

广州市气温的气候变化特征及其成因分析

刘 燕 程正泉 叶 萌

(广州中心气象台, 510080)

提 要: 采用 1951—2005 年广州气温以及 NCEP 再分析资料, 分析了近 55 年来广州市气温变化情况以及成因。结果表明: 广州气温在 1980 年代中期以来呈显著上升趋势, 其中冬季最低气温增温最为显著; 冬季低温 ($\leq 5^{\circ}\text{C}$) 日数明显减少, 夏季高温 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) 日数则显著增加; 500hPa 高度场的异常升高、冬季风和夏季风强度的减弱与广州气温的升高有直接的关系, 而城市化进程同样也在广州气温尤其是冬季最低气温的增温中起到不可忽视的作用。

关键词: 气温 趋势分析 大气环流 城市化

Climatic Characteristics of Guangzhou Temperature and Its Cause Analysis

Liu Yan Cheng Zhengquan Ye Meng

(Guangzhou Central Meteorological Observatory, 510080)

Abstract: By use of Guangzhou temperature and NCEP reanalysis data from 1951—2005, the change of Guangzhou temperature and its probable cause is studied. Evidence suggests that Guangzhou temperature shows an obvious increase since the middle of 1980s, with the most prominent trend in winter minimal temperature. The number of low temperature day ($\leq 5^{\circ}\text{C}$) in winter decreases obviously and that of high temperature day ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) in summer increases prominently. Results also show that the increase in Guangzhou temperature has a direct relationship with the height of 500hPa fields and the weakening of winter and summer monsoon. And the role of urbanization process can't be neglected in the increase of Guangzhou temperature, especially in winter minimal temperature.

Key Words: temperature trend analysis atmospheric circulation urbanization

资助项目: 广州中心气象台科研基金

收稿日期: 2007 年 6 月 6 日; 修定稿日期: 2007 年 12 月 10 日

引言

全球气候变暖是当今气候研究的热点,IPCC第三次气候变化评价报告^[1]指出,20世纪全球平均地表温度增加了 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$,尤其是1980年代以来,全球和北半球的气温出现了该世纪以来最明显的上升趋势。全球变暖主要体现为最低气温的显著增温,且以3倍高于最高气温的速率上升^[2]。国内关于区域性(单点)最高、最低气温变化的研究已有不少工作^[3-5],如,上海近百年来最高最低气温都呈增高趋势,且最低温度的上升趋势明显高于最高气温;而上世纪北京1月份最低气温的倾向率为 $4.08^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。但最高温度却呈现下降趋势为 $-0.245^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。可以看出,最高、最低气温变化存在明显的非对称变化,而且这种非对称变化还存在地域差异。

广州地处华南沿海,1980年代以后气温增温显著^[6-8]。有研究^[9]指出这种显著增暖与中高纬地区大气环流异常密不可分。另外,也有研究^[10-11]认为近些年城市化效应对广州温度的上升已起到了不可忽视的作用。对于广州温度变化具体情况以及引起这种变化的成因,以往的研究并未给出全面的探讨,因此,进一步探讨全球变暖背景下广州城市

气候异常特征以及可能的成因,不仅有利于充分认识城市气候变化规律,而且对合理安排和有效利用该城市的环境资源都具有重要意义。

1 资料

国家气象中心提供:1951年1月至2005年12月广州市逐月平均最高、最低和平均气温,逐月平均水汽压,逐日最低、最高气温。广东省气候与农业气象中心提供:1960年1月至2005年12月从化市逐月平均最高、最低和平均气温。NCEP/NCAR1951年1月至2005年12月逐月500hPa高度场、850hPa风场资料,格距均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。广州市属亚热带气候,1月份年平均气温最低,7月份年平均最高^[12]。由于本文主要讨论年平均、最低以及最高气温的变化情况,因此就以1月和7月分别代表冬季和夏季。

