

以海洋温度为背景的城市温度变化特征

吴礼春¹, 施俊荣¹, 程向阳¹, 缪明榕¹, 王 坤¹, 姜有山²

¹南通市气象局, 江苏 南通

²南京市气象局, 江苏 南京

Email: 15895925439@163.com

收稿日期: 2020年12月25日; 录用日期: 2021年1月19日; 发布日期: 2021年1月26日

摘 要

基于1982~2012年的城市逐日温度资料以及海表温度逐日资料, 对比分析了中国沿海4组城市气象站及其同纬度海洋表面年与四季气温变化趋势。以此为基础, 利用海洋温度作为气候变化的背景场来分析城市化对城市最高气温、最低气温、平均气温变化趋势影响的性质和程度。最终结果表明: 城市温度变化特征除了受气候变化影响, 还受城市化影响, 城市温度逐渐升高, 夏季尤为明显。

关键词

气温, 城市化, 气候变化

The Characteristics of Urban Temperature Change Based on Ocean Temperature

Lichun Wu¹, Junrong Shi¹, Xiangyang Cheng¹, Mingrong Miao¹, Kun Wang¹, Youshan Jiang²

¹Nantong Meteorological Bureau, Nantong Jiangsu

²Nanjing Meteorological Bureau, Nanjing Jiangsu

Email: 15895925439@163.com

Received: Dec. 25th, 2020; accepted: Jan. 19th, 2021; published: Jan. 26th, 2021

Abstract

Based on daily urban temperature data and daily sea surface temperature data from 1982 to 2012, a comparative analysis of four groups of urban weather stations along the coast of China and their annual and seasonal temperature trends at the same latitude are analyzed. Based on this, the ocean temperature is used as the background field of climate change to analyze the nature and extent of the influence of urbanization on the change trend of urban maximum temperature, minimum tem-

perature and average temperature. The final result shows that the characteristics of urban temperature change are not only affected by climate change, but also by urbanization. The temperature of the city gradually rises, especially in summer.

Keywords

Temperature, Urbanization, Climate Change

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气候变化作为全球热点问题,受到人们的广泛关注,它深刻影响着人类与自然系统、农业以及社会经济的关系[1][2]。全球气候变化科学是建立在对全球、区域地表平均气温等气候要素观测资料分析基础上的一门科学,然而,是否这些气温序列带来明显的城市化影响,仍是到目前为止一个非常有争议的问题[3][4]。不少的学者专家评价了全球、半球以及地方平均气温序列城市化的影响问题,可是对其影响的变量值都存在不一样看法。Hansen 和 Lebedeff 专家发现,从数据中去除人口超过 10 万的城市站观测值后,全球过去 100 多年的平均气温约只上升 0.1°C [5]; 赵宗慈在对中国地方进行相关研究后,都认为中国城市化的影响之大不可忽视; 而王佳丽等则专门研究了北京地方温度的年代变化和热岛效应,发现了北京站记录中城市热岛效应有非常显著的影响[6][7]。上述研究印证了全球和区域平均气温数据中的偏差最可能来源于加强的城市热岛效应的论点。

国内已有学者通过高山气象站为背景研究了城市温度变化的特征[8]。高山站受地形和高度的影响,与处在平原的城市站之间有较大的气候差异,直接作为参照站带来很大问题。但是高山站和城市站处于同一气候和大气环流背景下,城市化的影响会导致两者变化趋势的差异。曾静静得出中国大陆的冬季温度变化过程的空间差异与各区域受到不同程度的北方冷空气有很大关系,是由于大地貌格局与冬季风环流共同作用产生的结果[9]。杨鹏等人对石家庄地区的气温变化状况和城市热岛效应特征进行分析后得出结论,石家庄所增加的热岛强度和市区已经建成的城区面积扩大有着很大的关系[10]。张海东得出南京的平均最高温度,各季节和年变化趋势均与平均温度一致,但特别值得注意的是平均最低温度,年和各季节除了夏季增暖较缓外,大部分都增暖非常显著,并且夏季最高温度的下降幅度也很明显,气候变暖在最低温度上面表现更明显[11]。从温度影响概念曲线,程迪认为城市热岛效应不会无限制的增强,城市温度在增长到一定程度后停止升高。如果城市绿化面积增大,并且人为热排放减少,那么城市温度有可能下降[12]。

IPCC 在《2014 气候变化》中报道,全球变暖很明确是由于人为连续排放的温室气体增加,这将引起未来气候系统所有气体成分的升温和长期性变化,提高对生态系统和人类严重性的可能以及普遍不相关的影响。本研究利用海洋温度作为气候变化的背景场分析城市化对城市气温变化趋势影响的性质和程度,探究城市温度变化特征。

