



浙江东部海岛气温变化特征及与相邻城市站对比

摘要

利用浙江省东部海岛站和相邻城市站 1971—2015 年气温资料,通过计算线性倾向率、M-K 突变检验以及数理统计方法,研究了海岛地区气温变化特征以及和相邻城市站气温变化的异同,并以海岛站为背景站分析了城市化对城市气温变化的影响性质和程度.结果发现:1)海岛地区 1971—2015 年间平均气温及平均最高、最低气温都存在明显的升温趋势,其线性倾向率分别为 0.029、0.033 和 0.028 $^{\circ}\text{C}/\text{a}$,变暖幅度明显小于相邻城市站;春、秋季是四季中变暖幅度最大的季节,其次是冬季,夏季最弱,尤其北部海岛夏季没有明显的变化趋势.2)海岛站气温变暖是一种突变现象,平均最高气温发生突变时间最早,平均最低气温最晚;相邻城市站突变时间多早于海岛站,城市站最高气温没有明显的突变现象.3)以海岛作背景,城市化对于城市站年平均气温,最高、最低气温变化的影响均为正贡献,加速了气温的变暖趋势,除温州外对四季气温的贡献率也均为增温趋势,贡献率最高的季节为夏季

关键词

海岛站;城市站;气温变化

中图分类号 P423

文献标志码 A

收稿日期 2016-08-06

作者简介

李云,女,硕士,高级工程师,从事天气预报专业.115195363@qq.com

0 引言

多年以来,许多学者对我国各地的温度变化特征进行了研究,结果表明中国各地的气温变暖幅度和特征因为区域性、局地性气候存在差异^[1-5],并且人类活动和城市化是气温变暖的重要因素^[6].目前研究多集中在我国大陆主要城市,对范围小、人口少的海岛地区的气温研究较少.在全球气候变化和周边城市迅速发展的背景下,海岛地区气温究竟发生了怎样的变化,和相邻陆地城市的气温特征有无明显不同,是否可以作为背景站分析城市化对气温的影响等都值得探讨.丁骏等^[7]曾把浙江东部 7 个海岛站 1971—2000 年的年均气温和年均降水量取平均,分析了浙江东部海岛平均气温特征,发现 30 a 间年平均气温增加率为 0.26 $^{\circ}\text{C}/(10 \text{ a})$,尤其以冬季的升温最为显著,年均气温在 1996 年发生一次突变.毛敏娟等^[4]利用月平均气温距平分析了浙江东北部 2 个海岛站的气温变化,也计算出海岛站以 0.28 $^{\circ}\text{C}/(10 \text{ a})$ 倾向率变暖.李侠丽等^[8]在做以海岛站为背景研究城市化对气温变化趋势的影响时,选取了浙江的大陈站作为背景分析了金华地区的城市化影响,但由于大陈站经过搬迁,观测资料存在不均一性^[9],且距离金华较远,分析结论存在不确定性.选取具有最新且时间较长稳定观测资料的海岛站,研究浙江东部海岛气温变化特征并探讨和城市站变化的异同,并和相邻大城市进行对比分析,对理解浙江省乃至全国气候变化的总体特征和极端气候事件的发生具有参考价值;另外,将海岛站作背景站对相邻城市站进行城市化影响的评价,也可以更充分理解城市化对气温变化的影响.

1 资料与方法

1.1 数据来源

所用资料来源于浙江省气象局气候中心,选取浙江东部具有稳定观测资料的嵊泗、普陀、玉环、洞头 1971—2015 年月平均气温、平均最高气温、平均最低气温观测资料.城市站选择与海岛站紧邻,并处同一气候与大气环流背景下的沿海城市嘉兴、宁波(鄞州)、台州(洪家)、温州的同时段资料,共 4 对 8 站来进行分析,各站地理位置信息如表 1 所示.海岛站范围小,人口多在 10 万上下,城市站市区人口多在百万以上,其中宁波达到 232 万(人口数据来源于各地统计局《2015 年国民经济和社会发展统计公报》).

