

谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原近 45 年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45.

华北平原近 45 年气候变化特征分析^{* 1}

谭方颖 王建林 宋迎波

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 为研究华北平原气候时空变化特征, 选用华北平原 53 站 1961—2005 年逐日气象资料, 采用趋势分析法分析华北平原主要气候要素时空演变特征, 利用 M-K 突变检验法确定气候要素突变年。结果表明: 年平均气温升高趋势明显, 尤其是 20 世纪 90 年代以后; 降水量总体变化趋势不明显, 20 世纪 80 年代中后期开始, 由多雨期转为少雨期; 近 45 年来华北平原的气候经历了一个“冷湿-暖干”的变化过程; 年日照时数减少趋势明显。华北平原增温主要在 1—4 月; 降水量在多雨的 4 月、7、8 月减少趋势明显; 光照变差的主要原因是夏季和冬春季日照时数的减少。空间上, 南北之间温差呈减小趋势, 而降水量和日照时数之差则相反。气温升高使得积温增加, 热量资源更加丰富。

关键词: 气候要素, 变化特征, 华北平原

Characteristics of Climate Change in the North China Plain for Recent 45 Years

TAN Fangying WANG Jianlin SONG Yingbo

National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: A statistical analysis of the temporal and spatial changes of mainly climatic elements over the North China Plain was conducted, based on the daily climatic data of 53 stations from 1961 to 2005 by using the trend analysis, and the jumping point of temperature was fixed by using the Mann-Kendall test method. It was found that the climate was warming up in the last 45 years, in particular in the 1990s. For annual precipitation, no significant trend was found on the basis of long-term change. Precipitation gradually decreased in the middle and later period of the 1980s. Thus, it was believed that climatic variation in the North China Plain over the 45 years experienced a course of humid-cold to dry-warm. And the sunshine duration was decreasing significantly. The climate change feature of each month was characterized by monthly linear inclination rates which showed that from January to April, the temperature increased most remarkably, the precipitation decreased most obviously in summer and April, and the sunshine duration decreased rapidly in summer, winter and spring. The results also showed that the temperature difference between the south part and the north part was getting smaller, but the precipitation and sunshine-duration were opposite. The heat resources were more abundant for the whole area as the result of the climate warming up.

Key words: climatic elements, characteristics of change, the North China Plain

引 言

IPCC(2007) 报告指出^[1-2], 全球气候呈现以变暖为主要特征的显著变化, 近 50 年平均线性增暖速

率(0.13 °C/10 a)几乎是近 100 年来的 2 倍, 北半球高于南半球, 中国增温主要发生在 20 世纪 80 年代中期后, 北方增温比其他地区显著。20 世纪 90 年代以来, 气候变化及其影响已成为世界科学界的重要研究课题, 同时区域性气候也已经引起人们的普

* 中国气象局项目“粮食安全业务保障系统建设”资助

2008 年 5 月 15 日收稿; 2009 年 9 月 5 日收修定稿

第一作者: 谭方颖, 主要从事农业气象学及气候变化研究. Email: tanfangying0803@163.com

遍关注^[3-6,17-18]。华北平原地处北半球中纬度,位于大陆性季风气候区,气候脆弱带,又是我国重要的农业生产基地。目前,对于华北平原气候变化方面已有不少研究,林学椿等^[7]指出,1951—1989 年我国年平均气温以 0.04 °C/10 a 的速率上升,东北和华北地区增温最快,除湖北、四川部分地区外,全国降水都呈减少趋势;丁一汇等^[8]对中国近百年来温度变化的研究结果进行了综述,得到我国增暖主要在东北、华北和西北西部地区,并且,增温主要在冬季的结论;王遵娅等^[9]揭示了近 50 年来中国气候变化的一些新特征:全国平均气温在 20 世纪 80 年代以后上升更为明显,年降水量波动略有减少,但 90 年代以后夏季降水增加明显,尤其是长江以南地区,而华北、东北地区降水显著减少。但以往研究主要是分析气候年代、年际变化特征,而对各月气候要素长期变化特征和演变趋势研究较少。由于华北平原处于暖温带半湿润气候区,光热资源相对丰富,水资源不足是限制该地区农业和经济发展的最主要因素,因此,目前对华北平原气候变化的研究主要集中在降水上^[10-13],对光热资源变化特征的详细研究尚为少见。为此,本文将在对华北平原近 45 年气候年际变化研究的同时,进一步对各月气候要素长期变化趋势以及由气候变化所引发的热量资源变化特征进行研究,以便全面认识当地气候资源,并为农业部门在气候变化背景下合理安排农业生产,以及各级政府合理的利用当地气候资源提供参考和科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

