

河北省三大棉区气候周期及突变特征分析

孙东磊¹, 李存东², 李武龙¹, 刘 瑾¹

(1. 河北省邢台市气象局, 河北 邢台 054000; 2. 河北农业大学农学院, 河北 保定 070001)

摘要: 利用河北省棉区 1961—2010 年 15 个站点逐日气象资料, 分析了河北省不同棉区气候周期振荡及突变点, 结果表明: 不同棉区棉花全生育期气温、降水、日照均存在多个时间尺度的周期变化特征, 交替现象明显; 全生育期平均气温年代际以及年际主要周期: 冀南、冀中棉区为 20~22 a, 9~10 a, 5~7 a, 冀东棉区为 22~24 a, 11~14 a, 全生育期平均气温升高明显, 在 1996 年发生了突变, 转入气温相对较高期。全生育期降水主要周期: 冀南棉区为 14~15 a, 冀中、冀东棉区为 22~24 a, 8~10 a。全生育期日照存在 9~10 a 振荡周期, 且 1986 年前后发生突变, 转入相对偏少期。

关键词: 气候周期; 气候突变; 小波分析

中图分类号: S162.4⁺ 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)05-0228-06

Research on the climatic period and abrupt changing characteristics in three large cotton areas of Hebei Province

SUN Dong-lei¹, LI Cun-dong², LI Wu-long¹, LIU Jin¹

(1. Xingtai Meteorological Bureau, Xingtai 050000, China;

2. College of Agronomy, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: Using the daily climatic data of 15 meteorological stations from 1961 to 2010 in cotton-growing areas of Hebei Province, has analyzed the climatic period wave and abrupt changing point in different cotton areas. The result showed that: The temperature, rainfall and sunshine in whole cotton growing season equally existed the periodic changing characteristics of multi-time scale in different cotton-growing areas, and alternate phenomenon was obvious. The decade and interannual main periods of mean temperature during whole growth stage were: In Jinan and Jizhong cotton areas were 20 to 22 yaers, 9 to 10 years and 5 to 7 years. In Jidong cotton area was 22 to 24 years and 11 to 14 years. The mean temperature in whole growth period was obvious increase and in 1996 was occurred the abrupt change to turn into the relative higher period. The main period of precipitation in whole growing stage was: In Jinan cotton area was 14 to 15 years, and in Jizhong and Jidong cotton areas were 22 to 24 years and 8 to 10 years. The sunshine in whole growth stage existed the climatic period wave of 9 to 10 years also before and after 1986 occurred the abrupt change to turn into the relative less period.

Keywords: climatic period, climate abrupt change, wavelet analysis

河北省位于黄淮海棉区的北端^[1], 棉花常年种植面积约为 $5.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占全国种植面积的 10%, 皮棉总产量占全国的 9%。种植区域从南到北跨越 4 个纬度, 依次为冀南棉区、冀中棉区、冀东棉区^[2-3]。春播棉生长期较长, 期间历经晚春、整个夏季和早、仲秋三个季节气候的考验, 历时 180 天左右, 受气候、环境条件和其它因素的共同作用, 其产

量极不稳定, 棉花单产的变异系数高达 35%^[4]。部分学者^[5-10]对区域气候变化特征及对棉花适宜度的影响大量研究表明, 降水量和春季低温是影响棉花产量的主要因子, 光照不足对棉花纤维品质影响较大, 气候变化背景下, 棉花气候适宜度呈现一定的下降趋势。河北省近 50 a 年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温都呈增温趋势, 最低气温升高最明显, 四季平均气温亦呈增高趋势。年降水量持

收稿日期: 2013-12-20

基金项目: 河北省自然科学基金(C2010000729)

作者简介: 孙东磊(1979—), 男, 高级工程师, 主要从事农业气象监测预警与服务工作。E-mail: xtsdl@126.com。

续减少,春季降水略有增加,夏季降水量减少最多,平均每 10 a 减少 22 mm,秋、冬季降水变化趋势不明显^[11]。张可慧等^[12]研究表明,河北省气候变化特征具有明显的空间差异。从目前分析来看,以往对河北省的气候变化研究,普遍侧重于研究河北省整体或以行政区域为研究对象,而很少以作物种植区或作物生长时段为研究整体。本文利用河北省 3 个主要棉区 15 个站点的气象资料,分析了不同棉区棉花全生育期及不同生育时期气候变化特征并进行了比较,以为棉花生产提供一定的依据。

