

任国玉,任王玉,李庆祥,等.全球陆地表面气温变化研究现状、问题和展望[J].地球科学进展,2014,29(8):934-946,doi:10.11867/j.issn.1001-8166.2014.08.0934.[Ren Guoyu, Ren Yuyu, Li Qingxiang, et al. An overview on global land surface air temperature change[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(8): 934-946, doi: 10. 11867/j. issn. 1001-8166. 2014. 08. 0934. ]

# 全球陆地表面气温变化研究现状、问题和展望\*

任国玉<sup>1</sup>,任王玉<sup>1</sup>,李庆祥<sup>2</sup>,徐文慧<sup>2</sup>

(1. 中国气象局气候研究开放实验室,国家气候中心,北京 100081;

2. 中国气象局国家气象信息中心,北京 100081)

**摘要:**气候变化模拟、预估、影响评价和适应行动,均需深入了解全球陆地及不同区域地面平均气温、极端气温变化的基本观测事实和精准时空规律。长期以来,近百年全球陆地表面气温序列的构建和分析主要由英国和美国少数几家研究机构垄断。这些机构研制的长序列全球陆地表面气温变化分析产品成为气候变化科学的基石。然而,现有全球陆地表面气温资料数据及分析结果还存在明显不足,其中突出的问题包括:①中国及周边国家、地区观测覆盖不充分,早期资料覆盖严重匮乏;②对城市化影响偏差重视不够,没有对其进行系统研究和订正。另一方面,我国气象部门目前已初步建立了全球陆地表面气温观测资料数据集,中国科学家也在城市化对地面气温趋势影响偏差评价和订正方面开展了系统研究。但迄今为止,我国还没有研制出高质量、覆盖全球各个大陆的地表气温资料数据集及其分析产品。如何完善业已建成的地表气温观测资料数据集,系统分析、评价全球陆地城镇观测站地面气温序列中的城市化影响性质和程度,发展客观的方法订正城市化影响偏差,建立中国自己的高质量全球陆地长序列地面气温资料数据集,构建和分析全球陆表平均和极端气温时间序列,监测和揭示全球陆地及不同区域地面气温变化的精细规律,已成为我国气候变化和全球变化科学的重要任务。

**关键词:**全球气候变化;地表气温;基础数据;城市化影响

中图分类号:P54

文献标志码:A

文章编号:1001-8166(2014)08-0934-13

## 1 引言

全球气候变化或气候变化,因其高度的政治、环境、经济意义和较高的科学上的不确定性,引起社会各界、特别是学术界相关领域学者的广泛关注。

气候变化成为科学研究的热点是因为近100多年地球表面温度的显著上升,即全球气候变暖,以及由此引起了地球气候系统其他圈层要素的明显变化<sup>[1-5]</sup>。研究指出,过去100年特别是过去50年全球陆地表面气温比海洋表层水温升高明显得多,最

显著的气候变暖区域位于亚洲中高纬度地带<sup>[3-4,6]</sup>,包括中国东北、华北、西北和青藏高原地区<sup>[7-14]</sup>。研究还表明,全球气候变暖,特别是大陆中高纬度的显著变暖,可能已对生态系统、水文循环和农业生产造成了深刻影响<sup>[15-18]</sup>。因此,全球陆地及其关键区域现代地面气温长期变化趋势的监测和检测,是气候变化研究的重要基础性工作<sup>[19]</sup>。

开展全球陆地表面气温变化规律研究,将为我国全球气候变化监测业务提供基础数据、理论和方法支持,也将为国家制定应对气候变化策略和行动

\* 收稿日期:2014-06-16;修回日期:2014-07-21.

\* 基金项目:国家公益性行业(气象)专项“近百年全球陆地气候变化监测技术与应用”(编号:GYHY-201206012)资助.

作者简介:任国玉(1958-),男,辽宁沈阳人,研究员,主要从事气候变化研究. E-mail: guoyoo@cma.gov.cn

方案提供准确的科学信息。

国家相关部门十分重视全球气候变化研究。国家自然科学基金委员会发起的《全球变化及其区域响应》计划,重点支持围绕全球气候变化机制的若干重大基础科学问题研究;科技部发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》和《中国应对气候变化科技专项行动》均把全球和区域气候变化监测、检测研究作为未来我国气候变化科技发展的优先领域或重点任务。

我国学者在中国和东亚地区气候变化检测研究方面取得了系列成果,为深入理解区域气候变化的原因和机理、制定气候变化应对政策,做出了贡献<sup>[5,7,20~22]</sup>。但是,迄今为止,国内针对地面气温等关键气候要素的监测和检测研究,主要还局限于中国大陆地区<sup>[23~32]</sup>,对于整个亚洲地区特别是全球陆地气温长期变化的研究还很少<sup>[33,34]</sup>,业已开展的全球陆地分析亦未采用我国自己发展的气温观测数据资料,无法建立独立的全球陆地平均气温序列。研究区域的局限性不利于对全球变化时空规律监测信息的完整掌握,削弱了建立在观测事实基础上的全球变化机制和预估研究能力,对于和气候变化政策相关的若干重大科学问题缺少原创性认识<sup>[35,36]</sup>。

从满足国家需求的角度看,不论是确立气候谈判的国家策略和立场,还是同其他国家特别是发展中国家和地区合作开展气候变化适应工作,政府决策者和各利益相关方都需要准确及时了解中国以外的亚洲、非洲以及其他大陆各主要国家和地区的气候变化监测信息,分析评价各主要国家、地区气候变化政策、立场形成的背景和深层次因素,增强气候谈判策略制定的科学性,同时有针对性地开展应对特别是适应气候变化的国际合作。

## 2 研究现状

长期以来,开展全球陆地近地面气温变化监测和分析的国际研究机构主要有:英国东英吉利大学气候研究中心(Climatic Research Unit, CRU)、美国国家海洋—大气管理局(National Ocean-Atmosphere Administration, NOAA)的国家气候资料中心(National Climate Data Center, NCDC)和美国国家航空—航天管理局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)Goddard空间研究所(Goddard Institute for Space Studies, GISS)。CRU建立了全球陆地地面气温格点数据集(CRUTEM-3,4);NCDC建立了全球历史气候网数据集(GHCN-3);GISS则

在GHCN数据集基础上通过订正城市热岛效应偏差,增加南极大陆部分观测资料,建立了自己的全球陆地气温数据集(GISTEMP)。利用这3个机构数据集获得的过去100多年全球陆地地面气温长期变化趋势的分析结果<sup>[6,37~40]</sup>,是政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)历次评估报告的关键科学凭据<sup>[3,4,41]</sup>,也为全球和区域尺度气候变化检测、预估和影响评估研究提供了基本观测数据。最近,美国伯克利地球表面温度项目(Berkeley Earth Surface Temperature Project)发展了一套新的全球陆地气温序列<sup>[4,42]</sup>,日本气象厅也公布了全球陆地和海洋表层温度变化监测序列<sup>[43]</sup>,但这2套资料序列的陆地部分几乎完全是在GHCN月平均气温资料基础上建立起来的,前者则采用了不同的区域平均方法,目前还不是学术界公认的独立全球陆表气温数据集。

应用上述数据集获得的过去全球陆地平均地面气温距平序列,均表明了显著的气候变暖趋势(表1)。如在1900—2005年期间,根据CRU, GHCN和GISS数据集资料,全球陆地平均气温增加速率分别为 $(0.08 \pm 0.02)$ ,  $(0.06 \pm 0.02)$ 和 $(0.07 \pm 0.02)$  °C/10a, CRU的估算结果最大, GHCN和GISS结果相近,但均反映出显著变暖趋势;1901—2012年, CRU, GHCN和GISS数据集给出的全球陆地年平均气温上升速率分别为 $(0.10 \pm 0.02)$ ,  $(0.11 \pm 0.02)$ 和 $(0.10 \pm 0.02)$  °C/10a, 相互差异很小;而根据1979—2005年的3套资料分析获得的全球陆地平均气温上升速率分别为 $(0.27 \pm 0.07)$ ,  $(0.32 \pm 0.09)$ 和 $(0.19 \pm 0.07)$  °C/10a, 表现出加速变暖现象,但不同估计值之间的差异较大, NCDC最高, GISS最低<sup>[3,37,38,43,44]</sup>。近年GISS数据集中增补了北极地区遥感观测数据,给出了与原来不同的结果<sup>[45,46]</sup>,各个时期的增温趋势都有增加,其中1979年以来的增温趋势比他们原来的估计值显著增大。造成前后估算结果差异的主要原因是, GISS数据集增加北极地区遥感温度观测资料覆盖后,明显增大了全球陆地最近几十年快速增暖区域所占比例,如果仅分析检验20世纪80年代以来全球陆表温度的变化,这样处理是可以的;但由于20世纪早、中期没有卫星遥感数据,对于建立和分析过去100多年全球陆表温度的时间序列,这种处理方法就有不妥当了。