文中所用资料为华北平原(北京、天津、河北、河南、山东)53 个气象站 1961—2005 年逐日 4 次观测平均气温、逐日降水量和日照时数。

1.2 主要研究方法

本文确定气候要素突变年采用 Mann-Kendall 法^[14]。具体方法如下:

对于 x_1, x_2, \dots, x_n 的时间序列变量, n 为时间序列的长度,构造一个秩序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k = 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中

$$r_i = \begin{cases} +1 & \text{当 } x_i > x_j \\ 0 & \text{当 } x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, i)$$

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{Var(s_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中 $UF_1=0, E(s_k), Var(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差,在 x_1, x_2, \dots, x_n 相互独立,且有相同连续分布时,可由下式算出:

$$E(s_k) = \frac{n(n+1)}{4} \quad (3)$$

$$Var(s_k) = \frac{n(n-1)(2n-5)}{72} \quad (4)$$

UF_i 为标准正态分布,它是按时间序列 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 计算出的统计量序列,给定显著性水平 α ,若 $|UF_i| > U_\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化。按时间序列 x 逆序 $x_n, x_{n-1}, \dots, x_3, x_2, x_1$,再重复上述过程,同时使 $UB_k = -UF_k (k=n, n-1, \dots, 1)$, $UB_1=0$ 。分析绘出的 UF_k, UB_k 曲线,当它们超过临界线时,表明上升或下降趋势显著。如果 UF_k, UB_k 两条曲线出现交点,且交点在临界线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

2 结果与分析

2.1 年气候要素变化特征

2.1.1 气温

图 1 为 1961—2005 年华北平原年平均气温时

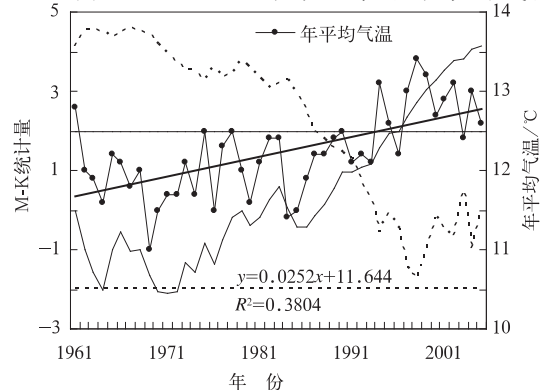


图 1 华北平原年平均气温时间序列及 M-K 突变检验实(虚)曲线为 $UF(UB)$ 线,粗线为线性拟合趋势线

Fig. 1 The time series of annual mean temperature and Mann-Kendall catastrophe detection curve of the North China Plain (the solid line, the dotted line and the thick line present UF line, UB line and linear trend line respectively)

间分布序列及 M-K 突变检验。图 1 显示,华北平原近 45 年年平均气温为 $12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,线性倾向率为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,变暖趋势相当明显。1961—1987 年华北平原年平均气温偏低,阶段平均值为 $11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,比多年平均值低 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;1988 年开始,气温持续升高($UF > 0$),并于 1996 年超过了显著性水平 0.05 临界线,1997 年气温升高到 $13.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,此后 8 年一直维持在此高位,1998 年最高为 $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在显著性水平 0.05 的临界线之间, UF 、 UB 曲线相交,交点在 1992 年,是华北平原年平均气温突变的开始。年平均气温突变后与突变前相差 $0.79\text{ }^{\circ}\text{C}$,此增幅若以全球近 50 年的增暖速率增长需 60 年^[1-2]。

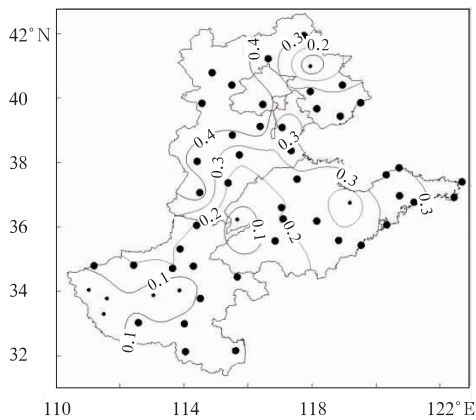


图 2 华北平原年平均气温线性倾向率空间分布(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

大(小)圆点代表(未)通过 0.05 显著性水平检验

Fig. 2 The spatial distribution of linear tendency rate of annual mean temperature of the North China Plain (unit: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)

