

近40年来中国大陆地表气温变化估算

孙朝阳^{1,2,3}, 邵全琴^{1*}, 刘纪远¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 本文对近20年来中国地表气温变化估算方法进行了全面的总结, 并对不同研究者所采用的资料、时间尺度及研究结果进行了对比分析。结合当前国际上应用较多的几种升温估算方法, 本文以1970–2007年的气温数据为基础, 分别应用直接算术平均法、逐站计算法、区域面积加权法、一级差分法和空间插值法, 对中国大陆近40年的升温幅度分别进行了估算, 从结果的对比分析中揭示中国地表气温变化估算中存在的 uncertainty: 中国大陆地区近40年来的增温趋势在 $0.30\sim 0.43^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间, 升温幅度在 $1.16\sim 1.56^{\circ}\text{C}$ 之间; 冬季升温最为显著, 夏季升温最少; 整体上北方升温幅度高于南方。不同计算方法计算得到的增温速率在绝对值上有着一定差异, 但整体趋势是相同的。

关键词: 全球变暖; 气候变化; 气温变化估算; 不确定性分析

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00014

1 引言

在过去的10多年, 我国的气候学家对于在全球变暖的背景下, 近50–100年来中国地区平均地表气温的变化规律进行了很多研究。这些研究发现, 近百年或近50年来温度变化趋势与北半球的情况大致相似, 但在时空变化的细节上又与全球变化存在明显差异; 大部分地区, 特别是北方年平均和冬季气温明显增暖, 但夏季气温增暖不明显, 一些地区甚至还出现降温趋势; 大部分月份平均最低气温上升显著, 而平均最高气温变化不明显, 寒冷日数明显减少; 大部分地区的温度和生长期已显著增长, 青藏高原和北方地区增长更多。国内的科学家对区域温度变化也作了分析, 取得了一些有特色的结果^[1]。

最近20年, 中国的研究者们采用不同的研究资料, 对各种时间尺度的气温变化进行了分析和研究^[2–13]。近百年或者近几十年的研究结果表明, 我国自20世纪初以来的升温过程基本上是确定的, 即20世纪初气温较低, 20到40年代开始明显上升, 在40年代进入第一个暖期, 50到70年代气温

开始下降, 逐渐进入冷期, 80年代以后气温上升越发明显, 在90年代进入了第二个暖期, 气温在2000年以后继续呈现上升趋势。但是由于不同研究者所采用的数据资料、计算方法、研究的时间尺度都各不相同, 因而造成研究结果的差异。

概括说来, 他们所采用的研究方法一般有简单的利用少数代表性站点的观测资料计算气温的平均距平值来研究气温年代际变化和区域分布特征的, 也有分别计算逐个站点观测资料的倾向率, 而后进行区域和全国的平均来计算区域和全国年和季节的气温变化率。随着观测资料逐渐丰富, 更多的研究者开始采用国际上标准的气温序列计算方法来计算全国平均气温的时间序列。

其中, 最著名的有 Hansen 等^[14]提出的 RSM (Reference Station Method) 方法, Jones^[15]提出的计算区域平均时间序列的 CAM (Climate Anomaly Method) 方法, 以及 Peterson 等^[16]提出的一级差分方法 (First Difference Method)。Hansen 的 RSM 方法是将格网区域内具有最长时间序列的站点作为参考站, 时间序列较短的站点数据被校正到参考站的水平上, 然后进行距离加权平均。这种方法与

收稿日期: 2011–11–03; **修回日期:** 2011–12–08.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAC08B00); 国家“973”计划项目(2010CB950900、2009CB421105); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-305-3)。