2 气温的变化趋势

2.1 年平均气温变化特征

图1给出了1951—2005年广州市年平均气温(简称气温)的标准化距平、9年二项式平滑曲线以及线性拟合直线,可以看出近55年来广州市的气温呈现显著的上升趋势,

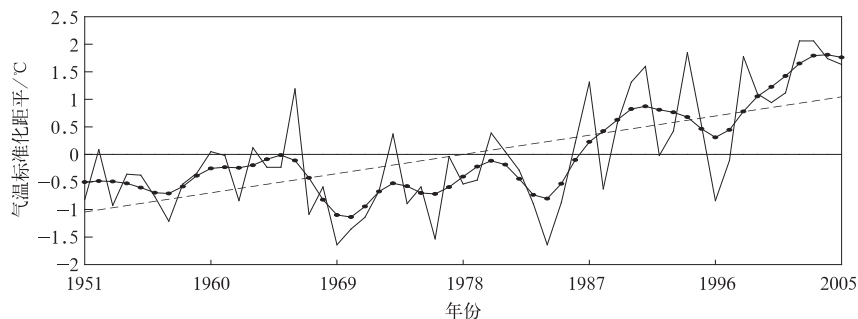


图1 广州市年平均气温标准化距平
点实线为9年二项式滑动平均、虚线为线性趋势

增长幅度为 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (显著性水平 0.001), 低于全国 1951—1990 年平均气温 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的增长幅度^[13], 因此, 广州市的增温与我国气候变暖具有同步性, 但强度有所不同。此外, 9 年二项式滑动曲线清楚地显示出 55 年来广州市气温经历了两次显著的波动阶段, 即 1960 年代中期至 1980 年代中期的偏冷期, 以及 1980 年代中期以后显著的上升期。目前该增长趋势已达到了 55 年来的最高值, 1986—2005 年的平均气温较 1951—1985 年增加了 0.6°C 。因此, 近 55 年来广州市气温不仅出现显著增温, 而且具有显著的年际和年代际变化特征。

2.2 平均最高、最低气温的趋势变化

参照文献[14]的算法, 计算了广州市 1 月、7 月份以及年平均最高、最低气温的趋势

系数以及气候倾向率(见表 1)。由表 1 可知冬季最高和最低气温同样呈上升趋势, 其中最低气温增温非常明显, 气候倾向率达 $0.295/10\text{a}$ (显著性水平 0.05), 而最高气温的微弱增长并不显著。由于冬季最低气温的增温幅度明显大于最高温度, 导致了气温日较差呈现下降趋势, 显示出冬季最高、最低气温变化的不对称性。夏季最高和最低气温同样都呈现显著的增温趋势(显著性水平 0.01), 从倾向率来看, 二者的增幅相当, 均为 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 左右, 远小于冬季最低气温的增温幅度。两者同步的增温趋势, 使得日较差变化趋势不明显。因此, 在全球气候变暖的背景下, 广州市的最高、最低气温在不同季节同样存在不对称性变化, 其中冬季的最低温度在广州的增暖中表现的最为突出。

表 1 广州市气温的趋势系数和气候倾向率

气温	平均气温		最高气温		最低气温		日较差		极端最高气温		极端最低气温	
	R	α	R	α	R	α	R	α	R	α	R	α
1 月	0.212	0.183	0.080	0.082	0.297	0.295	-0.214	-0.213	0.101	0.072	0.445	0.505
7 月	0.477	0.176	0.347	0.157	0.485	0.156	0.004	0.001	0.373	0.292	0.282	0.140
年平均	0.615	0.181	0.446	0.150	0.606	0.198	-0.174	-0.048	0.607	0.215	0.498	0.216

R : 气候趋势系数, α : 气候倾向率(单位: $^{\circ}\text{C}/10$ 年)

