

# 近 57 年锡林浩特市平均最高、最低 气温变化特征分析

李春兰<sup>1</sup>, 包玉海<sup>2</sup>, 包刚<sup>2</sup>, 阿拉腾图雅<sup>1</sup>, 胡日查<sup>1</sup>, 银山<sup>1,2</sup>

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2. 内蒙古师范大学 遥感与信息重点实验室, 呼和浩特 010022)

**摘要:** 该文运用滑动平均法、累积距平法、Morlet 小波分析法和 Yamamoto 方法, 分析了锡林浩特市 1953—2009 年平均最高气温和平均最低气温的变化特征。结果表明: 平均最高、最低气温线性倾向率分别是  $3.47^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,  $6.26^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 存在明显的非对称变化; 年较差呈弱减小趋势, 其中平均最低气温的贡献最大; 90 年代变暖程度明显; 在 57 a 尺度上, 平均最高气温主要存在 50 a 和 30 a 左右的震荡周期, 平均最低气温主要存在 50 a, 30 a 和 18 a 左右的震荡周期; 平均最高气温的阶段性和突变性均不明显, 平均最低气温存在 3 个较为明显的变化阶段, 且 1987 年出现突变。

**关键词:** 变化特征分析; 平均最高气温; 平均最低气温; 锡林浩特市

中图分类号: P468.0<sup>+</sup>21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)05-0257-04

## Changes Characteristic of Mean Maximum and Minimum Temperature in Xilinhot City in Recent 57 years

LI Chun-lan<sup>1</sup>, BAO Yu-hai<sup>2</sup>, BAO Gang<sup>2</sup>, Alatengtuya<sup>1</sup>, HU Ri-cha<sup>1</sup>, YIN Shan<sup>1,2</sup>

(1. College of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

2. Remote Sensing and Information Key Laboratory, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China)

**Abstract:** This paper used the moving average method, accumulated variance method, Morlet wavelet analysis, and Yamamoto method to analyze the mean maximum temperature and mean minimum temperature of Xilinhot from 1953 to 2009. The results are as following: the linear trend rates of mean maximum temperature and mean minimum temperature are  $3.47^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  and  $6.26^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , existing a symmetric change clearly; annual range is weak decreasing trend and mean minimum temperature contributes most; The warming is becoming clear in 1990s; at the 57-year scales, the mean maximum temperature mainly exists 50 a and 30 a fluctuation, the mean minimum temperature mainly exists 50 a, 30 a and 18 a fluctuation; stage and mutagenicity both are not clear in the mean maximum temperature, but there are 3 stages and 1987 is the mutation year in terms of the mean minimum temperature.

**Key words:** variation characteristic analysis; mean maximum temperature; mean minimum temperature; Xilinhot City

20 世纪以来全球气候变暖已经是一个不可争辩的事实<sup>[1]</sup>, IPCC 第四次评估报告指出, 过去 100 a 来全球地表温度升高了  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 20 世纪 90 年代以来呈现出加速升温, 1850 年以来最暖的 12 a 有 11 a 出现在 1995 年—2006 年<sup>[2]</sup>。气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的, 正面和负面影响并存, 但它的负面影响更受人们的关注。据 2006 年我国发布的《气候

变化国家评估报告》强调气候变化使得我国北方地区水资源供需矛盾加剧、森林和草原等生态系统退化、生物灾害频发、生物多样性锐减。近几年, 国内许多学者对中国气温的变化进行了大量的研究<sup>[3-4]</sup>, 发现我国的增温趋势与北半球大致相同, 但也有自身的特点。中国的地形复杂, 气候多样, 不同地区的气候特征也不同, 掌握各地区的气候变化规律可更好地指导

收稿日期: 2013-01-19

修回日期: 2013-03-12

资助项目: “十二五”科技支撑计划项目资助(2013DAK05B01)

作者简介: 李春兰(1989—), 女, 四川省绵阳人, 硕士研究生, 主要研究双动两案教学和课堂教学行为及自然灾害。E-mail: 15598022233@163.com

通信作者: 银山(1963—), 男(蒙古族), 内蒙古通辽人, 博士, 教授, 主要从事自然地理学和荒漠化及自然灾害方面的研究。E-mail: yinshan@imnu.edu.cn

人们的生产和生活,具有重要的现实意义。许多研究者也对中国进行了分区域的气温特征研究<sup>[5-9]</sup>。研究尺度不断缩小,研究结果不断接近实际,可更好地服务于人类。本文以锡林浩特市为例分析其平均最高、最低气温的变化特征。