此外,在1951—2012年期间,根据CRU(CRUTEM4.1.1.0), GHCN(v3.2.0)和GISS更新数据集获得的全球陆表年平均气温上升速率分别为

表 1 全球陆表年平均气温不同时期变化趋势  
估计值比较(单位:  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ )

Table 1 Comparison of long-term trends of global land  
annual mean surface air temperature estimated based  
on different datasets( unit:  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ )

数据集	起讫时间	时长/a	趋势及信度区间	参考文献
CRUTEM	1900—2005 年	106	$0.08 \pm 0.02$	[40,43]
	1979—2005 年	27	$0.27 \pm 0.07$	
	1901—2012 年	112	$0.10 \pm 0.02$	
	1951—2012 年	62	$0.18 \pm 0.04$	
	1979—2012 年	34	$0.25 \pm 0.05$	
GHCN	1900—2005 年	106	$0.06 \pm 0.02$	[38,39]
	1979—2005 年	27	$0.32 \pm 0.09$	
	1901—2012 年	112	$0.11 \pm 0.02$	
	1951—2012 年	62	$0.20 \pm 0.03$	
	1979—2012 年	34	$0.27 \pm 0.05$	
GISS	1900—2005 年	106	$0.07 \pm 0.02$	[44,45]
	1979—2005 年	27	$0.19 \pm 0.07$	
	1901—2012 年	112	$0.10 \pm 0.02$	
	1951—2012 年	62	$0.19 \pm 0.03$	
	1979—2012 年	34	$0.27 \pm 0.05$	
Berkeley	1901—2012 年	112	$0.10 \pm 0.02$	[42]
	1951—2012 年	62	$0.18 \pm 0.03$	
	1979—2012 年	34	$0.25 \pm 0.05$	

注:趋势估计误差为 90% 信度区间(1 倍标准差),仅包括采样不确定性范围

( $0.18 \pm 0.04$ ), ( $0.20 \pm 0.03$ ) 和 ( $0.19 \pm 0.03$ )  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  (表 1); 基于所有数据集构建的全球陆表年平均气温序列在最近 15 年左右(1998 年以后)均呈现出明显的变暖趋缓现象<sup>[4]</sup>。

可见,利用不同数据集获得的百年增温速率估算结果之间差异较小,这主要和他们包含着较高比例的共同观测站点有关。CRUTEM-4 包括 4 891 站经过均一化的月气温数据,空间分布较均匀,用以计算距平的气候基准期(1961—1990 年)内观测记录相对较完整;GHCN-3 包括 7 280 站月平均气温数据和近 5 000 站的月平均最高(最低)气温数据,尽管均一化处理后的数据量要少些,但站点数量仍比 CRUTEM-4 数据集多。后者站点绝大部分来自 GHCN 数据集;GISS 则几乎完全使用 GHCN 数据,仅在南极大陆增加了少量来自南极研究科学委员会(Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR)公布的观测资料,目前全部站点数约 6 300 个,但对美国以外地区的城市化偏差做了初步订正。

站点数量及其覆盖范围的不同,以及空间平均方法的差异,可能是造成不同数据集全球陆地平均气温序列趋势估计值存在差别的部分原因。CRUTEM 和 GHCN 数据集中不同的均一化处理方法对

个别区域(如美国本土区域)平均地面气温趋势变化有一定影响,但对全球陆地平均气温序列趋势估计值的影响不大<sup>[3,4]</sup>。

对全球陆地平均气温序列趋势估计值或误差范围的影响主要来自城市化造成的系统偏差和早期观测资料的缺乏。就城市化偏差来看,Hansen 等<sup>[37]</sup>对其给予了一定考虑。他们利用人口资料和卫星遥感资料分类气象台站,确定气温参考站,并订正其他站的城市化偏差。利用他们早期订正获得的数据集构建全球陆地平均气温序列,其趋势变化估计值确实较基于其他数据集的分析结果偏低,在 1979—2005 年偏小尤为显著<sup>[3,44]</sup>,大约比 CRU 和 NCDC 序列揭示的增温趋势分别减少 30% 和 41%,说明对城市台站地面气温序列进行城市化偏差订正,其分析结果比其他 2 套气温数据集更接近区域和全球背景变暖趋势。如前所述,GISS 最新估计得到的 1979—2012 年全球陆地增温速率明显增大,主要是在北极地区采用了卫星遥感资料造成的。在更长时间尺度上,GISS 数据集全球陆地气温序列趋势与其他数据集相差不大<sup>[3,4]</sup>。

### 3 存在问题

上述 3 套数据集及其分析产品为全球气候变化研究提供了陆地气温观测基础资料,对气候变化科学的发展产生了深远影响。但是,这 3 套全球陆地气温数据资料也存在若干明显的问题和缺陷。其中最突出的问题包括:①亚洲等发展中国家和地区观测覆盖不充分,早期资料尤其匮乏;②没有对城市化影响偏差给予足够重视。

现有全球地面气温数据分析产品的一个缺陷是,观测站点在北美和欧洲密集,但在亚洲、非洲和南美洲等地区台站分布稀疏,特别是在 1950 年以前资料覆盖率较低,1990 年以后许多地区资料覆盖率下降。

在 19 世纪末 20 世纪初,所有数据集的观测站点都很少,其中亚洲的中国及其周边地区尤其稀疏。即使在 20 世纪后期和现在,亚洲、非洲和南美等大陆站点稀缺的状况依然严重。如 CRUTEM 长期以来在中国地区仅有 160 余站,这些台站的观测记录大部分始于 20 世纪 50 年代以后,早期特别是 20 世纪初期资料十分稀缺;GHCN 和 GISTEMP 尽管采用了中国 1997 年以前 500 余站的资料,但 1997 年后的数据没有更新,数据完整的仅有不足 100 个站。同时,在 GHCN 和 GISTEMP 数据集

中,北亚、蒙古、西亚、巴基斯坦和朝鲜等地区资料稀少,蒙古和西亚大片区域几乎没有月平均最高、最低气温数据(图 1),青藏高原资料也极少。

在 1990 年前后和 2005 年以后, GHCN 数据集中台站数大幅下降,中国、加拿大、俄罗斯西部、非洲和南美洲等地区下降尤其明显。

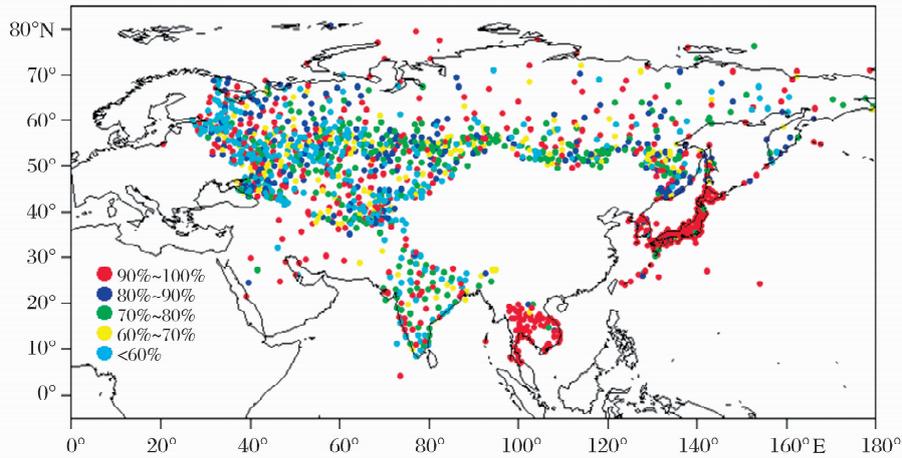


图 1 NCDC 数据集中国以外亚洲区域具有月平均最高气温记录的台站分布

Fig. 1 Distribution of stations of the NCDC/GHCN monthly temperature dataset outside China

