

中国东北地区及不同典型下垫面的 气温异常变化分析

孙风华¹, 任国玉², 赵春雨³, 杨素英¹

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 国家气象中心, 北京 100081;
3. 辽宁省气象台, 辽宁 沈阳 110016)

摘要:利用6个代表站1905~2001年较长时期的月平均气温,对缺测年代的数据进行了插补,建立了东北地区近百年平均季、年气温序列。对所建温度序列与同一区域内26个代表站平均温度序列的近46年同期资料做了相关分析,检验了序列的代表性。在所建序列基础上,分析了东北百年气温的年代、年和季节等不同时间尺度变化特点和地域分布特征,采用谱分析方法探讨了序列的周期性变化特征,并采用Mann-Kendall和Yamamoto方法对经过滑动平均的气温序列进行了突变分析。结果表明,东北近百年年平均温度表现为明显的增暖趋势,但为起伏式增暖;冬季增温非常强烈,夏季在1995年以前不仅没有升温,反而有明显降温趋势,但1995年以后夏季气温明显升高,春秋的升温趋势与冬季类似,但幅度小得多;在区域内,增温强度似乎并不随纬度增大,纬度较低的沈阳增温最强;三种典型下垫面中以山地的增温幅度最强;功率谱分析表明了百年气温变化的2.3年和4.2年的主周期,其中2.3年周期比较显著。

关键词:东北地区;气温;变化规律;突变检测

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2005)02-0167-05

中国位于气候变化敏感的东亚季风区,生态环境脆弱,全球气候变化尤其气候变暖对中国人类生存环境的影响非常严重。而东北地区又是中国气候变暖最为剧烈的地区之一,政府已经确定了振兴东北老工业基地的工作重点,该地区将面临着经济高速发展的又一新时期,必然伴随着生态环境的改变。正确认识本区域已发生的气候变化事实及可能带来的影响,在发展的同时又要重视生态环境的建设,才能确保社会经济的可持续发展。

近百年来,全球气候变暖并日趋加剧已是公认的事实,但在总的变暖趋势中并不是一直在增温,而是有起有伏,有渐变和突变,且气候变化的区域性和季节性差异显著^[1-3]。中国各区域变暖的速率和时空分布有很大差异。总的说来具有北方变暖比南方明显,冬季变暖比其它季节明显的特点^[4-7]。东北是中国纬度最高的地区,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^[8]。对本区域气候变化基本特征及其与全球变暖的关系进行专门研究具有重要理论和实际

意义。

本文利用尽可能长的仪器观测记录,对东北地区气温的年和季节变化规律、区域性特点、变化周期及气候突变等进行较为系统的分析,以便于更清楚的了解东北地区近百年来气候变化的事实,检测区域性气候变化的信号。我们的分析表明:东北地区的气候变化有其本身特点,例如近百年的增温趋势明显,但增温过程有强有弱,各季增温幅度也不相同,冬季增温较为明显;夏季基本持平,若不考虑近几年较强的增温,总体还有下降的趋势。

1 资料和方法

1.1 资料及插补

以东北地区6个代表站1905~2001年近百年的月、年平均气温资料为基本数据,建立季、年气候变化序列。东北地区目前具有较为密集的气象观测网,但大多数是建国以后建立的,具有近百年气象观测记录的站不多。本文所用数据为本区域具有近百年观测历史的且具有代表性的6个气象站

收稿日期:2004-03-16; 修订日期:2004-09-09

基金项目:科技部公益类专项项目资助。

作者简介:孙风华(1963-),女,辽宁沈阳人,副研究员,主要从事气候变化和应用气象研究。E-mail: sfh3910839@sina.com

的气温和降水观测记录。这 6 个气象站是沈阳、大连、营口、长春、哈尔滨、齐齐哈尔,都是在 20 世纪初开始气象观测。6 站和 26 站位置分布图及代表区域见图 1。6 站中有 3 站为 1905 年建站,4 站为 1909 年建站,采用两平均序列的相关关系式补齐到 1905 年。对于 6 站 40 年代普遍缺测数据,根据“中国温度等级图”^[9]获得。首先通过平均气温等级图内插获得这 6 个站 40 年代缺测年逐月的温度等级值,再依据该图集后所附主要城市温度等级分级标准求得相应的温度值。应用补齐订正后的 6 站月平均气温数据,对东北地区的近百年的气温变化规律进行分析。

