

文章编号:1673-8411 (2014) 02-0040-06

近 49 年珠海气温变化及城市化影响初探

利赛明, 陈静林
(珠海市国家气候观测台, 广东 珠海 519000)

摘 要:根据珠海站 1962—2010 年逐日地面气温观测数据与 1979—2010 年 NCEP/NCAR R1 再分析资料,分析了珠海市平均气温、平均最高气温、平均最低气温的年 and 四季变化特征,探讨城市化对珠海气温变化的影响。研究结果表明,近 49 年珠海市年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温均呈增温趋势,增温率分别为 0.14℃/10a、0.22℃/10a、0.12℃/10a。城市化及土地利用类型改变使年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温增暖 0.16℃/10a、0.10℃/10a、0.15℃/10a,对观测气温增暖的贡献分别为 46.0%、27.6%、46.1%;四季变化中以冬季和春季较显著。
关键词:珠海市;气温变化;城市化
中图分类号:P46 **文献标识码:**A

Discussion on Air Temperature Change in Zhuhai in Recent 49 Years and the Effects of Urbanization

Li Sai-ming, Chen Jing-lin
(Zhuhai Municipal National Climatic Observatory, Zhuhai, Guangdong, 519000)

Abstract: Based on the observational daily surface air temperature during 1962 to 2010 in Zhuhai and NCEP/NCAR reanalysis (R1) data during 1979 to 2010, the characteristics of the annual and seasonal variation of the annual mean temperature, annual mean maximum temperature and annual mean minimum temperature were analyzed, and the urbanization effect on air temperature change in Zhuhai was explored. The results show that during the last 49 years, the annual mean temperature, annual mean maximum temperature and annual mean minimum temperature in Zhuhai increased at a rate of about 0.14℃/10a, 0.22℃/10a and 0.12℃/10a. Urbanization and land-use change result in the annual mean temperature, annual mean maximum temperature and annual mean minimum temperature increasing at a rate of about 0.16℃/10a, 0.10℃/10a and 0.15℃/10a, accounting for 46.0%, 27.6% and 46.1% of the total warming, respectively. The air temperature warming trends were most significant in winter and spring.
Key Words: Zhuhai; air temperature change; Urbanization

国内外许多学者^[1-4]已对全球变暖问题进行了不同时间、空间尺度的研究与讨论,全球气候变暖已是公认的事实。影响地面气温变化的因素包括区域气候自身变化和人类活动的影响两方面,而人类活动的影响主要表现为温室气体排放和土地利用类型的改变^[2]。城市是人类活动的集中表现,人类活动所造成的下垫面性质改变、人为热排放等问题都会影响城市的气温变化,导致局地气候要素的重新分布。城市化发展对气温的影响已成为当今气候变暖研究

中最受关注和亟待解决的问题之一。
珠海地处广东省西南部沿海,东与香港隔海相望,南与澳门相连,地理位置优越,是珠江三角洲南端的一个重要城市。1980 年珠海设立经济特区,走在改革开放的前沿。1980 年末珠海市常住人口仅 36.53 万人,GDP 为 2.61 亿元,截至 2010 年末,全市常住人口 156.16 万人,GDP 为 1208.60 亿元^[3]。珠海的经济虽不如广州、深圳等特大城市发展快速,城市化发展对珠海气温变化是否有影响,影响程度如何?

收稿日期:2013-12-30
作者简介:利赛明(1977-),女,本科,珠海市国家气候观测台,从事大气探测工作。

关于这方面的研究以往也鲜见报道。为此,本文利用珠海站 1962—2010 年地面气温观测数据与 1979—2010 年 NCEP/NCAR R1 再分析资料,从分析珠海近 49 年气温变化特征着手,探讨城市化发展对珠海气温变化的影响。

1 资料与方法

1.1 气温资料

本文使用的地面气温观测数据(简称 OBS,下同)为珠海站 1962 年 1 月 1 日—2010 年 12 月 31 日逐日气温数据,通过统计得出各年、季平均气温、平均最高气温、平均最低气温的时间序列。

