

郝立生,张婧,姚学祥. 河北省极值气温变化特征[J]. 气象, 2010, 36(8): 26-31.

河北省极值气温变化特征^{*1}

郝立生^{1,2} 张婧^{1,2} 姚学祥³

1 河北省气候中心, 石家庄 050021

2 河北省气象与生态环境实验室, 石家庄 050021

3 河北省气象局, 石家庄 050021

提 要: 利用河北省 60 个气象观测站资料, 对全省近 50 年极值气温变化特征进行了分析, 结果表明: 极端最高气温线性变化趋势不明显, 但年代际变化特征突出, 而极端最低气温线性升高趋势明显。低于 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的极端寒冷日呈线性减少趋势, 而高于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的极端炎热日线性变化趋势不明显, 但年代际变化特征突出, 20 世纪 90 年代后期以来呈多发的特点。最低气温出现偏冷段 ($<-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的天数呈线性减少趋势, 出现在偏暖段 ($20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的天数呈线性增加趋势, 在其他界限气温的天数变化趋势不明显。最高气温出现在偏冷段 ($-30\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的天数呈明显减少趋势, 在其他界限气温的天数变化趋势不明显。河北省无霜期、无冰冻期均呈明显延长趋势, 平均每 10 年分别延长 4.5 天、4.6 天。年平均最高气温、最低气温和平均气温都呈显著的线性升高趋势, 平均每 10 年分别升高 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 低温升温速率明显大于高温升温速率。日较差呈逐年减小趋势, 平均每 10 年减小 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。空间上最低气温表现为全省明显升高, 而最高气温升温主要集中在中北部和东部沿海地区, 南部升温不明显, 日较差大部分地区为逐渐减小趋势。

关键词: 极值气温, 变化特征, 无霜期, 日较差

Characteristics of Extreme Temperature Change in Hebei Province

HAO Lisheng^{1,2} ZHANG Jing^{1,2} YAO Xuexiang³

1 Hebei Climate Center, Shijiazhuang 050021

2 Hebei Province Meteorological and Ecological Environment Laboratory, Shijiazhuang 050021

3 Hebei Province Meteorological Bureau, Shijiazhuang 050021

Abstract: This paper has investigated the characteristics of extreme temperature change in Hebei Province for the period of 1961–2008 by using the daily temperature data from 60 stations. The results show that the extreme maximum temperature linear trend is not obvious, but with a noticeable interdecadal variation. The extreme minimum temperature has a significantly linear increased trend. The extreme cold days below $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ are in a linearly decreased trend, and the extreme hot days above $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ not in the linear change trend, but with the characteristics of interdecadal variation. The days for low temperature below $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ show a decreased trend, and days occurring in $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ have a significant increased trend. Apparently, the days for high temperature in $-30\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ have a significantly reduced trend. In Hebei Province, frost-free period and non-frozen period show a significant extended trend, extending 4.5 days and 4.6 days averaged for every ten years respectively. The annual averaged high, low and mean temperature are all in a significant linear increased trend, rising $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$ averaged for every ten years respectively. The increasing rate of low temperature is significantly greater than that of high temperature. The low temperature has a significant increased trend in whole Hebei Province area, while the high temperature increased mainly in the north-central and eastern coastal parts, not obvious in the southern regions.

Key words: extreme temperature, change characteristics, frost-free period, daily range

* 河北省科技支撑项目(09276903D)和重点基础研究项目(09967116D)资助

2009 年 5 月 19 日收稿; 2009 年 11 月 18 日收修定稿

第一作者: 郝立生, 主要从事季风和气候变化研究. Email: hls54515@163.com

引 言

近百年来,全球正在发生以变暖为主要特征的气候变化^[1],中国气温也发生了明显改变^[2-5],不同地区气温变化表现出不同的特征^[6-8]。观测站资料和均一性检验订正的气温资料分析都表明,中国 1951—2004 年平均地表气温变暖幅度比全球或半球同期平均增温速率高得多,全国大范围增暖主要发生在近 20 余年^[9-10],这是与城市化的发展有很大关系^[11-12]。从区域上看,中国现代增暖最明显的地区包括东北、华北、西北和青藏高原北部,最显著的季节在冬季和春季。