2.3 极端最高、最低气温的变化趋势

刘燕等^[15]在讨论广州市夏季 35°C 及其以上高温频数时指出, 1980 年代中期以后广州市高温天气不论在频数还是在量值上均存在明显的增加趋势。由表 1 可以看出极端最高、最低气温的趋势变化同样也存在季节以及变化幅度的不对称性。极端最高气温在夏季呈现显著的上升趋势, 气候倾向率为 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 而冬季变化却不明显; 极端最低气温在冬季的增温表现的最为突出, 增温幅度高达 $0.51^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 而夏季最低气温的增幅显得相对较小。因此夏季的极端最高气温以及

冬季的极端最低气温都呈显著的增温趋势, 这说明广州市夏季发生极端高温事件的几率正在增大, 而冬季的极端寒害减弱。

统计了广州市日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日、日最低气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的低温日的逐年变化(图 2), 可知, 高温日在 1960、1970 年代明显偏少, 有的年份甚至没有高温日出现, 1970 年代高温频数达最低, 1980 年代中期以后则呈现明显的增多趋势。而低温日变化趋势相反, 1960、1970 年代达到峰值, 1980 年代中期以后出现的次数却显著减少。这说明了广州的冬季的低温灾害正趋于减弱, 而夏季则趋于更加炎热。

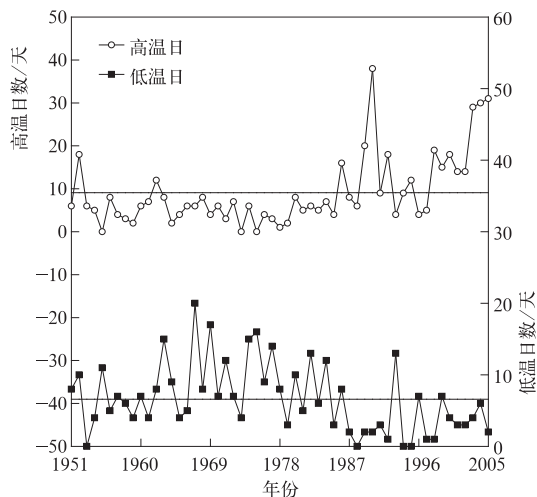


图2 1951—2005年广州市年高温日、低温日的逐年变化

由以上分析可以看出广州气温的变化特征与全球和中国气候变化特征是一致的,或者说广州的升温是对全球和中国气候变暖的一种响应,而且这种响应同样具有自身不对称变化的特点。因此,本文着重分析这种不对称变化的可能原因。

3 冬、夏季气温异常的可能原因

3.1 大气环流的变化特征

广州气温的显著上升与全国大部分地区的升温是一致的,这种上升与大气环流的变化和调整具有直接的关系,西风带环流和副热带高压等环流系统与我国气候的变化具有十分密切的关系。很多研究表明^[16-18],自1970年代末至1980年代初以来,500hPa中纬度环流由以前的经向环流为主逐渐演变成纬向环流为主,而此时副热带高压同样也进入偏强期,这种环流的演变使得进入及影响我国的冷空气次数偏少、强度偏弱,从而导致我国大部分地区的气温明显偏高。

经验正交展开(EOF)常用来将气象场分

解为多个不相关的典型模态,通过分析其主要模态和对应的时间系数可以分析气象场的主要信号特征。当对原始气象场进行EOF展开时,第一模态即为平均场,反映的是整个气象场的一种平均状况,权重很大,其对应的时间系数反映的就是这个平均状况的时间演变^[19]。分别对1951—2005年1月和7月10°~80°N、60°~150°E范围内的500hPa高度场进行EOF展开。第一特征向量场分别代表了1月和7月500hPa高度场的平均状况(图3)。从冬季的第一特征向量的分布(图3a)可见,南高北低的分布代表了500hPa高度场的典型分布,其时间系数存在着较明显的线性增加趋势,表明近几十年来,冬季500hPa高度场处于不断增加的趋势。时间系数的11年滑动平均(图3b)表明,这种增加趋势是波动增加的,经历了几次增加—降低—增加的过程,尤其是1990年代中期以来该趋势非常明显。500hPa高度场尤其是中高纬地区高度场的增加,表明西风带系统活动减弱,西风槽经向度减小,冷空气活动减弱,从而对华南影响也相应减弱,利于温度升高^[20-21]。另外,第一时间系数与1月份的最高、最低气温都呈正相关关系,其中与最低气温的相关已超过了0.001的显著性水平,表明广州冬季温度尤其最低气温的升高与环流变化有一定的关系。