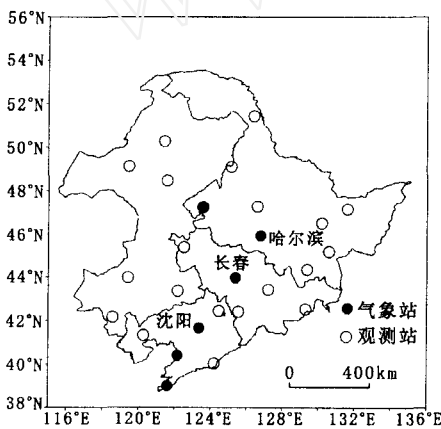


图 1 6 站(黑实圈)和 26 站(空心圈)站点分布

Fig. 1 Distribution of 6 stations and 26 stations

以 6 站 1905~2001 年的年平均气温的平均值代表本区气温气候变化序列,类似的以春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12~2 月)的 6 站平均值建立该区域的各季气候变化序列。由于站点较少,首先对其代表性做检验,选取 1957~2001 年长达 46 年的均匀分布在东北区域内的 26 个代表测站的年平均温度序列,与 6 站相应时段的温度序列进行相关分析。图 2a、b 分别为两站的年平均温度序列和年平均温度距平序列变化曲线。可以看出,两者近 46 年的平均温度值相差较大,26 站平均值为 4.4℃,6 站平均值为 5.9℃,相差 1.5℃,但并不影响增温趋势变化的一致性。从图 2b 可以看出,两者距平变化曲线基本吻合,两温度序列相关系数达 0.985,证明有非常好的代表性。根据以上分析,6 站城市化发展对序

列产生的影响只是使得平均值有较大幅度的提高,其变化规律和趋势与 26 站序列相比较基本没有改变,两序列的距平值重合。因此,用 6 站温度变化代表本区域气温变化来研究其变化总体特征和趋势是完全可行的。

1.2 分析方法

利用回归分析方法确定温度变化趋势,采用功率谱分析方法检测温度序列的周期特征。我们也用 Mann-Kendall 方法和 Yamamoto 方法检验了序列的突变点。

2 序列变化分析

2.1 百年气温序列的年、季变化

图 3a~c 分别为东北 1905~2001 年的夏季、冬季和年的平均气温变化图。虚线为实测平均气温序列,粗实线为一元回归趋势值,细实线为序列的平均值。其中:夏季趋势相关系数 $r=0.177$,通过 $\alpha=0.10$ 的显著性检验,冬季和年趋势相关系数分别为 0.495 和 0.642,均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。

从年平均序列来看,东北地区百年升温趋势十分明显,进入 20 世纪 80 年代以后升温最为剧烈。就 20 世纪而言,升温为起伏式上升:世纪初为最冷期,一直到 40 年代为持续升温期,且达到并超过了平均水平,50 年代左右为次高峰期。相对高温期持续到 50 年代中期,此后气温开始逐渐下降,且降到平均线以下。70 年代中期再次开始升温。50 年代中期至 70 年代中期为一相对冷期,气温处于平均线以下。近 20 年来东北地区升温剧烈,80 年代气温达到平均线,80 年代中期已超过 30~40 年代的峰值,目前已远高出过去任何时期。在近 100 年内,东北地区年均温升高幅度达 1.61℃左右。

冬季也呈现出明显升温趋势,基本为持续性升温,没出现相对冷期和相对暖期。冬季气温近 20 年升温趋势十分明显,与年变化较一致。近 100 年冬季平均温度增暖非常明显,达 2.35℃。夏季气温变化与年和冬季气温变化截然不同,后半世纪与前半世纪相比,不仅没升温,反而表现为降温趋势。20 年代初到 60 年代初为夏季高温期,气温均在多年均值以上;60 年代初至 90 年代中期为夏季低温期,气温均在平均值以下。但在 90 年代中期以来,也表现为剧烈升温趋势。春季和秋季气温变化趋势(图略)与冬季气温变化趋势较为相似,但升温

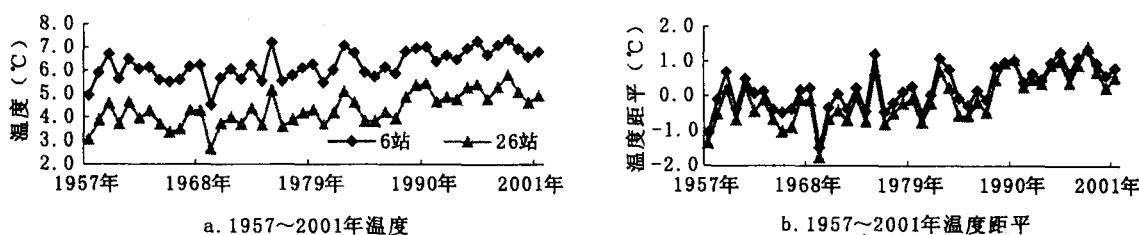


图2 东北地区26站和6站平均温度和温度距平距平变化趋势对比

Fig.2 Comparisons of averaged temperature(a) and temperature anomalies between 26 stations and 6 stations in Northeast China

