

王凯, 陈正洪, 刘可群, 等. 2010. 华中区域 1960~2005 年平均最高、最低气温及气温日较差的变化特征 [J]. 气候与环境研究, 15 (4): 418-424. Wang Kai, Chen Zhenghong, Liu Kequn, et al. 2010. Variation characteristics of the mean maximum, minimum temperature, and diurnal range of temperature in Central China during 1960-2005 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (4): 418-424.

华中区域 1960~2005 年平均最高、最低气温及气温日较差的变化特征

王凯 陈正洪 刘可群 孙杰

武汉区域气候中心, 武汉 430074

摘要 利用华中区域(河南、湖北、湖南3省)42站1960~2005年逐月平均最高、最低气温资料, 计算并详细分析了该区域年(季、月)平均最高、最低气温和气温日较差的线性变化趋势、突变性及周期性特征。结果发现: 1) 华中区域年平均最高、最低气温均呈现上升趋势, 年平均气温日较差呈减小趋势, 其中年平均最低气温变化最显著。2) 平均最高气温在春、秋、冬均呈上升趋势; 平均最低气温四季均呈上升趋势, 其中春、冬季变化显著; 平均气温日较差在夏、冬季下降趋势较为明显, 其中以冬季降幅最大。3) 全年有4个月平均最高气温呈下降趋势, 其中8月最为显著; 平均最低气温在冬、春季为明显上升趋势, 其他月变化趋势不显著; 平均气温日较差在冬、夏季呈明显下降趋势, 其中1月最为显著。4) 年平均最高、最低气温在20世纪90年代经历了一次由冷变暖的明显突变; 四季中, 平均最高气温春、冬季突变显著, 平均最低气温春、夏季突变显著。5) 年平均最高、最低气温存在显著的2~4 a周期变化。

关键词 华中区域 平均最高气温 平均最低气温 平均气温日较差 变化趋势 突变

文章编号 1006-9585 (2010) 04-0418-07 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Variation Characteristics of the Mean Maximum, Minimum Temperature, and Diurnal Range of Temperature in Central China during 1960 - 2005

WANG Kai, CHEN Zhenghong, LIU Kequn, and SUN Jie

Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074

Abstract Monthly mean maximum, minimum temperature at 42 stations during 1960 - 2005 in central China (Henan, Hubei, and Hunan Provinces) were employed, and the linear trends, abrupt and periodic characteristics of the change of the annual, seasonal, and monthly mean maximum, minimum temperature, and diurnal range of temperature were calculated and analyzed in detail. The results are as follows: 1) Annual mean maximum, minimum temperatures are all increasing, the diurnal range of temperature are decreasing, but the annual minimum temperature is significantly increasing. 2) The mean maximum temperatures are increasing in spring, autumn, and winter; the mean minimum temperatures are increasing in the four seasons, and the increase is significant in spring and winter. The mean diurnal range of temperatures are significantly decreasing in summer and winter, and the decreasing rate is the biggest in winter. 3) There are four months with the mean maximum temperatures decreasing, and the

收稿日期 2010-03-18 收到, 2010-06-12 收到修定稿

资助项目 华中区域气象中心科技发展基金重点项目 QY-Z-200807 和国家科技支撑计划课题 2007BAC29B02、2007BAC03A01

作者简介 王凯, 男, 1980 年出生, 博士, 工程师, 主要从事大气成分、气候变化研究。E-mail: wk12l@163.com

decrease is obvious in August. The mean minimum temperatures are significantly increasing in spring and winter, and the trend in other months was not significant. The mean diurnal range of temperatures are significantly decreasing in summer and winter, and the decrease is obvious in January. 4) The mean maximum and minimum temperatures changed abruptly from cold to warm in the early 1990s. The mean maximum temperatures changed abruptly and significantly in spring and winter, so did the mean minimum temperatures in spring and summer. 5) There is a significant 2–4-year cycle of the mean maximum and minimum temperatures.