在全球和全国气候变暖背景下,全国近 50 年日平均温度高于 30 ℃ 的炎热日数近 50 年来基本上没有什么变化^[13]。河北省区域的极值气温会有什么样的变化呢? 本文通过河北省气象观测站的极端气温、极端寒冷(炎热)日数、界限气温日数、无霜(冰冻)期、平均最高(低)气温和日较差变化和空间分布分析,以便对河北区域的极值气温变化规律和气候变暖的内在特征有更进一步的认识。

1 资料和方法

本文使用河北省气象站 1961—2008 年逐日气温观测资料来作分析,目的之一是认识河北省实际观测到的气温变化趋势,另一方面是定性地了解局地环境改变和城市发展对观测气温的影响,为以后资料均一性订正提供参考依据。在实际的气温资料中存在缺测、误录入等情况,由于台站环境改变如建筑物、树木阻挡、城市化热岛效应等会造成观测资料的非均一性问题。分析中对资料进行了一定的质量控制,没有作均一性处理。

河北省有 142 个地面气象观测站,这为研究气温变化提供了很好的基础资料。由于各站建站时间不一致,为了保证可比性,剔除资料间断、缺测和中断的站,选择 1961 年 1 月 1 日至 2008 年 12 月 31 日之间资料完整连续的站。这样,对年极端最高气温、极端最低气温满足条件的有 82 站,对日最高气温、最低气温等满足条件的有 60 站。

全省平均是指 60 站的平均,全省合计指 60 站的合计。全省变化趋势空间分布用 60 站变化趋势的空间分布代表。气候趋势分析采用一元线性回归

方法,即

$$y_i = bx_i + b_0 \quad (1)$$

式中 b 是气候变化倾向率(回归系数), $b > 0$ 表示呈上升趋势, $b < 0$ 时表示呈下降趋势。显著性检验采用 t 检验法,即

$$|t| = \left| \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} \right| \quad (2)$$

式中 r 为式(1)中气象要素序列 y 与时间 x 的相关系数。取信度 $\alpha = 0.05$,查表得到 t_α ,当 $|t| > t_\alpha$ 时,则线性变化趋势是显著的。

2 时间变化特征

2.1 极端气温

极端最高(低)气温是指气象站记录的 1961—2008 年 48 年中所有日最高(低)气温中的最高(低)值,这样每个站只有一个极端最高值和一个极端最低值。如按年代统计(见图 1),极端最低气温出现在 20 世纪 60 年代有 27 站、70 年代 29 站、80 年代 16 站、90 年代 9 站、2001—2008 年 1 个站。极端最高气温出现在 20 世纪 60 年代 26 站、70 年代 4 站、80 年代 1 站、90 年代 14 站、2001—2008 年 37 站。如按年份统计发现(图略),60 年代至 70 年代前期,出现极端最高、极端最低气温的站数都比较多,70 年代后期至 80 年代,出现极端最低气温的站也比较多,但很少有出现极端最高气温的站,90 年代出现极端最高、极端最低的站都很少,2001—2008 年出现极端最高气温的站数突然大量增加。

总的来看,出现极端最高气温的站数在 20 世纪 60 年代很多,70 年代突然大量减少,80 年代最少,90 年代明显增加,2001—2008 年突然猛增。出现极端最低气温的站数在 60 年代、70 年代很多,80 年代开始明显减少,90 年代再次减少,2001—2008 年最少。这表明 20 世纪 60 年代出现严寒和酷暑的站多,80 年代是气候变化的过渡年代,90 年代后期以来极端高温天数大量增多。

以上分析的是各站多年极端最高(低)气温情况。为了对极端最高(低)气温逐年变化有更好的认识,对全省 60 站逐年日最高(最低)气温进行了统计,并将每年中的极端最高(低)气温定义为极端最高(低)气温指数。图 2 是全省平均的指数变化曲线,可以看到,年极端最高气温指数线性变化趋势不明显,没有通过显著性检验。极端最低气温指数线