NCEP/NCAR 再分析资料为美国国家环境预测中心(NCEP)和大气研究中心(NCAR)的合作项目^[4-5],是目前时间尺度最长的全球再分析资料。NCEP/NCAR 再分析系统所同化的观测资料(特别是卫星遥感资料)大多起始于 1979 年以后,这使得早期的再分析资料存在一定质量问题,不适用于长期气候变化研究。因此,本文使用的 NCEP/NCAR R1 再分析资料(简称 R1,下同)为 1979 年 1 月—2010 年 12 月 2m 高度处的逐月平均气温、平均最高气温、平均最低气温数据。运用双线性插值法将 R1 再分析资料插值到珠海站(113.58°E, 22.28°N),构建珠海站 R1 再分析资料时间序列。

1.2 线性倾向估计

线性倾向估计^[6]的主要原理为:用 x_i 表示样本为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间序列,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$\hat{x}=a+bt_i \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中 a 表示回归常数, b 表示回归系数, a 和 b 可以用最小二乘法进行估计。

回归系数 b 表示气候变量 x 的趋势倾向。当 $b>0$ 时,说明变量随时间 t 的增加 x 呈上升趋势;当 $b<0$ 时,说明随时间 t 的增加 x 呈下降趋势, $|b|$ 的大小表示上升和下降的倾向程度。

同时计算出变量 x_i 与时间 t_i 的相关系数 r ,通过对 r 进行显著性检验来判断变化趋势的程度是否显著。当 $|r|$ 大于显著性水平,表明 x 随时间 t 的变化趋势是显著的,否则表明变化趋势是不显著的。

1.3 OMR 方法

以往关于城市对气温变化的影响研究大多采用城郊对比法^[7-89],这种方法无法分离所选乡村站自身

的人类活动影响,也无法显示其他土地利用类型改变对气温变化的影响。2003 年 Kalnay 等^[10]提出了 OMR(Observation minus Reanalysis)方法,采用地面观测数据与 NCEP/NCAR 再分析资料的差值来估计城市化及其他土地利用类型变化对气候变化的影响,得到了国内外学者的广泛应用^[11-1213]。该方法的理论基础是:由于 R1 再分析资料中地面气温是由大气环境决定的,并不同化地表观测数据,可以认为对城市化和下垫面状况不敏感^[10]。因此,地面观测数据与 R1 再分析资料的气温差能够反映城市化及土地利用类型改变等地表强迫对气候的影响。

本文中 OMR 值表示为地面观测数据与 R1 再分析资料的气温距平之差。设 T_o 为地面观测数据的气温距平, T_R 为 R1 再分析资料的气温距平, OMR 值(ΔT_{OR})用以下公式计算:

$$\Delta T_{OR}=T_o-T_R \quad (2)$$

OMR 贡献率表示为 OMR 变化趋势与地面观测数据气温变化趋势的比值。设 E_o 为 OMR 贡献率,用下式计算:

$$E_o=\frac{\Delta T_{OR}}{|T_o|}=\frac{T_o-T_R}{|T_o|}, \quad (3)$$

当 $E_o>0$ 时,表示城市化及土地利用类型改变对气温趋势变化为正贡献;当 $E_o<0$ 时,表示城市化及土地利用类型改变对气温趋势变化为负贡献。

2 近 49 年珠海市气温变化特征

2.1 年际气温变化趋势特征

1962—2010 年珠海市年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温总体上均表现为明显的波动上升趋势,以 20 世纪 60 年代初和 20 世纪 80 年代初为分界线,呈现先增温后降温再增温的变化特征(图 1)。

如图 1a 所示,1962—2010 年珠海市年平均气温的线性增温率为 $0.14^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,49 年的气温平均值为 22.61°C 。在 1966 年以前,年平均气温有个较小的增温趋势;1966—1984 年间有降温趋势,年平均气温在 49 年均值以下,处于相对冷期;1984 年以后出现显著增温趋势,年平均气温以 $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的增温率迅速上升并在均值附近上下浮动,到 1996 年以后年平均气温升高到均值以上,处于相对暖期。