1 宁波市气象台,宁波,315012

表 1 4 个海岛站及附近城市站信息

Table 1 Information of four island stations and their neighboring urban stations

海岛站	经度	纬度	海拔高度/ m	人口/ 万人	城市站	经度	纬度	海拔高度/ m	人口/ 万人
嵊泗	122°27'E	30°44'N	79.6	7.0	嘉兴	120°46'E	30°44'N	4.8	86.4
普陀	122°18'E	29°57'N	85.2	16.5	鄞州	121°30'E	29°48'N	6.2	232.1
大陈	121°54'E	28°27'N	86.2	0.3	洪家	121°25'E	28°37'N	4.6	159.3
洞头	121°90'E	27°50'N	68.6	13.0	温州	120°39'E	28°20'N	28.3	165.9

1.2 研究方法

分别运用线性倾向估计和最小二乘法^[10]计算各站点逐年、季平均气温,平均最低气温,平均最高气温的气候倾向率,并对气温变化趋势进行显著性检验^[10];利用 M-K 检验法对数据进行变化趋势突变检验^[11].为了检验城市化影响,使用以下指标定量评价城市化对气温变化的影响^[12].设 T_u 为城市站的气温变化趋势, T_i 为海岛站的气温变化趋势,城市化影响 (ΔT_{ui}) 为

$$\Delta T_{ui} = T_u - T_i. \quad (1)$$

城市化影响贡献率 (E_u)^[10] 是城市化影响在城市台站气温线性趋势变化中所占的比率,用下式表示:

$$E_u = \Delta T_{ui} / |T_u| = (T_u - T_i) / |T_u|. \quad (2).$$

春、夏、秋、冬按气象意义上划分为 3—5 月、6—8 月、9—11 月、12 月一次年 2 月。

2 结果与分析

2.1 海岛站与城市站气温年变化

图 1 为 4 个海岛站和相邻城市站的年平均气温

历年距平演变图,可知 1971—2015 年间海岛站和附近沿海城市站都呈现明显的前冷后暖年代际特征,其中 1971—1989 年为负距平区,较常年偏冷,变化特征与我国长江下游气温变化较一致,但略落后于全球气温变暖趋势^[13];20 世纪 90 年代起呈现锯齿状上升特征,变暖趋势明显增强,在 21 世纪初期达到峰值,2007 年是有气象记录以来的最热的一年,21 世纪初的 10 a 也是有气象记录以来最热的 10 a,海岛平均气温 10 a 平均距平值比 70 年代平均距平值偏高 0.97 ~ 1.06 °C,城市站偏高 1.2 ~ 1.8 °C;2011 年之后有所下降,2011—2015 年海岛站距平比 2001—2010 年偏低 0.22 ~ 0.52 °C,城市站偏低 0.09 ~ 0.42 °C。

用最小二乘法计算了海岛站和相邻沿海城市站气温气候倾向率(表 2),显示 1971—2015 年间海岛站和沿海城市站的年平均气温、平均最高气温、平均最低气温均呈变暖趋势,都通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验;平均气温线性倾向率海岛站平均 0.029 °C/a,升温幅度明显小于相邻沿海城市站(0.045