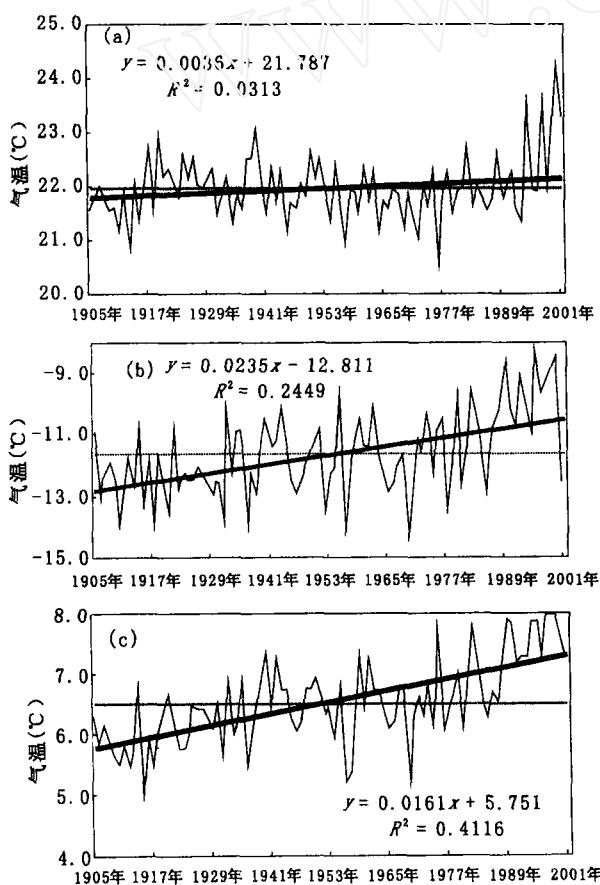


图3 东北近百年夏季(a)、冬季(b)和年(c)平均气温的变化

Fig.3 Changes in temperature in Northeast China during the past 100 years (Summer(a), winter(b), whole year(c))

幅度要小得多。从季节上来看,近百年东北冬季增

温非常强烈,平均每10年增温0.235℃;夏季温度趋势不明显,平均每10年增温0.036℃。

2.2 百年气温序列的年代际变化

表1为每隔10年分段的平均气温(最后7年为一时间段),可以从数值上看出与以上分析一致的结果,即温度序列随着年代呈现明显的两波两谷分布。最冷期为世纪初的10年,平均气温为5.90℃;次冷期为1945~1975年间,平均气温为6.39℃左右。最暖期为世纪末,平均气温7.76℃;次暖期在1935~1944年间,平均气温6.47℃。随着时间推移,暖期和冷期的气温都大幅度上升。因此,东北地区的平均气温是起伏式上升的。最暖的世纪末比最冷的世纪初升高了1.86℃。

2.3 百年气温序列的周期变化

功率谱分析表明,东北近百年温度序列存在明显红噪声过程。取 $N=97$,最大落后步长 $m=18$,得出主周期:2.3年(QBO)和4.2年。两者以准两年周期振荡更为明显,超过95%的显著水平。

2.4 百年气温序列的突变检测

我们利用Mann-Kendall和Yamamoto方法对所建立的百年气候序列进行初步分析^[10-13]。为保证序列的平稳性,对1905~2001年的年和各季节的温度序列做5年滑动平均处理,图4给出了检测结果。Mann-Kendall方法在置信区内C1与C2没有交点,即未检测出气温变化的突变点(图4a)。

在研究百年气候变化中,人们更关心的是年代际的气候突变。所以在做Yamamoto检测时,可取

表1 东北近百年气温年代际分布(单位:℃)

Table 1 Decadal average temperature in the past 100 years in Northeast China (Unit:℃)

时间段	1905~1914	1915~1924	1925~1934	1935~1944	1945~1954	1955~1964	1965~1974	1975~1984	1985~1994	1995~2001
平均气温	5.90	5.93	6.28	6.47	6.39	6.45	6.30	6.84	7.21	7.76