性变化趋势通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,表明线性升高趋势显著,平均每年升高 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。尽管年极端最高气温指数虽然线性变化趋势不明显,但年代际变化特征非常突出,1961—1972 年偏高,1973—1996 年偏低,1998—2008 年又明显偏高。

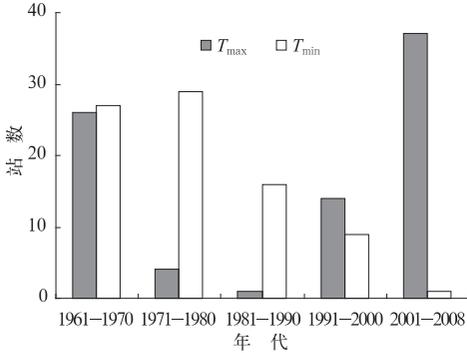


图 1 极端最高(低)气温站数年代分布
Fig. 1 The decadal distribution of the stations with extreme high (T_{\max}) and low (T_{\min}) temperatures

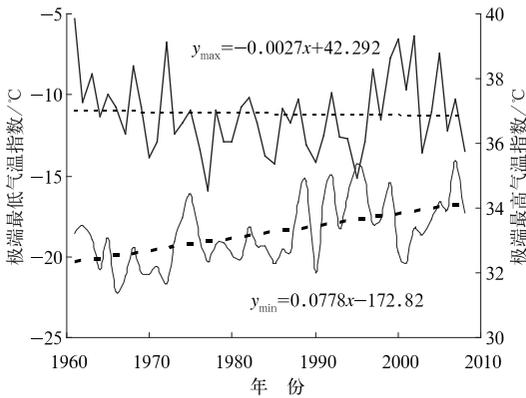


图 2 年极端最高(低)气温指数变化
(细线是低温,粗线是高温,虚线是线性趋势)
Fig. 2 The interannual changes of annual extreme high (low) temperature indices
(thin for low, thick for high, dashed for linear trend)

2.2 极端寒冷(炎热)日数变化

极端寒冷日是指当天最低气温 $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端炎热日是指当天最高气温 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因为极端寒冷(炎热)日出现很少,统计时没有作全省平均,而是分析 60 站的合计情况。河北省 1961—2008 年 $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的极端寒冷日平均每年出现 14.8 天, $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的极端炎热日平均每年出现也是 14.8 天。

图 3 是极端寒冷(炎热)日数多年变化趋势。极端寒冷日数变化线性趋势通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,表明线性减少趋势显著,平均每 10 年减少 3.4

天。而极端炎热日数变化线性趋势没有通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,表明线性趋势不明显,但年代际变化特征非常突出,在 20 世纪 60 年代最多,70 年代突然减少,90 年代后期又突然增多,未来仍然呈现多发的特征。

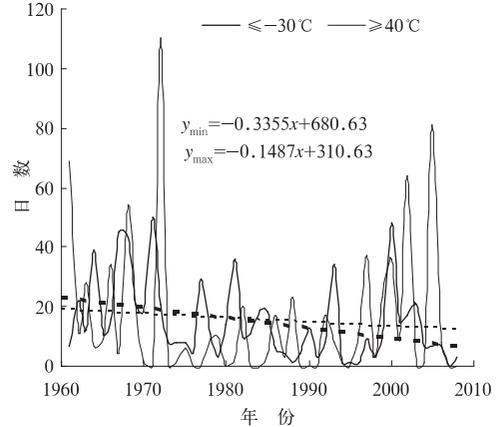


图 3 极端寒冷(炎热)日数变化
(细线是炎热日,粗线是寒冷日,
黑线是平均值,虚线是线性趋势)

Fig. 3 The interannual changes of extreme cold (hot) days

(thin for hot days, thick for cold days, black line for the average, dashed line for the linear trend)