2. 资料与方法

2.1. 资料

城市温度资料和海表温度 sst 资料的来源于中国气象数据网和 NOAA。本文选取了四组沿海城市气象

站, 从北到南依次为日照站、上海站、厦门站和广州站, 分别属于山东省、上海市、福建省和广东省(图 1)。sst 资料数据为 nc 格式, 通过 Grads 读取 sst 文件为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 格点数据。为了使研究对比的两者处于相同气候与大气环流背景下, 海表站点选取时尽可能与城市气象站距离相近, 纬度相近, 气象资料完整连续。选取城市站与相近纬度临近海洋格点如表 1 所示。

Table 1. Latitude and longitude of urban stations and adjacent ocean grid points

表 1. 城市站与邻近海洋格点经纬度

城市站	经度	纬度	海洋格点	经度	纬度
日照	119.53	35.38	A	122.5	35.5
上海	121.45	31.4	B	127.5	31.5
厦门	118.07	24.48	C	118.5	24.5
广州	113.32	23.13	D	118.5	23.5

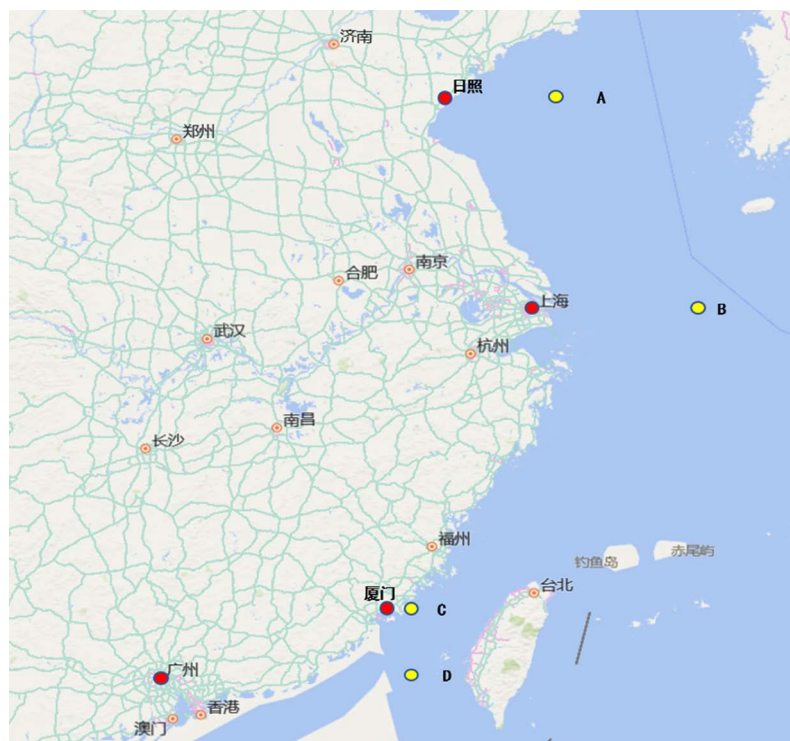


Figure 1. The red dots from north to south represent Rizhao Station, Shanghai Station, Xiamen Station and Guangzhou Station respectively. The yellow dots on the right are the corresponding adjacent ocean temperature grid points A, B, C, and D at the same latitude

图 1. 由北向南红点分别代表日照站、上海站、厦门站和广州站。右侧的黄点分别为其对应的同纬度临近海洋温度格点 A、B、C、D

2.2. 格点的选取

海洋表面温度变化原因较为简单, 主要就是受全球气候的影响。我们研究城市温度的变化特征, 选取海洋表面温度作为对比, 限制了变量的成分。选取同纬度海洋温度格点, 避免了由于纬度不同而引起的太阳直射角不同, 太阳辐射不同等因素, 选择城市站临近的海洋格点, 进一步减少了不确定因素的影响。

选取 1982~2012 年 31 年作为气候参考期, 计算各个城市站点和海洋格点逐年的年、季节、月份的平均气温距平值(季节用气象季节定义, 即 1 月, 2 月和上一年的 12 月为冬季, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月为秋季)。描绘各站逐年的年、季度、月份温度距平变化的线性趋势。

2.3. 分析方法

本文将从 3 方面对比分析城市和海洋温度变化趋势, 具体方法如下:

首先, 计 1982~2012 年 31 年来城市平均温度为 \bar{T}_C , 1982~2012 年 31 年来邻域海温平均值为 \bar{T}_S , 城市温度距平 $\Delta T_C = T_{Ci} - \bar{T}_C$, i 表示日照站、上海站、厦门站和广州站四个站点。海温距平 $\Delta T_S = T_{Si} - \bar{T}_S$, I 表示四个不同海域。通过比较每年和四季的 ΔT_C 和 ΔT_S 的大小和差异, 分析出城市温度变化特征。

2.4. 趋势分析

趋势分析的方法很多, 目前常用的有滑动平均、线性倾向估计、累积距平、三次样条函数、二次平滑、Mann-Kendall 秩次相关法、Kendall 秩次相关法等。本研究主要采用最简单的 Excel 线性变化趋势线观察线性变化对温度各要素的气候变化趋势进行判别。

3. 结果分析

3.1. 城市温度年距平与海温年距平对比

图 2 为日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年年温度距平。可见城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动, 但距平绝对值除了 2007 年城市温度距平高于 1℃, 大部分不超过 1℃。从城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出, 城市温度有小幅度的上升趋势, 海表温度呈现大幅度的上升趋势, 趋势率分别为 0.1℃/10a 和 0.4℃/10a, 表明了城市温度的增幅, 小于海表温度。

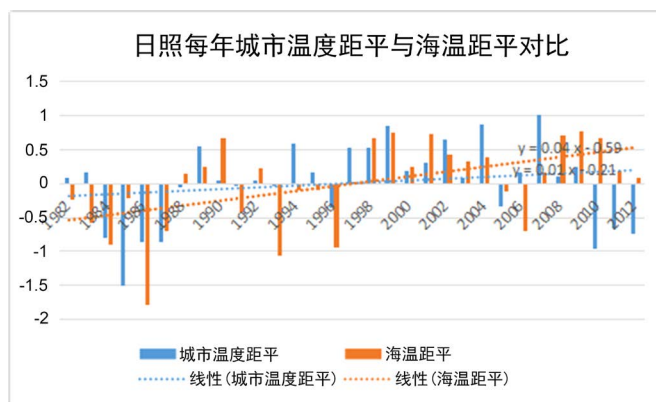


Figure 2. Temperature anomalies between Rizhao City Station and Ocean Grid A from 1982 to 2012
图 2. 日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年年温度距平

图 3 为上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年年温度距平。可见上海城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动, 但距平绝对值除 1986 年温度距平降低超过 1.5℃, 大部分都不超过 1℃。从城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出, 两者呈现小幅度的上升趋势, 城市距平趋势线斜率稍微大于海表温度距平趋势线, 趋势率分别为 0.6℃/10a 和 0.3℃/10a, 表明上海市城市温度的增幅大于海表温度增幅。

图 4 为厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年年温度距平。可见厦门城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动, 但距平绝对值除 1998 年海洋温度距平超过 1.5℃, 大部分都不超过 1℃。从城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出, 城市温度趋势率为 0.4℃/10a, 海表温度无变化。

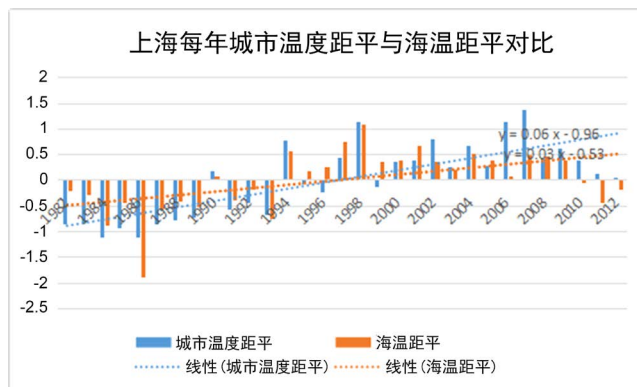


Figure 3. Temperature anomalies between Shanghai City Station and Ocean Grid B from 1982 to 2012
图 3. 上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年年温度距平

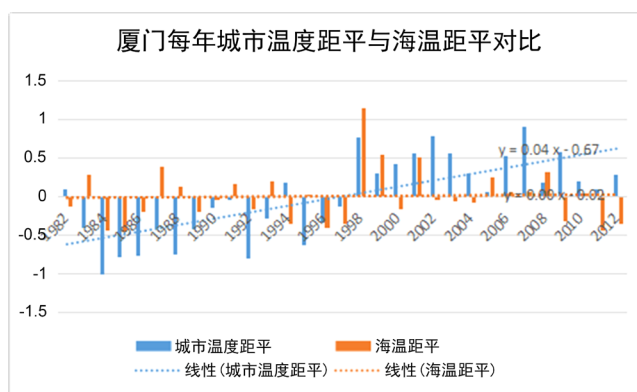


Figure 4. Temperature anomalies between Xiamen City Station and Ocean Grid C from 1982 to 2012
图 4. 厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年年温度距平