(the big (small) dots present the stations (not) passing the significant level at 0.05)

华北平原年平均气温在地域上大致呈南高北低的纬向分布特征。图 2 显示,各地年平均气温线性倾向率在 $-0.06\sim 0.49\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 之间,96.2% 的站点线性倾向率为正值,其中,88.3% 通过 0.05 水平的显著性检验。年平均气温线性倾向率随地域变化的规律是东北部 $>$ 中部 $>$ 西南部。可见,45 年来,华北平原南北温差表现为减小趋势。

2.1.2 降水量

由图 3 可见,45 年来华北平原年降水量总体变化趋势不显著(未通过 0.1 显著性水平检验)。20 世纪 60 年代降水量较多,尤其是 1964 年,年降水量高出多年平均值 394.5 mm ,是严重的洪涝年;20 世纪 70 年代至 80 年代中后期,年降水量略有减少,但仍为降水量偏多时期,此阶段年降水量距平平均值为 3.7 mm ;80 年代中后期至 90 年代末,年降水量平均值比多年平均值少 32.2 mm ,为 45 年中降水量最少的阶段;2000—2005 年年平均降水量又增加到多年平均水平。以上分析表明,20 世纪 80 年代中后期开始,年降水量为负距平的年份增多,华北平原已由多雨期转为少雨期。

综合年平均气温和年降水量的变化来看,可以认为近 45 年来,华北平原气候经历了一个以 20 世纪 80 年代中后期为分界的“冷湿-暖干”的变化过程,尤其是进入 90 年代后,“暖干”特征尤其突出,与我国北方大部分地区的气候变化特征相同^[15]。值得注意的是,21 世纪初,年降水量有了从“干”到“湿”的变化趋势,这是否会对降水量一直缺乏的华北平原在农业生产、环境等方面产生很大影响,还有待于进一步研究。

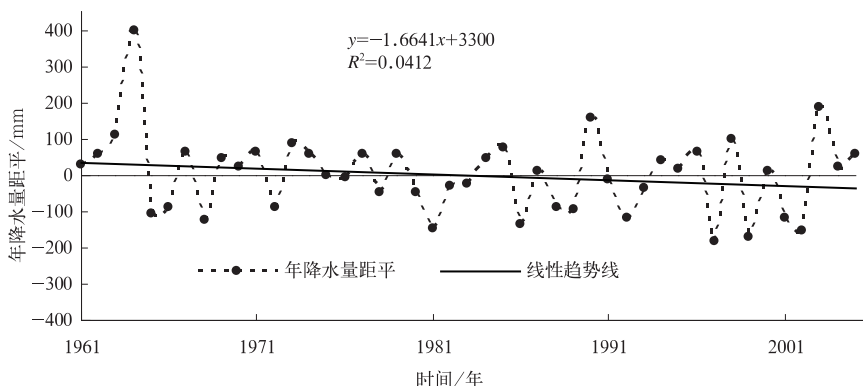


图 3 华北平原年降水量距平时间序列及线性变化趋势

Fig. 3 The time series of anomaly of annual precipitation and the linear trend of annual precipitation of the North China Plain

华北平原降水量地域上大致呈南多北少的纬向分布特征,东部略多于西部。图 4 显示,华北平原 83.0% 的站点年降水量线性倾向率为负值,即大部分地区降水量表现为减少趋势,山东半岛减少趋势较其他地区明显。年降水量表现为增加趋势的站点主要分布在华北平原东南部,这使得华北平原年降水量差异在东西间有缓和、在南北间有增大的趋势。