作者简介: 孙朝阳(1980–), 男, 博士, 工程师, 研究方向: 土地利用变化和区域气候变化。E-mail: suncy@lreis.ac.cn

*** 通讯作者:** 邵全琴(1962–), 女, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向: GIS 与生态信息。E-mail: shaoqq@lreis.ac.cn

CAM 方法的区别,在于不必对站点数据的时间序列长度有较高的要求,时间序列较短的数据仍然能参与到计算中来。RSM 方法对参考站的依赖非常大,如果参考站非气候因素的影响较大,会对整个格网乃至整个研究区域的气温序列产生相应的影响。另外,当观测数据在空间和时间上的缺失比较严重的情况下,比较适用 RSM 方法。Jones 的方法在建立中国区域气温序列的研究中应用最为广泛。这个办法是把中国按经纬度划分网格,求算每个网格区的平均气温距平值,然后采用面积加权平均法,得到全国平均的气温距平时间序列。具体步骤如下:(1)计算各个站季节或年平均气温距平值,参考气候值多采用 1971–2000 年的气温平均值,上个世纪也曾以 1961–1990 年的气温平均值为参考气候值,另外,也有研究者采用整个研究时间范围内的气温平均值;(2)按常用的 $5^{\circ}\times 5^{\circ}$ 网格(也有其他分辨率,但基本上均是以度为单位),分别求出各网格内所有站点气温距平的平均值,得到各个网格的平均气温距平值;(3)以各个网格中心纬度的余弦作为权重系数,计算所有网格区气温距平值的面积加权平均,得到全国平均气温距平值。一级差分方法是要尽可能将所有站点的观测数据都应用到区域气温序列的建立。其基本思路是用后一年的数据减去前一年的数据来计算差分,再对差分进行累积,最后在区域上进行统计,最终获得全国的累积差分,再进行趋势变化分析。

此外,空间插值法在气温变化估算中也得到越来越多的应用^[17–20]。我国地域辽阔,地形地貌十分复杂,而且地面气象站点分布密度远远低于发达国家。因此,如何利用有限的地面观测资料获得全国,以及某一研究区域的气象气候要素的空间分布,特别是具体到某一细小网格点的气象要素值,一直是制约我国生态学和地学研究发展的难点问题。空间内插是根据已知的空间数据估计(预测)未知空间的数据值。空间内插对于观测台站稀少、而台站分布又非常不均匀的地区具有十分重要的实际意义。

本论文针对 1970–2007 年站点上的年和季节平均气温数据,选取赵宗慈^[8]、林学椿^[5]、Jones^[15]和 Peterson 等^[16]的方法,以及空间插值法^[17]分别对年和季节的升温趋势进行计算,并对不同方法的计算结果进行比较分析,从而揭示中国地表气温变化估算中的不确定性。

2 气温数据与分析方法

2.1 气温数据

本研究采用的气温数据包括两部分:由中国国家气象局提供的全国 756 个气象站点 1951–2007 年逐日平均气温数据,在研究中选取了自 1970 年以来的数据,进行了月平均处理并剔除了缺测值;另为了保证气温数据在空间上的连续性,本研究从 NCDC(National Climatic Data Center)发布的 GH-CN(Global Historical Climatology Network)第二版月值数据中,选取了中国大陆边界 500km 范围内其他国家和地区的气象站点同时期的观测数据作为补充。

2.2 计算方法

(1)直接算术平均法

直接对 1970–2007 年每年/季节的所有站点的观测数据求平均,得到全国平均的年/季节气温,而后再计算年/季节平均气温的线性趋势。这种方法的应用仅出现在升温估算研究的早期,侧重于研究相对变化。因计算特点将其定义为“直接平均法”。

(2)逐站点计算法

逐站点计算是用 1970–2007 年具有完整观测记录的站点数据逐个站点单独计算气温倾斜率。然后再对所有站点的气温倾斜率进行统计平均,求得全国或区域上的气温平均倾斜率。

(3)区域面积加权法

区域面积加权法即 Jones 的 CAM(Climate Anomaly Method)方法,其基本思想是将区域划分成等大的格网(图 1),再分格网统计站点的气温距平值,最后再对所有格网的平均气温距平进行整个区域上的加权平均。之所以需要加权平均主要是考虑到以经纬度为单位的网格在不同纬度上与真实地球表面状况有着面积上的变形,为了充分考虑到每个格网在真实地球表面上的代表范围,在平均时需要乘以网格中心纬度的余弦值。

首先,以 1971–2000 年的年和季节平均气温作为参考气候值,即计算每个站点 1971–2000 年的平均年和各季节的平均气温。根据气温参考值计算各个站点 1970–2007 年每年/季节的气温距平。接下来,逐个网格统计站点的平均气温距平。最后,对所有网格的平均距平进行加权平均,从而

