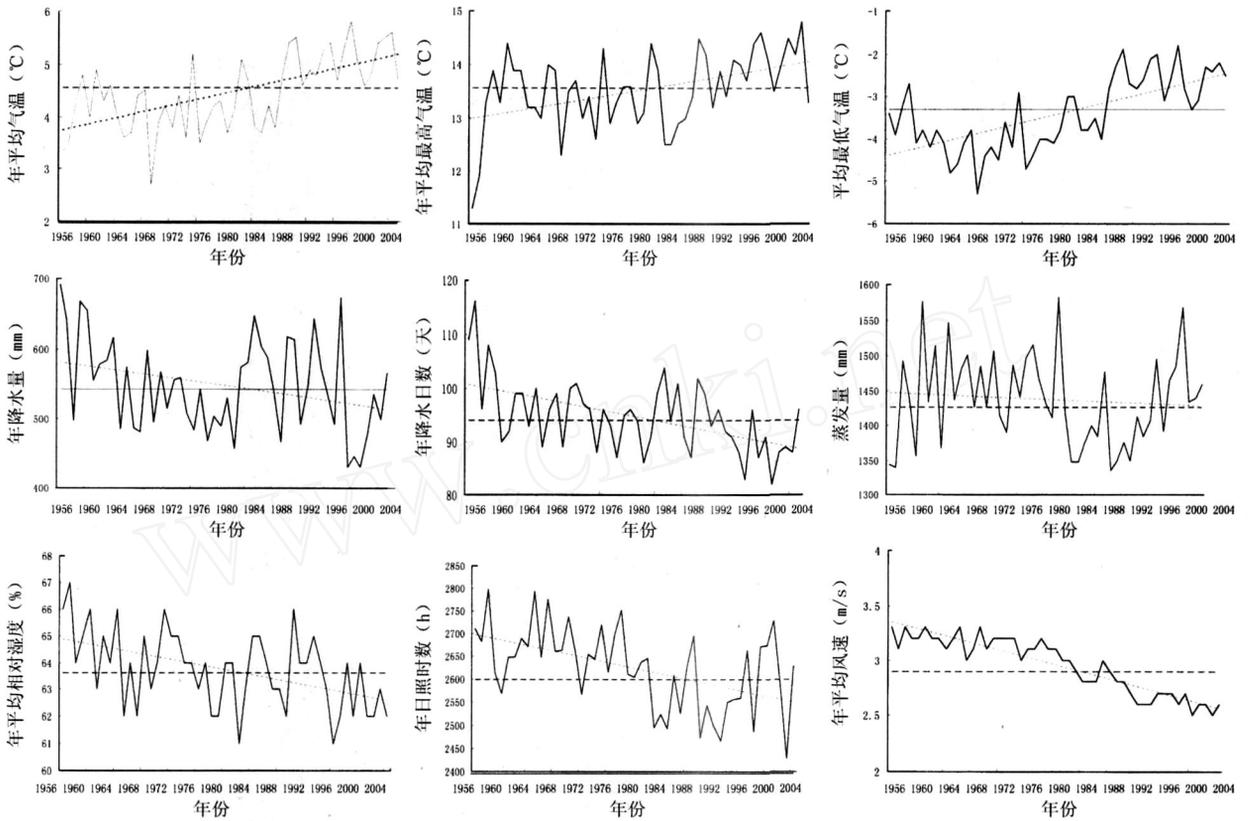
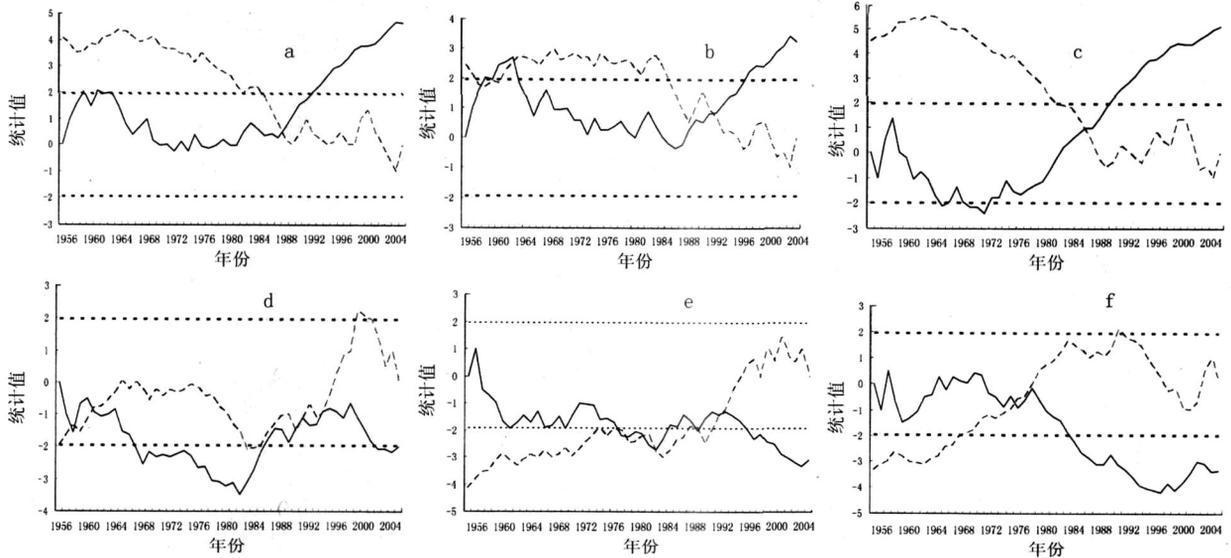