图 5 为广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年年温度距平。可见广州城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动，除 1984 年城市温度距平降低超过 1°C ，大部分变化在 1°C 内。从城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，城市温度距平趋势率为 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，海表温度趋势率为 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明城市温度升高大于海表温度。

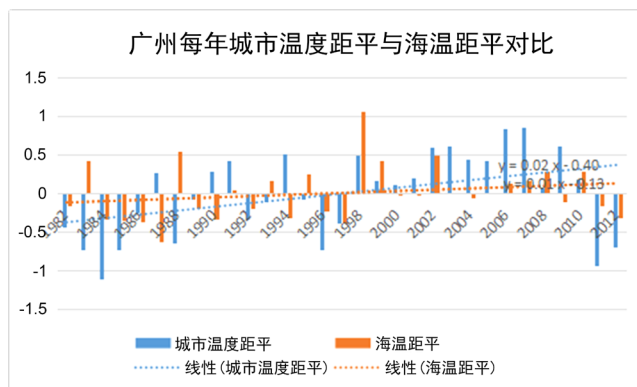


Figure 5. Temperature anomalies between Guangzhou City Station and Ocean Grid D from 1982 to 2012
图 5. 广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年年温度距平

以上分析表明纬度越低，海洋温度距平变化越小，城市温度距平升高幅度减小。

3.2. 春季城市温度距平与海温距平对比

图 6 为日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年春季温度距平。可见日照城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从春季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，城市温度距平呈现大幅度的上升，趋势率为 $0.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，海洋温度距平趋势线近乎水平，表明春季城市温度的增幅大，海表温度无变化。

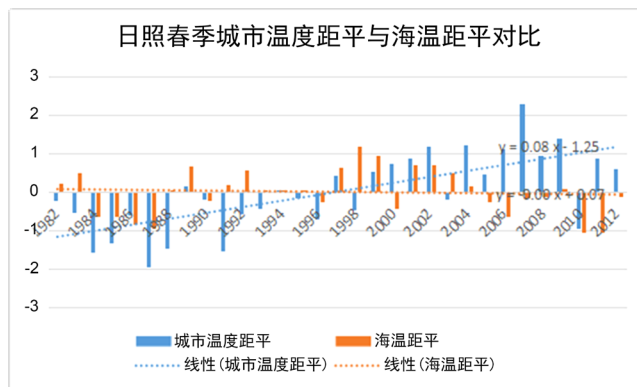


Figure 6. Temperature anomalies between Rizhao City Station and Ocean Grid A from 1982 to 2012 in spring
图 6. 日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年春季温度距平

图 7 为上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年春季温度距平。可见上海城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从春季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，趋势率分别为 $0.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明春季上海城市温度的增幅大于海表温度增幅。

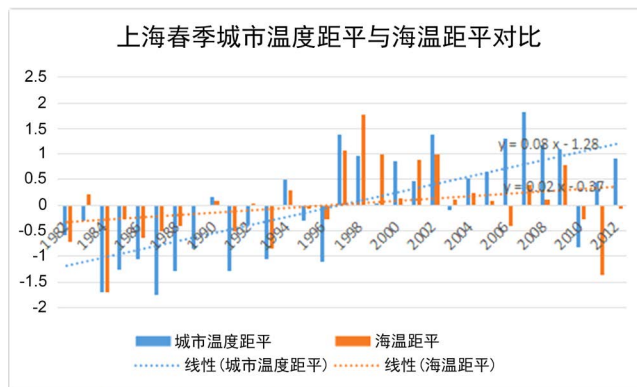


Figure 7. Temperature anomalies between Shanghai City Station and Ocean Grid B from 1982 to 2012 in spring
图 7. 上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年春季温度距平

图 8 为厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年春季温度距平。可见厦门城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从春季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海表温度距平趋势线斜率，趋势率分别为 $0.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明春季厦门城市温度的增幅略大于海表温度增幅。

图 9 为广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年春季温度距平。可见城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从春季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，城市温度有大幅度的上升趋势率为 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，海表温度无上升。

