

山东近百年来的最高、最低温度变化

胡桂芳¹ 李 芸¹ 李德萍²

(1. 山东省气象中心, 济南 250031; 2. 青岛市气象台)

提 要

对济南(1919~2002年)、青岛(1900~2002年)年及四季的平均和平均最低(高)气温序列进行诊断分析,结果表明:近百年来年平均最低气温和平均气温都呈上升趋势,但前者的增温率明显高于后者;最高气温青岛呈上升趋势,而济南却呈下降趋势;济南、青岛出现两次突然增暖,其中30年代的增暖以白天增暖较多,而80年代以来的增暖主要发生于夜间;由于日夜增暖的不对称性,导致第二次增暖期比第一次增暖期气温日较差明显变小。

关键词: 最高气温 最低气温 气候变暖

引 言

研究表明,过去几十年北半球大部分地区显著增暖主要发生在夜间,大部分陆地日最低气温上升幅度是日最高气温的3倍,即最低气温上升幅度明显大于最高气温,平均夜间增暖 0.84°C ,而白天仅增暖 0.28°C ^[1]。最高气温在过去40年中变化趋势不明显,但最低气温却有明显上升趋势;就地区分布而言,最高气温仅黄河以北, 95°E 以西上升明显,其它地区则多为下降,而最低气温在全国各地呈现一致的上升趋势^[2]。温室效应的加剧将更多地影响平均最低气温,从而导致气温日较差明显减小。近百年出现两次明显增暖(20~40年代和80年代以来),但其增暖的特点及成因不尽相同^[3~5]。本文细致地分析了近百年来济南、青岛的平均和平均最高(低)气温变化特征,对深入了解山东气候变化规律及成因有十分重要的意义。

1 资料及其预处理

以济南1919~2002年、青岛1900~2002年的历年逐月平均和平均最高(低)气温为基本资料,对1938及1948年资料存在的缺测部分,采用5年滑动平均方法进行插补。另外,自1999年起济南观测站由北郊无影山迁到南郊龟山,新老测站的观测值存在着明显差异,根据文献^[7]中对1998~2000

年两站观测值的对比分析,对济南1999~2002年的记录进行了订正。春、夏、秋、冬四季的平均值分别以3~5月、6~8月、9~11月和12月~次年2月的平均值来代替。气候平均值采用1971~2000年平均。

2 气温的长期趋势

以年代 t 为自变量,温度 x 为因变量,用线性倾向的最小二乘法来估计其演变趋势:

$$x(t) = a + bt$$

其中 b 为气温的线性趋势, $b > 0$ 表示气温呈上升趋势, $b < 0$ 则表示气温为下降趋势。图1为济南年最高、最低及平均气温距平的年际变化曲线及其线性趋势,表1为济南、青岛年及各季最高(低)及平均气温的线性变率及线性拟合与实况值的相关系数。

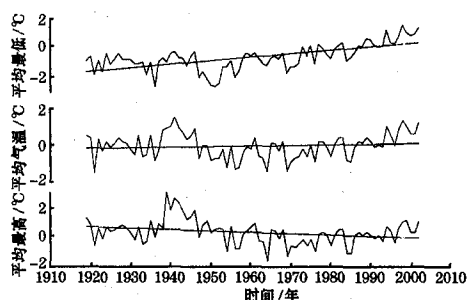


图1 济南年最高、最低及平均气温距平的年际变化曲线及其线性趋势

表1 济南、青岛年及各季的平均及平均最高(低)气温线性变率 B (单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)及线性拟合值与实况值的相关系数 R

		济南		青岛	
		B	R	B	R
春季	最高	-0.149	-0.24	0.098	0.34
	最低	0.228	0.46	0.185	0.59
	平均	-0.024	-0.06	0.111	0.40
夏季	最高	-0.169	-0.32	0.058	0.23
	最低	0.08	0.18	0.119	0.44
	平均	-0.06	-0.17	0.066	0.29
秋季	最高	-0.157	-0.33	0.013	0.05
	最低	0.24	0.53	0.202	0.15
	平均	-0.006	-0.02	0.073	0.30
冬季	最高	0.088	0.19	0.133	0.35
	最低	0.367	0.56	0.215	0.51
	平均	0.207	0.39	0.128	0.34
年	最高	-0.097	-0.23	0.077	0.40
	最低	0.225	0.61	0.18	0.44
	平均	0.028	0.10	0.09	0.44