彩色圆圈表示资料完整性,红色表示缺测率最低,浅蓝色表示缺测率最高

The color circles denote the completeness of the records, with red the lowest missing rate and light blue the highest missing rate

因此, CRU, NCDC 和 GISS 数据集在亚洲等广大发展中地区的代表性均不理想, 20 世纪早期和后期(90 年代)、21 世纪初期在全球很多地区观测站点覆盖率显著偏低, 给区域和全球陆地气温变化监测、研究带来较大不确定性。

现有全球陆地地面气温数据及其分析结果的另一个重要缺陷是没有对城市化偏差进行深入、系统研究和合理订正<sup>[27,47-49]</sup>。CRUTEM 数据集由于该缺陷对其相关分析产品产生了一定影响, 并长期受到批评<sup>[50-53]</sup>。尽管 CRUTEM 开发者声称, 他们已经认真考虑了这个问题, 选用了非城市观测站资料, 但实际上大部分长序列站点资料均来自各类城市站; GHCN 数据集虽对美国气温资料做了订正, 但对全球其他地区观测资料的城市化偏差未予考虑; GISS 数据集对城市化偏差做了一定处理, 包括通过利用卫星遥感夜光强度资料寻找乡村站点, 订正城市站的城市化偏差, 但其订正结果仅在美国本土地区具有较高可信性, 对其他地区的处理不尽合理<sup>[32,37,54]</sup>。

CRUTEM 和 GHCN 数据集的开发和使用者之所以未对资料进行城市化偏差订正, 是因为他们认为, 在全球陆地范围内城市化偏差极其微小, 比实际观测到的全球陆地和区域平均增温趋势小一个量级<sup>[3,41,55-61]</sup>, 因而可忽略不计, 无需订正。基于这个

认识, 在做全球和区域分析时, 研究者仅在平均气温序列的误差估计中对城市化偏差予以考虑。IPCC 第二次、第三次和第四次报告对城市化偏差的处理几乎完全一致, 即认为 1900 年以来全球陆地上城市化引起的增温趋势不超过  $0.006\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 在全球陆地—海洋平均气温序列中则不超过  $0.002\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ <sup>[3,4]</sup>。这一认识在很大程度上依赖于 Jones 等<sup>[55]</sup>早期对中国东部、澳大利亚东部、俄罗斯和美国本土 4 个区域资料截止到 20 世纪 80 年代中后期的案例研究结论。IPCC 第五次评估报告开始吸收中国等国家科学家的研究成果, 首次承认城市化增温偏差在经济快速发展区域有较明显的表现, 但认为在半球和全球陆地尺度上影响仍然很小<sup>[4]</sup>。

然而, 采用更为完整观测资料序列的研究表明, 全球陆地许多地区特别是中国地区, 气象台站记录的单站和区域平均气温变化趋势中, 城市化的影响比原来的估计要显著得多<sup>[27,32,54,62,63]</sup>。在这些地区包括当年 Jones 等<sup>[55]</sup>研究中作为个例的中国东部, 城市化增温率与实际观测到的总体增温趋势多处于同一量级上。北半球大陆平均气温序列中的城市化影响也比原来的估计值偏大。因此, 城市化对区域、半球甚至全球陆地等大范围地面平均气温序列的真实影响, 需要给予足够关注。

赵宗慈<sup>[64]</sup>对国家基准站中不同规模城市站 39

年地面气温序列中的城市化影响进行了分析,发现所有城市站相对乡村站增温速率均明显偏高,大城市站偏高最多;Kalnay 等<sup>[65]</sup>对比 1980s 和 1990s 美国大陆 775 个城市站和 167 个乡村站,得出平均热岛强度变化为 0.18 °C;黄嘉佑等<sup>[66]</sup>选取中国华南区 42 个测站 1950—2001 年的月气温资料,按 2001 年人口数将测站分为 6 类,发现特大城市站的年平均气温比特小城市站高 1.0 °C,全部城市站热岛效应增温速率约为 0.05 °C/10a;在华北地区,在国家基准气候站和基本气象站网记录的 1961—2000 年区域年平均气温增加趋势中,城市化因素引起的增暖达到 0.11 °C/10a,对全部增温趋势的贡献达到 39% 以上<sup>[62,67]</sup>;Yang 等<sup>[68]</sup>采用城市减乡村和观测减再分析 2 种方法的分析表明,1981—2007 年华东地区城市化因素对现有地面气温观测趋势的影响很显著,达到整个区域年平均总体增温的 24.2%;Wang 等<sup>[69]</sup>利用遥感方法划分土地利用变化和台站类型,发现相对于乡村站,1980—2009 年中国各类城市站年平均地面气温序列中的城市化偏差达 0.09 °C/10a,城市化增温贡献率为 20%。

张爱英等<sup>[70]</sup>采用任国玉等<sup>[71]</sup>发展的综合指标和客观标准,从 2 400 个国家气象站网中遴选地面气温参考站,应用经过均一化订正的月平均气温数据,通过对比分析中国 614 个国家基准气候站、基本气象站与参考站地面气温变化趋势,发现 1961—2004 年国家基准、基本站年平均地面气温序列中的城市化增温率为 0.076 °C/10a,占同期全部增温速率的 27.3%。所有季节的城市化增温率均很显著(表 2)。年平均城市化增温率在江淮地区最明显,达到 0.086 °C/10a,对同期全部增温的贡献达到 55.5%。除北疆外,其他地区城市化造成的增温趋势均很明显<sup>[70]</sup>。最近,任国玉等<sup>[32]</sup>采用相同参考站网及国家基准气候站和基本气象站网均一化日气温资料的研究表明,城市化对 1961—2008 年中国大陆地区年和季节平均最低气温( $T_{\min}$ )、平均气温( $T_{\text{avg}}$ )、气温日较差( $DTR$ )及其常用的极端气温指数序列趋势变化也具有十分显著的影响,对  $T_{\min}$  长期上升趋势和  $DTR$  长期下降趋势的影响尤为突出(图 2),说明在次大陆尺度上城市化不仅显著改变了地面气温均值序列趋势,而且对目前常用的主要

表 2 1961—2004 年国家基准和基本站网全国平均年、季城市化增温率及其城市化增温贡献率<sup>[70]</sup>

Table 2 Annual and seasonal mean urbanization effects and contributions in long-term temperature trends of the national reference and basic stations in mainland China over 1961-2004<sup>[70]</sup>

	年	冬季	春季	夏季	秋季
城市化增温率/(°C/10a)	0.076 **	0.093 **	0.089 **	0.068 **	0.059 **
城市化贡献率/%	27.33	18.20	34.63	38.53	23.51