本研究主要对锡林浩特市 1953—2009 年的平均最高、最低气温变化特征进行分析,得出锡林浩特市近 57 a 年平均最高、最低气温的变化特征,确定平均最高、最低气温在不同时间尺度上的振荡周期。基于此,对未来一段时间内气候演变的趋势做出预测,这对于认识锡林浩特市气候变化的特征和周期性,以及为短期气候预测提供依据。

## 1 锡林浩特市气候概况

锡林浩特市位于内蒙古高原北部锡林郭勒草原腹部,位于东经 115°17′—116°59′,北纬 43°02′—44°52′。属中温带半干旱大陆性气候。冬季严寒漫长,夏季温凉短促,春秋风多而干燥的气候特征。年平均气温 1.7℃。最热为 7 月,平均气温 20.8℃,极端最高气温 38.3℃。最冷为 1 月,平均气温 -19.8℃,极端最低气温 -42.4℃。气温年较差 40.6℃。年均降水量 287.2 mm,最大年降水量 561.4 mm(1959 年),最少降水量 121.1 mm(2005 年)。

## 2 资料来源

本研究使用锡林浩特市 1953—2009 年的平均最高气温和平均最低气温数据资料,来源于内蒙古自治区锡林浩特市 54102 站台的详细记录数据。

## 3 研究方法

### 3.1 线性倾向率和滑动平均法

线性倾向率<sup>[10]</sup>和滑动平均法<sup>[11]</sup>主要用于分析气温的变化趋势。线性倾向率即要素变化倾向率,用  $X_i$  表示样本量为  $n$  的某一气候变量,如气温,降水量,用  $t_i$  表示所对应的时间,建立  $X_i$  和  $t_i$  之间的一元线性回归。

$$X_i = a + bt_i \quad (t_i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中: $a, b$ ——回归常数和回归系数,可以用最小二乘法进行估计。

滑动平均法的计算公式为:

$$\hat{y} = \frac{1}{2l+1} [y_{t-l} + y_{t-(l-2)} + \dots + y_t + y_{t+1}] \quad (2)$$

式中: $\hat{y}$ —— $t$  点的滑动平均值,则 5 点滑动平均值的计算式为:

$$\hat{y}_t = (y_{t-2} + y_{t-1} + y_t + y_{t+1} + y_{t+2}) / 5 \quad (3)$$

### 3.2 累积距平法

累积距平法<sup>[12]</sup>是一种常用的,用于进行气温的突变和阶段性分析,由曲线直观判断变化趋势的方法,同时通过对累积距平曲线的观察,也可以划分变化的阶段性。对于时间序列,其某一时刻的累积距平表示为:

$$x = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

式中: $\bar{x}$ ——多年平均(最高或最低)气温,将  $n$  个时刻的累积距平值全部算出,可绘制出累积距平曲线,进行阶段性分析,即可分析出气温的冷、暖阶段。根据距平累积曲线的性质,上升阶段定为偏暖阶段,下降阶段定为偏冷阶段。

### 3.3 Morlet 小波分析法和 Yamamoto 方法

本研究使用 Morlet 小波分析法<sup>[13-14]</sup>和 Yamamoto 法<sup>[15-17]</sup>,对平均最高、最低气温进行周期性分析和检验。

小波分析被誉为“数学显微镜”,是一种时域—频域分析方法,介于方波分析(纯时域)和传统傅立叶分析(纯频域)之间。它在时域和频域上同时具有良好的局部性质,是 20 世纪 80 年代初发展起来的一种信号时间—尺度分析方法,以研究不同尺度(周期)随时间的演变情况,具有多分辨率分析特点。目前,小波分析可用于判别气候资料序列中所包含的不同时间尺度下的气温或降水量的周期性变换。本文使用的小波为标准的 Morlet 小波,因为 Morlet 小波具有很好的灵敏性和时频分析的功能。具体的计算公式及其简要说明如下:

对满足一定条件的小波函数  $\varphi(t)$ ,时间序列  $f(t) \in L^2(R)$  的小波变换为:

$$W_f(a, b) \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi_{ab}^*(t) dt = \frac{1}{\sqrt{2}} f(t) \varphi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \quad (5)$$