注: 济南: $R_{\alpha=0.1} = 0.18$ $R_{\alpha=0.05} = 0.22$ $R_{\alpha=0.01} = 0.28$
 $R_{\alpha=0.001} = 0.37$

青岛: $R_{\alpha=0.1} = 0.16$ $R_{\alpha=0.05} = 0.19$ $R_{\alpha=0.01} = 0.25$
 $R_{\alpha=0.001} = 0.32$

由图1及表1可见, 济南年及各季平均最低气温均呈上升趋势, 尤以冬季最为突出, 增温率为 $0.367^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 显著性达 $\alpha = 0.001$; 年及冬季的平均气温虽呈上升趋势, 但增温

表2 济南、青岛年及四季平均及平均最高(低)气温突变点出现的年份及突变指数($\alpha = 0.01$)

		济南	青岛
春季	最低气温	1948(3.85)	1917(-5.33)、1936(-3.31)
	最高气温	1949(4.85)	1946(3.77)
	平均气温	1948(6.01)	
夏季	最低气温	1937(-3.52)	1918(-3.45)
	最高气温	1938(-3.86)、1947(3.63)	
	平均气温	1937(-3.45)、1947(4.46)	
秋季	最低气温	1936(-3.22)、1946(3.69)、1956(-3.77)	1934(-4.92)
	最高气温	1935(-3.73)、1946(4.71)	
	平均气温	1946(4.56)	1934(-3.81)
冬季	最低气温	1985(-5.55)	1988(-4.06)
	最高气温	1989(-3.24)	1988(-4.04)
	平均气温	1988(-4.19)	1988(-3.78)
年	最低气温	1946(5.90)、1957(-5.59)、1988(-3.88)	1918(-5.64)、1936(-4.68)、1988(-3.77)
	最高气温	1936(-4.79)、1946(4.59)	1933(-3.41)、1946(3.86)、1988(-3.60)
	平均气温	1936(-3.74)、1946(6.05)、1992(-3.63)	1936(-4.01)、1946(3.20)、1988(-3.53)

注: $\alpha = 0.01$, 突变指数临界值为 3.20

3.1 年及各季的平均最低气温

1900 年以来, 青岛年平均最低气温一直处于上升期, 其间有三次明显的突然增温, 第一次出现在 20 世纪 10 年代末, 以春季最强;

率明显小于最低气温, 年平均气温增温率大约是最低气温的 $1/10$, 秋季的平均气温的升降趋势不明显; 除冬季外, 年及各季的平均最高气温呈下降趋势, 以夏季最明显, 秋季次之, 降温率分别为 $0.169^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 及 $0.157^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 显著性达 $\alpha = 0.01$ 。这说明济南近 80 余年来的增温主要出现在夜间, 且以冬季最显著, 白天不仅不增温, 反而降温, 以夏季白天降温最明显。

青岛年及各季的平均气温及平均最高(低)气温虽都呈上升趋势, 但以最低气温升温最显著。一年四季中, 也以冬季最为突出, 平均气温、平均最低及平均最高气温的增温率分别为 $0.128^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.215^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 及 $0.133^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 显著性在 $\alpha = 0.001$ 以上。

3 气温突变分析

气候变化在各种不同的尺度上都存在着不稳定及突变现象, 它被认为是气候系统的非线性反映, 是气候状态的转折。本文采用滑动的 T 检验方法对济南、青岛年及各季的平均气温、平均最高(最低)气温序列进行突变检测, 取滑动步长 $m = 10$, 表 2 为信度超过 99% 显著水平突变点出现的年份及突变指数^[6]。

第二次发生在 30 年代中后期, 主要表现在春、秋两季; 第三次则发生在 80 年代后期, 以冬季最为突出。1919 年以来, 济南年平均最低气温变化过程较青岛复杂, 除有两次突变

增温过程外,还经历了一次显著的突然降温。增温分别出现在20世纪50年代及80年代后期,前者主要发生于秋季,后者出现在冬季。降温出现在40年代中后期,主要发生于春、秋两季。在青岛30年代中后期的增温过程中,济南夏、秋两季也有比较明显的增温。