如图 1b、1c 所示,1962—2010 年珠海市年平均最高气温、年平均最低气温的变化趋势与年平均气

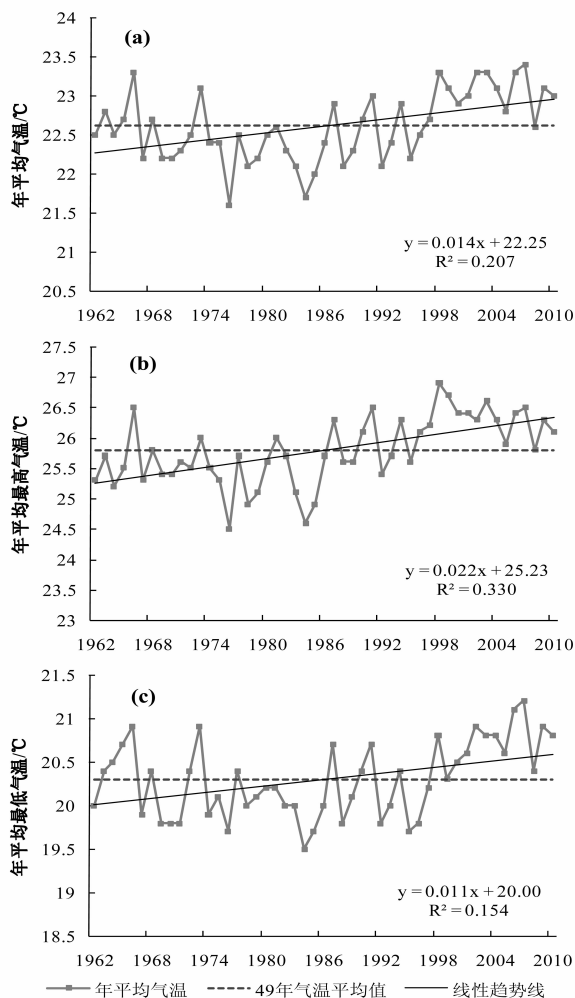


图1 1962—2010年珠海市年平均气温(a)、年平均最高气温(b)、年平均最低气温(c)变化

温一致,分别以 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增温。1960年代后期到1980年代初,年平均最高气温和年平均最低气温有小幅下降趋势;1984年以后,年平均最高气温和年平均最低气温分别以 $0.38^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的增温率快速上升;1996

年、1998年以后,年平均最高气温和年平均最低气温分别升高到均值以上。可见,1984年后珠海市的气温变化进入快速上升时期,到1990年代中后期气温上升趋势更明显。

2.2 四季气温变化趋势特征

表1是珠海市1962—2010年平均气温、平均最高气温、平均最低气温的四季变化线性趋势。由表1可知,珠海市各季节气温变化均呈上升趋势,且冬季增幅最大,夏季增幅最小,各季节的平均最高气温增幅均比平均最低气温大。

表1 1962—2010年珠海市年及四季气温变化趋势($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

时段	平均气温	平均最高气温	平均最低气温
年	0.14**	0.22**	0.12**
春	0.09	0.22*	0.03
夏	0.05	0.16**	0.02
秋	0.11	0.18**	0.11
冬	0.31**	0.34**	0.30**

注:*表示通过0.05显著性水平检验,**表示通过0.01显著性水平检验。

四季平均气温增温趋势冬季最大,春秋季节次之,夏季最小,冬季通过0.01的显著性水平检验,其余三季的气温变化不明显。四季平均最高气温的增温趋势均比较明显,夏季、秋季和冬季均通过0.01的显著性水平检验,春季通过0.05的显著性水平检验,增温幅度上冬季最大,春季次之。四季平均最低气温增温趋势冬季最大,通过0.01的显著性水平检验,秋季次之,春夏季变化相差不大。

3 城市化发展对珠海市气温变化的影响

3.1 珠海市城市化发展趋势

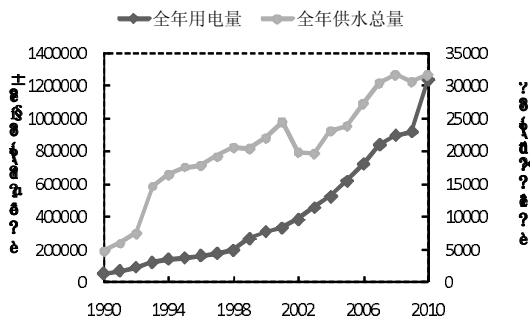
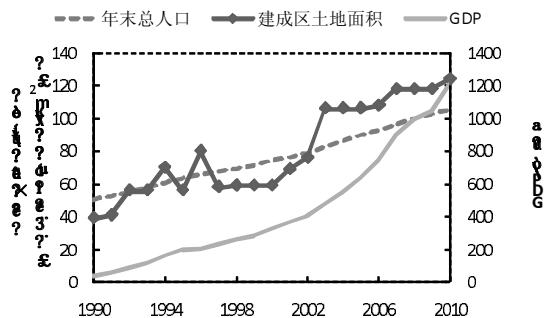