1 资料与方法

1.1 资料选取

选取冀南、冀中、冀东棉区 15 个县市作为代表区域,代表区域气象站点分布见图 1、表 1。1961—2010 年气象观测资料由河北省气候中心提供。不同棉区棉花各生育时期起止时间见表 2。

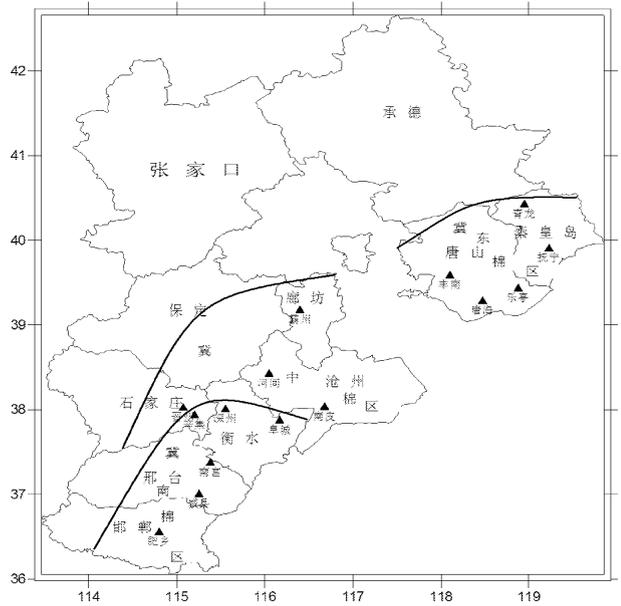


图 1 15 个代表性气象站点分布图

Fig. 1 The distribution map of 15 representative meteorological station

表 1 15 个代表性气象站点及经纬度

Table 1 The 15 representative meteorological station and their latitude and longitude

| 冀南棉区 Jinan cotton area | | | 冀中棉区 Jizhong cotton area | | | 冀东棉区 Jidong cotton area | | |
|------------------------|---------|--------|--------------------------|---------|--------|-------------------------|---------|--------|
| 站点 | 经度 E | 纬度 N | 站点 | 经度 E | 纬度 N | 站点 | 经度 E | 纬度 N |
| 肥乡 | 114.80° | 36.55° | 霸州 | 116.40° | 39.17° | 乐亭 | 118.88° | 39.43° |
| 南宫 | 115.38° | 37.37° | 河间 | 116.05° | 38.42° | 丰南 | 118.10° | 39.58° |
| 威县 | 115.25° | 37.00° | 南皮 | 116.68° | 38.03° | 抚宁 | 119.23° | 39.90° |
| 阜城 | 116.17° | 37.87° | 晋州 | 115.07° | 38.02° | 青龙 | 118.95° | 39.90° |
| 深州 | 115.55° | 38.00° | 辛集 | 115.20° | 37.93° | 霸州 | 116.40° | 39.17° |

表 2 河北省棉花生育时期起止时间(M-d—M-d)

Table 2 Start and end time of cotton growth period in Hebei Province

| 棉区 Region | 播种期 Sowing stage | 苗期 Seedling stage | 现蕾期 Squaring stage | 花铃期 Flowering stage | 吐絮期 Boll opening stage |
|--------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| 冀南棉区 Jinan | 起 04-12—04-21 | 04-17—04-26 | 06-01—06-06 | 07-01—07-12 | 08-19—08-24 |
| | 止 04-17—04-30 | 05-21—05-27 | 06-18—06-28 | 08-17—08-27 | 10-19—10-24 |
| 冀中棉区 Jizhong | 起 04-15—04-25 | 04-21—04-30 | 06-05—06-13 | 07-04—07-15 | 08-19—08-26 |
| | 止 04-21—05-01 | 05-25—06-02 | 06-25—07-01 | 08-21—08-31 | 10-21—11-01 |
| 冀东棉区 Jidong | 起 04-18—04-27 | 04-24—05-02 | 06-05—06-15 | 07-05—07-16 | 08-21—09-02 |
| | 止 04-25—05-07 | 05-25—06-05 | 06-25—07-04 | 08-21—09-03 | 10-19—10-29 |