3.2 年及各季的平均最高气温

近百年来,青岛年平均最高气温经历了30年代前期和80年代后期两次突变增温,前者主要出现在春、秋两季(突变指数相对较大,但没通过显著性检验),后者则以冬季最为突出。40年代中后期趋势发生了明显的转折,由升温转为降温,主要表现在春季。济南年和各季的平均最高气温,近80余年来大多经历了一次明显的突变增温和降温,降温出现的时间与青岛基本一致,但强度明显偏强,且春、夏、秋三季均比较显著。增温出现在30年代中后期,较青岛的第一次增暖滞后几年,主要存在于夏、秋两季。80年代以来

的增温也以冬季最明显。

3.3 年及各季的平均气温

近百年来,青岛、济南平均气温均经历了两次明显的突然增温和一次突然降温,两次突然增暖分别发生于30年代中期和80年代后期至90年代初期,降温出现在40年代中期。第一次增暖主要发生于夏季,第二次增暖则以冬季的贡献最大。青岛的降温没有济南明显,突变指数刚刚达到99%显著性水平,相对而言,以春季降温最为明显(突变指数为3.14,接近99%信度的临界值3.20)。

4 两次增温过程分析

近百年来济南、青岛年平均气温先后经历了两次明显的增温过程,第一次出现在20世纪30年代中期至40年代中期;第二次发生在80年代中期至今。表3为济南、青岛两次增暖期年及四季平均气温、平均最高(低)气温、日较差的对比。

表3 济南、青岛两次增暖期年、四季平均及平均最高(低)气温、日较差对比(单位:℃)

		济南				青岛			
		平均气温 (距平)	最高气温 (距平)	最低气温 (距平)	日较差	平均气温 (距平)	最高气温 (距平)	最低气温 (距平)	日较差
年	1937~1946	15.4(0.6)	21.3(1.8)	9.9(-0.7)	11.4	12.7(0.1)	16.5(0.3)	9.8(-0.1)	6.7
	1987~2002	15.2(0.4)	19.9(0.3)	11.2(0.6)	8.7	13.1(0.5)	16.7(0.5)	10.4(0.5)	6.3
春季	1937~1946	16.4(0.9)	22.8(2.1)	9.8(-1.0)	13.0	10.9(0.1)	15.1(0.4)	7.8(-0.0)	7.3
	1987~2002	15.7(0.3)	20.8(0.4)	11.2(0.5)	9.6	11.3(0.6)	15.3(0.6)	8.4(0.6)	6.9
夏季	1937~1946	28.1(1.3)	33.7(2.3)	23.2(0.6)	10.5	23.5(0.2)	26.8(0.3)	21.2(0.2)	5.6
	1987~2002	27.2(0.4)	31.8(0.4)	23.1(0.5)	8.7	23.6(0.3)	26.8(0.3)	21.3(0.3)	5.5
秋季	1937~1946	16.3(0.7)	22.2(1.8)	10.9(-0.5)	11.3	15.9(0.3)	19.9(0.8)	12.8(0.1)	7.1
	1987~2002	15.8(0.3)	20.6(0.3)	11.8(0.4)	8.8	15.9(0.3)	19.4(0.3)	12.9(0.3)	6.5
冬季	1937~1946	0.9(-0.5)	6.4(0.7)	-4.4(-2.1)	10.8	0.4(-0.5)	3.9(-0.6)	-2.8(-1.0)	6.7
	1987~2002	2.0(0.8)	6.3(0.6)	-1.4(0.9)	7.7	1.7(0.7)	5.1(0.7)	-1.1(0.8)	6.2

注:青岛第二次增暖期为1988~2002

由表3可见,济南年平均气温的两次增暖幅度差异不大,但最高和最低气温的变化差异却很大。第一次增暖期年平均最高气温21.3℃,高出多年平均1.8℃,而年平均最低气温9.9℃,比多年平均偏低0.7℃;第二次增暖期年平均最高气温为19.9℃,仅比常年偏高0.4℃,但年平均最低气温却升为11.2℃,高出多年平均值0.6℃。即第一次增暖主要是最高气温的升高。除冬季外,其它季节的最高气温均较常年偏高1.8℃以上,其中春、夏两季偏高2.0℃以上;第二次增暖则主要是最低气温的升高,且以冬季的