注: \*\* 表示增温趋势通过了 0.01 显著性水平检验,城市化贡献率是指城市化增温率与总体增温率的百分比值

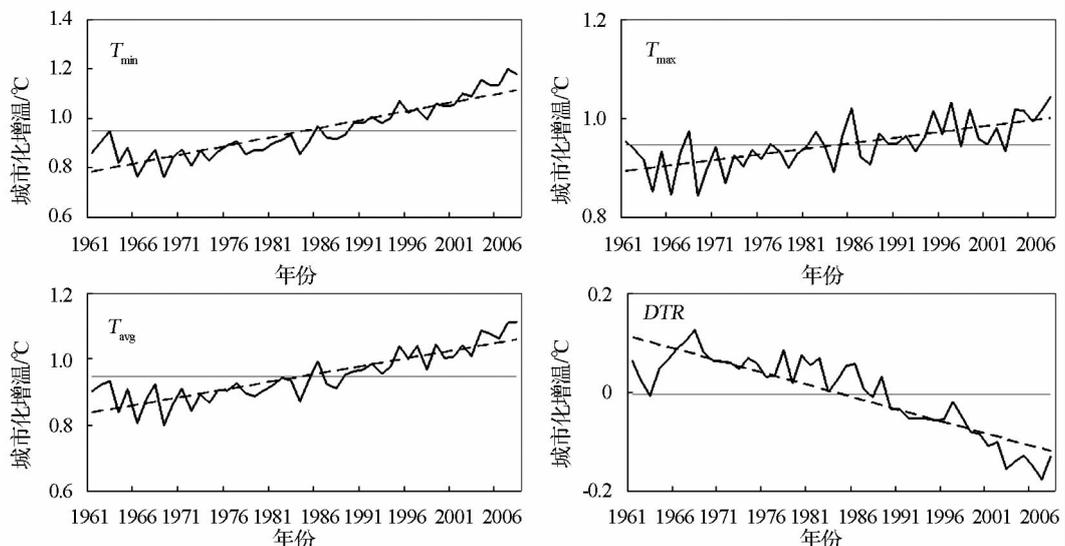


图 2 1961—2008 年中国大陆地区国家基准气候站和基本气象站网 (RCBMS) 与参考站网年平均最低 ( $T_{\min}$ )、最高气温 ( $T_{\max}$ ), 平均气温 ( $T_{\text{avg}}$ ) 和气温日较差 ( $DTR$ ) 差值序列及其趋势变化<sup>[32]</sup>

Fig. 2 Temporal variations in annual differences between the national reference and basic stations (RCBMS) and reference stations for  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$ ,  $T_{\text{avg}}$  and  $DTR$  in mainland China over the time period 1961-2008<sup>[32]</sup>

极端气温指数序列的趋势变化也具有明显的影响。华北地区过去几十年冬季极端最低气温指数序列中的显著城市化影响,也得到 Li 等<sup>[72]</sup>研究的证实。

国内其他相关研究报道了城市化对单站和区域性地面平均气温和最高、最低气温趋势估计的显著影响<sup>[32,68,73~81]</sup>;在东亚的日本、韩国和台湾地区,研究发现城市化对城镇气象站和气候变化分析中常用的气象站网资料序列影响显著<sup>[82~85]</sup>;城市化对欧洲地区气象站网观测记录的影响在最近几十年较弱,但在 19 世纪后期和 20 世纪早中期十分明显<sup>[86]</sup>。

因此,在现有的全球陆地气温数据集中,世界许多地区还不同程度地保留着城市化增温造成的系统偏差。该认识与以 Jones 等<sup>[55,57]</sup>、Peterson<sup>[59]</sup> 和 Parker<sup>[60]</sup> 等为代表的先前研究结论有较大差异。中国、日本和韩国等国家学者的研究表明,不仅在局地 and 区域尺度上,而且可能在大陆和半球尺度上,城市化偏差很可能导致原来给出的区域平均气温趋势变化估计值偏高,并可能致使原来对于近半个世纪全球陆地表面升温空间分布型的认识出现较大偏差。IPCC 第五次评估报告比过去任何一次报告都更为客观地评价了针对中国等国家的区域性研究工作,但给出的评估结论仍偏于保守<sup>[4]</sup>。目前没有解决的问题是,在大陆到全球尺度上,城市化引起的地面气温序列系统偏差究竟有多大?其在全球各个大陆和国家的空间变异性如何?在同一地点和同一地区的不同时期内城市化偏差有什么差异?这些问题迫切需要进行深入研究,并做出合理的解释和订正。

如前所述,Hansen 等<sup>[37]</sup>对全球陆地资料中的城市化影响给予了一定考虑,但他们对美国以外地区的订正,采用 GHNC/NCDC 提供的 1980 年前后人口统计数据遴选参考站。20 世纪后期部分地区城市化发展迅速,城市人口快速增加,利用 1980 年前后人口数据进行判别,可能会将发展迅速地区的部分小城市站选为参考站。研究指出,小城镇附近的台站仍然可以感受到明显的城市化增温<sup>[62,64,87]</sup>。同时,仅用台站附近居民点人口数据遴选参考站,方法本身也有很大局限性。

Hansen 等<sup>[45]</sup>后来认识到他们对美国以外地区城镇台站城市化偏差的处理比较粗糙,改用卫星夜间灯光(夜光)强度资料划分乡村站和城市站,并把全球陆地所有城镇台站气温资料进行了“标准夜光订正”。通过调整夜光“亮区”台站气温趋势到邻近的“暗区”台站趋势上,他们认为只能将全球(陆地加海洋)1900—2009 年的平均温度增加值从 0.71

℃降到 0.70 ℃,差异非常小。但是,由于经济发展阶段、消费观念、文化传统等差异,具有相同卫星夜光强度的城镇,其实际人口数量或经济发展水平可能迥然不同,城镇建成区及其附近真实的热环境差异很大,世界不同地区和不同国家之间的卫星夜光强度无法真实反映城市站附近城市热岛强度及其随时间变化情况。严格地说,夜光强度指标在不同国家和地区之间缺乏可比性。

## 4 机遇和挑战

全球和大陆尺度地面气温变化观测研究是气候变化科学的重要基础性工作。长期以来,国内外的科学研究和评估工作几乎完全依赖于英国 CRU、美国 NOAA/NCDC 和 NASA/GISS 等机构发展的全球陆地表面气温观测数据产品,早期也曾参考前苏联(俄罗斯)的全球陆地表面气温序列,近年来美国伯克利地球表面温度数据集也得到一定程度的关注。不同于全球气候模式,在 IPCC 过去和最新的评估报告中,很少引用中国科学家在基础观测数据分析上的重要成果,这与我国地球科学和大气科学当前快速发展的现状和地位不相称。

在国内开展全球陆地、各大陆、主要国家和地区近地面气温变化趋势研究,建立我国自己的全球陆地及主要区域平均气温曲线,为未来的 IPCC 评估报告及其他国内外重要相关咨询评估工作提供科学支持,促进我国全球气候变化研究工作上一个新台阶,是中国科学家义不容辞的任务。

为此,首先应该进一步挖掘早期观测资料,充分利用中国及其周边地区和其他发展中地区的近几十年历史观测站点,填补全球陆地特别是亚洲地区早期和现代观测资料分布上的空缺,并对多来源气温资料进行融合、优选和均一化处理,建立合理密度和均衡分布的全球陆地气温资料数据集,是气候变化监测和研究中的重要任务。

2012 年 2 月,科技部和中国气象局启动的公益性行业(气象)科研专项“近百年全球陆地气候变化监测技术与应用”,其研究内容侧重在全球陆地气温、降水资料的融合、均一化检验和订正技术,亚洲地区月气温资料的城市化影响评价与订正技术,陆地降水的风速“低捕获”偏差订正技术,全球陆地气温和降水长期气候变化监测技术,以及气温和降水监测数据及产品存储管理的标准化、规范化技术等方面,研究成果将为我国气候变化监测业务系统建设提供技术支撑。

目前这项工作的基础数据集建设已基本完成,初步建立了经过质量控制和均一化处理的我国第一套全球陆地月平均气温资料数据集和亚洲地区日气温资料数据集<sup>[88]</sup>;预计到 2014 年底、2015 年初,将完成亚洲地区日气温资料的均一化处理,全球陆地和亚洲地区气温观测资料数据集研制工作将初步完成。图 3 表明,新的全球陆地月平均气温数据集在亚洲及南美洲等地区的站点密度和序列长度较其他主要数据集有明显改进。

未来几年,应继续充实完善已经初步建立起来的我国全球陆地表面气温资料数据集,包括根据新的元数据资料完善部分站点资料的均一化处理工作。与此同时,应结合国际地球大气环流重建计划(The Atmospheric Circulation Reconstructions over the Earth (ACRE) Initiative)的全球早期气候资料拯救任务,组织开展中国地区 20 世纪前期气象观测记录的归档、图像化、数字化和质量控制工作,发掘新的早期地面气温观测资料;通过 ACRE 国际合作渠道,获取英国、德国、法国和日本等国家相关研究机构业已完成的亚洲等大陆区域早期数字化气温资料;通过各种渠道获取的中国和亚洲地区早期观测资料进行质量控制和均一化处理,补充到中国气象局现有的全球陆地和亚洲地面气温数据集中,有效改善