图2 1990—2010年珠海市建成区面积、GDP、全年用电量、全年供水总量变化

表 2 1990—2010 年珠海市气温变化与城市化指标的相关系数

	年末总人口	建成区土地面积	GDP	全年用电量	全年供水总量
年平均气温	0.493*	0.405	0.408	0.411	0.442*
年平均最高气温	0.165	0.054	0.072	0.063	0.202
年平均最低气温	0.628**	0.553**	0.588**	0.598**	0.509*

注: * 表示通过 0.05 显著性水平检验, ** 表示通过 0.01 显著性水平检验。

为描述珠海市的城市化发展趋势, 本文选取年末总人口(万人)、建成区土地面积(km²)、GDP(亿元)、全年用电量(万千瓦时)、全年供水总量(万吨)等指标来表示城市化程度(图 2), 数据来源于《广东统计年鉴 1991—2011》^[1] 及《中国城市统计年鉴 1991—2011》^[2]。

由图 2 可见, 珠海市的各项城市化指标均在 20 世纪末至 21 世纪初的几年有明显的上升趋势, 说明珠海市的城市化发展在这几年开始加快, 这与前文分析近 49 年珠海市气温变化趋势所得结果较一致。通过相关分析发现(表 2), 珠海市年平均气温与年末总人口、全年供水总量两项指标的相关系数分别为 0.493、0.442, 通过 0.05 的显著性水平检验, 年平均最低气温与各项城市化指标均呈现显著相关的关系, 说明城市化发展在一定程度上影响着珠海市的气温变化。

3.2 气温 OMR 值的年际变化特征

图 3 是 1979—2010 年珠海市年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温的观测值、R1 再分析资料及 OMR 值的距平序列。由图 3 可知, 年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温观测序列与 R1 序列的变化趋势均十分一致, 二者的相关系数分别为 0.882、0.629、0.599, 都通过 0.01 的显著性水平检验。表 3 是 1979—2010 年珠海市气温变化趋势及 OMR 贡献率。由表 3 可知, 过去 32 年珠海市气温变化有明显的上升趋势, 年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温观测值的增温率均比 R1 再分析资料大。

如图 3a 所示, 过去 32 年间年平均气温观测值与 R1 再分析资料距平序列均呈上升趋势, 在 1997 年后出现持续性正距平, 相应地 OMR 值也在 1999 年后转为持续性正值, 表明 1990 年代后期开始城市化发展使珠海市气温显著上升。年平均气温观测值、R1、OMR 值的增温率分别为 0.35℃/10a、0.19℃/10a、0.16℃/10a, OMR 贡献率为 46.0%, 表明 1979—2010 年间珠海市年平均气温的升高有 46.0% 可归

因于城市化及土地利用类型改变的影响。

如图 3b、3c 所示, 过去 32 年间年平均最高气温、年平均最低气温观测值与 R1 再分析资料距平序列也呈明显上升趋势, 并先后在 1996—1998 年间由负距平转为持续性正距平, 年平均最低气温 OMR 值也在 2000 年后出现持续性正值, 但年平均最高气温 OMR 值波动较多, 没有明显由负转正的过程。年平均最高气温、年平均最低气温 OMR 值的增温率分别为 0.10℃/10a、0.15℃/10a, OMR 贡献率分别为 27.6%、46.1%, 表明年平均最低气温受城市化及土地利用类型改变的影响比年平均最高气温更大。