得到 1970 - 2007 年各年/季节的全国平均气温距平。然后再应用最小二乘法计算近 40 年的增温速率。

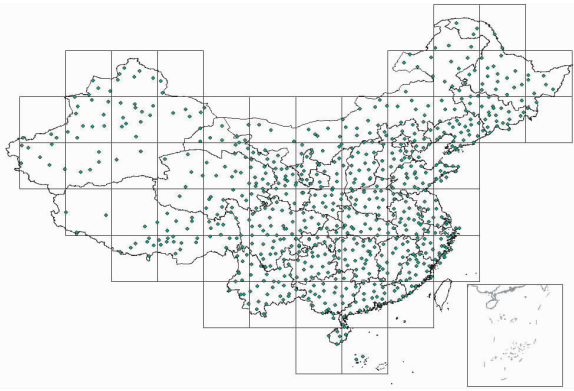


图 1 气象站点的 5°×5°格网分布

Fig. 1 5°×5° grid of meteorological stations in Chinese Mainland

(4)一级差分法

一级差分方法的基本计算过程与 CAM 方法类似,其差别在于不需要计算各个站点的多年平均的气候参考值和距平值,而是直接计算差分,再对差分进行累积,最后对累积差分进行区域上的统计平均。

(5)空间插值法

本研究采用澳大利亚科学家 Hutchinson 薄片样条理论编写的曲面拟合软件 (ANUSPLIN),进行气温数据的空间插值。该软件在空间插值过程中考虑了地形因子对气温的影响,是目前公认较好的

气象数据插值方法。ANUSPLIN 允许引进多元协变量线性子模型,模型系数可根据数据自动确定,因此可以平稳地处理二维以上的样条,这就为引入多个影响因子作为协变量,进行气象要素空间插值提供了可能。更为重要的是它能同时进行多个表面的空间插值,对于长时间序列的气象数据尤为合适^[20-22]。

3 地表气温变化估算方法的应用与结果分析

3.1 气温变化估算方法的应用

(1)直接算术平均法的计算与变化趋势

经直接算术平均法计算,全国的年平均气温上升趋势为 0.381℃/10a;冬季为 0.502℃/10a,春季为 0.403℃/10a,夏季为 0.256℃/10a,秋季为 0.36℃/10a。近 40 年年平均气温的上升约为 1.46℃,其中,冬季升温最为显著为 1.91℃,其次是春季 1.53℃,秋季升温为 1.37℃,夏季升温最小为 0.97℃(图 2)。

(2)逐站点的计算应用

采用完全相同的数据,逐站点计算气温倾斜率再进行全国的平均得到的结果与直接平均法完全一样。但是逐点计算的好处在于可以初步在空间上了解全国气温变化趋势的基本规律,并可以进行分区域统计。近 40 年,从南方到北方气温增加趋势逐渐明显,气温变化率由小到大依次为华南地