中国东部和东南亚等地区 20 世纪上半叶的资料覆盖度和序列完整性。

在获取空间覆盖完好的陆地气温资料的基础上,还应该进一步对城镇台站地面气温序列中的城市化偏差进行科学评价,发展单站城市化偏差订正方法,对城镇站气温资料的城市化偏差进行合理订正,建立消除城市化偏差的全球陆地地面气温历史资料数据集,分析揭示全球陆地、亚洲地区平均气温和极端气温变化的时空规律。

在城市化对地面气温序列影响评价中,关键在于遴选有代表性的地面气温参考站。任国玉等<sup>[71,89]</sup>发展了一个遴选气温参考站的多指标方法,综合考虑台站具体位置、记录年限、资料缺测、迁站信息、附近居民点人口和台站周围建成区相对比例等多重信息,最后建立一个由 143 个站构成的中国地面气温参考站网。利用这个参考站网资料的分析研究,获得了对中国地区城市化影响性质和程度的全面认识<sup>[70,90,91]</sup>。但是,这种方法运用于全球陆地研究有一定困难,主要因为对中国以外的其他国家和地区无法获取其详尽的台站观测环境信息。

采用卫星遥感资料反演台站附近地面亮度温度,生成亮度温度空间分布场,然后依据站点在该温度场中的具体位置,确定台站是否代表区域背景温

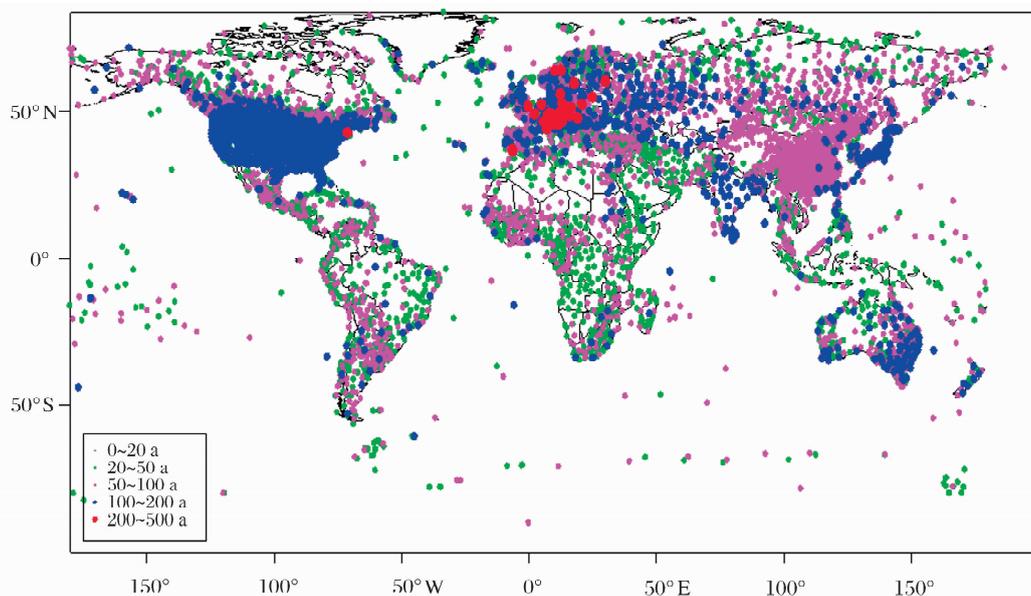


图 3 全球陆地和岛屿月平均气温观测资料站点分布情况

Fig. 3 Distribution of stations of the newly developed global lands (islands) monthly mean temperature dataset

彩色圆圈表示具有不同观测记录长度(年数)的站点

The colors denote the lengths (years) of records

度和气候条件,进而分类所有台站,选取气温参考站,是可以在全球陆地范围采用的方法<sup>[90]</sup>;同时,利用卫星遥感可见光等影像资料,发展其他的气象站点周围建成区面积和观测环境识别方法,对全球陆地气象站进行客观分类,遴选气温参考站<sup>[69,80,92,93]</sup>,也具有潜在的应用价值。

城市化偏差的订正目前国际上还没有成熟的方法。Karl 等<sup>[87]</sup>和 Hansen 等<sup>[37]</sup>对美国本土地区的研究分别采用人口与台站温度之间的相关性和回归方程以及城市站与乡村站之间的分段趋势差值订正方法,对城镇站地面气温序列进行趋势偏差订正。他们均没有对日气温资料序列进行城市化偏差订正。Karl 等<sup>[87]</sup>的方法由于台站气温和附近居民区人口的相关性比较弱,城市化影响在很大程度上取决于气象台站相对城市中心区的具体位置,以及观测场附近一定范围内建成区的面积和建筑物高度等复杂因素,因此不具有推广价值。Hansen 等<sup>[37]</sup>的方法有一定的借鉴意义,但对于美国以外参考站序列的建立存在缺陷,因为城市卫星夜光强度还与历史、文化和经济发展阶段等多种因素有关,难以客观反映台站附近真实人类活动影响强度。黄嘉佑等<sup>[66]</sup>根据台站地面气温与大气环流特征量的相关性,建立回归模型,订正城市化影响偏差。这种方法依赖于再分析资料,而再分析资料在长期趋势变化上存在着比地面实际观测资料大的误差;同时 20 世纪早期也没有高质量的再分析资料,因此无法用于近百年全球陆地范围的研究。

相对来说,最客观、可靠和有效的办法,仍然是利用邻近若干(3~5 个)乡村站建立参考气温序列,通过参考站与城镇站气温序列趋势比较获得某一时段内总的订正值和逐年订正值。参考站网与城市化影响评价研究中所用参考站网可以完全一致,也可以在站点稀疏区域考虑利用部分已订正台站资料补充作为参考气温序列。进一步,还需要考虑如何确定每个具体目标站附近的参考站点,如何建立针对每个目标站的平均参考气温序列,以及如何处理上百年单站气温资料序列中城市化偏差的年代和多年代变异性。

全球和区域平均地面气温距平序列的构建和分析方法比较成熟。国际上常用的几种方法,包括 CRU 全球气温数据分析组发展的距平值网格面积加权平均方法<sup>[6,94]</sup>和 Peterson 等<sup>[95]</sup>提出的第一差分参考序列方法,以及其他各种距平值内插格点化和面积加权平均方法,都具有参考价值。最近,

Wang 等<sup>[96]</sup>发展了一种基于最优无偏估计(BLUE)理论的统计方法,构建了中国区域长期地面气温序列,交叉验证显示能够有效降低区域平均序列估计的误差水平。总体来看,不同的格点化(内插)和面积加权平均方法对大区域平均的地面气温趋势估算结果影响很小,采用各种方法获得的全球和大尺度地面气温变化分析结果,没有明显差异。

## 5 结 语

全球陆地和区域尺度表面气温时间序列构建、分析是气候变化研究的基础性工作,在过去 30 多年得到了各方面的高度关注,也取得了许多研究成果。但是,这项工作还受到早期观测资料覆盖缺乏、部分地区近几十年观测资料覆盖不足以及城镇台站地面气温序列中的城市化影响偏差难以分离和订正等诸多问题的困扰。

改进和完善现有的观测资料数据集,分析、评价城镇观测站地面气温序列中的城市化影响性质和程度,合理订正城市化影响偏差,建立消除城市化偏差的全球陆地长序列地面气温资料数据集,精准监测和分析全球陆表平均气温的长期趋势变化规律,是摆在我国和世界气候变化或全球变化科学工作者面前的极富挑战性的任务。

在国家若干重大科技计划项目支持下,经过科学工作者多年的不懈努力,我国相关部门和研究机构在陆表气温变化观测研究方面培养了一批人才,产出了一系列成果,积累了丰富的经验,形成了自己的特色,已经具备了开展全球性研究的工作基础和条件。今后,在相关部门和基金机构的支持下,完全可以建成一套我国自己的高质量全球陆表气温观测资料数据集,提供新的全球和区域平均陆表气温时间序列,加深科学界对全球气候变化速率和空间变异性的认识。

实现上述目标,对于全球和区域气候变化检测、归因、模拟、预估和影响评估研究,科学、协调应对全球气候和环境变化,具有重要的理论和实际意义,同时也将实质性拓宽我国的气候变化或全球变化基础科学领域,进一步提升我国相关研究在国际上的地位。

**致谢:**感谢课题组成员周雅清、张雷、张爱英、郭军、初子莹、李娇、张媛的技术支持。

## 参考文献(References):

[1] Zhang Lansheng, Fang Xiuqi, Ren Guoyu. Global Change[M].