图 3 1956 - 2005年东北地区各气象要素变化

Fig 3 Climate parameter changes in Northeast China from 1956 to 2005



(a) 年平均气温, (b) 年平均最高气温, (c) 年平均最低气温, (d) 年降水量, (e) 年降水日数, (f) 年日照时数

图 4 东北各气候要素突变分析

Fig 4 Climate abrupt change in Northeast China

4 各要素突变的分析

利用 Mann - Kendall检验 (简称 M - K检验)方法,对东北地区各气温等要素的平均序列进行了突变检验和分析。图 4(a - f)给出各要素的序列的 M - K检测图,各要素均存在不同程度的突变现象。从图 4

(a)可以看出,东北地区年平均气温表现出明显的显性增温趋势,1988年气温发生了一次明显的突变,其后气温达到一个更显著的增暖时期。从图 4(b)和图 4(c)可以看出,最高气温在 1993 年发生了明显突变,最低气温在 1986 年发生明显突变,较最高气温发生突变的时间早,说明气候变暖首先是以最低气温变暖开始的。图 4(d)可以看出,东北地区年降水量突变发生在 1961 年,1961 年为降水由多到少的转折点,年降水量 20 世纪 50 年代中期至 60 年代中期为降水偏多时期、60 年代中期以后至 80 年代初期降水减少,80 年代中期至 90 年代中期之前为降水偏多时期,90 年代中期以来降水显著偏少。图 4(e)可以看出,降水日数在 1994 年发生了突变,降水日数由多转少。图 4(f)为日照时数突变检测图,日照日数在 50 年代至 70 年代为偏多时段,1978 年日照时数发生了突变,之后日照时数转为偏少时段。年蒸发量、年平均风速、年平均相对湿度无明显突变。

通过以上分析可知,东北地区多数气象要素的突变时间都发生在 20 世纪 70 年代末期以后(表 2),尤其年平均气温的突变时间发生在 80 年代中期以后。根据 IPCC 的工作报告可知,20 世纪 70 年代后期全球发生了一次气温突变,可见东北地区的气温突变要晚于全球气温平均气温的突变。

表 2 各气候要素的突变时间

Tab 2 Climate abrupt change point in Northeast China

	气温	最高气温	最低气温	降水量	降水日数	日照时数
突变时间	1988	1993	1986	1961	1994	1978

5 各气候要素的关联

为了分析东北地区不同要素之间的关系,计算了各要素平均序列之间的相关系数。年平均气温与降水日数、日照时数、平均风速、相对湿度有明显的负相关,即在风速大、湿度大、降水日数多时,气温低;而风速小、湿度小、降水日数少时,气温高。年降水量与蒸发量、日照时数、最高气温呈负相关,说明蒸发量多、日照时数多、最高气温高时,降水量少,和降水日数、相对湿度成正相关。蒸发量和日照时数、最高气温呈显著的正相关,和相对湿度、降水量呈显著负相关。相对湿度和气温、最高气温呈显著负相关,说明气温高、湿度小,和降水量、降水日数呈正相关,即降水多、湿度大(表 3)。

表 3 各要素相关系数

Tab 3 Correlation coefficient of all climate parameters

	气温	最高气温	最低气温	降水量	降水日数	蒸发量	日照时数	平均风速	相对湿度
气温	1	0.88	0.89	-0.19	-0.53	0.15	-0.30	-0.67	-0.34
最高气温		1	0.58	-0.39	-0.68	0.45	-0.09	-0.44	-0.48
最低气温			1	0.04	-0.28	-0.18	-0.42	-0.74	-0.17
降水量				1	0.73	-0.067	-0.39	0.17	0.64
降水日数					1	-0.57	-0.18	0.43	0.79
蒸发量						1	0.58	0.20	-0.56
日照时数							1	0.52	-0.17
平均风速								1	0.30
相对湿度									1

6 小结

(1)近 50a 东北气候变暖趋势明显,东北各地年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温均表现为一致的增暖趋势;其中年平均最低气温的变暖范围和程度大于年平均气温和年平均最高气温,说明夜间增温对气候变暖的贡献最大。