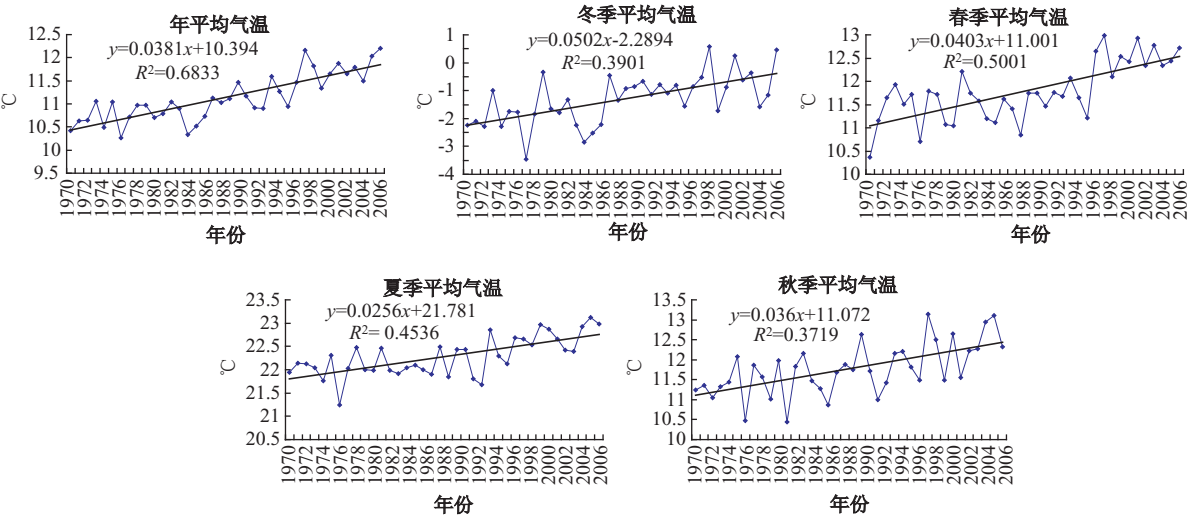


图 2 1970 - 2007 年年和季节平均气温变化趋势(直接平均法)

Fig. 2 Trend of annual and seasonal mean air temperature during 1970 to 2007

区、西南地区、华东地区、东北地区、西北地区和华北地区。华北地区的气温增长最为显著,华东、西北和东北地区基本持平(图 3)。

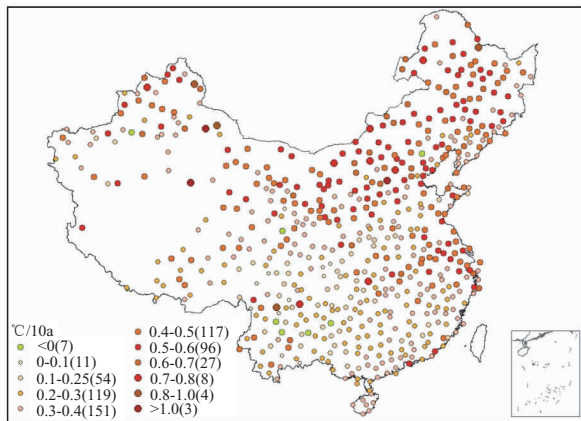


图 3 近 40 年全国气象站点年平均气温变化率
Fig. 3 Change rate of meteorological observation stations' annual mean air temperature in recent 40 years

逐点计算还有助于识别出气温变化出现异常的站点,五台山站的年平均气温变化率将近 $2.0^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。经分析发现,五台山站在 1998 年搬迁了观测地点,年平均气温上升了 5°C 左右,因此,在统计分析中将此站点予以剔除。最终得到校正后的年平均气温增长趋势为 $0.379^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,冬季为 $0.499^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,春季为 $0.396^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,夏季为 $0.254^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,秋季为 $0.355^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

(3) 区域面积加权法的计算结果

对区域面积加权法得到的全国气温距平数据进行趋势分析,得出全国的气温倾斜率为 $0.304^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,冬季气温变化率为 $0.417^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,春季气温变化率为 $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,夏季气温变化率为 $0.234^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,秋季气温变化率为 $0.303^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。整体上略低于直接算术平均法和逐站点计算的结果。

(4) 一级差分法的计算结果

用一级差分方法计算得到的全国气温增长趋势为 $0.355^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,冬季增温最为显著为 $0.474^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,夏季增温最弱为 $0.246^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,春季和秋季分别为 $0.351^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $0.337^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。与区域面积加权法非常接近。

(5) 空间插值法的曲面拟合和内插

为了保证插值结果在国界附近的连续性,在空间插值时选取了 GHCN 数据集中距离中国大陆边

境 500km 范围内的国外气象站点的观测数据,然后对 1970 年以来的数据进行月平均处理,对月平均数据进行空间上的曲面拟合和内插,最终得到逐年逐月的空间气温场数据。在此基础上,对每年的数据进行平均分别计算出年平均气温和各季节平均气温的空间分布数据。进而,应用最小二乘法对年平均气温和季节平均气温的空间数据进行线性倾斜率的计算,从而得到近 40 年中国气温场的年际变化和季节变化特征。