- Beijing: Higher Education Press, 2000. [张兰生, 方修琦, 任国玉. 全球变化[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.]
- [2] An Zhisheng, Fu Zongbin. Progresses in global change science [J]. *Advances in Earth Science*, 2001, 16(5): 671-680. [安芷生, 符淙斌. 全球变化科学的进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(5): 671-680.]
- [3] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[M] // Solomon S, Qin D, Manning M, *et al.*, eds. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. New York: Cambridge University Press, 2007: 1 056.
- [4] Stocker T F, Qin D, Plattner G K, *et al.* Climate Change 2013: The Physical Science Basis[M]. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [5] Ding Yihui, Ren Guoyu. Introduction to Climate Change Science of China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008: 281. [丁一汇, 任国玉. 中国气候变化科学概论[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 281.]
- [6] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and update to 2001 [J]. *Journal of Climate*, 2003, 16: 206-223.
- [7] Wang Shaowu, Dong Guangrong. Environmental characteristics and change in western China (Vol. One) [M] // Qin Dahe, ed. Assessment on Environment of Western China. Beijing: Science Press, 2002: 71-145. [王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变(第一卷) [M] // 秦大河, 编. 中国西部环境评估. 北京: 科学出版社, 2002: 71-145.]
- [8] Zhai P M, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30, doi: 10.1029/2003GL018004.
- [9] Qian W, Lin X. Regional trends in recent temperature indices in China [J]. *Climate Research*, 2004, 27(5): 119-134.
- [10] Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai. A re-analysis of climate change characteristics during the past 50 years in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(2): 228-236. [王遵娅, 丁一汇, 何金海. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.]
- [11] Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, *et al.* Climate changes of mainland China over the past half century [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942-956. [任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近五十年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.]
- [12] Zhou T, Yu R. 20<sup>th</sup> century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19: 5 843-5 858.
- [13] Duan A, Wu G X, Zhang Q, *et al.* New proofs of the recent climate warming over the Tibetan Plateau as a result of the increasing greenhouse gas emissions [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(11): 1 396-1 400.
- [14] Wang H J, Sun J Q, Chen H P, *et al.* Extreme climate in China: Facts, simulation and projection [J]. *Meteorologische Zeitschrift*, 2012, 21: 279-304.
- [15] Zhang Kinshi, Zhou Guangsheng, Gao Qiong. Terrestrial forest-steppe profile of Northeast China in the IGBP program [J]. *Earth Science Frontiers*, 1997, 4: 145-152. [张新时, 周广胜, 高琼. 全球变化中研究的中国东北森林—草原陆地样带[J]. 地学前缘, 1997, 4: 145-152.]
- [16] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems [J]. *Nature*, 2003, 421: 37-42.
- [17] Qin Dahe, Ding Yihui, Su Jilan. Climate and Environmental Change of China (Vol. One) [M]. Beijing: Science Press, 2005: 562. [秦大河, 丁一汇, 苏纪兰. 中国气候与环境演变(上卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 562.]
- [18] Perry A L, Low P J, Ellis J R, *et al.* Climate change and distribution shifts in marine fishes [J]. *Science*, 2005, 308: 1 912-1 915.
- [19] Overpack J T, Meehl G A, Bony S, *et al.* Climate data challenges in the 21st century [J]. *Science*, 2011, 331: 700-702.
- [20] Wang Shaowu, Wu Rongsheng, Yang Xiuqun, *et al.* Change in climate of China [M] // Qin Dahe, Ding Yihui, Su Jilan, eds. Climate and Environmental Change of China (Vol. One). Beijing: Science Press, 2005: 63-103. [王绍武, 伍荣生, 杨修群, 等. 中国的气候变化[M] // 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 编. 中国气候与环境演变(上卷). 北京: 科学出版社, 2005: 63-103.]
- [21] Committee of National Assessment Report on Climate Change. 2007: China National Assessment Report on Climate Change [M]. Beijing: Science Press, 2007. [气候变化国家评估报告编委会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007.]
- [22] Committee of National Assessment Report on Climate Change. China National Assessment Report on Climate Change (Vol. One) [M]. Beijing: Science Press, 2012. [气候变化国家评估报告编委会. 气候变化国家评估报告(第一卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2012.]
- [23] Ren G Y, Ding Y H, Zhao Z C, *et al.* Recent progress in studies of climate change in China [J]. *Advance in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(5): 958-977.
- [24] Li Q X, Dong W J. Detection and adjustment of undocumented discontinuities in Chinese temperature series using a composite approach [J]. *Advance in Atmospheric Science*, 2009, 26: 143-153.
- [25] Wang Xihong, Shi Guangyu, Ma Xiaoyan. Anthropogenic forcings of tropospheric sulfate aerosols and their influence on temperature in East Asia [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science*, 2002, 26(6): 751-760. [王喜红, 石广玉, 马晓燕. 东亚地区对流层人为硫酸盐辐射强迫及其温度响应[J]. 大气科学, 2002, 26(6): 751-760.]
- [26] Hua Lijuan, Ma Zhuguo, Luo Dehai, *et al.* Analysis of diurnal temperature range over China during 1961-2000 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 680-688. [华丽娟, 马柱国, 罗德海, 等. 1961—2000年中国区域气温较差分析[J]. 地理学报, 2004, 59(5): 680-688.]
- [27] Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziyang, *et al.* Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. *Climatic*