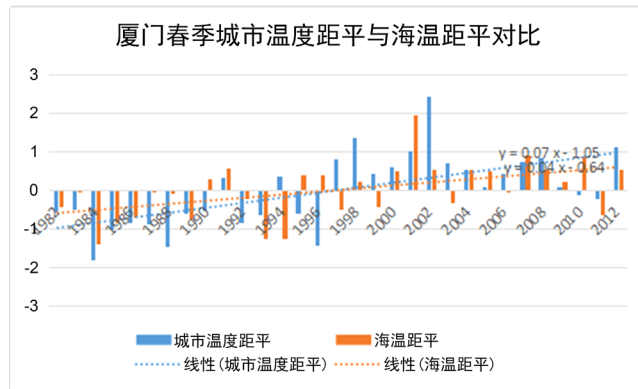


Figure 8. Temperature anomalies between Xiamen City Station and Ocean Grid C from 1982 to 2012 in spring
图 8. 厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年春季温度距平

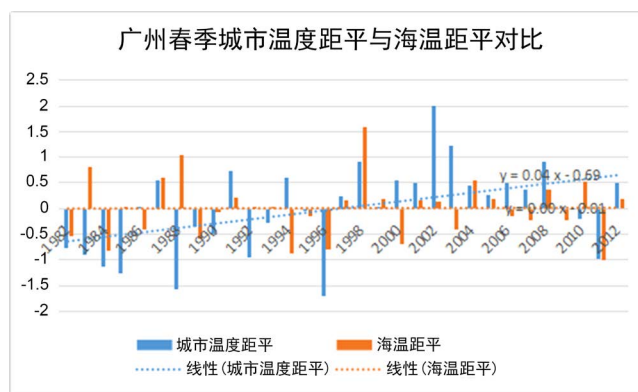


Figure 9. Temperature anomalies between Guangzhou City Station and Ocean Grid D from 1982 to 2012 in spring
图 9. 广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年春季温度距平

3.3. 夏季城市温度距平与海温距平对比

图 10 为日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年夏季温度距平。可见日照城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从夏季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，趋势率分别为 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明夏季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

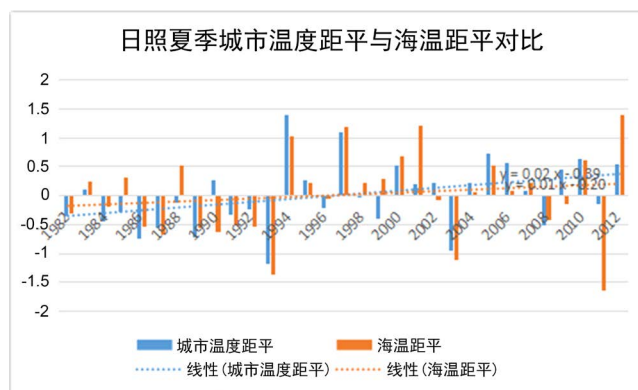


Figure 10. Temperature anomalies between Rizhao City Station and Ocean Grid A from 1982 to 2012 in summer
图 10. 日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年夏季温度距平

图 11 为上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年夏季温度距平。可见上海城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从夏季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，趋势率分别为 $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明夏季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

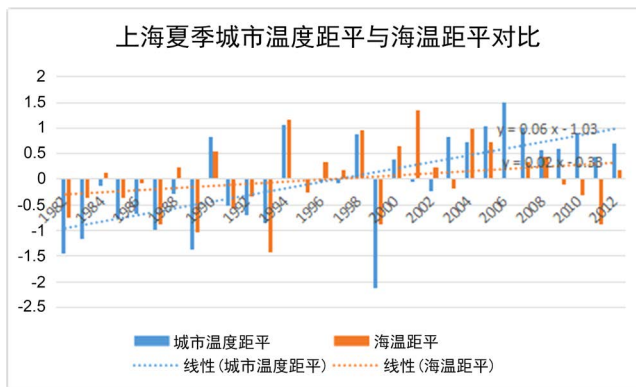


Figure 11. Temperature anomalies between Shanghai City Station and Ocean Grid B from 1982 to 2012 in summer
图 11. 上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年夏季温度距平

图 12 为厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年夏季温度距平。可见厦门城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从夏季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，趋势率分别为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明夏季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

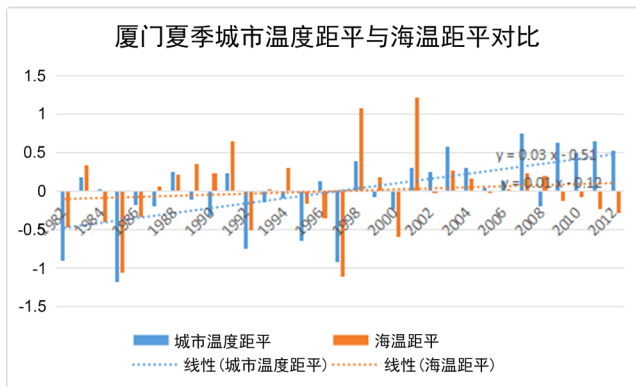


Figure 12. Temperature anomalies between Xiamen City Station and Ocean Grid C from 1982 to 2012 in summer
图 12. 厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年夏季温度距平