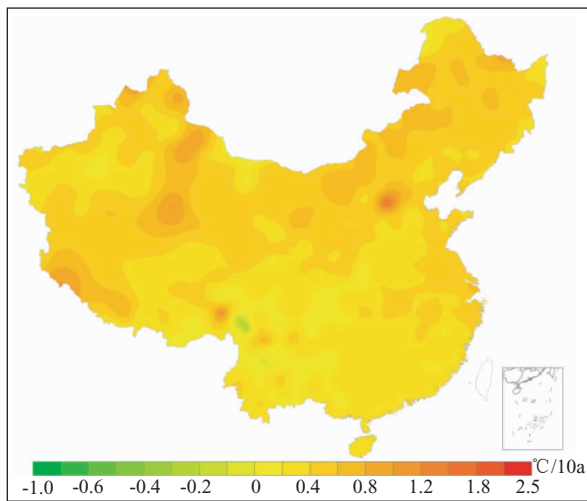


图 4 1970 - 2007 年空间年平均气温变化率
Fig. 4 Change rate of annual mean air temperature during 1970 to 2007

图 4 显示了中国 1970 到 2007 年空间栅格上的年平均气温的变化率,全国大部分地区的年平均气温在近 40 年内呈明显的上升趋势,其中,北方地区的增温更加明显,仅西南部分地区的年平均气温呈下降趋势,这与以站点数据的分析结果基本一致。全国栅格水平上的平均气温变化率为 $0.426^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,略高于站点上的年平均气温变化率。

全国栅格上的冬季平均气温变化率为 $0.588^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,春季为 $0.420^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,夏季为 $0.290^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,秋季为 $0.387^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,冬季的空间气温变化率要高于站点上的气温变化率,其他季节则略低于站点上的统计。从空间分布上更清楚地看到,冬季全国大范围地区的升温都比较明显,北方高于南方;春季和秋季的升温比冬季略低,但整个空间分布与冬季相近;夏季的平均气温在华中地区、四川盆地和西南地区有降低的趋势,新疆中部的升温比较明显(图 5)。

3.2 气温变化估算结果分析

中国近百年来气候变化是一个气候学界非常关注的重要问题,而气温作为其关键要素更是受到高度重视。表 1 列出了最近 20 年不同研究者应

用不同的数据和方法对中国地表气温变化趋势的研究结果。不难看出,采用不同的数据资料和研究方法,其结果存在着明显的差异。

表 1 近 20 年中国地表气温变化估算方法和结果比较
Tab. 1 Comparison of different warming estimation methods and results in recent 20 years

研究者	研究资料	时间尺度	研究方法和结果
王绍武 ^[2]	1910-1988 年气温级别和经过插补的 1880-1988 年哈尔滨、北京、上海、广州年气温序列及用史料恢复的我国东部气温 10 年平均距平	1880-1988	研究采用单站资料;结论为:20 世纪初,全国气温偏低,20 年代气温显著上升,20 到 40 年代是全国最暖的 30 年,50 到 70 年代内陆气温偏低,东北及沿海则维持不变或有上升,80 年代除东北区外,各区气温均偏低
王绍武 ^[3]	同上	1880-1979	近百年的直线增暖趋势约为 0.09℃/100a
王绍武等 ^[4]	气温观测数据,敦德及古里雅冰芯资料及有关史料、树木年轮资料	1880-1996	分区计算年平均气温序列再进行面积加权平均;增温为 0.44℃/100a
林学椿、于淑秋 ^[5]	全国 160 个站点气温资料	1951-1989	逐站计算各个站点的气温倾斜率,得出全国年平均温度以 0.040℃/10a 上升
唐国利、林学椿 ^[6]	1954 年编印出版的《中国气温资料》中 1951 年以前的气温资料和 1951 年以后的气温观测资料	1921-1990	采用计算距平后再平均的方法;20 世纪 20 年代到 40 年代,我国气温稳步上升,40 年代中期达到近 70 年中的最高点(1946 年),50 年代温度急剧下降,1956 年达最低点,以后气温先升后降,70 年代初再次开始回升,1990 年达到近 40 年中的最高值
于淑秋等 ^[7]	同上	1873-1999	采用直接平均法;我国气温从 1978 年开始进入了一个稳定增温的气候阶段,到 1999 年全国年平均气温比上一气候阶段上升了 0.31℃
赵宗慈 ^[8]	全国 160 站 39 年各月气温资料	1951-1989	采用逐站计算方法;中国变暖大约 0.23℃
陈隆勋等 ^[9]	160 个站的地面气温月平均资料	1951-1989	采用直接平均法计算了 160 个站和各省的每十年年平均气温值;30 年间,东北三省平均升高 0.69℃、华北升高 0.71℃(北京为 0.88℃)以及西北平均升高 0.35℃
陈隆勋等 ^[10]	400 多测站的气温观测资料	1951-1995	采用区域面积加权法;全国平均气温自 50 年代前 5a 到 90 年代前 5a,增温 0.3℃
唐国利、任国玉 ^[11]	1954 年编印出版的《中国气温资料》中 1951 年以前的气温资料和 1951 年以后的气温观测资料	1905-2001	采用区域面积加权法计算得到温度升高幅度约为 0.79℃,增温速率约为 0.08℃/10a
唐国利、丁一汇 ^[12]	603 个测站气温观测资料	1961-2002	采用区域面积加权法计算得到全国序列的增温速率约为 0.29℃/10a
李庆祥、李伟 ^[13]	已通过质量控制和均一化的历史气温资料序列	1951-2004	采用一级差分 and 距平平均方法计算得到全国平均的年平均气温增暖速率约为 0.23-0.25℃/10a