式中: $W_f(a, b)$ ——小波变换或小波变换系数; $\varphi_{ab}(t)$ ——复共轭函数; $a > 0$  为尺度因子,反映了小波周期长度; $b$ ——时间因子,反映了在时间上的平移。通过小波分析,可得到时间序列在任意时刻的频率特征以及时间—频率上的变化特征,式中(5)的  $\varphi(t)$  因小波不同,选取的形式也不同。本文选用的小波是标准的 Morlet 小波,因为 Morlet 小波具有很好的灵敏性和时频分析的功能。 $\varphi(t)$  的形式为:

$$\varphi(t) = (1-t^2) \exp(-t^2/2) \quad (6)$$

Yamamoto 方法是检验两子序列均值的差异是否显著来判别突变。对于时间序列  $x$ ,人为设定某一时刻为基准点,基准点前后样本量分别为  $n_1$  和  $n_2$  的

两段子序列  $x_1$  和  $x_2$  累积距平均值为  $\bar{x}_1$  和  $\bar{x}_2$ , 累积距平标准差为  $s_1$  和  $s_2$ , 定义信噪比为:

$$SNR = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_1 + s_2} \quad (7)$$

若  $SNR < 1$ , 则认为没有突变发生, 若  $SNR > 1$ , 则认为有突变发生, 若  $SNR > 2$ , 则认为有强突变发生。

## 4 平均最高、最低气温的特征分析

### 4.1 平均最高、最低气温的趋势特征分析

平均最高气温和平均最低气温是反映一个地区炎热或寒冷状态的标志, 其差值为气温年较差<sup>[18]</sup>。随着全球气候的变化, 气温年较差的变化研究已开始得到广泛关注。

从图 1 可知, 平均最高气温和平均最低气温呈极显著升高趋势, 线性倾向率分别为  $3.47^\circ\text{C}/10\text{ a}$ ,  $6.26^\circ\text{C}/10\text{ a}$ , 即平均每 10 a 分别升高  $3.47^\circ\text{C}$ ,  $6.26^\circ\text{C}$ , 平均最低气温的增幅明显高于平均最高气温的增幅, 前者是后者的 1.8 倍。这表明锡林浩特市平均最高气温与平均最低气温存在显著的非对称变化。与“中国平均最低气温的增幅明显大于平均最高气温的增幅”的结论一致<sup>[19]</sup>。

从图 2 可知, 近 57 a 来气温年较差呈现弱递减趋势, 线性倾向率为  $-0.279^\circ\text{C}/10\text{ a}$ , 则说明近 57 a 来锡林浩特市的气候正逐步趋向暖化, 通过对平均最高气温和平均最低气温的比较分析可知, 后者的贡献最大。从 5 a 滑动曲线分析, 21 世纪初期气温年较差出现比较明显的上升变化, 通过对平均最高气温和平均最低气温的比较分析可知, 平均最高气温在升高, 平均最低气温在降低, 出现明显的反向变化的现象。

表 1 1953—2009 年锡林浩特市平均最高、最低气温年代变化情况统计

项目	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	21 世纪初
平均最高气温距平	-1.120	-0.09	-0.320	-0.2040	0.396	1.0187
平均最低气温距平	-1.660	-1.13	-0.380	0.2230	1.483	1.0263
平均最高气温线性倾向率	0.171	-0.22	0.119	0.0545	0.173	0.0580
平均最低气温线性倾向率	0.221	-0.10	0.195	0.1073	0.144	-0.0600

### 4.2 平均最高、最低气温的周期性特征分析

4.2.1 平均最高气温的周期性分析 小波系数的变化趋势与气候信号的起伏基本一致, 等值线中心为冷暖中心, 正小波为暖, 负小波为冷, 中心值所对应的横坐标值为年份, 纵坐标值为序列的变化周期。图 3 为近 57 a 锡林浩特市平均气温不同时间尺度的小波变换结果, 以颜色的冷暖表示小波系数的大小。由图 3 可以看出, 锡林浩特市近 57 a 平均气温包含了多个不同尺度的周期变化, 形成各种尺度正负相间的振荡