2.3 界限气温日数变化

界限气温日数是指气温出现在 $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-30\sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数。这样划分是为了分析气温变化的内在特征,进而认识气候变暖到底在哪个气温区间发生了改变。对于低于 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的极端寒冷日和高于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的极端炎热日在前面已进行了分析,下面重点分析 $-30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的界限气温日数变化。

统计最低气温和最高气温在不同界限温度的日数(表略)可见。对于最低气温,最明显的特征是,出现在 $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-30\sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区段的天数都呈明显减少趋势,通过了显著性检验(见表 1),而出现在 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数呈明显增加趋势,通过了显著性检验(见表 1),其他界限气温出现天数变化趋势不明显。最高气温出现在 $-30\sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 期间的天数呈明显减少趋势,通过了显著性检验(见表 1),其他界限气温出现天数变化趋势不明显。值得注意的是,高温出现在 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间的日数虽然线性趋势不明显,

但年代际变化特征突出,20 世纪 90 年代后期以来出现天数明显增多。

因此,近 50 年河北气候变暖可能与最低气温出现在偏冷段($-40\sim-10\text{ }^{\circ}\text{C}$)天数减少、最高气温在

偏冷段($-30\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)天数减少和最低气温出现在偏暖段($20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)天数增多有关,20 世纪 90 年代以来的增暖还与最高气温出现在 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 段的天数增多有关。

表 1 出现在不同界限气温的日数线性变化趋势显著性检验(相关系数)

Table 1 The significance test of linear change trend for days appearing in different temperature(correlation coefficient)

	≤ -30	$-30 < t \leq -20$	$-20 < t \leq -10$	$-10 < t \leq 0$	$0 < t < 10$	$10 \leq t < 20$	$20 \leq t < 30$	$30 \leq t < 40$	$t \geq 0$
t_l	-0.35*	-0.57*	-0.77*	0.22	0.08	0.22	0.53*		
t_h		-0.35*	-0.43*	-0.33*	0.05	0.03	0.09	0.17	-0.09

注:带 * 号的通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验; t_l 为最低气温, t_h 为最高气温

2.4 无霜(冰冻)期变化

如果将最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 称为霜冻日, $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为无霜冻日,终霜日和初霜日之间的天数为无霜期。把最高气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 定义为冰冻日, $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为无冰冻日,终冰冻日和初冰冻日之间的天数为无冰冻期。图 4 是河北省 60 站平均的无霜期、无冰冻期变化趋势。河北省平均无霜期 199 天,无冰冻期 290 天。无霜期、无冰冻期均呈逐年延长趋势,都通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。无霜期平均每 10 年延长 4.5 天,无冰冻期平均每 10 年延长 4.6 天。

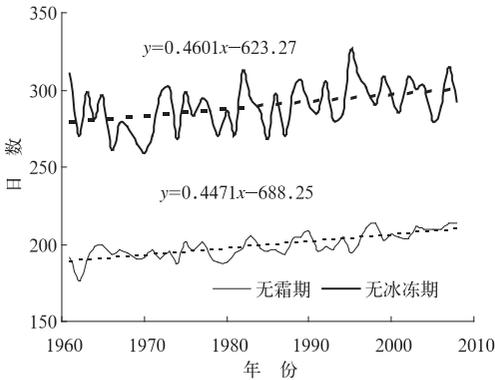


图 4 河北省无霜(冰冻)期变化
(细线是无霜期,粗线是无冰冻期,虚线是线性趋势)
Fig. 4 The interannual changes of frost (frozen)-free period in Hebei Province
(Thin is frost-free period, thick is non-freezing period, dashed is the linear trend)

2.5 平均最高(低)气温和日较差变化

图 5 是河北省 1961—2008 年的年平均最高气温、最低气温和平均气温 60 站平均值的变化情况,可以看到,三种气温都明显存在 3~4 年的波动周期。三种气温变化线性趋势都通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,表明三者线性变化趋势显著。近 48 年,