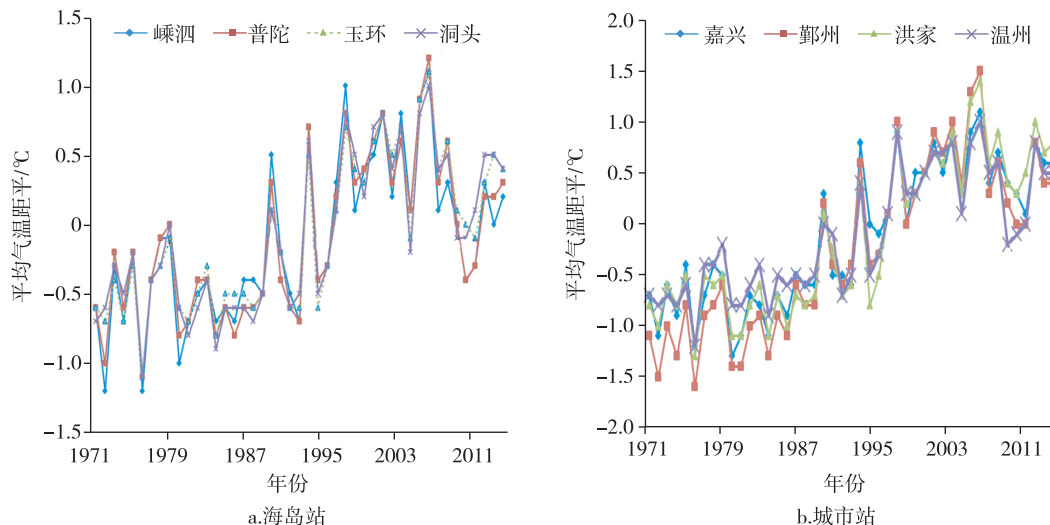


图 1 1971—2015 年海岛站和城市站年平均气温变化趋势

Fig. 1 Mean annual temperature changes during 1971–2015 of four island stations (a) and four urban stations (b)

℃/a)。由于所用数据的年限不同,城市站的升温幅度明显比之前研究文献偏高^[4],说明进入 21 世纪后升温较之前更加明显。

另外气温时间变化存在一定的非对称性,海岛站最高气温的升温幅度比最低气温偏高平均 0.005℃/a,其中普陀最明显,偏高 0.017℃/a,但嵊泗站不同,其最高气温的变暖趋势小于最低气温。相邻城市站也存在非对称性变化,但程度较海岛站略弱,平均仅 0.002℃/a,其中嘉兴、洪家最低气温升温幅度大于最高气温,同全国其他很多城市研究结果相似^[14],但鄞州、温州相反,最高气温升温幅度大于最低气温,其中温州偏高 0.016℃/a,表明不同的地区因局地气候特征的不同,气温的变化存在差异。

2.2 海岛站与城市站气温四季气温变化趋势

从各对比站四季变化趋势(表 3)可知:海岛站不论是平均气温还是最高、最低气温都是春季变暖幅度最大,秋季次之,然后是冬季,变暖幅度最小的是夏季,其中嵊泗站夏季的平均气温、最高气温以及冬季的最高气温都没有明显变暖趋势,未通过显著性检验(6—8 月以及 12 月一次年 1 月均未通过 0.05 显著性水平检验)。相对应城市站平均气温各季

都是明显的增温趋势,春、秋季也是变暖幅度最大季节,冬、夏略低。

分析发现所选的浙江东部海岛和城市的冬季气温并不像其他地区^[12]升温最明显,反而在四季中仅略高于夏季,有时甚至低于夏季。具体到各月发现各站点除 2 月外,12 月和 1 月的平均气温以及最高气温冷暖变化趋势不明显,多数未能通过 0.01 或 0.05 显著性水平的检验,说明 1971—2015 年间沿海地区的气温变化同其他地区有所不同。

2.3 海岛站与城市站气温突变检验

利用 M-K 方法分析了海岛站和城市站平均气温、最高气温和最低气温的突变情况。图 2 为 M-K 分析年平均气温计算结果绘制,可知海岛站的年平均气温从 20 世纪 90 年代中期开始增温明显,根据 UF(k)和 UB(k)曲线交点的位置,确定海岛站年平均气温的增暖是突变现象:北部海岛嵊泗、普陀突变发生在 1996 年,南部海岛玉环、洞头发生在 1998 年。海岛站平均最高气温和平均最低气温同样存在变暖突变现象(图略),其中平均最高气温突变时间自北而南分别为 1988、1994、1996、1993 年。而最低气温突变现象最晚,分别为 1997、2000、1999 和 2001 年。4 个

表 2 海岛站和城市站年平均气温以及最高、最低气温变化趋势

Table 2 Mean of annual, maximum and minimum air temperatures of island and urban stations ℃·a⁻¹

海岛站	平均气温	最高气温	最低气温	城市站	平均气温	最高气温	最低气温
嵊泗	0.027	0.024	0.029	嘉兴	0.044	0.043	0.046
普陀	0.028	0.039	0.022	鄞州	0.053	0.059	0.054
玉环	0.031	0.033	0.029	洪家	0.048	0.048	0.056
洞头	0.030	0.036	0.030	温州	0.036	0.052	0.036
平均值	0.029	0.033	0.028	平均值	0.045	0.050	0.048

表 3 四季平均气温以及最高、最低气温变化趋势

Table 3 Mean variation trends of seasonal, maximum and minimum air temperature ℃·a⁻¹