在本研究中,采用相同的数据不同的计算方法,其结果仍然有着明显的差异。区域面积加权平均法计算出来的增温趋势低于其他方法,空间插值方法的计算结果最高。几种计算方法得到的结果所表现出来的季节差异是一致的,冬季的升温最显

著,夏季最弱(表 2)。

综合来说,采用不同计算方法对 1970-2007 年同一套气温观测数据进行升温估算得到的增温趋势在 0.30~0.43℃/10a 之间,近 40 年的升温在 1.16~1.56℃之间。

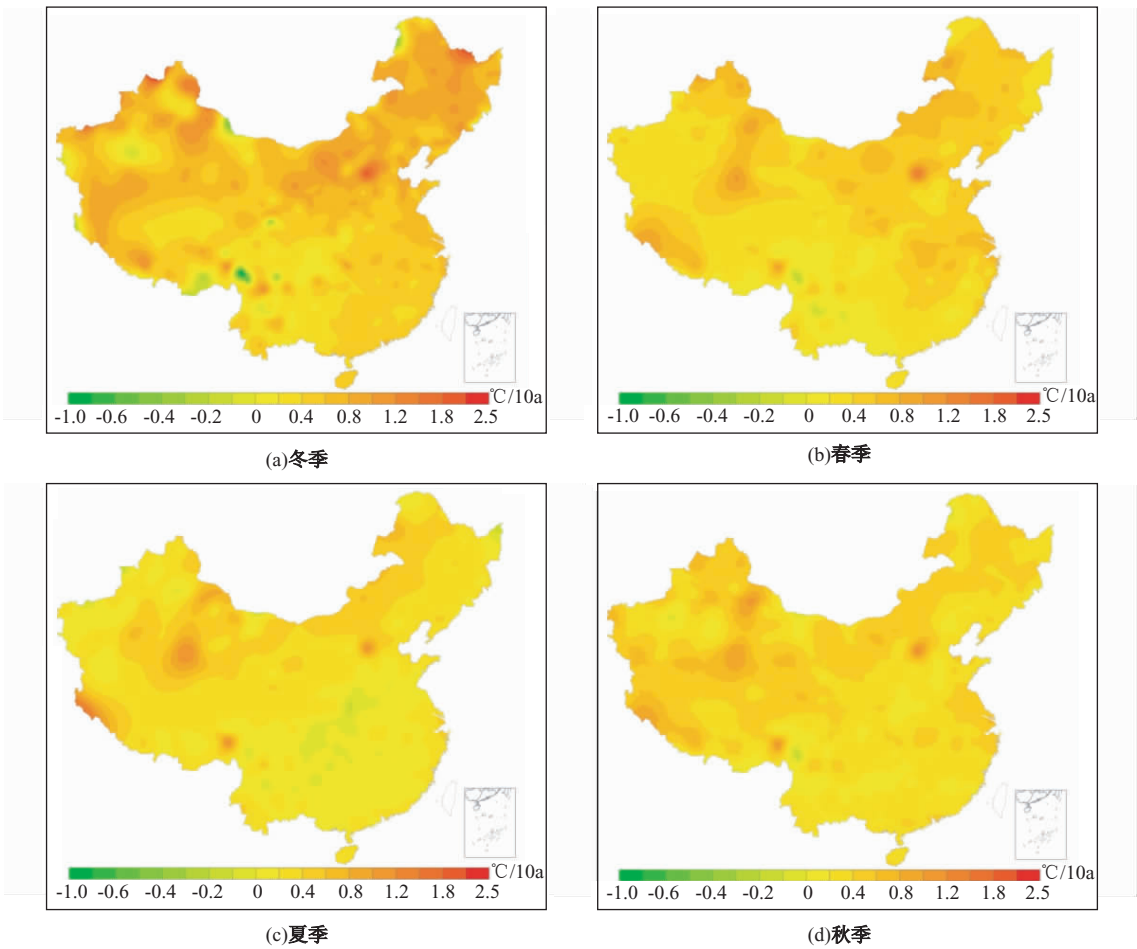


图 5 1970 - 2007 年季节平均气温变化率

Fig. 5 Change rate of seasonal mean air temperature during 1970 to 2007

表 2 1970 - 2007 年不同方法气温变化估算 结果比较(℃/10a)				
Tab. 2 Comparison of the warming estimation results by different methods during 1970 to 2007 (℃/10a)				
	算术平均法	区域面积加权法	一级差分法	空间插值法
全年	0.379	0.304	0.355	0.426
冬季	0.500	0.417	0.474	0.588
春季	0.400	0.320	0.351	0.420
夏季	0.253	0.234	0.246	0.290
秋季	0.357	0.303	0.337	0.387

4 讨论与结论

从 20 世纪 90 年代开始,越来越多的研究者开始关注全球和区域的气候变化,其中,对气温变化趋势和增温幅度的计算也越来越多,不同研究者采