Key words central China, mean maximum temperature, mean minimum temperature, mean diurnal range of temperature, variation trend, abrupt

1 引言

IPCC 第四次评估报告指出, 全球平均温度自 19 世纪以来升高了 $0.56 \sim 0.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2007), 我国学者王绍武 (1993, 1994)、王绍武和叶瑾琳 (1995) 发现近百年来全球气候变化的主要特征是变暖, 全球平均地面温度在近 100 年中上升了 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并且存在 3 次气候突然变暖的现象。近几十年来我国气温亦呈上升趋势, 但并不完全与世界同步 (魏凤英和曹鸿兴, 1995)。研究表明, 近 54 年我国年平均气温上升趋势非常明显, 达到 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ (任国玉等, 2005)。随着全球气候变暖, 平均最高、最低气温及气温日较差变化的研究已受到广泛重视。因为这些指标可以反映全球和区域性温度的变化幅度特征, 更有着重要的生态学意义, 对于人类生存环境的变化、气候异常的影响和可持续发展研究具有特殊的参考价值 (陈铁喜和陈星, 2007)。

本文旨在利用华中区域 (河南、湖北、湖南 3 省) 20 世纪 60 年代以来较完整的气象资料, 对华中区域平均最高、最低气温及气温日较差的变化特征作进一步的研究。

2 资料与方法

2.1 资料

华中区域包括河南、湖北、湖南三省, 资料时段为 1960~2005 年。气温序列的均一性检验主要采取构造参考序列的方式对被检站进行检验。参考站选取原则为被检站半径 200 km 范围内的气象站 (剔除本站序列不均一的台站), 选取与待检站要素相关系数最大的 5 个台站。采用标准正态

检验 (SNHT)、多元线性回归 (MLR)、Rodionov 方法 3 种方法对所有气象站的平均气温、平均最高气温、平均最低气温的年值进行检验, 有两种 (含) 以上方法通过检验的即为通过均一性检验, 最后从 3 省 144 个气象台站中确定空间分布相对比较均匀的 42 个站 (图 1)。

四季的划分为春季 3~5 月、夏季 6~8 月、秋季 9~11 月、冬季 12 月至次年 2 月。

2.2 方法

分别采用线性趋势分析 (杨宏青等, 1999; 覃军和陈正洪, 1999)、突变分析 (陈正洪, 1999)、小波变换对华中区域平均及各省年、季、

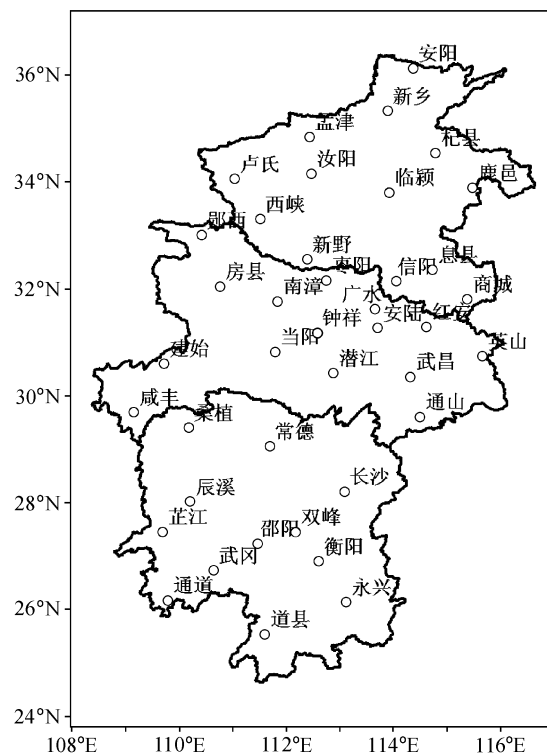


图 1 华中区域气温要素站点的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution temperature stations over central China

月共 17 个时段平均最高气温 (t_M)、平均最低气温 (t_m) 和日较差 (t_d) 的变化特征进行诊断分析。

3 结果分析

3.1 逐月平均最高、最低气温及其日较差的变化趋势

由表 1 可见, 华中区域平均最高气温在 1、6、7、8 月呈下降趋势, 其中 8 月最显著, 达 $0.362\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 其余 8 个月均呈上升趋势, 但只有 2 月和 4 月显著上升, 4 月最为显著, 达 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。平均最低气温在 1、2、4、6 月为明显上升趋势, 其他月变化趋势不显著。气温日较差除了在 4 月和 11 月略有上升、9 月和 10 月未变外, 其他月份均呈下降趋势, 其中 1、6、7、8 月是显著的, 1 月最大, 为 $-0.455\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。就各省而言, 平均最高气温在 3、5、6、12 月变化趋势各异, 平均最低气温逐月变化一致, 日较差在 5、9、10、12 月变化趋势各异。