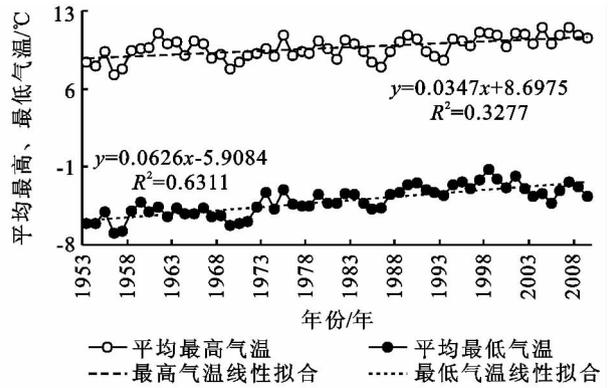


图 1 锡林浩特市 1953—2009 年平均最高气温和平均最低气温变化曲线

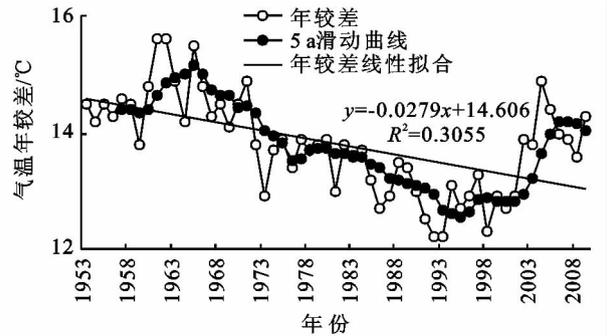


图 2 锡林浩特市(1953—2009)气温年较差变化曲线

表 1 是近 57 a 来锡林浩特市平均最高、最低气温的年代变化情况。从平均最高、最低气温距平来看, 20 世纪 50—70 年代平均最高、最低气温均呈负距平, 90 年开始呈现正距平, 有学者也曾得出同样的结论<sup>[20]</sup>, 即从 90 年代开始锡林浩特市变暖程度明显。其中不同的是平均最低气温在 90 年代距平值最大, 平均最高气温在 21 世纪初期距平值最大。从线性倾向率分析, 平均最高、最低气温从 50 年代到 21 世纪初期均呈现线性倾向率变小—变大—变小—变大—变小的规律。

中心, 存在明显的年代和年际变化。

从 57 a 尺度分析可知, 锡林浩特市平均最高气温主要存在 50 a 和 30 a 左右的震荡周期, 50 a 左右的震荡周期变化从 50 年代一直持续至 21 世纪初期, 周期震荡非常明显, 具有全域性, 存在暖—冷交替的 3 个循环, 包括 2 个暖期和 1 个冷期, 即大约每 19 a 出现一次更替。30 a 左右的震荡周期变化从 50 年代一直持续至 21 世纪初期, 周期震荡非常明显, 具有全域性, 存在暖—冷交替的 5 个循环, 包括 3 个暖期和 2

个冷期,即大约每 10 a 出现一次更替。在 50 a 左右震荡周期的变化上,锡林浩特市目前处于暖期,且该振荡周期等值线未闭合,可推测出锡林浩特市在 2009 年以后将继续持续几年左右的暖期后才会出现新的冷期。

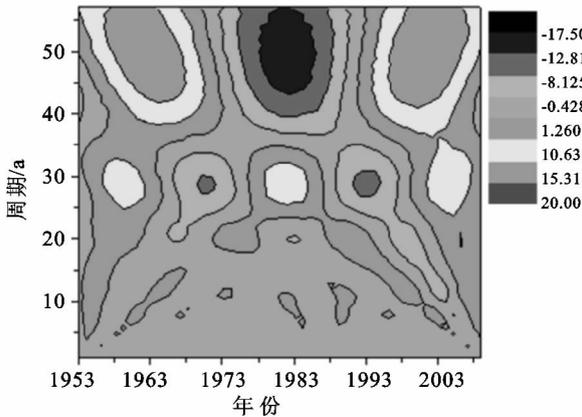


图3 近 57 a 锡林浩特市平均最高气温不同时间尺度的小波变换结果

4.2.2 平均最低气温的周期性分析 从 57 a 尺度分析可知(图 4),锡林浩特市平均最低气温主要存在 50 a,30 a 和 18 a 左右的震荡周期,50 a 左右的震荡周期变化从 50 年代一直持续至 21 世纪初期,周期震荡非常明显,具有全域性,存在冷—暖交替的 3 个循环,包括 2 个冷期和 1 个暖期,即大约每 19 a 出现一次更替。30 a 左右的震荡周期变化从 50 年代一直持续至 21 世纪初期,周期震荡非常明显,具有全域性,存在冷—暖交替的 5 个循环,包括 3 个冷期和 2 个暖期,即大约每 10 a 出现一次更替。18 a 左右的振荡周期不具全域性,50 年代初—70 年代末比较明显,80 年代之后变化不太明显。在 50 a 左右的震荡周期的变化上,锡林浩特市平均最低气温目前处于冷期,且该振荡周期等值线未闭合,可推测出锡林浩特市在 2009 年以后将继续持续几年左右的冷期后才会进行一个新的暖期。