而7月份500hPa高度场EOF展开的第一模态分布(图3c)与冬季十分类似,最大值为从西北太平洋伸展至江南、华南的类似副高的高值区。其对应的时间系数(图3d)同样表现出波动上升的趋势,且上升趋势比1月要更强。表明近几十年尤其是1980年代以来夏季高度场显著增加,西风带系统活动减弱,副热带高压加强西伸,华南受副高控制机会增加,因此利于华南温度显著升

高^[15,22],而夏季的最高、最低温度与第一时间系数相对较高的正相关关系(显著性水平

0.05)可以进一步说明副高的加强对于广州夏季温度升温具有显著的贡献。

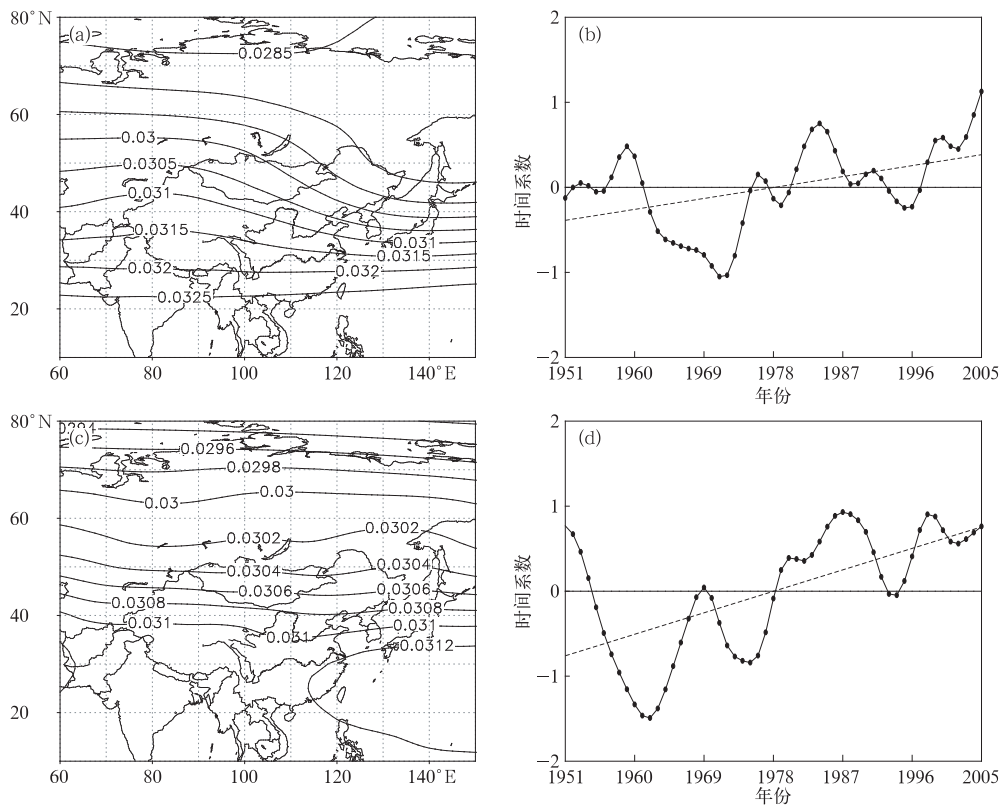


图 3 1 月(a,b)和 7 月(c,d)500hPa 高度场 EOF 分解的第一特征向量分布(a,c)、第一时间系数的 11 年二项式滑动曲线及线性趋势(b,d)