气温日较差的显著减小主要是最低气温的显著增加但最高气温变化趋势不显著 (1 月), 或者最高气温显著下降而最低气温变化趋势不显著 (8 月)。还有一些月份 (如 2、4 月) 最高、最低气温均呈上升趋势, 所以气温日较差变化趋势并不明显 (杨宏青等, 1999; 唐红玉等, 2005)。

3.2 年、逐季平均最高、最低气温及其日较差的趋势变化

表 2 为华中区域及各省年、四季平均最高 (b_{tM})、最低气温 (b_{tm}) 及气温日较差 (b_{td}) 的变化趋势。可见该区域年平均最高气温呈上升趋势 [$0.079\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$], 年平均最低气温显著上升 [$0.203\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$], 年平均气温日较差显著下降 [$0.124\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$]。

年平均最高气温在春、秋、冬季均呈上升趋势, 其中春季最大 [$0.199\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$], 湖北增加趋势最为明显。年平均最低气温四季均呈上升趋势, 春、冬季是显著的, 其中冬季最大 [$0.411\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$], 河南、湖北的增加趋势最为明显, 湖南以冬季的增加趋势最为明显。年平均日较差在春、夏、冬季均呈下降趋势, 夏、冬季是显著的, 其中冬季最大 [$0.272\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$], 秋季有弱的上升趋势; 湖北春季呈弱的上升趋势。

夏季气温日较差的明显减小主要是由于最高气温的显著下降引起的, 而冬季及年气温日较差的明显减小主要是由于最低气温的显著上升引起的。

由此可见, 华中区域全年各季的气温变化趋势主要表现为冬变暖 (冬季最低气温的显著上升)、夏变凉 (夏季最高气温的显著下降), 年气温日较差缩小即年极端气温变幅趋于缓和 (杨宏

表 1 华中区域平均及各省逐月平均最高、最低气温及气温日较差的变化趋势

Table 1 Trends of monthly mean maximum, minimum temperature and diurnal range of temperature in central China and the three provinces $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$

月份	华中			河南			湖北			湖南		
	t_M	t_m	t_d	t_M	t_m	t_d	t_M	t_m	t_d	t_M	t_m	t_d
1	-0.076	0.379**	-0.455**	-0.052	0.388**	-0.440	-0.015	0.443***	-0.458	-0.172	0.295*	-0.467**
2	0.428	0.571**	-0.143	0.489	0.653***	-0.164	0.430	0.585***	-0.155	0.359	0.466	-0.107
3	0.020	0.217	-0.196	0.062	0.294*	-0.232	0.080	0.234	-0.154	-0.094	0.113	-0.207
4	0.480**	0.325**	0.155	0.463**	0.347**	0.116	0.566***	0.334**	0.232	0.399*	0.294	0.105
5	0.100	0.153	-0.053	-0.056	0.200*	-0.255	0.242	0.180*	0.062	0.105	0.072	0.033
6	-0.065	0.186**	-0.251**	-0.209	0.156*	-0.364**	-0.052	0.193	-0.245**	0.074	0.210**	-0.136
7	-0.174	0.028	-0.202**	-0.221	0.000	-0.221**	-0.106	0.041	-0.147	-0.200	0.044	-0.244**
8	-0.362**	-0.054	-0.308***	-0.391**	-0.106	-0.285**	-0.321*	-0.037	-0.284**	-0.379**	-0.019	-0.360***
9	0.213	0.187	0.026	0.282	0.256	0.026	0.324*	0.240*	0.083	0.010	0.049	-0.039
10	0.091	0.090	0.001	0.092	0.102	-0.010	0.096	0.124	-0.028	0.083	0.035	0.048
11	0.250	0.121	0.129	0.155	0.079	0.075	0.267	0.137	0.130	0.335	0.148	0.187
12	0.064	0.243	-0.179	-0.052	0.317*	-0.369	0.094	0.285*	-0.192	0.155	0.115	0.040

*、**、*** 分别表示通过 0.05、0.01、0.001 的显著性检验。

表 2 华中区域平均及各省年、四季平均最高、最低气温及气温日较差的变化趋势
Table 2 Trends of the annual and the seasonal mean maximum, minimum temperatures and the diurnal range of temperature in central China and the three provinces $^{\circ}\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$