温度	季节	嵊泗	嘉兴	普陀	鄞州	玉环	洪家	洞头	温州
平均气温	春	0.038 8**	0.050 7**	0.038 0**	0.064 8**	0.040 6**	0.050 0**	0.043 4**	0.042 8**
	夏	0.012 4	0.030 3**	0.019 0**	0.046 6**	0.019 4**	0.042 1**	0.018 5**	0.027 2**
	秋	0.031 6**	0.055 4**	0.028 3**	0.056 5**	0.034 0**	0.058 7**	0.031 6**	0.040 0**
	冬	0.023 8*	0.037 7**	0.022 8*	0.043 9**	0.027 3**	0.040 8**	0.027 2**	0.031 4**
最高气温	春	0.042 4**	0.060 8**	0.053 8**	0.080 7**	0.046 3**	0.059 5**	0.055 7**	0.069 8**
	夏	0.006 6	0.037 6**	0.031 7**	0.058 3**	0.015 9**	0.049 9**	0.018 4**	0.054 0**
	秋	0.028 3**	0.043 4**	0.040 5**	0.054 7**	0.036 1**	0.051 0**	0.036 4**	0.048 7**
	冬	0.020 1	0.030 7*	0.028 8*	0.043 5**	0.030 9**	0.034 7**	0.040 2**	0.039 2**
最低气温	春	0.037 8**	0.060 8**	0.029 0**	0.059 1**	0.036 5**	0.048 9**	0.039 7**	0.035 6**
	夏	0.017 6**	0.037 6**	0.014 3*	0.046 3**	0.018 6**	0.043 8**	0.021 8**	0.023 6**
	秋	0.034 3**	0.043 4**	0.022 3**	0.059 9**	0.034 7**	0.073 8**	0.033 9**	0.043 9**
	冬	0.025 7**	0.030 7*	0.019 7*	0.047 8**	0.025 9**	0.053 9**	0.024 0*	0.036 4**

注:**和*分别表示通过 0.01 和 0.05 显著性水平检验。

海岛站都是平均最高气温突变时间最早,平均最低气温突变最晚,平均气温介于二者之间。

相邻城市站平均气温 UF 曲线通过 0.05 显著性水平检验时间明显偏早,出现在 1993—1998 年,但 UF(k) 和 UB(k) 曲线交点多在临界值附近出现,表明城市站也有平均气温突变现象,但不如海岛站明显:嘉兴和温州 1996 年发生突变,鄞州略早 1993 年,洪家最晚在 2000 年。相较而言,多数城市站气温突变时间比海岛站早,如鄞州和温州,但也有的相同如嘉兴,有的偏晚,如洪家。城市站的平均最高气温(图略)因为从 80 年代后期开始就一直处于上升阶段,都不存在突然增暖现象,如鄞州和温州在临界值内并没有交点。平均最低气温存在突变现象(图略)时间分别为 1997、1991、2000、2001 年,突变时间多

数接近或略晚于平均气温。

2.4 城市化影响

以海岛站作背景,可以评价距离海洋较近的陆地城市化的影响^[15]。因此以所选 4 个海岛站作背景,利用式(1)、(2) 计算了城市化影响 ΔT_{ui} 和城市化影响贡献率 E_{ui} , 结果如表 4 所示。可知 1971—2015 年间 4 个沿海城市站的城市化对于平均气温以及最高、最低气温变化趋势的影响均为正贡献,表明城市化影响加速了气温的变暖趋势。但城市化影响因所选站点不同而有不同表现:对于平均气温,北部城市化对气温变化趋势影响大于南部,最大鄞州达到 $0.025\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,城市化对于平均气温的升高贡献率达到了 47%,最小的是温州,为 $0.006\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,贡献率为 16.43%。同时城市化对气温的影响也具有非对称性,