用不同的研究方法和数据资料对不同区域不同时间区间的气温变化进行了分析和研究。就中国而言,最初的研究方法多采用最简单的直接平均法,将观测站点的气温进行平均得到区域上的平均气温,然后再计算气温倾斜率,这种方法通常适用于气温相对变化的研究,其计算结果只能反映气温变化的基本趋势,而在表现区域增温的具体量上不够精确。也有人对逐个站点的气温倾斜率进行计算,然后再进行区域上的统计平均,这种方法基本上与直接平均法得到的结果是一致的,只不过对站点观测序列的长度有着较高的要求,并非所有观测站点的数据都能参与计算;同时,逐个站点计算气温倾斜率有助于了解不同区域上的气温变化差异。随着气温变化研究的深入,研究方法也趋向于国际化, Hansen 的 RSM 方法多用于大区域尺度,特别是空间上数据缺失严重,且时间序列差异较大的情况下, RSM 方法可以尽可能地利用上已有的数

据;Jones 的 CAM 方法得到了最为广泛的应用,针对气温距平来进行区域统计使不同站点数据合并更加合理,且将格网上的气温序列进行整个区域上的统计平均时充分考虑到不同纬度格网所代表的面积的不同,利用面积加权系数来求区域上的平均值也更为准确;Peterson 的 FDM 方法与 Jones 的 CAM 方法略有差异,他是对差分值来进行统计,这样就避免了当某一站点的观测序列达不到一定长度时,无法获得长期的气候参考值而被排除在计算之外的情况,这样就能让更多站点的观测数据参与到计算中来。

传统的方法与空间插值方法得到的结果反映了相同的规律和趋势,但是空间插值方法得到的增温变化率略高于传统方法。从理论上来说,如果气象站点的代表性非常好,则仅仅利用站点数据进行区域平均得到的结果更为接近现实;如果空间插值方法足够精确,那么就能获得更大空间范围上的气温变化趋势,其结果也就更能反映真实情况。另外,空间插值方法还有一个优势,即能更清晰地反映气温变化在空间上的分布规律和差异。