	华中			河南			湖北			湖南		
	b_{tM}	b_{t_m}	b_{t_d}	b_{tM}	b_{t_m}	b_{t_d}	b_{tM}	b_{t_m}	b_{t_d}	b_{tM}	b_{t_m}	b_{t_d}
全年	-0.079	0.203***	-0.124	-0.043	0.221***	-0.178*	-0.133*	0.242***	-0.109*	-0.059	0.153***	-0.095
春	-0.199	0.233***	-0.034	-0.155	0.281***	-0.126	-0.284**	0.259***	-0.024	-0.131	0.158	-0.028
夏	-0.201	0.052	-0.253***	-0.274**	0.015	-0.289***	-0.145	0.076	-0.221***	-0.164	0.080*	-0.244***
秋	-0.188	0.136	-0.052	-0.175	0.145	-0.030	-0.230*	0.186*	-0.044	-0.153	0.083	-0.069
冬	-0.139	0.411***	-0.272*	-0.124	0.471***	-0.348	-0.167	0.456***	-0.289*	-0.125	0.299**	-0.174

*、**、*** 分别表示通过 0.05、0.01、0.001 的显著性检验。

青等, 1999)。

任国玉等 (2005) 指出, 我国年平均最高气温冬季增加最为明显, 对年平均最高气温的上升贡献最大, 夏季平均最高气温增加最弱。年平均最低气温上升趋势较年平均最高气温变化明显, 各季均呈增加趋势, 冬季最为明显。年平均日较差各季均呈下降趋势, 但冬季的下降趋势最为明显。本文所得结论与上述研究结果基本一致。

华中区域年 (见图 2) 及四季 (见图 3) 平均最高、最低气温存在明显的非对称变化现象, 最大的特点是 t_M 和 t_m 都呈增长趋势 (夏季除外), 但

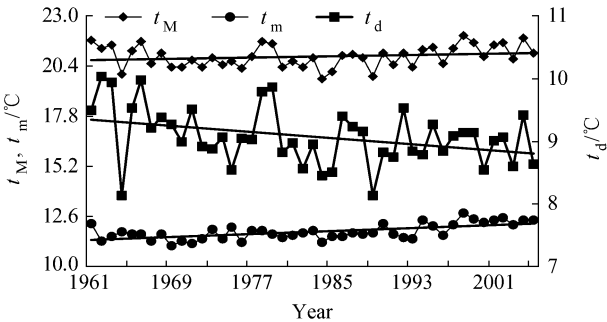


图 2 华中区域年平均最高、最低气温及气温日较差时间序列
Fig. 2 Time series of the annual mean maximum, minimum temperatures and the diurnal range of temperature in central China