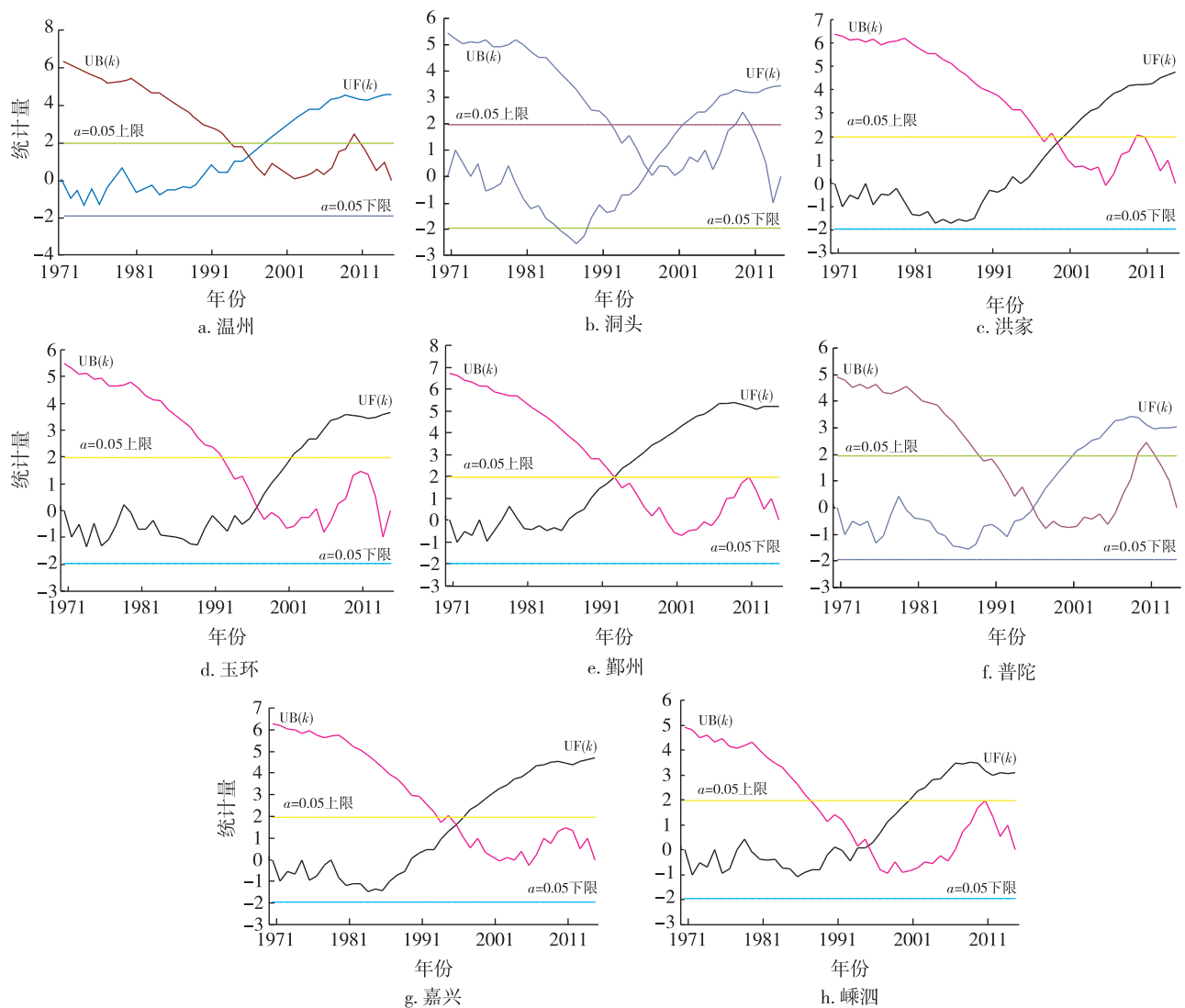


图2 各站气候突变检验曲线

Fig. 2 Mann-Kendall statistical analysis of air temperature in island and urban stations during 1971–2015

鄞州和洪家地区的最低气温的贡献率最大,鄞州达到 59.45%,表明城市化影响明显增加了这些地区最低气温的变暖趋势,而嘉兴和温州城市化对最高气温的贡献率最大,这与有些研究不同^[12].

从四季的城市化影响来看(表略),除温州外,城市化对沿海城市四季气温的变化也为增温趋势,且贡献率最高的季节为夏季,主要原因是作为背景站的海岛站夏季增温趋势不明显造成的;而温州的城市化影响对于冬季最高气温和春季最低气温贡献率为负值,表明城市化对温州地区增温影响不显著.