- and *Environmental Research*, 2005, 10(4): 701-716. [任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 中国气温变化研究的最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4):701-716.]
- [28] Qian Weihong, Fu Jiaolan, Zhang Weiwei, *et al.* Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years[J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(7): 673-684. [钱维宏, 符娇兰, 张玮玮, 等. 近40年中国平均气候与极值气候变化的概述[J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 673-684.]
- [29] Li Lijuan, Wang Bin, Zhou Tianjun. Integrated influence of external forcings on global warming of 20<sup>th</sup> century[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(15):1 820-1 825. [李立娟, 王斌, 周天军. 外强迫因子对20世纪全球变暖的综合影响[J]. 科学通报, 2007, 52(15):1 820-1 825.]
- [30] Zhang Renhe, Xu Xiangde. China Climatic Observational System [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008:291. [张人禾, 徐祥德. 中国气候观测系统[M]. 北京:气象出版社, 2008:291.]
- [31] Li Qingxiang, Dong Wenjie, Li Wei, *et al.* Estimate of uncertainties in temperature change of China over the last 100 years [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(16): 1 544-1 554. [李庆祥, 董文杰, 李伟, 等. 近百年中国气温变化中的不确定性估计[J]. 科学通报, 2010, 55(16): 1 544-1 554.]
- [32] Ren G Y, Zhou Y Q. Urbanization effects on trends of extreme temperature indices of national stations over mainland China, 1961-2008[J]. *Journal of Climate*, 2014, 27(6): 2 340-2 360.
- [33] Wei Fengying, Cao Hongxing. Abrupt change and trends of surface temperature in China, northern hemisphere and globe[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science*, 1995, 19(2): 140-148. [魏凤英, 曹鸿兴. 中国, 北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究[J]. 大气科学, 1995, 19(2): 140-148.]
- [34] Jiang Zhihong, Li Jianping, Wang Meihua, *et al.* Regional characteristics of the trend change for global temperature field during the last century [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2004, 9(3): 422-434. [江志红, 李建平, 王梅花, 等. 20世纪全球温度场趋势变化的区域特征分析[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(3): 422-434.]
- [35] Zheng QiuHong, Hu Ying, Qin Lianxia. Analysis of citation for research institutes in the IPCC SREX[J]. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2013, 3(5):63-69. [郑秋红, 胡英, 秦连霞. IPCC SREX报告中来自专门机构的引文分析[J]. 气象科技进展, 2013, 3(5):63-69.]
- [36] Wu Guoxiong, Lin Hai, Zou Xiaolei, *et al.* Global climate change studies and scientific data[J]. *Advances in Earth Science*, 2014, 29(1): 15-22. [吴国雄, 林海, 邹晓蕾, 等. 全球气候变化研究与科学数据[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 15-22.]
- [37] Hansen J, Ruedy R, Sato M, *et al.* A closer look at United States and global surface temperature change[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106: 23 947-23 964.
- [38] Smith T M, Reynolds R W. A global merged land and sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880-1997)[J]. *Journal of Climate*, 2005, 18: 2 021-2 036.
- [39] Lawrimore J H, Menne M J, Gleason B E, *et al.* An overview of the global historical climatology network monthly mean temperature data set, version 3[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116, doi:10.1029/2011jd016187.
- [40] Jones P D, Lister D H, Osborn T J, *et al.* Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2012, 117: D05127, doi: 10.1029/2011JD017139.
- [41] IPCC. Climate change 2001: The scientific basis [M] // Houghton J T, Ding Y H, eds. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [42] Rohde R, Muller R A. Berkeley earth temperature averaging process[J]. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 2013, doi:10.4172/gigs.1000103.
- [43] Brohan P. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111: D12106, doi: 10.1029/2005JD006548.
- [44] Hansen J, Sato M, Ruedy R, *et al.* Global temperature change [J]. *Proceedings National Academy of Sciences*, 2006, 103: 14 288-14 293.
- [45] Hansen J, Ruedy R, Sato M, *et al.* Global surface temperature change[J]. *Review of Geophysics*, 2010, 48: RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- [46] Wang Shaowu, Luo Yong, Zhao Zongci, *et al.* Global warming does not stale in the 21<sup>st</sup> century[J]. *Advance in Climate Change Research*, 2013, 9(5): 386-387. [王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 21世纪气候变暖并未停滞[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(5): 386-387.]
- [47] Gong Daoyi, Wang Shaowu. Uncertainties of studies on global climate warming [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(2): 371-376. [龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 371-376.]
- [48] Ren Guoyu. History, current state and uncertainty of studies of climate change attribution[J]. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(9): 16-23. [任国玉. 气候变暖成因研究的历史、现状和不确定性[J]. 地球科学进展, 2008, 23(9): 16-23.]
- [49] Fall S, Watts A, Nielsen-Gammon J, *et al.* Analysis of the impacts of station exposure on the U. S. Historical Climatology Network temperatures and temperature trends [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116: D14120, doi: 10.1029/2010JD015146.
- [50] Pielke R A Sr. Unresolved issues with the assessment of multidecadal global land surface temperature trends[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112: D24S08, doi: 10.1029/2006JD008229.
- [51] Zhao Zongci, Wang Shaowu, Luo Yong, *et al.* Analysis of uncertainties in climate warming of the past 100 years[J]. *Science and Technology Review*, 2009, 27(23):41-48. [赵宗慈, 王绍武, 罗

- 勇,等. 近百年气候变暖的不确定性分析[J]. 科技导报, 2009, 27(23):41-48. ]
- [52] Wang Fang, Ge Quansheng, Chen Panqin. Uncertainty on observational data of temperature change in the IPCC reports[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(7): 828-838. [王芳,葛全胜,陈泮泮. IPCC 评估报告气温变化观测数据的不确定性分析[J]. 地理学报, 2009, 64(7): 828-838. ]
- [53] Heffernan O. "Climategate" scientist speaks out[J]. *Nature Climate Change*, 2010, 4: 26-27.
- [54] Ren Yuyu, Ren Guoyu, Zhang Aiying. An overview of researches of urbanization effect on land surface air temperature trends [J]. *Progress in Geography*, 2010, 29 (11): 1 301-1 310. [任玉玉,任国玉,张爱英. 城市化对地面气温变化趋势影响研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(11):1 301-1 310. ]
- [55] Jones P D, Groisman P Y, Coughlan M, et al. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land[J]. *Nature*, 1990, 347: 169-172.
- [56] Jones P D, New M, Parker D E, et al. Surface air temperature and its variations over the last 150 years[J]. *Reviews of Geophysics*, 1999, 37: 173-199.
- [57] Jones P D, Lister D H, Li Q. Urbanization effects in large-scale temperature records, with an emphasis on China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113: D16122, doi: 10. 1029/2008JD009916.
- [58] Peterson T C, Gallo K P, Lawrimore J, et al. Global rural temperature trends[J]. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(3): 329-332.
- [59] Peterson T C. Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found [J]. *Journal of Climate*, 2003, 16: 2 941-2 959.
- [60] Parker D E. A demonstration that large-scale warming is not urban[J]. *Journal of Climate*, 2005, 19: 2 882-2 895.
- [61] Li Q X, Li W, Si P, et al. Assessment of surface air warming in northeast China, with emphasis on the impacts of urbanization [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 99, doi: 10. 1007/s00704-009-0155-4.
- [62] Ren G Y, Zhou Y Q, Chu Z Y, et al. Urbanization effects on observed surface air temperature trends in North China[J]. *Journal of Climate*, 2008, 21: 1 333-1 348.
- [63] Qian Weihong. Atlas of Climate Change and China Extreme Climatic Events[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2011: 111-124. [钱维宏. 气候变化与中国极端气候事件图集[M]. 北京:气象出版社,2011:111-124. ]
- [64] Zhao Zongci. The changes of temperature and the effects of urbanization in China in the last 39 years [J]. *Meteorological Monthly*, 1991, 17(4): 14-17. [赵宗慈. 近39年中国气温变化与城市化影响[J]. 气象, 1991, 17(4): 14-17. ]
- [65] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. *Nature*, 2003, 423: 528-531.
- [66] Huang Jiayou, Liu Xiaoning, Li Qingxiang. Study on relationship between urban heat island effect and population in southern coastal region of China[J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2004, 20(6): 713-722. [黄嘉佑,刘小宁,李庆祥. 中国南方沿海地区城市热岛效应与人口的关系研究[J]. 热带气象学报, 2004, 20(6): 713-722. ]
- [67] Zhou Yaqing, Ren Guoyu. Identifying and correcting urban bias in regional surface air temperature trends of North China over time period 1961-2000 [J]. *Climate and Environmental Research*, 2005, 10(4): 743-753. [周雅清,任国玉. 华北地区地表气温观测中城镇化影响的检测和订正[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 743-753. ]
- [68] Yang X C, Hou Y L, Chen B D. Observed surface warming induced by urbanization in east China[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116: D14113, doi: 10. 1029/2010JD015452.
- [69] Wang F, Ge Q S. Estimation of urbanization bias in observed surface temperature change in China from 1980 to 2009 using satellite land-use data [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57: 1 708-1 715.
- [70] Zhang Aiying, Ren Guoyu, Zhou Jiangxing, et al. Impacts of urbanization on trends of surface air temperature change in China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2010, 68(6): 957-966. [张爱英,任国玉,周江兴,等. 中国地面气温变化趋势中的城市化影响偏差[J]. 气象学报, 2010, 68(6): 957-966. ]
- [71] Ren Guoyu, Zhang Aiying, Chu Ziyang, et al. Principles and procedures for selecting reference surface air temperature stations in China[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(1): 78-85. [任国玉,张爱英,初子莹,等. 我国地面气温参考站点遴选的依据、原则和方法[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 78-85. ]
- [72] Li Q X, Huang J Y, Jiang Z H, et al. Detection of urbanization signals in extreme winter minimum temperature changes over northern China [J]. *Climatic Change*, 2014, doi: 10. 1007/s10584-013-1013-z.
- [73] Zhou L, Dickinson R E, Tian Y, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China[J]. *Proceedings National Academy of Sciences*, 2004, 101: 9 540-9 544.
- [74] Zhang J, Dong W, Wu L, et al. Impact of land use changes on surface warming in China[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2005, 22(3): 343-348.
- [75] Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. A study of relationship between urbanization process and urban heat island intensity in Beijing[J]. *Advance in Natural Sciences*, 2005, 15(7): 882-886. [林学椿,于淑秋,唐国利. 北京城市化进展与热岛强度关系的研究[J]. 自然科学进展, 2005, 15(7): 882-886. ]
- [76] Chu Ziyang, Ren Guoyu. Effect of enhanced urban heat island magnitude on average surface air temperature series in Beijing region[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(4): 534-540. [初子莹,任国玉. 北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响[J]. 气象学报, 2005, 63(4): 534-540. ]
- [77] Hua L J, Ma Z G, Guo W D. The impact of urbanization on air temperature across China[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2008, 93: 179-194.
- [78] Tang Guoli, Ren Guoyu, Zhou Jiangxing. Change of urban heat island intensity and its effect on surface mean air temperature re-