3.2 季风的变化趋势

广州地处华南沿海,属典型的亚热带季风海洋性气候,冬季风和夏季风的异常对华南沿海的气候具有直接的影响。1980 年前后,大气环流出现显著变化,为研究季风变化对广州气温的影响,分别计算 1980—2005 年 1 月(7 月)平均 850hPa 风场与 1951—1979 年 1 月(7 月)平均 850hPa 风场的差值矢量场(图 4)。

从图 4a 中可见,1 月从中南半岛经华南、华东、华北至东北有一条南风变风通道,同时,西伯利亚地区出现较明显的南风变风

风场,结合 500hPa 高度场 EOF 分析可知,冬季由于大气环流变化,西风带系统活动减弱,冷空气影响降低,因此图 4a 中出现明显的南风变风区,说明冬季影响广东的冬季风强度减弱了,这一结论与梁建茵等^[9]的研究比较一致,由于冷空气减弱,华南出现南风异常显然是有利于华南增温的。

而夏季的变风场(图 4b)表明,在蒙古附近出现一个反气旋的变风场,表明 1980 年以来原位于该处的夏季大陆热低压(图略)强度减弱。李霞等^[23]研究表明,1980 年以来,海洋上大气低层温度上升,大陆低层温度下降,在此热力作用下导致南海夏季风强度减弱。

该图还显示从蒙古经东北、华北、华中、广西至中南半岛有一条明显的北风变风通道,广州在其附近,变风也为东北风。由于7月份850hPa平均风场典型特征为南风从孟加拉湾、南海经华南、中国东部至东北,因此变风通道表明7月份夏季风活动减弱,出现北风异常。

水汽压是反映大气水汽含量的一个重要指标,大气中水汽含量愈多,水汽压则愈大;反之则愈小。而季风活动与大气水汽含量关系密切。图5给出了55年来广州平均水汽压的变化趋势,可知冬季水汽压呈缓慢上升趋势,表明冬季广州上空水汽含量正缓慢增加。这一现象与干燥的东北季风减弱、湿润