增温幅度最大,较常年偏高0.9℃。由此可见,济南第一次增暖主要发生于春、夏、秋三季的白天,第二次增暖则主要发生于冬季的夜晚。青岛增温情形与济南有许多相似之处,但具有自己的特点,主要差异表现在三个方面:(1)增温幅度:济南以第一次增温最显著,而青岛则以第二次增暖最明显,比第一次偏高了0.4℃。(2)增温季节:第一次增温济南以夏季白天最显著,而青岛以秋季白天最突出。(3)增温时段:济南第二次增暖以夜间贡献大,而青岛白天与夜间贡献相当。

由表3还可以看出,第二次增暖期的日

较差明显变小,尤以济南更为突出,原因是最低气温升高明显高于最高气温的升高,即日夜增暖的不对称性。图2为济南1919年以来的年平均气温日较差年际变化曲线及线性趋势拟合。由图可见,近80余年来济南除30年代末至50年代初日较差增大外,其它时段均呈稳定的下降趋势,平均以 $-0.322^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的数率下降,即近84年来年平均日较差减小了约 2.7°C 。春、秋两季下降的最为明显,分别为 $-0.38^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $-0.39^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,冬、夏两季次之,分别为 $-0.25^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $-0.28^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。青岛日较差减少程度没有济南明显,年平均气温日较差的平均变化率为 $-0.095^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,即1900年以来年平均日较差减小了约 0.98°C ,秋季相对明显,为 $-0.148^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,春、夏、冬三季分别为 $-0.088^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $-0.06^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $-0.082^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

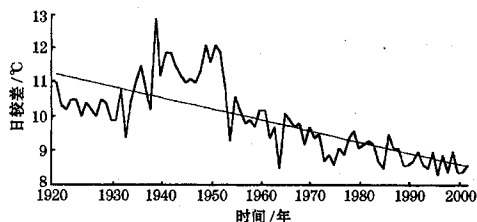


图2 济南日较差年际变化曲线及线性趋势拟合

5 结论

(1)济南与青岛最低气温和平均气温近百年虽都呈上升趋势,但前者的增温率明显高于后者;最高气温青岛呈上升趋势,而济南却呈下降趋势。

(2)济南、青岛的年平均气温、平均最低(高)气温(青岛年平均最低气温除外),近百年来大多经历了两次突然增温和一次突然降温,第一次增温多出现在30年代中后期,第二次出现在80年代中后期。30年代的增暖济南以夏季的白天最显著,青岛以秋季的白天最明显;80年代的增暖主要出现在冬季,济南主要发生于夜间,青岛白天、夜间均有发生。济南以第一次增温最显著,而青岛则以第二次增暖最明显。降温出现在40年代中期,以济南更为明显,主要发生在春、夏、秋三季的白天。

(3)由于日夜增暖的不对称性,导致第二次增暖期比第一次增暖期气温日较差明显变小,尤以济南春季减少的最为明显。

参考文献

- 1 Karl T R, et al. Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1993, 74(6):1007—1023.
- 2 翟盘茂,任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. *气象学报*, 1997, 55(4):418~428.
- 3 谢庄,曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化. *气象学报*, 1996, 54(4):501~507.
- 4 江志红等. 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. *应用气象学报*, 1999, 10(2):151~159.
- 5 徐家良. 近百年来上海两次增暖期的特征对比及其成因. *地理学报*, 2000, 55(4):501~506.
- 6 魏凤英,曹鸿兴. 中国北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究. *大气科学*, 1995, 19(2):140~148.
- 7 奚秀芬,郑世芳. 济南市新老站址气温观测资料对比分析. *山东气象*, 2003, 4:29~31.

Changes of Maximum and Minimum Temperature for Recent 100 Years in Shandong Province

Hu Guifang¹ Li Yun¹ Li Deping²

(1. Shandong Meteorological Center, Jinan 250031; 2. Qingdao Meteorological Observatory)

Abstract

The detailed analysis is carried out in terms of mean annual and seasonal maximum and minimum temperature series of Jinan (1919—2002) and Qingdao (1900—2002). The results indicate that the annual minimum and mean temperature have obviously increased, and the increasing rate of the former has exceeded that of the latter. Increasing trend of maximum temperature has occurred in Qingdao; while decreasing trend has happened in Jinan. There were two abrupt warming in Jinan and Qingdao, i. e. 1930s and 1980s. 1930s warming occurred in daytime, 1980s warming mainly happened in nighttime. Because of the asymmetric change of in maximum and minimum temperature, the diurnal temperature ranges become smaller in the second warming period than that of the first.

Key Words: maximum temperature minimum temperature climate warming