(2)近 50a 东北地区年降水量除黑龙江的漠河、内蒙古的海拉尔、赤峰呈略增加以外,其他大部地区降水呈减少趋势,尤其黑龙江东部、吉林西部以及辽宁东南部地区降水减少明显。降水日数大部地区呈减少趋势。

(3)近 50a 东北地区年蒸发量、日照时数、平均风速、相对湿度均呈减少趋势。

(4)各气候要素都存在着年际变化和年代际变化。除年平均风速无明显突变以外,气温、降水、蒸发、日照时数、相对湿度都存在着明显的突变。

(5)各气候要素之间存在着相关,年平均气温与降水日数、日照时数、平均风速、相对湿度有明显的负

相关。年降水量与蒸发量、日照时数、最高气温呈负相关。蒸发量和日照时数、最高气温呈显著的正相关,和相对湿度、降水量呈显著负相关。相对湿度和气温、最高气温呈显著负相关。

参考文献

- [1] 孙风华,袁健,路爽. 东北地区近百年气候变化及突变检测 [J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 101 - 108.
- [2] 孙风华,杨素英,陈鹏狮. 东北地区近 44 年的气候暖干化趋势分析及可能影响 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 751 - 755.
- [3] 孙风华,杨修群,路爽,等. 东北地区平均、最高、最低气温时空变化特征及对比分析 [J]. 气象科学, 2006, 26(2): 157 - 163.
- [4] 孙风华,任国玉,赵春雨,等. 中国东北地区及不同典型下垫面的气温异常变化分析 [J]. 地理科学, 2005, 25(2): 167 - 171.
- [5] 孙力,安刚,丁立. 中国东北地区夏季旱涝的分析研究 [J]. 地理科学, 2002, 22(3): 311 - 316.
- [6] 孙力,安刚. 北太平洋海温异常对中国东北地区旱涝的影响 [J]. 气象学报, 2003, 61(3): 346 - 353.
- [7] 孙力,安刚,丁立,等. 中国东北地区夏季降水异常的气候分析 [J]. 气象学报, 2000, 58(1): 70 - 82.
- [8] 龚龚,陆维松,陶丽. 东北春夏季降水气温异常的时空分布以及与旱涝的关系 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 349 - 357.
- [9] 贾小龙,王谦谦,周宁芳. 近 50a 东北地区夏季降水异常的气候特征分析 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(2): 164 - 171.
- [10] 韩艳凤,江志红,王冀,等. 东北地区夏季降水时空变化特征 [J]. 气象科技, 2005, 33(2): 136 - 141.
- [11] 龚强,汪宏宇,王盘兴. 东北夏季降水的气候及异常特征分析 [J]. 气象科技, 2006, 34(4): 387 - 393.
- [12] 高鸿,施能,白彬人,等. 1948 - 2001 年 12 - 2 月全球陆面降水长期变化特征与旱涝气候 [J]. 气象科学, 2004, 24(4): 387 - 396.

Climate change of the Northeast China over the past 50 years

ZHAO Chunyu, REN Guoyu, ZHANG Yunfu, WANG Ying

(Shenyang Regional Climate Center, Shenyang 110016, P. R. China)

Abstract: A data set of mean temperature, precipitation and other climate parameters for 103 stations was used to analyze the climate change in Northeast China. The data set has been processed more carefully. Analyses have been made for annual mean temperature, precipitation, evaporation, sunshine duration, wind speed, and the relative humidity by using some climatic statistical method.

The analyses showed that annual mean surface air temperature in Northeast China as a whole rose by about 1.5 °C for the last 50 years, with a warming rate of about 0.30 °C / 10 a. The warming in the later half 20th century was more rapid than the average values of the Northern Hemisphere and the mainland of China. The most evident warming occurred in winter and spring as expected. A long term slight decreasing trend of averaged annual precipitation was seen in the past 50 years in Northeast China, meanwhile the days of precipitation was decreasing. Annual mean precipitation of most parts in Northeast China decreased, especially the largest drop in precipitation occurred in the east of Heilongjiang Province, the west of Jilin province, the southeast of Liaoning province, however, a slight wetting trend in some places, such as Mohe, Hailaer and Chifeng city. Since 1956, the averaged sunshine duration, evaporation, wind speed and relative humidity have had a significant trend to decrease. Interannual and interdecadal changes of all climate parameters were analyzed, and Mann-Kendall method was used to test the climatic abrupt change. The abrupt change point of annual mean temperature occurred in 1988. The climatic abrupt change of annual mean minimum temperature began earlier than maximum temperature. For precipitation, precipitation days and sunshine duration, the climatic abrupt change points were in 1961, 1994 and 1978; after abruptness the trend of these climate parameters decreased.

Key words: Northeast China, climate change, trend testing