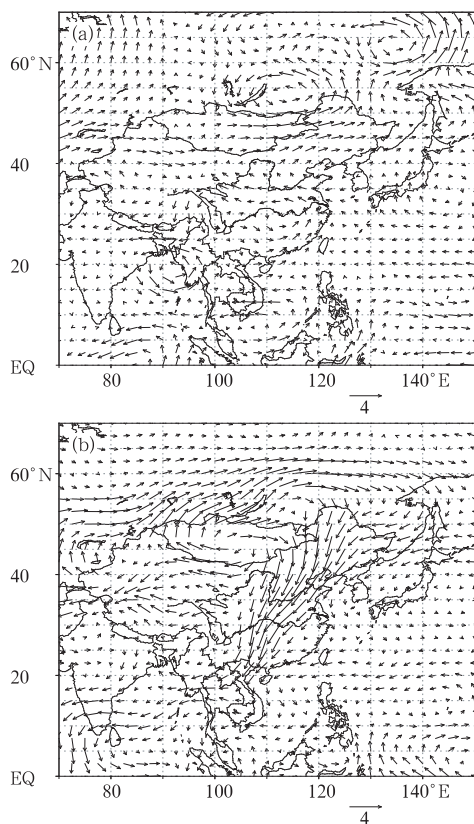


图4 1980—2005年平均850hPa风场与1951—1979年平均850hPa风场的风矢量差值场
a:1月; b:7月

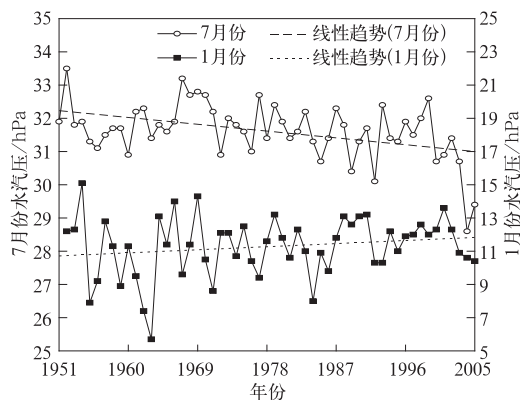


图5 1951—2005年1月和7月广州水汽压变化图

的南风异常有直接关系。水汽增加会削弱向外长波辐射,不利于夜间辐射降温而导致冬季夜间最低温度的显著增加。而夏季水汽压则与冬季相反,呈减小趋势。结合图4b的分析可知,夏季出现东北风异常、西南风减弱,输向华南的水汽减少、水汽压下降。而水汽含量的减少使得大气比热降低,从而白天吸收短波辐射时更容易导致升温。

3.3 广州城市化效应对温度变化的影响

很多研究表明,近50年来全球气候变暖除自然变率外主要是由人类活动所引起的。就温度变化来说,城市化是最重要的影响因素之一,乔盛西等^[26]曾研究县城城市化对温度的影响,认为这种影响非常显著。赵宗慈等^[27]也曾分析了美国和中国的城市化影响,认为都市化作用使年平均气温以及年极端最低气温明显增暖。

从化市观测站位于广州五山观测站东北方约50km,属于郊区,相对珠江三角洲其他城市气象站来说,从化周围环境总的改变不大,可较好地反映珠江三角洲地区自然气候的变化。对比分析从化、广州平均气温、最高和最低气温的长期演变趋势(图略),发现二者的气温变化趋势非常一致,且存在显著的

正相关。因此可以利用从化气象温度观测资料来对比分析广州城市化效应对温度的影响。表 2 为广州与从化各月累年平均温度、最高温度、最低温度的差值,用数值的大小来表征由于城市化进程导致广州各月升温强度的变化。从表 2 可以看出几个特点,(1)冬半

年温差明显要大于夏半年,温差最小值均出现最炎热的 7、8 月份。(2)最低温度的温差远远超过最高温度的温差。因此城市化对广州温度的影响,在冬季最低温度上表现得最为明显。

表 2 广州与从化各月累年平均温度、最高温度及最低温度差(单位:℃)

温差	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
ΔT_{ave}	0.96	0.63	0.53	0.23	0.25	0.18	0.04	0.16	0.45	0.80	1.1	1.08
ΔT_{max}	0.27	0.16	0.23	0.03	0.07	-0.01	-0.25	-0.27	-0.2	-0.1	0	0.1
ΔT_{min}	1.38	1.02	0.84	0.51	0.52	0.44	0.3	0.37	0.84	1.35	1.76	1.69

图 6 给出了广州与从化平均最高、最低气温温差的年-月变化图。该图能清晰地反映出这种温度差的年际变化和年内变化。年内变化非常明显地表现出夏季温差小、冬季温差大的特征。从最低气温温差的年代际变化来看,各个月份气温均出现明显的上升。图 6a 中可看出这种增长有两个阶段。第一阶段从 1960 年代末至 1995 年,温差持续上升,尤其是 1980 年代以来,增加趋势越发明显。其中最大值出现在 1994 年 11 月份,达到 3.8℃,较 1969 年上升了 2.9℃,且夏季温差也随之升至 1.0℃ 以上;第二阶段为 1996 至 2005 年。两个阶段之间明显的不连续,是由于 1996 年广州观测站由天河迁至观测环境更为合理的五山造成的。研究^[28]表明,广州资料在 1996 年前后出现不连续性。此时二者年平均最低气温温差由 1995 年的 1.8℃ 下降为 1996 年的 0.7℃,但随后的 10 年以超过第一阶段更为迅猛的增长趋势上升,2004 年较 1996 年年平均最低气温温差上升了 2.05℃。这种上升趋势与广州近几十年的城市化进程十分一致,下垫面性质、周围环境的改造对气温观测有着非常明显的影响,而且这种影响效应一般在夜间强,白天弱^[10],这也可能是冬季最低气温增幅高于平