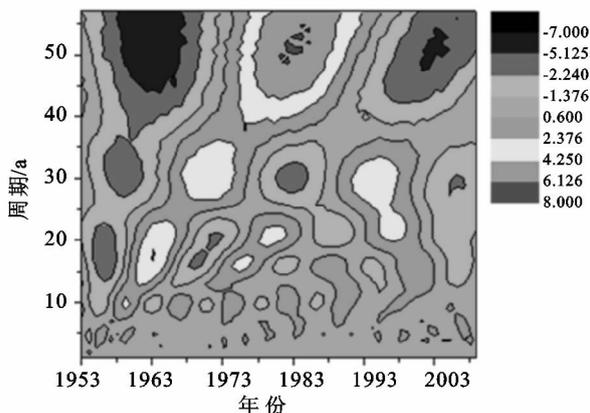


图4 近 57 a 锡林浩特市平均最低气温不同时间尺度的小波变换结果

### 4.3 平均最高、最低气温的阶段性和突变性分析

据图 5 可知,锡林浩特市平均最高气温的阶段性和突变性不明显,平均最低气温存在 3 个较为明显的变化阶段,即 1953—1973 年累积距平曲线呈下降趋势,是相对低温时期;1974—1986 年累积曲线变化不大,是相对稳定时期;1987—2009 年累积曲线呈上升趋势,是相对高温时期。由此可推测出 1987 年可能为平均最低气温突变点。通过 Yamamoto 法检验,计算得出  $SBN=1.218>1$ ,则 1987 年为突变点,与“平均最低气温的突变时间为 1987 年”的结论基本一致<sup>[21]</sup>。

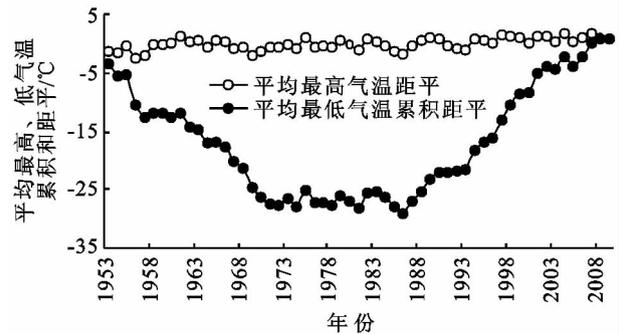


图5 1953—2009 年锡林浩特市平均最高、最低气温累积距平曲线

## 5 结论

平均最高、最低气温的线性倾向率分别是  $3.47^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,  $6.26^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,存在明显的非对称变化;气温年较差呈弱减小趋势,其中平均最低气温的贡献最大;20 世纪 90 年代变暖程度明显,线性倾向率变小—变大—变小—变大—变小的规律。在 57 a 尺度上,平均最高气温主要存在 50 a 和 30 a 左右的震荡周期,平均最低气温主要存在 50 a,30 a 和 18 a 左右的震荡周期;平均最高气温的阶段性和突变性均不明显,平均最低气温存在 3 个较为明显的变化阶段,且 1987 年出现突变。

### 参考文献:

- [1] The Report of IPCC Climate Change 2007. The Physical Basic Climate [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 丁一汇. 人类活动及全球气候变化及其对水资源的影响 [J]. 中国水利, 2008(2): 20-27.
- [3] Robeter T W, Daniel A, Terrybarker, et al. Climate-change 2001 [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [4] Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 yrs[J]. Meteorology, 1994, 20(12): 19-26.