$n = 10$, 以便了解低频变化中的突变位置(结果见图4b)。在 $S/N > 1$ 时达到 95% 的信度水平, 确定为突变; $S/N > 2$ 时, 确定为强突变。由此可见, 气温在 20 世纪有 4 次突变过程, 其中 20 年代初和 80 年代后期为强突变, S/N 值分别达到 2.13 和 2.22; 另外还有两次较弱的突变过程, 分别发生在 70 年代初和 80 年代初。Yamamoto 检测比 Mann-Kendall 方法敏感。

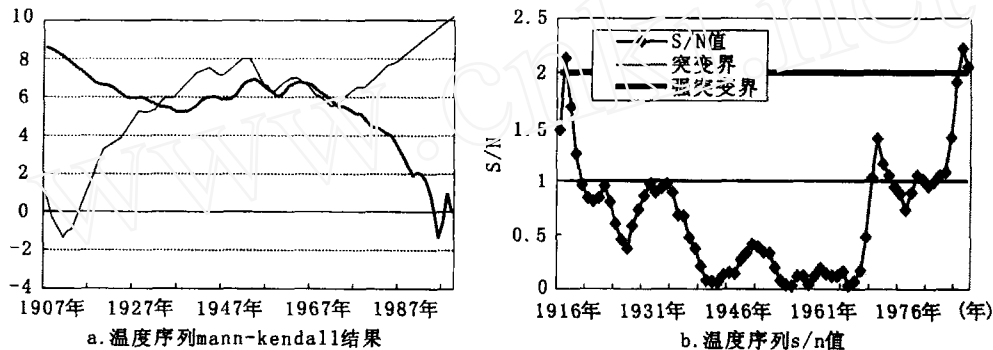


图 4 东北地区近百年气温序列突变的 Mann-Kendall(a) 和 Yamamoto(b) 检测

Fig. 4 Examinations of abrupt change points of temperature series by using Mann-Kendall(a) and Yamamoto(b) methods

的强烈的增温趋势。研究表明, 包括城市和农村站的全球气温序列百年增温趋势是 $0.70^{\circ}\text{C}/100\text{a}^{[1]}$, 全国百年增温率约为 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{a}^{[3]}$ 。与之相比, 东北的 $1.61^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 的增温率要高出很多, 大约是 全球增温率的 2 倍, 全国增温率的 3 倍。这说明东北地区可能的确是气候变化的敏感区域之一。

3.2 区域内不同纬度和下垫面增温强度的差异

表 2 为东北区域内处于不同纬度和不同下垫面的典型代表站年平均气温序列的一元线性回归趋势线的斜率(线性趋势的回归系数均达到 0.05 的显著水平)。从增温趋势随纬度变化上看: 在本区内, 没表现出增温幅度随纬度变强的趋势。分别以沈阳、牡丹江、大连三站代表平原、山地、半岛三种典型下垫面, 讨论不同下垫面的气温变化情况: 三种下垫面中以山地的增温幅度最强, 10 年平均增温率达到 0.24; 内地平原与半岛地区比较, 平原的增温幅度要大于半岛地区。半岛地区增温幅度只有平原的 1/2 左右, 这可能是由于其气候变化更多的受到海洋的作用和影响, 虽然所处位置纬度较高, 但已不具有较高纬度地区的气候特征。海洋巨大的热惯性极其调节作用, 使得半岛地区的气温变化趋于平缓。

3 东北地区气候变化的区域性特点

3.1 与全球及全国气候变暖规律的对比

国内外有许多专家学者对全球和全国平均气温序列变化趋势做过详尽的分析^[2-6]。东北地区近百年气温变化与全国平均基本一致, 不同的是全国近 20 年的增温幅度与 40 年代的增温幅度基本持平, 而不像东北地区近 20 年来表现出前所未有的

表 2 各代表站百年年平均气温趋势斜率

Table 2 Slope of temperature in Northeast China during the past 100 years

斜率	不同纬度			不同下垫面		
	沈阳	哈尔滨	长春	平原	半岛	山地
	0.018	0.017	0.010	0.018	0.010	0.024

4 结 论

1) 东北近百年表现为明显的增温趋势, 但气温为起伏式上升, 序列为两波两谷型。随时间推移, 晚近时期的谷值和峰值都远高于早期。

2) 各季节气候变化有很大差异。冬季增温非常强烈。夏季在 1995 年前不仅没有升温, 反而有明显降温趋势, 在 1995 年以后, 夏季气温急剧升高。春秋的升温趋势与冬季类似, 但幅度小得多。