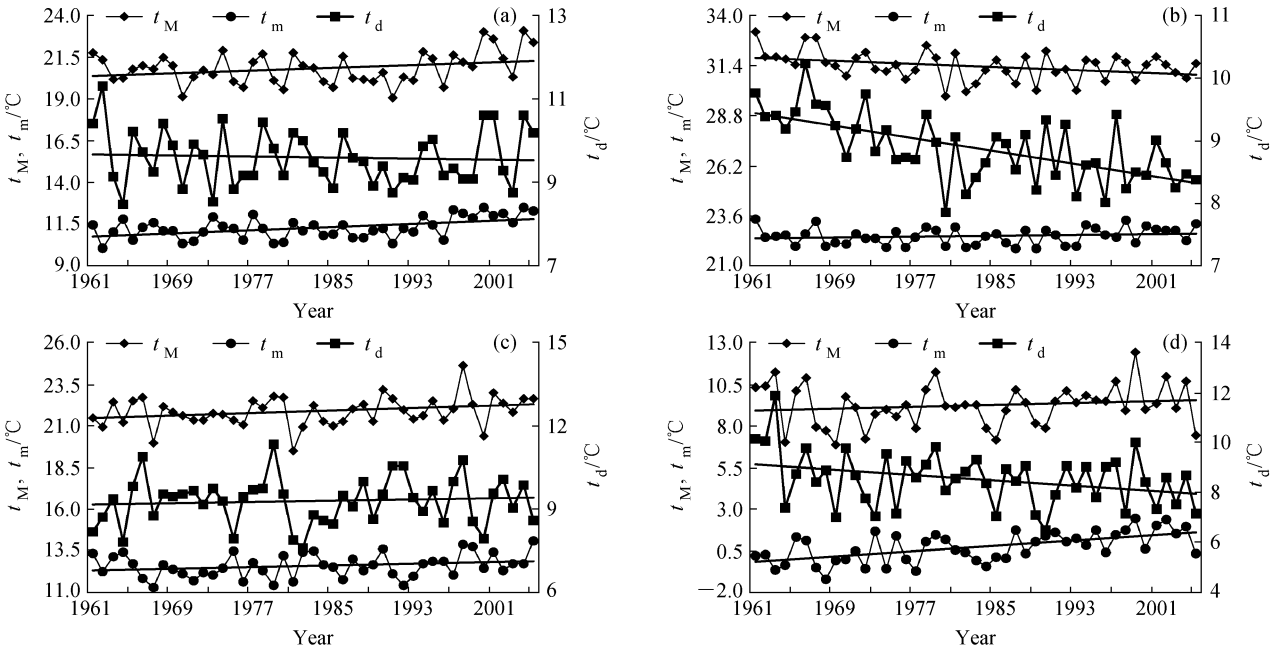


图 3 华中区域四季平均最高、最低气温及气温日较差时间序列: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季
Fig. 3 Time series of the seasonal mean maximum, minimum temperatures and the diurnal range of temperature in central China: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

后者的增长速率大于前者。非对称变化在夏季表现最为显著,夏季 t_M 呈显著下降趋势,而 t_m 呈增温趋势。同时,最高、最低平均气温非对称变化在 t_d 方面表现也非常明显,年、夏季和冬季都呈非常显著的下降趋势。

3.3 年(季)平均最高、最低气温的突变及周期

3.3.1 突变分析

当基准点前后样本序列长度相同,且长度依次取 9、10、11 时,分别通过了 0.01、0.01、0.001 的显著性检验。由图 4 可知,当序列长度为 10 时,年平均最高、最低气温突变点出现在 1994 年,由此显示 20 世纪 90 年代初华中区域气候经历了一次由冷变暖的明显突变。

最高气温春、冬季突变显著,夏季不明显,秋季无突变。当样本序列长度取 9、10、11 时,春季平均最高气温突变点为 1994 年,均通过了 0.01 的显著性检验;冬季平均最高气温突变点为 1991 年,分别通过了 0.05、0.05、0.02 的显著性检验。

最低气温春、夏季突变显著,秋季无突变,冬季不明显。当样本序列长度取 9、10、11 时,春季平均最低气温突变点为 1994 年,分别通过了 0.001、0.01、0.001 的显著性检验;夏季平均最低气温突变点为 1993 年,分别通过了 0.05、0.02、0.02 的显著性检验。

图 5 给出了样本长度取 10 时华中区域四季平

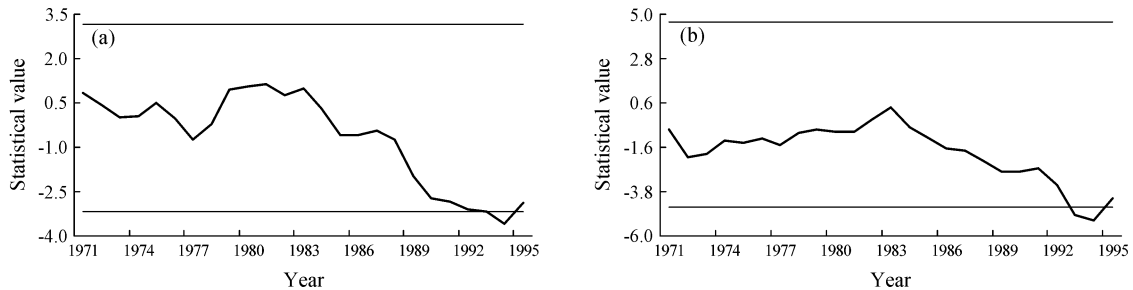


图 4 1961~2005 年华中区域年平均 (a) 最高、(b) 最低气温滑动 t 检验

Fig. 4 Sliding t -test of the annual mean (a) maximum temperature and (b) minimum temperature in the Central China