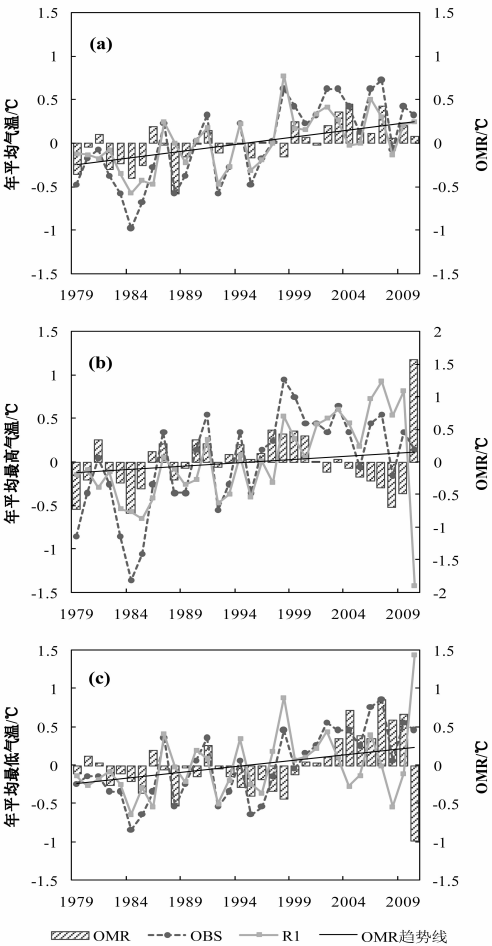


图 3 1979—2010 年珠海市年平均气温(a)、年平均最高气温(b)、年平均最低气温(c)距平及 OMR 变化

3.3 气温 OMR 值的四季变化特征

从季节上来看(表 3),过去 32 年珠海市平均气温、平均最高气温、平均最低气温观测值、R1 再分析资料的增温趋势最大均在冬季,最小夏季或春季。各季节的平均最高气温 OMR 值及 OMR 贡献率均比平均最低气温小,这与气温 OMR 值的年际变化分析结果相一致。

平均气温 OMR 值的增温趋势春季和冬季最大,通过 0.01 的显著性水平检验,夏季最小。OMR 贡献率春季(67.6%)>冬季(46.1%)>秋季(28.2%)>夏季(11.5),表明城市化及土地利用类型改变在春季和冬季对平均气温影响较明显。

平均最高气温 OMR 值的增温趋势冬季最大,

通过 0.01 的显著性水平检验,春季次之,夏季和秋季最小。OMR 贡献率冬季(38.7%)>春季(37.5%)>夏季(9.6%)>秋季(5.3%),表明平均最高气温在冬季和春季受城市化及土地利用类型改变的影响较大。

平均最低气温 OMR 值的增温趋势春季最大,通过 0.01 的显著性水平检验,夏季最小。OMR 贡献率春季(90.8%)>夏季(62.1%)>冬季(46.4%)>秋季(38.0%),表明平均最低气温在各季节受城市化及土地利用类型改变的影响均较大,特别是春季平均最低气温的增幅大部分可归因于城市化及土地利用类型改变的影响。

表 3 1979—2010 年珠海市年及四季气温变化趋势(℃/10a)及 OMR 贡献率(%)

时段	气温要素	线性趋势/℃/10a			OMR 贡献率/%
		OBS	R1	OMR	
年	平均气温	0.35**	0.19**	0.16**	46.0
	平均最高气温	0.36**	0.26**	0.10	27.6
	平均最低气温	0.33**	0.18*	0.15*	46.1
春	平均气温	0.41**	0.13	0.27**	67.6
	平均最高气温	0.51**	0.32*	0.19	37.5
	平均最低气温	0.32*	0.03	0.29**	90.8
夏	平均气温	0.14*	0.12**	0.02	11.5
	平均最高气温	0.12	0.13*	-0.01	9.6
	平均最低气温	0.12	0.13**	-0.07	62.1
秋	平均气温	0.36**	0.26**	0.10	28.2
	平均最高气温	0.30**	0.31*	-0.02	5.3
	平均最低气温	0.38**	0.24	0.14	38.0
冬	平均气温	0.58**	0.31*	0.27**	46.1
	平均最高气温	0.62**	0.38	0.24**	38.7
	平均最低气温	0.57**	0.30*	0.26	46.4

注:* 表示通过 0.05 显著性水平检验,** 表示通过 0.01 显著性水平检验。

4 小结

(1)1962—2010 年,珠海市年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温表现为明显的上升趋势,增温率分别为 0.14℃/10a、0.22℃/10a、0.12℃/10a。1984 年后增温加速,增温率分别达到了 0.41℃/10a、0.38℃/10a、0.43℃/10a。四季变化中均是冬季增温率最大,夏季增温率最小。

(2)1979—2010 年,珠海市年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温 OMR 增温率分别为