本文得到以下主要结论:(1)不同插值方法均显示出中国大陆近 40 年呈现气候变暖趋势,各方法得到的增温速率介于 $0.30\sim 0.43^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间,升温幅度在 $1.16\sim 1.56^{\circ}\text{C}$ 之间;(2)近 40 年来,气温升高具有明显的季节差异,冬季升温最为显著,夏季升温最少;(3)在空间上,北方升温幅度高于南方,全国仅西南少数地区的气温略呈下降趋势;(4)不同计算方法得到的结果具有相同的规律和趋势,但是在气温变化速率和幅度上有着明显差异,从而带来气温变化估算中的不确定性。

参考文献:

- [1] 任国玉. 地表气温变化研究的现状和问题[J]. 气象, 2003, 29(8): 3-6.
- [2] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 11-15.
- [3] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 261-273.
- [4] 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.
- [5] 林学椿, 于淑秋. 近 40 年我国气候趋势[J]. 气象, 1990, 16(10): 16-22.
- [6] 唐国利, 林学椿. 1921-1990 年我国气温序列及其变化趋势[J]. 气象, 1992, 18(7): 3-6.
- [7] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 中国气温的年代际振荡及其未来趋势[J]. 气象科技, 2003, 31(3): 136-139.
- [8] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响[J]. 气象, 1991, 17(4): 14-16.
- [9] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 等. 近四十年我国气候变化的初步分析[J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-174.
- [10] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257-271.
- [11] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791-798.
- [12] 唐国利, 丁一汇. 由最高最低气温求算的平均气温对我国年平均气温序列影响[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 187-192.
- [13] 李庆祥, 李伟. 近半个世纪中国区域历史气温网格数据集的建立[J]. 气象学报, 2007, 65(2): 293-300.
- [14] Hansen J, Lebedeff S. Global trends of measured surface air temperature[J]. Journal of Geophysical Research, 1987, 92, 13345-13372.
- [15] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993[J]. Journal of Climate, 1994(7): 1794-1802.
- [16] Peterson T C, Karl T R, Jamason P F, *et al.* First difference method: Maximum station density for the calculation of long-term global temperature change[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, 103: 25967-25974.
- [17] 邵全琴, 孙朝阳, 刘纪远, 等. 中国城市扩展对气温观测的影响及其高估程度[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1292-1302.
- [18] 于贵瑞, 何洪林, 刘新安, 等. 中国陆地生态信息空间化技术研究(I)——气象/气候信息的空间化途径[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 537-544.
- [19] 阎洪. 薄板光顺样条插值与中国气候空间模拟[J]. 地理科学, 2004, 24(2): 163-169.
- [20] 刘志红, Li Lingtao, Tim R. M. 等. 专用气候数据空间插值软件 ANUSPLIN 及其应用[J]. 气象, 2008, 34(2).
- [21] Hutchinson M F. ANUSPLIN Version 4.3 User Guide [J]. Canberra: The Australia National University, Center for Resource and Environment Studies 2004 [EB/OL]. <http://cres.anu.edu.au/outputs/anusp-lin.php>.
- [22] Hutchinson M F. The application of thin plate splines to continent-wide data assimilation[J]. Data Assimilation Systems, BMRC Research Report Melbourne: Bureau of Meteorology, 1991(27): 104-113.

Application Analysis of Surface Air Temperature Change Estimation Methods in Chinese Mainland

SUN Chaoyang^{1,2,3}, SHAO Quanqin¹ and LIU Jiyuan¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *National Climate Center, Beijing 100081, China)*

Abstract: The methods used in surface air temperature change estimation in Chinese Mainland during recent 20 years are summarized in this paper, and data materials, temporal scale and results in different researcher's study are contrastively analyzed. Based on the meteorological observation air temperature data from 1970 to 2007 and several popular warming estimation methods internationally used, we estimated the warming trend in recent 40 years. The results of direct average method, calculation by station method, regional area weighted method, first difference method and spatial interpolation method show the same warming trend in recent years and every season in Chinese Mainland, but vary in quantities clearly. The uncertainties in warming estimation with different methods are analyzed and it is concluded that the warming trend in recent 40 years ranges from $0.30 - 0.43^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, the warming amplitude is between 1.16 and 1.56°C , warming is most apparent in winter and slightest in summer, warming in the northern part is more than in the southern part.

Key words: global warming; climate change; air temperature change estimation; uncertainty analysis