1.2 研究方法

回归分析采用 SPSS11.0 软件进行。

运用 Mann-Kendall 方法^[13]进行变化趋势突变检验。

Mann-Kendall 方法是一种非参数统计检验方法,对于具有 n 个样本量的时间序列,构造一秩序列:

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

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

在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{\text{var}(s_k)}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

其中 $UF_1 = 0$, $E(S_k)$, $\text{var}(S_k)$ 是累计数 $E(S_k)$ 的均值和方差。按时间序列逆序,再重复上述过程同时使 $-UB_k = UF_k$ 。若 $UF_k > 0$, 则表明序列呈上升趋势, $UF_k < 0$ 则表明序列呈下降趋势, 并给定显著性水平为 $\alpha = 0.05$, 临界线 $U = 1.96$; 当它们超过临界值时, 表明上升或下降趋势显著, 超过临界值的范围确定为突变的时间区域。如果 UB_k 和 UF_k 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。利用滑动 t 检验(MTT) 法^[14], 对可能的突变点进行信度检验, 从而验证突变点的真伪。

MATLAB6.5 软件进行小波分析, 采用复值 Morlet 小波^[15] 作为母小波函数, 其表达式为:

$$\psi(t) = e^{ict} e^{-t^2/2} \quad (4)$$

式(4)中, c 为常数; i 表示虚部。

$$Wf(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (5)$$

式(5)中, $Wf(a, b)$ 称为小波变换系数, $f(t)$ 为 1 个分析信号函数, a 为分辨尺度(也叫放大因子), b 为平移因子, ψ^* 为小波函数的共轭函数。小波系数的实部表示不同特征时间尺度信号在不同时间上的分布和位相两方面的信息, 小波系数正值用实线表示反映出分析对象在该时间段为偏多(高)期, 负值用虚线表示反映为偏少(低)期。

采取延伸法对资料进行了延展, 得到长度为原序列 3 倍的数据序列, 待小波变换完成后, 只保留原始时段内的小波系数。具体方法如下:

设原始资料系列为: $f(1), f(2), \dots, f(n)$;

向前延伸 n 点: $f(-i) = f(i+1), i = 0, 1, \dots, n-1$;

向后延伸 n 点: $f(i+n) = f(n+1-i), i = 1, \dots, n-1$ 。

2 结果与分析

2.1 棉区气候概况

冀南棉区棉花全生育期多年(1961—2010年)平均气温为 22.1°C , 最低为 20.9°C (1976年), 最高为 22.8°C (1998年), 平均降水量为 450.1 mm , 最少为 172 mm (1965年), 最多为 833.2 mm (1973年), 平均日照时数为 $1\ 528.5\text{ h}$, 最少为 $1\ 191.1\text{ h}$ (2008年), 最多为 $1\ 902\text{ h}$ (1962年)。冀中棉区全生育期多年平均气温为 21.2°C , 最低为 20.9°C (1976年), 最高为 21.9°C (1998年), 平均降水量为 431.3 mm , 最少为 144.3 mm (1997年), 最多为 800.4 mm (1977年), 平均日照时数为 $1\ 636.7\text{ h}$, 最多为 $2\ 001.3\text{ h}$ (1965

年), 最少为 $1\ 201.1\text{ h}$ (2008年)。冀东棉区棉花全生育期多年平均气温为 19.8°C , 最低为 19.3°C (1976年), 最高为 21.6°C (1998年), 平均降水量为 557.1 mm , 最少为 262.8 mm (1993年), 最多为 $1\ 129.5\text{ mm}$ (1964年), 日照时数平均为 $1\ 586.5\text{ h}$, 最少为 $1\ 191.1\text{ h}$ (2008年), 最多为 $1\ 902.7\text{ h}$ (1965年)。