## 参考文献:

- [1] 刘荣,高敏华,谢峰. 基于 Logistic 回归模型的土地利用格局模拟分析:以新疆吐鲁番市为例[J]. 水土保持研究,2009,16(6):74-78.
- [2] 吴桂平. 不同尺度转换方式对土地利用格局模拟的影响效应研究[J]. 水土保持研究,2010,17(5):75-79.
- [3] 张荣,刘霞,张光灿,等. 基于马尔柯夫模型的峨庄流域土地利用格局动态预测[J]. 水土保持研究,2010,17(2):239-242.
- [4] 欧维新,杨桂山,李恒鹏,等. 苏北盐城海岸带景观格局时空变化及驱动力分析[J]. 地理科学,2004,24(5):610-615.
- [5] 彭建,王仰麟,刘松,等. 海岸带土地持续利用景观生态评价[J]. 地理学报,2003,58(3):363-371.
- [6] 张安定,李德,王大鹏,等. 山东半岛北部海岸带土地利用变化与驱动力:以龙口市为例[J]. 经济地理,2007,27(6):1007-1010.
- [7] 赵晶晶,张玮,高伟明. 昌黎黄金海岸国家级自然保护区土地利用/覆被变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究,2012,19(6):211-216.
- [8] 吴传钧,蔡清泉,朱季文,等. 中国海岸带土地利用[M]. 北京:海洋出版社,1993.
- [9] 侯西勇,徐新良. 21 世纪初中国海岸带土地利用空间格局特征[J]. 地理研究,2011,30(8):1370-1379.
- [10] 邱鹏华,徐颂军,符英,等. 海南岛海岸带土地利用现状及问题分析[J]. 热带地理,2012,32(6):582-592.
- [11] 黄宁,杨锦海,林志兰,等. 厦门市海岸带景观格局变化及其对生态安全的影响[J]. 生态学杂志,2012,31(12):3193-3202.
- [12] 苏胜金. 七年全国海岸带和海涂资源综合调查综述[J]. 海洋与海岸带开发,1988(2):30-32.
- [13] 刘彦随,彭留英,王大伟. 东南沿海地区土地利用转换态势与机制分析[J]. 自然资源学报,2005,20(3):333-339.
- [14] 朱会义,李秀彬. 关于土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报,2003,58(5):643-650.
- [15] 庄大方,刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报,1997,12(2):105-111.
- [16] 罗琳,舒廷飞,温琰茂,等. 水产养殖对近海生态环境的影响[J]. 水产科学,2002,21(3):28-30.
- [17] 贾小平,蔡文贵,林钦,等. 我国沿海水域的主要污染问题及其对海水养殖的影响[J]. 中国水产科学,1997,4(4):78-82.
- [18] 邓红兵,陈春娣,刘昕,等. 区域生态用地的概念及分类[J]. 生态学报,2009,29(3):1519-1524.
- [5] Yang Xin, Yan Junping. Analysis on the climate warming-drying trend in the Juncture of Shanxi and Gansu province and Ningxia Hui Autonomous region[J]. Arid Zong Research,2002,19(3):67-70.
- [6] 万红莲. 近 60 年来西安市气温和降水量变化的关系研究[J]. 江西农业学报,2010,22(1):81-83.
- [7] 达桑. 近 50 年西藏色林错流域气温和降水的变化趋势[J]. 高原气象,2011(1):42-45.
- [8] 李占杰,鱼金善,信达. 1951—2010 年贵阳市气温变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(5):31-35.
- [9] 王涛,陶辉,杨强. 南通地区 1960—2007 年气温与降水的年际和季节变化特征[J]. 资源科学,2011,33(11):2080-2089.
- [10] Shi Neng, Chen Jiaqi, Tu Qipu. 4 phase climate change feature in the past 100 years in China[J]. Acta Meteorologica Sinica,1995,53(4):431-439.
- [11] Ding Jing, Liu Quanshou. Stochastic hydrology[M]. Beijing:China Water Power Press,1997.
- [12] 李鹏飞,周晓飞,张庆国,等. 铜陵市近 49 年气温变化特征及其趋势分析[J]. 安徽农业大学学报,2010,37(2):346-351.
- [13] 孙娴,杨碧轩,徐小红. 小波分析在陕西气温变化研究中的应用[J]. 陕西气象,1998(5):26-28.
- [14] 万明波,程智,王文. 青藏铁路沿线气温和降水的小波分析[J]. 干旱气象,2006,24(4):35-39.
- [15] 张文. 近百年来气候突变与极端事件的检测与归因的初步研究[D]. 江苏扬州:扬州大学,2007.
- [16] 黄桔梅,金建德,严小冬,等. 贵阳市夏旱演变及其对应 500 hPa 环流特征分析[C]. 中国气象学会 2007 年年会气候学分会论文集,2007:608-614.
- [17] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检验方法[J]. 大气科学,1992,16(4):483-493.
- [18] 刘康平,郑自君. 什邡 50 年气温变化特征及回归分析[J]. 成都信息工程学院学报,2010,25(1):78-84.
- [19] 唐红玉,翟盘茂,王振宇. 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,2005,10(4):728-735.
- [20] 卢爱刚,王瑛. 延安市近 60 年气温与降水趋势突变分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(1):60-62.
- [21] 丁一汇,张莉. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较[J]. 大气科学,2008,32(4):794-805.

(上接第 260 页)