0.16℃/10a、0.10℃/10a、0.15℃/10a,OMR 贡献率分别为 46.0%、27.6%、46.1%。四季 OMR 增温趋势及 OMR 贡献率最大均在春季或冬季,最小在夏季或秋季。

(3)不论是年际变化还是四季变化,平均最高气温观测值的增温率均比平均最低气温大,但 OMR 值的增温率前者比后者小。表明城市化及土地利用类型改变对平均最低气温的影响比对平均最高气温大。

参考文献:

[1] Hansen J R, Lebedeff S. Global trends of measured

- surface temperature [J]. *J Geo Res*, 1987, 92 (13): 13345-13372.
- [2] Pielke Sr R A, Marland G, Betts R A, et al. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases [J]. *Philos Trans R Soc A-Math Phys Eng Sci*, 2002, 360: 1705-1719.
- [3] 2012 年珠海统计年鉴 [M]. http://www.stats-zh.gov.cn/o_tjsj/index.htm.
- [4] Kalany E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bulletin of American Meteorology Society*, 1996, 77 (3): 437-471.
- [5] Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. The NCEP/NCAR-50 year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, 82 (2): 247-267.
- [6] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 37-39.
- [7] Gallo K P, Owen T W, Easterling D R, et al. Temperature trends of the US historical climatology network based on satellite-designated land use/land cover [J]. *Journal of Climate*, 1999, 12 (5): 1344-1348.
- [8] 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): 1158-1166.
- [9] 王学锋, 周德丽, 杨鹏武. 近 48 年来城市化对昆明地区气温的影响 [J]. *地理科学进展*, 2010, 29 (2): 145-150.
- [10] Kalnay E, Cai Ming. Impact of urbanization and land-use change on climate [J]. *Nature*, 2003, 423: 528-531.
- [11] Kalnay E, Cai Ming, Li Hong, et al. Estimation of the impact of land-surface forcings on temperature trends in eastern United States [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111, D06106.
- [12] Zhou Liming, Dickinson R E, Tian Yuhong, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101 (26): 9540-9544.
- [13] Yang Xuchao, Hou Yiling, Chen Baode. Observed surface warming induced by urbanization in east China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116, D14113, doi: 10.1029/2010JD015452.
- [14] 林苗青, 杜勤博. 1957-2008 年南澳气温的变化特征 [J]. *广东气象*, 2011, 33 (3): 34-36.
- [15] 陆英杰, 蔡蕊, 赵旻旻, 等. 增城市近 50 年来气温变化特征 [J]. *广东气象*, 2011, 33 (6): 31-37.
- [16] 刘惠芳, 周兆光. 博罗县 47 年来气温的变化特征 [J]. *广东气象*, 2010, 32 (2): 34-36.
- [17] 吴妙娟. 1959-2011 年澄海气温变化分析特征 [J]. *广东气象*, 2013, 35 (3): 35-39.
- [18] 钟美英, 魏伟良, 刘竞雄. 五华县近 52 年气温变化特征分析 [J]. *广东气象*, 2012, 34 (2): 41-44.
- [19] 林卓宏, 梁敏妍, 赵佩红, 等. “乡村站”选取对江门地区城市热岛效应的影响 [J]. *广东气象*, 2013, 35 (2): 48-51.
- [20] 伍文辉. 柳州城市气候变化分析 [J]. [8] 凌颖, 黄海洪. 南宁市城市热岛效应特征分析 [J]. *气象研究与应用*, 2003, 24 (3): 25-26.
- [21] 卢雪勤, 汪强, 黄荟, 等. 广西百色市近 60 年气温变化特征研究 [J]. *气象研究与应用*, 2012, 33 (2): 34-39.
- [22] 刘正洪, 黄诚, 程向东, 等. 启东近半个世纪气温变化特征分析 [J]. *气象研究与应用*, 2012, 33 (1): 39-41.
- [23] 贾维芬. 龙胜县近 50 年气候变化特征分析 [J]. *气象研究与应用*, 2012, 33 (3): 34-37.
- [24] 任广成, 沈爱华, 令聪娟. 华南盛夏气温异常成因及预测研究 [J]. *气象研究与应用*, 2011, 32 (1): 31-33.
- [25] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991-2011.
- [26] 国家统计局城市社会经济调查局. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991-2011.