各棉区气象要素平均值表明(见表 3), 冀东棉区棉花全生育期气温较其它棉区偏低 1°C — 2°C , 总降水量比其它棉区偏多 $100 \sim 120\text{ mm}$, 日照时数比冀南棉区约多 60 h , 比冀中棉区少 50 h 左右, 因此冀东棉区热量条件差, 水分条件好, 日照为中等; 冀中棉区气温接近冀南棉区, 但降水最少, 日照比冀南棉区丰富; 冀南棉区气温最高, 降水量比冀中棉区略偏多, 但总日照时数偏少。综合分析各个棉区的气候资源特点是: 冀东棉区降水最多, 气温最低, 冀中棉区日照最多, 降水最少, 冀南棉区气温最高, 日照最少。

表 3 河北省三大棉区全生育期光温水情况

Table 3 The sunshine, temperature and rainfall during whole growth period in three large cotton areas of Hebei Province

| 地区 Region | 平均气温/ $^\circ\text{C}$ Temperature | 总降水/ mm Total rainfall | 总日照/ h Total sunshine hours |
|-----------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|
| 冀南棉区 Jinan | 22.1 | 450.1 | 1528.5 |
| 冀中棉区 Jizhong | 21.2 | 431.3 | 1636.7 |
| 冀东棉区 Jidong | 19.8 | 557.1 | 1586.5 |

2.2 温度变化特征

冀南、冀中、冀东各棉区全生育期平均气温气候倾向率分别为 $0.014^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$, $0.097^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$, $0.093^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 均通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验。棉区平均气候倾向率为 $0.066^\circ\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 但未通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验。

将冀南、冀中、冀东棉区棉花全生育期平均气温进行 Morlet 小波变换, 得到小波变化实部等值线图 2(实线为正或零等值线、虚线为负等值线)。由图可知, 冀南棉区全生育期平均气温周期变化明显, 冷暖交替显著。10 a 以上的年代际变化主要存在 1 个振荡模态, 周期为 $20 \sim 22\text{ a}$, 该周期表现具有全域性和稳定性, 1961—2010 年里始终存在, 主要经历了 6 个时期的冷暖交替变换: 1965—1972 年, 1981—1986 年, 1995—2003 年, 棉花全生育期气温处于相对偏前期, 其他时段处于相对偏低期。2004—2009 年相对偏低期的振荡等值线已经闭合, 从年代际振荡模态