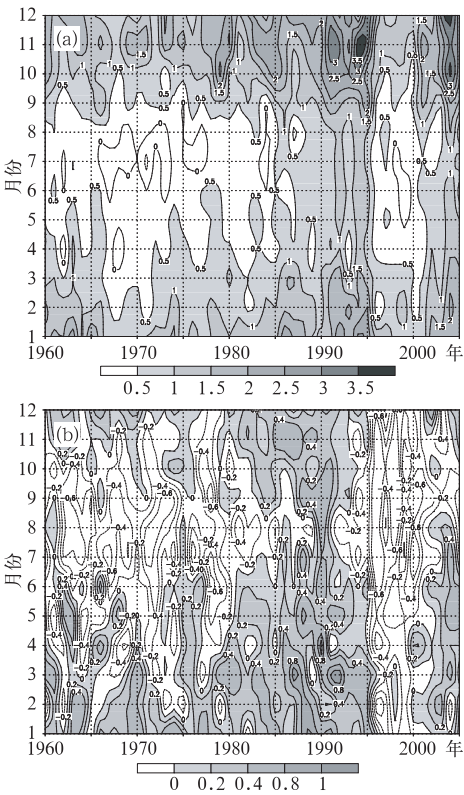


图 6 广州与从化温度差值的年-月际变化图
a: 最低温度; b: 最高温度

均气温以及最高气温的原因。另外,最高气温温差的年-月分布与最低气温温差有些类似,只是在数值上小许多,而且最大温差出现

1—3月份。因此,城市化效应对广州气温,特别是冬季最低气温明显上升的影响是不可忽视的因素。

4 小结与讨论

(1) 近55年来,广州市年平均气温、夏季以及冬季气温均呈明显的上升趋势,其中夏季最高、最低气温增长幅度均低于冬季最低温度的增温幅度;冬季日较差呈减小趋势,夏季则不明显;高温日和低温日呈反位相变化,其中高温日在1960—1970年代达最少,1980年代以后明显增加;而低温日则是呈现相反的变化趋势,1980年代以来显著减少,说明广州冬季低温日趋减少,而夏季极端高温现象更为频繁。

(2) 500hPa高度场在1970年代末以后,呈现波动式上升,尤其是近10年增加趋势更加明显。大气环流的变化,导致季风强度减弱,1980年代后冬季低层出现南风异常,而夏季低层出现北风异常。表明冬季西风带系统活动减弱,西风槽经向度减小,使得冷空气活动减弱,对华南影响也相应减弱,利于冬季温度升高,同时华南低层偏南风异常(冬季风减弱),广州上空水汽含量增加,削弱向外长波辐射,不利于夜间辐射降温而导致夜间最低温度的显著增暖。夏季高度场异常升高意味着副热带高压加强西伸,华南受副高控制机会增加,副高控制下的下沉气流利于华南温度显著升高,同时,南海夏季风强度减弱,导致大气中水汽含量减少、比热降低,白天吸收短波辐射时更容易导致升温。

(3) 通过广州和从化两地气温的对比分析,发现城市化效应在1980年代以来同样呈明显加强的趋势,是广州气温显著升高的一个重要因子。这种影响有两个显著的特点,

第一,冬季比夏季明显得多;第二,夜间比白天明显得多。因此,城市化效应对广州温度,特别是冬季最低气温明显上升的影响是不可忽视的。

由于气候变暖是非常复杂的过程,既有自然变率的作用,又有人类活动的影响。日益加快的城市化进程对城市气候变暖有相当显著的作用,但评估其作用究竟有多大以及如何与自然变率的增暖严格区分还难以实现。本文利用受城市化进程影响较小的从化站与广州站来作对比讨论城市化的影响,目的是想证明城市化发展的确能起到增温效应,两者的温度差仅用以定性的讨论城市化影响的相对强弱。尽管二者的温差受多种因素的影响,但对地理位置接近的两地来说,城市化发展应该是造成二者温差日益加大的最重要的原因。对于城市化问题的进一步研究,还需找到非常好的参考站以及观测对比方案来进行研究。