表 4 城市化对平均、最高、最低气温变化趋势的影响及其贡献率

Table 4 Effect of urbanization on mean, maximum and minimum air temperature variation trends and its contributions

	地区	城市化影响/($^{\circ}\text{C}/\text{a}$)	城市化影响贡献率/%
平均气温	嘉兴	0.017	38.35
	鄞州	0.025	47.64
	洪家	0.018	36.60
	温州	0.006	16.43
最高气温	嘉兴	0.019	44.33
	鄞州	0.020	33.53
	洪家	0.016	32.15
	温州	0.016	30.50
最低气温	嘉兴	0.017	36.70
	鄞州	0.032	59.45
	洪家	0.027	47.81
	温州	0.006	16.70

3 结果与讨论

通过研究浙江省东部海岛地区的 1971—2015 年气温序列并和相邻城市站做对比发现:

1) 1971—2015 年间海岛地区的平均气温呈现明显的前冷后暖特征,21 世纪初的 10 a 是有气象记录以来最热的 10 a,其中 2007 年是有气象记录以来的最热的一年.平均气温、最高气温、最低气温在 1971—2015 年间都存在变暖趋势,线性倾向率在 $0.028\sim 0.033\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,变暖幅度明显小于相邻城市站 ($0.045\sim 0.050\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$),说明全球变暖仍是影响海岛气温变化的主导因素,但海洋对岛屿气温的调节作用明显,反映了局地环境对气温有重要影响.

2) 海岛地区和沿海城市站气温具有明显季节变化:春、秋季变暖明显,尤其春季的平均气温以及最高、最低气温升温幅度都是四季中最明显的,然后是冬季,夏季最弱.北部海岛嵊泗夏季和冬季没有明显

的气温变化趋势.

3) 海岛站不论是平均气温还是最高、最低气温都存在突然增暖趋势,发生突变时间平均最高气温最早,平均最低气温最晚,平均气温介于二者之间.相邻沿海城市站气温突变现象不如海岛站明显,发生突变的时间多早于海岛站,多数城市站最高气温没有突然变暖现象.

4) 以海岛站作背景,讨论了城市化对沿海城市站气温的影响,发现城市化影响加速了气温的变暖趋势.不同沿海城市的城市化对气温序列的影响不同,对鄞州增暖幅度十分明显,但对温州影响较弱;另外城市化对气温的影响变化也存在非对称性,鄞州和洪家地区的最低气温的贡献率最大,嘉兴和温州城市化对最高气温的贡献率最大.除温州外城市化对城市气温的四季变化均为增温趋势,且贡献率最高的季节都为夏季,原因在于海岛站受到海洋的影响,夏季升温不明显,因此作为背景站分析城市化的贡献时,对夏季的贡献率就容易偏大,要引起注意.

参考文献

References

[1] 任国玉,初子莹,周雅清,等.中国气温变化研究最新进展[J].气候与环境研究,2005,10(4):701-716
REN Guoyu, CHU Ziyang, ZHOU Yaqing, et al. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China[J]. Climatic and Environmental Research, 2005, 10(4):701-716

[2] 韩翠华,郝志新,郑景云.1951—2010 年中国气温变化分区及其区域特征[J].地理科学进展,2013,32(6):887-896
HAN Cuihua, HAO Zhixin, ZHENG Jingyun. Regionalization of temperature changes in China and characteristics of temperature in different regions during 1951 - 2010 [J]. Progress in Geography, 2013, 32(6):887-896

[3] 王体健,万静.长江三角洲地区近 50 a 的气温变化特征分析[J].暴雨灾害,2008,27(2):109-113
WANG Tijian, WAN Jing. Air temperature variation in recent 50 years over Yangtze River Delta region [J]. Torrential Rain and Disasters, 2008, 27(2):109-113

[4] 毛敏娟,陈葆德,樊高峰,等.浙江省气候变化事实研究[J].热带气象学报,2012,28(2):271-276
MAO Minjuan, CHEN Baode, FAN Gaofeng, et al. Research on climate changes in Zhejiang province [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2012, 28(2):271-276

[5] 屠其璞,邓自旺,周晓兰.中国气温异常的区域特征研究[J].气象学报,2000,58(3):288-297
TU Qipu, DENG Ziwan, ZHOU Xiaolan. Studies on the regional characteristics of air temperature abnormal in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(3):288-297

[6] 任玉玉,任国玉,张爱英.城市化对地面气温变化趋势

李云,等.浙江东部海岛气温变化特征及与相邻城市站对比.