分析,2010s 棉花全生育期气温将处于相对偏后期。

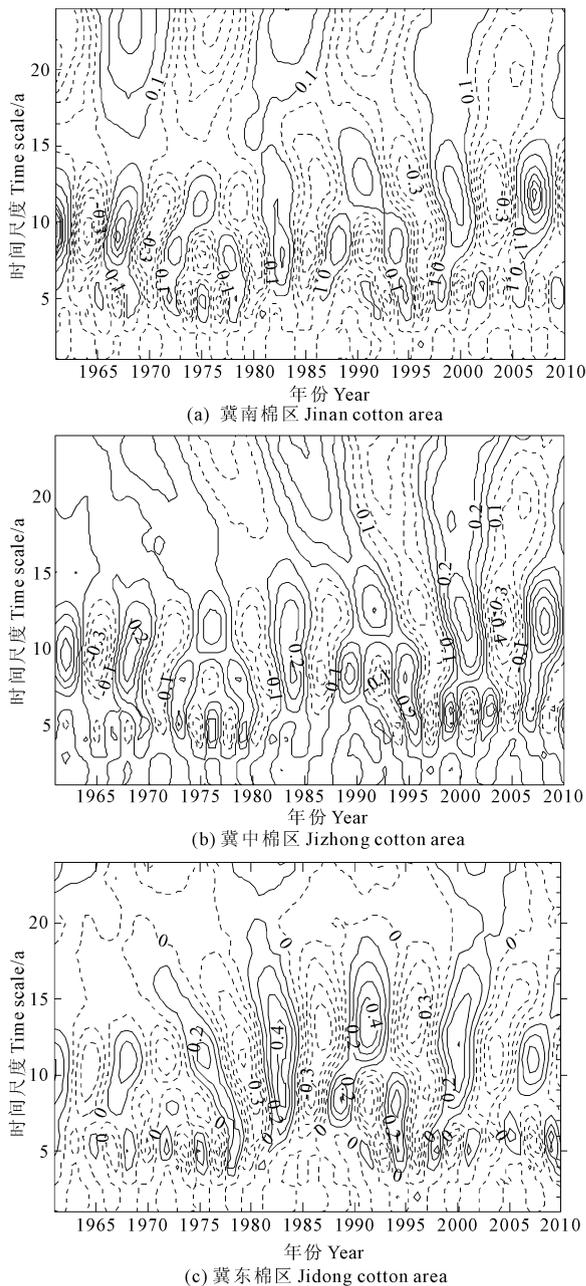


图 2 不同棉区全生育期平均气温小波变换系数实部等值线图

Fig.2 The isolines charts of real part wavelet transform coefficient for mean temperature during whole growth period in different cotton-growing areas

10 a 及以下尺度存在 2 个主要振荡模态,中心周期分别为 9~10 a、5~7 a,其中 9~10 a 振荡模态表现稳定,主要由 6 个相对偏高期和 6 个相对偏低期组成。5~7 a 周期主要发生在 1965—1980 年、1990—2010 年,分别经历了 6 个、10 个时期的冷暖交替变换。冀中棉区棉花全生育期平均气温周期性变化规律同冀南棉区类似,年代际变化存在 20~22 a 尺度变化周期,10 a 及以下尺度存在 2 个主要振荡模态,

中心周期分别为 9~10a、5~7a,分别经历了 13 次、18 次冷暖交替,其中 5~7 a 尺度冷暖交替不具有全域性。冀东棉区 10 a 以上的年代际变化主要存在 2 个振荡模态,强度较强,为 22~24 a、11~14 a,分别经历了 5 次、12 次冷暖交替,10 a 下尺度存在 4~5 a 振荡周期,经历了 27 次冷暖交替。冀东棉区振荡周期尺度较冀南、冀中棉区加长 2~3 a。

各棉区棉花全生育期平均气温突变的 M-K 检验表明,三大棉区变化趋势基本相同,以冀南棉区为例(见图 3),1970s 初期至 1990s 末期,棉花全生育期平均气温一直处于下降趋势,2000 年以后呈持续上升趋势。*UF* 值在 2009 年超过 $\alpha = 0.05$ 的置信线,上升趋势显著,*UF* 和 *UB* 曲线在 1996 年前后出现交点且位于 ± 1.96 信度线之间,交后 2009 年 *UF* 超过置信线,虽然 2010 年 *UF* 曲线又回到 $\alpha = 0.05$ 的置信线之内,但全生育期平均气温升高趋势并未发生变化,全生育期平均气温仍呈上升趋势。为了进一步验证 M-K 方法检验的突变点,对 1996 年前后不同时段做滑动 *t* 检验,当 $n = 3, 4, 5, 6$ 时,均通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,说明棉花全生育期平均气温在 1996 年前后发生了突变。全生育期平均气温变化大体可分为 3 个阶段,第一阶段(1967—1972 年)生育期平均气温呈上升趋势;第二阶段(1973—1991 年)平均气温呈波动不大,为下降趋势向上升趋势转变;第三阶段(1997—2010 年)平均气温呈显著上升趋势,进入偏暖期。

各棉区播种期平均气温呈显著上升趋势,气候倾向率为 $0.162^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,2001—2010 年播种期为 16.4°C ,较 20 世纪 80 年代上升约 0.3°C ,较 20 世纪 60 年代上升 0.9°C 。苗期、蕾期、花铃期平均气温年际波动不大,变化趋势不显著。吐絮期平均气温呈显著上升趋势,气候倾向率为 $0.193^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。播种期及吐絮期平均气温升温幅度均高于全生育期平均气温的升温幅度,由于吐絮时期较长,吐絮期升温对全生育期平均气温升温贡献较大。

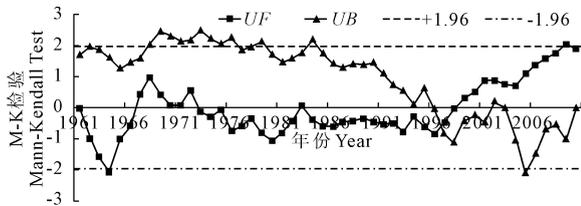


图 3 冀南棉区全生育期平均气温变化 M-K 检验

Fig.3 The mean temperature change during whole growth period by the Mann-Kendall Test in Jinan cotton area