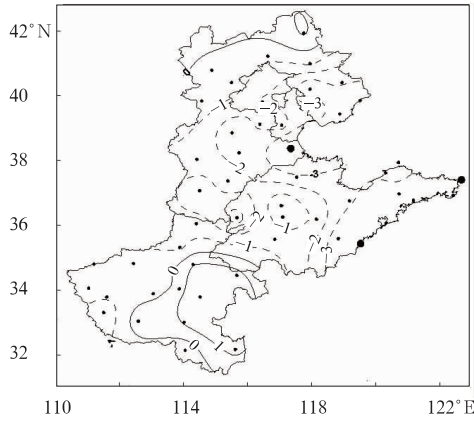


图 4 华北平原年降水量线性倾向率空间分布(单位:mm/a)
* 虚线代表线性倾向率为负值

Fig. 4 The spatial distribution of linear tendency rate of annual precipitation of the North China Plain (unit: mm/a) (the dotted lines present negative linear tendency rate)

2.1.3 日照时数

华北平原年日照时数的多年平均值为 2459.2 h,由图 5 可知,近 45 年来,年日照时数线性倾向率为 -79.8 h/10 a,减少趋势十分明显,1961—1968 年光照资源充足,1968 年后日照时数开始减少,且减少趋势十分明显。地域上,年日照时数呈明显的纬向分布特征,北部多于南部,南北相差 -1063.0 h,差异十分显著。45 年间,52 个站点年日照时数

都呈减少趋势,河北南部、山东西部以及除西部外的河南大部分地区日照时数减少最明显,减少幅度都大于区域平均值(图略),可见,华北平原年日照时数南北差异呈增大趋势。

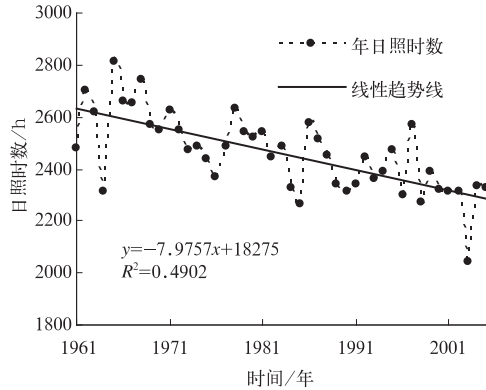


图 5 华北平原年日照时数距平时间序列及线性变化趋势

Fig. 5 The time series of anomaly of annual sunshine duration and the linear trend of the North China Plain

2.2 月气候要素变化特征

2.2.1 温度

华北平原逐月平均气温呈单峰型分布,峰值出现在 7 月(25.5 °C),1 月(-2.7 °C)、12 月(-0.7 °C)气温最低,年较差较大。图 6a 显示:1—4 月、9 月和 12 月月平均气温升高趋势明显,其他月份气温升高趋势不显著,8 月月平均气温表现为略微下降的趋势,但未通过 0.1 显著性水平检验。可见,华北平原升温主要体现在月平均气温较低的冬春季,这使得气温年较差表现为减小的趋势。

2.2.2 降水量

华北平原各月降水量分配极不均匀,全年 59.2% 的降水都集中在 6,7,8 月。45 年来各月降水量线性

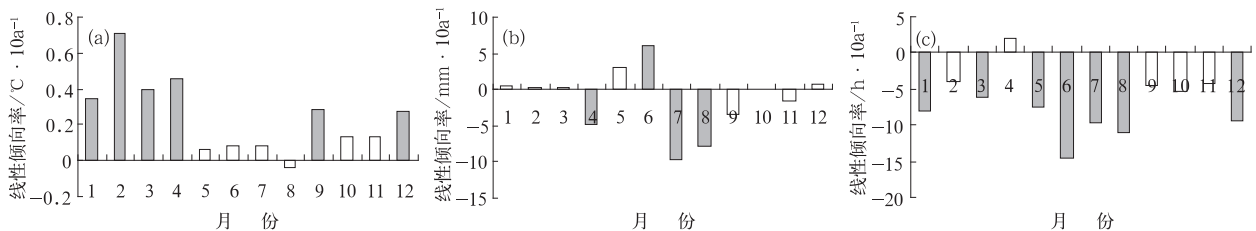


图 6 华北平原月平均气温(a, °C/10 a),月降水量(b, mm/10 a)及月日照时数(c, h/10 a)线性倾向率
斜线表示通过 0.1 显著性水平检验

Fig. 6 The linear tendency rates of the monthly average temperature (a, unit: °C/10 a), the monthly rainfall (b, unit: mm/10 a) and the monthly sunshine duration of the North China Plain (c, unit: h/10 a) (oblique lines present passing the significant level at 0.1)