年平均气温平均每 10 年升高 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$,最高气温每 10 年升高 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低气温每 10 年升高 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$,河北地区低温升温速率明显大于高温升温速率。

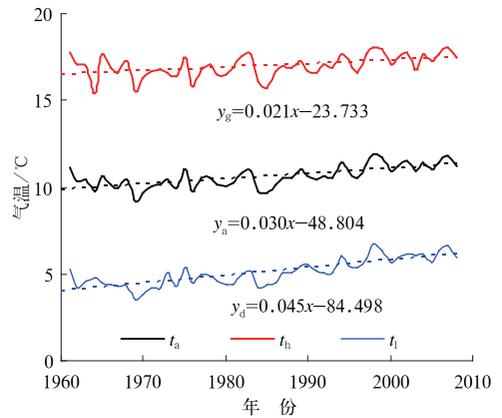


图 5 1961—2008 年最高(上)、最低(下)、平均(中)气温变化(虚线是线性趋势)
Fig. 5 The interannual changes of annual maximum (top), minimum (bottom), average (middle) temperatures from 1961 to 2008, dashed line is the linear trend

每天最高气温与最低气温的差值称为日较差,年平均最高气温与平均最低气温的差称为年平均日较差。图 6 是河北省 1961—2008 年 60 站平均的日较差变化情况,很明显,年平均日较差呈现逐年减小趋势,线性趋势通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,表明线性减小趋势显著,平均每 10 年减小 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3 空间分布特征

3.1 最高、最低气温变化趋势分布

图 7 是河北省 60 站 1961—2008 年年平均最高、最低气温变化趋势空间分析,图上等值线表示升温(降温)速率,单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 。阴影区域通过了 $\alpha=0.05$

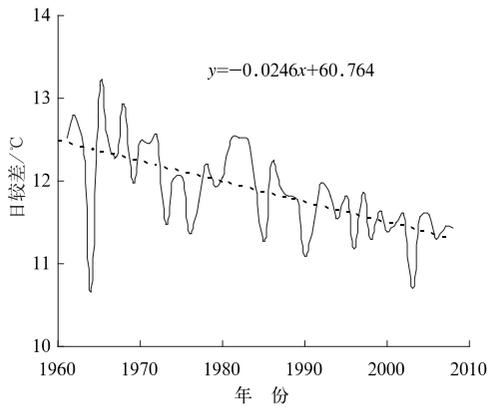


图 6 1961—2008 年平均日较差变化
Fig. 6 The yearly averaged temperature diurnal range changes during the 1961—2008

的显著性检验,颜色越深可信度越高。在年平均最低气温变化趋势分布图上(图 7a),承德市周围地区、保定的曲阳周围地区、邢台的临城是三个低值区,承德市、曲阳为降温趋势,临城为弱升温趋势,但只有曲阳局部通过了显著性检验。其他地区都为升温趋势,且都通过了显著性检验。局部升温最显著的是张家口的蔚县、廊坊的霸州、邢台市,升温率在 0.07 °C/年以上,另外,唐山的遵化和唐海、秦皇岛的抚宁、保定市、石家庄市、石家庄的辛集的局部升温也非常明显,升温速率在 0.06 °C/年以上。可以看到,最低气温的局部升温特征表现非常突出,集中在城市化发展快和工业、矿产发达的城镇,这可能与