2.3 降水变化特征

冀南、冀中、冀东棉区,棉花全生育时期降水呈

下降趋势,气候倾向率为分别为 -7.92 、 $-6.72 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $-17.22 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,但均未通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验,下降趋势不明显。三大棉区棉花全生育时期降水量 20 世纪 60 年代中期至 70 年代中期呈减少趋势,从 20 世纪 70 年代末期开始至 2010 年棉花全生育时期降水量变化趋势不明显,但年际间波动较大。

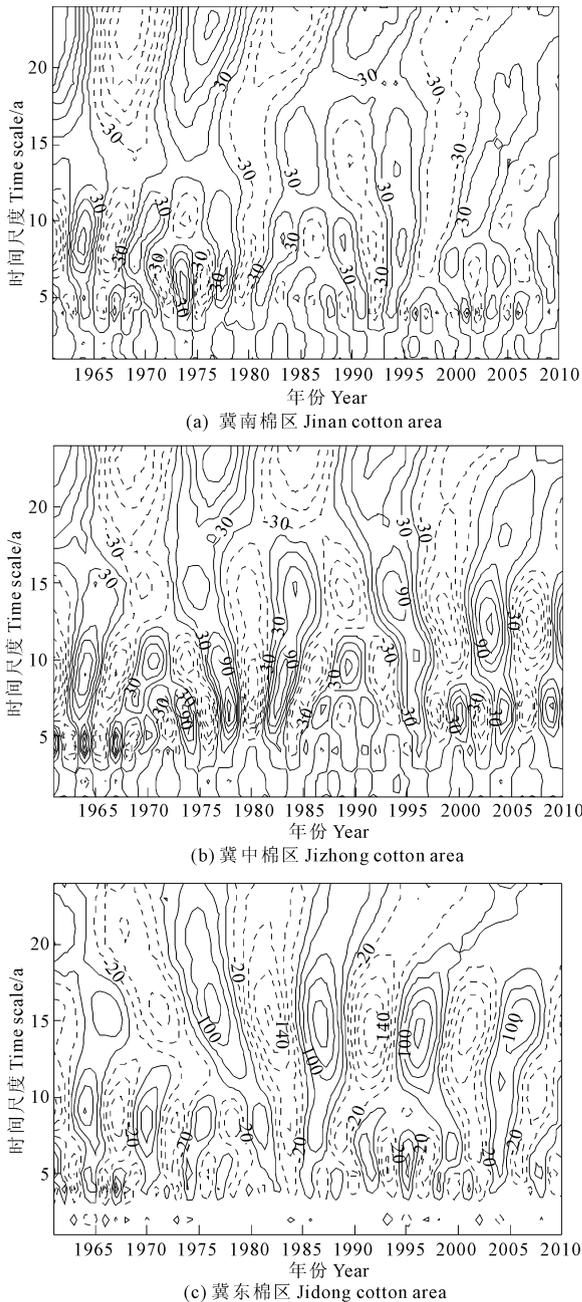


图 4 不同棉区棉花全生育期降水量小波变换系数实部等值线图

Fig.4 The isoline charts of the real part wavelet transform coefficient for precipitation during whole growth period in different cotton areas

图 4 表明,冀南棉区棉花全生育期降水周期变

化明显,干湿交替显著。10 a 以上的年代际变化主要存在 1 个振荡模态,中心周期为 14 ~ 15 a,该周期表现具有全域性和稳定性,1961—2010 年里始终存在,主要经历了 9 个时期的干湿交替变换:1962—1967 年,1974—1980 年,1984—1990 年。1994—1999 年,2003—2009 年,棉花全生育期降水处于相对偏多期,其他时段处于相对偏少期。从年代际振荡模态分析,2010s 初期及中期棉花全生育期降水将处于相对偏少期。10 a 及以下尺度存在 1 个主要振荡模态,为 5 ~ 8 a,振荡模态表现不太稳定,振荡尺度逐渐减小且 1970s—1990s 周期振荡不明显。冀中、冀东棉区棉花全生育期降水年代际变化存在 22 ~ 24 a 尺度周期,10 a 及以下尺度存在 1 个主要振荡模态,中心周期分别为 8 ~ 10 a、经历了 16 次干湿交替,干湿交替有全域性。各棉区棉花全生育期平均降水 $M-K$ 检验表明,没有降水增加或减少的突变现象发生。