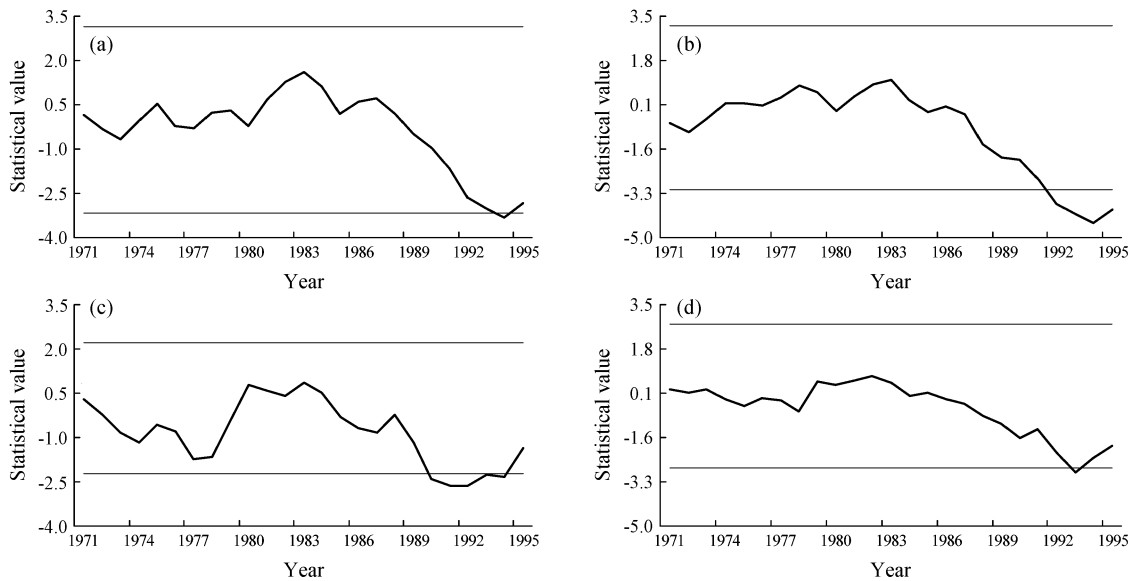


图 5 1961~2005 年华中区域四季平均最高、最低气温滑动 t 检验: (a) 春季平均最高气温; (b) 春季平均最低气温; (c) 冬季平均最高气温; (d) 夏季平均最低气温

Fig. 5 Sliding t -test of the seasonal mean maximum, minimum temperatures in central China: (a) Spring mean maximum temperature; (b) spring mean minimum temperature; (c) winter mean maximum temperature; (d) summer mean minimum temperature

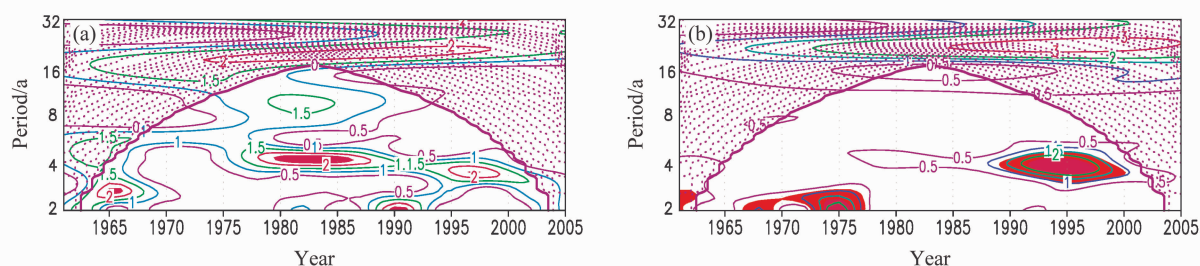


图 6 1961~2005 年华中区域年平均 (a) 最高、(b) 最低气温小波变换功率谱

Fig. 6 Wavelet transform power spectrum of the annual mean (a) maximum temperature and (b) minimum temperature in central China

均最高、最低气温滑动 t 检验变化曲线。

3.3.2 周期变化

由图 6 可知, 华中区域年平均最高气温在 1979~1987 年间存在显著的 4 a 左右周期变化; 年平均最低气温在 1967~1977 年间存在显著的 2~3 a 的周期变化, 在 1990~2000 年存在 3~4 a 周期变化。

4 结论

(1) 近 45 年, 华中区域逐月平均最高气温在 8 月呈显著下降趋势, 最低气温在 1、2、4、6 月呈显著上升趋势, 气温日较差在 1、6、7、8 月均表现出明显的下降趋势。