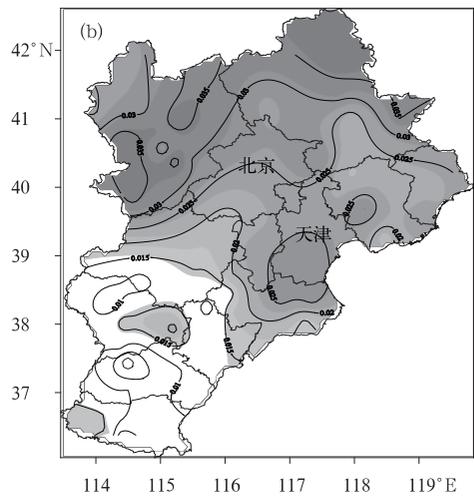
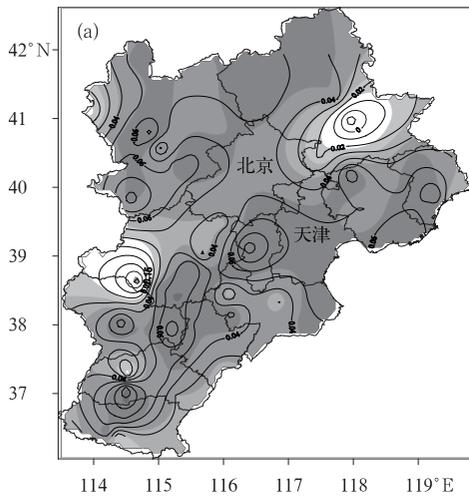


图 7 河北省年平均最低(a)、最高(b)气温变化趋势空间分布
(阴影区通过了显著性检验,单位: °C/年)

Fig. 7 The spatial distribution of change trends for yearly averaged minimum (a) and maximum (b) temperatures in Hebei Province (shaded through the significant test, unit: °C/a)

这些城市冬季热岛效应非常明显造成气温升高有关。在年平均最高气温变化趋势分布图上(图 7b),只有中北部和东部沿海升温通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,南部除石家庄辛集和邯郸武安外的其他地区升温都没有通过检验。升温率最大的是北部的张家口地区和承德的北部地区。最高气温的局部升温特征不像最低气温表现那样明显,从这里可以看出,观测环境对最低气温的影响比对高温要更显著一些。

3.2 日较差变化趋势分布

图 8 是河北省 60 站 1961—2008 年年平均日较差变化趋势分布,等值线是平均每年的减小速率,单位 °C/年,阴影区域通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,颜色越深可信度越高。从图上可以看到,全省日较差大部分表现为逐渐减小趋势,只有承德大部分地

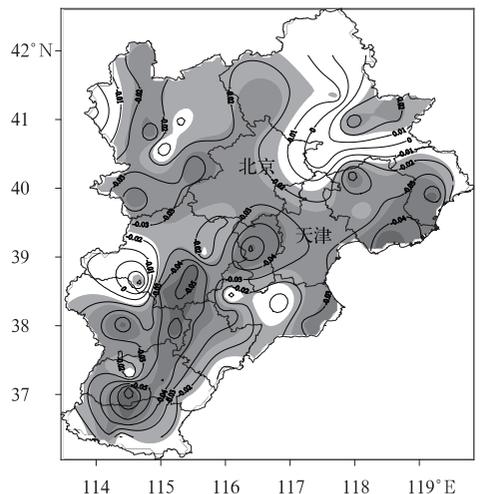


图 8 河北省日较差变化趋势分布
(阴影区通过了显著性检验,单位: °C/年)

Fig. 8 The spatial distribution of temperature diurnal range change trends in Hebei Province (shaded through the significant test, unit: °C/a)

区和保定的曲阳周围地区没有通过显著性检验,承德市至平泉、曲阳局部日较差增加趋势通过了显著性检验。日较差减小非常明显的是廊坊的霸州、邢台市,减小速率在 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 以上。此外,张家口市、张家口的蔚县、唐山遵化和唐海、秦皇岛的抚宁、保定市、石家庄市、石家庄的辛集也是局部中心,日较差减小速率在 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 以上。日较差减小的局部中心特点表现也非常明显,可能与这些城镇发展速度、工业规模和矿产发达有关,值得进一步研究。这从侧面反映出,城镇化、工业化发展快的地方对观测气温可能有明显影响。

4 小 结

在全球气候变暖背景下,河北省极值气温发生了明显变化。全省极端最高气温在 20 世纪 60 年代站数很多,70 年代突然大量减少,80 年代最少,90 年代明显增加,2001—2008 年突然猛增。极端最低气温在 60 年代、70 年代站数很多,80 年代开始明显减少,90 年代再次减少,2001—2008 年最少。这表明 60 年代出现严寒和酷暑的站多,80 年代是气候变化的过渡年代,90 年代后期以来出现极端最高气温的站数大量增加。1961—2008 年逐年极端最高气温指数线性变化趋势不明显,但年代际变化特征非常突出,1998—2008 年明显偏高。而极端最低气温指数呈明显线性升高趋势,平均每年升高 $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