图 13 为广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年夏季温度距平。可见广州城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从夏季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，城市温度有一定幅度的上升 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，海表温度无变化。

3.4. 秋季城市温度距平与海温距平对比

图 14 为日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年秋季温度距平。可见日照城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从秋季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，分别为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

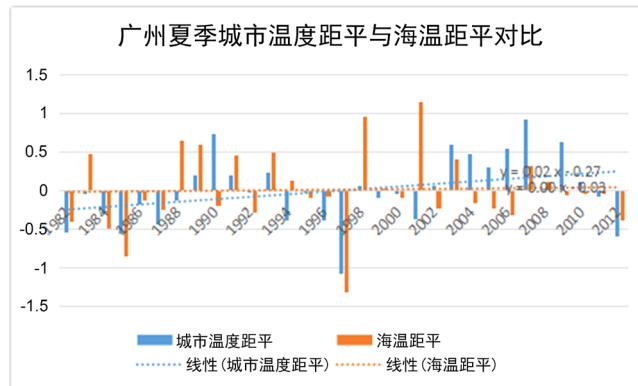


Figure 13. Temperature anomalies between Guangzhou City Station and Ocean Grid D from 1982 to 2012 in summer
图 13. 广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年夏季温度距平

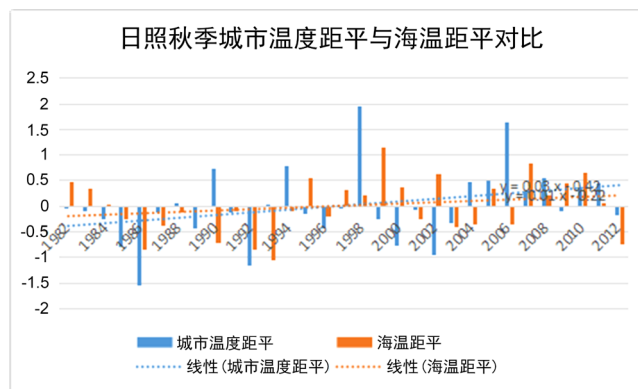


Figure 14. Temperature anomalies between Rizhao City Station and Ocean Grid A from 1982 to 2012 in autumn
图 14. 日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年秋季温度距平

图 15 为上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年秋季温度距平。可见城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从秋季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现大幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率略大于海洋温度距平趋势线斜率，分别为 $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明秋季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

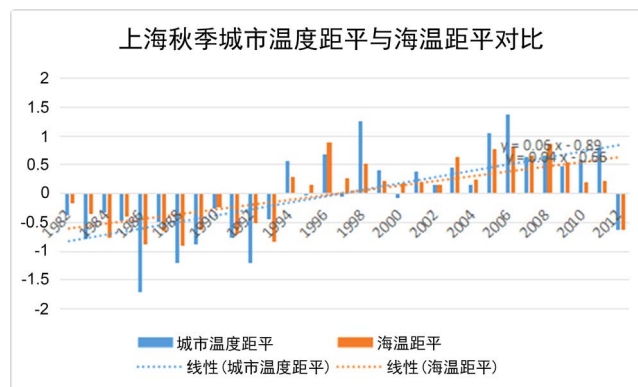


Figure 15. Temperature anomalies between Shanghai City Station and Ocean Grid B from 1982 to 2012 in autumn
图 15. 上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年秋季温度距平

图 16 为厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年秋季温度距平。可见厦门城市站和海洋格点的温度距

平都有上下波动。从秋季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，分别为 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明秋季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

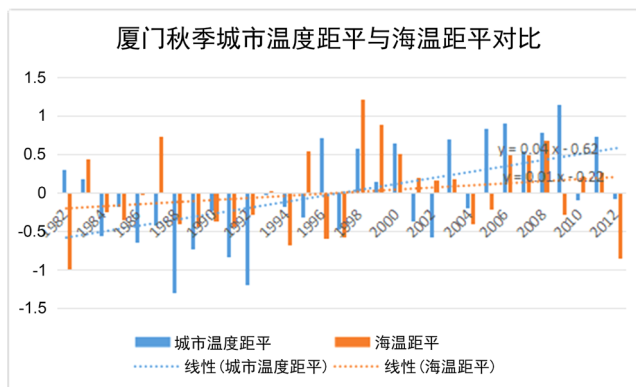


Figure 16. Temperature anomalies between Xiamen City Station and Ocean Grid C from 1982 to 2012 in autumn
图 16. 厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年秋季温度距平