倾向率差异明显(图 6b),月降水量线性倾向率为正值的月份有 1—3、5、6、12 月,主要集中在少雨的冬春季,但只有 6 月通过了 0.1 水平的显著性检验;4 月、7—11 月线性倾向率为负值,其中,4 月和降水量最多的 7 月和 8 月减少趋势明显。这种变化特点使得华北平原年内降水量分配趋于平均。

2.2.3 日照时数

图 7 显示,华北平原日照时数年内分布呈双峰型,峰值出现在 5 月和 8 月,5 月大于 8 月,达到 253.5 h,7 月受华北雨季影响,云量较多,日照时数明显减少,日照时数最小值出现在 12 月,为 167.0 h。45 年来各月日照时数线性倾向率显示(图 6c):5—8 月、12 月、1 月和 3 月减少趋势十分明显,其它月份无明显减少趋势,4 月日照时数线性倾向率为正值,但未通过显著性检验。可见,夏季和冬春季日照时数减少明显是华北平原光照变差的主要原因。

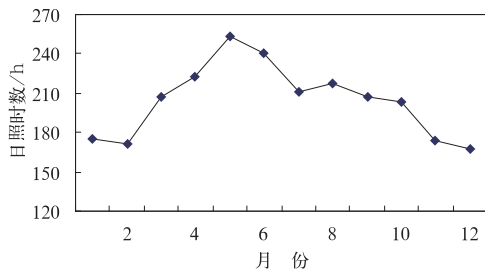


图 7 华北平原各月 1961—2005 年累年平均日照时数(h)

Fig. 7 The monthly sunshine duration (h) of the North China Plain from 1961 to 2005

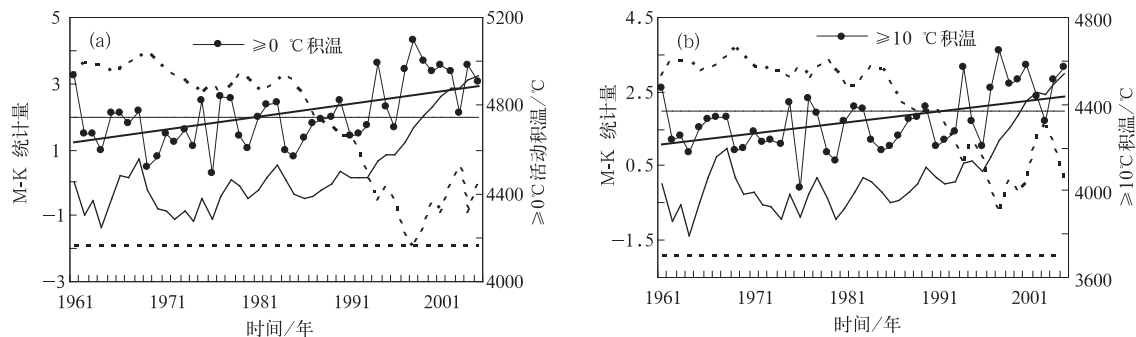


图 8 华北平原年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a)和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b)积温时间序列及 M-K 突变检验
实(虚)曲线为 UF(UB)曲线,粗线为线性拟合趋势线

Fig. 8 The time series of annual accumulated temperature $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) and $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) and Mann-Kendall catastrophe detection curve of the North China Plain
(the solid line, the dotted line and the thick line present UF line, UB line and linear trend line respectively)

华北平原年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温与年平均气温在地域上的分布一致(图略),南多北少。经统计,45 年来,两者线性倾向率随地域的变化规律是

2.3 年积温变化特征

$\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温代表一个地区农事季节内的热量资源,春季日平均气温稳定通过 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间,大致与积雪融化、土壤解冻的日期相当,耐寒作物如小麦等可以播种,农耕开始;日平均气温稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,玉米、水稻等喜温作物开始播种与生长,多数作物进入生长旺盛期。年平均气温升高,必然对两者产生影响。

经计算,年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温的多年平均值分别为 $4759.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $4326.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,45 年间增加趋势十分明显(通过 0.01 水平显著性检验)。图 8 显示,1961—1988 年属于热量贫乏期,此阶段年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温的平均值分别为 $4695.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $4272.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,相应的阶段平均值比多年平均值少 $64.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $54.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;1989 年开始,两者都持续增加,并分别在 1999 年和 2000 年超过了显著性水平 0.05 临界线,在显著性水平 0.05 的临界线之间,年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温的 UF、UB 曲线分别相交于 1993 年和 1997 年,是两者突变的开始。年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温的突变年份早于 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温的突变年份,说明年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温增加更快,尤其在 20 世纪 90 年代。年平均气温发生突变以后,年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活动积温平均值比年平均气温突变前阶段分别增加 $208.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $179.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,可见,随着年平均气温的升高,华北平原热量资源明显增加。