极端寒冷日数(最低气温 $\leq -30\text{ }^{\circ}\text{C}$)呈明显线性减少趋势。而极端炎热日数(最高气温 $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)线性变化趋势不明显,但年代际变化特征非常突出,在 20 世纪 60 年代最多,70 年代突然减少,90 年代后期又突然增多,未来仍然呈现多发的趋势。

最低气温出现在偏冷段($\leq -30\sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$)的天数呈明显减少趋势,而出现在偏暖段($20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)的天数呈明显增加趋势,其他界限气温的天数变化趋势不明显。最高气温出现偏冷段($-30\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)的天数呈明显减少趋势,其他界限气温的天数变化趋势不明显。最高气温出现在 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间的日数变化有非常明显的年代际特征,20 世纪 90 年代中期以来出现天数明显增多。所以,近 50 年河北气候变暖可能与最低气温出现在偏冷段($-40\sim -10\text{ }^{\circ}\text{C}$)的天数减少、最高气温在偏冷段($-30\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)的天数减少和最低气温出现在偏暖段($20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$)的天数增加有关,20 世纪 90 年代以来的增暖可能主要与最高气温出现在 $30\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 段的天数增多有关。

河北省平均无霜期 199 天,无冰冻期 290 天。

无霜期、无冰冻期均呈显著延长趋势,平均每 10 年分别延长 4.5 天、4.6 天。年平均最高气温、最低气温和平均气温都呈显著的线性升高趋势,平均每 10 年分别升高 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,低温升温速率明显大于高温升温速率。年平均日较差呈现逐年减小趋势,平均每 10 年减小 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

年平均最高气温、最低气温和日较差变化趋势在空间分布上表现为较好的一致性,但也有些差别。如最低气温表现为全省升高趋势,升温最显著的地点表现为突出的局部特征,集中在城市化发展快和工业、矿产发达的城镇,这可能与这些城市冬季热岛效应非常明显造成气温偏高有关。最高气温升温集中在中北部和东部沿海地区,南部升温不明显。最高气温变化的局部特征不像最低气温那样明显,这可能说明观测环境对最低低温的影响要更显著一些。全省日较差大部分表现为逐渐减小趋势。

致谢:作者真挚地感谢中国气象局国家气象信息中心气象资料室提供的资料。

参考文献

- [1] IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis, K B Averyt, M Tignor and H L Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 237-316p.
- [2] 唐国利,林学椿. 1921—1990 年我国气温序列及变化趋势[J]. 气象,1992,18(7):3-6.
- [3] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象,1994,12(1):19-26.
- [4] 翟盘茂,任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报,1997,55(4):418-429.
- [5] 高霞,王宏,于成文,等. 近 45 年来河北省极端降水事件的变化研究[J]. 气象,2009,35(7):10-15.
- [6] 姚愚,李晓鹏,曰丽萍,等. 近 44 年云南年平均气温的时空变化特征[J]. 气象,2006,32(10):81-87.
- [7] 向辽元,陈星. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. 气象,2006,32(6):44-47.
- [8] 史印山,谷永利,林艳. 京津冀高温天气的时空分布及环流特征分析[J]. 气象,2009,35(6):63-69.
- [9] 任国玉,徐铭志,初子莹,等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):717-727.
- [10] 任国玉,初子莹,周雅清. 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.
- [11] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响[J]. 气象,1991,17(4):14-17.
- [12] 胡王志,梁延刚,雷惠雯,等. 香港城市与郊区气候差异分析[J]. 气象,2009,35(2):71-79.
- [13] 于淑秋. 近 50 年我国日平均气温的气候变化[J]. 应用气象学报,2005,16(6):787-793.