图 17 为广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年秋季温度距平。可见城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从秋季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，且城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，表明秋季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

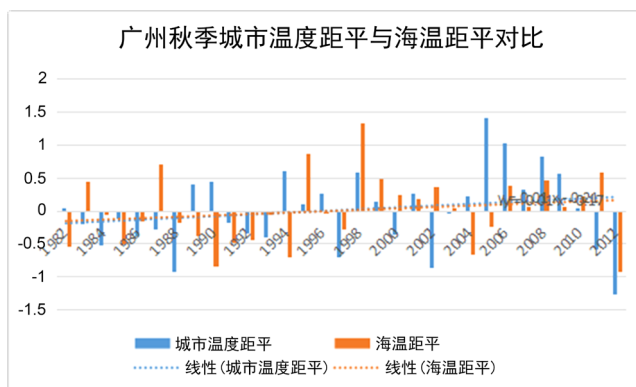


Figure 17. Temperature anomalies between Guangzhou City Station and Ocean Grid D from 1982 to 2012 in autumn
图 17. 广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年秋季温度距平

3.5. 冬季城市温度距平与海温距平对比

图 18 为日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年冬季温度距平。可见日照城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从冬季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率，趋势率分别为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明冬季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

图 19 为上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年冬季温度距平。可见城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从冬季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者都呈现一定幅度的上升，城市温度距平趋势线斜率相等于海洋温度距平趋势线斜率，都为 $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，表明冬季城市温度的增幅等于海表温度增幅。

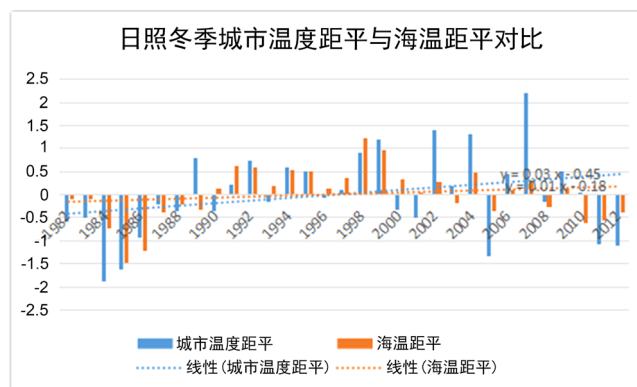


Figure 18. Temperature anomalies between Rizhao City Station and Ocean Grid A from 1982 to 2012 in winter
图 18. 日照城市站和海洋格点 A 1982~2012 年冬季温度距平

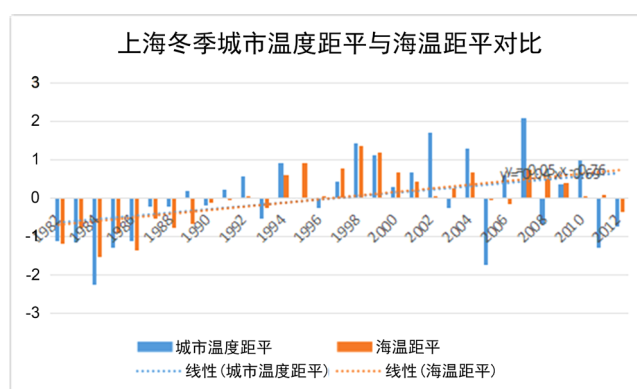


Figure 19. Temperature anomalies between Shanghai City Station and Ocean Grid B from 1982 to 2012 in winter
图 19. 上海城市站和海洋格点 B 1982~2012 年冬季温度距平

图 20 为厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年冬季温度距平。可见城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从冬季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，城市站呈现一定幅度的上升，趋势率为 $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 海洋温度距平趋势线水平，表明冬季城市温度的升高，海洋温度无变化。