参考文献

- [1] 孙成全,高峰,曲建升. 全球气候变化的新认识[J]. 自然杂志,2002,24(2):114-122.
- [2] Karl T R, et al. Asymmetric trend of daily maximum and minimum temperature[J]. Bulletin of American Meteorological Society. 1993,74(6):1007-1023.
- [3] 谢庄,曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化[J]. 气象学报,1996,54(4):501-507.
- [4] 翟盘茂,任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报,1997,55(4):418-429.
- [5] 江志红,丁裕国. 近百年上海气候变暖过程的再认识——平均温度与最低、最高温度的对比[J]. 应用气象学报,1999,10(2):151-159.
- [6] 刘黎明,陈创买,简裕庚. 广东省1954-1990年的气候特征及异常[J]. 热带气象学报,1996,12(4):290-296.
- [7] 刘锦奎,黎迪庆. 广东80年代以来的气候变化特点[J]. 广东气象,1999,1:2-5.
- [8] 纪忠萍,谷德军,谢炯光. 广州近百年来气候变化的

- 多时间尺度分析[J]. 热带气象学报, 1999, 15(1): 48-55.
- [9] 梁建茵, 吴尚森. 冬季广东气温变化与 500hPa 环流的关系及预测研究[J]. 广东气象, 1998, 4(增 2): 46-48.
- [10] 范绍佳, 董娟, 郭璐璐, 等. 城市发展对广州温度场影响的分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(6): 623-627.
- [11] 周国逸, 黄忠良. 广州近 35 年来的气候变化[J]. 热带地理, 1999, 19(3): 198-218.
- [12] 黄增明, 梁建茵, 吴艳标, 等. 广州城市气候[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 20-24.
- [13] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.
- [14] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [15] 刘燕, 程正泉, 蔡安安. 广州盛夏高温频数异常分析[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 553-559.
- [16] 慕巧珍, 王绍武, 朱锦红, 等. 近百年夏季西太平洋副热带高压的变化[J]. 大气科学, 2001, 25(6): 787-797.
- [17] 廖荃荪, 李斌. 80 年代我国气温变化及其与大气环流变化的关系[J]. 气象, 1990, 16(11): 24-29.
- [18] 林振敏, 施能. 北半球冬季大气环流遥相关型特征与我国区域气候[J]. 气象科技, 2004, 32(5): 333-342.
- [19] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999, 114-122.
- [20] 龚道溢, 王绍武. 北半球冬季平均的纬向环流结构及其对我国气候的影响[J]. 地理科学, 2001, 21(2): 1-6.
- [21] 毛睿, 龚道溢, 房巧敏. 冬季东亚中纬度西风急流对我国气候的影响[J]. 应用气象学报, 2007, 18(2): 137-146.
- [22] 黄忠, 熊亚丽, 林良勋. 广州市 37℃ 以上酷热天气形势及相关要素分析[J]. 气象, 2005, 31(7): 24-27.
- [23] 李霞, 梁建茵. 南海夏季风强度年代际变化的基本特征[C]. 中国气象学会 2005 年年会论文集, 2005: 1369.
- [24] 陈桦, 丁一汇, 何金海. 亚洲夏季风指数的重新评估与季风的长期变化[J]. 气象学报, 2004, 64(6): 770-779.
- [25] 许建平, 曾庆存. 一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(3): 351-365.
- [26] 乔盛西, 覃军. 县城城市化对气温影响的诊断分析[J]. 气象, 1990, 16(11): 17-20.
- [27] 赵宗慈. 近 39 年中国的气候变化与城市化影响[J]. 气象, 1991, 17(4): 14-17.
- [28] 蔡玲玲, 汤小兵. 广州天河站与五山站气象观测资料的连续性问题[J]. 广东气象, 1997, 4: 32-34.