3) 东北平均气温变化与全国比较, 既有相同处, 也有差异。相同处是两者的升温期、最冷期和最暖期相同, 不同处是东北地区增暖更为强烈, 特别是近 20 年来的变暖更比全国平均明显。在本区域内, 增温强度没有表现出随纬度升高而增强的趋势。各代表站中, 纬度较低的沈阳增温强度大于更靠北的长春和哈尔滨。对于不同典型下垫面, 增温

幅度由强→弱依次为山地、平原、半岛地区。

4) 平均温度序列变化主要周期有 2 个,分别为 2.3 和 4.2 年,其中 2.3 年周期超过 95% 的显著水平。20 世纪东北均温发生 4 次突变,其中 2 次强突变出现在 20 年代初和 80 年代后期。

5) 现有研究结果已表明,变暖趋势的季节变化与热岛强度的季节变化基本一致,都是冬季最强^[14]。另外,20 世纪 40 年代资料是用中国温度等级值通过内插和换算得到的,这在一定程度上平滑了年际间的波动,影响了逐年平均值的准确性。但是,这样处理对于长期趋势结果的影响应该不大。

参考文献:

- [1] Houghton J, Ding Y. Climate Change: Scientific Basis, IPCC TAR Working Group 1[M]. Cambridge University Press, 2001.
- [2] Jones P D, New M, Parker D E. Surface air temperature and its changes over the past 150 years[J]. Rev. in Geophysics, 1999, 37 :173 - 199.
- [3] 王绍武,叶瑾琳,龚道溢,等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报,1998, 9 (4) :392 ~ 401.
- [4] 陈隆勋,朱文琴. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报,1998, 56 (3) :257 ~ 271.
- [5] 何云玲,张一平,刘玉洪,等. 昆明城市气候水平空间分布特征[J]. 地理科学,2002, 22 (6) :724 - 729.
- [6] 王绍武,董光荣. 中国西部环境特征及其演变[A]. 秦大河(主编). 中国西部环境演变评估(第一卷)[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [7] 刘晓东,张敏锋,惠晓英. 青藏高原当代气候变化特征及其对温室效应的响应[J]. 地理科学,1998, 18 (2) :113 - 121.
- [8] 任国玉,周薇. 辽东半岛本世纪气温变化的初步研究[J]. 气象学报,1994, 52 (4) :493 - 499.
- [9] 国家气象局天气气候研究所. 中国气温等级图[M]. 北京:气象出版社,1984.
- [10] 符殊斌. 气候突变现象的研究[J]. 大气科学,1994, 18 (3) :373 - 384.
- [11] 闫敏华,邓伟,陈洋勤. 三江平原气候突变分析[J]. 地理科学,2003, 23 (6) :661 - 667.
- [12] Berger W H, Labeyrie L D. Abrupt Climatic Change, Evidence and Implications [J]. Mathematical and Physical Sciences, 1987, 216 :173 - 183.
- [13] Yamamoto R, Iwashima T, Sanga N K. Climatic jump, a hypothesis in climate diagnosis[J]. Met. Soc. Japan, 1985, 63 :1157 - 1160.
- [14] 孙风华,班显秀,齐丽丽. 沈阳市城市效应对日最高最低温度的影响及统计预报方法研究[J]. 气象,1999, 27 (9) :35 - 38.

An Analysis of Temperature Abnormal Change in Northeast China and Type Underlying Surface

SUN Feng-Hua¹, REN Guo-Yu², ZHAO Chun-Yu³, YANG Su-Ying¹

(1. Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang, Liaoning 110016; 2. National Climate Center, Beijing 100081; 3. Liaoning Province Meteorology Observatory, Shenyang, Liaoning 110016)

Abstract: The air temperature data used for the study come from six weather stations in Northeast China from 1905 to 2001. These stations all have temperature observation records for about 100 years. which include Shenyang, Dalian, Yingkou, Changchun, Harbin and Qiqihar. The average temperature time series for the areas are obtained by simply averaging the six station values in the period. In order to check the representation of the series, correlativity between the six station time series and the twenty-six station time series is made, and it shows a very significant correlative coefficient. The temperature time series were further analyzed for the changes on varied time scales in the area. It is found that a marked warming occurred in the area over the past 100 years, with the warming much more obvious in winter than other seasons. A slight cooling trend in summer can be detected, though temperature in warm season began to rise after 1995. Spectrum analysis indicates a 2.3-year period and a 4.2-year period for the average temperature series. In addition, climate jumps for annual mean temperature are also checked by applying the Mann-Kendall and Yamamoto methods, and two significant jumps in temperature time series have been detected in the beginning of 1920's and the late 1980's.

Key words: Northeast China; air temperature; change rule; jumps test