各棉区各生育时期降水变化趋势不同。冀南棉区播种期、现蕾期、花铃期、吐絮期降水量变化趋势不显著,苗期降水量呈显著上升趋势,气候倾向率为 $6.72 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,1990—2010 年播种期平均降水量较 1960s 增多 30 mm。冀中棉区播种期、苗期、花铃期、吐絮期降水变化趋势不显著,现蕾期降水呈显著下降趋势,气候倾向率为 $-7.95 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。冀东棉区苗期降水量波动逐渐增大,花铃期降水量呈显著减少趋势,气候倾向率为 $-4.92 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$,其他生育时期降水量变化趋势不显著。

2.4 日照时数变化特征

冀南、冀中、冀东棉区全生育期日照时数呈下降趋势,气候倾向率分别为 -58.3 、 $-31.4 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 和 $-35.4 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$,均通过 $\alpha = 0.05$ 显著性检验,冀南棉区日照减少速率大,冀东棉区和冀中棉区变化趋势基本相同。各棉区播种期、苗期、吐絮期日照时数年际间波动较大,略呈减少趋势,现蕾期、花铃期日照时数呈显著减少趋势,气候倾向率为 -12.6 、 $-18.2 \text{ h} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。全生育期日照时数变化大体可分为 2 个阶段,1960s 中期至 1970s 初期呈显著下降趋势;1980s 中期后减少趋势明显,日照时数较 1960s 减少 200 h。小波分析表明,三大棉区全生育期日照时数均存在 10 a 振荡周期变化规律,1961—2010 年出现 4 次振荡,2005 年以后,日照处于偏少期。冀南棉区全生育期日照时数变化趋势突变检验表明(图 4),1970s 中期以来 UF 值小于零, UF 曲线向负向发展,且在 1990 年超过信度线,表明该地区棉花全生育期日照时数减少趋势十分显著, UF 曲线与

UB 曲线在 1982 年、1986 年相交且交点位于信度线之间,对 1982、1986 年前后不同时段做滑动 t 检验,当 $n = 3, 4, 5, 6$ 时,仅 1982 年通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,表明该地区棉花全生育期日照时数在 1982 年发生突变。冀中、冀东棉区全生育期日照时数并未发现突变现象发生。

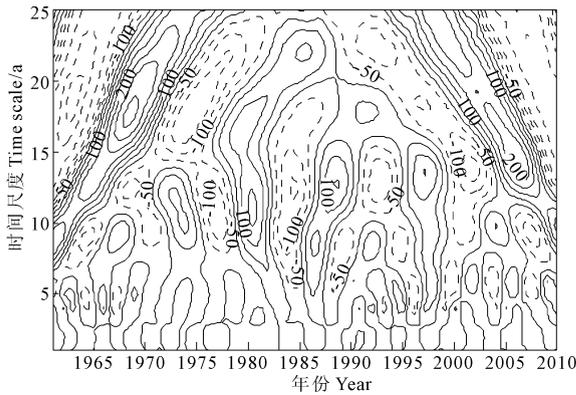


图 5 河北省棉区棉花全生育期日照时数小波变换系数实部等值线图

Fig.5 The isoline chart of the real part wavelet transform coefficient for sunshine hour during whole growth period in different cotton areas of Hebei Province

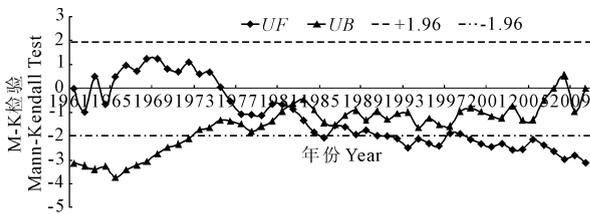


图 6 冀南棉区全生育期日照时数变化 M-K 检验

Fig.6 The sunshine hour change in whole growth period by the Mann-Kendall Test in Jinan cotton area