(2) 年平均最高气温变化趋势不明显, 平均最低气温呈显著上升趋势, 年气温日较差呈减小趋势, 45 年减小了 0.558°C 。

(3) 气温日较差在 3 月和 5 月均呈弱减小趋势, 4 月为弱增加趋势, 前后相互抵消, 导致春季气温日较差变化趋势不明显; 秋季 3 个月均为弱增加趋势, 叠加后秋季气温日较差变化趋势仍不明显; 而冬、夏季逐月气温日较差均为减小趋势。四季中, 夏季最高气温呈下降趋势, 为 $0.201^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$, 冬季最低气温呈明显上升趋势, 为 $0.411^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{ a})^{-1}$; 变化幅度以冬、夏季较为明显, 均呈下降趋势, 45 年间, 冬季气温日较差减小了 1.2°C , 夏季减小了 1.1°C 。

(4) 夏季最高气温的显著下降、冬季最低气温的显著上升等变化造成了夏凉 (主要在白天) 冬暖 (主要在夜间), 气温年变化趋于缓和。

(5) 华中区域年平均最高气温在 1979~1987 年间存在显著的 4 a 左右周期变化; 年平均最低气

温在 1967~1977 年间存在显著的 2~3 a 左右的周期变化, 在 1990~2000 年存在 3~4 a 周期变化。

(6) 年平均最高、最低气温突变点基本在 1993 年和 1994 年, 表明 20 世纪 90 年代经历了一次由冷变暖的明显突变。四季中, 最高气温春、冬季突变显著, 突变点分别为 1994 年和 1991 年; 最低气温春、夏季突变显著, 突变点分别为 1994 年和 1993 年。

参考文献 (References)

- 陈铁喜, 陈星. 2007. 近 50 年中国气温日较差的变化趋势分析 [J]. 高原气象, 26 (1): 150 - 156. Chen Tiexi, Chen Xing. 2007. Variation of diurnal temperature range in China in the past 50 years [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 26 (1): 150 - 156.
- 陈正洪. 1999. 武汉、宜昌 20 世纪最高气温、最低气温、气温日较差突变的诊断分析 [J]. 长江流域资源与环境, 9 (1): 56 - 62. Chen Zhenghong. 1999. The diagnosis and analysis of abrupt changes in the mean temperature during the 20th Century in Wuhan and Yichang [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese), 9 (1): 56 - 62.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Solomon S, Qin D, Manning M, et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996.
- 覃军, 陈正洪. 1999. 湖北省最高气温和最低气温的非对称性变化 [J]. 华中师范大学学报, 33 (2): 286 - 290. Qin Jun, Chen Zhenghong. 1999. Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperatures in Hubei Province [J]. Journal of Huazhong Normal University (Natural Sciences) (in Chinese), 33 (2): 286 - 290.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 701 - 716. Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. 2005. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. Climatic and Envi-

- ronmental Research (in Chinese), 10 (4): 701-716.
- 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 2005. 1951~2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. 气候与环境研究, 10 (4): 728-735. Tang Hongyu, Zhai Panmao, Wang Zhenyu. 2005. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951-2002 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (4): 728-735.
- 王绍武. 1993. 全球气候变暖的检测及成因分析 [J]. 应用气象学报, 4 (2): 226-234. Wang Shaowu. 1993. The detection of global climate warming and its causes [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 4 (2): 226-234.
- 王绍武. 1994. 近百年气候变化与变率的诊断研究 [J]. 气象学报, 53 (3): 261-273. Wang Shaowu. 1994. Study on climate change and changing ratio during the last one hundred years [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 53 (3): 261-273.
- 王绍武, 叶瑾琳. 1995. 近百年全球气候变暖的分析 [J]. 大气科学, 19 (5): 245-253. Wang Shaowu, Ye Jinlin. 1995. An analysis of global warming during the last one hundred years [J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 19 (5): 245-253.
- 魏凤英, 曹鸿兴. 1995. 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, 19 (2): 140-148. Wei Fengying, Cao Hongxing. 1995. Detection of abrupt changes and trend prediction of the air temperature in China, the Northern Hemisphere and the globe [J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 19 (2): 140-148.
- 杨宏青, 陈正洪, 张霞. 1999. 湖北省 60 年代以来气温日较差的变化趋势 [J]. 长江流域资源与环境, 8 (2): 162-167. Yang Hongqing, Chen Zhenghong, Zhang Xia. 1999. The change of the diurnal temperature range in Hubei Province since 1960s [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin (in Chinese), 8 (2): 162-167.