- 影响研究综述[J].地理科学进展,2010,29(11):1301-1310
REN Yuyu, REN Guoyu, ZHANG Aiyang. An overview of researches of urbanization effect on land surface air temperature trends [J]. Progress in Geography, 2010, 29(11):1301-1310
- [7] 丁骏,朱业,王勤,等.浙江海岛区域气候变化特征分析[J].海洋预报,2011,28(4):87-92
DING Jun, ZHU Ye, WANG Qin, et al. Characteristic analysis of precipitation, temperature and wind speed changes in Zhejiang island area [J]. Marine Forecasts, 2011, 28(4):87-92
- [8] 李侠丽,原文杰,胡润杰,等.以海岛站为背景研究城市化对气温变化趋势的影响[J].安徽大学学报(自然科学版),2015,39(5):103-108
LI Xiali, YUAN Wenjie, HU Runjie, et al. Impact of urbanization on air temperatures variation trends based on island stations [J]. Journal of Anhui University (Natural Sciences), 2015, 39(5):103-108
- [9] 郭力民.大陈迁站前后气象资料序列的均一性检验[J].浙江气象科技,1992,13(1):23-24
GUO Limin. Homogeneity test of the meteorological data series before and after the move of Dachen station [J]. Journal of Zhejiang Meteorology, 1992, 13(1):23-24
- [10] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2008:35-59
WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008:35-59
- [11] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):488-489
FU Congbin WANG Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4):488-489
- [12] 段春锋,缪启龙,曹雯,等.以高山站为背景研究城市化对气温变化趋势的影响[J].大气科学,2012,36(4):811-822
DUAN Chunfeng, MIAO Qilong, CAO Wen, et al. Effect of urbanization on variation trends of air temperatures based on mountain stations [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2012, 36(4):811-822
- [13] 徐霜芝,俞连根.近40年全球气温增暖和华东地区气候变化的分析[J].科技通报,1996,12(5):262-267
XU Shuangzhi, YU Liangen. Analysis of global temperature warm and climatic change in East China for the nearest 40 years [J]. Bulletin of Science and Technology, 1996, 12(5):262-267
- [14] 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
ZHOU Yaqing, REN Guoyu. The effect of urbanization on maximum, minimum temperatures and daily temperature range in North China [J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(5):1158-1166
- [15] 地球科学编委会.10 000 个科学难题:地球科学卷[M].北京:科学出版社,2010:843-846
The Earth Sciences Committee. 10 000 selected problems in sciences; earth sciences [M]. Beijing: Science Press, 2010:843-846

Air temperature variation in the eastern islands of Zhejiang and comparison with neighboring urban stations

LI Yun¹ QIAN Yanzhen¹

¹ Ningbo Meteorological Station of Zhejiang Province, Ningbo 315012

Abstract Based on air temperature data from 1971 to 2015, the difference in annual and seasonal air temperature variation trends between four island stations and nearby urban stations in eastern Zhejiang Province was investigated, by using linear-trend estimate, the least square methods, M-K tests, and mathematical statistics method. The effect of urbanization on the variation trends of the mean annual, maximum and minimum temperatures and the asymmetrical change of air temperature were also analyzed with the island stations as the background field. Results show that the temperatures have been in an increasing trend in recent 45 years in island stations, with linear trend rate of $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$, but the warming rate is obviously smaller than that of the urban stations. The warming intensity is strongest in spring and autumn, followed by winter, and weakest in summer, especially summer in the northern islands. The temperature increase in island stations is an abrupt change, which occurs early for mean maximum and late for mean minimum temperature. The abrupt temperature change time of city station is earlier than that of island stations, and there was no mutation occurring in the maximum temperature of city stations. Taking the island station temperature as background, results show that the urbanization has positive effect on the mean, maximum and minimum air temperature, thus speed up the warming trend at both yearly and seasonal level.

Key words island stations; urban station; air temperature change