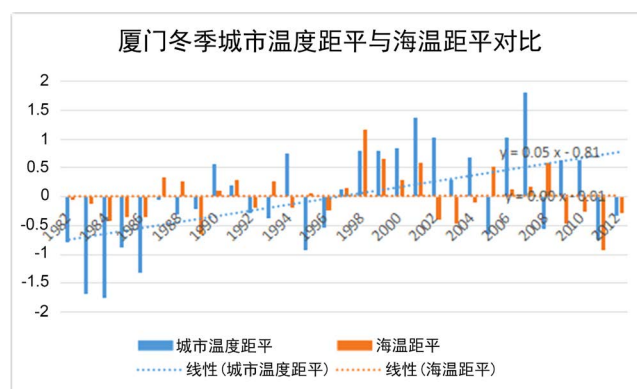


Figure 20. Temperature anomalies between Xiamen City Station and Ocean Grid C from 1982 to 2012 in winter
图 20. 厦门城市站和海洋格点 C 1982~2012 年冬季温度距平

图 21 为广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年冬季温度距平。可见广州城市站和海洋格点的温度距平都有上下波动。从冬季城市温度距平和海温距平的趋势线可以看出，两者呈现一定幅度的上升，城市

温度距平趋势线斜率大于海洋温度距平趋势线斜率, 分别为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 表明冬季城市温度的增幅大于海表温度增幅。

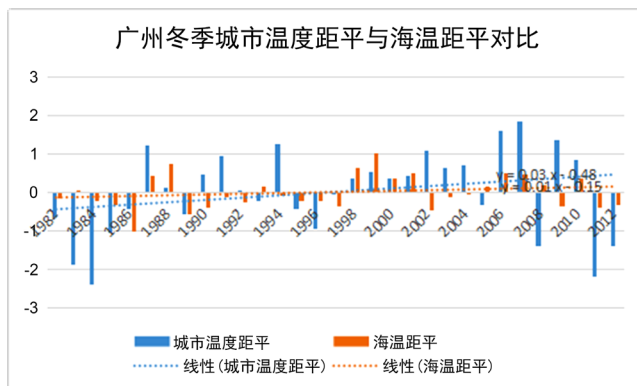


Figure 21. Temperature anomalies between Guangzhou City Station and Ocean Grid D from 1982 to 2012 in winter
图 21. 广州城市站和海洋格点 D 1982~2012 年冬季温度距平

4. 结论

本文对比分析了 1982~2012 年中国东部沿海城市和临近海域年平均温度距平和四季平均温度距平的变化特征, 得出以下几点结论:

- 1) 以海洋温度为背景下, 城市温度升高除了受全球气候变暖的影响, 还受到城市化的影响, 呈现逐渐上升的趋势。
- 2) 夏季城市温度上升趋势最大, 受城市化影响最为明显。
- 3) 年平均气温和四季平均温度变化趋势城市站均比海洋格点温度大。

基金项目

南通市气象局气象科技项目(NQK201803)。

参考文献

- [1] 姜浩, 薛佩珍, 牛宏宇, 等. 近 30a 宁夏平罗县气候变化趋势[J]. 江西农业, 2020(2): 26-27.
- [2] 张嘉仪, 钱诚. 1960~2018 年中国高温热浪的线性趋势分析方法与变化趋势[J]. 气候与环境研究, 2020, 125(3): 3-17.
- [3] 王坤鑫, 张寅生, 张腾, 等. 1979-2017 年青藏高原色林错流域气候变化分析[J]. 干旱区研究, 2020, 37(3): 115-125.
- [4] 赵茹欣, 王会肖, 董宇轩. 气候变化对关中地区粮食产量的影响及趋势分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(4): 467-479.
- [5] 侯路瑶, 姜允芳, 石铁矛, 等. 基于气候变化的城市规划研究进展与展望[J]. 城市规划, 2019, 387(3): 126-137.
- [6] Hansen, J. and Lebedeff, S. (1987) Global Trends of Measured Surface Air Temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **92**, 13345-13372. <https://doi.org/10.1029/JD092iD11p13345>
- [7] 王佳丽, 张人禾, 王迎春. 北京不同区域表面气温的变化特征以及北京市观象台气温的代表性[J]. 气候与环境研究, 2012, 17(5): 563.
- [8] 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.
- [9] 曾静静, 王琳, 曲建升, 等. 气候变化适应研究国际发展态势分析[J]. 科学观察, 2011, 6(6): 32-37.
- [10] 杨鹏, 陈静, 侯晓玮, 高祺, 赵强. 基于多源数据的城市热岛效应研究——以石家庄地区为例[J]. 气象, 2013,

39(10): 1304-1313.

- [11] 张海东, 张昕璇, 孙照渤, 唐国利. 中国近 50a 来度日变化的研究[J]. 大气科学学报, 2010(5): 593-599.
- [12] 程迪, 王咏薇, 刘寿东, 肖帆. 1959~2012 年夏季珠三角地区高温热浪的时空分布特征及其城市热岛效应的影响分析[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(1): 273-283.