- cords in Southwest China[J]. *Chinese Journal of Applied Meteorology*, 2008, 19 (6): 722-730. [唐国利,任国玉,周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列的影响[J]. 应用气象学报, 2008, 19 (6): 722-730.]
- [79] Zhou Yaqing, Ren Guoyu. Urbanization effect on trends of mean maximum, minimum temperature and daily temperature range in North China[J]. *Plateau Metrology*, 2009, 28 (5): 1 158-1 166. [周雅清,任国玉. 城市化对华北地区最高,最低气温和日较差变化趋势的影响[J]. 高原气象, 2009, 28 (5): 1 158-1 166.]
- [80] He Y T, Jia G S, Hu Y H, *et al.* Detecting urban warming signals in climate records[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2013, doi: 10.1007/s00376-012-2135-3.
- [81] Wu K, Yang X Q. Urbanization and heterogeneous surface warming in eastern China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58: 1 363-1 373.
- [82] Choi J, Chung U, Yun J I. Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2003, 42: 1 711-1 719.
- [83] Chung U, Choi J, Yun J I. Urbanization effect on observed change in mean monthly temperature between 1950-1980 and 1971-2000 in Korea[J]. *Climate Change*, 2004, 66: 127-136.
- [84] Fujibe F. Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan[J]. *International Journal of Climatology*, 2009, 29: 1 811-1 822.
- [85] Lai W L, Cheng W L. Air temperature change due to human activities in Taiwan for the past century[J]. *International Journal of Climatology*, 2010, 30: 432-444.
- [86] Ren Yuyu. Effect of Urbanization on Observational Records of Land Surface Air Temperature in Northern Hemisphere[D]. Beijing: Beijing Normal University, 2008. [任玉玉. 城市化对北半球陆地气温观测记录的影响[D]. 北京: 北京师范大学, 2008.]
- [87] Karl T R, Diaz H F, Kukla G. Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record[J]. *Journal of Climatology*, 1988, 1: 1 099-1 123.
- [88] Xu Wenhui, Li Qingxiang, Xu Yan. A survey of global land surface air temperature dataset[J]. *Advance in Climate Change Research*, 2014, in press. [徐文慧,李庆祥,许艳. 近百年全球地表气温数据集的概况与初步整合[J]. 气候变化研究进展, 2014, 待刊.]
- [89] Ren G Y, Li J, Ren Y Y, *et al.* Determination of reference stations for evaluating and adjusting urbanization bias in surface air temperature data over mainland China[J]. *Journal of Climate*, 2014, in press.
- [90] Ren Y Y, Ren G Y. A remote-sensing method of selecting reference stations for evaluating urbanization effect on surface air temperature trends[J]. *Journal of Climate*, 2011, 24 (7): 3 179-3 189.
- [91] Zhou Y Q, Ren G Y. Change in extreme temperature events frequency over mainland China during 1961-2008[J]. *Climate Research*, 2011, 50 (1/2): 125-139.
- [92] Sun Chaoyang, Shao Quanqin, Liu Jiyuan, *et al.* Analysis of characteristics of meteorological observations and temperature change under the urban expansion [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2011, 16(3): 337-346. [孙朝阳,邵全琴,刘纪远,等. 城市扩展影响下的气象观测和气温变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(3): 337-346.]
- [93] Yang Y J, Wu B W, Shi C E, *et al.* Impacts of urbanization and station-relocation on surface air temperature series in Anhui Province, China[J]. *Pure and Applied Geophysics*, 2012, doi: 10.1007/s00024-012-0619-9.
- [94] Jones P D. Adjusting for sampling density in grid-box land and ocean surface temperature time series[J]. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2001, 106: 3 371-3 380.
- [95] Peterson T C, Vose R S. An overview of the global historical climatology network temperature data base[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78: 2 837-2 849.
- [96] Wang J, Xu C, Hu M, *et al.* A new estimate of the China temperature anomaly series and uncertainty assessment in 1900-2006 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2014, 119, doi: 10.1002/2013JD020542.

# An Overview on Global Land Surface Air Temperature Change

Ren Guoyu<sup>1</sup>, Ren Yuyu<sup>1</sup>, Li Qingxiang<sup>2</sup>, Xu Wenhui<sup>2</sup>

(1. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2. National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Understanding of tempo-spatial pattern and the systematic bias of the observed decadal to multi-decadal variability and long-term trends of global land Surface Air Temperature (SAT) is needed for climate change studies and policy-making. This paper summarizes the state and problems of the current studies of global land SAT change, and points out the necessary and possibility to launch a new study of global and regional SAT dataset and analyzing products. It is obvious from the overview that there exist some problems with the current three global datasets under use in global climate change research, and a major issue would be the inefficient treatments of the urbanization bias in the land SAT series. It is proposed that the Chinese global land SAT dataset developed in the China Meteorological Administration (CMA) be improved and completed, and the urbanization effect on SAT trends of global land stations be evaluated and adjusted. Based on the urban-bias adjusted SAT datasets, global and regional SAT series could be constructed and analyzed to reveal the spatial and temporal patterns of SAT variability and change. Chinese scientists could play a more important role in the endeavour facing climate community.

**Key words:** Climate change; Temperature; Dataset; Urbanization effect.

## *Nature*: 气候变暖使全球干旱地区面积显著扩大

2014年7月1日, *Nature* 发表题为《气候变暖使陆地碳固定的干燥控制区扩展》(Warming Climate Extends Dryness-Controlled Areas of Terrestrial Carbon Sequestration)的文章,指出气候变化引起的干燥、温暖区域面积的扩展可能会加速全球变暖。

在生物群系尺度,陆地碳吸收主要受控于天气变化。来自全球监测网络的观测数据表明,在16℃阈值时陆地碳汇对年平均温度( $T$ )的变化不再敏感,高于16℃时地面CO<sub>2</sub>通量由干燥度而不是温度控制。纽约市立大学(City University of New York)的研究人员利用美国国家大气研究中心下属的国家环境预报中心(NCEP/NCAR)的每月平均地表温度数据,计算了1948—2012年 $T \geq 16$ ℃区域的陆地面积并检测以下假设——随着地球表面变暖,16℃阈值纬度带极向移动,因此陆地CO<sub>2</sub>通量受干燥度控制的区域( $T > 16$ ℃的区域)正在扩大,该研究还对气候变暖引起的干燥度控制区扩展对气候变化产生的潜在后果进行了分析。结果表明,自1948年以来气候变暖已使16℃温度维度带向极地方向移动。碳吸收的调节因素主要受干燥度而不是温度控制的 $T > 16$ ℃区域的陆地表面积已经增加了6%,预计到2050年将增加至少8%。受到这种变暖影响的大部分陆地面积是干旱或半干旱生态系统,这些区域极易受到干旱和土地退化的影响。相较于温度和干燥度( $T < 16$ ℃)调节植物生产力的地区,目前受干燥度控制的区域碳净吸收能力要降低27%。这种气候变暖引起的干燥度控制区的扩展可能会对全球变暖的加速产生正反馈。 $T > 16$ ℃的陆地面积继续增加,不仅对气候变化有正反馈作用,也会影响生态系统的完整性和土地覆盖,尤其会影响贫瘠土地的牧民。

(裴惠娟 编译)

原文题目: Warming Climate Extends Dryness-Controlled Areas of Terrestrial Carbon sequestration

来源: *Nature*, 2014, doi:10.1038/srep05472