东北部 $>$ 中部 $>$ 西南部,这使得华北平原南北间热量资源的差异呈减小趋势。

3 结 论

(1) 华北平原 1961—2005 年 45 年间增温趋势十分明显,20 世纪 80 年代中期以前属于低温期,持续增温开始的年份为 1988 年,与北半球年平均气温发生突变的时间一致^[16],年平均气温在 1992 年发生突变,突变后与突变前阶段年平均气温相差 0.79℃,增幅相当大;年降水量无明显变化趋势,从 20 世纪 80 年代中后期开始,华北平原由多雨期转为少雨期,2000 年以后,降水量恢复到多年平均水平;日照时数减少明显,尤其在 1968 年以后。地域上,华北平原南北间温差呈现减小趋势,年降水量、年日照时数南北差异为增加趋势。华北平原近 45 年来气候变化经历了一个“冷湿-暖干”的过程。

(2) 各月温度、降水量的年内分布均呈单峰型,峰值均出现在 7 月,月日照时数年内分布呈双峰型,峰值出现在 5 月和 8 月,5 月大于 8 月。增温主要表现在 1—4 月、9 月,12 月次之,8 月平均气温表现为略下降趋势,这种变化特征使得温度年较差呈减小趋势;4 月和降水量最多的 7、8 月减少趋势明显,6 月降水量呈增加趋势,这种变化特点使得华北平原各月降水量趋于平均;夏季和冬春季日照时数减少明显是华北平原光照变差的主要原因。

(3) 气候变暖使得热量资源更加丰富。 ≥ 0 ℃活动积温、 ≥ 10 ℃活动积温从 1989 年开始持续增加,与年平均气温发生持续增暖的时间基本一致,两者发生明显突变分别在 1993 年和 1997 年, ≥ 10 ℃活动积温发生突变的时间延后于 ≥ 0 ℃活动积温发生突变的时间,说明 ≥ 0 ℃活动积温在 20 世纪 90 年代增加更快。45 年来,华北平原南北之间热量分配趋于平均。

参考文献

[1] IPCC 全球气候变化的最新科学事实和研究进展. 环境保护,

2007,6A:27-30.

- [2] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):183-184.
- [3] 刘德祥,董安祥,邓振镭. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报,2005,20(1):119-125.
- [4] 王菱,谢贤群,苏文,等. 中国北方地区 50 年来最高和最低气温变化及其影响[J]. 自然资源学报,2004,19(3):337-343.
- [5] 徐宗学,张玲,黄俊雄. 西藏地区气温、降水及相对湿度的趋势分析[J]. 气象,2007,33(7):82-88.
- [6] 万信,王润元,李宗葵. 陇东黄土高原塬区农业气象要素的变化特征[J]. 生态学杂志,2007,26(3):344-347.
- [7] 林学椿,于淑秋. 近 40 年我国气候趋势[J]. 气象,1990,16(10):16-22.
- [8] 丁一汇,戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象,1994,20(12):19-26.
- [9] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近 50 年来中国气候变化特征再分析[J]. 气象学报,2004,62(2):228-236.
- [10] 杨修群,谢倩,朱益民. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. 地球物理学报,2005,48(4):789-797.
- [11] 杨广基. 华北地区的降水特征及趋势估计[J]. 高原气象,1999,18(4):668-677.
- [12] 高歌,李维京,张强. 华北地区气候变化对水资源的影响及 2003 年水资源预评估[J]. 气象,2003,29(8):26-30.
- [13] 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.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [15] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,2004,23(2):238-244.
- [16] Jones P D, Raper S C B, Bradley R S, et al. Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984 [J]. J Clim Appl Meteor, 1986, 25(2): 161-179.
- [17] 赵玉洁,常诚,柏才音,等. 漠河极端气温气候特征及其变化[J]. 气象,2009,35(3):94-98.
- [18] 张运福,金巍,曲岩. 1951—2007 年辽宁省农业界限温度变化及其成因探讨[J]. 气象,2009,35(12):109-117.