3 结论与讨论

1) 河北省三大棉区光、温、水气象因子变化存在明显周期振荡,全生育期平均气温主要振荡周期:冀南、冀中棉区为 20~22、9~10、5~7 a,冀东棉区为 22~24、11~14 a。全生育期降水主要周期:冀南棉区为 14~15 a,冀中、冀东棉区为 22~24、8~10 a。全生育期日照时数变化存在 9~10 a 振荡周期。在棉花生产中应注重气候变化趋势、波动性、周期性,以更好减轻气象灾害对棉花生产的影响。

2) 河北省三大棉区全生育期平均气温呈升高趋势,且在 1996 年前后发生突变,进入显著升高阶段,特别是播种期、吐絮期平均气温升高明显。播种期气温升高对棉花早播及出全苗较为有利,但高温下棉芽发育较快,棉苗不健壮;棉花吐絮期气温较高,利于棉花发育成熟正常吐絮,但温度过高会造成

水分蒸腾散失较多,叶片光合作用受阻,迫使中下部棉铃吐絮过早,上部幼铃停止生长过早。冀南棉区苗期降水量呈显著上升趋势,降水过多易造成棉花徒长,茎细、脚高,根系发育不好。冀中、冀东棉区棉花现蕾期、花铃期降水显著减少,在降水能够满足棉花生长发育需要的前提下,降水日数少,湿度低对棉花坐桃结铃较为有利。棉花全生育期日照时数呈下降趋势,冀南棉区全生育期日照时数变化存在突变现象,在 1982 年发生突变,转入偏少期。棉花属于喜光作物,光照偏少造成植株徒长、推迟生殖生长,引起蕾铃脱落,棉纤维强度降低、长度整齐度差等^[16],因此日照的变化趋势应引起高度重视,采取相应措施减少或适应气候变化对棉花生产的影响。

由于气象资料时间序列长度较短,本文对河北省棉区的气候变化周期及突变特征分析仅为初步研究,随着气象观测时间的延长,年代际周期变化特征及突变年份有待进一步深入分析。

参考文献:

- [1] 王树安.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,1994,130144.
- [2] 刘素娟.河北省棉花主栽品种更替的主要过程[J].中国农技推广,2005,(1):15-20.
- [3] 梁志隐,阎宇业,李存东.论黑龙江地区旱地植棉技术[J].河北农业大学学报,1990,13(4):40-44.
- [4] 姚树然,康西言,李二杰.河北省棉区气候效应的时空变化[J].中国农业气象,2008,29(3):325-328.
- [5] 千怀遂,石艳蕊,魏东岚.气候对河南省棉花的影响及其变化研究[J].生态学,2000,20(6):1061-1068.
- [6] 安月改,林 艳.近 53a 来京津冀区域棉花生育时期连阴雨气候气候特征[J].中国农业气象,2008,29(3):375-378.
- [7] 王勤英.气候变化对河北省棉花生产及病虫害的可能影响[J].生态农业研究,1997,5(3):45-48.
- [8] 李元华,车少静.河北省温度、降水变化对农业的影响分析[J].中国农业气象,2005,26(4):224-228.
- [9] 闫宜玲,林 艳,孙桂顺.河北省农业气象实用手册[M].北京:气象出版社,1995:36-40.
- [10] 杨太明,陈晓艺.安徽省棉花生长气候条件分析及产量预报模式研究[J].中国生态农业学报,2001,9(4):88-90.
- [11] 高 琪,车少静,韩军彩.河北省气候变化特征及其对物候的影响[J].安徽农业科学,2010,38(32):18319-18323.
- [12] 张可慧,刘芳圆,肖嗣荣.河北省气候变化研究现状和需要优先研究的科学问题[J].科技创新导报,2011,(2):12-14.
- [13] 林振山,邓自旺.子波气候诊断技术研究[M].北京:气象出版社,1999:1-22,47-51,38.
- [14] 吴洪宝,吴 蕾.气候变率诊断和预测方法[M].北京:气象出版社,2005:33-44,208-245.
- [15] 符淙斌,王 强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.
- [16] 孙东磊,梁 钰,李存东,等.气象因子对棉花纤维品质的影响[J].气象与环境学报,2009,25(2):68-72.